

Aus der Klinik für Klauentiere des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

**Auswirkungen verschiedener Futterrationen auf das Wachstum und
die Pansenentwicklung von Kälbern**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Bardhyl Noci

Tierarzt aus Gjilan (Kosovo)

Berlin 2009

Journal-Nr. 3350

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. L. Brunnberg
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. K. E. Müller
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. J. Zentek
Dritter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. H. Martens

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):
rumen development, calf nutrition, ruminal papillae

Tag der Promotion: 15.12.2009

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

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

ISBN: 978-3-86664-760-2

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2009

Dissertation, Freie Universität Berlin

D 188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

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

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

This document is protected by copyright law.

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

alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© mensch und buch verlag 2010

choriner str. 85 - 10119 berlin

verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

In Erinnerung an meinen Vater

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Zielsetzung	1
2 Literaturübersicht	2
2.1 Futteraufnahme und Wachstum des Kalbes	2
2.2 Die Entwicklung der Vormägen beim Rind.....	4
2.3 Die funktionelle Vormagenentwicklung	7
2.3.1 Die mikrobielle Besiedlung des Pansens	7
2.3.2 Absorption des Pansenepithels	9
2.4 Die Vormagenentwicklung unter Einfluss verschiedener Futterrationen.....	10
2.4.1 Einfluss verschiedener Futterrationen auf die Volumenentwicklung der Vormägen.....	10
2.4.2 Einfluss verschiedener Futterrationen auf das Gewebegewicht der Vormägen..	10
2.4.3 Einfluss verschiedener Futterrationen auf die Entwicklung der Pansenmuskulatur.....	11
2.4.4 Einfluss verschiedener Futterrationen auf die morphologische Entwicklung des Pansenepithels	11
2.4.5 Einfluss verschiedener Futterrationen auf die Histologie des Pansenepithels	14
3 Material und Methode	15
3.1 Tiere und Unterbringung.....	15
3.2 Fütterung.....	15
3.3 Probenentnahme und Untersuchungen	19
3.3.1 Bestimmung der körperlichen Entwicklung	19
3.3.2 Klinische Untersuchung	19
3.3.3 Futtermittelproben und -analyse	19
3.3.4 Blutprobenentnahme und -analyse	21
3.3.5 Bestimmung der Organgewichte.....	24
3.3.6 Pansensaftprobenentnahme und -analyse.....	24
3.3.7 Gewebeprobenentnahme und -analyse	26

3.4 Statistik.....	29
4 Ergebnisse	30
4.1 Klinische Untersuchung.....	30
4.2 Trockensubstanzaufnahme	30
4.3 ME-Aufnahme	36
4.4 Trinkwasseraufnahme	38
4.5 Entwicklung von Lebendmasse, Brustumfang und Widerristhöhe.....	39
4.6 Blutparameter.....	44
4.7 Pansenfermentationsparameter.....	53
4.8 Beschaffenheit der Pansenschleimhaut.....	59
4.9 Organgewichte	64
4.10 Grobsinnliche Beurteilung und Trockensubstanzanteil der Ingesta.....	66
5 Diskussion	68
5.1 Klinische Untersuchung der Kälber.....	68
5.2 Tränkeaufnahme	69
5.3 Aufnahme fester Futtermittel	70
5.4 ME-Aufnahme	72
5.5 Trinkwasseraufnahme	72
5.6 Entwicklung von Lebendmasse, Brustumfang und Widerristhöhe.....	73
5.7 Blutuntersuchung	74
5.8 Pansensaftparameter	80
5.9 Pansenentwicklung.....	82
5.10 Organgewichte und Trockensubstanzgehalt der Ingesta	86
6 Schlussfolgerungen	88
7 Zusammenfassung	89
8 Summary	91
9 Literaturverzeichnis.....	93
10 Anhang	105

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Alb	Albumin
BE	Basenüberschuss
β HBA	β -Hydroxybutyrat
Bili	Bilirubin
Ca	Kalzium
CK	Creatinkinase
Cl	Chlorid
Ery	Erythrozyten
Fa.	Firma
GGT	Gamma-Glutamyl-Transferase
GLDH	Glutamat-Dehydrogenase
Gluc	Glukose
H	Heu
HCO_3^-	Bikarbonat
Hb	Hämoglobin
Hkt	Hämatokrit
Hst	Harnstoff
K	Kalium
KF	Krafftutter
KFH	Krafftutter und Heu
KFMS	Krafftutter und Maissilage mit 5 % Stroh
KLM	Körperleermasse
Leu	Leukozyten
LM	Lebendmasse
LW	Lebenswoche
MCH	mittlerer Hämoglobingehalt der Erythrozyten
MCHC	mittlere korpuskuläre Hämoglobinkonzentration
MCV	mittleres korpuskuläres Volumen
ME	metabolisierbare Energie
Mg	Magnesium
MS	Maissilage mit 5 % Stroh
MLSL	Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge
Na	Natrium
NH_3	Ammoniak
P	Phosphor

pCO ₂	Kohlendioxidpartialdruck
pO ₂	Sauerstoffpartialdruck
pH	pH-Wert
SBSS	Dicke von Stratum basale und spinosum
SCFA	Kurzkettige Fettsäuren
SCSG	Dicke von Stratum corneum und granulosum
sO ₂	Sauerstoffsättigung
s	Standardabweichung
Thr	Thrombozyten
TLMZ	tägliche Lebendmassezunahme
TP	Gesamteiweiß
TS	Trockensubstanz
ventr.	ventraler
Vergr.	Vergrößerungsstufe

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Lebendmasse, Lebendmassezunahme, TS-Aufnahmekapazität und Empfehlungen hinsichtlich der täglichen Energieversorgung bei Aufzuchtkälbern innerhalb der ersten drei Lebensmonate nach KAMPHUES et al. (2009).....	4
Tab. 2: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe des Milchaustauschers Denkamilk (Deklaration der Fa. Denkavit, Warendorf, D)	16
Tab. 3: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe von Denkamix Vitalcure (Deklaration der Fa. Denkavit, Warendorf, D).....	17
Tab. 4: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe von Denkamix Hydrofort (Deklaration der Fa. Denkavit, Warendorf, D).....	17
Tab. 5: Tränkemenge und Konzentration des Milchaustauschers (Denkamilk, Fa. Denkavit, Warendorf, D).....	18
Tab. 6: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe des pelletierten Kälberstarters Super Kälberstartkorn nach Angaben des Herstellers (Fa. ForFarmers, Lochem, NL).....	18
Tab. 7: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe der Futtermittel Krafftutter (Fa. ForFarmers, Lochem, NL), Heu, Stroh und Maissilage nach eigenen Analysen	19
Tab. 8: Liste der untersuchten Blutparameter und der verwendeten Analytik	22
Tab. 9: Durchschnittliche TS-Aufnahme (kg/Tag) in den verschiedenen Fütterungsgruppen (n=4 pro Gruppe) über den Beobachtungszeitraum von neun Wochen.....	31
Tab. 10: Aufnahme der einzelnen Futtermittel in kg TS/Tag in den Gruppen KFH, KFMS und MS (n=4 pro Gruppe)	34
Tab. 11: Durchschnittliche tägliche TS-Aufnahme (g/kg Lebendmasse) von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke	35
Tab. 12: Gemittelte ME-Aufnahme (MJ/Tag) von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke	37

Tab. 13: Tägliche Trinkwasseraufnahme (l/Tag) von Kälbern bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke (Woche 3-5: n=2 pro Gruppe, Woche 6-10: n=4 pro Gruppe).....	38
Tab. 14: Anfangs- und Endlebensmasse (LM) sowie Auswirkungen der unterschiedlichen Futterrationen (n=4 pro Gruppe) auf die tägliche Lebensmassezunahme (TLMZ)	40
Tab. 15: Ergebnisse der wöchentlichen Messungen des Brustumfangs (cm) von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke im Verlauf der Beobachtungsperiode von neun Wochen.....	43
Tab. 16: Ergebnisse der wöchentlichen Messungen der Widerristhöhe (cm) von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke im Verlauf der Beobachtungsperiode von neun Wochen.....	44
Tab. 17: Ergebnisse der wöchentlich durchgeführten Blutuntersuchungen bei Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke von der zweiten bis zur zehnten Lebenswoche (LW)	47
Tab. 18: Ergebnisse der Pansensaftuntersuchungen nach Schlachtung von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke	56
Tab. 19: Zottenlänge, Zottenbreite und Zottendichte in ausgewählten Regionen des ventralen Pansensacks und Pansenblindsacks von Kälbern bei Angebot verschiedener Futterrationen (H: n=4; KF, KFH und KFMS: n=2) zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen	62
Tab. 20: Auswirkungen der Futterrationen (n=4 pro Gruppe) auf das Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge (MLSL), die Dicke von Stratum corneum und granulosum (SCSG), die Dicke von Stratum basale und spinosum (SBSS) sowie die Epithelhöhe im Alter von 10 Wochen	63
Tab. 21: Organgewichte in g/kg Körperleermasse von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen.....	66

Tab. 22: TS-Gehalt der Ingesta von Pansen, Dünndarm und Blinddarm (g/kg) von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futtermittel zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen67

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1:** Entwicklung der verschiedenen Bereiche des Rindermagens vom Saugkalb zum Wiederkäuer. Modifiziert nach: SCHRAG und SINGER (1987)6
- Abb. 2:** Biochemische Reaktionen im Pansen. Modifiziert nach MADIGAN et al. (2003).....7
- Abb. 3:** Messungen an der Pansenschleimhaut: **A:** Mucosa- und Serosalänge (MLSL), Vergr.: 60 x; Die obere schwarze Linie kennzeichnet die Messung der Mucosalänge, die untere die der Serosalänge; **B:** Dicke von Stratum corneum und granulosum (SCSG) sowie von Stratum basale und spinosum (SBSS), Vergr.: 900 x; Die gelben Linien zeigen die Messung von SCSG, die roten Linien die Messung von SBSS beispielhaft an zwei Stellen; **C:** Zottendichte, Vergr.: 20 x; Die schwarzen Ovale verdeutlichen das Vorgehen beim Zählen der Zotten; **D:** Zottenlänge, Vergr.: 20 x; Die blaue Linie verdeutlicht die Messung der Zottenlänge; **E:** Zottenbreite, Vergr.: 20 x; Die schwarzen Linien zeigen die Messung der Zottenbreite28
- Abb. 4:** Mittlere TS-Aufnahme (kg/Tag) der verschiedenen Fütterungsgruppen (n=4 pro Gruppe) in den Wochen 2-10. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts.....31
- Abb. 5:** TS-Aufnahme (kg/Tag) der Einzeltiere der verschiedenen Fütterungsgruppen (n=4 pro Gruppe) in den Wochen 2-10.....32
- Abb. 6:** Auswirkungen der unterschiedlichen Futterrationen (n=4 pro Gruppe) auf die mittlere TS-Aufnahme (kg/Tag) und tägliche Lebendmassezunahme (TLMZ, kg/Tag) über den gesamten Beobachtungszeitraum. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts33
- Abb. 7:** Mittlere tägliche TS-Aufnahme (g/kg LM) der Kälber in den verschiedenen Fütterungsgruppen (n=4 pro Gruppe) über einen Zeitraum von 9 Wochen. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts.....36
- Abb. 8:** Mittlere tägliche ME-Aufnahme (MJ/Tag) der verschiedenen Fütterungsgruppen (n=4 pro Gruppe) in den Wochen 2-10. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts37
- Abb. 9:** Auswirkungen der verschiedenen Futterrationen (Woche 3-5: n=2 pro Gruppe, Woche 6-10: n=4 pro Gruppe) auf die mittlere Trinkwasseraufnahme (l/Tag) in den Wochen 3-10. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts.....39

Abb. 10: Mittlere tägliche Lebendmassezunahme (TLMZ, kg) von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Fütterung verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke in den Wochen 2-10. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts	41
Abb. 11: Tägliche Lebendmassezunahme (TLMZ, kg) der Einzeltiere in den verschiedenen Fütterungsgruppen (n=4 pro Gruppe) in den Wochen 2-10	42
Abb. 12: Auswirkungen verschiedener Futterrationen (n=4 pro Gruppe) auf die mittlere β HBS-Konzentration (mmol/l) in den Wochen 2-10	53
Abb. 13: Ergebnisse der pH-Wert Bestimmung im Pansensaft von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futtermittel zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen. Mittelwerte mit unterschiedlichen Symbolen unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$). Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts.....	57
Abb. 14: Ergebnisse der Bestimmung der Konzentration an kurzkettigen Fettsäuren (SCFA, mmol/l) im Pansensaft von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futtermittel zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen. Mittelwerte mit unterschiedlichen Symbolen unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$). Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts.....	58
Abb. 15: Anteile der kurzkettigen Fettsäuren Acetat, Propionat, Butyrat und Valeriat (%) an den Gesamt-SCFA im Pansensaft von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futtermittel zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen. Mittelwerte mit unterschiedlichen Symbolen unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$). Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts.....	59
Abb. 16: Beschaffenheit der kutanen Schleimhaut des ventralen Pansensackes von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futtermittel zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen. Heu (H), Kraftfutter (KF) und Maissilage (MS). Vergr.: 7x	60
Abb. 17: Verklumpete Zotten (links) und Läsionen (rechts) bei Kälbern, die Kraftfutter (KF) erhielten. Vergr.: 7x.....	61

Abb. 18: Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge (MLSL) in Gewebeproben aus dem ventralen Pansensack und Pansenblindsack von Kälbern bei Angebot verschiedener Futtermittel (n=4 pro Gruppe) zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts64

Verzeichnis der Tabellen im Anhang

Anhang I: Auswirkungen der Futterrationen (n=4 pro Gruppe) auf die Blutparameter in verschiedenen Lebenswochen (LW)	105
Anhang II: Auswirkungen der Futterrationen (n=4 pro Gruppe) auf das Gewicht (kg) verschiedener Organe des Verdauungstraktes im Alter von 10 Wochen.....	110

1 Einleitung und Zielsetzung

Die Basis für eine gute Milchkuh wird bereits während der Aufzuchtperiode des Kuhkalbes gelegt. Aus physiologischer und wirtschaftlicher Sicht ist es bedeutsam, dass sich das anfangs monogastrisch funktionierende Kalb möglichst schnell und unter minimalen Wachstumseinbußen zum Wiederkäuer entwickelt. Die primäre Rolle spielt dabei die Entwicklung des anfangs unterentwickelten und funktionslosen Pansens. Aus diesem Grund wurde den Einflüssen auf die Pansenentwicklung des Kalbes in zahlreichen Studien Beachtung geschenkt. Solche Studien zeigen, dass die Entwicklung des Pansens stark durch die Art der Fütterung beeinflusst wird. Rohfaserreiche Futtermittel wie zum Beispiel das Heu tragen durch mechanische Reizung der Pansenwand wesentlich zur Aktivierung der Pansenmotilität bei und begünstigen das Einsetzen der Ruminatation. Die Entwicklung der mit Zotten ausgestatteten kutanen Schleimhaut des Pansens, welche eine erhebliche Vergrößerung der absorptiven Oberfläche des Pansens bewirkt, wird jedoch in erster Linie durch chemische Reize induziert. Dabei spielt die frühzeitige Anwesenheit von kurzkettigen Fettsäuren im Pansen, deren Produktion besonders durch Verabreichung von Futtermitteln mit fermentierbaren Kohlenhydraten gefördert wird, eine zentrale Rolle. Aus diesem Grunde wird empfohlen, dem neugeborenen Kalb neben der Milchmahlzeit bereits ab dem dritten Lebenstag energiereiche Ergänzungsfuttermittel anzubieten. Eine einseitige kohlenhydratreiche Fütterung kann jedoch zu einer Verklumpung von Pansenzotten führen oder eine Parakeratose des Pansenepithels bedingen. Futtermittel mit höherer Partikelgröße und einem hohen Rohfaseranteil wie Heu und Silage sorgen dagegen für eine Abtragung der Keratinschicht und verringern somit die Gefahr der Zottenverklumpung. Gleichzeitig werden Pansenmotilität und Wiederkauaktivität gesteigert. Obwohl der positive Einfluss rohfaserreicher Futtermittel unbestritten ist, herrscht immer noch Uneinigkeit über die optimale Gestaltung einer Ration für Aufzuchtkälber. Basierend auf dieser Frage wurde in der vorliegenden Studie untersucht, wie sich die ad libitum Aufnahme verschiedener Futtermittel zusätzlich zur MAT-Tränke auf die körperliche Entwicklung von Saugkälbern und insbesondere die Pansenentwicklung auswirkt. Zu diesem Zweck wurden bei Saugkälbern die Effekte verschiedener Rationen auf die Futter- und Tränkeaufnahme, die körperliche Entwicklung und ausgewählte Parameter in Blut und Pansensaft untersucht. Darüber hinaus wurde nach Schlachtung der Tiere der Morphologie des Pansens sowie der Entwicklung der Verdauungsorgane besondere Beachtung geschenkt.

2 Literaturübersicht

2.1 Futteraufnahme und Wachstum des Kalbes

Um eine ökonomische und erfolgreiche Milchproduktion und die dafür geforderten Wachstumsleistungen zu erreichen, muss das Kalb in den einzelnen Entwicklungsabschnitten bedarfsdeckend mit Nährstoffen versorgt werden.

In den ersten Lebenswochen deckt das Kalb seinen Energiebedarf vorrangig über die Milchtränke (BOVINE ALLIANCE ON MANAGEMENT AND NUTRITION 2003; NATIONAL RESEARCH COUNCIL 2001; HEINRICHS 2005). Obwohl ein Angebot von festem Futter bereits in der ersten Lebenswoche empfohlen wird, ist dessen Aufnahme zu dieser Zeit noch sehr gering. Deshalb sollte nach Ende der Kolostralperiode eine ausreichende Menge (etwa 10 % der Lebendmasse) Milchaustauscher angeboten werden (APPLEBY et al. 2001; JASPER und WEARY 2002; KAMPHUES et al. 2009). KHAN et al. (2007) gestalteten die Milchfütterung von Kälbern bei einer Gruppe konventionell (10 % der Lebendmasse bis zur Entwöhnung) und fütterten eine zweite Gruppe innerhalb der ersten 23 Tage mit einer Milchaustauschermenge von 20 % der Lebendmasse und innerhalb der darauffolgenden 16 Tagen bis zur Entwöhnung mit einer Menge von 10 % der Lebendmasse. Sie stellten fest, dass die Kälber der zweiten Gruppe mehr Kraftfutter und Heu aufnahmen und auch höhere Zunahmen sowie eine fortgeschrittenere Pansenentwicklung zeigten, als die konventionell gefütterten Kälber. Auch hinsichtlich des Zeitpunktes der Entwöhnung unterscheidet man verschiedene Methoden. Bei der konventionellen Methode der Entwöhnung werden Kälber erst im Alter von etwa 100 Tagen von der Milchtränke abgesetzt (KAMPHUES et al. 2009). Die Methode der Frühentwöhnung, die auf eine beschleunigte Pansenentwicklung und Kosteneinsparungen bei der Tränke abzielt, lässt ein Absetzen von der Milchtränke bereits im Alter von 7-8 Wochen zu. Dabei ist die tägliche Tränkemenge begrenzt und die Kälber nehmen – vom Hunger angeregt – zeitiger als bei der konventionellen Entwöhnung Trockenfutter auf (HOPKINS und WHITLOW 2001; KAMPHUES et al. 2009; SCHWARZ 2008). ROTH et al. (2009) verglichen in einer Studie die Pansenentwicklung von Kälbern, die konventionell entwöhnt wurden und solchen, bei denen sich die verabreichte Milchmenge an der aufgenommenen Kraftfuttermenge orientierte. Es konnte keine unterschiedliche Pansenentwicklung der beiden Gruppen festgestellt werden, sodass die Autoren empfehlen, die Milchmenge an der aufgenommenen Kraftfuttermenge auszurichten, um Kosten zu sparen. Es wird empfohlen, Kälber erst von der Milchtränke abzusetzen, wenn sie an zwei bis drei aufeinander folgenden Tagen täglich 0,8-1,0 kg Kraftfutter aufnehmen, um eine gleichmäßige und störungsfreie Entwicklung sicherzustellen (HOPKINS und WHITLOW 2001; KAMPHUES et al. 2009; MURPHY 2004; QUIGLEY 2001d; THICKETT et al. 1988).

Einige Autoren betonen, dass gesunde Kälber diese Kraffuttermenge bereits im Alter von 4-6 Wochen aufnehmen und dass somit eine Entwöhnung bereits in diesem Alter möglich ist (BOVINE ALLIANCE ON MANAGEMENT AND NUTRITION 2003; MORAN 2002). Untersuchungen von Wissenschaftlern der Penn State University über den Zeitpunkt der Entwöhnung zeigen, dass Kälber, die im Alter von vier, fünf oder sechs Wochen entwöhnt wurden, sich hinsichtlich Gesundheit, Wachstum und Futtereffizienz während der ersten acht Lebenswochen nicht voneinander unterscheiden (HEINRICHS 2006). Bei der Entwöhnung ist es bedeutsam, die täglich angebotene Milchaustauschermenge allmählich zu reduzieren (SCHWARZ 2008). Die Rationsgestaltung beim Saugkalb kann neben Unterschieden hinsichtlich der Menge des angebotenen Milchaustauschers und dem Zeitpunkt des Absetzens auch unterschiedliche Tränkeverfahren einbeziehen. Als ökonomisch und ernährungsphysiologisch besonders günstig hat sich die Verabreichung einer frisch angerührten warmen Milchaustauschertränke über einen Sauger erwiesen. Bei diesem Tränkeverfahren nehmen Kälber im Vergleich zu den üblichen Methoden des Absetzens zu einem früheren Zeitpunkt größere Mengen an Kraffutter auf, was gleichzeitig einen geringeren Milchaustauscherverbrauch bedingt. Einen weiteren Einflussfaktor auf das Wachstum des Kalbes vor dem Absetzen stellt die Zusammensetzung des Milchaustauschers dar. Dabei spielen die Quelle und die Menge des Rohprotein- und Fettangebotes eine zentrale Rolle. Warmtränke wird bei einer Tränketemperatur von 35-40°C zweimal täglich bei einem Tränkevolumen pro Mahlzeit von etwa 3,5 l angeboten (KAMPHUES et al. 2009; SCHWARZ 2008). Abhängig vom Fett- und Kohlenhydratgehalt weisen verschiedene Milchaustauscher einen Energiegehalt von 15,5-18,5 MJ ME/kg auf. Je nach Energiegehalt und Vorschrift des Herstellers sollte der Milchaustauscher in einer Konzentration von 100-125 g Milchaustauscher pro Liter Wasser angeboten werden (BOVINE ALLIANCE ON MANAGEMENT AND NUTRITION 2008; SCHWARZ 2008; THICKETT et al. 1988).

Damit das Kalb nach der Entwöhnung in der Lage ist seinen Energiebedarf vollständig aus festen Futtermitteln zu decken, wird bereits frühzeitig zusätzlich zur Milchtränke mit der Fütterung von Kraffutter und Heu bester Qualität begonnen (KAMPHUES et al. 2009; SCHWARZ 2008). In der Tierschutz-Nutztierhaltungs-Verordnung (Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere, Neufassung vom 1.08.2006 BGBl I 2006, 2043, zuletzt geändert am 30.11.2006 BGBl 2006, 2759) ist festgelegt, dass dem Kalb ab dem achten Lebenstag Raufutter oder sonstiges rohfaserreiches, strukturiertes Futter zur freien Aufnahme vorgelegt werden muss. Bis zur 10. Lebenswoche liegt die Heuaufnahme bei gleichzeitigem Kraffutterangebot bei etwa 0,5 kg/Tag. Die Aufnahmemenge von Kraffutter erreicht je nach angebotener Tränkemenge im Alter von 8-10 Wochen 1,0 kg/Tag. Nach dem Absetzen steigt sie dann rasch auf 1,5 kg täglich an. Empfehlungen für die Begrenzung der

Kraffuttermenge nach dem Absetzen liegen je nach Geschlecht und zusätzlicher Heu- oder Silageaufnahme zwischen 1,5 und 2,5 kg/Tag. Mit dem Angebot bester Anwelksilagen oder körnerreicher Maissilagen kann bereits frühzeitig begonnen werden. Die Aufnahme solcher Silagen ist aber anfangs gering. Nach dem Absetzen werden Silagen bei vorausgegangener Angewöhnung in schnell steigenden Mengen aufgenommen (KAMPHUES et al. 2009; SCHWARZ 2008). In Tabelle 1 sind Lebendmasse, Lebendmassezunahme, TS-Aufnahmekapazität und Empfehlungen hinsichtlich der täglichen Energieversorgung beim Kalb innerhalb der ersten drei Lebensmonate wiedergegeben.

Tab. 1: Lebendmasse, Lebendmassezunahme, TS-Aufnahmekapazität und Empfehlungen hinsichtlich der täglichen Energieversorgung bei Aufzuchtkälbern innerhalb der ersten drei Lebensmonate nach KAMPHUES et al. (2009)

Alter	Lebendmasse ¹	LMZ	TS-Aufnahme	ME
Monate	kg	g	kg	MJ
1	55	500	1	18,2
2	76	700	1,5-2	25,1
3	97	700	2-2,5	28,1

¹ am Ende des Monats

2.2 Die Entwicklung der Vormägen beim Rind

Der Verdauungsapparat des Kalbes beginnt sich schon in der frühen embryonalen Phase zu entwickeln (HUBER 1969). Die unterschiedlichen Magenabteilungen (Pansen, Netzmagen, Blättermagen und Labmagen), die charakteristisch für den Wiederkäuer sind, sind bereits 56 Tage nach der Empfängnis deutlich sichtbar (WARNER 1958).

Zum Zeitpunkt der Geburt sind Netzmagen, Pansen und Blättermagen zwar vorhanden, aber nur unvollständig entwickelt und ohne Funktion (BOTHMER und BUDDE 1992; LESMEISTER 2003; SCHWARZ 2008; SUÁREZ 2006; TAMATE et al. 1962; WARNER et al. 1956), während der Labmagen bereits unmittelbar nach der Geburt des Kalbes seine Funktion zur Verdauung der Milch aufnimmt (KÖNIG und LIEBICH 2005).

Durch die noch unterentwickelten Vormägen, das Vorhandensein der Schlundrinne (CHURCH 1988) sowie den noch in der Entwicklung befindlichen Enzymhaushalt von Labmagen und Darm funktioniert das neugeborene Kalb wie ein Monogastrier (LONGENBACH und HEINRICHS 1998). Die Schlundrinne wird durch zwei muskulöse Schleimhautlippen, die von der Basis der Speiseröhre (Cardia) bis zur Einmündung des Blättermagens in den Labmagen reichen, gebildet (ØRSKOW et al. 1970; ØRSKOW 1972; SCHRAG und SINGER 1987). Sie sorgt für eine direkte Passage der Milch in den Labmagen unter Umgehung der Vormägen (BERG 1995; BOTHMER und BUDDE 1992; DAVIS und

DRACKLEY 1998; HEGLAND et al. 1957; RUCKEBUSCH 1990; SCHRAG und SINGER 1987; VAN ACKEREN 2007; WATTIAUX 2004; WISE und ANDERSON 1939). Beim Schlundrinnenreflex tritt eine gewisse Konditionierung auf (ØRSKOW 1972). Er kann bei Rindern bis ins Erwachsenenalter erhalten bleiben.

Die Vormägen des neugeborenen Kalbes sind klein im Vergleich zum Abomasum und stehen in anderen Größenverhältnissen zueinander als beim Verdauungstrakt des adulten Rindes (LESMEISTER 2003; TAMATE et al. 1962). Das Pansenvolumen vergrößert sich bis zum Erreichen des adulten Status enorm (MICHEL et al. 1986). Am ersten Tag fassen Pansen und Haube zusammen nur 0,75 Liter, der Labmagen 2 Liter. Mit acht Wochen weisen der Pansen und die Haube bereits dasselbe Volumen auf wie der Labmagen. Beim erwachsenen Rind beträgt das Verhältnis von Vormägen und Labmagen bezogen auf das Volumen etwa 9:1 (MICHEL et al. 1986; NICKEL et al. 1979; SCHRAG und SINGER 1987). KÖNIG und LIEBICH (2005) berichten, dass die Proportionen der Magenkammern je nach Nahrungsangebot nach drei Monaten bis einem Jahr denen des adulten Wiederkäuers gleichen. Über das endgültige Fassungsvermögen der Mägen werden verschiedene Angaben gemacht. Nach KÖNIG und LIEBICH (2005) fasst der Magen des Rindes dann 60-100 Liter, wovon 80 % auf den Pansen entfallen können. MARTENS (2005) berichtet in Bezug auf das Reticulorumen adulter Tiere von einem Fassungsvermögen von 100 Litern und mehr und einem Anteil an der Lebendmasse von 10-15 %. Laut MICHEL et al. (1986) fasst der Pansen 90-150, die Haube durchschnittlich 8, der Blättermagen 7-18 und der Labmagen 1,75-3,25 Liter.

Auch die Gewichtsverhältnisse der Magenanlagen gestalten sich zum Zeitpunkt der Geburt anders als beim adulten Wiederkäuer. So dominiert bei der Geburt das Gewicht des Labmagens, welches 55-60 % der gesamten Magenanlage ausmacht und somit den Anteil der Vormägen übertrifft. Der Gewichtsanteil von Vormägen und Labmagen zusammen am gesamten Verdauungskanal entspricht nur ca. 20 % (DAVIS und DRACKLEY 1998; MARTENS 2005).

Ähnliches beschreibt GIESECKE (1967), nach dem das Gewicht aller drei Vormägen nach Ablauf der uterinen Phase dem des Labmagens entspricht. Innerhalb der ersten Lebensmonate verändern sich diese Gewichtsverhältnisse bei wiederkäuergerechter Fütterung erheblich (MARTENS 2005). Die abrupte Steigerung des Anteils des Reticulorumens, begleitet von einer Abnahme des Labmagenanteils, setzt nach WARNER und FLATT (1965) mit Vollendung der zweiten Lebenswoche ein. Nach Abschluss dieser Entwicklung beträgt der Anteil der Vormägen am Gewicht aller Magenabteilungen 80-90 % und übersteigt somit den Anteil des Labmagens deutlich (MARTENS 2005).

Zum Zeitpunkt der Geburt sind laut WARNER et al. (1956) nur wenige oder gar keine Pansenzotten vorhanden. Die Pansenzotten, die 80-85 % der Pansenschleimhaut bedecken

(MICHEL et al. 1986), sind am ersten Tag nur 1 mm hoch (maximal 2,6 mm) und zylinderförmig. Beim adulten Wiederkäuer findet man dann Zotten von ca. 3 mm Höhe und 1 mm Breite bis ca. 13 mm Höhe und 3 mm Breite (HOFMANN und SCHNORR 1982). Andere Autoren äußern jedoch, dass die Zotten zum Zeitpunkt der Geburt gut entwickelt vorhanden sind, sich während der Milchfütterungsperiode zurückbilden und dann mit zunehmendem Alter unter bestimmten Fütterungsvoraussetzungen wieder länger werden (HOFMANN und SCHNORR 1982; SCHWARZ 2008; VAN ACKEREN 2007). Ihre Form kann von warzen- über zungen- und fadenförmig bis zur Plattform variieren (KÖNIG und LIEBICH 2005; MICHEL et al. 1986). Auf einen Quadratzentimeter entfallen ca. 10-60, höchstens aber 120 Zotten, wobei das Zottenwachstum in den verschiedenen Regionen des Pansens unterschiedlich sein kann (HOFMANN und SCHNORR 1982; LESMEISTER 2003; McGAVIN und MORRILL 1976; MICHEL et al. 1986). Am besten ausgebildet sind die Zotten in den Pansensäcken, weniger gut in den Blindsäcken (TAMATE et al. 1962). Die Pansenfeiler werden von KÖNIG und LIEBICH (2005) sowie MICHEL et al. (1986) als zottenfrei beschreiben. Nennenswert länger im Vergleich zum Geburtszeitpunkt sind die Zotten bereits nach ungefähr vier Lebenswochen. Ihre Entwicklung ist mit etwa sieben bis acht Wochen abgeschlossen (WARNER und FLATT 1965). Dann ist eine Gesamtzahl von etwa 250000 Zotten erreicht, durch welche die Pansenoberfläche etwa um das Siebenfache vergrößert wird (BOTHMER und BUDDE 1992; KÖNIG und LIEBICH 2005; MICHEL et al. 1986).

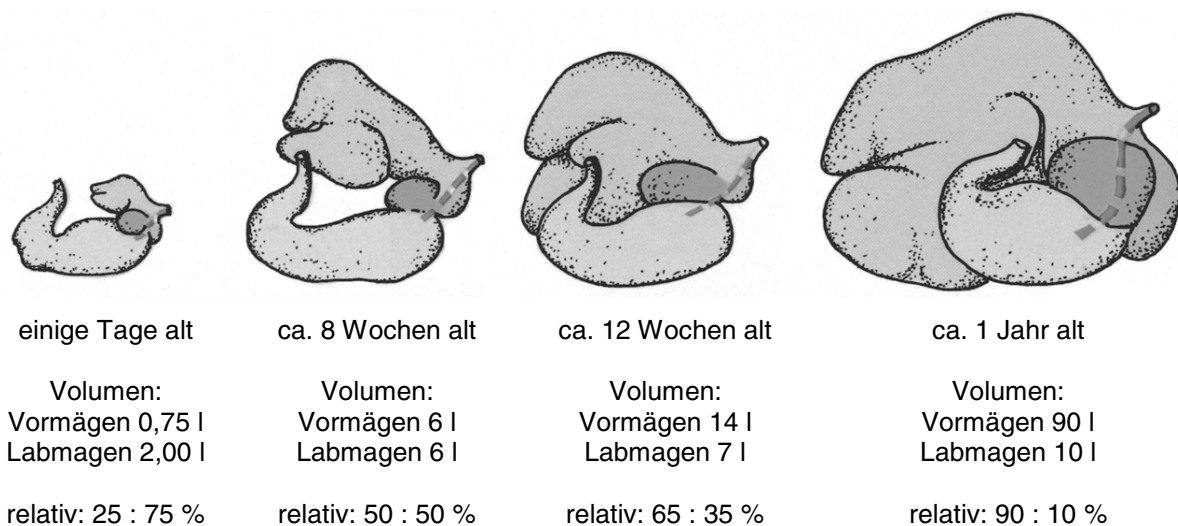


Abb. 1: Entwicklung der verschiedenen Bereiche des Rindermagens vom Saugkalb zum Wiederkäuer. Modifiziert nach: SCHRAG und SINGER (1987)

2.3 Die funktionelle Vormagenentwicklung

2.3.1 Die mikrobielle Besiedlung des Pansens

Eine entscheidende Voraussetzung für die Entwicklung des Kalbes vom monogastrischen Tier zum Wiederkäuer ist die mikrobielle Vormagenbesiedlung, denn erst die Anwesenheit einer mikrobiellen Population ermöglicht die mikrobielle Verdauung des Futters im Pansen (DAVIS und DRACKLEY 1998). Die Endprodukte dieser mikrobiellen Fermentation sind unter anderem die kurzkettigen Fettsäuren Acetat, Propionat und Butyrat, durch die die Entwicklung und Durchblutung des Pansenepithels stimuliert werden (BEHARKA et al. 1998; CHURCH 1988; DAVIS und DRACKLEY 1998; GRENNWOOD et al. 1997; HARRISON et al. 1960; HEINRICHS 2005; NOCEK et al. 1984; WARNER et al. 1956). Die biochemischen Reaktionen, die bei der mikrobiellen Verdauung des Futters im Pansen ablaufen, sind in Abbildung 2 wiedergegeben.

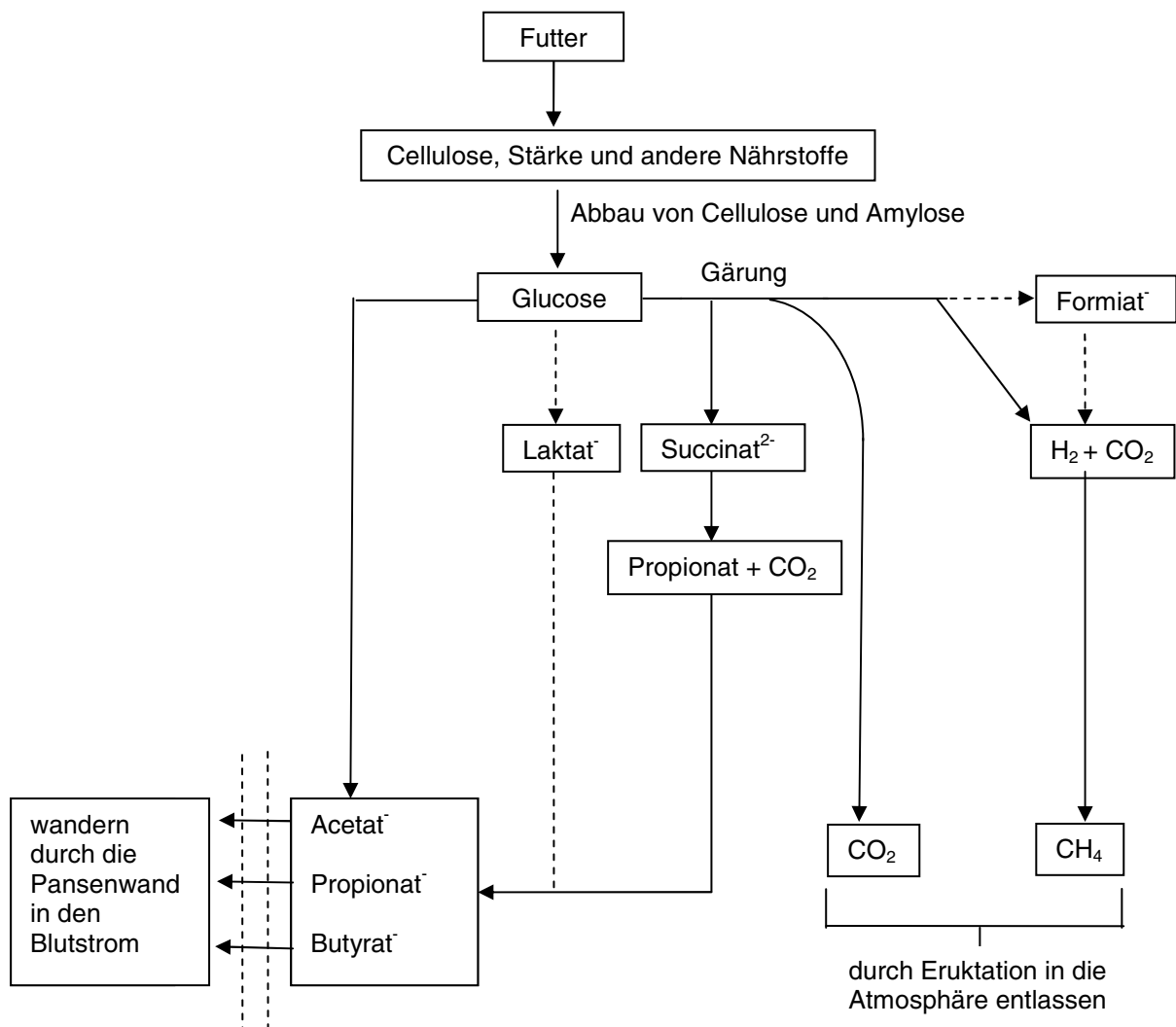


Abb. 2: Biochemische Reaktionen im Pansen. Modifiziert nach MADIGAN et al. (2003)

Die Population der Pansenbakterien eines Kalbes vor der Entwicklung zum Wiederkäuer unterscheidet sich stark von derjenigen adulter Tiere (QUIGLEY 2001b; ROY 1980). Beim neugeborenen Kalb ist der Pansen steril, es sind keine Bakterien vorhanden. Doch bereits während der ersten Lebenstage siedelt sich eine Vielzahl von Bakterien im Pansen an (QUIGLEY 2001b). Auch GIESECKE (1967) berichtet, dass die Besiedlung der Vormägen mit Mikroorganismen bereits während der ersten Lebenstage beginnt und durch den Rückfluss von Milch aus dem Labmagen in das Reticulorumen bedingt wird. Dabei treten die verschiedenen Bakterienpezies in einer bestimmten Reihenfolge auf (GIESECKE und HENDERICKX 1973). Anfangs wird der Pansen durch typische fakultativ anaerobe Bakterien und aerobe Bakterien (*E. coli*, coliforme Arten und Streptokokken) besiedelt, was sich auf das für diese Bakterien günstige Pansenmilieu zurückführen lässt (GIESECKE 1967). Zu einem ähnlich frühen Zeitpunkt treten auch kleine anaerobe Bakterien auf, zunächst insbesondere anaerobe laktatvergärende Bakterien, später dann mehr und mehr zellulolytische Spezies (GIESECKE und HENDERICKX 1973). Die zellulolytische Aktivität beginnt dann mit der Aufnahme der ersten festen Nahrung (QUIGLEY 2001c) und ist nach einer Woche mit der eines adulten Wiederkäuers vergleichbar, der die gleiche Ration erhält (CANDAU 1972). Große anaerobe Spezies (z.B. *Selenomonas* und *Oscillospira*) findet man im Pansen erst zwischen der fünften und zehnten Lebenswoche vor (GIESECKE und HENDERICKX 1973). Geeignete Bedingungen für erste Ciliaten herrschen nach etwa zwei bis drei Wochen, wenn der Pansen-pH-Wert bei über 6,0 liegt. Der Aufnahme von Raufutter fällt hierbei eine entscheidende Bedeutung zu, da sie zu einer Stimulation der Speichelsekretion führt und somit das für die Ciliaten notwendige Milieu schafft. Bei adulten Wiederkäuern sind die Ciliaten die dominierende Protozoenart. Die Besiedlung durch Ciliaten setzt folglich den Kontakt mit älteren Tieren voraus. Eine weitere im Pansen vertretene Protozoenspezies sind die Flagellaten, die schon im Alter von sechs Tagen im Pansen nachweisbar sind und deren Besiedlung des Pansens ebenfalls einen irgendwie gearteten Kontakt mit adulten Tieren voraussetzt (BRYANT und SMALL 1960). Der Pansen wird in der beschriebenen Art besiedelt, wenn das Kalb ab der ersten Lebenswoche Raufutter guter Qualität erhält und Gelegenheit zur Transfaunierung hat. Ein wichtiger Aspekt im Zusammenhang mit dem Thema der mikrobiellen Besiedlung der Vormägen ist, dass die Charakteristik der Pansenflora durch den Rationstyp bestimmt wird (DIRKSEN 1981; POUNDEN und HIBBS 1948b; QUIGLEY 1997; ROY 1980; STOBO et al. 1966b). Wie Heu und Kraftfutter die Zusammensetzung der Pansenflora und somit die Endprodukte der mikrobiellen Fermentation beeinflussen, wurde bereits untersucht (QUIGLEY 1997; ROY 1980). Ein hoher Pansen-pH-Wert führt zur Präsenz von Heu assoziierten Bakterien. Dies bewirkt eine Verschiebung des Fettsäurespektrums, wobei der Anteil an Butyrat und Propionat geringer wird und der Acetatanteil steigt (HEINRICHS 2005; HIBBS et al. 1956;

POUNDEN und HIBBS 1948b; STOBO et al. 1966b). Durch die Aufnahme von Kraftfutter verändert sich die Zusammensetzung der Pansenflora. Es kommt zu einer vermehrten Produktion der Fettsäuren Propionat und Butyrat auf Kosten von Acetat (POUNDEN und HIBBS 1948b; STOBO et al. 1966b; SUÁREZ 2006).

