

**Aus der Klinik für Klauentiere
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin**

**Experimentelle Untersuchungen zum Effekt von Rationen
mit einem unterschiedlichen Gehalt an strukturwirksamer
Rohfaser und des Einsatzes von Natriumhydrogencarbonat
auf den Säuren-Basen-Haushalt von Milchkühen**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades
Doctor medicinae veterinariae
an der
Freien Universität Berlin**

**vorgelegt von
Stephanie Woida
Tierärztin aus Berlin**

**Berlin 2020
Journal-Nr.: 4225**

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

**Experimentelle Untersuchungen zum Effekt von Rationen
mit einem unterschiedlichen Gehalt an strukturwirksamer
Rohfaser und des Einsatzes von
Natriumhydrogencarbonat auf den Säuren-Basen-Haushalt
von Milchkühen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades
Doctor medicinae veterinariae
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Stephanie Woida
Tierärztin aus Berlin

Berlin 2020

Journal-Nr.: 4225

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Rudolf Staufenbiel
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek
Dritter Gutachter: Prof. Dr. Holger Martens

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

dairy cows, animal nutrition, cattle feeding, roughage, digestion, sodium bicarbonate,
rumen fluid, blood, urine, milk, feeds

Tag der Promotion: 25.01.2021

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

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

ISBN: 978-3-96729-103-2

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2020

Dissertation, Freie Universität Berlin

D188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

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

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

This document is protected by copyright law.

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

alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2021

Choriner Str. 85 - 10119 Berlin

verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Teilgefördert durch Bundesmittel für die Förderung von Nachwuchswissenschaftlern /
Elsa-Neumann-Stipendium des Landes Berlin

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	III
1 EINLEITUNG	1
2 LITERATUR	3
2.1 EINFLUSS DER STRUKTURWIRKSAMEN ROHFASER	3
2.1.1 <i>Definition</i>	3
2.1.2 <i>Futteraufnahme</i>	4
2.1.3 <i>Pansensaft</i>	8
2.1.4 <i>Blut</i>	15
2.1.5 <i>Harn</i>	16
2.1.6 <i>Milch</i>	20
2.2 PHYSIOLOGISCHE REGELMECHANISMEN ZUR AUFRECHTERHALTUNG DER SÄUREN-BASEN-HOMÖOSTASE	22
2.3 DIAGNOSTISCHE MITTEL ZUR ERKENNUNG EINES MANGELS AN STRUKTURWIRKSAMER ROHFASER AM TIER	24
2.3.1 <i>Pansensaft</i>	24
2.3.2 <i>Blut</i>	25
2.3.3 <i>Harn</i>	27
2.3.4 <i>Milch</i>	28
2.4 NATRIUMHYDROGENCARBONAT ALS RATIONSBESTANDTEIL	29
2.4.1 <i>Definition</i>	29
2.4.2 <i>Gründe des Puffereinsatzes</i>	29
2.4.3 <i>Natriumhydrogencarbonat (NaHCO₃)</i>	30
2.4.4 <i>Auswirkungen von Natriumhydrogencarbonat als Rationsbestandteil</i>	31
3 MATERIAL UND METHODEN	35
3.1 ÜBERBLICK ÜBER DIE DURCHGEFÜHRTE VERSUCHE	35
3.2 VERSUCHSTIERE, HALTUNG UND VORBEREITENDE MAßNAHMEN	35
3.3 VERSUCHSKONZEPTION	36
3.3.1 <i>Versuchsabschnitt I – Voruntersuchungen</i>	37
3.3.2 <i>Versuchsabschnitt II – Hauptuntersuchungen</i>	37
3.4 RATIONSGESTALTUNG	38
3.5 MILCHLEISTUNG	41
3.6 PROBENENTNAHME, PARAMETER UND LABORANALYTISCHE METHODEN	42
3.6.1 <i>Entnahme, Primäraufbereitung und Aufbewahrung des Probenmaterials</i>	42
3.6.2 <i>Untersuchung der Futterproben</i>	43
3.6.3 <i>Untersuchung der Pansensaftproben</i>	43
3.6.4 <i>Untersuchung der Blutproben</i>	44
3.6.5 <i>Untersuchung der Harnproben</i>	44
3.6.6 <i>Untersuchung der Milch</i>	45
3.7 STATISTISCHE AUSWERTUNG	45
4 ERGEBNISSE	48
4.1 FUTTERAUFNAHME	48
4.2 PANSENSAFT	50
4.2.1 <i>pH-Wert</i>	50