2.3.2 Absorption des Pansenepithels

Vor Ende der Milchfütterungsperiode garantiert ein gut entwickelter Pansen, dass die Endprodukte der Fermentation, und zwar insbesondere die kurzkettigen Fettsäuren, gut absorbiert und effizient genutzt werden können (CHURCH 1988; DAVIS und DRACKLEY 1998; QUIGLEY 2001c; SUTTON et al. 1963a; VAN ACKEREN 2007; VAN SOEST 1994; WARNER et al. 1956).

Dem erwachsenen Wiederkäuer ist es möglich, große Mengen der im Pansen gebildeten kurzkettigen Fettsäuren zu absorbieren. Zum Zeitpunkt der Geburt ist dies allerdings noch nicht der Fall (QUIGLEY 2001c; SUTTON et al. 1963a). Die Erklärung dafür liegt in der Tatsache, dass beim älteren Wiederkäuer ein positiver Einfluss auf das Absorptionsvermögen durch viele gut entwickelte und mit Blut- und Lymphgefäßen versorgte Zotten ermöglicht wird, die die absorptive Oberfläche des Pansens darstellen (McGILLIARD et al. 1965; QUIGLEY 2001c; VAN ACKEREN 2007), während die Zotten beim Kalb noch kaum entwickelt sind (QUIGLEY 2001c). Entscheidend für die Entwicklung der Pansenschleimhaut und der Zotten und somit auch für die Absorptionsbereitschaft ist die Art der Rationsgestaltung (BROWNLEE 1956; KÖNIG und LIEBICH 2005; LESMEISTER 2003; QUIGLEY 2001c; SCHWARZ 2008; SUÁREZ 2006; SUTTON et al. 1963a; TAMATE et al. 1962; ZITNAN et al. 1998). So führt Kraftfutter verglichen mit Raufutter zu einer besseren Entwicklung des Pansenepithels (BROWNLEE 1956; HEINRICHS 2005; STOBO et al. 1966a; STOBO et al. 1966b; ZITNAN et al. 1998). Mit reiner Milchrations gefütterte Kälber waren im Alter von einer Woche nahezu unfähig, kurzkettige Fettsäuren aus dem Pansen aufzunehmen (GIESECKE und HENDERICKX 1973; SUTTON et al. 1963a). Ähnliche Beobachtungen machten die genannten Autoren für mehrere Wochen alte ausschließlich mit Milch ernährte Kälber. Wenn im Pansen vermehrt Gärungsprozesse ablaufen, wachsen der Pansen und insbesondere dessen innere Oberfläche stark. Die Zotten entwickeln sich innerhalb dieser Zeit enorm (TAMATE et al. 1962).

Trotz des positiven Einflusses von Kraftfutter auf die Epithelentwicklung darf die Gefahr einer Parakeratose nicht übersehen werden. Denn die bei einer Parakeratose entstehende Keratinschicht stellt eine Barriere für die Aufnahme von Nährstoffen dar. Die absorbierende Oberfläche des Epithels verkleinert sich somit und es können weniger kurzkettige Fettsäuren absorbiert werden (QUIGLEY 2000). Aufgrund einer höheren mechanischen Reizung empfehlen einige Autoren deshalb dringend, Heu in die Ration von Saugkälbern zu

integrieren, um die Gesundheit des Pansenepithels aufrecht zu erhalten (HEINRICHS 2005; QUIGLEY 2001a; SCHWARZ 2008; VAN ACKEREN 2007).

2.4 Die Vormagenentwicklung unter Einfluss verschiedener Futterrationen

2.4.1 Einfluss verschiedener Futterrationen auf die Volumenentwicklung der Vormägen

KEUSENHOFF und PIATKOWSKI (1984) beschrieben, dass die Volumenentwicklung der Vormägen während der ersten drei Lebensmonate in enger Beziehung zur Futteraufnahme steht. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch andere Autoren (MARTENS 2005). Bei Kälbern, die nur Milch erhielten, waren nur geringe Anstiege des Volumens aller drei Vormägen im Verhältnis zur Lebendmasse zu verzeichnen, die Organe wuchsen nur proportional zur Lebendmasse (BLAXTER et al. 1952; FLATT et al. 1958; STOBO et al. 1966a; TAMATE et al. 1962; WARNER et al. 1956). Mit Kraftfutter gefütterte Kälber zeigten dagegen eine signifikante Veränderung des Volumens von Reticulorumen und Omasum im Verhältnis zur Lebendmasse, die bereits im Alter von vier Wochen sichtbar war (WARNER et al. 1956). Auch bei Kälbern, die mit Milch und Heu gefüttert wurden, wurde eine deutliche Erhöhung des Volumens der Vormägen beobachtet (BLAXTER et al. 1952). Dass die zusätzliche Gabe von Heu und Kraftfutter sich weitaus positiver auf die Volumenentwicklung der Vormägen auswirkt als eine reine Milchfütterung, heben auch andere Autoren hervor (STOBO et al. 1966a; TAMATE et al. 1962). TAMATE et al. (1962) fanden bei ausschließlich mit Milch gefütterten Kälbern bis zum Alter von 12 Wochen nur geringe Steigerungen des Volumens des Reticulorumens, während sie bei Kälbern, die zusätzlich zur Milch Heu und Kraftfutter ad libitum erhielten, größere Veränderungen beobachten konnten. Den größten Einfluss auf die Volumenentwicklung des Pansens hat laut HEINRICHS (2005) und LESMEISTER (2003) die physikalische Beschaffenheit des Futters. Während die Fütterung von Kraftfutter der Epithelentwicklung zugute kommt, scheint bezüglich der Volumenentwicklung dem Raufutter die Rolle des primären Stimulus zuzukommen (STOBO et al. 1966a). Dies ist auf dessen Partikelgröße und hohen Fasergehalt zurückzuführen (VAZQUEZ-ANON et al. 1993).

2.4.2 Einfluss verschiedener Futterrationen auf das Gewebegewicht der Vormägen

Eine Erhöhung des Volumens der Vormägen bringt laut BLAXTER et al. (1952) nicht unbedingt eine Steigerung des Gewebegewichts mit sich. So beobachteten diese Autoren bei mit Milch und Heu gefütterten Kälbern zwar eine deutliche Erhöhung des Vormagenvolumens, das Gewebegewicht der Vormägen stieg jedoch nicht an. Es gibt dennoch Hinweise darauf, dass sich die zusätzliche Gabe von Heu und Kraftfutter im

Vergleich zu einer reinen Milchfütterung sowohl auf das Volumen als auch auf das Gewebegewicht der Vormägen positiv auswirkt. TAMATE et al. (1962) fanden bei mit Milch, Heu und Getreide gefütterten Kälbern bereits nach vier Lebenswochen eine beträchtliche Erhöhung der Vormagengewichte im Verhältnis zur Lebendmasse, während diese bei ausschließlich mit Milch gefütterten Kälbern nur gering ausfiel. Bei einer Fütterung mit Milch, Heu und Krafffutter war das Gewebegewicht des Reticulorumens sogar dreimal so hoch wie bei einer reinen Milchfütterung (TAMATE et al. 1962). Auch SUÁREZ (2006) kam zu dem Ergebnis, dass Kälber, die zusätzlich zur Milch Krafffutter erhielten, ein schwereres Pansengewebe aufwiesen als ausschließlich mit Milch gefütterte Kälber. Eine Studie über den Einfluss der Futterpartikelgröße auf die Vormagenentwicklung ergab, dass sich die Partikelgröße nicht auf das Gewicht und Leergewicht des Reticulorumens, jedoch auf Gewicht und Leergewicht des Omasums auswirkt. So wiesen diejenigen Kälber, die gemahlene Futter (25 % Heu und 75 % Krafffutter) erhielten, ein höheres Gewebegewicht des Omasums auf als diejenigen Kälber, die ungemahlene Futter erhielten (BEHARKA et al. 1998).

2.4.3 Einfluss verschiedener Futterrationen auf die Entwicklung der Pansenmuskulatur

Ebenso wie das Pansenvolumen und die Wanddicke des Pansens unterliegt auch die Entwicklung der Pansenmuskulatur dem Einfluss der Fütterung. So fanden NOCEK und KESLER (1980) bei mit Heu gefütterten Bullenkälbern eine erheblich stärker ausgebildete Muskulatur als bei Kälbern, die mit Konzentrat gefüttert wurden. Auch andere Autoren sehen im Raufutter einen bedeutenden Faktor bezüglich der Entwicklung der Pansenmuskulatur (QUIGLEY 2001a; SCHWARZ 2008; TAMATE et al. 1962). Dies legt einen Einfluss der Partikelgröße auf die Muskelentwicklung nahe. Raufutter erhöht durch seine Partikelgröße und seinen hohen Fasergehalt die Pansenmotilität und führt somit zu einer verstärkten Entwicklung der Muskulatur (VAZQUEZ-ANON et al. 1993). Auch andere Futtermittel können die Entwicklung der Muskulatur positiv beeinflussen. Grobes oder mäßig grob zerkleinertes Krafffutter hat einen größeren Einfluss auf die Entwicklung der Vormagenmuskulatur als sehr fein gemahlene oder pelletierte Krafffutter (BEHARKA et al. 1998; GREENWOOD et al. 1997).

2.4.4 Einfluss verschiedener Futterrationen auf die morphologische Entwicklung des Pansenepithels

Ein zentrales Kennzeichen für die Stoffwechselbereitschaft des Pansens sind die Zotten (SCHWARZ 2008). Das Wachstum und die Entwicklung der Pansenzotten bilden die Voraussetzung für die Absorption und Verwertung der Endprodukte der mikrobiellen

Fermentationsprozesse, insbesondere der kurzkettigen Fettsäuren (CHURCH 1988; SUTTON et al. 1963a; VAN SOEST 1994; WARNER et al. 1956). Die Zottenentwicklung wurde erstmals von BROWNLEE (1956) als Kriterium zur Beurteilung der Vormagenentwicklung herangezogen. Die meisten Autoren ziehen die Entwicklung der Pansenzotten anderen Kriterien wie zum Beispiel der Ausprägung der verschiedenen Gewebeschichten vor (FLATT et al. 1958; HARRISON et al. 1960; SANDER et al. 1959). BROWNLEE (1956) kam zu dem Schluss, dass die Entwicklung der Zotten keineswegs vorbestimmt ist, sondern vielmehr vom Energiewert des Futters oder von der Fermentationsgeschwindigkeit der Komponenten abhängt. Bei Kälbern, die bereits kurze Zeit nach der Geburt von einer reinen Milchration auf eine gemischte Milch-/Raufutterration bzw. Milch-/Krafftutterration umgestellt wurden, setzt die Entwicklung der Zotten frühzeitig ein. Während bei ausschließlich mit Milch gefütterten Kälbern im Alter von 12 Wochen keine Zottenentwicklung beobachtet werden konnte, wiesen die Zotten bei mit Milch und Heu gefütterten Kälbern eine Länge von 0,5 cm und bei mit Milch und Krafftutter gefütterten Kälbern von 0,8 cm auf. TAMATE et al. (1962) fanden bei 8 Wochen alten Kälbern, die zusätzlich zur Milch Heu und Krafftutter erhielten, etwa fünfmal so lange Zotten wie bei 4-12 Wochen alten Kälbern, die ausschließlich Milch tranken. WARNER et al. (1956) konnten zeigen, dass sich bei mit Milch gefütterten Kälbern die Zottenlänge bis zur 16. Lebenswoche nicht nennenswert veränderte, während bei mit Milch, Krafftutter und Heu gefütterten Kälbern bereits nach 4 Wochen Veränderungen beobachtbar waren, die mit 7 Wochen evident waren. Untersuchungen über die Zottenentwicklung bei früh bzw. spät von der Milchmahlzeit entwöhnten Kälbern zeigen, dass die früh entwöhnten Tiere infolge einer höheren Aufnahme von Krafftutter und Heu bzw. Krafftutter und Maissilage besser entwickelte Zotten aufweisen (ZITNAN et al. 1998; ZITNAN et al. 2005). Die verschiedenen Endprodukte der Fermentation, vor allem die kurzkettigen Fettsäuren Acetat, Propionat und Butyrat, stimulieren die Zottenentwicklung und die Stoffwechselaktivität in der Pansenwand (BALDWIN und McLEOD 2000; BROWNLEE 1956; DAVIS und DRACKLEY 1998; FLATT et al. 1958; GREENWOOD et al. 1997; HEINRICHS 2005; NOCEK et al. 1984; SANDER et al. 1959; SUTTON et al. 1963a; WARNER et al. 1956), jedoch unterscheiden sich die stimulierenden Eigenschaften der verschiedenen Fettsäuren erheblich. Butyrat gilt als diejenige Fettsäure, von der der größte stimulierende Effekt ausgeht, gefolgt vom Propionat (FLATT et al. 1958; HARRISON et al. 1960; HEINRICHS 2005; MENTSCHHEL et al. 2001; McGILLIARD et al. 1965; SANDER et al. 1959; SCHWARZ 2008; STOBO et al. 1966a; SUTTON et al. 1963a; SUTTON et al. 1963b). BALDWIN und McLEOD (2000) beobachteten, dass Butyrat und Propionat die vom Pansenepithel am leichtesten absorbierten Fettsäuren darstellen, insbesondere dann, wenn sie in physiologischen Konzentrationen vorliegen. Es scheint, dass eine niedrige Acetyl CoA Produktion die

Stoffwechselaktivität von Acetat einschränkt. Dadurch kann Acetat die Entwicklung des Pansenepithels nur eingeschränkt stimulieren (ASH und BAIRD 1973; HARMON et al. 1991). Bei Verfütterung von Krafffutter passt sich die Mikroflora des Pansens entsprechend an und es werden verstärkt Propionat und Butyrat produziert (HIBBS et al. 1956; POUNDEN und HIBBS 1948a; POUNDEN und HIBBS 1948b; STOBO et al. 1966b). Demgegenüber werden die strukturierten Kohlenhydrate des Raufutters überwiegend zu Acetat fermentiert, welches die Pansenentwicklung in geringerem Maße stimuliert als Propionat und Butyrat (HIBBS et al. 1956; QUIGLEY 1997). Ein bemerkenswerter Unterschied zwischen den Effekten der verschiedenen Futtermittel auf die Dichte der Pansenzotten wurde nur selten erwähnt (KLEIN et al. 1987; LESMEISTER 2003; NOCEK et al. 1984; ZITNAN et al. 1998; ZITNAN et al. 1999).

Neben der Frage, inwieweit Krafffutter, Raufutter oder eine Kombination aus beidem die Pansenentwicklung fördert, interessiert vor allem die Frage, ob die Art der Verarbeitung der verschiedenen im Krafffutter enthaltenen Komponenten einen Einfluss auf die Pansenentwicklung hat (QUIGLEY 1997). LESMEISTER und HEINRICHS (2004) kamen zu dem Ergebnis, dass Unterschiede in der Vorbehandlung von Mais eine unterschiedliche Zottenentwicklung bedingen. So waren die Zotten bei Kälbern, die Mais in Flocken erhielten, am längsten. Die kürzesten Zotten wiesen Kälber auf, die trocken gewalzten Mais aufnahmen. KHAN et al. (2008) konnten in einer Studie zeigen, dass unterschiedliche Stärkequellen zu einer unterschiedlichen Pansenentwicklung führen. So wiesen Kälber, die Krafffutter auf Mais- oder Weizenbasis erhielten, höhere Konzentrationen der kurzkettigen Fettsäuren Acetat, Propionat und Butyrat in Pansensaft, sowie einen schwereren und besser entwickelten Pansen mit längeren Pansenzotten auf. Obwohl sich Krafffutter aufgrund seiner Energiedichte positiv auf die Entwicklung des Kalbes auswirkt (QUIGLEY 2001b; SCHWARZ 2008), bedingt eine übermäßige Fütterung von Getreide bei gleichzeitigem Mangel an Rohfaser in der Ration eine Übersäuerung des Panseninhaltes mit einer geringeren Abreibungswirkung des Futters aufgrund der geringen Partikelgröße, wodurch das Auftreten einer Parakeratose an der kutanen Schleimhaut des Pansens begünstigt wird (BEHARKA et al. 1998; BULL et al. 1965; GREENWOOD et al. 1997; HEINRICHS 2005; LESMEISTER 2003; McGAVIN und MORRILL 1976). Es kommt in diesem Zusammenhang zu einer übermäßigen und gestörten Keratinisierung des Pansenepithels. Es entstehen Plaques (von einer klebrigen Schicht aus Zelldebris, Futterbrei und Haaren bedeckte Stellen der Pansenschleimhaut) und die degenerierten Zotten verklumpen oder verschorfen (ANDERSON et al. 1982; BEHARKA et al. 1998; BROWNLEE 1956; BULL et al. 1965; HINDERS und OWEN 1965; McGAVIN und MORRILL 1976; NOCEK et al. 1984; NOLLER et al. 1962; SUÁREZ 2006; VAN ACKEREN 2007). Die Alterationen bedingen einen verringerten Blutfluss in der Pansenwand und verringern die zur Absorption befähigte

Oberfläche (BEHARKA et al. 1998; HEINRICHS 2005; QUIGLEY 2000). Dagegen sorgt ein Angebot von Heu in der Ration für die Entfernung der Keratinschicht, bedingt eine erhöhte Wiederkauaktivität und Pansenmotilität und steigert den Speichelfluss, was der Pufferung des Panseninhalts zugute kommt (HEINRICHS 2005).

2.4.5 Einfluss verschiedener Futterrationen auf die Histologie des Pansenepithels

Neben dem Einfluss verschiedener Futtermittel auf die morphologische Entwicklung des Pansenepithels berichten verschiedene Autoren von Unterschieden in der Histologie des Pansenepithels unter dem Einfluss verschiedener Fütterungsregime. So kamen TAMATE et al. (1963) zu dem Ergebnis, dass das Stratum corneum im Pansen von Kälbern, die ausschließlich mit Milch gefüttert wurden, während der ersten 4 Wochen nur sehr dünn oder gar nicht erkennbar ist und auch nach den ersten 12 Wochen nur sehr geringe Veränderungen festgestellt werden. Zum Zeitpunkt der Geburt betrug die Dicke des Stratum corneum 10,9 µm, nach 12 Wochen durchschnittlich 11,8 µm. Nach 4 Wochen war der Unterschied bezüglich der Dicke verschiedener Epithelschichten zwischen Kälbern, die ausschließlich Milch erhielten und Kälbern, die Milch, Heu und Krafffutter erhielten, relativ klein. Allerdings waren Stratum corneum und Stratum granulosum bei den Kälbern, die mit Milch, Heu und Krafffutter gefüttert wurden, deutlich abgrenzbar, während diese Schichten bei den nur mit Milch gefütterten Kälbern kaum erkennbar waren. Nach 8-12 Wochen verdoppelt sich TAMATE et al. (1963) zufolge bei den mit Milch, Heu und Krafffutter gefütterten Kälbern die Dicke des Stratum corneums gegenüber dem Alter von 4 Wochen. LESMEISTER (2003) untersuchte in einer Studie den Einfluss verschiedener Arten der Verarbeitung von im Krafffutter enthaltenem Mais auf die Entwicklung des Epithels. Er kam zu dem Ergebnis, dass sich die Art der Maisverarbeitung signifikant auf die Dicke der Pansenwand auswirkte. So wiesen Kälber, die flockierten Mais erhielten, eine dickere Pansenwand auf als Kälber, denen Mais ganz oder in trocken gewalzter Form angeboten wurde. SUÁREZ (2006) untersuchte das Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge und fand heraus, dass Kälber, die getrocknetes Gras als zusätzliche Raufutterquelle erhielten, ein höheres Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge aufwiesen als Kälber, die entweder Stroh oder Maissilage aufnahmen. Diese Unterschiede wurden allerdings nur für den dorsalen, nicht jedoch für den ventralen Teil des Pansens festgestellt (SUÁREZ 2006).

3 Material und Methode

3.1 Tiere und Unterbringung

Insgesamt 21 männliche Kälber und 1 weibliches Kalb der Rasse Deutsch Schwarzbunt X Holstein-Frisian wurden in die Untersuchungen einbezogen. Diese Tiere stammten aus zwei brandenburgischen Milchviehbetrieben. Sie wurden nach Ablauf der Kolostralperiode (im Alter von 3-4 Tagen) im Jungtierstall der Klinik für Klautiere der Freien Universität Berlin untergebracht. Für den Transport der Tiere lag eine Genehmigung der zuständigen Veterinärbehörde des Herkunftsbetriebes vor. Die Tiere wurden im vollklimatisierten Jungtierstall der Klinik für Klautiere der Freien Universität Berlin einzeln in gemauerten und gefliesten Boxen mit gegenseitigem Sichtkontakt auf Sägespänen bei einer Temperatur von 18°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 40 % gehalten und zufällig auf fünf verschiedene Fütterungsgruppen verteilt.

3.2 Fütterung

Innerhalb der ersten drei bzw. vier Lebenstage erhielten die Kälber im Herkunftsbetrieb Kolostrum. Bei der Ankunft im Jungtierstall wurde den Kälbern einmalig eine Elektrolyt-Diättränke (Lytafit, Albrecht, Aulendorf) zur freiwilligen Aufnahme angeboten. Ab dem vierten bzw. fünften Tag erhielten alle Tiere Milchaustauscher (Denkamilk, Fa. Denkavit, Warendorf) in einem an der Box aufgehängten Nuckeleimer. Die genaue Zusammensetzung des Milchaustauschers ist aus Tabelle 2 ersichtlich. Die Tränkemenge und die Konzentration des Milchaustauschers entsprachen den Vorschriften des Herstellers und sind in Tabelle 5 angegeben. Die Milchaustauscherfütterung fand je nach Anzahl der Fütterungen pro Tag um 08.00 Uhr bzw. um 08.00 Uhr und um 20.00 Uhr statt. Während der ersten 10 Tage der Milchaustauscherfütterung wurde dem Milchaustauscher jeweils 10 g Denkamix Vitalcure (Fa. Denkavit, Warendorf), ein Gemisch aus Vitaminen, Mineralien und Spurenelementen, zugefügt (Tabelle 3).

Nach der morgendlichen Milchfütterung erhielten die Kälber Rau- bzw. Kraftfutter. Dieses wurde ad libitum in Trögen angeboten. Um die Frische des Futters zu gewährleisten, wurde am Nachmittag ein zweites Mal Futter angeboten. Um die pro Tag gefressene Futtermenge zu errechnen, wurde die Restmenge der Futtermittel am jeweils folgenden Morgen gewogen. Bei der Fütterung wurde zwischen fünf Gruppen unterschieden:

- H Gehäckselttes Heu
KF Pelletierter Kälberstarter
KFH Gehäckselttes Heu und pelletierter Kälberstarter, separat angeboten
KFMS Pelletierter Kälberstarter und Maissilage mit 5 % Strohanteil, separat angeboten
MS Maissilage mit 5 % Strohanteil

Die Zusammensetzung des Kälberstarters nach Angaben des Herstellers (ForFarmers, Lochem, NL) kann der Tabelle 6 entnommen werden. Die Zusammensetzung von Kälberstarter, Heu, Stroh und Maissilage nach eigenen Analysen ist in Tabelle 7 wiedergegeben. Der Strohanteil wurde der Maissilage per Hand beigemischt.

Den Tieren wurden ab dem 4. bzw. 5. Lebenstag zwei Wochen lang täglich um die Mittagszeit 1,5 l lauwarmes Wasser mit Denkamix Hydrofort (Denkavit, Warendorf, Tabelle 4), einer Mischung aus Elektrolyten und assimilierbaren Zuckern (je 25 g/l nach den Vorschriften des Herstellers), in einem an der Box aufgehängten Nuckeleimer dargereicht. Nach Ende der Denkamix Hydrofort-Fütterung erhielten die Kälber täglich um ca. 09.00 Uhr ad libitum Wasser, welches ebenfalls in einem an der Box aufgehängten Eimer angeboten wurde. Bei Bedarf wurde nachmittags ca. um 17.00 Uhr noch einmal Wasser angeboten. Das Volumen der aufgenommenen Wassermenge wurde täglich bestimmt.

Tab. 2: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe des Milchaustauschers Denkamilk (Deklaration der Fa. Denkavit, Warendorf, D)

Zusammensetzung	Inhaltsstoffe		Mineralien und Zusatzstoffe	
Molkenpulver	Rohprotein (%)	21,2	Calcium (%)	0,8
Pflanzenöl	Rohfett (%)	17,0	Phosphor (%)	0,7
Weizengluten	Rohfaser (%)	0,0	Magnesium (%)	0,2
Weizenstärke	Rohasche (%)	8,7	Kupfer (mg/kg)	10,0
Weizenfuttermehl	Feuchtigkeit (%)	2,7	Vitamin A (IE/kg)	45000
Kalziumkarbonat	Kohlenhydrate ges. (%)	50,4	Vitamin D3 (IE/kg)	4010
Magnesiumoxid	Laktose (%)	41,4	Vitamin E (mg/kg)	150
	Lysin (%)	1,7	Vitamin K3 (mg/kg)	1,4
	Meth. / Cyst. (%)	0,9		
	Threonin (%)	1,2		
	Tryptophan (%)	0,3		
	ME (MJ/kg)	18,0 (15,0*)		

* nach eigenen Berechnungen (Methode siehe S. 20)

Tab. 3: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe von Denkamix Vitalcure (Deklaration der Fa. Denkavit, Warendorf, D)

Zusammensetzung	
Mineralstoffe (%)	13,6
Erzeugnisse und Nebenerzeugnisse aus der Verarbeitung von Getreidekörnern (%)	71,1
Zusatzstoffe (%)	12,7
Inhaltsstoffe	
Rohprotein (%)	3,0
Rohfett (%)	0,3
Rohfaser (%)	0,0
Rohasche (%)	18,2
Feuchtigkeit (%)	6,3
Stickstofffreie Extraktstoffe (%)	72,0
Calcium (%)	3,75
Phosphor (%)	0,06
Magnesium (%)	0,12
Natrium (%)	1,99
Kalium (%)	0,19
Kupfer (mg/kg)	251
Eisen (mg/kg)	5010
Zink (mg/kg)	5040
Vitamin A (IE/kg)	245800
Vitamin D3 (IE/kg)	15000
Vitamin E (mg/kg)	15000
Vitamin K3 (mg/kg)	108
B-Vitamine	+

Tab. 4: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe von Denkamix Hydrofort (Deklaration der Fa. Denkavit, Warendorf, D)

Zusammensetzung		Inhaltsstoffe	
Mineralstoffe (%)	22,0	Rohprotein (%)	0,0
Erzeugnisse und Nebenerzeugnisse aus der Verarbeitung von Getreidekörnern (%)	62,8	Rohfett (%)	0,0
Zusatzstoffe (%)	15,2	Rohfaser (%)	0,0
		Rohasche (%)	29,4
		Feuchtigkeit (%)	6,6
		Stickstofffreie Extraktstoffe (%)	64,0
		Natrium (%)	9,7
		Kalium (%)	2,5
		Chlorid (%)	13,2
		Natriumcitrat	+

Tab. 5: Tränkemenge und Konzentration des Milchaustauschers (Denkamilk, Fa. Denkavit, Warendorf, D)

Alter des Kalbes	Milchaustauschermenge (l) Konzentration: 125 g/l	Fütterungen/Tag
Tag 4-7	2,0	2
2. Woche	2,25	2
3. Woche	2,5	2
4.-6. Woche	3	2
7. Woche	2,5	2
8. Woche	4	1
9. Woche	3	1
10. Woche	2	1

Tab. 6: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe des pelletierten Kälberstarters Super Kälberstartkorn nach Angaben des Herstellers (Fa. ForFarmers, Lochem, NL)

Zusammensetzung (%)	Inhaltsstoffe		
Mais	25,00	Rohprotein %	17,64
Sojabohnenschalen	15,00	Rohfett %	4,22
Sojaextraktionsschrot MervoBest	10,00	Rohfaser %	11,62
Melasse-Zuckerrohr	10,00	Rohasche %	7,10
Luzernegrünmehl	10,00	Calcium g/kg	7,98
Weizengrießkleie	7,80	Phosphor g/kg	5,5
Rapsexpeller	6,30	Kupfer / Kupfer-II-sulfat mg/kg	12,50
Weizen	4,40	Natrium g/kg	3,51
Rapsextraktionsschrot	3,70	Kalium g/kg	14,74
Sojaextraktionsschrot	2,50	Magnesium %	0,21
Leinsamen	2,50	Vitamin A IE/kg	12500,00
Mineralstoffe	2,40	Vitamin D3 IE/kg	2700,00
Pflanzliches Öl	0,40	Vitamin E mg/kg	15,00

Tab. 7: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe der Futtermittel Krafffutter (Fa. ForFarmers, Lochem, NL), Heu, Stroh und Maissilage nach eigenen Analysen

		Krafffutter	Heu	Stroh	Maissilage
Trockensubstanz	g/kg	889	928	946	307
Rohprotein	g/kg TS	203	143	37,6	87,0
Rohfett	g/kg TS	42,4	15,1	2,80	26,5
Rohfaser	g/kg TS	128	298	439	195
Rohasche	g/kg TS	83,1	109	54,0	37,7
Stärke	g/kg TS	157	2,2	3,0	274
Calcium	g/kg TS	10,3	5,12	2,81	2,16
Phosphor	g/kg TS	6,73	3,49	1,02	2,92
Natrium	g/kg TS	4,65	1,25	0,60	0,32
Kalium	g/kg TS	17,1	30,7	10,3	12,9
Zink	mg/kg TS	114	44,1	13,3	160
Kupfer	mg/kg TS	23,9	7,58	6,72	10,1
Eisen	mg/kg TS	115	294	125	66,7
Magnesium	g/kg TS	3,18	1,38	0,87	1,52
NfE	g/kg TS	544	435	466,6	654
ME	MJ/kg TS	11,5	8,6	7,0	10,7

3.3 Probenentnahme und Untersuchungen

3.3.1 Bestimmung der körperlichen Entwicklung

Erstmalig bei der Ankunft und im Folgenden wöchentlich um 11.00 Uhr wurden Lebendmasse per Wägung sowie Brustumfang und Widerristhöhe mit Hilfe eines Maßbandes (Animeter, Maßband zur Gewichtsbestimmung bei Rindern und Schweinen) bestimmt.

3.3.2 Klinische Untersuchung

Die tägliche Allgemeinuntersuchung beinhaltete neben der Beurteilung der Haltung und des Verhaltens die Atemfrequenz, Herzfrequenz, Körpertemperatur und Kotbeurteilung. Der Kot wurde sensorisch nach Geruch, Konsistenz und Farbe beurteilt.

3.3.3 Futtermittelproben und -analyse

Einmalig zu Beginn der Studie wurden die Futtermittel am Institut für Tierernährung der Freien Universität Berlin bezüglich der Parameter Trockensubstanz, Rohfaser, Rohasche, Rohprotein, Rohfett, Stärke, Phosphor und Mineralstoffe (Zink, Kupfer, Eisen, Magnesium,

Calcium, Natrium und Kalium) analysiert. Zusätzlich wurden einmal pro Monat Proben aller Futtermittel (Krafftutter, Heu, Maissilage und Stroh) entnommen und auf ihren Trockensubstanzgehalt analysiert. Die Parameter Trockensubstanz, Rohfaser, Rohasche, Rohprotein und Rohfett wurden mittels Weender Analyse bestimmt. Der Gehalt an Mineralstoffen wurde mittels Atomabsorptionsspektralphotometrie (AAS) und der Phosphorgehalt photometrisch nach den Vorgaben des VDLUFA-Methodenbuchs analysiert (NAUMANN und BASLER 1993). Der Stärkegehalt wurde mittels eines kommerziellen UV-Test-Kits (Fa. Boehringer, Mannheim, Deutschland) bestimmt.

Zusätzlich wurde die ME (MJ/kg TS) der Futtermittel auf der Basis der bei der Futteranalyse ermittelten Futterinhaltsstoffe nach folgender Formel zur Berechnung des ME-Gehalts von Futtermitteln für Wiederkäuer bestimmt (KAMPHUES et al. 2009):

$$\text{ME (MJ/kg TS)} = 0,0147 \text{ vRp} + 0,0312 \text{ vRfe} + 0,0136 \text{ vRfa} + 0,047 \text{ vNfE} + 0,00234 \text{ Rp}$$

(vRp = verdauliches Rohprotein; vRfe = verdauliches Rohfett; vRfa = verdauliche Rohfaser; vNfE = verdauliche N-freie Extraktstoffe; Rp = Rohprotein)

Zur Bestimmung des verdaulichen Anteils von Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und N-freien Extraktstoffen wurde zunächst die Verdaulichkeit der Originalsubstanz (voS) von Futtermitteln beim Rind nach folgender Schätzformel bestimmt (KAMPHUES et al. 2009):

$$\text{voS (\%)} = 90 - 0,88 \cdot \text{Rfa-Gehalt in \% der Futter-TS}$$

Im Folgenden wurde angenommen, dass die Verdaulichkeit der Originalsubstanz (% voS) mit der Verdaulichkeit der einzelnen Futterinhaltsstoffe gleichzusetzen ist und es wurden somit die für die ME-Bestimmung benötigten Größen vRp, vRfe, vRfa und vNfE nach folgender Formel bestimmt:

$$\text{vRp} = \text{Rp} \cdot 0,01 \cdot \text{voS}$$

$$\text{vRfe} = \text{Rfe} \cdot 0,01 \cdot \text{voS}$$

$$\text{vRfa} = \text{Rfa} \cdot 0,01 \cdot \text{voS}$$

$$\text{vNfE} = \text{NfE} \cdot 0,01 \cdot \text{voS}$$

3.3.4 Blutprobenentnahme und -analyse

Bei der Einstellung und anschließend einmal wöchentlich um 11.00 Uhr, also drei Stunden nach der Milchfütterung, wurden Blutproben zwecks Überprüfung des Gesundheitszustandes und Untersuchung des Einflusses der verschiedenen Futterrationen auf die Blutparameter gewonnen. Das Blut wurde aus der Vena jugularis entnommen. Dazu dienten Lithium-Heparin-Monovetten (Kabevetten, 2,3 ml; Fa. KABE Labortechnik, Nümbrecht-Elsenroth, D) zur Blutgasanalyse, Serumröhrchen (8,5 ml, 16 x 100 mm, Fa. BD Vacutainer) für die Bestimmung der biochemischen Blutparameter und Kalium-EDTA-Röhrchen (4 ml, 13 x 75 mm; Fa. BD Vacutainer) zur Bestimmung der hämatologischen Parameter. Die Proben wurden sofort in Eiswasser (4-10°C) gelegt und innerhalb von zwei Stunden nach der Entnahme bestimmt. Eine tabellarische Auflistung der Blutparameter und deren Analysemethoden sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tab. 8: Liste der untersuchten Blutparameter und der verwendeten Analytik

Parameter	Methode und Geräte
Ery Leu Thr	Impedanz-Methode, automatisches Blutzell-Zählgerät, Vet abc, Scil Animal Care Company, Viernheim, D
Hb	Spektralphotometrie
Hkt MCV MCH MCHC	rechnerisch ermittelt
Gluc Lac NH ₃ Bili Hst TP Alb AST CK GLDH GGT βHBS Na K Cl P	Automatisches Analysengerät, Cobas Mira Plus, Hoffmann La Roche, Basel, CH
Ca Mg	Flammenabsorptionsspektralphotometer, Solar M6, Thermo Electron, Dreieich, D
pH pCO ₂ pO ₂ sO ₂ HCO ₃ BE	Blutgasanalysator, ABL5, Radiometer Copenhagen, DK

Blutgasuntersuchung

Die Blutgasanalyse im venösen Blut erfolgte im Labor der Klinik für Klauentiere der Freien Universität Berlin mittels des automatischen Blutgasanalysestystems ABL5 der Firma Radiometer Copenhagen (DK) nach Korrektur auf die aktuelle Rektaltemperatur des jeweiligen Probanden.

Hämatologische Blutparameter

Die Bestimmung des roten und weißen Blutbildes (kleines Blutbild) erfolgte mit Hilfe des scil Vet abc, Scil Animal Care Company, Viernheim, einem Analysegerät zur Bestimmung hämatologischer Parameter aus EDTA-Blutproben. Nach dem Start der Messung werden 12 µl EDTA-Blut automatisch aspiriert und gemessen. Dabei werden die korpuskulären Bestandteile Leukozyten, Erythrozyten und Thrombozyten mit der Impedanzmethode bestimmt. Die Hämoglobinkonzentration wurde mittels Spektralphotometrie (Vet abc Blutzellenanalysegerät, Fa. Scil Animal Care Company, Viernheim, D) ermittelt. Die restlichen Parameter Hämatokrit, mittleres Erythrozytenzellvolumen, mittleres korpuskuläres Hämoglobin und die mittlere zelluläre Hämoglobinkonzentration werden vom Gerät rechnerisch ermittelt.

Biochemische Blutparameter

Zur Gewinnung des Serums wurde das Vollblut in einer Hettich-Zentrifuge Universal 320R, Hettich GmbH und Co KG, Tuttlingen, D, bei 4°C und 3000 g 10 min. lang zentrifugiert. Das so gewonnene Serum wurde in Röhrchen (5 ml Polypropylen-Röhrchen, Fa. Sarstedt, Nümbrecht, D) dekantiert. Daraus wurden im automatischen Analysegerät (Cobas Mira Plus, Hoffmann La Roche, Basel, CH) folgende Parameter analysiert: Albumin (Bromcresolgrün-Methode, Testkit LT-SYS Albumin, Fa. Labor+Technik Eberhard Lehmann, Berlin, D), L-Laktat (LOX-PAP-Methode, Testkit LT-SYS Laktat, Fa. Labor+Technik Eberhard Lehmann, Berlin, D), Gesamteiweiß (Biuret-Methode, Testkit LT-SYS Gesamteiweiß, Fa. Labor+Technik Eberhard Lehmann, Berlin, D), Glukose (kinetisch enzymatischer UV-Test mit Hexokinase, Testkit LT-SYS Glucose, Fa. Labor+Technik Eberhard Lehmann, Berlin, D), Creatininkinase (IFCC-Methode, NAC-aktiviert, Testkit LT-SYS CK NAC akt., Fa. Labor+Technik Eberhard Lehmann, Berlin, D), Harnstoff (kinetisch enzymatischer UV-Test, Testkit LT-SYS Harnstoff, Fa. Labor+Technik Eberhard Lehmann, Berlin, D), Betahydroxybutyrat (kinetisch enzymatischer UV-Test, Testkit Ranbut, Fa. RANDOX, Crumlin, UK), Aspartat-Aminotransferase, Bilirubin (nach Jendrassik & Grof, Testkit LT-SYS Bilirubin, Fa. Labor+Technik Eberhard Lehmann, Berlin, D), Glutamat-Dehydrogenase (opt. DGKC, Testkit LT-SYS GLDH, Fa. Labor+Technik Eberhard Lehmann, Berlin, D), Gamma-Glutamyl-Transferase (Szasz, Testkit LT-SYS Gamma-GT, Fa. Labor+Technik Eberhard

Lehmann, Berlin, D), Ammoniak (kinetisch enzymatischer UV-Test, Testkit LT-SYS Ammoniak, Fa. Labor+Technik Eberhard Lehmann, Berlin, D), anorganisches Phosphat (photometrische Bestimmung, Testkit LT-SYS Phosphat, Fa. Labor+Technik Eberhard Lehmann, Berlin, D), Chlorid, Kalium und Natrium (mittels ionensensitiver Elektrode). Die Bestimmung des Kalzium- und Magnesiumgehaltes im Serum erfolgte mittels Flammenabsorptionsspektralphotometrie (Thermo Electron, Dreieich, D).

Schlachtung und Transport

Nach zehn Wochen wurden an zwei aufeinander folgenden Tagen ab 07:30 Uhr alle zwei Stunden jeweils zwei Kälber zur gleichen Zeit zur Schlachtung in eine Schlachthalle transportiert. Der Transport erfolgte in einem PKW mit Viehanhänger und dauerte ca. 15 Minuten. Während der Schlachtung des jeweils ersten Kalbes, die ca. 40 Minuten in Anspruch nahm, verblieb das jeweils zweite Kalb im Viehanhänger.

Die Kälber wurden zunächst mittels eines Bolzenschussapparates betäubt, vorschriftsmäßig entblutet und durch einen Schnitt quer durch die Halsunterseite, in dessen Folge die Blutgefäße sowie Luft- und Speiseröhre eröffnet wurden, getötet. Danach wurden die Abdominalorgane entnommen. Die Mägen wurden anschließend vom Darm, der Dünndarm vom Dickdarm, das Reticulorumen vom Omasum und das Omasum vom Abomasum getrennt. Zuvor wurden die Übergänge zwischen den Organen ligiert, um ein Austreten von Organinhalt zu verhindern.

3.3.5 Bestimmung der Organgewichte

Nach der Schlachtung wurde das Gewicht der folgenden Organe bestimmt:

- Reticulorumen (voll und Leergewicht)
- Blättermagen (voll und Leergewicht)
- Labmagen (voll und Leergewicht)
- Dünndarm (voll und Leergewicht)
- Dickdarm (voll und Leergewicht)
- Leber

3.3.6 Pansensaftprobenentnahme und -analyse

Je 2 ml Pansensaft wurden in Eppendorfgefäßen (Fa. Sarstedt, Nümbrecht, D) aufgefangen, die in Eiswasser gelegt und innerhalb von einer halben Stunde bis zur Analyse bei -20°C tief gefroren wurden.

Der Pansensaft wurde am Institut für Tierernährung der Freien Universität Berlin bezüglich der Parameter pH-Wert, D/L-Laktat, Ammonium und kurzkettige Fettsäuren untersucht.

pH-Wert-Bestimmung

Der pH-Wert des Pansensaftes wurde unmittelbar nach dessen Entnahme und Eichung des Messgerätes mittels digitalen pH-Meters (InoLab pH Level 1, WTW, Weilheim, D) erfasst.

D/L-Laktat-Bestimmung

Die enzymatische Bestimmung des Gehaltes an D/L-Laktat erfolgte mit dem Laktat Kit der Fa. Boehringer Mannheim gemäß der Anleitung des Herstellers. Grundlage ist die photometrische Messung des Reduktionsproduktes NADH, welches aus der Redoxreaktion $D\text{-L-Laktat} + \text{NAD}^+ \leftrightarrow \text{Pyruvat} + \text{NADH}$, katalysiert durch die D-Laktat-Dehydrogenase, entsteht. Um die Rückreaktion zu minimieren, wurde Pyruvat durch Zugabe von Glutamat-Pyruvat-Transaminase laufend der Reaktion entzogen und somit das Gleichgewicht der Reaktion in Richtung Pyruvat-Bildung verschoben. Das entstandene NADH wurde photometrisch bei 365 nm gemessen und verhielt sich proportional zur Ausgangsmenge an Milchsäure.

Bestimmung des Ammoniumgehaltes

Die photometrische Messung des Ammoniumgehaltes bei 546 nm (UV/Visible Ultrospec 3300 pro, Fa. Amersham Biosciences, Piscataway, NJ, USA) erfolgte auf der Basis der Berthelot-Reaktion. Hierbei bildet sich aus Phenol und Ammoniak grün gefärbtest Indophenol. Die Konzentration des gemessenen Indophenols ist proportional zur $\text{NH}_4\text{-}$ Konzentration.

Bestimmung der kurzkettigen Fettsäuren in der Pansenflüssigkeit

Zur Bestimmung der Konzentration kurzkettiger Fettsäuren (Acetat, Propionat, Butyrat, Valeriat, Iso-Butyrat und Iso-Valeriat) wurden die aufgetauten Proben mit Oxalsäure (0,1 mol/l), Natriumazid (40 mmol/l) und Capronsäure (0,1 mmol/l) als internen Standard versetzt und homogenisiert. Die Gehalte der kurzkettigen Fettsäuren wurden mittels einer Methode nach SCHÄFER (1995) aus den Überständen nach Zentrifugation gaschromatographisch bestimmt. Dabei wurde ein Gaschromatograph mit einem Flammenionisationsdetektor der Firma Agilent 6890 (Santa-Clara, CA, USA) mit einer Kapillarsäule Innovax 30m x 530 μm x 0,1 μm der Firma Agilent verwendet. Trägergas ist Wasserstoff.

Ingestaprobenentnahme und -analyse

Zwecks Trockensubstanzbestimmung wurden Proben des Pansen-, Dünndarm- und Blinddarminhalts entnommen. Geruch, Farbe und Viskosität der Panseningesta wurden unmittelbar nach der Entnahme beurteilt. Jeweils ungefähr 40 g der Ingesta von Pansen,

Dünndarm und Blinddarm wurden in ein Plastikgefäß (Fa. Sarstedt, Nümbrecht, D) gefüllt, in Eiswasser gelegt und innerhalb einer Stunde bei -80°C bis zur Analyse tief gefroren.

Am Institut für Tierernährung der Freien Universität Berlin wurde die Trockensubstanz der Ingesta-Proben bestimmt. Dazu wurden ca. 3 g Probenmaterial eingewogen, in einen gewichtskonstanten Porzellantiegel gegeben und im Trockenschrank bei 103°C vier Stunden bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach Abkühlung auf Zimmertemperatur im Exsikkator wurde die Probe zur Bestimmung des Wasserverlustes erneut gewogen. Die Trockensubstanz wurde in g/kg ursprünglicher Substanz angegeben.

3.3.7 Gewebeprobenentnahme und -analyse

Der Pansen wurde durch einen horizontalen Schnitt entlang der linken Seite des ventralen Pansensacks geöffnet und die Ingesta wurde in eine Plastiktonne entleert. Vom kranialsten Teil des ventralen Pansensacks (linke Wand des Recessus ruminis ventralis angrenzend an die Sulcus longitudinalis sinistra) und aus dem Saccus caecus caudoventralis wurden jeweils zwei 3 cm^2 große Gewebeproben entnommen. Die Gewebeproben wurden mit Kochsalzlösung gereinigt. Für die quantitativen morphologischen Untersuchungen Zottendichte, Zottenlänge und Zottenbreite wurde eine Gewebeprobe jedes Bereiches in 0,9 % NaCl-Lösung eingelegt. Für die qualitativen morphologischen Untersuchungen und die Messung der Dicke des Stratum corneum, Stratum granulosum, Stratum basale und Stratum spinosum sowie des Verhältnisses von Mucosa- zu Serosalänge wurde die zweite Gewebeprobe jedes Bereiches in 4 % Formalin fixiert. Die Analyse der Gewebeproben fand am Institut für Anatomie der Freien Universität Berlin statt.

Messung der Dichte, Länge und Breite der Pansenzotten

Das asservierte Probenmaterial wurde nach zwei Stunden Lagerung in 0,9 % NaCl-Lösung unter Leitungswasser gereinigt und in eine Petrischale überführt. Zur Bestimmung der Länge, Breite und Dichte der Pansenzotten wurden die 3 cm^2 großen Gewebeproben mit dem Lupenmikroskop (Leica Wild M32) bei 20-facher Vergrößerung fotografiert. Die Analyse der Aufnahmen wurde mit dem Bildanalysesystem Lucia 32-G Corona, Version 4.11 (Fa. Nikon, Düsseldorf, D) durchgeführt. Durch Zählen der Zotten auf einem $14,8 \times 22,5\text{ mm}$ großen Bildausschnitt wurde die Zottendichte bestimmt. Die Länge und Breite der Zotten wurde in den beiden Bereichen des Pansens an je 25 zufällig gewählten Zotten ermittelt. Dabei wurde die Zottenbreite ungefähr auf mittlerer Höhe der jeweiligen Zotte gemessen.

Qualitative morphologische Untersuchungen und Messung der Epitheldicke sowie des Mucosa- zu Serosalängen-Verhältnisses

Eine Gewebeprobe jedes Bereiches wurde in 4 % Formalin während mindestens 24 Stunden fixiert und in der aufsteigenden Alkoholreihe sowie Xylol entwässert. Nach Einbettung in Paraffin wurden am Schlittenmikrotom (Tetrander, Fa. Jung, Heidelberg, D) 5-6 µm dicke Schnitte angefertigt und mit einer Hämatoxylin/Eosin-Lösung (H.E.) (ROMEIS 1989) angefärbt. Die Präparate wurden mit Eukitt und einem Deckglas eingeschlossen und im Folgenden mit dem Mikroskop (Axioskop, Fa. Zeiss, Jena, D) bei 900-facher bzw. 60-facher Vergrößerung gemustert. Mithilfe des Bildanalyseprogramms Lucia 32-G Corona, Version 4.11 (Fa. Nikon, Düsseldorf, D) wurden folgende Parameter bestimmt (siehe Abb. 3):

1. Dicke des Stratum corneum und Stratum granulosum (900-fache Vergrößerung)
2. Dicke des Stratum basale und Stratum spinosum (900-fache Vergrößerung)
3. Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge (60-fache Vergrößerung)

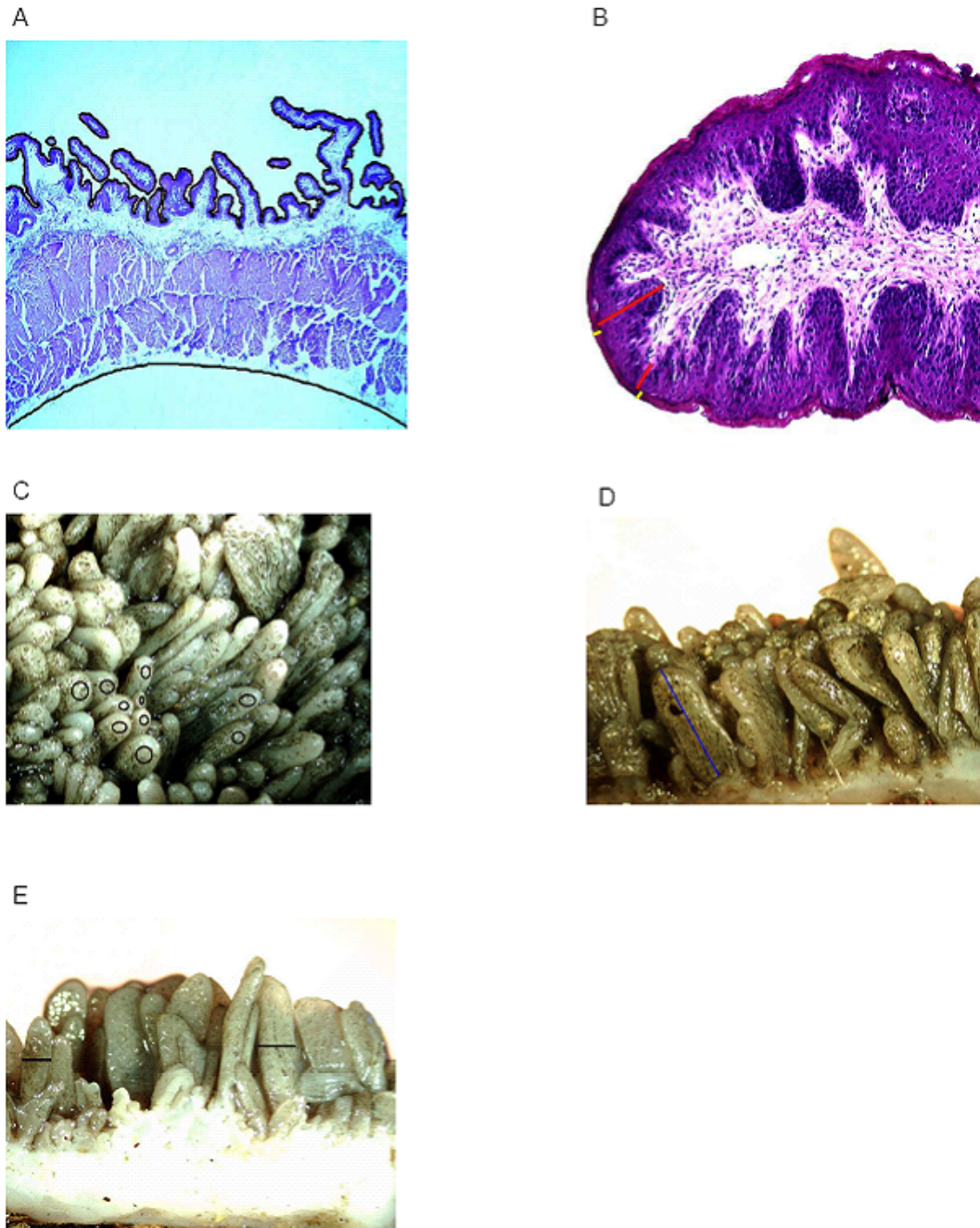


Abb. 3: Messungen an der Pansenschleimhaut: **A:** Mucosa- und Serosalänge (MLSL), Vergr.: 60 x; Die obere schwarze Linie kennzeichnet die Messung der Mucosalänge, die untere die der Serosalänge; **B:** Dicke von Stratum corneum und granulosum (SCSG) sowie von Stratum basale und spinosum (SBSS), Vergr.: 900 x; Die gelben Linien zeigen die Messung von SCSG, die roten Linien die Messung von SBSS beispielhaft an zwei Stellen; **C:** Zottendichte, Vergr.: 20 x; Die schwarzen Ovale verdeutlichen das Vorgehen beim Zählen der Zotten; **D:** Zottenlänge, Vergr.: 20 x; Die blaue Linie verdeutlicht die Messung der Zottenlänge; **E:** Zottenbreite, Vergr.: 20 x; Die schwarzen Linien zeigen die Messung der Zottenbreite

3.4 Statistik

Die statistischen Analysen wurden am Institut für Biometrie der Freien Universität Berlin mit dem Programm SPSS 16.0 (Chicago, USA) durchgeführt. Die Methoden der schließenden Statistik wurden im Sinne einer explorativen Datenanalyse verwendet. Im Ergebnisteil werden Gruppen als unterschiedlich bewertet, wenn der verwendete statistische Test eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ ergibt. Für die Analyse der Lebendmassezunahme, ME-Aufnahme, Trockensubstanzaufnahme und Wasseraufnahme wurde von einer annähernd symmetrischen Verteilung ausgegangen. Zur Beschreibung werden arithmetische Mittel und Standardabweichungen verwendet. Zur statistischen Analyse wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse zum Vergleich der Fütterungsgruppen durchgeführt. Im Falle der Ablehnung der globalen Nullhypothese wurden paarweise Vergleiche mittels Bonferroni Korrektur gerechnet. Die statistische Analyse der morphometrischen Pansenschleimhautparameter sowie der Blutparameter, Pansensaftparameter und Organgewichte wurde mittels des Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Zusätzlich wurden die Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern mittels des Pearson'schen Korrelationskoeffizienten analysiert.

4 Ergebnisse

4.1 Klinische Untersuchung

Im Laufe der Studie mussten zwei von anfänglich 22 Kälbern wegen Krankheit von der Studie ausgeschlossen werden, sodass pro Fütterungsgruppe vier und folglich insgesamt 20 Kälber bis zur 10. Woche in die Studie einbezogen waren. Bei diesen Kälbern konnten im Rahmen der täglichen klinischen Untersuchung keine Zeichen von Krankheit festgestellt werden. So schwankte die Körpertemperatur der Kälber im physiologischen Bereich von 38,5-39,5°C. Bei der grobsinnlichen Beurteilung von Konsistenz und Beschaffenheit der Faeces wurden jedoch Unterschiede zwischen den verschiedenen Fütterungsgruppen registriert. Die Kälber der Fütterungsgruppen H und MS setzten fest geformten Kot ab. Die Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS setzten weich geformten Kot ab, wobei der Kot der allein mit KF gefütterten Kälber geringfügig dünner war als der Kot der Kälber der Gruppen KFH und KFMS. Die Kälber der Gruppen H, KF, KFH sowie KFMS zeigten olivgrüne bis braune Faeces, während der Kot der Kälber der Gruppe MS eine eher gelbliche Farbe aufwies.

4.2 Trockensubstanzaufnahme

Die Trockensubstanzaufnahme der verschiedenen Fütterungsgruppen ist in Tabelle 9 wiedergegeben. Die durchschnittliche TS-Aufnahme aller Tiere lag zwischen 0,40 und 1,27 kg/Tag. Die höchste durchschnittliche TS-Aufnahme wies die Gruppe KFH auf. Der Unterschied in der gemittelten TS-Aufnahme zwischen der Gruppe KFH und der Gruppe MS war – betrachtet nach den einzelnen Wochen – für jede Woche signifikant. Das galt auch bei Betrachtung der durchschnittlichen TS-Aufnahme über den gesamten Zeitraum. Der Unterschied zur Gruppe H war in allen Wochen deutlich, jedoch nur in Woche 4 statistisch signifikant. Die durchschnittliche TS-Aufnahme während des gesamten Beobachtungszeitraums fiel in den Gruppen KF und KFMS signifikant höher aus als die der Gruppe MS. Zwischen den Gruppen KF, KFH und KFMS waren keine signifikanten Unterschiede bezüglich der TS-Aufnahme vorhanden.

Tab. 9: Durchschnittliche TS-Aufnahme (kg/Tag) in den verschiedenen Fütterungsgruppen (n=4 pro Gruppe) über den Beobachtungszeitraum von neun Wochen

Woche	Gruppe									
	H		KF		KFH		KFMS		MS	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
2-10	0,70	0,15	1,11 ^e	0,29	1,27 ^e	0,03	1,12 ^e	0,40	0,40 ^{bcd}	0,18
2	0,03	0,02	0,07	0,07	0,14 ^e	0,07	0,04	0,03	0,01 ^c	0,01
3	0,11	0,06	0,20	0,09	0,31 ^e	0,11	0,18	0,14	0,04 ^c	0,02
4	0,19 ^c	0,08	0,40	0,10	0,51 ^{ae}	0,12	0,34 ^e	0,14	0,8 ^{cd}	0,05
5	0,37	0,17	0,68 ^e	0,22	0,69 ^e	0,17	0,59	0,28	0,17 ^{bc}	0,11
6	0,59	0,15	1,06 ^e	0,26	1,04 ^e	0,17	0,94 ^e	0,39	0,32 ^{bcd}	0,19
7	0,80	0,26	1,29 ^e	0,46	1,36 ^e	0,10	1,22	0,53	0,44 ^{bc}	0,27
8	1,03	0,35	1,66 ^e	0,39	1,90 ^e	0,09	1,80 ^e	0,58	0,61 ^{bcd}	0,34
9	1,43	0,25	2,09 ^e	0,49	2,49 ^e	0,29	2,15 ^e	0,69	0,86 ^{bcd}	0,41
10	1,79	0,14	2,56 ^e	0,61	3,00 ^e	0,48	2,83 ^e	0,87	1,10 ^{bcd}	0,32

Unterschiede signifikant, wenn $p < 0,05$

Signifikanter Unterschied zur Gruppe H = a, KF = b, KFH = c, KFMS = d, MS = e

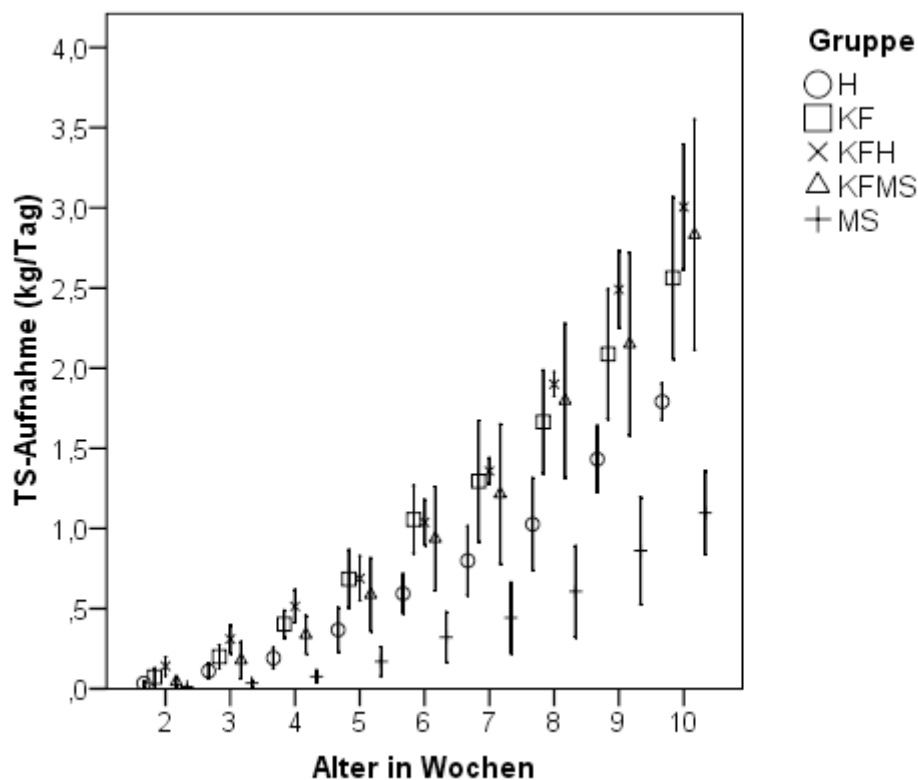


Abb. 4: Mittlere TS-Aufnahme (kg/Tag) der verschiedenen Fütterungsgruppen (n=4 pro Gruppe) in den Wochen 2-10. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts

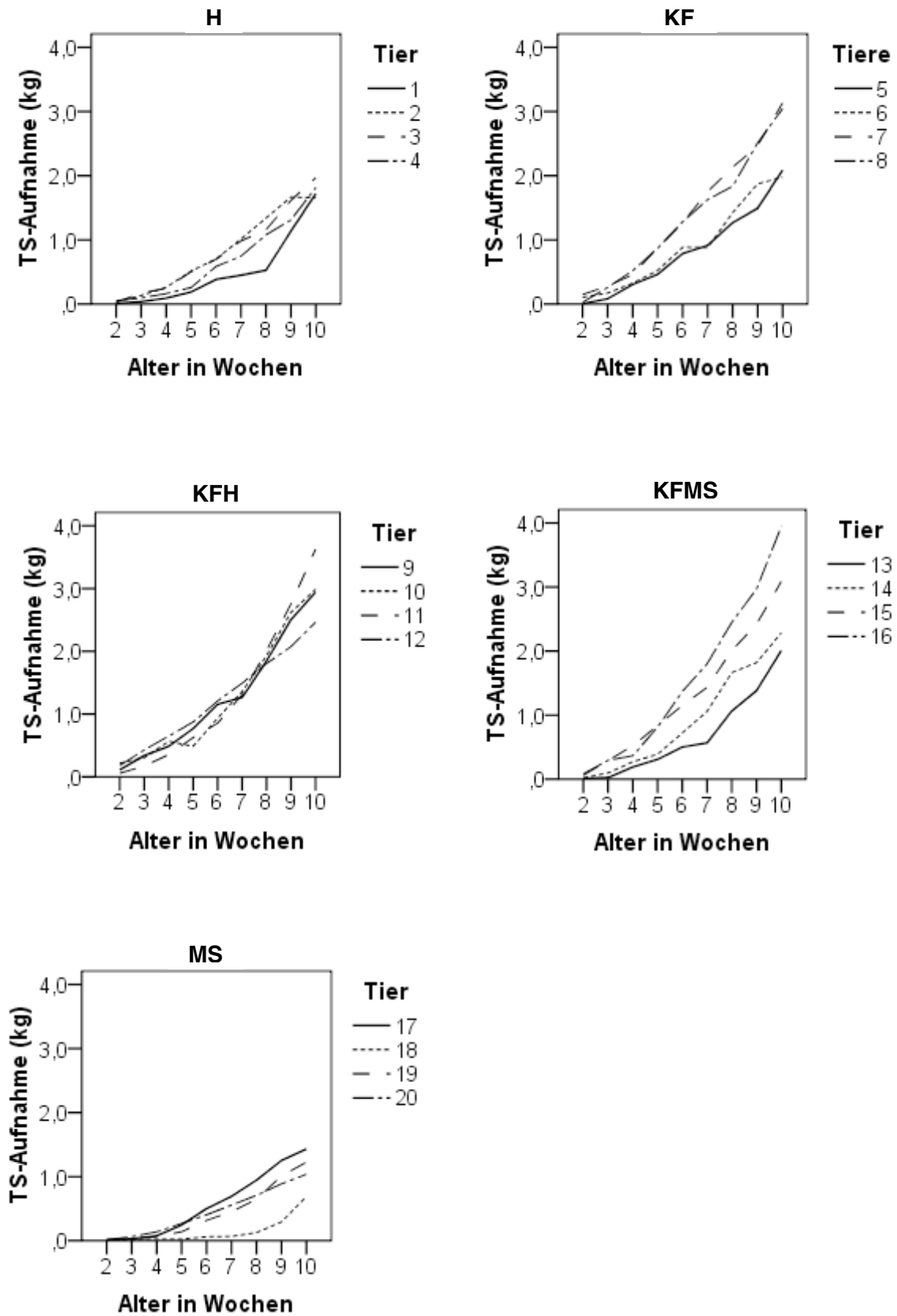


Abb. 5: TS-Aufnahme (kg/Tag) der Einzeltiere der verschiedenen Fütterungsgruppen (n=4 pro Gruppe) in den Wochen 2-10

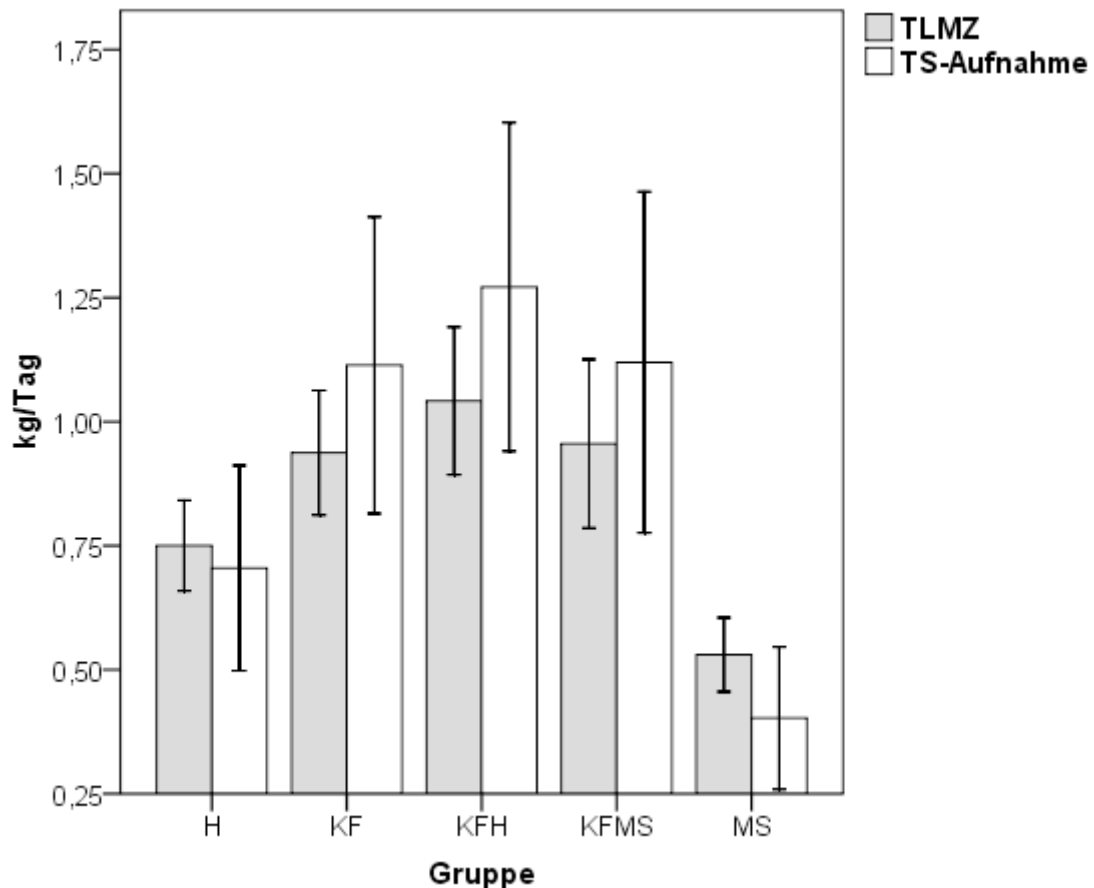


Abb. 6: Auswirkungen der unterschiedlichen Futterrationen (n=4 pro Gruppe) auf die mittlere TS-Aufnahme (kg/Tag) und tägliche Lebendmassezunahme (TLMZ, kg/Tag) über den gesamten Beobachtungszeitraum. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts

In Tabelle 10 ist die TS-Aufnahme der einzelnen Futtermittel für die Gruppen KFH, KFMS und MS wiedergegeben. Die Kälber der Gruppe KFH nahmen durchschnittlich 1,22 kg Kraftfutter und 0,05 kg Heu auf. Dabei fielen große Unterschiede in der TS Aufnahme von Heu bei den einzelnen Tieren innerhalb der Gruppe KFH auf. Die Kälber der Gruppe KFMS nahmen durchschnittlich 1,08 kg Kraftfutter, 0,04 kg Maissilage und 0,01 kg Stroh auf. Die Futteraufnahme in der Gruppe MS lag durchschnittlich bei 0,35 kg, die Strohaufnahme bei 0,05 kg. Obwohl die Futtermittel Maissilage und Stroh gemischt angeboten wurden, versuchten die Kälber der Gruppen KFMS und MS häufig, entweder nur Maissilage oder nur Stroh zu fressen.

Tab. 10: Aufnahme der einzelnen Futtermittel in kg TS/Tag in den Gruppen KFH, KFMS und MS (n=4 pro Gruppe)

Woche	Gruppe													
	KFH				KFMS				MS					
	Kraffutter		Heu		Kraffutter		Maissilage		Stroh		Stroh			
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s		
2-10	1,22	0,03	0,05	0,05	1,08	0,39	0,04	0,03	0,01	0,00	0,35	0,16	0,05	0,02
2	0,14	0,07	0,00	0,00	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
3	0,30	0,11	0,01	0,01	0,17	0,13	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00
4	0,49	0,13	0,02	0,02	0,32	0,14	0,02	0,00	0,00	0,00	0,07	0,04	0,01	0,01
5	0,67	0,18	0,02	0,02	0,56	0,27	0,03	0,01	0,00	0,00	0,15	0,10	0,02	0,01
6	1,00	0,19	0,03	0,02	0,88	0,41	0,04	0,02	0,01	0,00	0,28	0,16	0,04	0,02
7	1,30	0,13	0,05	0,04	1,18	0,53	0,03	0,01	0,01	0,00	0,39	0,23	0,06	0,03
8	1,84	0,04	0,06	0,05	1,75	0,58	0,04	0,02	0,01	0,00	0,53	0,30	0,08	0,04
9	2,35	0,22	0,14	0,16	2,08	0,66	0,06	0,06	0,01	0,01	0,75	0,36	0,11	0,05
10	2,88	0,33	0,12	0,18	2,71	0,81	0,11	0,12	0,02	0,02	0,96	0,28	0,14	0,04

Eine Übersicht über die durchschnittliche TS-Aufnahme in den verschiedenen Fütterungsgruppen wird – bezogen auf die Lebendmasse – in Tabelle 11 dargestellt. Diese lag im Durchschnitt zwischen 6,9 und 17,5 g/kg LM, wobei die Kälber der Gruppe KFH die höchste und die Gruppe MS die geringste Aufnahme aufwiesen. Die Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS nahmen mehr TS/kg LM auf als die Kälber der Gruppen H und MS. Diese Unterschiede fielen teilweise signifikant aus. Zwischen den Gruppen KF, KFH und KFMS wurden keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der TS-Aufnahme bezogen auf die Lebendmasse festgestellt.

Tab. 11: Durchschnittliche tägliche TS-Aufnahme (g/kg Lebendmasse) von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke

Woche	Gruppe									
	H		KF		KFH		KFMS		MS	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
2-10	10,1 ^{cd}	1,9	16,0 ^e	3,5	17,5 ^{ae}	0,7	17,0 ^{ae}	4,3	6,9 ^{bcd}	3,0
2	0,6	0,3	1,5	1,4	2,8 ^e	1,4	1,0	0,8	0,3 ^c	0,1
3	1,9	1,0	3,8	1,7	5,5 ^e	2,0	3,5	2,6	0,7 ^c	0,5
4	3,1 ^c	1,2	6,7 ^e	1,8	8,3 ^{ae}	2,1	6,1 ^e	1,9	1,5 ^{bcd}	1,0
5	5,4	2,3	10, ^e	3,1	10,2 ^e	2,4	9,5 ^e	3,5	3,0 ^{bcd}	1,9
6	8,1	1,7	14,3 ^e	2,9	13,9 ^e	2,2	13,7 ^e	4,5	5,2 ^{bcd}	2,9
7	9,9	2,8	15,7 ^e	4,8	16,1 ^e	1,4	15,8 ^e	5,3	6,6 ^{bcd}	3,8
8	11,9 ^{cd}	3,6	18,6 ^e	3,1	20,5 ^{ae}	1,1	21,3 ^{ae}	4,5	8,5 ^{bcd}	4,6
9	15,6 ^c	1,9	21,5 ^e	3,4	24,1 ^{ae}	2,3	23,2 ^e	4,4	11,2 ^{bcd}	4,9
10	18,5 ^d	2,2	24,5 ^e	3,8	26,8 ^e	3,6	27,5 ^{ae}	4,7	14,1 ^{bcd}	3,2

Unterschiede signifikant, wenn $p < 0,05$

Signifikanter Unterschied zur Gruppe H = a, KF = b, KFH = c, KFMS = d, MS = e

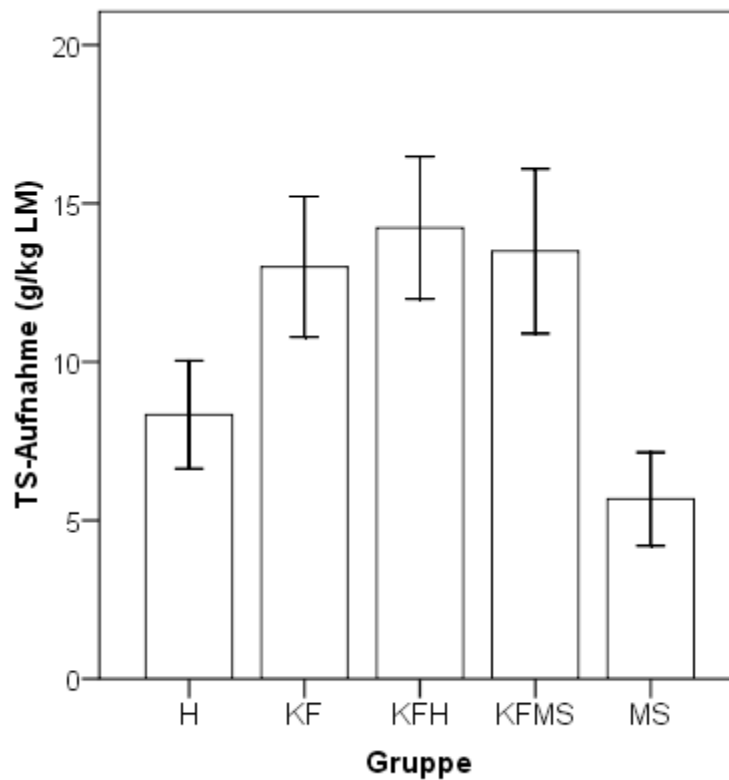


Abb. 7: Mittlere tägliche TS-Aufnahme (g/kg LM) der Kälber in den verschiedenen Fütterungsgruppen (n=4 pro Gruppe) über einen Zeitraum von 9 Wochen. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts

4.3 ME-Aufnahme

Die ME-Aufnahme der verschiedenen Gruppen ist aus Tabelle 12 ersichtlich. Die durchschnittliche ME-Aufnahme lag je nach Fütterungsgruppe zwischen 14,5 und 24,9 MJ/Tag. Die höchste ME-Aufnahme zeigte die Gruppe KFH, die niedrigste die Gruppe MS. Die Kälber der Gruppen H und MS nahmen durchschnittlich signifikant weniger ME auf als die Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS. Diese Unterschiede fielen auch in einigen einzelnen Wochen signifikant aus. Die Gruppen KF, KFH und KFMS unterschieden sich zu keinem Zeitpunkt signifikant voneinander.

Tab. 12: Gemittelte ME-Aufnahme (MJ/Tag) von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke

Woche	Gruppe									
	H		KF		KFH		KFMS		MS	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
2-10	16,4 ^{bcd}	1,3	23,2 ^{ae}	3,3	24,9 ^{ae}	0,2	23,2 ^{ae}	4,6	14,5 ^{bcd}	1,9
2	10,4 ^c	0,2	11,0	0,8	11,7 ^{ae}	0,8	10,6	0,4	10,2 ^c	0,1
3	12,2 ^c	0,5	13,5 ^{ae}	1,1	14,8	1,3	13,3	1,6	11,6 ^c	0,2
4	15,1 ^{bc}	0,7	18,1 ^{ae}	1,2	19,3 ^{ae}	1,4	17,3 ^e	1,7	14,2 ^{bcd}	0,5
5	16,6	1,5	21,4 ^e	2,5	21,3 ^e	2,0	20,2	3,2	15,2 ^{bc}	1,1
6	18,6 ^{bc}	1,3	25,6 ^{ae}	3,0	25,3 ^{ae}	2,0	24,2 ^e	4,6	16,8 ^{bcd}	1,9
7	18,1	2,3	26,1 ^e	5,3	26,7 ^e	1,2	25,2 ^e	6,1	15,7 ^{bcd}	2,7
8	17,8 ^{bcd}	3,0	28,2 ^{ae}	4,5	30,7 ^{ae}	0,9	29,6 ^{ae}	6,7	15,2 ^{bcd}	3,5
9	19,1 ^{cd}	2,2	30,8 ^e	5,7	35,0 ^{ae}	3,1	31,4 ^{ae}	8,0	15,5 ^{bcd}	4,2
10	19,0 ^{cd}	1,2	34,0 ^e	7,1	38,8 ^{ae}	5,0	37,0 ^{ae}	10,0	15,7 ^{bcd}	3,2

Unterschiede signifikant, wenn $p < 0,05$

Signifikanter Unterschied zur Gruppe H = a, KF = b, KFH = c, KFMS = d, MS = e

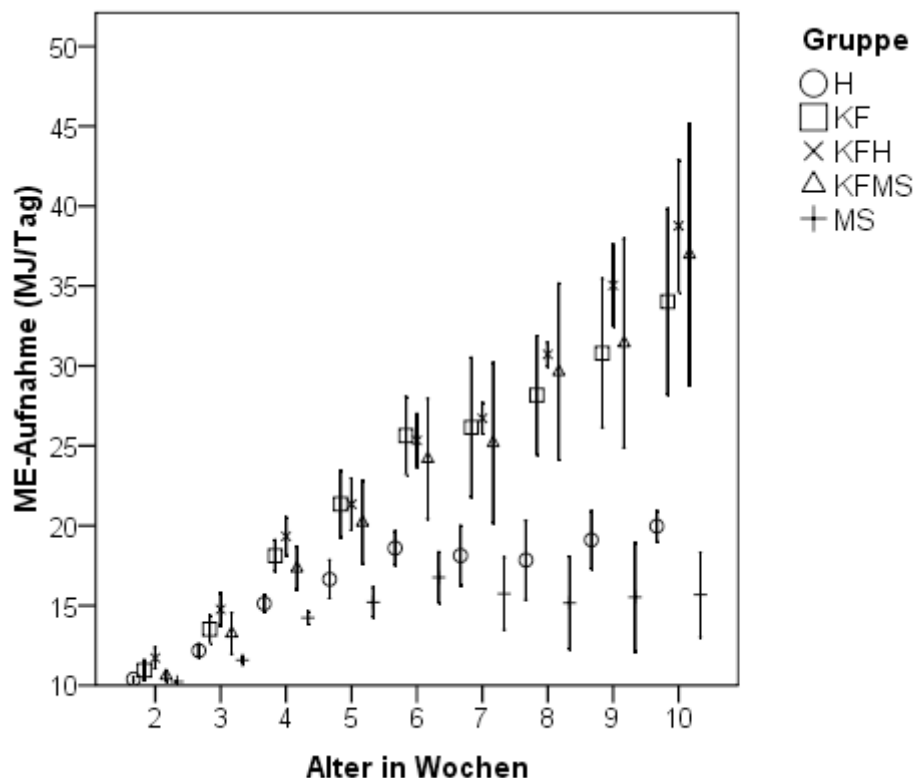


Abb. 8: Mittlere tägliche ME-Aufnahme (MJ/Tag) der verschiedenen Fütterungsgruppen (n=4 pro Gruppe) in den Wochen 2-10. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts

4.4 Trinkwasseraufnahme

Während der Beobachtungsperiode stand den Kälbern zusätzlich zur Milchaustauschertränke Trinkwasser zur freien Aufnahme zur Verfügung. Die Trinkwasseraufnahme der unterschiedlichen Fütterungsgruppen ist in Tabelle 13 wiedergegeben. Die durchschnittliche Trinkwasseraufnahme variierte zwischen 1,3 und 5,0 l/Tag, wobei die Kälber der Gruppe MS am wenigsten und die Kälber der Gruppe KFH am meisten Wasser tranken. Die Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS tranken durchschnittlich und auch in den Wochen 8-10 signifikant mehr als die der Gruppe MS. Weiterhin zeigte die Gruppe KFH eine signifikant höhere durchschnittliche Trinkwasseraufnahme als die Gruppe H. Dieser Unterschied fiel auch in Woche 9 signifikant aus. Aus technischen Gründen wurde bei der Hälfte der Kälber erst ab der sechsten Woche mit der Registrierung der Trinkwasseraufnahme begonnen.