4.2.2	<i>Flüchtige Fettsäuren</i>	53
4.2.3	<i>Elektrolyte</i>	70
4.3	BLUT	82
4.3.1	<i>Blutgasanalyse im venösen Blut</i>	82
4.3.2	<i>Vitamingehalt im Blutserum</i>	90
4.4	HARN	92
4.4.1	<i>Säuren-Basen-Status</i>	92
4.4.2	<i>Elektrolyte</i>	106
5	DISKUSSION	116
5.1	VERSUCHSKONZEPTION	116
5.2	RATION UND FUTTERAUFNAHME	117
5.3	PANSENSAFT	118
5.3.1	<i>pH-Wert</i>	119
5.3.2	<i>Flüchtige Fettsäuren</i>	119
5.3.3	<i>Elektrolyte</i>	121
5.4	BLUT	122
5.5	HARN	122
5.5.1	<i>Säuren-Basen-Status</i>	123
5.5.2	<i>Elektrolyte</i>	125
5.6	MILCH	127
5.7	SCHLUSSFOLGERUNG	128
6	ZUSAMMENFASSUNG	129
7	SUMMARY	130
8	TABELLENVERZEICHNIS	131
9	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	134
10	LITERATURVERZEICHNIS	136
11	DANKSAGUNG	158
12	SELBSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	159

Abkürzungsverzeichnis

[]	Konzentration
ADF	acid detergent fiber
a. p.	ante partum
Abb.	Abbildung
AS	Aminosäuren
ATP(ase)	Adenosintriphosphat(ase)
BE	Basenexzess
BSQ	Basen-Säuren-Quotient
et al.	und Mitarbeiter
Fa.	Firma
FA	Futteraufnahme
FEQ	Fett-Eiweiß-Quotient
H ⁺	Protonen
HCO ₃ ⁻	Hydrogencarbonat
max.	Maximum, maximal
min.	Minimum, minimal
MLP	Milchleistungsprüfung
n	Anzahl der Tiere / Proben
NaHCO ₃	Natriumhydrogencarbonat
NH ₃ / NH ₄ ⁺	Ammoniak / Ammonium-Ion(en)
n. s.	nicht signifikant
NDF	neutral detergent fiber
NPN	nichtproteinogener Stickstoff
NSBA	Netto-Säure-Basen-Ausscheidung
OS	Originalsubstanz
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
pCO ₂	Kohlendioxid-Partial-Druck
peNDF	physically effective neutral detergent fiber
pK _a	Säurekonstante
r	Korrelationskoeffizient
s	Standardabweichung
S	Schwefel
SARA	subakute Pansenazidose
SBH	Säuren-Basen-Haushalt
SCFA	short chain fatty acids
Tab.	Tabelle
TM	Trockenmasse
TP	Tagesprofil
TS	Trockensubstanz
\bar{x}	arithmetischer Mittelwert
x	Medianwert
ZNS	zentrales Nervensystem

1 Einleitung

Als limitierendem Faktor für die Tiergesundheit und die Leistungsfähigkeit in Milchviehbeständen kommt fütterungsbedingten Belastungszuständen des Säuren-Basen-Haushalts eine hohe Bedeutung zu. Als Ursache wird die steigende Diskrepanz zwischen einer bedarfsgerechten Energieversorgung der hochleistenden Milchkuh und der Erfüllung einer hinsichtlich der Strukturkomponenten wiederkäuergerechten Rationszusammensetzung gesehen (Humer et al. 2018b).