Tab. 13: Tägliche Trinkwasseraufnahme (l/Tag) von Kälbern bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke (Woche 3-5: n=2 pro Gruppe, Woche 6-10: n=4 pro Gruppe)

Woche	Gruppe									
	H		KF		KFH		KFMS		MS	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
3 -10	2,7 ^c	0,3	4,1 ^e	1,4	5,0 ^{ae}	0,7	4,4 ^e	0,6	1,3 ^{bcd}	0,9
3	1,1	0,4	0,6	0,1	0,9	0,2	0,7	0,3	0,6	0,6
4	0,8	0,3	1,2	0,9	1,1	0,4	0,9	0,2	0,6	0,5
5	1,0	0,3	1,8	1,4	1,7	1,0	1,3	0,3	0,8	0,7
6	1,2	0,5	2,7	1,6	2,0	0,8	2,0	0,4	0,9	0,6
7	2,4	0,8	3,3	2,0	3,5	0,5	3,7	0,7	1,3	1,0
8	3,7	1,4	5,3 ^e	2,0	5,9 ^e	0,4	5,7 ^e	1,6	1,7 ^{bcd}	1,4
9	4,8 ^c	1,0	6,4 ^e	2,3	8,8 ^{ae}	0,2	7,0 ^e	2,2	1,9 ^{bcd}	1,5
10	6,3	0,4	8,6 ^e	2,5	11,4 ^e	1,4	10,8 ^e	3,8	2,4 ^{bcd}	1,7

Unterschiede signifikant, wenn $p < 0,05$

Signifikanter Unterschied zur Gruppe H = a, KF = b, KFH = c, KFMS = d, MS = e

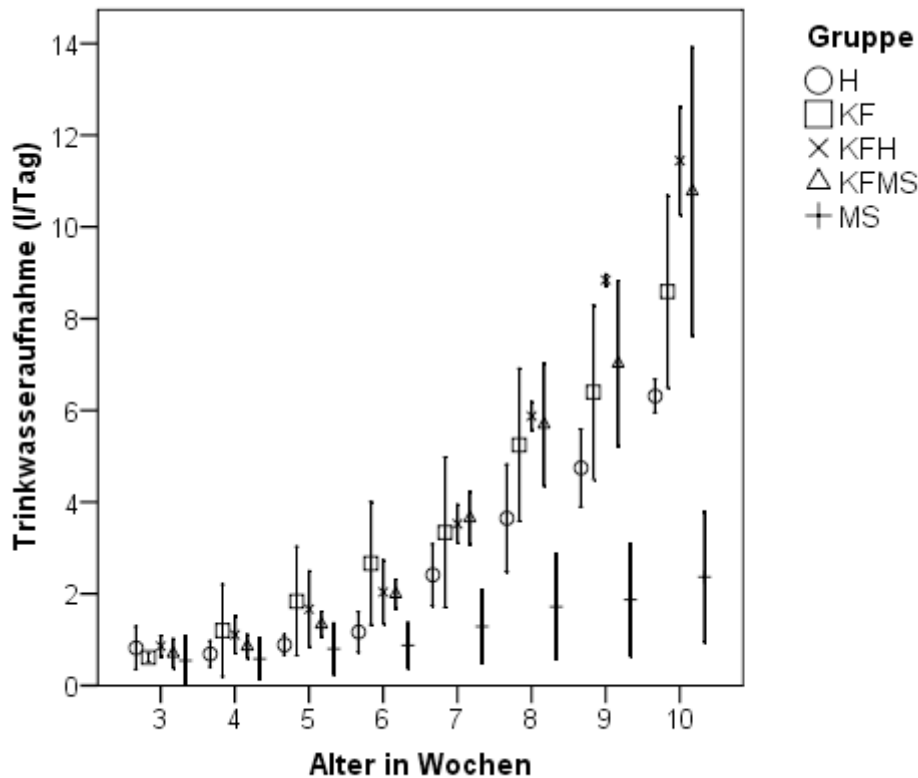


Abb. 9: Auswirkungen der verschiedenen Futterrationen (Woche 3-5: n=2 pro Gruppe, Woche 6-10: n=4 pro Gruppe) auf die mittlere Trinkwasseraufnahme (l/Tag) in den Wochen 3-10. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts

4.5 Entwicklung von Lebendmasse, Brustumfang und Widerristhöhe

Das Anfangs- und Endgewicht der Kälber nach 9 Wochen auf den entsprechenden Rationen sowie die Auswirkungen der verschiedenen Fütterungen auf die Lebendmassezunahme sind in Tabelle 14 wiedergegeben. Das Anfangsgewicht der Kälber der verschiedenen Gruppen lag durchschnittlich zwischen 42,3 und 49,2 kg. Am Ende wogen die Kälber zwischen 77,0 und 111,9 kg. Die durchschnittliche tägliche Lebendmassezunahme (TLMZ) lag zwischen 0,49 und 0,95 kg/Tag, wobei die Gruppe KFH die höchste TLMZ aufwies. Am wenigsten nahmen Kälber der Gruppe MS zu. Die Unterschiede zwischen dieser Gruppe und den Gruppen KF, KFH und KFMS waren sowohl im Durchschnitt als auch in einzelnen Wochen signifikant (Tabelle 14). Die durchschnittlichen Zunahmen der Kälber der Gruppe H über den Beobachtungszeitraum gesehen lagen wenig höher als die der Kälber der Gruppe MS. Unterschiede zwischen der Gruppe H und den Gruppen KF, KFH oder KFMS fielen in einzelnen Wochen signifikant aus. Zwischen den Gruppen KF, KFH und KFMS waren zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede vorhanden. Ab der achten Lebenswoche nahmen die Kälber der Gruppen H, KF, KFH und MS im Vergleich zur siebten Woche weniger zu.

Tab. 14: Anfangs- und Endleibendmasse (LM) sowie Auswirkungen der unterschiedlichen Futterrationen (n=4 pro Gruppe) auf die tägliche Lebendmassezunahme (TLMZ)

	Gruppe											
	H		KF		KFH		KFMS		MS			
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s		
Anfangs-LM (kg)	49,2	1,9	44,9	4,9	47,7	3,1	42,3	7,6	42,9	3,0		
End-LM (kg)	97,2	7,6	103,6 ^e	10,3	111,9 ^e	6,6	101,7 ^e	17,8	77,0 ^{bcd}	5,4		
TLMZ (kg)												
Woche 1-10	0,70	0,11	0,86 ^e	0,15	0,95 ^e	0,08	0,88 ^e	0,17	0,49 ^{bcd}	0,08		
Woche 1	0,21	0,10	0,16	0,34	0,12	0,35	0,19	0,23	0,12	0,13		
Woche 2	0,38	0,04	0,33	0,19	0,39	0,15	0,15	0,11	0,20	0,14		
Woche 3	0,54	0,24	0,67	0,06	0,71	0,12	0,55	0,17	0,49	0,10		
Woche 4	0,63 ^b	0,11	1,01 ^{ae}	0,17	0,77	0,13	0,80	0,10	0,59 ^b	0,16		
Woche 5	0,87	0,24	0,79	0,39	0,86	0,08	0,84	0,35	0,61	0,15		
Woche 6	0,78	0,19	1,10 ^e	0,18	1,02	0,11	0,98	0,21	0,67 ^b	0,13		
Woche 7	1,02	0,13	1,20	0,35	1,39 ^e	0,05	1,14	0,27	0,72 ^c	0,07		
Woche 8	0,71 ^c	0,05	1,00 ^e	0,22	1,16 ^{ae}	0,22	1,16 ^e	0,26	0,44 ^{bcd}	0,15		
Woche 9	0,89	0,34	1,07	0,33	1,53	0,43	1,18	0,47	0,74	0,26		
Woche 10	0,94 ^d	0,30	1,28 ^e	0,39	1,54 ^e	0,50	1,82 ^{ae}	0,27	0,31 ^{bcd}	0,06		

Unterschiede signifikant, wenn $p < 0,05$

Signifikanter Unterschied zur Gruppe H = a, KF = b, KFH = c, KFMS = d, MS = e

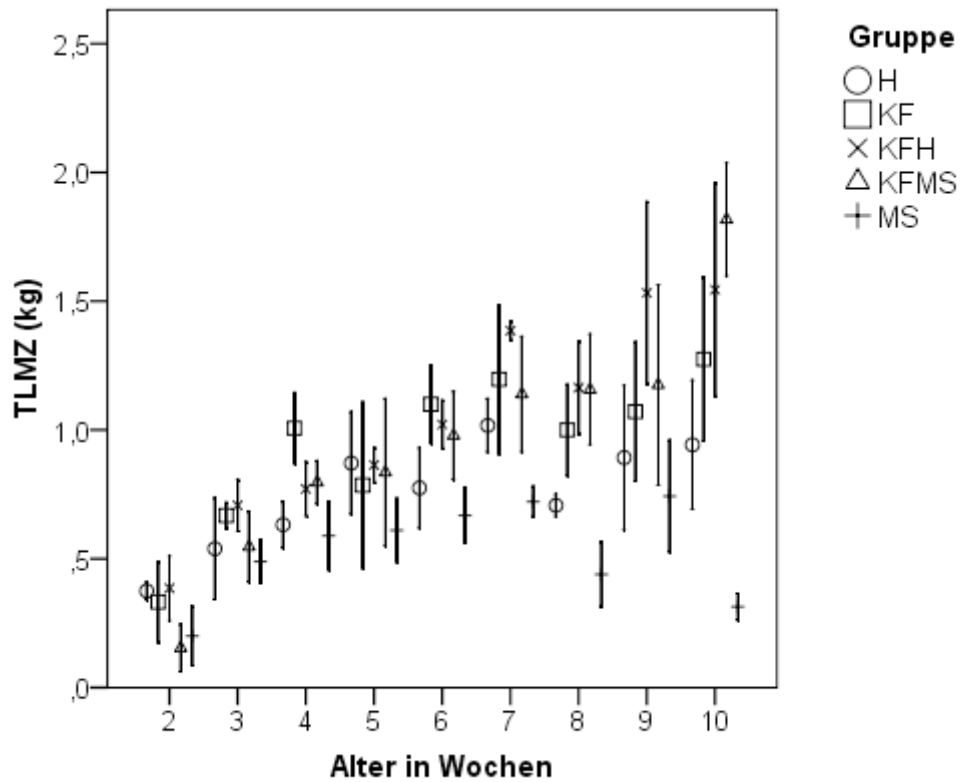


Abb. 10: Mittlere tägliche Lebendmassezunahme (TLMZ, kg) von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Fütterung verschiedener Futterrationalen zusätzlich zur Milchaustauschertränke in den Wochen 2-10. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts

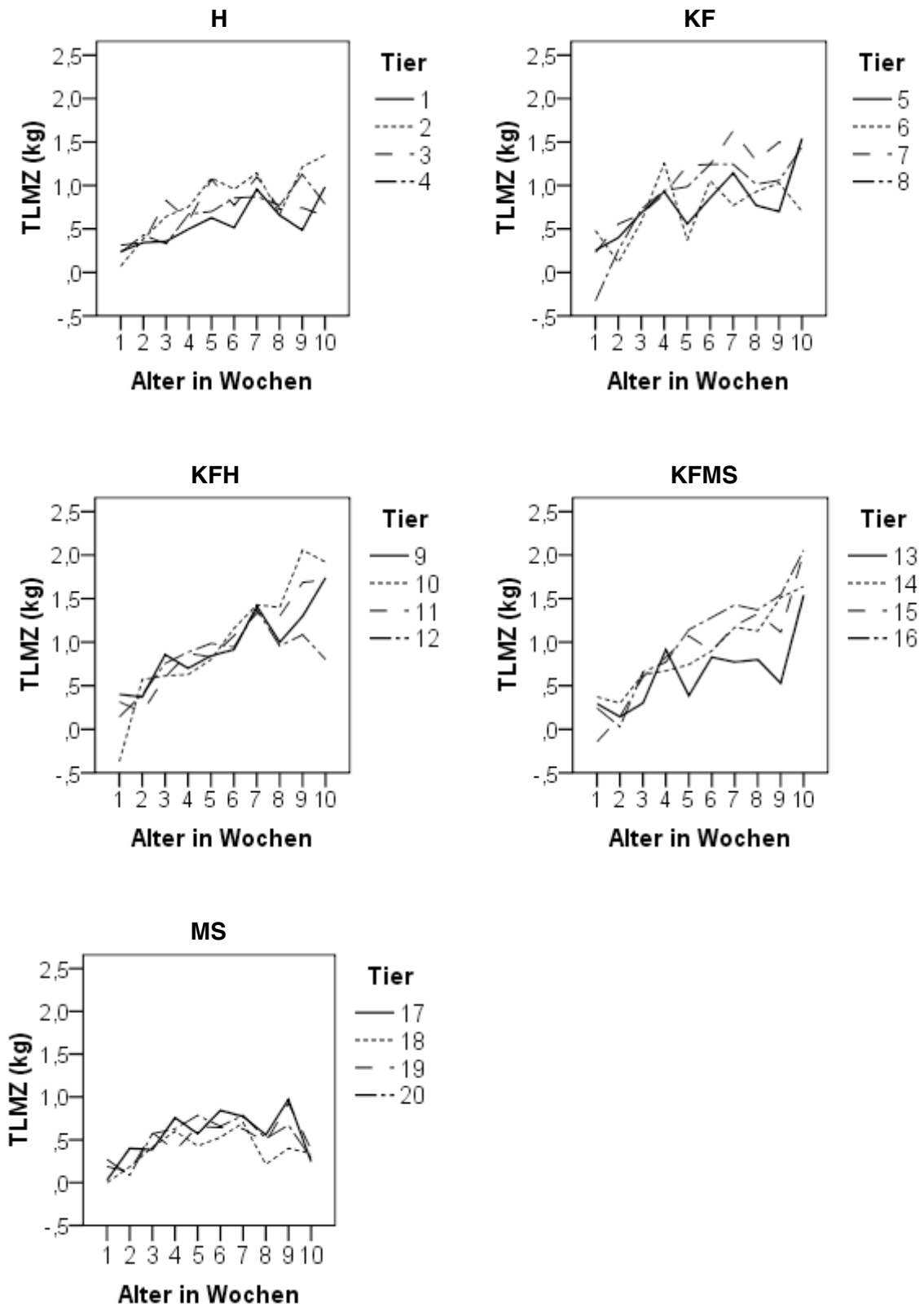


Abb. 11: Tägliche Lebendmassezunahme (TLMZ, kg) der Einzeltiere in den verschiedenen Fütterungsgruppen (n=4 pro Gruppe) in den Wochen 2-10

Der Brustumfang der unterschiedlichen Fütterungsgruppen ist in Tabelle 15 wiedergegeben. Die tägliche Veränderung des Brustumfanges fiel über den Beobachtungszeitraum hinweg durchschnittlich bei der Gruppe KFH am höchsten aus. Am niedrigsten war die tägliche Veränderung des Brustumfanges bei der Gruppe H.

Tab. 15: Ergebnisse der wöchentlichen Messungen des Brustumfanges (cm) von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke im Verlauf der Beobachtungsperiode von neun Wochen

Woche	Gruppe									
	H		KF		KFH		KFMS		MS	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
2-10	92	2	92	2	94 ^e	1	89	4	87 ^c	3
2	84	3	82	2	85	1	82	3	79	3
3	84	3	83	2	85	2	82	3	80	3
4	86	3	86	2	88	1	84	3	82	3
5	89	3	88	3	89	2	85	3	84	3
6	90	4	90	3	92	2	88	5	88	4
7	95	3	95 ^e	2	96 ^e	2	92	3	89 ^{bc}	3
8	97	2	98 ^e	2	101 ^{de}	3	95 ^c	4	92 ^{bc}	2
9	99	2	101 ^e	3	103 ^e	2	98	4	93 ^{bc}	3
10	100	3	103	3	107 ^e	1	99	5	97 ^c	3
Veränderung cm/Tag	0,29	0,05	0,38	0,06	0,39	0,03	0,30	0,07	0,32	0,06

Unterschiede signifikant, wenn $p < 0,05$

Signifikanter Unterschied zur Gruppe H = a, KF = b, KFH = c, KFMS = d, MS = e

Die Widerristhöhe der unterschiedlichen Fütterungsgruppen ist in der Tabelle 16 wiedergegeben und lag je nach Fütterungsgruppe durchschnittlich zwischen 85 und 89 cm. Die höchste Widerristhöhe zeigten die Kälber der Gruppen KFH und H, die geringste die Kälber der Gruppen KFMS und MS. Die stärkste durchschnittliche tägliche Veränderung der Widerristhöhe über den Beobachtungszeitraum hinweg zeigte die Gruppe KFH, gefolgt von den Gruppen KF und KFMS. Die geringste Veränderung der Widerristhöhe wiesen die Gruppen H und MS auf. Signifikante Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen waren nicht vorhanden.

Tab. 16: Ergebnisse der wöchentlichen Messungen der Widerristhöhe (cm) von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke im Verlauf der Beobachtungsperiode von neun Wochen

Woche	Gruppe									
	H		KF		KFH		KFMS		MS	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
2-10	89	5	87	4	89	5	85	5	85	4
2	83	2	81	2	83	3	80	2	80	2
3	84	2	82	2	84	3	80	4	81	2
4	85	3	83	1	86	2	81	4	81	3
5	86	3	86	2	88	2	83	4	83	3
6	88	3	86	2	90	3	85	4	85	2
7	93	4	89	1	89	5	88	4	86	2
8	91	3	90	0	93	3	88	4	88	1
9	93	3	89	5	94	2	90	5	89	1
10	94	4	94	1	96	2	92	5	90	3
Veränderung cm/Tag	0,19	0,05	0,22	0,02	0,23	0,04	0,21	0,06	0,19	0,05

Unterschiede signifikant, wenn $p < 0,05$

Signifikanter Unterschied zur Gruppe H = a, KF = b, KFH = c, KFMS = d, MS = e

4.6 Blutparameter

Die Ergebnisse hämatologischer und biochemischer Blutuntersuchungen über den Beobachtungszeitraum gehen aus Tabelle 17 hervor.

Rotes und weißes Blutbild

Der **Hämatokritwert** lag bei den unterschiedlichen Gruppen anfänglich zwischen 0,23 und 0,32 l/l und zum Ende der Studie zwischen 0,24 und 0,32 l/l. Signifikante Unterschiede konnten nur in der dritten Woche zwischen den Gruppen KF und KFH beobachtet werden.

Die **Anzahl weißer Blutkörperchen** befand sich bei allen Kälbern zu jedem Untersuchungszeitpunkt innerhalb des für diese Altersgruppe angegebenen Referenzbereichs. So lagen die Leukozytenzahlen je nach Fütterungsgruppe zu Beginn zwischen 8,0 und 11,0 G/l und am Ende der Studie zwischen 7,6 und 10,2 G/l. Signifikante Unterschiede bestanden lediglich in Woche 4 und 10 zwischen den Gruppen H und KFMS bzw. H und KFH.

Blutgasanalyse

Der **pH-Wert** im venösen Blut lag je nach Fütterungsgruppe zu Beginn zwischen 7,30 und 7,36 und zum Ende der Studie zwischen 7,35 und 7,38. Der pH-Wert der Gruppe KFMS fiel in Woche 2 signifikant niedriger aus als für die Gruppe H. In der 4. Woche zeigte die Gruppe KFMS einen signifikant niedrigeren pH-Wert als die Gruppe MS.

Der **Bikarbonatgehalt** betrug im Mittel zu Beginn bei allen Fütterungsgruppen 32 mmol/l; zum Ende der Studie lag er je nach Fütterungsgruppe zwischen 29 und 31 mmol/l. Bis auf Woche 9, in der der Bikarbonatgehalt der Gruppe H signifikant geringer war als der der Gruppen KF, KFMS und MS, bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen.

Der **Basenüberschuss** der verschiedenen Gruppen lag zu Beginn der Studie zwischen 4 und 5 mmol/l und zum Ende des Beobachtungszeitraums zwischen 3 und 5 mmol/l. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen wurden nicht festgestellt.

Die **Glukosekonzentration** im Serum stieg bei allen Fütterungsgruppen bis Woche 8 deutlich an und fiel dann bis zum Lebensalter von 10 Wochen wieder ein wenig ab. Sie lag je nach Fütterungsgruppe zu Beginn zwischen 5,00 und 5,50 mmol/l und zum Ende des Beobachtungszeitraums zwischen 6,10 und 7,40 mmol/l. Es wurden zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen beobachtet.

Der **L-Laktatgehalt** im Serum zeigte gewisse Schwankungen und lag bei den unterschiedlichen Fütterungsgruppen anfangs zwischen 1,47 und 2,42 mmol/l und zum Ende des Beobachtungszeitraums zwischen 0,59 und 1,29 mmol/l. In der zehnten Woche wurde ein signifikanter Unterschied zwischen dem L-Laktatgehalt der Gruppe KF und dem der Gruppe KFH festgestellt. In der sechsten, neunten und zehnten Woche unterschied sich der L-Laktatgehalt der Gruppe KFMS signifikant von dem der Gruppe KFH, in der neunten Woche zusätzlich auch von dem der Gruppe MS.

Die **NH₃-Konzentration** im Serum unterlag über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg bei allen Fütterungsgruppen starken Schwankungen. Sie lag anfänglich zwischen 35,9 und 42,3 µmol/l und am Ende der Studie zwischen 23,0 und 36,7 µmol/l. Es konnten während des gesamten Beobachtungszeitraums keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen beobachtet werden.

Der **Bilirubingehalt** im Serum fiel von der ersten zur zweiten Lebenswoche deutlich ab und blieb dann über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg relativ konstant. Er lag bei den verschiedenen Gruppen anfangs zwischen 9,8 und 19,0 µmol/l und am Ende der Studie zwischen 2,8 und 3,2 µmol/l. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bestanden nicht.

Der **Harnstoffgehalt** im Serum lag je nach Fütterungsgruppe zu Beginn zwischen 2,65 und 3,47 mmol/l und zum Ende der Studie zwischen 1,38 und 2,71 mmol/l. Ab der sechsten

Woche wiesen die Kälber der Gruppe MS einen geringeren Harnstoffgehalt auf als die Kälber der anderen Fütterungsgruppen. Diese Unterschiede fielen für einzelne Wochen ebenfalls signifikant aus.

Der Gesamteiweißgehalt im Serum der Kälber in den verschiedenen Fütterungsgruppen lag zu Beginn zwischen 51,2 und 55,7 g/l und am Ende der Studie zwischen 55,4 und 57,0 g/l. Die Fütterungsgruppen zeigten über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg meist nur sehr geringe Unterschiede.

Der **Albumingehalt** im Serum stieg bis zum Ende der Studie hin an. Er lag je nach Fütterungsgruppe anfänglich zwischen 21,6 und 25,0 g/l und am Ende der Studie zwischen 27,7 und 30,2 g/l. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen waren nur in einzelnen Wochen vorhanden.

Die Aktivität der **Aspartat-Aminotransferase** stieg im Laufe des Beobachtungszeitraums an. Sie betrug je nach Fütterungsgruppe anfänglich zwischen 20 und 24 U/l und in der letzten Woche zwischen 27 und 33 U/l. Signifikante Unterschiede waren nur in der siebten Woche zwischen den Gruppen H und KFMS vorhanden.

Die Aktivität der **Creatinkinase** lag bei den Fütterungsgruppen zu Beginn zwischen 36 und 53 U/l und zum Ende der Studie zwischen 45 und 61 U/l. Sie war nicht von der Art der Rationsgestaltung beeinflusst.

Die **GLDH-Aktivität** bei Kälbern in den unterschiedlichen Fütterungsgruppen lag anfangs zwischen 3,0 und 9,4 U/l und zum Ende des Beobachtungszeitraums zwischen 21,6 und 39,2 U/l. Die Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS wiesen in einzelnen Wochen der Studie eine signifikant höhere GLDH-Aktivität auf als die Kälber der Gruppen H und MS.

Die Aktivität der **GGT** sank zum Ende der Studie hin ab. Sie lag je nach Fütterungsgruppe zu Beginn zwischen 114,2 und 357,8 U/l und zum Ende des Beobachtungszeitraums zwischen 13,0 und 16,7 U/l. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen waren während des gesamten Beobachtungszeitraums nicht zu sehen.

Die Konzentration der **β -Hydroxybuttersäure** im Serum lag bis zur vierten Woche fast durchgängig unterhalb der Detektionsgrenze der Messmethode und überstieg sie bei der Gruppe H in Woche 7, bei den Gruppen KF, KFMS und MS in Woche 6 und bei Gruppe KFH in Woche 5. Bei den Kälbern der Gruppe KF konnte jedoch bereits in Woche 2 β HBS nachgewiesen werden. Deren Konzentration betrug je nach Fütterungsgruppe zu Beginn zwischen 0,00 und 0,03 mmol/l und zum Ende der Studie zwischen 0,20 und 0,35 mmol/l. In einzelnen Wochen zeigten die Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS eine signifikant höhere β HBS-Konzentration als die Kälber der Gruppe H. Weiterhin wiesen in der 6. Woche die Kälber der Gruppe MS eine signifikant niedrigere β HBS-Konzentration auf als die Kälber der Gruppe KFMS. Zwischen der β HBS-Konzentration und der TS-Aufnahme konnte eine starke Korrelation festgestellt werden ($r=0,71$; $p=0,000$).

Tab. 17: Ergebnisse der wöchentlich durchgeführten Blutuntersuchungen bei Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke von der zweiten bis zur zehnten Lebenswoche (LW)

Parameter	LW	Gruppe									
		H		KF		KFH		KFMS		MS	
		MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
Hkt (l/l)	2	0,28	0,04	0,32	0,09	0,28	0,03	0,29	0,06	0,23	0,02
	3	0,30	0,06	0,33 ^c	0,02	0,27 ^b	0,02	0,27	0,05	0,25	0,03
	4	0,30	0,05	0,31	0,03	0,27	0,02	0,26	0,03	0,25	0,05
	5	0,30	0,05	0,30	0,04	0,27	0,03	0,26	0,03	0,26	0,03
	6	0,29	0,05	0,29	0,03	0,27	0,03	0,27	0,04	0,26	0,05
	7	0,29	0,03	0,30	0,04	0,29	0,04	0,31	0,04	0,25	0,04
	8	0,30	0,03	0,31	0,03	0,32	0,02	0,32	0,04	0,25	0,06
	9	0,29	0,03	0,31	0,03	0,30	0,02	0,31	0,04	0,24	0,05
	10	0,31	0,02	0,30	0,02	0,32	0,03	0,31	0,03	0,24	0,06
	Leu (G/l)	2	8,6	2,6	8,8	1,7	11,0	1,2	8,0	2,0	9,4
3		7,6	1,0	6,6	1,4	10,8	2,8	9,8	3,9	8,7	3,5
4		8,0 ^d	1,5	9,7	1,1	9,4	1,4	12,1 ^a	1,9	9,5	2,6
5		8,6	1,6	10,4	1,5	9,8	2,0	11,6	1,8	9,0	1,4
6		7,6	1,2	8,9	1,9	9,1	1,4	9,6	1,2	9,8	5,0
7		8,2	1,1	8,2	1,7	9,9	1,2	10,2	1,7	8,1	5,8
8		6,7	1,8	7,5	1,6	9,9	3,1	9,4	2,7	7,8	3,4
9		7,3	0,6	7,9	1,6	10,6	2,7	9,5	2,3	7,2	2,6
10		7,6 ^c	1,0	7,6	1,5	10,2 ^a	1,2	9,0	0,7	7,7	2,6
pH		2	7,36 ^d	0,02	7,33	0,02	7,34	0,02	7,30 ^a	0,03	7,35
	3	7,34	0,05	7,35	0,03	7,35	0,01	7,31	0,03	7,35	0,03
	4	7,37	0,03	7,37	0,03	7,38	0,01	7,35 ^e	0,01	7,39 ^d	0,01
	5	7,34	0,06	7,34	0,05	7,35	0,05	7,36	0,01	7,36	0,01
	6	7,38	0,02	7,39	0,01	7,36	0,01	7,37	0,02	7,38	0,01
	7	7,38	0,03	7,38	0,01	7,32	0,12	7,36	0,03	7,37	0,00
	8	7,37	0,02	7,39	0,02	7,36	0,02	7,35	0,02	7,38	0,01
	9	7,33	0,09	7,36	0,05	7,36	0,01	7,38	0,01	7,37	0,02
	10	7,35	0,03	7,36	0,03	7,36	0,03	7,36	0,02	7,38	0,02

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)

Tab. 17: Fortsetzung

Parameter	LW	Gruppe									
		H		KF		KFH		KFMS		MS	
		MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
HCO ₃ ⁻ (mmol/l)	2	32	3	32	2	32	4	32	5	32	3
	3	34	3	35	7	37	5	38	9	45	9
	4	32	2	32	1	31	2	32	2	33	1
	5	31	1	33	1	31	2	33	2	33	1
	6	31	2	32	1	32	2	32	1	33	1
	7	26	10	32	1	31	3	32	1	33	1
	8	30	1	32	2	31	2	32	2	32	1
	9	28 ^{bde}	2	32 ^a	1	30	1	32 ^a	2	32 ^a	1
	10	29	2	29	1	30	3	29	2	31	1
	BE (mmol/l)	2	5	3	5	1	5	4	4	3	5
3		6	3	8	6	9	4	9	7	16	7
4		6	2	6	2	5	1	6	2	7	1
5		5	2	6	2	5	2	6	2	6	1
6		4	2	6	1	6	2	6	0	7	2
7		2	7	6	1	4	4	6	1	6	1
8		4	2	6	1	5	2	5	2	6	1
9		2	3	5	2	4	1	6	2	6	1
10		3	2	4	1	4	2	4	2	5	1
Gluc (mmol/l)		2	5,00	0,90	5,00	1,10	5,20	1,10	5,40	1,60	5,50
	3	5,50	0,30	5,70	0,80	6,30	0,40	6,50	0,90	5,90	0,50
	4	6,10	1,30	5,50	0,60	6,40	0,90	5,70	0,60	6,20	0,70
	5	6,10	1,00	6,10	0,30	6,90	0,50	6,10	0,70	5,80	1,00
	6	6,50	0,70	7,40	2,50	7,10	0,40	6,30	0,50	6,70	0,40
	7	6,60	0,60	6,70	0,80	7,60	0,60	6,50	0,50	6,40	1,20
	8	8,10	1,60	6,70	1,60	7,00	0,70	7,20	1,30	6,40	1,00
	9	7,20	1,60	5,80	0,70	6,30	0,80	6,00	1,20	5,80	0,50
	10	7,40	1,10	6,00	0,70	6,60	0,90	6,30	0,30	6,10	1,30

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)

Tab. 17: Fortsetzung

Parameter	LW	Gruppe									
		H		KF		KFH		KFMS		MS	
		MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
Lac (mmol/l)	2	1,47	0,41	1,92	0,44	1,56	0,22	2,42	1,42	1,66	0,80
	3	1,50	0,74	2,01	1,25	1,43	0,82	1,75	0,51	1,17	0,37
	4	1,09	0,53	0,99	0,43	1,12	0,17	1,17	0,32	0,86	0,21
	5	1,45	0,63	1,05	0,28	1,20	0,69	1,07	0,26	1,04	0,33
	6	1,00	0,47	0,84	0,12	0,68 ^d	0,07	0,99 ^c	0,27	0,89	0,21
	7	0,86	0,27	0,72	0,11	1,89	2,24	0,92	0,27	0,74	0,13
	8	1,00	0,23	0,98	0,28	1,06	0,17	1,32	0,57	0,74	0,22
	9	1,17	0,91	1,11	0,41	0,71 ^d	0,07	0,99 ^{ce}	0,11	0,76 ^d	0,13
	10	0,76	0,09	0,66 ^c	0,04	1,29 ^{bd}	0,83	0,59 ^c	0,12	0,69	0,24
	NH ₃ (µmol/l)	2	35,9	10,1	37,1	13,2	40,3	8,9	38,4	4,7	42,3
3		30,6	3,7	35,6	18,9	30,6	5,5	27,5	15,8	30,7	4,5
4		32,1	12,8	26,8	16,2	33,9	8,6	28,8	1,2	32,7	12,3
5		35,5	8,9	34,4	7,1	39,3	8,4	39,0	8,0	34,6	10,4
6		44,4	18,6	31,2	8,0	36,7	12,0	31,5	6,9	38,9	12,5
7		43,8	20,5	27,2	9,5	39,5	21,8	37,6	8,0	36,3	3,7
8		41,1	24,9	28,0	9,1	28,2	6,0	37,5	17,0	41,1	12,1
9		37,9	17,4	26,6	11,4	28,7	16,2	22,7	18,4	32,2	19,4
10		23,0	14,2	31,7	12,0	36,7	8,8	27,0	7,4	33,8	13,3
Bili (µmol/l)		1	15,3	7,7	19,0	8,5	9,8	4,6	17,1	6,1	13,2
	2	6,1	3,5	4,7	2,2	5,8	1,1	6,7	1,4	5,6	1,1
	3	4,7	0,7	5,4	1,4	5,0	1,4	5,4	1,9	5,5	1,9
	4	4,6	0,7	4,6	0,7	5,0	0,8	6,4	3,0	5,5	1,1
	5	4,3	2,9	4,7	1,8	4,1	0,4	5,4	4,3	3,9	1,3
	6	4,1	0,4	4,1	0,5	3,8	0,8	4,4	1,5	4,5	1,0
	7	3,6	0,7	3,6	0,6	4,0	1,3	4,3	0,9	3,6	0,9
	8	3,1	1,3	3,2	1,0	2,8	1,0	4,4	3,3	3,1	0,7
	9	3,7	0,6	3,5	1,2	3,1	0,6	4,2	1,2	3,3	0,8
	10	3,1	1,0	2,9	0,3	2,8	0,9	3,1	0,6	3,2	1,2

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)

Tab. 17: Fortsetzung

Parameter	LW	Gruppe									
		H		KF		KFH		KFMS		MS	
		MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
Hst (mmol/l)	2	3,43	1,01	3,30	1,66	2,65	0,85	3,47	1,66	2,92	1,46
	3	2,80	0,77	2,48	0,47	2,59	0,49	2,49	0,75	2,88	0,28
	4	2,35	0,39	1,89 ^e	0,32	1,88 ^e	0,24	1,82 ^e	0,35	2,58 ^{bcd}	0,17
	5	1,86	0,29	1,61	0,22	1,78	0,16	1,68	0,34	1,94	0,22
	6	1,80	0,25	1,86	0,61	1,86	0,23	1,76	0,60	1,51	0,16
	7	1,74	0,36	1,68	0,31	2,00 ^e	0,40	1,72 ^e	0,10	1,27 ^{cd}	0,21
	8	1,96	0,39	2,26	0,50	2,59 ^e	0,71	2,15	0,28	1,58 ^c	0,45
	9	3,20	1,19	2,41	0,43	2,52	0,67	1,98	0,29	1,49	0,57
	10	1,91	1,29	2,57	0,61	2,71	0,80	2,58 ^e	0,16	1,38 ^d	0,53
	TP (g/l)	1	51,2	3,5	54,8	5,9	52,6	8,4	55,7	12,3	54,8
2		49,1	4,4	48,7	2,2	48,6	5,4	49,4	4,8	49,8	3,6
3		49,5	2,1	47,9	3,6	47,7	3,3	47,3	2,9	49,8	3,3
4		47,2	2,9	46,9	0,9	47,2	4,2	47,4	3,9	47,8	2,8
5		50,1	2,7	47,0	2,4	59,8	25,2	46,4	2,1	47,4	1,2
6		50,9	2,2	50,0	3,7	41,4	16,9	50,0	1,6	50,7	1,8
7		51,6	2,2	39,2	22,9	51,4	1,4	49,5	1,9	50,3	1,7
8		54,0	0,9	54,0	3,4	53,1	1,7	53,2	1,2	51,0	2,0
9		53,4	1,9	54,3 ^c	1,7	51,8 ^b	0,8	54,2	2,3	52,1	2,7
10		57,0	1,8	56,1	2,5	55,4	1,9	56,8	2,2	56,4	2,7
Alb (g/l)	1	25,0	1,7	23,6	1,8	24,0	2,0	21,6	2,2	24,6	2,1
	2	25,2	1,2	23,7	3,1	24,2	2,0	21,8	1,8	23,5	2,1
	3	26,1 ^d	1,4	22,8	4,1	24,2	2,0	22,3 ^a	1,4	24,8	3,3
	4	26,0	1,7	24,3	1,4	25,6	0,8	22,8	3,0	24,6	2,1
	5	27,2 ^d	1,8	24,6	1,6	25,4	0,8	23,2 ^a	2,3	24,8	1,5
	6	27,0	0,9	26,1	1,8	25,9	1,2	24,9	1,5	26,0	2,2
	7	27,6	1,1	28,0	1,9	28,1	1,3	26,5	2,4	25,6	1,7
	8	28,2	1,1	28,0	1,2	28,4 ^e	1,5	27,5	1,3	26,8 ^c	0,5
	9	29,4 ^e	0,6	28,9	1,0	28,4	1,6	28,6	0,9	26,7 ^a	2,0
	10	30,2	1,0	28,7	2,0	30,0	1,3	27,7	3,1	28,4	1,6

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)

Tab. 17: Fortsetzung

Parameter	LW	Gruppe									
		H		KF		KFH		KFMS		MS	
		MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
AST (U/I)	2	20	3	20	4	20	5	24	7	22	3
	3	21	2	21	3	24	7	22	5	22	3
	4	23	7	18	2	22	7	22	3	20	3
	5	20	4	20	2	21	1	23	4	21	3
	6	22	4	21	3	22	3	24	2	23	5
	7	21 ^d	3	23	4	24	3	26 ^a	2	24	4
	8	21	3	26	7	25	3	28	4	26	3
	9	26	4	28	4	27	2	31	3	26	4
	10	27	4	33	9	29	3	29	5	30	6
	CK (U/I)	2	53	15	40	11	50	28	36	11	47
3		53	6	80	50	131	108	53	7	60	23
4		49	19	50	12	44	25	38	3	52	18
5		44	23	33	20	38	6	46	10	37	9
6		30	7	47	17	46	25	40	11	38	9
7		30	5	46	8	34	12	39	10	34	7
8		29 ^e	4	135	179	57	44	49	21	46 ^a	6
9		44	7	54	12	40	7	45	6	52	4
10		46	13	61	18	45	5	48	5	52	13
GLDH (U/I)		2	4,3 ^e	0,5	3,6 ^e	1,9	3,8	2,3	3,0 ^e	1,2	9,4 ^{abd}
	3	11,2 ^d	0,8	8,1	7,6	10,8	9,7	4,9 ^a	2,3	10,1	8,3
	4	23,6	20,2	12,1	7,6	19,6	23,4	7,3	3,6	9,9	6,5
	5	12,1	5,7	17,9	4,3	19,2	11,5	24,6	21,3	12,1	1,7
	6	14,5	12,9	26,6	12,7	13,4	6,5	20,0	10,5	10,2	3,1
	7	12,6 ^b	6,2	34,9 ^a	11,3	18,8	11,0	21,4	2,8	20,2	16,2
	8	11,8 ^{bcd}	2,8	41,4 ^a	11,1	30,1 ^a	5,8	37,3 ^a	16,0	19,6	12,8
	9	25,5	17,5	48,7 ^e	2,9	31,4	16,0	42,5 ^e	13,3	14,8 ^{bd}	7,6
	10	21,6	9,5	39,2	11,9	37,7	11,7	25,4	15,8	24,6	15,8

(Fortsetzung auf der folgenden Seite)

Tab. 17: Fortsetzung

Parameter	LW	Gruppe									
		H		KF		KFH		KFMS		MS	
		MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
GGT (U/l)	1	114,2	53,3	256,7	144,4	218,9	99,8	357,8	213,	337,8	203,1
	2	80,9	43,3	96,8	45,4	122,9	93,8	136,2	84,6	161,1	106,4
	3	46,0	22,4	45,2	17,4	63,6	45,1	62,0	29,7	59,7	42,1
	4	33,1	12,7	29,9	12,0	47,4	31,3	40,2	18,4	47,4	21,9
	5	25,2	8,6	23,4	6,8	30,8	15,4	30,4	9,8	35,2	12,6
	6	22,2	4,4	20,7	5,7	23,5	9,2	25,2	4,7	26,2	7,1
	7	19,6	5,2	18,6	6,1	19,6	5,9	21,4	3,4	22,8	4,7
	8	17,2	4,6	17,0	5,5	15,6	2,3	19,9	3,1	17,0	2,4
	9	14,3	2,1	16,6	5,5	14,5	1,7	19,1	3,1	16,1	2,0
	10	15,3	2,6	16,6	6,1	13,0	1,8	14,3	2,2	16,7	2,8
βHBS (mmol/l)	2	0,00	0,00	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
	6	0,00 ^d	0,00	0,06	0,07	0,10	0,07	0,14 ^{ae}	0,03	0,02 ^d	0,05
	7	0,06 ^{cd}	0,07	0,17	0,03	0,18 ^a	0,02	0,17 ^a	0,04	0,13	0,09
	8	0,08 ^{bcd}	0,05	0,19 ^a	0,04	0,20 ^a	0,06	0,16 ^a	0,02	0,14	0,06
	9	0,11	0,06	0,16	0,02	0,23	0,08	0,34	0,31	0,18	0,05
10	0,20	0,04	0,27	0,05	0,34	0,09	0,33	0,17	0,35	0,15	

Unterschiede signifikant, wenn $p < 0,05$

Signifikanter Unterschied zur Gruppe H = a, KF = b, KFH = c, KFMS = d, MS = e

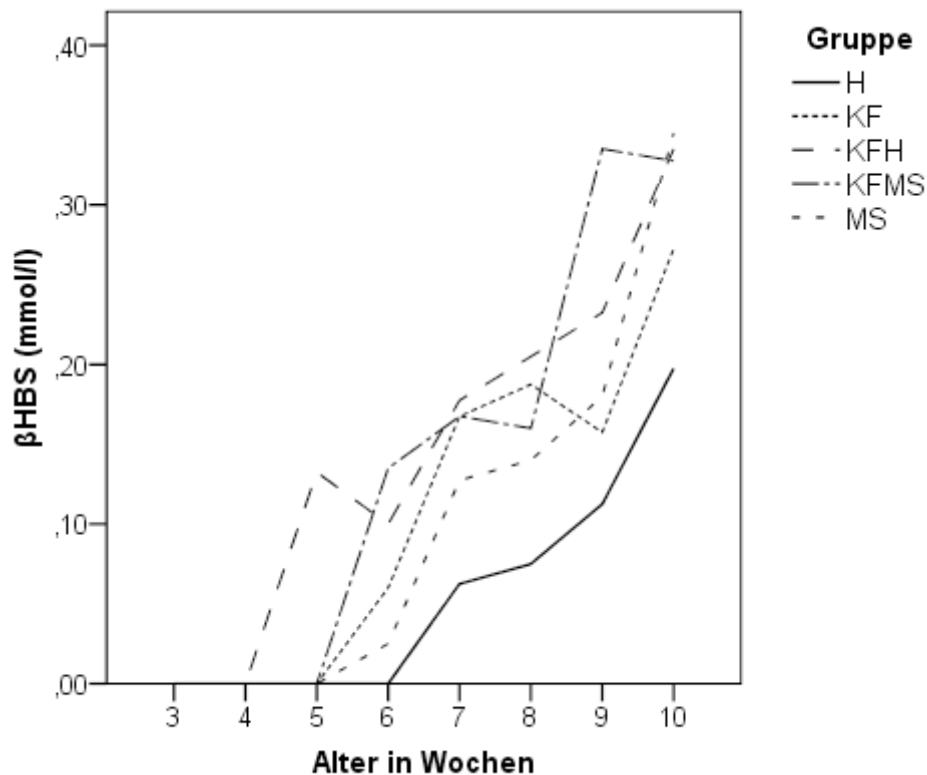


Abb. 12: Auswirkungen verschiedener Futterrationen (n=4 pro Gruppe) auf die mittlere β HBS-Konzentration (mmol/l) in den Wochen 2-10

4.7 Pansenfermentationsparameter

Nachdem bei der Schlachtung der Kälber der Verdauungstrakt entfernt worden war, wurde der Inhalt des Pansens in einen Plastiksack gefüllt, durchmischt, gewogen und sein pH-Wert bestimmt, nachdem mittels Kanüle kleine Perforationen in den Säcken angebracht worden waren, sodass der Pansensaft aufgefangen werden konnte. In Tabelle 18 sind die Ergebnisse der pH-Wert Bestimmungen am Tag der Schlachtung in Abhängigkeit von der Fütterung dargestellt. Demnach lag der **pH-Wert** vom Panseninhalt bei den verschiedenen Gruppen zwischen 5,09 und 6,62. Dabei wies die Gruppe KF den niedrigsten und die Gruppe H den höchsten Wert auf. Der pH-Wert der Gruppen KF, KFH und KFMS war signifikant höher als der der Gruppen H und MS. Zwischen den Gruppen KF, KFH und KFMS sowie zwischen den Gruppen H und MS wurden nur unwesentliche Unterschiede im pH-Wert beobachtet.

Die **Gesamtkonzentration kurzkettiger Fettsäuren** (Gesamt-SCFA) im Pansensaft lag je nach Fütterungsgruppe zwischen 65,6 und 139,8 mmol/l, wobei im Pansensaft von Kälbern der Gruppe MS die geringste und der Gruppe KFH die höchste Konzentration enthalten war. Die Gesamt-SCFA der Gruppen KF, KFH und KFMS war höher als die der Gruppen H und MS. Unterschiede zwischen den Gruppen H und MS sowie zwischen den Gruppen KF, KFH

und KFMS fielen nicht signifikant aus, jedoch lag die Gesamt-SCFA der Gruppe H deutlich über der Gruppe MS. Die Gesamt-SCFA korrelierte mit der TS-Aufnahme ($r=0,812$; $p=0,000$).

Der **Acetat-Anteil** an den Gesamt-SCFA betrug bei den verschiedenen Fütterungsgruppen 54,1-64,3 %. Den geringsten Acetat-Anteil wies die Gruppe KFMS, den höchsten die Gruppe H auf. Der Acetat-Anteil der Gruppe KF war signifikant höher als der der Gruppe KFMS. Obwohl der Anteil in den Gruppen H, KF und MS deutlich höher ausfiel als in den Gruppen KFH und KFMS, konnten keine weiteren signifikanten Unterschiede beobachtet werden.

Der **Propionat-Anteil** an den Gesamt-SCFA lag je nach Fütterungsgruppe zwischen 16,1 und 25,2 %. Dabei wies die Gruppe MS den niedrigsten und die Gruppe KFH den höchsten Anteil auf. Der Propionat-Anteil der Gruppe KF fiel signifikant geringer aus als der der Gruppe KFMS, deren Wert sich kaum vom Wert der Gruppe KFH mit dem höchsten Propionat-Anteil unterscheidet. Hinsichtlich des Propionat-Anteils wurden keine weiteren signifikanten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen festgestellt.

Der **Butyrat-Anteil** lag bei den Fütterungsgruppen zwischen 10,0 und 14,6 %, wobei der Anteil bei der Gruppe H am niedrigsten und bei der Gruppe MS am höchsten ausfiel. Es waren zwar Unterschiede zwischen der Gruppe H und den Gruppen KF, KFH und KFMS ersichtlich, diese fielen jedoch nicht signifikant aus.

Der **Iso-Butyrat-Anteil** lag je nach Fütterungsgruppe zwischen 1,0 und 2,7 %, wobei die Kälber der Gruppe KFMS den höchsten und die Kälber der Gruppe MS den niedrigsten Iso-Butyrat-Anteil aufwiesen. Die Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS zeigten einen höheren Iso-Butyrat-Anteil als die Kälber der Gruppen H und MS und diese Unterschiede fielen bei den Gruppen KF und KFMS signifikant aus.

Der **Valeriat-Anteil** variierte zwischen 1,2 und 4,4 % und fiel bei den Gruppen KFH und KFMS am höchsten und bei der Gruppe H am niedrigsten aus. Der Valeriat-Anteil der Gruppe H fiel signifikant geringer aus als bei den Gruppen KF, KFH und KFMS. Zwischen dem Valeriat-Anteil und dem pH-Wert des Pansensaftes wurde eine starke Korrelation beobachtet ($r=-0,632$, $p=0,003$).

Der **Iso-Valeriat-Anteil** lag zwischen 1,6 und 2,8 %, wobei die Kälber der Gruppe MS den höchsten und die Kälber der Gruppe KFH den geringsten Iso-Valeriat-Anteil aufwiesen. Zwischen den Fütterungsgruppen waren keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Iso-Valeriat-Anteils vorhanden.

Die **D-Laktat-Konzentration** im Pansensaft lag je nach Fütterungsgruppe zwischen 0,04 und 0,88 mmol/l und war am höchsten bei der Gruppe KFH und am geringsten bei der Gruppe H gefolgt von der Gruppe MS. Die Gruppen KF, KFH und KFMS zeigten eine signifikant höhere D-Laktat-Konzentration als die Gruppen H und MS. Zwischen der D-

Laktat-Konzentration und dem pH-Wert des Pansensaftes wurde eine mittlere Korrelation beobachtet ($r=-0,553$, $p=0,011$).

Die **L-Laktat-Konzentration** im Pansensaft lag bei den verschiedenen Fütterungsgruppen zwischen 0,02 und 0,61 mmol/l. Die höchste L-Laktat-Konzentration wies die Gruppe KFH auf, die geringste die Gruppe MS gefolgt von der Gruppe H. Die Kälber der Gruppen KF und KFH zeigten eine signifikant höhere L-Laktat-Konzentration als die Gruppen H und MS. Die Konzentration von L-Laktat im Pansensaft wies eine mittlere Korrelation mit dem pH-Wert des Pansensaftes auf ($r=-0,537$, $p=0,015$).

Die **Ammonium-Konzentration** im Pansensaft lag bei den unterschiedlichen Fütterungsgruppen zwischen 0,60 und 1,21 mmol/l. Die höchste Konzentration wies der Pansensaft der Gruppe KF, die geringste der Pansensaft der Kälber der Gruppe MS auf. Die Gruppe H zeigte eine geringere Ammonium-Konzentration als die Gruppen KF, KFH und KFMS. Signifikante Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen waren jedoch hinsichtlich der Ammonium-Konzentration nicht vorhanden.

Tab. 18: Ergebnisse der Pansensaftuntersuchungen nach Schlachtung von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke

Parameter	Gruppe											
	H		KF		KFH		KFMS		MS			
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s		
pH-Wert	6,62 ^{bcd}	0,2	5,09 ^{ae}	0,2	5,29 ^{ae}	0,20	5,26 ^{ae}	0,20	6,55 ^{bcd}	0,20		
Gesamt-SCFA, mmol/l	84,8 ^{bcd}	13,2	135,4 ^{ae}	20,0	139,8 ^{ae}	19,3	133,5 ^{ae}	15,0	65,6 ^{bcd}	10,4		
Acetat, %	64,3	11,5	63,0 ^d	2,9	56,9	4,9	54,1 ^b	3,4	62,3	12,3		
Propionat, %	21,5	11,4	18,0 ^d	1,1	25,2	6,5	25,1 ^b	2,6	16,1	6,7		
Butyrat, %	10,0	2,7	10,4	1,0	10,4	0,4	11,0	2,1	14,6	4,7		
Iso-Butyrat, %	1,1 ^{bd}	0,4	2,6 ^{ae}	0,5	1,5	1,3	2,7 ^{ae}	0,2	1,0 ^{bd}	0,1		
Valerat, %	1,2 ^{bcd}	0,4	3,3 ^{acd}	0,3	4,4 ^{ab}	0,8	4,4 ^{ab}	0,2	3,3	1,0		
Iso-Valerat, %	1,9	1,7	2,7	0,5	1,6	1,4	2,7	0,1	2,8	3,2		
D-Laktat, mmol/l	0,04 ^{bcd}	0,02	0,32 ^{ae}	0,18	0,88 ^{ae}	0,29	0,31 ^{ae}	0,23	0,06 ^{bcd}	0,04		
L-Laktat, mmol/l	0,03 ^{bc}	0,02	0,26 ^{ae}	0,18	0,61 ^{ae}	0,31	0,19	0,20	0,02 ^{bc}	0,02		
Ammonium, mmol/l	0,73	0,81	1,21	0,60	1,18	0,69	0,79	0,83	0,60	0,37		

Unterschiede signifikant, wenn $p < 0,05$

Signifikanter Unterschied zur Gruppe H = a, KF = b, KFH = c, KFMS = d, MS = e

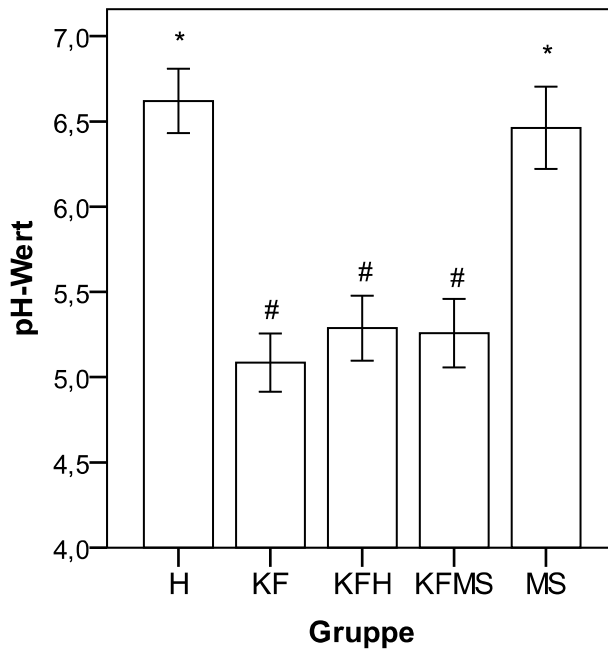


Abb. 13: Ergebnisse der pH-Wert Bestimmung im Pansensaft von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futtermittel zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen. Mittelwerte mit unterschiedlichen Symbolen unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$). Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts

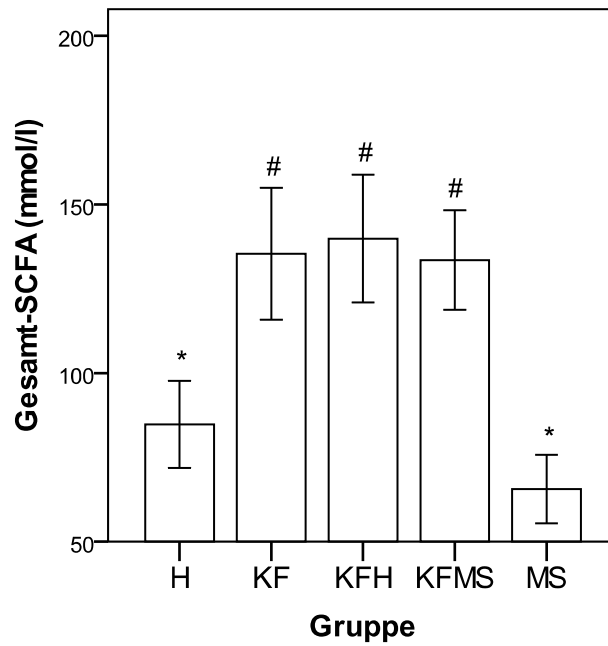


Abb. 14: Ergebnisse der Bestimmung der Konzentration an kurzkettigen Fettsäuren (SCFA, mmol/l) im Pansensaft von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futtermittel zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen. Mittelwerte mit unterschiedlichen Symbolen unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$). Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts

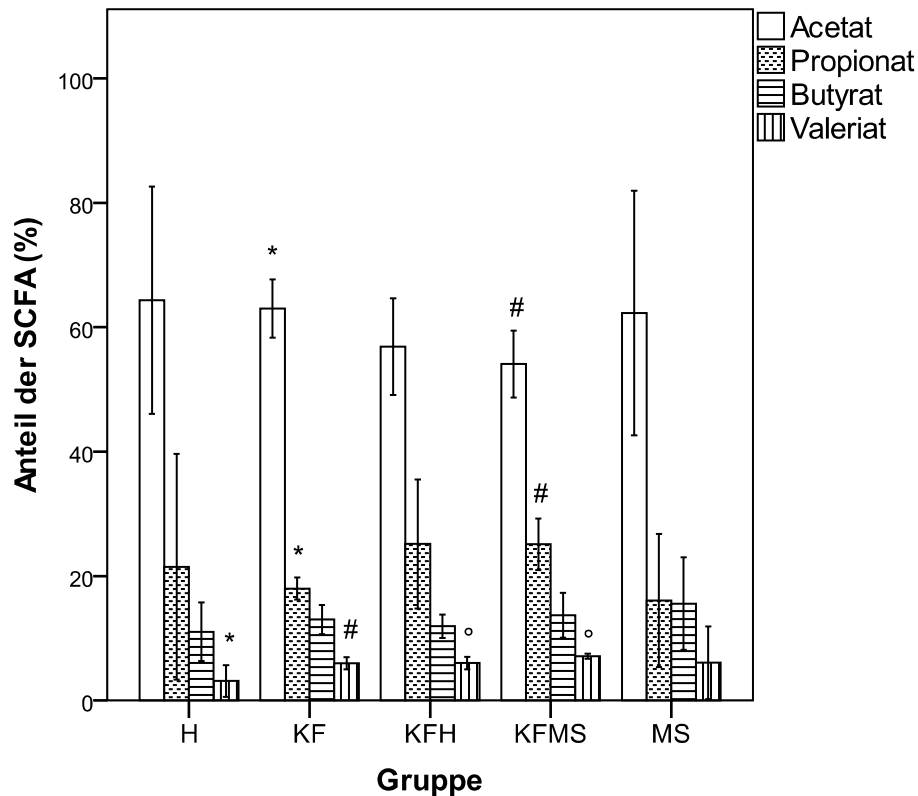


Abb. 15: Anteile der kurzkettigen Fettsäuren Acetat, Propionat, Butyrat und Valeriat (%) an den Gesamt-SCFA im Pansensaft von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futtermittel zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen. Mittelwerte mit unterschiedlichen Symbolen unterscheiden sich signifikant voneinander ($p < 0,05$). Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts

4.8 Beschaffenheit der Pansenschleimhaut

Die grobsinnliche Beurteilung der Pansenschleimhaut zeigte, dass bei den Kälbern der Gruppe H sehr zahlreiche, eher dünne und kurze sowie deutlich separierte Zotten vorhanden waren. Auch bei den Gruppen KF, KFH und KFMS wurden zahlreiche Zotten gefunden, jedoch war die Anzahl geringer als bei den Kälbern der Gruppe H und die Zotten waren etwas dicker und größer. Sehr kleine oder teils sogar ein Fehlen von Zotten wurde auf der faltenreichen Pansenschleimhaut von Kälbern der Gruppe MS beobachtet. Die Pansenschleimhaut der Kälber aus der Gruppe H war von brauner Farbe, während die der Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS olivgrün war. Die Kälber der Gruppe MS wiesen eine senfegelbe Pansenschleimhaut auf (siehe Abb. 16).

H



KF



MS

Abb. 16: Beschaffenheit der kutanen Schleimhaut des ventralen Pansensackes von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futtermittel zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen. Heu (H), Kraftfutter (KF) und Maissilage (MS). Vergr.: 7x

Bei der Beurteilung der Pansenschleimhaut fielen bei den Gruppen KF, KFH und KFMS ein gehäuftes Auftreten von unregelmäßig geformten, verzweigten oder verklumpten Zotten sowie die Anwesenheit von Haaren und Läsionen auf. Bei je zwei Kälbern dieser Gruppen war dies auch in den Bereichen der Gewebeprobenentnahme der Fall. Da eine Auszählung der Zottenzahl sowie eine Messung von Länge und Breite der Zotten unter diesen Umständen unmöglich war, konnten bei den Gruppen KF, KFH und KFMS nur bei je zwei Kälbern und bei der Gruppe MS bei keinem der vier Kälber die Zottenlänge, -breite und -dichte bestimmt werden. Die Zotten der Gruppe MS waren bis auf wenige kleine Bereiche nur in nicht messbarer Größe oder überhaupt nicht vorhanden.

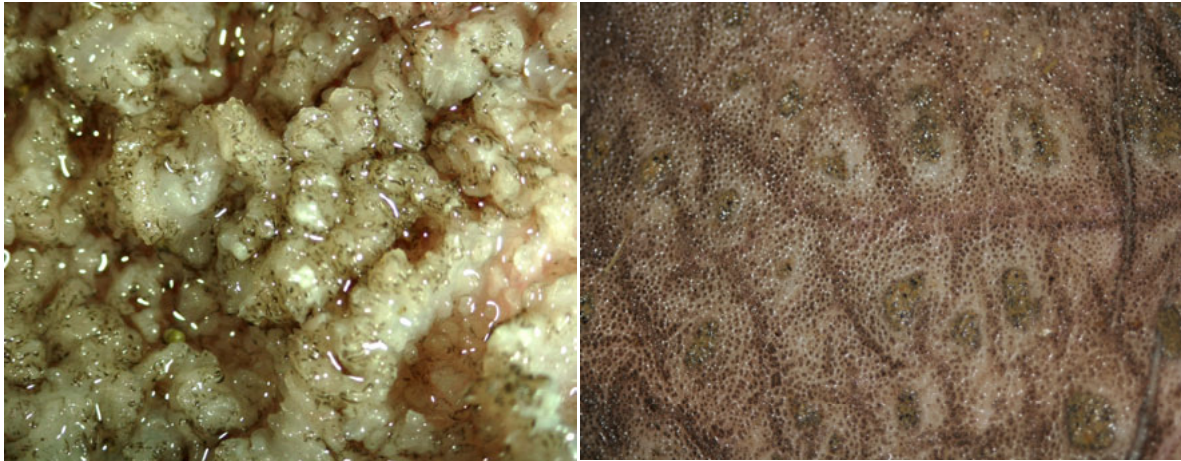


Abb. 17: Verklumpte Zotten (links) und Läsionen (rechts) bei Kälbern, die Kraftfutter (KF) erhielten. Vergr.: 7x

Die grobsinnliche Beurteilung der Blättermagen- und Labmagenschleimhaut war ausnahmslos unauffällig und es konnten keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen festgestellt werden. Die Effekte der verschiedenen Futtermittel auf die Zottenlänge, -breite und -dichte sind in Tabelle 19 wiedergegeben. Die Zottenlänge lag bei den unterschiedlichen Gruppen im ventralen Pansensack zwischen 1,3 und 4,0 mm und im ventralen Blindsack zwischen 1,3 und 5,4 mm. Die Gruppe H zeigte in beiden Bereichen des Pansens wesentlich kürzere Zotten als die Gruppen KF, KFH und KFMS, bei denen die Zotten im ventralen Pansensack ähnlich lang waren. Im ventralen Blindsack unterschied sich auch die Zottenlänge der Gruppen KF, KFH und KFMS deutlich, wobei die Gruppe KFH die längsten Zotten zeigte. Die Zottenlänge korrelierte stark mit dem Anteil an Valeriat ($r=0,747$; $p=0,005$) und der D-Laktat-Konzentration im Pansensaft ($r=0,653$; $p=0,021$) und sehr stark mit den Gesamt-SCFA ($r=0,821$; $p=0,001$).

Die Zotten waren je nach Fütterungsgruppe im ventralen Pansensack zwischen 1,3 und 1,7 mm und im ventralen Blindsack zwischen 1,3 und 1,5 mm breit. In beiden Bereichen des Pansens zeigten die Kälber der Gruppe H die schmalsten Zotten. Im ventralen Pansensack waren die Zotten der Gruppe KFH am breitesten gefolgt von denen der Gruppen KF und KFMS, die Zotten ähnlicher Breite aufwiesen. Im ventralen Blindsack konnten dagegen keine Unterschiede in der Zottenbreite der Gruppen KF, KFH und KFMS beobachtet werden.

Die größte Zottendichte wies in beiden Bereichen des Pansens mit $114/\text{cm}^2$ im ventralen Pansensack und $94/\text{cm}^2$ im ventralen Blindsack die Gruppe H auf. Die geringste Zottendichte in beiden Bereichen des Pansens wies mit $34/\text{cm}^2$ im ventralen Pansensack und $29/\text{cm}^2$ im ventralen Blindsack die Gruppe KF auf. Die Zottendichte war im Gegensatz zu Zottenlänge und Zottenbreite stark negativ mit den Parametern Valeriat-Anteil ($r=-0,766$; $p=0,004$),

Gesamt-SCFA ($r=-0,745$; $p=0,005$) und D-Laktat im Pansensaft ($r=-0,602$; $p=0,038$) korreliert.

Tab. 19: Zottenlänge, Zottenbreite und Zottendichte in ausgewählten Regionen des ventralen Pansensacks und Pansenblindsacks von Kälbern bei Angebot verschiedener Futterrationen (H: $n=4$; KF, KFH und KFMS: $n=2$) zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen

Parameter	Gruppe							
	H		KF		KFH		KFMS	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
ventr. Pansensack								
Länge (mm)	1,3	0,1	3,8	1,2	3,9	0,4	4,0	1,1
Breite (mm)	1,3	0,1	1,4	0,0	1,7	0,1	1,4	0,3
Dichte (n/cm^2)	114	27	34	1	46	15	46	8
ventr. Blindsack								
Länge (mm)	1,3	0,3	2,9	0,6	5,4	0,7	4,4	0,4
Breite (mm)	1,3	0,3	1,5	0,2	1,5	0,2	1,5	0,4
Dichte (n/cm^2)	94	26	29	3	33	13	47	5

Zusätzlich zur Beurteilung der Zotten wurde anhand der Gewebeschnitte das Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge (MLSL), die Dicke von Stratum corneum und granulosum (SCSG), die Dicke von Stratum basale und spinosum (SBSS) sowie die Epithelhöhe gemessen. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 20 wiedergegeben. Das Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge lag je nach Fütterungsgruppe im ventralen Pansensack zwischen 2,6 und 9,8 und im ventralen Blindsack zwischen 2,8 und 10,6. Das geringste Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge war bei der Gruppe MS zu sehen. Für den ventralen Pansensack fiel dieser Wert in der Gruppe MS signifikant geringer aus als bei allen anderen Gruppen. In den Gewebeschnitten aus dem ventralen Blindsack zeigte die Gruppe MS ein signifikant geringeres Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge als die Gruppen KF, KFH und KFMS. Im ventralen Pansensack zeigte die Gruppe H ein signifikant geringeres Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge als die Gruppen KF, KFH und KFMS. Im ventralen Blindsack war der Wert der Gruppe H signifikant geringer als der der Gruppen KF und KFMS. Es bestand eine starke Korrelation zwischen dem Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge und den Gesamt-SCFA im Pansensaft ($r=0,849$; $p=0,000$).

Die Dicke von Stratum corneum und granulosum (SCSG) lag im ventralen Pansensack je nach Fütterungsgruppe zwischen 14,6 μm (KF) und 27,6 μm (KFMS). Im ventralen Blindsack

lag sie zwischen 15,7 μm (H) und 24,2 μm (MS). Signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Fütterungsgruppen waren nicht vorhanden.

Die Dicke von Stratum basale und spinosum (SBSS) lag im ventralen Pansensack zwischen 37,8 μm (MS) und 53,9 μm (KFMS) und im ventralen Blindsack zwischen 50,2 μm (KFMS) und 58,0 μm (KF). Im ventralen Pansensack wies die Gruppe MS einen signifikant geringeren Wert auf als die Gruppen KFH und KFMS.

Im ventralen Pansensack variierte die Epithelhöhe zwischen 60,1 μm (MS) und 81,5 μm (KFMS), im ventralen Blindsack zwischen 66,1 μm (H) und 79,9 μm (KF). In beiden Bereichen des Pansens wiesen die Kälber der Gruppe H eine geringere Epithelhöhe auf als die der Gruppen KF, KFH und KFMS, die Unterschiede fielen jedoch nicht signifikant aus.

Tab. 20: Auswirkungen der Futterrationen (n=4 pro Gruppe) auf das Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge (MLSL), die Dicke von Stratum corneum und granulosum (SCSG), die Dicke von Stratum basale und spinosum (SBSS) sowie die Epithelhöhe im Alter von 10 Wochen

Parameter	Gruppe									
	H		KF		KFH		KFMS		MS	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
ventr. Pansensack										
MLSL	5,6 ^{bcd}	0,7	9,7 ^{ae}	1,9	9,7 ^{ae}	2,5	9,8 ^{ae}	1,3	2,6 ^{abcd}	0,3
SCSG (μm)	16,8	10,1	14,6	4,0	17,0	2,7	27,6	14,9	22,3	4,9
SBSS (μm)	43,6	6,5	48,3	4,2	48,9 ^e	5,7	53,9 ^e	7,2	37,8 ^{cd}	3,6
Epithelhöhe (μm)	60,3	15,9	62,9	7,9	65,9	3,3	81,5	21,5	60,1	6,2
ventr. Blindsack										
MLSL	4,9 ^{bd}	1,0	10,6 ^{ae}	2,1	8,7 ^e	2,8	10,6 ^{ae}	2,3	2,8 ^{bcd}	0,9
SCSG (μm)	15,7	5,2	21,8	9,2	17,4	4,0	17,5	5,0	24,2	8,5
SBSS (μm)	50,5	7,9	58,0	11,7	50,8	15,6	50,2	11,2	52,5	7,8
Epithelhöhe (μm)	66,1	11,2	79,9	20,6	68,2	18,7	67,8	16,0	76,7	16,1

Unterschiede signifikant, wenn $p < 0,05$

Signifikanter Unterschied zur Gruppe H = a, KF = b, KFH = c, KFMS = d, MS = e

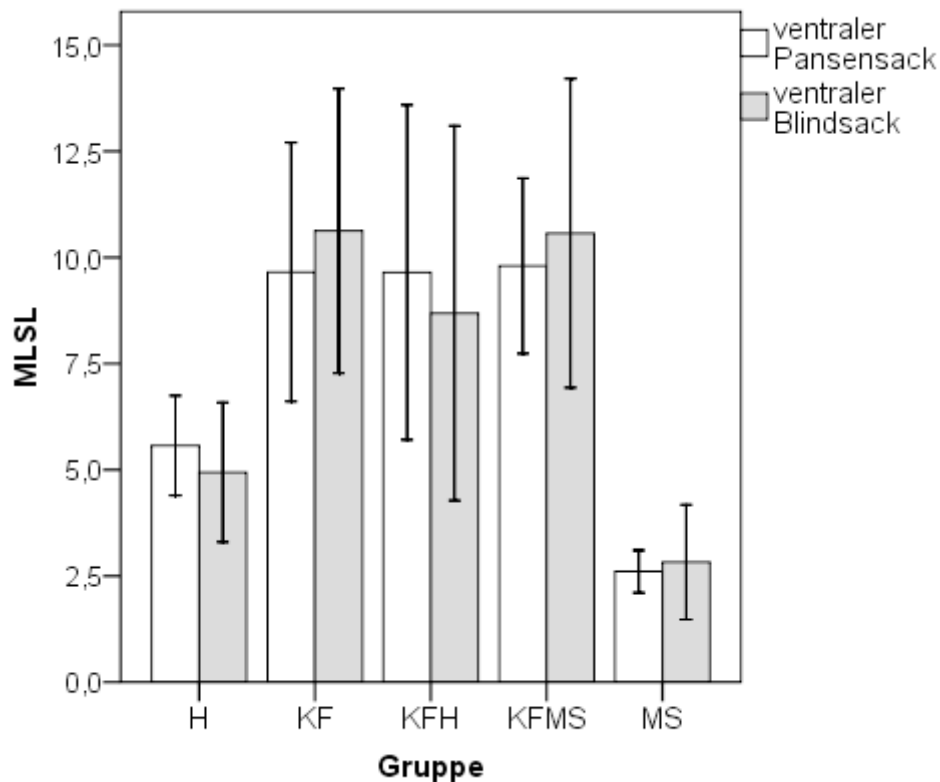


Abb. 18: Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge (MLSL) in Gewebeproben aus dem ventralen Pansensack und Pansenblindsack von Kälbern bei Angebot verschiedener Futtermittel (n=4 pro Gruppe) zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen. Fehlerbalken zeigen das 95 %-Konfidenzintervall des Mittelwerts

4.9 Organgewichte

Nach der Schlachtung der Tiere wurden die Gewichte der einzelnen Organe bestimmt. Die Gewichte der verschiedenen Organe bezogen auf die Körperleermasse (KLM) von Kälbern aus den verschiedenen Fütterungsgruppen können der Tabelle 21 entnommen werden. Das Gewicht des vollen Reticulorumens lag je nach Gruppe zwischen 112 und 279 g/kg KLM. Dabei wiesen die Kälber der Gruppe MS das schwerste Reticulorumen mit Inhalt auf, gefolgt von demjenigen der Kälber aus der Gruppe H. Zwischen dem Gewicht des vollen Reticulorumens von Kälbern der Gruppe MS und dem von Kälbern der Gruppen KF, KFH und KFMS bestanden signifikante Unterschiede. Das volle Reticulorumen von Kälbern der Gruppe H war zudem signifikant schwerer als das der Gruppen KFH und KFMS.

Das Gewicht des leeren Reticulorumens betrug zwischen 22 und 29 g/kg KLM. Im Gegensatz zum vollen Reticulorumen war das Leergewicht des Reticulorumens bei Kälbern der Gruppen KF, KFH und KFMS höher als bei denjenigen der Gruppen H und MS, wobei der Unterschied zur Gruppe H signifikant ausfiel.

Hinsichtlich des Gewichts des vollen Blättermagens, welches zwischen 13 und 17 g/kg KLM lag, konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen beobachtet werden. Das Leergewicht des Blättermagens lag zwischen 6 und 8 g/kg KLM. Abgesehen von einem signifikant höheren Wert der Gruppe KFMS im Vergleich zur Gruppe MS bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Das Gewicht des vollen Labmagens variierte je nach Fütterungsgruppe zwischen 11 und 26 g/kg KLM. Die gefüllten Labmägen der Kälber aus den Gruppen H und MS wiesen ein höheres Gewicht auf als diejenigen der Kälber aus den Gruppen KF, KFH und KFMS. Diese Unterschiede fielen mit einer Ausnahme (Gruppe KFMS) signifikant aus. Das Labmagenleergewicht lag zwischen 6 und 7 g/kg KLM. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen konnten dabei nicht beobachtet werden. Der volle Dünndarm wog zwischen 44 und 80 g/kg KLM. Er war bei den Gruppen KF, KFH und KFMS schwerer als bei den Gruppen H und MS. Signifikante Unterschiede konnten zwischen der Gruppe MS und den Gruppen KF, KFH und KFMS sowie zwischen der Gruppe H und den Gruppen KFH und KFMS festgestellt werden. Das Leergewicht des Dünndarms lag zwischen 29 und 37 g/kg KLM. Der leere Dünndarm der Gruppen KF, KFH und KFMS war schwerer als der der Gruppen H und MS, wobei die Unterschiede zwischen der Gruppe MS und den Gruppen KF und KFH signifikant ausfielen. Das Gewicht des vollen Dickdarms lag zwischen 25 und 36 g/kg KLM, wobei die Gruppen H und MS einen schwereren vollen Dickdarm aufwiesen als die Gruppen KF, KFH und KFMS. Zwischen der Gruppe MS und den Gruppen KFH und KFMS sowie zwischen der Gruppe H und der Gruppe KFH fielen diese Unterschiede signifikant aus. Das Dickdarmleergewicht lag zwischen 11 und 13 g/kg KLM und war bei den Gruppen KF, KFH und KFMS höher als bei den Gruppen H und MS. Signifikante Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen waren jedoch nicht vorhanden. Die Leber wog bei den verschiedenen Fütterungsgruppen zwischen 19 und 28 g/kg KLM. Die Gruppen KF, KFH und KFMS wiesen ein höheres Lebergewicht auf als die Gruppen H und MS. Dieser Unterschied fiel bis auf die Gruppe KFH signifikant aus.

Tab. 21: Organgewichte in g/kg Körperleermasse von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futterrationen zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen

Organ	Gruppe									
	H		KF		KFH		KFMS		MS	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
Reticulorumen voll	250 ^{cd}	49	152 ^e	38	130 ^{ae}	24	112 ^{ae}	10	279 ^{bcd}	34
Reticulorumen leer	22 ^{bcd}	3	29 ^a	4	27 ^a	3	29 ^a	3	25	4
Blättermagen voll	16	3	13	5	14	2	17	5	16	4
Blättermagen leer	7	0	7	1	7	2	8 ^e	1	6 ^d	1
Labmagen voll	23 ^{bc}	3	14 ^{ae}	5	11 ^{ae}	7	21	8	26 ^{bc}	3
Labmagen leer	7	1	7	1	6	1	7	1	7	1
Dünndarm voll	55 ^{cd}	5	69 ^e	9	80 ^{ae}	15	72 ^{ae}	8	44 ^{bcd}	9
Dünndarm leer	29	5	37 ^e	5	37 ^e	8	35	7	29 ^{bc}	1
Dickdarm voll	34 ^c	6	29	6	25 ^{ae}	4	27 ^e	2	36 ^{cd}	4
Dickdarm leer	11	2	13	5	12	2	13	3	11	1
Leber	20 ^{bd}	2	25 ^{ae}	1	24	4	28 ^{ae}	2	19 ^{bd}	1

Unterschiede signifikant, wenn $p < 0,05$

Signifikanter Unterschied zur Gruppe H = a, KF = b, KFH = c, KFMS = d, MS = e

4.10 Grobsinnliche Beurteilung und Trockensubstanzanteil der Ingesta

Die grobsinnliche Beurteilung des Panseninhaltes zeigte, dass dieser in der Gruppe H einen aromatischen Geruch aufwies, während dieser in der Gruppe KF stechend säuerlich und in den Gruppen KFH und KFMS säuerlich roch. Der Panseninhalt der Gruppe MS hatte einen maissilage-ähnlichen Geruch. Bei den Kälbern der Gruppe H war die Panseningesta von grüner Farbe, wohingegen die Ingesta der Gruppen KF, KFH und KFMS dunkel-oliv war. Bei den Kälbern der Gruppe MS hatte die Ingesta eine ocker-gelbe Farbe. Während die Panseningesta der Gruppen H und MS eine teigige Konsistenz aufwies, war die der Gruppen KF, KFH und KFMS von breiiger Konsistenz. Der TS-Gehalt des Panseninhaltes wird in Tabelle 22 wiedergegeben. Er betrug zwischen 166,6 und 197,8 g/kg Panseninhalt und war am höchsten bei Kälbern der Gruppe H und am geringsten bei Kälbern der Gruppe KFMS. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen beobachtet werden. Der TS-Anteil der Dünndarmingesta lag zwischen 56,2 und 83,0 g/kg, wobei die Gruppe KFH den höchsten und die Gruppe MS den geringsten Anteil aufwies. Auch hinsichtlich des TS-Anteils der Dünndarmingesta unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant voneinander. Im Blinddarm lag der TS-Anteil der Ingesta zwischen 104,2 und

213,3 g/kg und war am höchsten bei den Kälbern der Gruppe KFMS und am niedrigsten bei denen der Gruppe H. Wie im Pansen und Dünndarm wurden auch bezüglich des TS-Anteils in der Ingesta des Blinddarms keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden.