Die deutlichen Leistungssteigerungen in den letzten Jahren erfordern eine ständige Anpassung der Energie- und Nährstoffversorgung für eine bedarfsgerechte Fütterung der laktierenden Kühe (Wülbeck et al. 2008). So wird für den Anstieg von 5 bis 10 kg Milch pro Kuh und Tag eine Erhöhung der täglichen individuellen Futtertrockenmasseaufnahme um circa 2 bis 5 kg benötigt, um wiederkäuergerechte Pansenbedingungen zu gewährleisten (GfE 2001, Meyer 2005). Da eine Zunahme der Futteraufnahme aufgrund des physiologisch begrenzten Fassungsvermögens des Pansens und damit des Futteraufnahmevermögens der Tiere nur begrenzt möglich ist, erhöhen sich die Energie- und Nährstoffkonzentrationen in den Rationen durch den Einsatz hochverdaulicher Komponenten (Wülbeck et al. 2008, Hummer et al. 2018b). Die daraus resultierenden steigenden Anteile von Kraftfutter, die höheren Gehalte an leicht verdaulichen Kohlenhydraten sowie die geringeren Anteile an strukturwirksamer Rohfaser in den Rationen beeinflussen die Kaskade der Verdauungsvorgänge und bedeuten ein höheres Risiko für das Auftreten klinischer und subklinischer Pansenazidosen mit den entsprechenden Auswirkungen dieser Stoffwechsellagen auf die Gesundheit und Produktivität der Tiere (Zebeli et al. 2012, Plaizier et al. 2018).

Azidotische Belastungen der Tiere sind im Rahmen der Rationsberechnungen durch eine ausreichende Versorgung mit strukturwirksamer Rohfaser zu vermeiden. Ist dies aufgrund der Laktationsleistung nicht in ausreichendem Maß möglich, wird in der Rationsgestaltung mit steigender Tendenz auf puffernde Substanzen zugegriffen. Entsprechend den veränderten Fütterungsbedingungen hat sich im Verlauf des letzten Jahrzehnts das Bild der Indigestionen beim Wiederkäuer gewandelt (Staufenbiel 2007). Zeigten sich in der Vergangenheit vor allem Pansenazidosen infolge überhöhter Kohlenhydratfütterung, treten aufgrund der veränderten Fütterungstechnik heute zunehmend Probleme hinsichtlich einer ausreichenden Strukturversorgung der Tiere auf (Zebeli et al. 2012). Der zeitgleich gestiegene Einsatz von pansenpuffernden Mitteln führt dazu, dass sich eine krankmachende mikrobielle Pansenfermentation, in diesem Sinne also eine Pansenfermentationsstörung, entwickeln kann (Staufenbiel 2007). Wurden die Begriffe der Pansenazidose und Pansenfermentationsstörung in der Vergangenheit oft gleichgesetzt (Staufenbiel 2007), sollten diese Erkrankungen heute differenzierter betrachtet werden.

So wird unter dem Begriff der Pansenazidose des Rindes eine alimentär bedingte Störung der Vormagenverdauung verstanden, für die ein Mangel an strukturwirksamer Rohfaser und eine übermäßige Aufnahme von leichtfermentierbaren Kohlenhydraten mit nachfolgendem Absinken des pH-Wertes im Pansensaft als kennzeichnend angegeben wird (Dirksen et al. 2012). Abhängig vom Typus der Pansenazidose gilt das Absinken des Pansen-pH-Wertes unter einen definierten Grenzwert als wesentliches Merkmal.

Eine unzureichende Versorgung mit strukturwirksamer Rohfaser führt zu einer krank machenden mikrobiellen Pansenfermentation, einer Pansenfermentationsstörung. Im Unterschied zur Pansenazidose kann die Pansenfermentationsstörung jedoch mit pH-Abweichung sowohl in den sauren als auch in den alkalischen Bereich vorkommen sowie physiologische pH-Verhältnisse aufweisen (Staufenbiel 2007). Gestützt wird diese Aussage durch die im Rahmen der Bestandsbetreuung gemachte Beobachtung, dass anstelle der mit Rohfasermangel einhergehenden klassischen azidotischen Stoffwechsellage (Yang et al. 2006, Staufenbiel 2007, Dirksen et al. 2012) häufig Verschiebungen in den alkalotischen Bereich festzustellen sind. Zurückzuführen ist dieser Sachverhalt auf den unterschiedlich hohen Anteil an direkt und indirekt pH-wirksamen Substanzen in den Rationen, wie zum Beispiel den der Mengenelemente K, Na, Cl, und S, aber auch der Proteine und insbesondere der als Pansenpuffer wirksamen Stoffe sowie von Stärke, Zucker und anderen Verbindungen (Staufenbiel 2007).