Tab. 22: TS-Gehalt der Ingesta von Pansen, Dünndarm und Blinddarm (g/kg) von Kälbern (n=4 pro Gruppe) bei Angebot verschiedener Futtermittel zusätzlich zur Milchaustauschertränke über einen Zeitraum von neun Wochen

TS Ingesta (g/kg)	Gruppe									
	H		KF		KFH		KFMS		MS	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
Pansen	197,8	54,9	188,1	18,7	173,4	99,8	166,6	72,5	184,5	34,0
Dünndarm	70,1	13,0	69,8	4,4	83,0	9,7	75,5	8,1	56,2	6,7
Blinddarm	104,2	10,8	153,4	12,2	139,9	8,7	213,3	92,5	121,5	41,5

5 Diskussion

Bereits seit vielen Jahren beschäftigt Wissenschaftler die Frage, welche Ration sich am besten dazu eignet, eine möglichst schnelle und mit minimalen Wachstumseinbußen und Kosten verbundene Entwicklung des anfangs monogastrisch funktionierenden Kalbes zum Wiederkäuer zu fördern und somit die Basis für eine gute Milchkuh zu legen. Dabei wurde schon früh herausgestellt, dass das für das junge Kalb unentbehrliche Angebot der Milchtränke zwar zu einem zufriedenstellenden Wachstum des Kalbes führt, sich jedoch als ungeeignet zur Förderung der Pansenentwicklung erwiesen hat und zudem insbesondere bei einer späten Entwöhnung mit hohem Aufwand verbunden ist (BOVINE ALLIANCE ON MANAGEMENT AND NUTRITION 2003; HEINRICHS 2005). Das frühzeitige Angebot von Heu zusätzlich zur Milchtränke wurde lange Zeit als eine Maßnahme zur Förderung der Pansenentwicklung angesehen, da man annahm, dass die groben Fasern des Heus über eine Reizung der Pansenwand (scratch factor) zu deren Entwicklung beitragen (QUIGLEY 2001a; WALDNER 1998). Es stellte sich jedoch heraus, dass diese Art der Fütterung dem hohen Energiebedarf des wachsenden Kalbes nicht gerecht wird und nicht die optimale Maßnahme zur Förderung der Pansenentwicklung darstellt. Aus diesem Grund ist heutzutage ein frühzeitiges Angebot von Kraftfutter (bereits ab der ersten Lebenswoche) gängige Praxis, da dieses Futtermittel einen hohen Energiegehalt aufweist und durch den hohen Gehalt an leicht verdaulichen Kohlenhydraten zu einer rascheren Entwicklung der kutanen Schleimhaut des Pansens beiträgt (LESMEISTER 2003; SCHWARZ 2008; SUÁREZ 2006). Es hat sich jedoch gezeigt, dass eine ausschließliche Fütterung von Kraftfutter ohne ein gleichzeitiges Angebot von Raufutter zu einer Schädigung des Pansens beitragen kann (QUIGLEY 2000). Ausgehend von der geschilderten Problematik und in Fortführung bereits bekannter Untersuchungen war es Ziel der vorliegenden Studie, die Auswirkungen einer Fütterung von Kraftfutter allein, Raufutter allein oder verschiedener Kombinationen aus Kraftfutter und Raufutter bei gleichzeitigem Angebot von Milchaustauschertränke auf das Wachstum und die Pansenentwicklung von Kälbern bis zum Absetzen zu untersuchen.

5.1 Klinische Untersuchung der Kälber

Alle 20 Kälber, die in die Studie eingeschlossen wurden, blieben während der Beobachtungsperiode gesund. Dies spiegelt sich sowohl in den Ergebnissen der täglich durchgeführten Gesundheitskontrollen wider, welche keine Hinweise auf eine Einschränkung des Gesundheitszustandes der Tiere lieferten, als auch in den Ergebnissen der hämatologischen Blutuntersuchungen, die keine entzündlichen Prozesse annehmen ließen.

Ein nachteiliger Effekt auf das Wachstum und die Entwicklung der Kälber, der krankheitsbedingt hätte auftreten können, kann für diese Tiere ausgeschlossen werden.

Bezüglich der Kotkonsistenz konnten bereits makroskopisch Unterschiede zwischen den verschiedenen Fütterungsstrategien beobachtet werden. So wiesen die mit Heu gefütterten Kälber eine festere Kotkonsistenz auf als die mit Maissilage gefütterten Tiere. Der Kot der mit Kraftfutter gefütterten Kälber hatte die geringste Konsistenz, während der Kot der Kälber in den Gruppen KFH und KFMS eine etwas festere Konsistenz aufwies als der der Gruppe KF. Die genannten Unterschiede sind auf einen unterschiedlichen Rohfasergehalt der verschiedenen Rationen zurückzuführen. Denn je geringer der Rohfasergehalt des Futters ist und je mehr leicht verdauliche Kohlenhydrate darin enthalten sind, desto mehr osmotisch aktive Substanzen werden bei der mikrobiellen Verdauung des Futters gebildet. Sofern keine Absorption der Endprodukte der bakteriellen Fermentation stattfindet, sammeln diese sich in der Pansenflüssigkeit an, was zu einem erhöhten osmotischen Druck führt. Dieser hat eine Diffusion von Wasser in Richtung auf das Lumen des Pansens zur Folge (MARTENS 2005), durch die der Futterbrei an Konsistenz verliert. Auch NOLLER et al. (1959) und MATHER et al. (2007) betonen, dass Futtermittel mit höherem Rohfasergehalt zu einer festeren Kotkonsistenz führen.

5.2 Tränkeaufnahme

In der vorliegenden Studie erhielten die Kälber aller Fütterungsgruppen eine zuvor festgelegte Menge an Milchaustauscher, welche sich nach den Bedarfsnormen richtete (siehe Tabelle 5). Diese lag bis zum Beginn der langsamen Reduzierung der Milchaustauschermenge ab dem Alter von sieben Wochen durchschnittlich bei etwa 9,4 % der Körpermasse und kam somit den gängigen Empfehlungen von einer Menge von 10 % der Körpermasse nahe (APPLEBY et al. 2001; JASPER und WEARY 2002; KAMPHUES et al. 2009). Die Kälber in der vorliegenden Studie haben die gesamte angebotene Milchaustauschermenge getrunken. Dies war zu erwarten, da die Tiere klinisch gesund waren und aus anderen Studien bekannt ist, dass Kälber wesentlich mehr Milchaustauscher konsumieren können als die ihnen typischerweise angebotenen 10 % der Lebendmasse (APPLEBY et al. 2001; HAMMELL et al. 1988; JASPER und WEARY 2002). So konnten JASPER und WEARY (2002) zeigen, dass Kälber, die ad libitum mit Milchaustauscher gefüttert werden, 89 % mehr Milchaustauscher aufnehmen als Kälber, die konventionell (10 % der Körpermasse) gefüttert werden. Die aufgenommene Milchaustauschermenge hat einen starken Einfluss auf die Höhe der Festfutteraufnahme (BOVINE ALLIANCE ON MANAGEMENT AND NUTRITION 2003; GUILHERMET 1990; ROY 1980). So wird berichtet, dass die Aufnahme einer größeren Milchaustauschermenge eine geringere

Aufnahme von Kraftfutter und Heu bedingt (JASPER und WEARY 2002; KHALILI et al. 1992).

5.3 Aufnahme fester Futtermittel

Heutzutage besteht die gängige Fütterungspraxis bei Aufzuchtälbern in einem frühen Angebot fester Futtermittel neben der Milchtränke. Dabei wird insbesondere der hohe Stellenwert eines frühzeitigen Kraftfutterangebots betont (KAMPHUES et al. 2009; SCHWARZ 2008). Auch in der vorliegenden Studie wurden bereits ab der zweiten Lebenswoche feste Futtermittel zur ad libitum Aufnahme angeboten. Während über ein frühes Angebot von Kraftfutter ein Konsens besteht, wird eine Fütterung von Heu bereits in den ersten Lebenswochen kontrovers diskutiert. In der vorliegenden Studie wurde bereits ab der zweiten Lebenswoche Heu angeboten. Einige Autoren sind der Ansicht, dass erst im Alter von sechs Wochen mit der Fütterung von Heu begonnen werden sollte, da während der ersten fünf Wochen bei gleichzeitiger Kraftfuttergabe keine nennenswerte Aufnahme von Heu zu erwarten ist (QUIGLEY 2001a). Andere Autoren raten dagegen von einer Heufütterung in den ersten Lebenswochen ab, da ein frühzeitiges Raufutterangebot ihrer Ansicht nach zu einer verminderten Aufnahme von Kraftfutter führen kann (BOVINE ALLIANCE ON MANAGEMENT AND NUTRITION 2003; HOPKINS und WHITLOW 2001; WALDNER 1998). Eine Verminderung der Kraftfutteraufnahme durch das zusätzliche Angebot von Heu konnte in der vorliegenden Studie nicht beobachtet werden. Vielmehr zeigten die Kälber der Gruppen KFH und KFMS eine ähnliche Kraftfutteraufnahme wie die Kälber der Gruppe KF. Wie die Aussage von QUIGLEY (2001a) vermuten ließ, waren auch bei STOBO et al. (1966a) und in der vorliegenden Studie bei gleichzeitigem Angebot von Heu und Kraftfutter nur geringe Heuaufnahmen zu verzeichnen. So nahmen die Kälber der Gruppe KFH 0,05 kg/Tag Heu und 1,22 kg/Tag Kraftfutter auf. Dies deutet auf eine Präferenz für die Aufnahme von Kraftfutter gegenüber der Aufnahme von Raufutter hin. Eine solche Präferenz zeigte sich auch bei den Kälbern der Gruppe KFMS, die nur geringe Mengen an Maissilage und hohe Mengen an Kraftfutter aufnahmen. Eine geringe Maissilageaufnahme im Verhältnis zur Kraftfutteraufnahme wurde auch durch ZITNAN et al. (2005) sowie durch BILSKA et al. (2007) beobachtet. Diese Ergebnisse gehen auf die unterschiedliche Geschmackhaftigkeit verschiedener Futtermittel zurück, die auch von anderen Autoren als ein wichtiger Einflussfaktor auf die Futteraufnahme hervorgehoben wird (GUILHERMET 1990; QUIGLEY 1998; ROY 1980; RUCKEBUSCH et al. 1991). Kraftfutter weist unter anderem auch durch die Zugabe von Melasse einen süßlichen Geschmack auf, der es für Kälber besonders schmackhaft macht (RUCKEBUSCH et al. 1991). Bei der Betrachtung der Futteraufnahme der Gruppen H, MS und KF zeigt sich, dass die beschriebenen Effekte der

Schmackhaftigkeit auch vorhanden waren, wenn die Kälber nicht zwischen zwei unterschiedlichen Futtermitteln wählen konnten. So nahmen die Kälber der Gruppe H deutlich weniger TS auf als die Kälber der Gruppe KF. Die TS-Aufnahme der Kälber der Gruppe MS fiel noch geringer aus als die der Gruppe H, wodurch sich auch zwischen den verschiedenen Raufuttermitteln Unterschiede in der Schmackhaftigkeit ergaben. GUILHERMET (1990) betont, dass Maissilage in geringeren Mengen als Heu aufgenommen wird. Eine Begründung hierfür könnte darin liegen, dass die Schmackhaftigkeit der Maissilage im Vergleich zu Heu und Krafffutter bereits nach kurzer Zeit an der Luft durch Gärprozesse beeinträchtigt werden kann. Weiterhin kann die Mischung der Maissilage mit Stroh in der vorliegenden Studie zu einer verminderten Aufnahmebereitschaft der Kälber geführt haben, da Stroh von Kälbern vergleichsweise ungern aufgenommen wird.

Die angebotene Milchaustauschermenge stellt einen weiteren Einflussfaktor auf die TS-Aufnahme dar (GUILHERMET 1990). So berichten HILL et al. (2009) von einer etwas höheren Krafffutteraufnahme als in der vorliegenden Studie bei einer mengenmäßig geringeren Milchaustauscherfütterung. Umgekehrt war in einer Studie von SUÁREZ (2006) bei einem höheren Milchaustauscherangebot eine geringere Krafffutteraufnahme sichtbar als in der vorliegenden Studie. Andere Autoren fanden ähnliche Ergebnisse bezüglich der KF-Aufnahme wie in der vorliegenden Studie (BACH et al. 2007; BATEMAN et al. 2009; LESMEISTER 2003).

In der vorliegenden Studie wurden Sägespäne als Einstreu verwendet. In Vorläuferstudien anderer Autoren, bei denen die Kälber auf Stroh aufgestallt worden waren, musste davon ausgegangen werden, dass die Untersuchungsergebnisse aufgrund der Aufnahme der Einstreu verfälscht worden waren (BACH et al. 2007; KERTZ 2007). In der vorliegenden Studie wurde nicht beobachtet, dass die Kälber Sägespäne aus der Einstreu aufnahmen. Nach der Schlachtung wurden im Panseninhalt nur sehr vereinzelt Sägespäne vorgefunden. Da die Lebendmasse der Kälber ebenfalls einen Einfluss auf die Menge der TS-Aufnahme ausübt, darf sie beim Vergleich der TS-Aufnahmen verschiedener Fütterungsgruppen nicht unberücksichtigt bleiben. In der vorliegenden Studie zeigten die Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS aufgrund der bereits erwähnten höheren Schmackhaftigkeit eine deutlich höhere TS-Aufnahme als die der Gruppe H, wobei die Tiere der Gruppe KFH am meisten TS aufnahmen. Die TS-Aufnahme der Gruppe MS fiel noch geringer aus als die der Gruppe H. Dieselben Unterschiede zwischen den Gruppen zeigten sich auch unter Einbeziehung der Lebendmasse (g TS/kg Lebendmasse).

5.4 ME-Aufnahme

Die empfohlene Energieversorgung von Aufzuchtälbern liegt im ersten Lebensmonat bei 18,2 MJ/Tag, im zweiten Lebensmonat bei 25,1 MJ/Tag und im dritten Lebensmonat bei 28,1 MJ/Tag (siehe Tabelle 1, KAMPHUES et al. 2009). In der vorliegenden Studie entsprach die Energieversorgung der Gruppen KF, KFH und KFMS diesen aktuellen Empfehlungen (siehe Tabelle 12). Die Energieversorgung der Gruppen H und MS lag unter der der anderen Gruppen, was mit dem geringeren ME-Gehalt von Heu und Maissilage im Vergleich zu Kraftfutter und mit den unterschiedlichen TS-Aufnahmen der Fütterungsgruppen zu begründen ist. Die vorliegende Studie zeigt somit, dass eine alleinige Zufütterung von Heu den Energiebedarf des wachsenden Kalbes innerhalb der ersten zehn Lebenswochen nicht ausreichend zu decken vermag. Dieses spiegelte sich dann auch in den geringeren Lebendmassezunahmen der Gruppe H wider. Dass der Energiebedarf der Gruppe MS nicht gedeckt war, ist mit der geringen TS-Aufnahme dieser Gruppe in Verbindung zu bringen. Dies könnte zum einen damit zusammenhängen, dass Kälber in den ersten Lebenswochen nur ungern größere Mengen an Maissilage aufnehmen (GUILHERMET 1990). Weiterhin könnte aber auch eine unzureichende Qualität der Maissilage durch aerobe Gärungsprozesse zu einer besonders geringen Schmackhaftigkeit und somit auch reduzierten TS-Aufnahme geführt haben.

5.5 Trinkwasseraufnahme

Wasser ist bei vielen biochemischen Prozessen im Organismus von essentieller Bedeutung und spielt eine wichtige Rolle in der Regulation der Körpertemperatur und des osmotischen Druckes. SCHWARZ (2008) betont, dass der Flüssigkeitsbedarf von Kälbern über die begrenzte Milchaustauschertränke nicht gedeckt wird und somit eine Möglichkeit zur Wasseraufnahme ab der zweiten bis dritten Lebenswoche gegeben sein muss. Es ist nur wenig über die Aufnahme von Wasser bei Kälbern während der Milchfütterungsperiode und während der Entwöhnung bekannt. Die Trinkwasseraufnahme der Kälber in der vorliegenden Studie ist in Tabelle 13 wiedergegeben. Durch die Gabe einer kommerziellen Elektrolytmischung nahmen die Kälber während der ersten zwei Wochen der Studie täglich 1,5 l Wasser auf. Als ab der dritten Woche ad libitum Trinkwasser angeboten wurde, sank die Wasseraufnahme zunächst ab und stieg dann wieder langsam an. Dies legt nahe, dass die Kälber in den ersten Wochen normalerweise nur wenig Trinkwasser aufnehmen und die vollständige Menge der kommerziellen Elektrolytmischung nur wegen des süßen Geschmackes aufgenommen wurde. Zum Zeitpunkt der beginnenden Milchaustauscherreduktion in Woche sieben war aufgrund der verminderten über den Milchaustauscher beziehbaren Flüssigkeitsmenge ein deutlicher Anstieg der

Wasseraufnahme zu verzeichnen. Auch HEPOLA et al. (2008) deuten auf einen Zusammenhang zwischen der angebotenen Milchaustauschermenge und der Trinkwasseraufnahme hin. STANGL (2008) betont, dass die TS-Aufnahmemenge eine wichtige Rolle hinsichtlich des Wasserbedarfs des Kalbes spielt. In der vorliegenden Studie zeigten die Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS eine deutlich höhere Trinkwasseraufnahme als die Kälber der Gruppen H und MS, wobei die Gruppe MS am wenigsten Trinkwasser aufnahm. Somit nahmen die Kälber derjenigen Gruppen, die eine höhere TS-Aufnahme zeigten, deutlich mehr Trinkwasser auf. Ähnliche Ergebnisse fanden auch HEPOLA et al. (2008), in deren Studie die Trinkwasseraufnahme von Kälbern nach der Entwöhnung positiv mit der Höhe der Kraftfutteraufnahme korreliert war. Durchschnittlich nahmen die Kälber der Gruppe KFH über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg 5,0 l Wasser/Tag und somit etwas mehr als ähnlich gefütterte Kälber in der Studie von STOBO et al. (1966a) auf.

5.6 Entwicklung von Lebendmasse, Brustumfang und Widerristhöhe

Bei Kälbern sollte innerhalb der Aufzuchtperiode eine tägliche Lebendmassezunahme (TLMZ) von 0,7-0,85 kg angestrebt werden (KAMPHUES et al. 2009; SCHWARZ 2008). In der vorliegenden Studie wurden diese Vorgaben bei den Gruppen KF, KFH und KFMS mit einer TLMZ von 0,86 kg/Tag, 0,95 kg/Tag und 0,88 kg/Tag übertroffen (siehe Tabelle 14). Dies ist auf die insbesondere gegen Ende der Studie weit über den Empfehlungen liegende Energieversorgung der Kälber dieser Gruppen zurückzuführen. Die Gruppe H zeigte eine durchschnittliche TLMZ von 0,7 kg/Tag und erreichte damit lediglich die untere Grenze der Vorgaben. Die TLMZ der Gruppe MS lag bei durchschnittlich 0,49 kg/Tag und somit deutlich unter den angestrebten Zunahmen. Die Gruppen KF, KFH und KFMS zeigten eine deutlich höhere TLMZ als die Gruppen H und MS, wobei die Kälber der Gruppe KFH die höchsten Zunahmen erreichten. Dies liegt zum einen in der höheren TS-Aufnahme der Gruppen KF, KFH und KFMS und zum anderen im höheren Energiegehalt des Kraftfutters begründet. Auch KINCAID (1980) und MILLER et al. (1969) sind der Meinung, dass durch die Gabe von Raufutter zusätzlich zum Kraftfutter bessere Zunahmen erzielt werden als bei einem alleinigen Kraftfutterangebot. Die durchschnittliche TLMZ der Gruppe KF von 0,86 kg/Tag fiel höher aus als von anderen Autoren beobachtet (HILL et al. 2009; HOLTSHAUSEN und CRUYWAGEN 2000; KEHOE et al. 2007; QUIGLEY et al. 1994). In den genannten Studien erhielten die Tiere jedoch weniger Milchaustauscher oder wurden früh entwöhnt. Dies war ebenfalls in der Studie von BEHARKA et al. (1991) der Fall, in der mit Kraftfutter und Heu gefütterte Kälber geringere Zunahmen aufwiesen als die Kälber der Gruppe KFH in der vorliegenden Studie. Die Kälber der Gruppe KFMS nahmen durchschnittlich 0,88 kg/Tag zu.

ZITNAN et al. (2005) fanden bei mit Krafffutter und Maissilage gefütterten Kälbern eine etwas geringere TLMZ. Die Kälber in der Studie von ZITNAN et al. (2005) erhielten zwar bezogen auf das Tränkevolumen mehr MAT als diejenigen in der vorliegenden Studie, nahmen jedoch auch wesentlich weniger Krafffutter auf. GUILHERMET (1990) erwähnt, dass Maissilage von Kälbern in geringerem Maße aufgenommen wird als Heu. Jedoch gibt er an, dass mit Maissilage gefütterte Kälber gleich viel oder sogar mehr zunehmen als mit Heu gefütterte Kälber. Dies führt er auf den höheren Energiegehalt der Maissilage zurück. In der vorliegenden Studie nahmen die Kälber der Gruppe H jedoch deutlich mehr zu als die der Gruppe MS. Der höhere Energiegehalt der Maissilage konnte die wesentlich geringere TS-Aufnahme der Gruppe MS somit nicht kompensieren. Im Vergleich zur siebten Lebenswoche nahmen die Kälber der Gruppen H, KF, KFH und MS in der achten Lebenswoche weniger zu. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass den Kälbern ab der achten Lebenswoche nur noch einmal täglich Milchaustauscher angeboten wurde und dass sie in Erwartung einer zweiten Milchaustauscherfütterung nicht genügend Festfutter aufnahmen, um trotz der Reduktion des Milchaustauscherangebots höhere Zunahmen als in der vorangegangenen Woche zu erzielen. Der Brustumfang und die Widerristhöhe veränderten sich durchschnittlich über den Beobachtungszeitraum von 10 Wochen hinweg bei denjenigen Gruppen am stärksten, die die höchste TLMZ erreichten. Die einzige Ausnahme stellten diesbezüglich die Tiere der Gruppe MS dar, die trotz geringer TLMZ eine stärkere tägliche Veränderung des Brustumfanges als die Tiere der Gruppe KFMS und eine gleich starke Veränderung der Widerristhöhe wie die Kälber der Gruppe H aufwiesen. Ähnlich gefütterte Kälber in der Studie von KEHOE et al. (2007) zeigten die gleiche tägliche Veränderung des Brustumfanges und eine ähnlich hohe tägliche Veränderung der Widerristhöhe wie die Kälber der Gruppe KF aus der vorliegenden Studie.

5.7 Blutuntersuchung

Die Parameter des roten Blutbildes zeigten die für Saugkälber typische Entwicklung. Laut STÖBER und GRÜNDER (1990) steigt beim Rinderfötus der Gehalt des Blutes an roten Blutkörperchen in der zweiten Hälfte des intrauterinen Lebens allmählich auf Werte von 6 bis 7 T/l. Nach der Geburt setzt dann eine zunehmende Aktivität der knochenmarksständigen Erythropoese ein, während alternde rote Blutkörperchen, die mit fetalem Hämoglobin beladen sind, in vermehrtem Maße abgebaut werden. In den ersten Wochen nach der Geburt wird die Neubildung von Erythrozyten durch die vor allem bei reiner Milchnahrung knappe Eisenversorgung begrenzt. Möglicherweise spielt dieser Faktor für die Kälber der Gruppe MS eine Rolle, deren **Hämatokritwerte** deutlich unter denen der Tiere anderer Gruppen lagen. Hier dürften die geringe Futteraufnahme und die vergleichsweise höheren

Eisengehalte in dem verfütterten Kraftfutter eine Rolle spielen. Beim neugeborenen Kalb liegt die **Leukozytenzahl** etwas höher als beim erwachsenen Tier, da der Besatz der Oberfläche der Leukozyten mit Adhäsionsmolekülen, welche dem Leukozyten den Austritt aus den Blutgefäßen ermöglichen, beim Neonaten geringer ist als beim adulten Rind. Deshalb weicht der für Kälber gültige Referenzbereich (5,0-12,0 G/l) von dem erwachsener Tiere (5,0-10,0 G/l) ab (STÖBER und GRÜNDER 1990). Die Messwerte lagen bei den Kälbern innerhalb des von STÖBER und GRÜNDER (1990) genannten Referenzbereiches. Hinweise auf Entzündungsreaktionen ergaben sich nicht.

Da das neugeborene Kalb zunächst wie ein Monogastrier funktioniert und sich das Insulin/Glukagonsystem erst in den ersten Lebenswochen einpendelt, liegt die **Glukosekonzentration** im Blut von Kälbern in der Periode der Milchfütterung höher als beim ruminierenden Rind; sie unterliegt zudem stärkeren Schwankungen (RUCKEBUSCH et al. 1991; STANGL 2008). Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass der Energiehaushalt des Kalbes mit der Aufnahme pflanzlicher Bestandteile und dem Absetzen von der Milchfütterung drastische Veränderungen erfährt (ATTEBERY und COLVIN JR. 1963; HIBBS et al. 1961; McCARTHY und KESLER 1956). Es ist bekannt, dass die Aufnahme von Milch beim Kalb zum Schluss der Schlundrinne führt, wodurch die wertvollen Nahrungsbestandteile der Milch unter Umgehung des Pansens zunächst in den Labmagen und von dort in den Darm gelangen. Auf diese Weise stehen große Mengen Laktose bzw. nach deren enzymatischer Spaltung Glukose und Galaktose für die Aufnahme im Dünndarm zur Verfügung (ATTERBY und COLVIN JR. 1963). Wird das Milchkalb zum Wiederkäuer, sinkt der Blutglukosespiegel, sofern die Ration aus schwer fermentierbaren Kohlenhydraten besteht. Bei Rationen, in denen der Kohlenhydratanteil vor allem aus Zellulose besteht, wird über die Fermentation im Pansen vornehmlich Acetat gebildet, welches vom Körper direkt als Energieträger verbraucht wird. Demgegenüber führt ein Angebot leicht fermentierbarer Kohlenhydrate im Pansen zur Bildung von Propionat, welches als „glukogene“ Substanz zur Bildung von Glukose verwendet wird. Aus diesem Grund werden bei Kälbern mit höheren Blutglukosespiegeln größere Tageszunahmen beobachtet. Vor allem im Fastenzustand sinkt daher der Blutglukosespiegel bei Kälbern, die mit Kraftfutter gefüttert wurden weniger stark als bei Kälbern mit alleiniger Heufütterung. Ähnliche Beobachtungen wurden in Studien gemacht, in denen das Spektrum der Pansenflora mittels Antibiotikagaben beeinflusst wurde. Kälber, denen peroral Chlortetrazyklin verabreicht wurde, wiesen höhere Blutglukosespiegel und Tageszunahmen auf als unbehandelte Tiere (HIBBS et al. 1961). Die Autoren führen diesen Effekt einerseits auf einen verminderten Energieverbrauch zurück, der durch Zurückdrängen bestimmter Bakterienpopulationen entsteht. Andererseits führt die Behandlung zu einer vermehrten Bereitstellung glukogener Substanzen, welche für die Synthese von Glukose verwendet werden. In der vorliegenden Studie bewegten sich die Blutzuckerkonzentrationen

von Tieren aller Fütterungsgruppen in einem Bereich, wie dieser auch von anderen Autoren angegeben wird (FAYET und TOUTAIN 1990; KRAFT et al. 2005; LUMSDEN et al. 1980). STOBO et al. (1966b) konnten einen höheren Anteil leichtverdaulicher Kohlenhydrate in der Ration mit höheren Glukose-Konzentrationen in Verbindung bringen. In der vorliegenden Studie ist ein Anstieg der Blutglukosekonzentration im Laufe der Zeit zu beobachten, jedoch wiesen die Kälber bei Vergleich der verschiedenen Fütterungsgruppen keine signifikanten Unterschiede auf. Ähnliche Beobachtungen machten auch QUIGLEY et al. (1991), die Gruppen von Kälbern miteinander verglichen, welche mit Kraftfutter und Heu oder lediglich mit Kraftfutter gefüttert worden waren. Für eine bessere Einschätzung des Einflusses der verschiedenen Rationen auf den Energiehaushalt ist eine frequentere Probennahme und/oder ein Fastenversuch erforderlich, bei dem neben der Bestimmung der Blutglukosekonzentration die Bestimmung von Insulin und Glukagon von Nöten wäre (ATTERBY und COLVIN JR. 1963). Im vorliegenden Studiendesign wurde ein solches Vorgehen nicht erwogen, da die Kälber weitestgehend ungestört durch Probennahmen aufwachsen sollten.

Neuere Untersuchungen zur Laktatazidose beim Wiederkäuer unterstreichen die Bedeutung dieses Parameters für die Einschätzung bakteriell bedingter Fermentationsstörungen in Pansen und Darm (EWASCHUK et al. 2005). Die **Laktatgehalte** im Serum gesunder Kälber schwanken zwischen 1 und 2 mmol/l und beruhen fast ausnahmslos auf L-Laktat, welches in den Zellen des Organismus produziert wird. Die L-Laktat-Azidose entsteht dann auch in aller Regel infolge einer Gewebshypoxämie im Rahmen von Toxinämien oder Durchblutungsstörungen. D-Laktat-Azidosen entstehen dagegen vor allem im Zusammenhang mit einem Überangebot leicht fermentierbarer Kohlenhydrate im Pansen sowie bei Pansentrinkern infolge bakterieller Fermentation von Milch im Pansen und bei der neonatalen Kälberdiarrhöe. Dabei wird die D-Laktat-Azidose als metabolische Azidose definiert, die mit einem Anstieg der D-Laktatkonzentration im Blut auf Werte über 3 mmol/l einhergeht. Laktat-Konzentrationen wie in der vorliegenden Studie beobachteten KLOTZ und HEITMANN (2006) sowie STÖBER und GRÜNDER (1990) bei klinisch gesunden Kälbern. In der vorliegenden Studie wurden jedoch in einzelnen Wochen für die verschiedenen Fütterungsgruppen signifikante Unterschiede hinsichtlich der Laktat-Konzentration im Blut beobachtet. Im Zusammenhang mit hohen Aufnahmen leicht verdaulicher Kohlenhydrate wird von einer verstärkten Bildung von Laktat und der Entstehung einer Pansenazidose berichtet, die sich unter anderem auch durch erhöhte D-Laktat-Konzentrationen im Blut zu erkennen gibt (LORENZ 2009). Ob dies bei den Kälbern der Gruppe KF in der vorliegenden Studie der Fall war, ist unklar, da nur die L-Laktat-Konzentration ermittelt wurde.

Die **Ammoniak-Konzentration** lag innerhalb des von STÖBER und GRÜNDER (1990) angegebenen Referenzbereiches und unterlag keinen Einflüssen der Rationsart.

Die **Bilirubin-Konzentration** lag innerhalb der von LUMSDEN et al. (1980) sowie KRAFT et al. (2005) angegebenen Referenzbereiche und wurde nicht von der Art der Ration beeinflusst. Beim neugeborenen Kalb tritt durch das noch nicht vollständig funktionsfähige Uridindiphosphat-Glucoronyl-Transferase-System physiologischerweise häufig eine leicht erhöhte Bilirubinkonzentration, ein so genannter Neugeborenenikterus, auf. Nach Ende der ersten Lebenswoche normalisiert sich die Bilirubin-Konzentration dann wieder (KRAFT et al. 2005). Dies konnte auch in der vorliegenden Studie beobachtet werden.

Der **Harnstoffgehalt** im Blutserum stellt ein sehr gutes Kriterium für die Beurteilung der Eiweißversorgung über das Futter dar. Denn das beim Eiweißabbau im Pansen entstehende, überschüssige Ammoniak wird in der Leber zu Harnstoff umgewandelt. Dieser wird dann über den Urin ausgeschieden oder gelangt in den Speichel, wo er von mikrobiellen Ureasen zu Ammoniak gespalten wird und den Pansenmikroben wieder als Stickstoffquelle zur Verfügung steht. In der vorliegenden Studie lag der Harnstoffgehalt innerhalb der von STÖBER und GRÜNDER (1990) und GREENWOOD et al. (1997) angegebenen Referenzbereiche oder wich nur wenig von ihnen ab. Die Kälber der Gruppe MS wiesen ab der 6. Woche einen geringeren Harnstoffgehalt auf als die Kälber der Gruppen H, KF, KFH und KFMS. In einzelnen Wochen der Studie fiel dieser Unterschied signifikant aus. Verschiedene Autoren berichten über ein besseres Wachstum von Kälbern und Jungrindern, wenn Maissilage mit Eiweiß supplementiert wurde (PENDLUM et al. 1978) und sehen dann auch die Notwendigkeit zusätzlich zur Maissilage ein proteinreiches Supplement anzubieten. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass die geringe TS-Aufnahme in dieser Gruppe im Verhältnis zum ansteigenden Proteinbedarf des Kalbes einen negativen Einfluss auf die Proteinversorgung hatte.

Die **TP-Konzentration** im Serum lag anfänglich innerhalb des von WERNER (2003) beschriebenen Bereiches und nahm im späteren Verlauf der Studie ähnliche Werte an wie in Untersuchungen von KRAFT et al. (2005), LESMEISTER und HEINRICHS (2004) und LUMSDEN et al. (1980). Ihre Bestimmung gilt in der ersten Lebenswoche als eine indirekte Methode zur Überprüfung der Kolostrumversorgung von Kälbern. Dabei deuten Werte von < 50 g/l auf eine Unterversorgung mit Kolostrum hin (WERNER 2003). In der vorliegenden Studie lag die TP-Konzentration in der ersten Lebenswoche über diesem Grenzwert und lässt somit auf eine ausreichende Kolostrumversorgung schließen. Abgesehen von der ersten Woche, in der sie vermutlich durch die Kolostrumaufnahme beeinflusst wurde, stieg sie im Laufe der Studie an. Bei MOHRI et al. (2007) wurde ein ähnlicher Verlauf der TP-Konzentration beobachtet.

Die **Albumin-Konzentration** im Serum aller Kälber stieg im Laufe des Untersuchungszeitraums kontinuierlich an und gibt Hinweise auf die Proteinbiosynthese in

der Leber. Die beobachteten Albuminspiegel fielen ähnlich aus wie bei PORZIG (2004) und WERNER (2003).

Die **AST-Aktivität** im Serum der Kälber aller Gruppen stieg zum Ende der Studie hin langsam an. Ein Anstieg der AST-Aktivität im Serum kann sowohl durch einen Niedergang von Hepatozyten als auch von Muskelzellen bedingt sein, weshalb die AST immer im Zusammenhang mit dem klinischen Bild und der Aktivität der Creatinkinase betrachtet werden muss (s.u.). Auch MOHRI et al. (2007) berichten von einer mit dem Alter ansteigenden Aktivität der AST. In der vorliegenden Studie unterschieden sich die AST-Aktivitäten der Kälber verschiedener Fütterungsgruppen nicht signifikant voneinander und lagen innerhalb des von LUMSDEN et al. (1980) angegebenen Referenzbereiches.

Die Aktivität der Muskel-spezifischen **CK** lag innerhalb des von LUMSDEN et al. (1980) angegebenen Referenzbereiches und unterlag keinen Einflüssen der Rationsart.

Die **GLDH** ist ein an die Mitochondrienmatrix der Hepatozyten gebundenes Enzym und gilt als monokuläres, leberspezifisches Enzym. Die GLDH-Aktivität der Kälber in der vorliegenden Studie stieg im Laufe der Studie an und nahm ähnliche Werte an wie sie PORZIG (2004) und FRERKING et al. (1983) berichten. Untersuchungen bei Fleischfressern mit Diabetes zeigen, dass dieses Enzym abhängig vom Glukosespiegel im Blut induzierbar ist (MÜHLBERGER und KRAFT 1994). Über fütterungsbedingte Unterschiede der GLDH-Konzentration wurde bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht berichtet. In der vorliegenden Studie zeigten die Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS ab der siebten Woche mit Werten von bis zu 48,7 U/l jedoch eine teils signifikant höhere GLDH-Aktivität als die Kälber der Gruppen H und MS. In diesem Zusammenhang ist auch das erhöhte Lebergewicht der Kälber dieser Gruppen im Vergleich zu den Kälbern der Gruppen H und MS bemerkenswert. Eine Begründung für die höhere GLDH-Aktivität und das höhere Lebergewicht der Kälber, deren Ration Krafffutter beinhaltete, könnte in einer erhöhten Stoffwechselaktivität der Leber aufgrund der höheren Energieaufnahme liegen. KRAFT et al. (2005) betonen, dass vorübergehende geringgradige Aktivitätssteigerungen im Bereich von > 30 U/l bis 90 U/l, wie sie bei den Kälbern der Gruppen KF, KFH und KFMS auftraten, meist nicht von pathologischer Wertigkeit sind. Erst Werte über 90 U/l deuten auf eine Leberkrankheit mit Zellnekrose hin.

Die **GGT** ist ein Enzym, welches in Membranstrukturen lokalisiert ist. Obwohl ihre Aktivität in der Leber geringer ist als in der Niere, kann sie als leberspezifisches Enzym angesehen werden, da eine Aktivitätssteigerung der GGT im Blut nur bei Erkrankungen der Leber oder Gallengänge auftritt (KRAFT et al. 2005). Da die GGT unter anderem auch in den Euterepithelien enthalten ist, gelangt sie über die Kolostralmilch in der Zeit, in der die Darmschranke des Neugeborenen noch durchlässig ist, in das Blut des Kalbes. Die Bestimmung der GGT-Aktivität im Serum von neugeborenen Kälbern lässt deshalb auch

innerhalb gewisser Grenzen einen Rückschluss auf eine genügende oder ungenügende Versorgung der Kälber mit Kolostrum zu. Bei guter Kolostrumversorgung findet man kurz nach der Kolostrumaufnahme eine hohe GGT-Aktivität, die dann während der ersten Lebenswochen auf Werte absinkt, die dem Referenzbereich adulter Tiere entsprechen (WERNER 2003). Dies war auch in der vorliegenden Studie der Fall, sodass von einer ausreichenden Versorgung mit Kolostrum ausgegangen werden kann. Eine ähnliche GGT-Aktivität wie in der vorliegenden Studie fanden auch BOGIN et al. (1993). Bezüglich der GGT-Konzentration wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Fütterungsgruppen beobachtet.

Der Übergang vom Milchkalb zum Wiederkäuer sowie die damit verbundene Pansenentwicklung haben einen starken Einfluss auf die **βHBS-Konzentration** im Blut. βHBS ist ein Ketonkörper und wichtiger Metabolit im Wiederkäuerorganismus, welcher vor allem beim adulten Rind in Zeiten begrenzter Futterreserven als Energiequelle fungiert. Beim Kalb ist βHBS eher ein Indikator für die vor sich gehende Pansenentwicklung. Die kurzkettige Fettsäure Butyrat entsteht infolge Fermentation von Kohlenhydraten durch Pansenbakterien. Butyrat wird in die Epithelzellen des Pansens aufgenommen, wo es in βHBS umgewandelt wird. Sofern Kälber in der Periode der Milchfütterung zusätzlich Kraftfutter erhalten, steigen die βHBS-Spiegel im Blut auf etwa 0,35 mmol/l (QUIGLEY et al. 1991). Nach dem Absetzen wurden sogar Konzentrationen über 1,00 mmol/l ermittelt, d.h. Werte, die bei erwachsenen Kühen zur Diagnose „Ketose“ führen würden. Nachdem das Kalb in der Periode der Milchfütterung seinen Energiehaushalt vornehmlich über die Glukose bestritten hat, muss sich sein Organismus beim Übergang zum Wiederkäuer an neue Energielieferanten, wie u.a. βHBS adaptieren. In der vorliegenden Studie wurde die βHBS-Konzentration von der Art des Futters beeinflusst und stieg – wie ebenfalls von QUIGLEY und BERNARD (1992) beobachtet – im Verlauf der Studie an. Durchschnittlich lag sie zwischen 0,09 und 0,22 mmol/l. Ähnliche Werte wurden auch von COVERDALE et al. (2004) beobachtet. Die Gruppen KF, KFH und KFMS wiesen eine höhere βHBS-Konzentration auf als die Gruppen H und MS. Der höhere pH-Wert im Pansensaft bei den Gruppen H und MS könnte die Absorptionsrate von Butyrat aus dem Pansen reduziert und somit die βHBS-Konzentration im Blut vermindert haben (QUIGLEY und BERNARD 1992). Weiterhin kam es durch die Aufnahme des energiereichen Kraftfutters im Vergleich zu Raufutter zu einer höheren Produktion von Butyrat im Pansen. Diese Relation zwischen Kraftfutteraufnahme und produzierter Butyratmenge wurde bereits von zahlreichen Autoren berichtet (HIBBS et al. 1956; POUNDEN und HIBBS 1948a; POUNDEN und HIBBS 1948b; STOBO et al. 1966b). Wie auch in früheren Studien wurde eine hohe Korrelation zwischen der TS-Aufnahme und der βHBS-Konzentration festgestellt (QUIGLEY und BERNARD 1992; QUIGLEY et al. 1991).

Die Ergebnisse der **Blutgasanalyse** (pH, pCO₂, pO₂, sO₂, HCO₃, BE) ergaben ähnliche Werte wie sie BAUMGARTNER (2005) sowie STÖBER und GRÜNDER (1990) für gesunde Kälber ermittelt haben. Sie wurden nicht von der Art des Futters beeinflusst.

Die **Elektrolyte** Na, K, Ca, Mg, P und Cl lagen innerhalb der von STÖBER und GRÜNDER (1990) angegebenen Referenzbereiche und wurden nicht von der Art der Ration beeinflusst.

5.8 Pansensaftparameter

In der vorliegenden Studie wurde zwecks Stressvermeidung nur einmalig zum Ende des Beobachtungszeitraums anlässlich der Schlachtung der Tiere Pansensaft gewonnen.

Der **pH-Wert** des Pansensaftes unterliegt starken Einflüssen der Rationsgestaltung und beträgt unter physiologischen Bedingungen zwischen 5,5 und 7,0. Bei einer raufutterreichen Ration nimmt er Werte von 6,5 bis 7,0 an, während er bei einer krafftutterreichen Ration zwischen 5,5 und 6,0 liegt (DIRKSEN 1990; MARTENS 2005). Auch andere Autoren betonen, dass eine krafftutterreiche Ration durch die erhöhte Stärkefermentation und die dadurch bedingte erhöhte Laktatproduktion zu einem niedrigeren pH-Wert im Pansensaft führt (DIRKSEN 1990; HEINRICHS 2005; LESMEISTER 2003; SUÁREZ 2006; VAN SOEST 1994) als eine raufutterreiche Ration, die aufgrund größerer Partikel und eines höheren Fasergehalts einen höheren pH-Wert hervorruft (DIRKSEN 1990; HIBBS et al. 1956; SUÁREZ 2006; ZITNAN et al. 1998). In der vorliegenden Studie fiel der pH-Wert in den Gruppen KFH und KFMS höher aus als der der Gruppe KF, obwohl die Kälber dieser Gruppen nur wenig Raufutter aufnahmen. Dies deutet darauf hin, dass bereits kleine Mengen an Raufutter den pH-Wert im Pansen erhöhen. KHAN et al. (2008) fanden bei mit Krafftutter und Heu gefütterten Kälbern, die wesentlich mehr Heu im Verhältnis zu Krafftutter fraßen als die Kälber in der vorliegenden Studie, einen deutlich höheren pH-Wert. Wie aufgrund der Kohlenhydratzusammensetzung der Futtermittel erwartet fiel der pH-Wert der Kälber der Gruppe H signifikant höher aus als bei den Kälbern der Gruppen KF, KFH und KFMS. Der signifikant höhere pH-Wert der Gruppe MS im Vergleich mit den Gruppen KF, KFH und KFMS trotz hohen Stärkegehalts der Maissilage könnte auf deren größere Partikel und die geringere TS-Aufnahme zurückgehen. Der pH-Wert der Gruppen H und MS entsprach mit Werten von 6,62 bzw. 6,55 den Angaben für den pH-Wert bei einer raufutterreichen Ration. Der pH-Wert der Gruppen KF, KFH und KFMS lag jedoch mit Werten < 5,5 unterhalb des physiologischen Bereiches für Rinder und würde somit beim Rind auf eine Pansenazidose hindeuten. Ob Werte in diesem Bereich auch bei Kälbern diesen Schluss zulassen, ist unklar. Es ist bekannt, dass der Pansen-pH-Wert in Abhängigkeit vom Angebot schnell, mittelfristig und langfristig fermentierbarer Kohlenhydrate erheblichen Schwankungen unterliegt. Da die Probennahme im Schlachthaus nur eine

Punktbestimmung darstellt, empfehlen sich Folgeuntersuchungen mit Anwendung drahtloser Messinstrumente, die in den Pansen eingegeben werden und permanente Bestimmungen des pH-Wertes im Pansen erlauben.

Im Zusammenhang mit der akuten Pansenazidose der Wiederkäuer wurden im Pansensaft von Kühen Konzentrationen an D- und L-Laktat von mehr als 300 mmol/l festgestellt, bei gleichzeitiger Erhöhung der Blutspiegel auf bis zu 30 mmol/l (EWASCHUK et al. 2005). In der vorliegenden Studie lag die **D-Laktat-Konzentration** im Pansensaft zwischen 0,04 und 0,88 mmol/l und die **L-Laktat-Konzentration** variierte zwischen 0,02 und 0,61 mmol/l und erreichte somit nicht diejenigen Gehalte, die klinische Symptome bedingen könnten. Wie von vielen anderen Autoren beobachtet (HEINRICHS 2005; LESMEISTER 2003; SUÁREZ 2006; VAN SOEST 1994) wurden auch in der vorliegenden Studie niedrigere pH-Werte im Pansen mit einer höheren Laktatproduktion bei Angebot kohlenhydratreicher Rationen nachgewiesen. So wiesen die Gruppen KF, KFH und KFMS sowohl einen niedrigeren pH-Wert als auch eine höhere D- und L-Laktat-Konzentration als die Gruppen H und MS auf und der pH-Wert war auch negativ mit der D- und L-Laktatkonzentration korreliert.

Mit Aufnahme von rohfaserhaltigen Futtermitteln und Krafffutter setzt die mikrobielle Fermentation im Pansen ein, wobei – je nach Art des Futters – verschiedene Spektren kurzkettiger Fettsäuren entstehen. Das Wachstum und die Differenzierung des Pansenepithels hängen in hohem Maße von der Art und Menge der produzierten Fettsäuren ab. Die **Gesamtkonzentration kurzkettiger Fettsäuren** (Gesamt-SCFA) wurde in der vorliegenden Studie von der Art der Ration beeinflusst. So wiesen die Gruppen KF, KFH und KFMS mit Werten von 135,4 mmol/l, 139,8 mmol/l und 133,5 mmol/l eine signifikant höhere Gesamt-SCFA auf als die Gruppen H und MS, bei denen sie bei 84,8 mmol/l bzw. 65,6 mmol/l lag. Diese Werte entsprechen den Beobachtungen von DIRKSEN (1990), der betont, dass eine krafffutterreiche Ration in deutlich höheren Gesamt-SCFA (bis 180 mmol/l) resultiert als eine gehaltlose Ration, bei der die Gesamt-SCFA bei unter 80 mmol/l liegen kann. Neben der Kohlenhydratzusammensetzung der verschiedenen Rationen könnte die deutlich höhere Gesamt-SCFA der Gruppen KF, KFH und KFMS auch durch die wesentlich höhere TS-Aufnahme dieser Gruppen erklärbar sein. So konnte zwischen der TS-Aufnahme und der Gesamt-SCFA eine sehr starke Korrelation beobachtet werden. Wie in der Studie von ZITNAN et al. (1998) konnte auch in der vorliegenden Studie kein signifikanter Unterschied zwischen der Gesamt-SCFA der Gruppen KF und KFH festgestellt werden. Dieses Ergebnis könnte jedoch durch die sehr niedrige Heu- und sehr hohe Krafffutteraufnahme der Gruppe KFH beeinflusst worden sein. Denn in Studien von ANDERSON et al. (1982) sowie von KHAN et al. (2008) nahmen Kälber, die mit Krafffutter und Heu gefüttert wurden, wesentlich mehr Heu im Verhältnis zur Krafffutter auf als die

Kälber in der vorliegenden Studie und die Gesamt-SCFA fiel in diesen Studien deutlich niedriger aus als in der vorliegenden Studie bei der Gruppe KFH.

Die molaren Anteile der einzelnen kurzkettigen Fettsäuren **Acetat**, **Propionat**, **Butyrat**, **Valeriat**, **Iso-Butyrat** und **Iso-Valeriat** lagen innerhalb der von anderen Autoren genannten Bereiche (ANDERSON et al. 1982; DIRKSEN 1990; SUÁREZ 2006). Einige Autoren haben berichtet, dass eine krafftutterreiche Ration durch eine Veränderung im Mikrogenbestand (HIBBS et al. 1956; POUNDEN und HIBBS 1948a; POUNDEN und HIBBS 1948b) zu einer erhöhten Bildung von Propionat und Butyrat auf Kosten von Acetat führt (HEINRICHS 2005; QUIGLEY 1997; STOBO et al. 1966b). In der vorliegenden Studie wurde zwar eine signifikant geringere Gesamt-SCFA bei der Gruppe H im Vergleich zu den Gruppen KF, KFH und KFMS festgestellt. Wesentliche Unterschiede hinsichtlich der molaren Anteile von Acetat, Propionat und Butyrat wurden jedoch nicht beobachtet. Auch ANDERSON et al. (1982) fanden bei Fütterung von Raufutter oder Krafftutter nur minimale Unterschiede bezüglich der Proportionen der kurzkettigen Fettsäuren. Warum der molare Valeriat-Anteil der Gruppen KF, KFH und KFMS signifikant höher ausfiel als bei der Gruppe H, bleibt unklar. Der molare Iso-Butyrat-Anteil fiel bei den Gruppen KF, KFH und KFMS höher aus als bei den Gruppen H und MS. Diese Unterschiede fielen bei den Gruppen KF und KFMS signifikant aus. Der molare Iso-Valeriat-Anteil wurde nicht von der Art der Ration beeinflusst.

Die **Ammoniumkonzentration** fiel bei den Gruppen KF, KFH und KFMS höher aus als bei den Gruppen H und MS. Da Ammoniak im Pansen beim Abbau von Proteinen und NPN-Verbindungen durch mikrobielle Enzyme entsteht, ist dies wahrscheinlich auf den höheren Rohproteingehalt von Krafftutter verglichen mit Heu und Maissilage zurückzuführen. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren jedoch nicht signifikant. ZITNAN et al. (1998) fanden bei mit einer Mischung aus Krafftutter und Heu gefütterten Kälbern eine deutlich höhere Ammoniakkonzentration als bei Kälbern, die ausschließlich Krafftutter erhielten. Dieses Ergebnis kann durch die vorliegende Studie nicht bestätigt werden und ist in Hinblick auf den geringeren Proteingehalt von Heu im Vergleich zu Krafftutter verwunderlich.

5.9 Pansenentwicklung

Der Pansen des Wiederkäuers gleicht einer Gärkammer, in der Mikroorganismen pflanzliche Nahrung in kleinere für den Wiederkäuermetabolismus verwertbare Spaltprodukte abbauen. Eine charakteristische Struktur der Pansenschleimhaut bilden die fingerförmigen Zotten, durch die – je nach Beschaffenheit – eine erhebliche Vergrößerung der absorptiven Oberfläche zustande kommt. Die Entwicklung der Zotten wird durch die Endprodukte der mikrobiellen Fermentationsprozesse angeregt und ist deshalb neben den altersbedingten

Veränderungen in hohem Maße abhängig von der Fütterung. Generell hängt die Ausbildung der Zotten von der Lokalisation im Pansen ab (LESMEISTER 2004).

Sowohl im ventralen Pansensack als auch im ventralen Blindsack wiesen die Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS eine höhere **Zottenlänge** und **-breite**, jedoch eine geringere **Zottendichte** als die Gruppe H auf. Wissenschaftler der Penn State University beobachteten bei Kälbern, denen neben der Milchnahme Getreideprodukte zur freien Aufnahme zur Verfügung standen, im Alter von sechs Wochen eine wesentlich stärkere Entwicklung der Pansenzotten als bei mit Heu gefütterten Tieren (HEINRICHS 2005). Dabei entsprach die Zottenentwicklung eines 4 Wochen alten Kalbes, welches mit Getreide zugefüttert wurde, derjenigen eines 12 Wochen alten Tieres, das mit Heu gefüttert worden war. Zurückgeführt wird dieser Effekt auf einen größeren Einfluss, den Butyrat – im Gegensatz zu dem bei Heufütterung hauptsächlich anfallenden Acetat – auf die Entwicklung der Zotten hat. Auch in der Studie von BROWNLEE (1956) zeigten mit Kraftfutter gefütterte Kälber im Alter von 12 Wochen längere Zotten als mit Heu gefütterte Kälber. Die Zotten waren jedoch in der Studie von BROWNLEE (1956) sowohl bei den heu- als auch bei den kraftfuttergefütterten Kälbern länger als bei den Kälbern der jeweiligen Gruppe in der vorliegenden Studie. ZITNAN et al. (1998) fanden dagegen bei mit Kraftfutter oder Kraftfutter und Heu gefütterten Kälbern im Alter von neun Wochen kürzere Zotten als in der vorliegenden Studie bei der entsprechenden Fütterungsgruppe. In der Studie von ANDERSON et al. (1982) waren die Zotten von mit Kraftfutter und Heu gefütterten 12 Wochen alten Kälbern ähnlich lang wie in der vorliegenden Studie bei der Gruppe KFH. Unterschiede in den verschiedenen Studien lassen sich dadurch erklären, dass die Beobachtungen an Kälbern unterschiedlichen Alters gemacht wurden. Des Weiteren hat das Wasserangebot zusätzlich zur Milchmahlzeit bei mit Heu gefütterten Kälbern einen erheblichen Einfluss auf die Pansenentwicklung, da die in Wasser gelösten Fermentationsprodukte des Heus leichter die Pansenwand benetzen können (HEINRICHS 2005). Ebenfalls hat das Milchaustauscherangebot einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung der Pansenzotten. Je höher das angebotene Volumen und je länger die Periode dauerte, zu der Milchaustauscher angeboten wurde, desto geringer war die Zottenentwicklung (HUBER 1969). Bei Erhöhung des Milchaustauscherangebots nach vorheriger Verminderung war in den oben genannten Studien sogar eine Reduktion der Zottenlänge zu verzeichnen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen in der vorliegenden Studie, in der die Zottendichte – definiert als die Zottenanzahl pro Fläche – der Gruppe H mit Abstand am höchsten war, berichten STOBO et al. (1966a), dass ein erhöhter Konzentratanteil in der Ration zu einer höheren Zottendichte führt. ZITNAN et al. (1998) fanden bei neun Wochen alten mit Kraftfutter oder mit Kraftfutter und Heu gefütterten Kälbern eine deutlich höhere Zottendichte als bei den Kälbern der Gruppen KF und KFH in der vorliegenden Studie. Dagegen berichten ANDERSON et al. (1982) bei mit Kraftfutter und

Heu gefütterten 12 Wochen alten Kälbern über eine ähnliche Zottendichte wie bei der Gruppe KFH in der vorliegenden Studie. Dass die Zotten bei der Gruppe MS sehr klein und teils nicht messbar waren, hängt wahrscheinlich mit der geringeren TS-Aufnahme zusammen, wodurch die Menge im Pansen produzierter Fettsäuren gering blieb. Die kurzkettigen Fettsäuren spielen eine Schlüsselrolle für die Entwicklung des Pansenepithels (BALDWIN und McLEOD 2000; BROWNLEE 1956; GREENWOOD et al. 1997; HEINRICHS 2005). Dies konnte in der vorliegenden Studie sowohl durch eine sehr starke Korrelation der Zottenlänge mit der Gesamt-SCFA als auch durch die beschriebenen Unterschiede hinsichtlich der Zottenentwicklung zwischen den Gruppen bei unterschiedlicher Gesamt-SCFA bekräftigt werden. Die starke positive Korrelation zwischen der D-Laktat-Konzentration und der Zottenlänge bestätigt die These, dass die Laktat-Konzentration einen indirekten Stimulus für die Zottenentwicklung darstellt. Denn eine durch kraftfutterreiches Futter hervorgerufene erhöhte Laktatproduktion führt zu einer Senkung des pH-Wertes und einer verstärkten Bildung kurzkettiger Fettsäuren, die bereits seit langem als Schlüsselfaktor in der Epithelentwicklung gelten (BALDWIN und McLEOD 2000; BROWNLEE 1956; HEINRICHS 2005). Bemerkenswert ist die in der vorliegenden Studie gefundene starke Korrelation zwischen dem molaren Anteil an Valeriat und der Zottenlänge. Warum genau der Anteil dieser Fettsäure, nicht aber der der anderen kurzkettigen Fettsäuren Acetat, Propionat und Butyrat mit der Zottenlänge korrelierte, bleibt unklar. Der negative Zusammenhang der Parameter molarer Valeriatanteil, Gesamt-SCFA und Laktat-Konzentration mit der Zottendichte deutet darauf hin, dass eine kraftfutterreiche Ration und die dadurch vermehrt gebildeten Säuren sich zwar positiv auf die Größe, nicht jedoch auf die Dichte der Zotten auswirken.

Im Gegensatz zur Gruppe H wurden bei der **grobsinnlichen Beurteilung der Pansenschleimhaut** bei den Gruppen KF, KFH und KFMS gehäuft unregelmäßig geformte, verzweigte oder verklumpte Zotten sowie Haare und Läsionen gefunden. Die Kälber der Gruppe H zeigten eine gesunde Pansenschleimhaut. Zum gleichen Ergebnis kam auch BROWNLEE (1956). Auch andere Autoren berichten, dass bei einer kraftfutterreichen Ration die oben genannten Veränderungen an der Pansenschleimhaut auftreten können (BEHARKA et al. 1998; SUÁREZ 2006; VAN ACKEREN 2007) und weisen in diesem Zusammenhang auf die Gefahr einer Parakeratose hin. Dabei handelt es sich um eine Verhornungsstörung der kutanen Schleimhaut des Pansens, die mit einer abnormen Proliferation kernhaltiger Keratinozyten einhergeht und auf diese Weise die absorptiven Eigenschaften des Pansenepithels vermindert. Die Erkrankung wird mit einem mangelhaften Raufutteranteil in der Ration in Zusammenhang gebracht sowie mit einem übermäßigen Angebot leicht fermentierbarer Kohlenhydrate und der damit verbundenen Buttersäureproduktion (QUIGLEY 2000). Auch die Partikelgröße der angebotenen

Futtermittel hat einen Einfluss auf das Entstehen der Veränderungen. Bei Angebot von Rationen mit unterschiedlicher Partikelgröße wies die Pansenschleimhaut bei Angebot größerer Partikel weniger Keratin, aber auch eine geringere Zottenlänge auf (GREENWOOD et al. 1997). Die Parakeratose der Pansenschleimhaut muss nicht unbedingt zu Wachstumsstörungen führen. Zwar bezeichnet LESMEISTER (2003) einen pH-Wert wie er bei den Gruppen KF, KFH und KFMS in der vorliegenden Studie auftrat als nicht dramatisch niedrig. Der niedrige pH-Wert sollte jedoch im Zusammenhang mit den Schädigungen an der Pansenschleimhaut gesehen werden. Gemeinsam könnten diese Faktoren auf das Vorhandensein einer Parakeratose hindeuten. BULL et al. (1965) berichten, dass eine Verklumpung von Zotten nicht unbedingt mit einer Parakeratose einhergehen muss. Die beschriebenen Schädigungen sind jedoch ein Zeichen für eine nicht gesunde Pansenschleimhaut. Beachtenswert ist im Zusammenhang mit der Gesundheit des Pansenepithels weiterhin, dass auch die Kälber der Gruppen KFH und KFMS trotz geringer Raufutteraufnahme Schädigungen des Epithels zeigten. Aufgrund dessen sollte Krafffutter bei jungen Kälbern nur in begrenzten Mengen und bei genügender Raufutteraufnahme angeboten werden. Obwohl ein durch zu hohen Krafffutteranteil ungesundes Epithel durch eine spätere genügende Raufutterzufuhr wieder gesunden kann, sind die Spätfolgen einer beim jungen Kalb hervorgerufenen Erkrankung des Epithels nicht abzuschätzen. Wie hoch die Raufutteraufnahme sein sollte, um eine Erkrankung des Pansenepithels von Anfang an zu vermeiden, muss in weiteren Studien noch hinreichend geklärt werden.

Wie aufgrund der höheren Zottenlänge zu erwarten war das **Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge** (MLSL) bei den Kälbern der Gruppen KF, KFH und KFMS signifikant höher als bei den Gruppen H und MS. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von SUÁREZ (2006) bestand ein starker positiver Zusammenhang zwischen der Gesamt-SCFA und der MLSL. Dies ist dadurch zu begründen, dass eine höhere Gesamt-SCFA zu stärkerem Zottenwachstum geführt hat und die Größe der Zotten die MLSL stark beeinflusst.

In der vorliegenden Studie konnten bezüglich der Parameter **Dicke von Stratum corneum und Stratum granulosum** (SCSG), **Dicke von Stratum basale und Stratum spinosum** (SBSS) sowie **Epithelhöhe** in keiner der beiden untersuchten Pansenregionen signifikanten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen festgestellt werden. Dies deutet darauf hin, dass die Fütterung mit unterschiedlichem Kraft- oder Raufutteranteil und die somit unterschiedliche Gesamt-SCFA im Pansen Einfluss auf die Größe der Zotten, widergespiegelt in einer unterschiedlichen MLSL, jedoch nicht auf die Dicke der einzelnen Schichten des Plattenepithels und somit die gesamte Epithelhöhe hat. ANDERSON et al. (1982) fanden dagegen bei 12 Wochen alten Kälbern, die mit Krafffutter und Heu oder mit Krafffutter mit 25 % ganzen Baumwollsamens gefüttert wurden, Unterschiede in der SBSS. Diese Differenz führt er auf unterschiedliche Proportionen der einzelnen kurzkettigen

Fettsäuren bei den beiden Fütterungsgruppen zurück. Weiterhin fanden ANDERSON et al. (1982) bei 12 Wochen alten, mit Krafffutter und Heu gefütterten Kälbern, ähnliche Ergebnisse bezüglich der Parameter Epithelhöhe, SCSG und SBSS wie in der vorliegenden Studie bei der Gruppe KFH.

5.10 Organgewichte und Trockensubstanzgehalt der Ingesta

Organgewichte

Das höchste Gewicht des **vollen Reticulorumens** und **Labmagens** pro kg Körperleermasse (KLM) wies die Gruppe MS auf. Auch das volle Reticulorumen und der volle Labmagen (g/kg KLM) der Gruppe H waren im Vergleich mit den Gruppen KF, KFH und KFMS schwerer. Dies könnte auf eine niedrigere Passagerate und langsamere Fermentation des Heus und der Maissilage zurückgehen, denn rohfaserreiche Rationen werden langsamer fermentiert als krafffutterreiche Rationen (KASKE 2005). Da die Futtermittel in der vorliegenden Studie ad libitum angeboten wurden, sind bei der Beurteilung des Gewichts der vollen Organe pro kg KLM eventuelle Unterschiede bezüglich der Futter- und Wasseraufnahme kurz vor der Schlachtung zu berücksichtigen. Aufgrund dessen sind Unterschiede im Gewicht der vollen Organe nicht zwangsläufig nur auf die Art der Ration zurückzuführen. Zwischen den Gruppen KF, KFH und KFMS konnten hinsichtlich des **Leergewichts des Reticulorumens** (g/kg KLM) wohl deswegen kaum Unterschiede festgestellt werden, weil die Raufutteraufnahme der Gruppen KFH und KFMS sehr gering war. Das leere Reticulorumen (g/kg KLM) der Gruppe H war signifikant leichter als das der Gruppen KF, KFH und KFMS. Dies könnte auf eine fortgeschrittenere Pansenentwicklung bei den Kälbern der Gruppen KF, KFH und KFMS hindeuten (KLEIN et al. 1987; WARNER et al. 1956), die auch durch andere Parameter wie die Höhe der Gesamt-SCFA angedeutet wird. Auch STOBO et al. (1966a) fanden heraus, dass Kälber, die eine krafffutterreiche Ration erhielten, im Alter von 12 Wochen ein höheres Leergewicht des Reticulorumens aufwiesen als solche, die eine raufutterreiche Ration bekamen. In der Studie von BROWNLEE (1956) war das Leergewicht des Reticulorumens wie auch in der vorliegenden Studie bei mit Krafffutter gefütterten Kälbern höher als bei mit Heu gefütterten Kälbern. Jedoch wurde in den Studien von STOBO et al. (1966a) und BROWNLEE (1956) die Körperleermasse der Kälber beim Vergleich der Organgewichte nicht berücksichtigt. Das Gewicht des vollen und **leeren Blättermagens** sowie des **leeren Labmagens** wurde kaum von der Art der Ration beeinflusst. Auch WARNER et al. (1956) berichten, dass das Leergewicht des Labmagens kaum von der Art des Futters beeinflusst wird. Das Gewicht des **vollen Dünndarms** ist bei den Gruppen KF, KFH und KFMS höher als bei der Gruppe H, während umgekehrt das Gewicht des **vollen Dickdarms** bei der Gruppe H höher ausfällt als bei den Gruppen KF, KFH und KFMS. Die

Begründung dafür könnte in folgenden physiologischen Vorgängen liegen: Diejenigen Strukturkohlenhydrate wie Cellulose, Hemicellulose und Pektin des aufgenommenen Raufutters, die den Pansen unverdaut verlassen, können auch im Dünndarm mangels mikrobieller Population nicht verdaut werden. Dagegen können diejenigen leicht verdaulichen Kohlenhydrate des aufgenommenen Kraftfutters, die den Pansen verlassen, bereits im Dünndarm enzymatisch verdaut werden und erreichen den Dickdarm demzufolge nur in sehr geringen Mengen (SCHARRER und WOLFFRAM 2005; SEJRSEN 2006).

Die **Leber** war bei den Gruppen KF, KFH und KFMS schwerer als bei den Gruppen H und MS. Dies könnte auf einer erhöhten Stoffwechsellätigkeit der Leber beruhen, die durch den hohen Nährstoffgehalt des Kraftfutters und die hohe TS-Aufnahme der Gruppen KF, KFH und KFMS bedingt sein könnte.

Trockensubstanz in der Ingesta

Der Trockensubstanzgehalt der Ingesta des Pansens, Dünndarms und Blinddarms wurde nur unwesentlich von der Art der Ration beeinflusst. Dass der Trockensubstanzgehalt der Dünndarmingesta geringer ausfiel als der der Dickdarmingesta ist darauf zurückzuführen, dass die Sekretion und Absorption von Wasser bereits hauptsächlich im Dünndarm stattfindet.

6 Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Studie konnten Auswirkungen verschiedener Rationen auf die allgemeine Entwicklung und die Pansenentwicklung von Kälbern festgestellt werden. Kälber, die Kraffutter allein oder in Kombination mit einer Raufutterart erhielten, zeigten eine bessere Entwicklung sowie eine fortgeschrittenere Pansenentwicklung als Kälber, die lediglich Raufutter aufnahmen. Dies zeigte sich in einer höheren Lebendmassezunahme, längeren und breiteren Pansenzotten sowie einem höheren Gewebegewicht des Reticulorumens. Eine reine Maissilage- oder Heufütterung führte in der vorliegenden Studie zu einer geringeren körperlichen Entwicklung und Pansenentwicklung. Von einer ausschließlichen Fütterung von Heu oder Maissilage zusätzlich zur Milchtränke wird abgeraten, da die Futtermittel seitens der Kälber als wenig schmackhaft empfunden werden, wodurch die Futteraufnahme und das Energieangebot für eine Lebendmasseentwicklung, die den Anforderungen der heutigen Milchwirtschaft entspricht, nicht ausreichen. Zwischen einer reinen Kraffutterfütterung und der Fütterung von Kraffutter in Kombination mit Heu oder Maissilage konnten hinsichtlich der Entwicklung nur geringe Unterschiede festgestellt werden, da die Kälber der mit Kraft- und Raufutter gefütterten Gruppen recht wenig Raufutter aufnahmen. Neben den auf die Entwicklung bezogenen Vorteilen eines Angebots von Kraffutter, Kraffutter und Heu oder Kraffutter und Maissilage sind hinsichtlich der Gesundheit auch deutliche Nachteile solcher Rationen festgestellt worden. Die Bevorzugung des Kraffutters auf Kosten der Raufutteraufnahme bedingte morphologische Veränderungen an der Pansenschleimhaut (Verklumpungen von Zotten, Erosionen), die die körperliche Entwicklung der Tiere nicht beeinträchtigten und möglicherweise infolge einer subakuten Pansenazidose und/oder einer ungenügenden mechanischen Beanspruchung infolge fehlenden „scratching factors“ entstanden sein könnten. Bei den lediglich mit Heu gefütterten Kälbern wurde dagegen ein physiologischer Zustand der Pansenschleimhaut festgestellt. Um die Vorteile der Fütterung von Kraffutter zu nutzen und gleichzeitig eine gesunde Entwicklung des Pansenepithels von Anfang an sicherzustellen, sollte Kälbern von Beginn an Heu ad libitum und Kraffutter in begrenzten Mengen angeboten werden. Darüber hinaus hat die Menge der angebotenen Milch bzw. Milchaustauschertränke einen erheblichen Einfluss auf die Aufnahme von Kraffutter und Heu sowie auf die Pansenentwicklung. Nur durch eine frühzeitig erfolgende Reduktion der Tränkemenge und Begrenzung des Kraffutterangebots kann eine genügende Aufnahme von Heu erzielt werden, die zur Gesundhaltung des Epithels von Nöten ist.

7 Zusammenfassung

Auswirkungen verschiedener Futterrationen auf das Wachstum und die Pansenentwicklung von Kälbern

Das anfangs monogastrisch funktionierende Kalb sollte sich möglichst komplikationslos und unter optimalem Wachstum zum Wiederkäuer entwickeln. Mit dem Ziel einer frühzeitigen Adaptation des Pansens an die spätere Ration der Milchkuh werden den Kälbern zusätzlich zur Milchtränke Futtermittel auf Basis von Heu, Silage oder Krafftutter in pelletierter Form angeboten. In der vorliegenden Studie wurde deshalb der Einfluss verschiedener Futterrationen auf die Lebendmasseentwicklung und die Pansenentwicklung untersucht: gehäckseltes Heu (H), Krafftutter in pelletierter Form (KF), Krafftutter mit Heu (KFH), Maissilage mit 5 % Stroh (MS) sowie Maissilage mit Krafftutter und 5 % Stroh (KFMS). In die Studie wurden 20 Kälber der Rasse Deutsch Schwarzbunt X Holstein-Frisian einbezogen. Die tägliche Futter- und Tränkeaufnahme sowie die körperliche Entwicklung der Kälber mittels Bestimmung der Körpermasse und Messung von Brustumfang und Widerristhöhe wurden 10 Wochen lang dokumentiert. Regelmäßig wurden Blutproben zur Überprüfung des Gesundheitszustandes sowie zur Untersuchung des Einflusses der verschiedenen Futterrationen auf die Blutparameter gewonnen. Nach Schlachtung der Tiere wurden die Gewichte der Organe des Verdauungstraktes sowie die Trockensubstanzgehalte der jeweiligen Ingesta bestimmt. Pansensaftproben wurden auf die folgenden Parameter untersucht: pH-Wert, D-/L-Laktat, Ammonium und kurzkettige Fettsäuren. Nach Begutachtung der Pansenschleimhaut wurden aus zwei Lokalisationen zwei 3 cm² große Gewebeproben entnommen und mikroskopisch untersucht.

Die durchschnittliche Gesamt-TS-Aufnahme lag je nach Fütterungsgruppe zwischen 0,40 und 1,27 kg/Tag. Die TS-Aufnahme der Gruppen, in denen Krafftutter angeboten wurde, fiel aufgrund der größeren Schmackhaftigkeit deutlich höher aus als für die Gruppen mit alleiniger Zufütterung von Heu oder Maissilage. Maissilage wurde nur sehr zögerlich aufgenommen. Die TS-Aufnahmen und der höhere Energiegehalt des Krafftutters spiegelten sich in der ME-Aufnahme (14,5-24,9 MJ/Tag) und den Lebendmassezunahmen (0,49-0,95 kg/Tag) wider. Die durchschnittliche Trinkwasseraufnahme variierte zwischen 1,3 und 5,0 l/Tag. Es bestand eine positive Wechselbeziehung zwischen der Höhe der TS-Aufnahme und der aufgenommenen Wassermenge. Die Blutuntersuchungen spiegelten die altersbedingten Veränderungen wider und befanden sich innerhalb der für die jeweilige Altersgruppe angegebenen Referenzbereiche. Der β -Hydroxybuttersäure- und Harnstoffspiegel sowie die Enzymaktivität der GLDH wurden von der Art der Ration bzw. deren Fermentationsverhalten beeinflusst. Der pH-Wert im Pansensaft der Kälber lag bei

den verschiedenen Gruppen zwischen 5,09 und 6,62. Die Gruppen H und MS zeigten einen höheren pH-Wert, eine niedrigere Laktat-Konzentration und eine niedrigere Gesamtkonzentration kurzkettiger Fettsäuren als die Gruppen KF, KFH und KFMS. Obwohl die Kälber der Gruppen KFH und KFMS nur wenig Raufutter aufnahmen, fiel der pH-Wert dieser Gruppen etwas höher aus als der der Gruppe KF. Dies deutet darauf hin, dass bereits kleine Mengen Raufutter in der Ration den pH-Wert im Pansen erhöhen können. Bei der Beurteilung der Pansenschleimhaut fielen bei den mit Kraftfutter gefütterten Kälbern unregelmäßig geformte, z.T. verklumpte Zotten sowie die Anwesenheit von Haaren und Läsionen auf. Die Zotten der Gruppe MS waren kaum ausgebildet. Sowohl im ventralen Pansensack als auch im ventralen Blindsack wiesen die Kälber der Gruppen KF, KFH und KFMS eine höhere Zottenlänge und -breite, jedoch eine geringere Zottendichte als die Gruppe H auf. Die Gruppen KF, KFH und KFMS zeigten ein höheres Verhältnis von Mucosa- zu Serosalänge (MLSL) als die Gruppen H und MS, wobei die Gruppe MS die geringste MLSL aufwies. Das Gewicht des leeren Reticulorumens und der Leber fiel bei den Gruppen KF, KFH und KFMS höher aus als bei den Gruppen H und MS.

Neben den auf die Entwicklung bezogenen Vorteilen eines Angebots von Kraftfutter, allein oder in Kombination mit Raufutter, sind hinsichtlich der Gesundheit auch mögliche Risiken festgestellt worden. Die Bevorzugung des Kraftfutters auf Kosten der Raufutteraufnahme bedingte morphologische Veränderungen der Pansenschleimhaut. Sie könnten infolge einer subakuten Pansenazidose und/oder einer ungenügenden mechanischen Beanspruchung infolge fehlenden „scratching factors“ entstanden sein. Um die Vorteile der Fütterung von Kraftfutter zu nutzen und gleichzeitig eine gesunde Entwicklung des Pansenepithels von Anfang an sicherzustellen, sollte Kälbern von Beginn an Heu ad libitum und Kraftfutter in begrenzten Mengen angeboten werden.

8 Summary

Effects of different rations on growth and rumen development of calves

The switch of a calf from the monogastric status shortly after birth to the ruminant status should take place as uncomplicated as possible ensuring optimal growth. Nowadays calves receive hay, silage and concentrates additionally to milk very early in their lives in order to ensure early adaptation of the rumen to the components of the ration of the later dairy cow. The aim of the present study was to evaluate the effects of different feedstuffs (chopped hay H, pelleted starter KF, chopped hay and pelleted starter KFH, pelleted starter and corn silage with 5 % straw KFMS, corn silage with 5 % straw MS) that were offered additionally to a milk replacer on growth of the calf and development of the rumen. Four of in total 20 crossbred calves (German Black Pied X Holstein-Friesian) were randomly assigned to one of the five different feeding strategies. The daily feed and water uptake were recorded and bodyweights as well as wither heights and heart girth were determined on a weekly basis over a period of ten weeks. Blood samples were obtained on a weekly basis for evaluation of the health status and of the effects of different feedstuffs on blood parameters. Following slaughter the empty and full weights of the organs of the digestive tract were weighed. The dry content of the digesta of the particular organ was determined and samples of rumen juice were analysed for the following parameters: pH-value, D- and L-lactate, ammonium und short chain fatty acids. After macroscopical evaluation of the ruminal mucosa tissue biopsies of 3 cm² were obtained from two distinct localisations of the rumen, which were subsequently examined by microscope.

The mean total dry matter uptake ranged – depending on the ration – between 0.40 and 1.27 kg/day. In calves fed concentrates in form of a starter, the dry matter uptake exceeded the one of calves being fed hay or corn silage. The latter differences are also reflected in the ME-uptakes (14.5-24.9 MJ/day) and the daily weight gains (0.49-0.95 kg/day). A positive correlation was found between the mean water uptake and the dry matter uptake. The blood parameters resembled the normal changes observed in calves in the first weeks of their lives. However, differences were observed in the levels of β -hydroxybutyrate and urea as well as for the enzyme activity of the GLDH being the consequence of the different kinds of rations and their fermentation characteristics. The pH-value in rumen juice ranged from 5.09 to 6.62 with higher pH-values and lower lactate concentrations as well as levels of short chain fatty acids being observed in calves receiving hay and corn silage. Although calves fed KFH and KFMS showed a very small intake of roughage, pH in their rumen was somewhat higher than in calves fed solely starter. This suggests that even small amounts of roughage in the diet can enhance pH in rumen fluid. The visual examination of the rumen mucosa

revealed irregular shaped, branched and clumped papillae as well as embedded hair and lesions in all calves fed concentrates. Except in few small areas papillae of calves receiving corn silage were very small or not present. In the ventral rumen sac as well as in the ventral blind sac calves fed KF, KFH and KFMS showed a higher papillae length and width but a lower papillae density than calves fed H. Furthermore the ratio of mucosa to serosa length was higher in calves fed KF, KFH and KFMS than in calves fed H and MS with calves in group MS showing the lowest ratio of mucosa to serosa length. Empty reticulorumen and liver were heavier in calves fed KF, KFH and KFMS than in calves fed H and MS.

Although feeding calf starter additionally to milk replacer in calves led to higher daily weight gains and an advanced development and differentiation of the rumen, this strategy bears some risks. The preference of palatable calf starter led to reduced uptake of roughage and alterations of the ruminal mucosa that might be related to subacute rumen acidosis and/or a deficient “scratch factor”. In order to make favour of the beneficial effects of concentrates in the calf nutrition and to ensure a healthy rumen calves should receive roughage ad lib but limited amounts of concentrates.