Untersucht werden soll, inwieweit die Pansenfermentationsstörung Auswirkungen auf den Säuren-Basen-Haushalt hat und inwieweit die Stoffwechselräume Pansensaft, Harn und Blut miteinander übereinstimmen oder ob sich Überschneidungen zur einer gegebenenfalls feststellbaren Vormagenübersäuerung ergeben.

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin,

1. den Einfluss von zwei unterschiedlichen Gehalten an strukturwirksamer Rohfaser in der Ration sowie
2. vergleichend die Effekte von als Pansenpuffer eingesetztem Natriumhydrogencarbonat bei diesen beiden Rationen

auf ausgewählte Stoffwechselparameter laktierender Milchkühe darzustellen und die diagnostische Aussagekraft der betrachteten Parameter des Säuren-Basen- und Elektrolythaushaltes unter den dargestellten Versuchsbedingungen zu bewerten.

2 Literatur

2.1 Einfluss der strukturwirksamen Rohfaser

2.1.1 Definition

Der Begriff der strukturwirksamen Rohfaser wurde im Wesentlichen durch die Arbeiten von Piatkowski (bei Rindern) und Hoffmann (bei Schafen) geprägt (Jeroch et al. 2008).

Basierend auf deren Untersuchungen zu Futteraufnahme- und Wiederkauverhalten, zur Wiederkauaktivität und Speichelbildung sowie zur Pansenfermentation und verschiedenen Stoffwechselprozessen erfolgte die Ableitung eines sogenannten Strukturfaktors „f“ für eine Reihe unterschiedlicher Futtermittel (Ulbrich et al. 2004, Jeroch et al. 2008).

Aus der Multiplikation des zwischen 0 (Trockenkonzentrate, Kraffutter) und 1,5 (Langstroh) variierenden Strukturfaktors des Futtermittels mit der analytisch bestimmten Rohfaser der Einzelfuttermittel wird der Gehalt an strukturwirksamer Rohfaser errechnet. Als Referenzwert gilt Heu mittlerer Qualität (bei 28–30% Rohfaser in der Trockensubstanz) mit $f = 1$ (Ulbrich et al. 2004, Jeroch et al. 2008).

$$\text{Strukturwirksame Rohfaser} = \text{analytisch bestimmte Rohfaser} \times f \text{ (Strukturfaktor)}$$

Die Abstufungen des dimensionslosen Strukturfaktors erfolgen in 0,25-Schritten und werden zum Beispiel für geringere Rohfasergehalte oder kürzere Partikellängen vorgenommen (Steingass et al. 2008).

Ausgehend von der von Piatkowski für Rinder formulierten Anforderung von 400 g strukturwirksamer Rohfaser je 100 kg Körpermasse je Tier und Tag wurde geschlussfolgert, dass die spezifische Wirkung der Faserfraktion im Pansen unabhängig vom Leistungsniveau ist und eine bestimmte Mindestmenge je Tier und Tag vorhanden sein muss, um eine physiologische Pansenfermentation zu gewährleisten (Tabelle 1) (Ulbrich et al. 2004).

Tabelle 1: Richtwerte für den optimalen Anteil an strukturwirksamer Rohfaser in Milchkurationen (Hoffmann 2011, 2018)

je 100 kg Körpermasse (in g)			
mindestens > 350	optimal 400		maximal < 500
kg je Tier und Tag			
Körpermasse	mindestens	optimal	maximal
600	1,8	2,4	3,0
650	2,0	2,6	3,2
700	2,1	2,8	3,5
750	2,3	3,0	3,8

Diese allgemeingültige und leistungsunabhängige Anforderung findet bis heute Anwendung. Um die physiologisch notwendige Strukturwirksamkeit einer Ration zu gewährleisten, ist neben dem Gehalt an strukturwirksamer Rohfaser auch die Partikelgröße von Bedeutung. Hoffmann

(2011) ermittelte die prozentualen Mindestanteile der verschiedenen Partikelgrößen, die in Rationen enthalten sein müssen, um den Anforderungen an die Strukturwirksamkeit zu entsprechen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Anforderungen an die Strukturwirksamkeit in Rationen für Milchkühe (Hoffmann 2011)