9 Literaturverzeichnis

- ANDERSON, M.J., M. KHOYLOO, J.L. WALTERS (1982): Effect of feeding whole cottonseed on intake, body weight, and reticulorumen development of young Holstein calves. *J. Dairy Sci.* (65) 764-772
- APPLEBY, M.C., D.M. WEARY, B. CHUA (2001): Performance and feeding behaviour of calves on ad libitum milk from artificial teats. *Appl. Anim. Behav. Sci.* (74) 191-201
- ASH, R., G.D. BAIRD (1973): Activation of volatile fatty acids in bovine liver and rumen epithelium. Evidence for control by autoregulation. *Biochem. J.* (136) 311-319
- ATTEBERY, J.T., H.W. COLVIN JR. (1963): Effect of diet on fasting blood glucose levels in dairy calves 1 to 13 weeks old. *J. Appl. Physiol.* (18) 1221-1225
- BACH, A., A. GIMÉNEZ, J.L. JUARISTI, J. AHEDO (2007): Effects of Physical Form of a Starter for Dairy Replacement Calves on Feed Intake and Performance. *J. Dairy Sci.* (90) 3028-3033
- BALDWIN, R.L.V., K.R. McLEOD (2000): Effects of diet forage: concentrate ratio and metabolizable energy intake on isolated rumen epithelial cell metabolism in vitro. *J. Anim. Sci.* (78) 771-783
- BATEMAN, H.G., T.M. HILL, J.M. ALDRICH, R.L. SCHLOTTERBECK (2009): Effects of corn processing, particle size, and diet form on performance of calves in bedded pens. *J. Dairy Sci.* (92) 782-789
- BAUMGARTNER, W. (2005): *Klinische Propädeutik der inneren Krankheiten und Hautkrankheiten der Haus- und Heimtiere*. 6. Auflage., Parey bei MVS, Stuttgart
- BEHARKA, A.A., T.G. NAGARAJA, J.L. MORRILL (1991): Performance and ruminal function development of young calves fed diets with aspergillus oryzae fermentation extract. *J. Dairy Sci.* (74) 4326-4336
- BEHARKA, A.A., T.G. NAGARAJA, J.L. MORRILL, G.A. KENNEDY, R.D. KLEMM (1998): Effects of form of the diet on anatomical, microbial, and fermentative development of the rumen of neonatal calves. *J. Dairy Sci.* (81) 1946-1955
- BERG, R. (1995): *Angewandte und topographische Anatomie der Haustiere*. Gustav-Fischer Verlag, Jena/Stuttgart

- BILSKA, A., J. WÓJCIK, R. PILARCZYK, O. WEIHER, P. SANFTLEBEN (2007):
Möglichkeiten zur Verkürzung der Fütterung verschiedener Milchaustauscher in
Verbindung mit frühzeitiger Festfutterverabfolgung unter Berücksichtigung von
Pansenentwicklung und Blutparametern. Tierärztl. Umsch. 62 (10) 537-547
- BLAXTER, K.L., M.K. HUTCHESON, J.M. ROBERTSON, A.L. WILSON (1952): The
influence of diet on the development of the alimentary tract of the calf. Brit. J. Nutr.
(6) i
- BOGIN, E., Y. AVIDAR, S. SHENKLER, B.A. ISRAELI, N. SPIEGEL, R. COHEN (1993): A
rapid field test for the determination of colostral ingestion by calves, based on γ -
glutamyltransferase. Eur. J. Clin. Chem. Clin. Biochem. (31) 695-699
- BOTHMER, G., H. BUDDE (1992): Kälberaufzucht für Milch und Mast. DLG-Verlag, Frankfurt
- BOVINE ALLIANCE ON MANAGEMENT AND NUTRITION (2003): A Guide to Dairy Calf
Feeding and Management. Optimizing Rumen Development and Effective Weaning.
<http://nahms.aphis.usda.gov/dairy>. Abruf am 20.07.2009
- BOVINE ALLIANCE ON MANAGEMENT AND NUTRITION (2008): A Guide to Calf Milk
Replacers. Types, Use and Quality. <http://nahms.aphis.usda.gov/dairy>, Abruf am
21.07.2009
- BROWNLEE, A. (1956): The development of rumen papillae in cattle fed on different diets.
Brit. Vet. J. (112) 369-375
- BRYANT, M.P., N. SMALL (1960): Observations on the Ruminal Microorganisms of Isolated
and Inoculated Calves. J. Dairy Sci. (43) 654-667
- BULL, L.S., L.J. BUSH, J.D. FRIEND, B. HARRIS, E.V. JONES (1965): Incidence of ruminal
parakeratosis in calves fed different rations and its relation to volatile fatty acid
absorption. J. Dairy Sci. (48) 1459-1466
- CANDAU, M. (1972): Stimulation physico-chimique et développement du rumen. Thèse de
Doctorat. Univ. Paris VI, France
- CHURCH, D.C. (1988): The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition. Prentice-
Hall, Englewood Cliffs, New Jersey

- COVERDALE, J. A., H.D. TYLER, J.D. QUIGLEY, J.A. BRUMM (2004): Effect of Various Levels of Forage and Form of Diet on Rumen Development and Growth in Calves. *J. Dairy Sci.* (87) 2554-2562
- DAVIS, C.L., J.K. DRACKLEY (1998): *The Development, Nutrition, and Management of the Young Calf.* Iowa State University Press, Ames, Iowa
- DIRKSEN, G. (1990): Verdauungsapparat. In: Dirksen, G., H.-D. Gründer, M. Stöber (Hrsg): Rosenberger: *Die klinische Untersuchung des Rindes.* 3. Auflage. Verlag Paul Parey, Berlin/Hamburg, S. 288-400
- DIRKSEN, G. (1981): Indigestionen beim Rind. Vortragsreihe „Vormagenkrankheiten“ – 6. Internationale Tagung der Fakultät für Veterinärwissenschaften der Univerisät La Plata, Argentinien, November 1978, und Intensivkursus für lateinamerikanische Tierärzte, Hannover, Februar 1980. Schnetztor-Verlag, Konstanz
- EWASCHUK, J.B., J.M. NAYLOR, G.A. ZELLO (2005): D-Lactate in human and ruminant metabolism. *J. Nutr.* (135) 1619-1625
- FAYET, J.C., P.L. TOUTAIN (1990): *Das Kalb.* Schober Verlags-GmbH, Hengersberg
- FLATT, W.P., R.G. WARNER, J.K. LOOSLI (1958): Influence of purified materials on the development of the ruminant stomach. *J. Dairy Sci.* (41) 1593-1600
- FREERKING, H., E. BLESENKEMPER, E. v. SCHWARTZ (1983): Enzymuntersuchungen bei bis zu acht Wochen alten gesunden Kälbern sowie Ergebnisse der Faktorenanalyse. *Dtsch. tierärztl. Wschr.* (90) 213-216
- GIESECKE, D. (1967): Die funktionelle Vormagenentwicklung des Wiederkäuers. *Tierärztl. Umsch.* (22) 398-403
- GIESECKE, D., H.K. HENDERICKX (1973): *Biologie und Biochemie der mikrobiellen Verdauung.* BLU-Verlagsgesellschaft, München/Bern/Wien
- GREENWOOD, R.H., J.L. MORRILL, E.C. TITGEMEYER, G.A. KENNEDY (1997): A new method of measuring diet abrasion and its effect on the development of the forestomach. *J. Dairy Sci.* (80) 2534-2541
- GUILHERMET, R. (1990): Ernährung des früh abgesetzten Kalbes (Aufzuchtkalb). In: Mornet, P., J.Espinasse (Hrsg.): *Das Kalb.* Schober Verlags-GmbH, Hengersberg, S. 142

- HAMMELL, K. L., J.H.M. METZ, P. MEKKING (1988): Sucking behaviour of dairy calves fed milk ad libitum by bucket or teat. *Appl. Anim. Behav. Sci.* (20) 275-285
- HARMON, D.L., K.L. GROSS, C.R. KREHBIEL, K.K. KREIKEMEIER, M.L. BAUER, R.A. BRITTEN (1991): Influence of dietary forage and energy intake on metabolism and acyl-CoA synthetase activity in bovine ruminal epithelial tissue. *J. Anim. Sci.* (69) 4117-4127
- HARRISON, H.N., R.G. WARNER, E.G. SANDER, J.K. LOOSLI (1960): Changes in the tissue and volume of the stomachs of calves following the removal of dry feed or consumption of inert bulk. *J. Dairy Sci.* (43) 1301-1312
- HEGLAND, R.B., M.R. LAMBERT, N.L. JACOBSON, L.C. PAYNE (1957): Effect of dietary and management factors on reflex closure of the esophageal groove in the dairy calf. *J. Dairy Sci.* (40) 1107-1113
- HEINRICHS, A.J. (2005): Rumen Development in the Dairy Calf. *Adv. Dairy Tech.* (17) 179
- HEINRICHS, A.J. (2006): Age at Weaning and the cost of raising the milk fed dairy calf. Dairy and Animal Science Extension, Penn State University.
<http://www.das.psu.edu/news/dd200612-03>. Abruf am 01.05.2009
- HEPOLA, H.P., L.T. HÄNNINEN, S.M. RAUSSI, P.A. PURSIAINEN, A.M. AARNIKOIVU, H.S. SALONIEMI (2008): Effects of Providing Water from a Bucket or a Nipple on the Performance and Behavior of Calves Fed Ad Libitum Volumes of Acidified Milk Replacer. *J. Dairy Sci.* (91) 1486-1496
- HIBBS, J.W., H.R. CONRAD, W.D. POUNDEN, N. FRANK (1956): A high roughage system for raising calves based on early development of rumen function. VI. Influence of hay to grain ratio on calf performance, rumen development, and certain blood changes. *J. Dairy Sci.* (39) 171-179
- HIBBS, J.W., H.R. CONRAD, J. H. VANDERSALL (1961): A high roughage system for raising calves based on early development of rumen function. X. Whole blood, plasma, and corpuscle glucose relationships in calves fed high-roughage rations with and without chlortetracycline. *J. Dairy Sci.* (44) 466-474
- HILL, T.M., H.G. BATEMAN, J.M. ALDRICH, P.L. SCHLOTTERBECK (2009): Effects of changing the essential and functional fatty acid intake of dairy calves. *J. Dairy Sci.* (92) 670-676

- HINDERS, R.G., F.G. OWEN (1965): Relation of ruminal parakeratosis development to volatile fatty acid absorption. *J. Dairy Sci.* (48) 1069-1073
- HOFMANN, R.R., B. SCHNORR (1982): Die funktionelle Morphologie des Wiederkäuer-Magens. Enke-Verlag, Stuttgart
- HOLTSHAUSEN, L., C.W. CRUYWAGEN (2000): Veal calf performance in response to concentrate diets of different rumen degradable protein content. *S. Afr. J. Anim. Sci.* (30) Supplement 1: 58-59
- HOPKINS, B.A., L.W. WHITLOW (2001): ANS01-202D Feeding Dairy Heifers from Birth to Weaning. North Carolina Cooperative Extension Service, College of Agriculture and Life Sciences, NC State University
- HUBER, J.T. (1969): Development of the digestive and metabolic apparatus of the calf. *J. Dairy Sci.* (52) 1303-1315
- JASPER, J., D.M. WEARY (2002): Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *J. Dairy Sci.* (85) 3054-3058
- KAMPHUES, J., M. COENEN, C. IBEN, E. KIENZLE, J. PALLAUF, O. SIMON, M. WANNER, J. ZENTEK (2009): Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung. (11. Auflage). Verlag Schaper, Hannover
- KASKE, M. (2005): Vormagenmotorik und Ingestapassage. In: Engelhardt, W. V. und Breves, G. (Hrsg.): *Physiologie der Haustiere*. 2. Auflage. Enke-Verlag, Stuttgart, S. 326
- KEHOE, S.I., C.D. DECHOW, A.J. HEINRICHS (2007): Effects of weaning age and milk feeding frequency on dairy calf growth, health and rumen parameters. *Livest. Sci.* (110) 267-272
- KERTZ, A.F. (2007): Letter to the Editor. Pelleted Calf Starter with Straw Access Can Confound Results: A Comment on Bach et al. (2007). *J. Dairy Sci.* (90) 4924
- KEUSENHOFF, R., B. PIATKOWSKI (1984): Grundlagen zur Ernährung des ruminierenden Kalbes unter besonderer Berücksichtigung des Grobfutters. *Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft* 22 (11). Institut für Landwirtschaftliche Information und Dokumentation Berlin

- KHALILI, H., S. CROSSE, T. VARVIKKO (1992): The performance of crossbred dairy calves given different levels of whole milk and weaned at different ages. *Anim. Prod.* (54) 191–195
- KHAN, M.A., H.J. LEE, W.S. LEE, H.S. KIM, K.S. KI, T.Y. HUR, G.H. SUH, S.J.KANG, Y.J. CHOI (2007): Structural growth, rumen development, and metabolic and immune responses of Holstein male calves fed milk through step-down and conventional methods. *J. Dairy Sci.* 90 (7) 3376-3387
- KHAN, M.A., H.J. LEE, W.S. LEE, H.S. KIM, S.B. KIM, S.B. PARK, K.S. BAEK, J.K. HA, Y.J. CHOI (2008): Starch source evaluation in calf starter: II. Ruminant parameters, rumen development, nutrient digestibilities, and nitrogen utilization in Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 91 (3) 1140-1149
- KINCAID, R.L. (1980): Alternate methods of feeding alfalfa to calves. *J. Dairy Sci.* (63) 91–94
- KLEIN, R.D., R.L. KINCAID, A.S. HODGSON, J.H. HARRISON, J.K. HILLERS, J.D. CRONRATH (1987): Dietary fiber and early weaning on growth and rumen development of calves. *J. Dairy Sci.* (70) 2095-2104
- KLOTZ, J.L., R.N. HEITMANN (2006): Effects of Weaning and Ionophore Supplementation on Selected Blood Metabolites and Growth in Dairy Calves. *J. Dairy Sci.* (89) 3587-3598
- KÖNIG, H.E., J. SAUTET, H.-G. LIEBICH (2005): Verdauungsapparat (Apparatus digestorius). In: König, H.E., H.-G. Liebich (Hrsg.): *Anatomie der Haussäugetiere*. 3. Auflage. Schattauer, Stuttgart/New York, S. 301-366
- KRAFT, W., U. DÜRR, M. FÜRLL, H. BOSTEDT, K. HEINRITZI (2005): Hämatologie. In: Kraft, W., U. Dürr (Hrsg.): *Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin*. 6. Auflage. Schattauer, Stuttgart/New York, S. 49
- LESMEISTER, K.E. (2003): Dietary alterations and their influence on rumen development in neonatal dairy calves. Ph.D. Thesis. Penn State University, USA
- LESMEISTER, K.E., A.J. HEINRICHS (2004): Effects of Corn Processing on Growth Characteristics, Rumen Development, and Rumen Parameters in Neonatal Dairy Calves. *J. Dairy Sci.* (87) 3439-3450

- LONGENBACH, J.I., A.J. HEINRICHS (1998): A review of the importance and physiological role of curd formation in the abomasum of young calves. *Anim. Feed Sci. and Tech.* (73) 85-97
- LORENZ, I. (2009): D-Lactic acidosis in calves. *Vet. J.* (179) 197-203
- LUMSDEN, J.H., K. MULLEN, R. ROWE (1980): Hematology and biochemistry reference values for female Holstein cattle. *Can. J. Comp. Med. Vet. Sci.* (44) 24-31
- MADIGAN, M.T., J.M. MARTINKO, J. PARKER (2003): Brock - Biology of microorganisms. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey
- MARTENS, H. (2005): Entwicklung der Vormägen. In: Engelhardt, W. und Breves, G. (2005): *Physiologie der Haustiere*. 2. Auflage. Enke-Verlag, Stuttgart, S. 357
- MATHER, A.E., G.T. INNOCENT, S.A. MCEVEN, W.J. REILLY, D.J. TAYLOR, W.B. STEELE, G.J. GUNN, H.E. TERNENT, S.W.J. REID, D.J. MELLOR (2007): Risk factors for hide contamination of Scottish cattle at slaughter with *Escherichia coli* O157. *Prev. Vet. Med.* (80) 257-270
- McCARTHY, R.D., E.M. KESLER (1956): Relation between age of calf, blood glucose, blood and rumen levels of volatile fatty acids, and in vitro cellulose digestion. *J. Dairy Sci.* (39) 1280-1287
- McGAVIN, M.D., J.L. MORRILL (1976): Scanning electron microscopy of ruminal papillae in fed various amounts and forms of roughage. *Am. J. Vet. Res.* (37) 497-508
- McGILLIARD, A.D., N.L. JACOBSON, J.D. SUTTON (1965): Physiological development of the ruminant stomach. In: Dougherty, R.W., R.S. Allen, W. Burroughs, N.L. Jacobson, A.D. McGilliard (Eds.): *Physiology of Digestion in the Ruminant*. Butterworths, Washington, DC, S. 39-50
- MENTSCHEL, J., R. LEISER, C. MÜLLING, C. PFARRER, R. CLAUS (2001): Butyric acid stimulates rumen mucosa development in the calf mainly by a reduction of apoptosis. *Arch. Anim. Nutr.* (55) 85-102
- MICHEL, G., F.-V. SALOMON, G. GUTTE (1986): *Morphologie landwirtschaftlicher Nutztiere*. Heidelberg/ Wiesbaden, Verlag Quelle und Meyer
- MILLER, W.J., Y.G. MARTIN, P.R. FOWLER (1969): Effects of addition of fiber to simplified and complex starters fed to young dairy calves. *J. Dairy Sci.* (52) 672-676

- MOHRI, M., K. SHARIFI, S. EIDI (2007): Hematology and serum biochemistry of Holstein dairy calves: Age related changes and comparison with blood composition in adults. Res. Vet. Sci. (83) 30-39
- MORAN, J. (2002): Calf rearing: a practical guide. Landlinks Press, Collingwood, Vic.
- MÜHLBERGER, N. und W. KRAFT (1994): Diagnostischer Wert der Glutamatdehydrogenase-Bestimmung beim Hund. Tierärztl. Prax. (22) 567-573
- MURPHY, M. (2004): From birth to puberty. Adv. Dairy Technol. (16) 153-160
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2001): Nutrient requirements of dairy cattle. National Academies Press, Washington, DC
- NAUMANN, C., R. BASLER (1993): Methodenbuch: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- NICKEL, R., A. SCHUMMER, E. SEIFERLE (1979): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. 4. Auflage. Verlag Paul Parey, Berlin/Hamburg
- NOCEK, J.E., C.W. HEALD, C.E. POLAN (1984): Influence of ration physical form and nitrogen availability on ruminal morphology of growing bull calves. J. Dairy Sci. (67) 334-343
- NOCEK, J.E., E.M. KESLER (1980): Growth and rumen characteristics of Holstein steers fed pelleted or conventional diets between ages 18 and 36 weeks. J. Dairy Sci. (63) 249-254
- NOLLER, C.H., I.A. DICKSON, D.L. HILL (1962): Value of Hay and Rumen Inoculation in an Early-Weaning System for Dairy Calves. J. Dairy Sci. (45) 197-201
- NOLLER, C.H., M.C. STILLIONS, B.W. CROWL, N.S. LANDQUIST, A.L. DELEZ (1959): Pasture for Young Dairy Calves. J. Dairy Sci. (42) 1592-1599
- ØRSKOW, E.R. (1972): Reflex closure of the esophageal groove and its potential applications in ruminant nutrition. S. Afr. J. Anim. Sci. (2) 169-176
- ØRSKOW, E.R., D. BENZIE, R.N.B. KAY (1970): The effects of feeding procedure on closure of the esophageal groove in the young sheep. Brit. J. Nutr. (24) 785-795
- PENDLUM, L.C., J.A. BOLING, N.W. BRADLEY (1978): Continuous and Noncontinuous Protein Levels for Growing Calves Fed Corn Silage. J. Anim. Sci. (46) 535-540

- PORZIG, S. (2004): Untersuchung zum antioxidativen Status von Kühen und deren neugeborenen Kälbern. Inaugural-Dissertation, München
- POUNDEN, W.D., J.W. HIBBS (1948a): The influence of the ration and rumen inoculation on the establishment of certain microorganisms in the rumens of young calves. *J. Dairy Sci.* (31) 1041-1050
- POUNDEN, W.D., J.W. HIBBS (1948b): The influence of the ratio of grain to hay in the ration of dairy calves on certain rumen microorganisms. *J. Dairy Sci.* (31) 1051-1054
- QUIGLEY, J. (1997): How Calf Starter Intake Drives Rumen Development. *Calf Notes* (27)
<http://www.calfnotes.com/pdf/CN027.pdf>. Abruf am 25.06.2009
- QUIGLEY, J. (1998): Palatability of Calf Starters. *Calf Notes* (47)
<http://www.calfnotes.com/pdf/CN047.pdf>. Abruf am 24.05.2009
- QUIGLEY, J. (2000): What is Rumen Abrasive Value? *Calf Notes* (63)
<http://www.calfnotes.com/pdf/CN063.pdf>. Abruf am 24.05.2009
- QUIGLEY, J. (2001a): Does Hay Develop the Rumen? *Calf Notes* (19)
<http://www.calfnotes.com/pdf/CN019.pdf>. Abruf am 02.07.2009
- QUIGLEY, J. (2001b): Rumen bacteria in calves. *Calf Notes* (05)
<http://www.calfnotes.com/pdf/CN005.pdf>. Abruf am 04.06.2009
- QUIGLEY, J. (2001c): Development of the Rumen Epithelium. *Calf Notes* (20)
<http://www.calfnotes.com/pdf/CN020.pdf>. Abruf am 15.06.2009
- QUIGLEY, J. (2001d): When is a calf ready to wean? *Calf Notes* (09)
<http://www.calfnotes.com/pdf/CN009.pdf>. Abruf am 16.06.2009
- QUIGLEY, J., J.K. BERNARD (1992): Effects of nutrient source and time of feeding on changes in blood metabolites in young calves. *J. Anim. Sci.* (70) 1543-1549
- QUIGLEY, J.D., J.K. BERNARD, T.L. TYBERENDT, K.R. MARTIN (1994): Intake, growth, and selected blood parameters in calves fed calf starter via bucket or bottle. *J. Dairy Sci.* (77) 354-357
- QUIGLEY, J.D., L.A. CALDWELL, G.D. SINKS, R.N. HEITMANN (1991): Changes in blood glucose, nonesterified fatty acids, and ketones in response to weaning and feed intake in young calves. *J. Dairy Sci.* (74) 250-257

- ROTH, B.A., N.M. KEIL, L. GYGAX, E. HILLMANN (2009): Influence of weaning method on health status and rumen development in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 92 (2) 645-656
- ROY, J.H.B. (1980): *The Calf*. Butterworths, London/Boston
- RUCKEBUSCH, Y. (1990): Physiologie des Neugeborenen. In: Mornet, P., J. Espinasse (Hrsg.): *Das Kalb*. Schober Verlags-GmbH, Hengersberg, S. 68
- RUCKEBUSCH, Y., L.P. PHANEUF, R. DUNLOP (1991): Feeding Behavior. In: Ruckebusch, Y., L.P. Phaneuf, R. Dunlop (Eds.): *Physiology of small and large animals*. B.C. Decker Inc., Philadelphia, Pennsylvania, pp. 209-219
- SANDER, E.G., R.G. WARNER, H.N. HARRISON, J. K. LOOSLI (1959): The stimulatory effect of sodium butyrate and sodium propionate on the development of rumen mucosa in the young calf. *J. Dairy Sci.* (42) 1600-1605
- SCHÄFER, K. (1995): Analysis of short chain fatty acids from different intestinal samples by capillary gas chromatography. *Chromatogr.* (40) 550-556
- SCHARRER, E., S. WOLFFRAM (2005): Funktion des Dünndarmes und seiner Anhangsdrüsen. In: Engelhardt, W. V., G. Breves (Hrsg.): *Physiologie der Haustiere*. 2. Auflage. Enke-Verlag, Stuttgart, S. 380-405
- SCHRAG, L., H. SINGER (1987): *Das Buch vom Kalb*. Schober Verlags-GmbH, Hengersberg
- SCHWARZ, F.J. (2008): Rinderfütterung. In: Kirchgeßner, M. (Hrsg.): *Tierernährung*. 12. Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, S. 351-499
- SEJRSEN, K. (2006): *Ruminant physiology*. Wageningen Academic Publishers, NL
- STANGL, G.I. (2008): Die Nährstoffe und ihr Stoffwechsel. In: Kirchgeßner, M. (Hrsg.): *Tierernährung*. 12. Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, S. 45-132
- STÖBER, M., H.D. GRÜNDER. (1990): Kreislauf. In: Dirksen, G., H.D. Gründer, M. Stöber (Hrsg.): *Die klinische Untersuchung des Rindes*. 3. Auflage. Paul Parey, Berlin/Hamburg, S. 194-241
- STOBO, I.J.F., J.H.B. ROY., H.J. GASTON. (1966a): Rumen development in the calf. 1. The effect of diets containing different proportions of concentrates to hay on rumen development. *Brit. J. Nutr.* (20) 171-188

- STOBO, I.J.F., J.H.B. ROY, H.J. GASTON (1966b): Rumen development in the calf. 2. The effect of diets containing different proportions of concentrates to hay on digestive efficiency. *Brit. J. Nutr.* (20) 189-215
- SUÁREZ, B.J. (2006): Rumen Development in Veal (Preruminant) Calves. Ph.D. Thesis. Wageningen University and Research Centre, Wageningen, The Netherlands
- SUTTON, J.D., A.D. MCGILLIARD, N.L. JACOBSON (1963a): Functional development of rumen mucosa. I. Absorptive ability. *J. Dairy Sci.* (46) 426-436
- SUTTON, J.D., A.D. MCGILLIARD, N. RICHARD, N.L. JACOBSON (1963b): Functional development of rumen mucosa. II. Metabolic activity. *J. Dairy Sci.* (46) 530-539
- TAMATE, H., A.D. MCGILLIARD, N.L. JACOBSON, R. GETTY (1962): Effect of various dietaries on the anatomical development of the stomach in the calf. *J. Dairy Sci.* (45) 408-420
- TAMATE, H., A.D. MCGILLIARD, N.L. JACOBSON, R. GETTY (1963): The effect of various diets on the histological development of the stomach in the calf. *Tohoku J. Agr. Res.* 14 (3) 171-193
- THICKETT, B., D. MITCHELL, B. HALLOWS (1988): *Calf Rearing*. Farming Press, Ipswich
- VAN ACKEREN, C. (2007): Einsatz von Gesamtmischrationen in der Kälberaufzucht bei Variation von Tränkedauer und Grundfutteranteil. Shaker Verlag, Aachen
- VAN SOEST, P.J. (1994): *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2. Auflage. Cornell University Press, Ithaca, NY
- VAZQUEZ-ANON, M., A.J. HEINRICHS, J.M. ALDRICH, G.A. VARGA (1993): Postweaning age effects on rumen fermentation end-products and digesta kinetics in calves weaned at 5 weeks of age. *J. Dairy Sci.* (76) 2742-2748
- WALDNER, D. (1998): The Role of Forage in Rumen Development. *Kansas State Univ. & Oklahoma State Univ. Dairy Lines*, 4 (10) 1-2
- WARNER, E.D. (1958): The organogenesis and early histogenesis of the bovine stomach. *Am. J. Anat.* (102) 33-53

- WARNER, R.G., W. PFLATT (1965): Anatomical Development of the Ruminant Stomach. In: Dougherty, R. W. (Ed.): Physiology of Digestion in the Ruminant. Butterworths, Sevenoaks, S. 24-38
- WARNER, R.G., W.P. FLATT, J.K. LOOSLI (1956): Dietary factors influencing the development of the ruminant stomach. J. Agric. Food Chem. (4) 788-792
- WATTIAUX, M.A. (2004): Heifer raising – birth to weaning. Feeding hay, concentrates and water. Dairy Essentials (30). Bobcock Institute for International Dairy Research and Development, University of Wisconsin-Madison
- WERNER, A. (2003): Experimentelle Untersuchungen zur Eignung der γ -Glutamyltransferase-Aktivität im Blut von Kälbern zur Überprüfung der Kolostrumversorgung. Inaugural-Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover
- WISE, G.H., G.W. ANDERSON (1939): Factors affecting the reaction of the oesophageal groove of dairy calves. J. Dairy Sci. (21) 465-478
- ZITNAN, R., S. KUHLA, P. SANFTLEBEN, A. BILSKA, F. SCHNEIDER, M. ZUPCANOVA, J.VOIGT (2005): Diet induced ruminal papillae development in neonatal calves not correlating with rumen butyrate. Vet. Med. - Czech (50) 472-479
- ZITNAN, R., J. VOIGT, U. SCHÖNHUSEN, J. WEGNER, M. KOKARDOVA, H. HAGEMEISTER, M. LEVKUT, S. KUHLA, A. SOMMER (1998): Influence of dietary concentrate to forage ratio on the development of rumen mucosa in calves. Arch. Anim. Nutr. (51) 279-291
- ZITNAN, R., J. VOIGT, J. WEGNER, G. BREVES, B. SCHRODER, C. WINCKLER, M. LEVKUT, M. KOKARDOVA, U. SCHONHUSEN, S. KUHLA, H. HAGEMEISTER, A. SOMMER (1999): Morphological and functional development of the rumen in the calf: Influence of the time of weaning. Arch. Anim. Nutr. (52) 351-362

10 Anhang

Anhang I: Auswirkungen der Futterrationen (n=4 pro Gruppe) auf die Blutparameter in verschiedenen Lebenswochen (LW)

Parameter	LW	Gruppe									
		H		KF		KFH		KFMS		MS	
		MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
Hb (g/l)	2	90	9	101	25	89 ^e	9	88	18	72 ^c	5
	3	94	14	104 ^{ce}	10	85 ^b	5	85	15	79 ^b	8
	4	94	15	98 ^c	8	86 ^b	6	82	8	81	13
	5	94	11	94	11	86	6	83	5	83	7
	6	77	47	94	7	90	8	88	9	86	13
	7	96	9	76	45	98	8	98	8	80	11
	8	96	8	98	8	99	7	100	12	79	13
	9	98	8	103	8	100	10	102	12	81	15
	10	99	5	96	7	101	7	100	9	78	17
	Ery (T/l)	2	7,21	0,56	8,25	1,83	7,55	0,81	7,50	1,47	5,99
3		7,88	1,16	8,84 ^{ce}	0,79	7,39 ^b	0,47	7,42	1,34	6,48 ^b	0,57
4		8,14	1,13	8,52	0,65	7,63	0,60	7,22	0,65	6,96	1,27
5		8,46	1,00	8,65	1,46	7,82	0,57	7,38	0,54	7,37	0,84
6		8,37	0,95	8,22	0,63	7,87	0,50	7,71	0,82	7,65	1,26
7		8,81	0,91	8,62	0,67	8,82	0,69	8,90	0,80	7,53	1,26
8		8,68	0,73	8,98	0,70	9,05	0,33	9,22	1,17	7,57	1,53
9		8,55	0,75	9,03	0,61	8,44	0,41	9,04	1,11	7,32	1,47
10		8,97	0,55	8,66	0,53	9,00	0,42	8,99	0,65	7,34	1,66
MCV (fl)		2	39	2	38	4	37	1	38	2	39
	3	38	2	38	2	36	1	37	1	38	2
	4	36	2	37	1	35	1	36	2	36	2
	5	35	2	36	1	34	1	32	7	35	1
	6	35	2	35	0	35	1	34	2	34	2
	7	34	1	35	1	35	2	34	2	33	1
	8	34	1	34	1	34	3	34	2	33	1
	9	34	1	34	1	35	2	34	2	33	1
	10	34 ^e	1	34 ^e	1	35	2	34	2	32 ^{ab}	1

Anhang I: Fortsetzung

Parameter	LW	Gruppe									
		H		KF		KFH		KFMS		MS	
		MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
MCH (pg)	2	12,4	0,4	12,2	0,8	11,8	0,6	11,8	0,2	12,0	0,7
	3	11,9	0,4	11,8	0,2	11,5	0,2	11,5	0,4	11,9	0,4
	4	11,6	0,2	11,6	0,3	11,3	0,2	11,4	0,3	11,6	0,4
	5	11,1	0,1	11,2	0,2	11,0	0,1	11,2	0,3	11,2	0,3
	6	11,4	0,2	11,4	0,1	11,4	0,2	11,4	0,2	11,2	0,2
	7	10,9	0,4	11,0	0,2	11,1	0,2	11,1	0,3	10,6	0,5
	8	11,1	0,2	10,9	0,0	10,9	0,5	10,9	0,4	10,5	0,4
	9	11,5	0,2	11,4	0,3	11,9	0,9	11,4	0,3	11,1	0,3
	10	11,0	0,2	11,2	0,4	11,2 ^e	0,3	11,0	0,6	10,8 ^c	0,2
	MCHC (%)	2	31,9 ^d	0,7	31,7	1,8	32,1 ^d	0,9	30,8 ^{ac}	0,5	31,2
3		31,6	1,3	30,7 ^c	0,6	32,0 ^b	0,7	31,2	0,4	31,6	0,9
4		32,0	1,0	31,5	1,1	32,3	1,0	32,2	0,8	32,2	1,1
5		31,6	1,5	31,4	1,0	31,8	1,0	32,4	1,9	32,2	1,1
6		33,0	1,2	32,6	0,3	33,0	1,1	34,4	2,9	32,8	1,3
7		31,4	1,8	31,8	0,8	32,0	1,0	32,0	2,0	32,2	2,2
8		32,1	0,7	31,5	0,5	26,1	9,9	31,8	2,2	32,2	2,1
9		33,5	0,9	33,1	0,5	34,0	2,2	33,0	1,3	34,0	1,7
10		32,2	0,5	32,2	0,6	31,8	0,8	32,1	0,4	33,2	1,2
Thr (G/l)		2	875	185	821	232	917	141	796 ^e	174	1060 ^d
	3			398	153	567	76	592	21		
	4	728	78	586	140	683	261	651	124	803	167
	5	592	164	538 ^e	53	562	113	639	113	986 ^b	320
	6	704	128	690	158	525	99	517	91	648	165
	7	683	69	644	195	593	106	778	424	629	189
	8	613	270	558	105	623	128	674	174	763	124
	9	577	65	553	75	567	195	665	126	622	149
	10	638	207	596	74	590	113	557	156	669	237

Anhang I: Fortsetzung

Parameter	LW	Gruppe									
		H		KF		KFH		KFMS		MS	
		MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
pCO ₂ (mmHg)	2	58	5	65	3	62	8	70	11	60	3
	3	66	9	67	12	70	11	78	18	85	19
	4	57	3	60 ^c	3	54 ^b	2	61	4	56	4
	5	62	8	63	8	60	7	60	3	62	1
	6	54	4	56	1	58	5	57	3	58	2
	7	46	18	56	2	64	19	60	5	59	3
	8	55	1	54	3	57	2	60	6	57	3
	9	57	12	59	5	54	1	56	2	58	3
	10	55	1	54	4	55	3	54	1	54	2
	pO ₂ (mmHg)	2	26	7	48	51	25	2	23	5	29
3		35	10	31	5	28	4	26	7	31	8
4		30	2	28	5	26	8	38	28	31	7
5		32	7	33	5	32	3	34	8	29	2
6		32	7	50	44	48	40	30	2	30	2
7		84	67	30	2	32	3	30	4	34	4
8		33	3	32	6	30	3	27	5	33	5
9		32	6	32	6	37	4	36	4	34	5
10		35	5	39	6	39	1	39	2	35	7
sO ₂ (%)		2	40	14	45	36	34	5	26	11	43
	3	54	19	48	15	39	10	34	15	47	17
	4	48	7	44	11	42	15	48	31	54	13
	5	50	16	51	13	50	8	52	15	46	3
	6	53	14	58	28	58	27	48	4	51	5
	7	72	31	49	5	48	13	46	10	57	7
	8	55	7	56	10	48	8	40	13	55	9
	9	49	14	51	15	60	8	59	6	56	9
	10	58	11	63	13	64	2	64	3	60	14

Anhang I: Fortsetzung

Parameter	LW	Gruppe									
		H		KF		KFH		KFMS		MS	
		MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
Mg (mmol/l)	2	0,85	0,09	0,89	0,05	0,87	0,03	0,90	0,08	0,86	0,04
	3	0,85	0,03	0,80	0,12	0,86	0,07	0,80	0,22	0,82	0,09
	4	0,79	0,14	0,80	0,03	0,88	0,06	0,82	0,05	0,83	0,05
	5	0,86 ^b	0,04	0,81 ^a	0,03	0,84	0,05	0,82	0,03	0,84	0,06
	6	0,86	0,05	0,86 ^e	0,05	0,93 ^d	0,11	0,83 ^c	0,03	0,81 ^b	0,01
	7	0,82	0,03	0,84	0,04	0,88	0,05	0,83	0,03	0,83	0,07
	8	0,82	0,06	0,86	0,02	0,85	0,08	0,83	0,09	0,86	0,08
	9	0,88	0,08	0,87	0,05	0,88	0,02	0,88	0,07	0,86	0,06
	10	0,87 ^c	0,04	0,92	0,04	0,97 ^a	0,02	0,92	0,03	0,97	0,09
	Ca (mmol/l)	2	2,66	0,11	2,48	0,14	2,62	0,09	2,48	0,18	2,55
3		2,69	0,23	2,53	0,29	2,58	0,14	2,51	0,12	2,59	0,13
4		2,74	0,14	2,76	0,13	2,88	0,14	2,67	0,18	2,80	0,12
5		2,65	0,17	2,66	0,09	2,74	0,14	2,75	0,16	2,62	0,16
6		2,89	0,20	2,73	0,24	2,69	0,20	2,65	0,10	2,69	0,22
7		2,75	0,46	2,90	0,41	2,95	0,33	2,83	0,44	2,62	0,38
8		2,70	0,03	2,72	0,08	2,69	0,04	2,74 ^e	0,08	2,62 ^d	0,07
9		2,50	0,18	2,74 ^e	0,06	2,73 ^e	0,12	2,74 ^e	0,12	2,40 ^{bcd}	0,10
10		2,80	0,40	2,81	0,21	2,93 ^e	0,11	3,07 ^e	0,36	2,60 ^{cd}	0,15
P (mmol/l)		2	2,40	0,42	2,40	0,24	2,32	0,35	2,42	0,41	2,15
	3	2,70	0,08	2,38	0,34	2,53	0,15	2,46	0,21	2,60	0,33
	4	2,64	0,19	2,39	0,18	2,72	0,18	2,34	0,48	2,74	0,26
	5	2,68	0,15	2,82	0,25	2,71	0,17	2,74	0,31	2,81	0,17
	6	2,78	0,10	2,95	0,22	2,76	0,31	2,90	0,22	2,81	0,28
	7	2,73 ^c	0,11	2,85	0,13	3,04 ^{ae}	0,17	2,86	0,20	2,70 ^c	0,24
	8	2,48 ^{bce}	0,07	2,68 ^a	0,10	2,70 ^a	0,09	2,84	0,37	2,81 ^a	0,16
	9	2,48	0,29	2,62	0,07	2,60	0,27	2,57	0,13	2,55	0,16
	10	2,31 ^b	0,15	2,82 ^a	0,21	2,87	0,31	2,62	0,24	2,59	0,09

Anhang I: Fortsetzung

Parameter	LW	Gruppe									
		H		KF		KFH		KFMS		MS	
		MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
Na (mmol/l)	2	136	2	134	2	134	2	135	2	135	2
	3	138 ^{cd}	2	135	3	134 ^a	2	134 ^a	2	134	4
	4	138	2	137	4	136	1	136	3	136	1
	5	137	5	138	5	137	4	136	4	135	1
	6	149	23	138	2	136	1	138	3	137	1
	7	139	4	136	2	141 ^e	4	137	2	134 ^c	2
	8	136	1	137	1	136	1	135	3	136	2
	9	134	1	135	2	135	3	136	2	135	4
	10	138	2	138	3	139	1	139	1	139	1
	K (mmol/l)	2	5,09	0,19	5,35	0,46	5,32	0,32	5,27	0,63	5,15
3		5,29	0,59	5,20	0,40	5,25	0,37	5,20	0,26	4,84	0,12
4		4,97	0,44	4,80	0,19	4,86	0,19	4,86	0,17	4,74	0,28
5		5,17	0,60	4,61	0,50	4,84	0,33	4,86	0,15	4,77	0,10
6		4,96	0,51	4,67	0,13	4,58	0,39	4,57	0,16	4,64	0,22
7		5,07 ^b	0,40	4,50 ^{ad}	0,07	5,01	0,91	4,74 ^b	0,10	4,52	0,28
8		4,54	0,47	4,50	0,27	4,56	0,15	4,68	0,30	4,43	0,34
9		5,10 ^{ce}	0,36	4,79	0,26	4,37 ^a	0,20	4,68	0,20	4,33 ^a	0,14
10		4,53	0,11	4,58	0,24	4,72	0,56	4,27	0,21	4,22	0,46
Cl (mmol/l)		2	100	3	97	2	97	5	97	5	98
	3	102	2	100	2	100	4	100	2	99	3
	4	101	3	97	1	98	5	98	2	98	3
	5	97 ^b	1	92 ^a	4	96	3	96	2	96	1
	6	100	1	98	2	99	4	99	4	100	2
	7	101	3	98	1	98	5	98	1	98	2
	8	99	2	98	5	99	2	99	3	98	2
	9	102	1	99	2	100	4	99	4	101	2
	10	102	1	101	1	101	3	101	1	100	1

Unterschiede signifikant, wenn $p < 0,05$

Signifikanter Unterschied zur Gruppe H = a, KF = b, KFH = c, KFMS = d, MS = e

Anhang II: Auswirkungen der Futterrationen (n=4 pro Gruppe) auf das Gewicht (kg) verschiedener Organe des Verdauungstraktes im Alter von 10 Wochen

Organ (kg)	Gruppe									
	H		KF		KFH		KFMS		MS	
	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s	MW	s
Reticulorumen voll	17,30	2,80	12,11	3,65	11,31	2,22	8,95	2,10	15,18	2,42
Reticulorumen leer	1,55	0,27	2,34	0,51	2,35	0,34	2,32	0,55	1,34	0,25
Blättermagen voll	1,08	0,13	1,01	0,34	1,21	0,25	1,38	0,48	0,86	0,26
Blättermagen leer	0,47	0,05	0,52	0,06	0,63	0,17	0,67	0,19	0,33	0,07
Labmagen voll	1,60	0,20	1,13	0,28	0,99	0,59	1,72	0,82	1,42	0,22
Labmagen leer	0,47	0,04	0,53	0,02	0,51	0,08	0,57	0,12	0,39	0,05
Dünndarm voll	3,79	0,22	5,49	1,14	6,99	1,43	5,78	1,41	2,41	0,50
Dünndarm leer	1,99	0,27	2,94	0,51	3,25	0,78	2,74	0,44	1,56	0,08
Dickdarm voll	2,33	0,33	2,32	0,32	2,15	0,38	2,17	0,38	1,94	0,23
Dickdarm leer	0,78	0,16	1,03	0,32	1,03	0,18	1,02	0,27	0,60	0,08
Leber	1,38	0,25	2,02	0,22	2,09	0,41	2,18	0,33	1,04	0,09

Danksagung

An erster Stelle möchte ich Frau Prof. Dr. K. E. Müller für die Überlassung des Dissertationsthemas, die kompetente Betreuung und die Hilfsbereitschaft beim Auftreten von Problemen und Fragen jeglicher Art danken.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. J. Zentek, bei dem ich mich aufgrund seiner Unterstützung und Hilfe in allen fachlichen und organisatorischen Belangen außerordentlich gut betreut fühlte.

Ich danke Herrn Prof. Dr. H. Martens dafür, dass er jederzeit für Fragen zur Verfügung stand und mir bei der Gewebeprobenentnahme Hilfe leistete.

Ein herzliches Dankeschön gebührt Frau Univ.-Prof. J. Plendl aus dem Institut für Anatomie für die großzügige Unterstützung der histologischen Arbeiten.

Mein Dank gilt weiterhin Frau Dr. H. Hünigen für die wertvolle und geduldige Unterstützung bei der Organisation der Studie und den morphologischen Messungen an der Pansenwand sowie für die Schaffung einer warmen und freundlichen Arbeitsatmosphäre.

Frau K. Briest-Forch möchte ich meinen außerordentlichen Dank dafür aussprechen, dass sie mir bei der Anfertigung von Gewebeschnitten geholfen hat und in allen Belangen immer für mich da war.

Für die wertvolle Unterstützung in organisatorischen Belangen und den Beitrag zu einer angenehmen Arbeitsatmosphäre möchte ich mich herzlich bei Herrn Dr. H. P. Heckert bedanken.

Herzlichen Dank an Frau Dr. G. Arndt für die Hilfe bei der statistischen Auswertung meiner Ergebnisse.

Für die finanzielle Unterstützung der Studie möchte ich mich bei Denkavit (Warendorf, Deutschland) und ForFarmers (Lochem, Niederland) bedanken. Herrn van Trierum und Herrn van der Vliet danke ich für die produktive Diskussion über meine Doktorarbeit.

Mein Dank gilt weiterhin dem Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Technologie der Republik Kosovo und WUS Austria (Prishtina, Kosovo), die mich finanziell unterstützt und somit zur Ermöglichung meiner Doktorarbeit beigetragen haben.

Ohne die großen Bemühungen von Prof. Dr. Dr. h.c. F. Hörchner, Prof. Dr. K.-H. Zessin, Prof. Dr. Xhevdet Elezi und Prof. Ass. Dr. Kurtesh Sherifi hätte ich diese Doktorarbeit niemals begonnen, denn sie bahnten mir den Weg zur Freien Universität Berlin. Dafür bin ich ihnen unendlich dankbar.

Von Herzen möchte ich meinem Schatz Eli und meiner Familie – Haxhere, Migjen, Luljeta, Sherif, Agron und Teuta – danken, die immer für mich da waren und ohne die ich nie so weit gekommen wäre.

Berlin, den 16.10.2009

Selbstständigkeitserklärung

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

Bardhyl Noci