Anforderungen an die Partikelgrößenverteilung % luftgetrocknete Substanz			
Siebgröße	Laktation	trockenstehende Kühe	
		bis 3. Woche a. p.	ab 3. Woche a. p.
> 19 mm	5–10	> 20	10–15
8–19 mm	30–50	< 50	< 50
1,2–7,9 mm	30–50	< 40	< 40
< 1,2 mm	< 20	< 5	< 10

2.1.2 Futteraufnahme

Der Organismus versucht sein Körpergewicht und damit seine Energiebilanz über eine ausgeglichene Energieversorgung konstant zu halten (Wangsness et al. 1981). Die dafür notwendigen Informationen werden über unterschiedliche Signale vermittelt (Engelhardt et al. 2005). Signalfunktion können sowohl die Produkte der Verdauung als auch intermediäre Metabolite wie z. B. die freien und flüchtigen Fettsäuren sowie diverse Hormone übernehmen (Abbildung 1). Aber auch physikalische Parameter wie Pansenvolumen und -füllung, Abbauraten und Verdaulichkeit der Futternährstoffe sowie die Passagegeschwindigkeit sind von entscheidender Bedeutung für die Regulation der Futteraufnahme. Diese summativen Einzelinformationen unterliegen einer gegenseitigen Beeinflussung (Faverdin et al. 1999, Gruber et al. 2001a, Gruber et al. 2004). Über das Nervensystem gelangen die Signale zum ZNS, insbesondere dem Hypothalamus, und werden dort zu einer die Futteraufnahme auslösenden oder beendenden Information verarbeitet (Gruber et al. 2001a).

Eine vereinfachte Übersicht über die die Futteraufnahme regulierenden Faktoren beim Wiederkäuer ist in Abbildung 1 dargestellt.

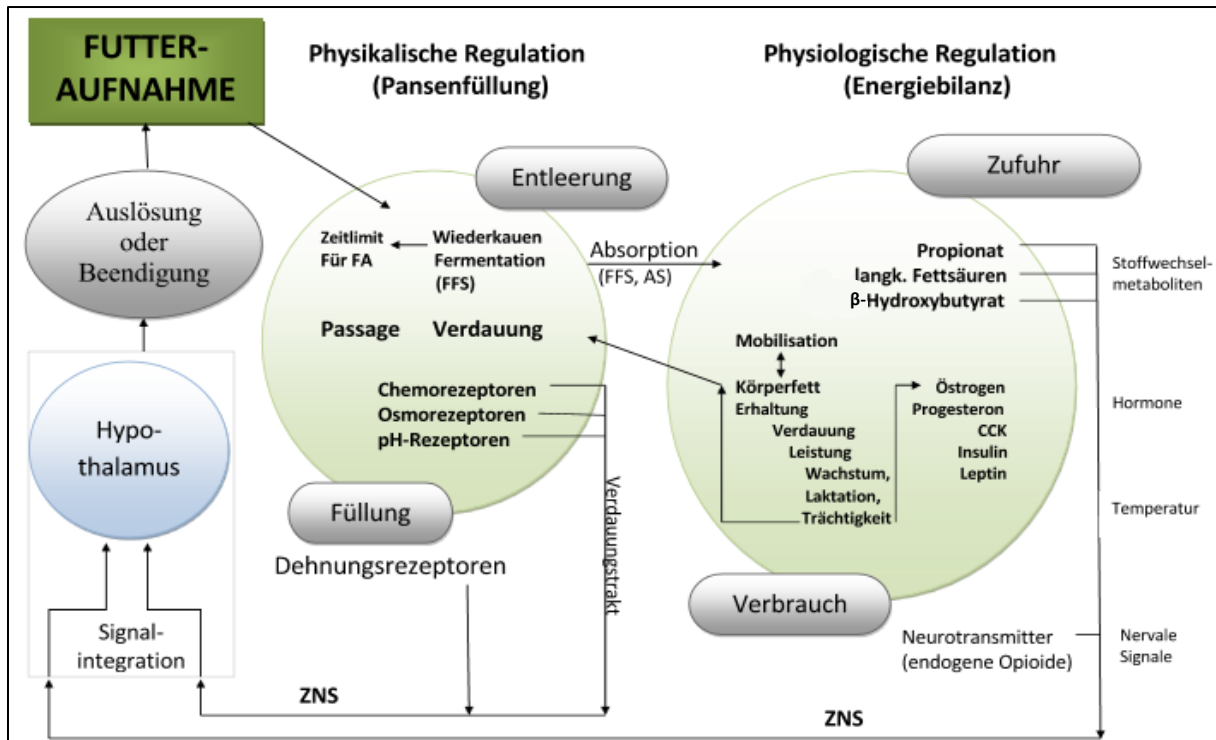


Abbildung 1: Regulation der Futteraufnahme beim Wiederkäuer (Gruber et al. 2001a)

Die Aufnahme einer ausreichenden Futtermenge ist eine der wichtigsten Grundvoraussetzungen dafür, dass das genetische Potenzial von Hochleistungsmilchkühen vollständig ausgeschöpft werden kann. Diese theoretisch erstellte obere Leistungsgrenze wird jedoch nie ganz erreicht werden, da eine Vielzahl verschiedener Faktoren Einfluss auf die Höhe der Futteraufnahme nehmen. Eine Beeinflussung kann dabei vom Tier selbst, den Haltungsbedingungen und den eingesetzten Futtermitteln bzw. Rationen ausgehen (Tabelle 3) (Jeroch et al. 2008). Viele dieser Faktoren sind voneinander abhängig oder stehen in Wechselbeziehung zueinander (Brade 2016).

Tabelle 3: Ausgewählte Einflussfaktoren auf das Futteraufnahme- und Kauverhalten von Wiederkäuern (modifiziert nach Jeroch et al. 2008)

tierabhängige Einflüsse	Haltungsbedingungen und Umwelt	futterabhängige Einflüsse
Rasse	Fütterungstechnik	Sensorik
Tiergröße und -alter	Fütterungsfrequenz	Struktur und Form
Körpermasse und -kondition	Futternvorlagezeit	Verdaulichkeit
Hormonstatus / Geschlecht	Futterwechsel	Energiekonzentration, Krafftuttermenge
Leistung / Laktationsstadium	Belegdichte, Tier-Fressplatz-Verhältnis	Trockensubstanzgehalt Gehalt an Gerüstsubstanzen
Trächtigkeit	Klima	Nährstoffimbalancen (Protein / Energie, Mineralstoffe)

tierabhängige Einflüsse	Haltungsbedingungen und Umwelt	futterabhängige Einflüsse
Stoffwechsellage (Hunger, Sättigung, Appetit)	Beleuchtung	Gehalt antinutritiver Substanzen
Gesundheitsstatus		Futterhygiene

Grundsätzlich gilt: Je schneller der Druck des Panseninhaltes auf die Dehnungsrezeptoren zwischen den Fütterungszeiten abnimmt, umso eher wird eine erneute Futteraufnahme eingeleitet bzw. desto größer wird die nachfolgende Futteraufnahme ausfallen (Allen 1996, Gruber et al. 2001a). Dementsprechend verursachen Futterfaktoren, die die Fresszeit je kg Trockenmasse verlängern, eine verminderte Wiederkauzeit und eine höhere Pansenfüllung mit negativer Auswirkung auf die Gesamtfutteraufnahme (Allen 2000). Umgekehrt stimulieren Nährstoffe, die die mikrobielle Aktivität im Pansen und damit den Abbau und Weitertransport des Futters fördern, die Futteraufnahme zumindest kurzzeitig (Faverdin et al. 1999). Denn sobald das Pansenvolumen begrenzend auf die Futteraufnahme wirkt, gewinnt die Verdaulichkeit und damit die Passagerate stark an Bedeutung (Gruber et al. 2001b zit. nach Hüttmann 2007).

Obwohl eine erhöhte Passagerate die Futteraufnahme steigert (Allen 2000), ist durch eine kürzere Verweildauer im Pansen mit einem Rückgang des mikrobiellen Abbaus und schließlich verminderter Gesamtverdaulichkeit zu rechnen. Ist der Anstieg der Passagerate größer als jener der Futteraufnahme, kann die geringere Substratverfügbarkeit für die Mikroorganismen zu einer reduzierten mikrobiellen Proteinsynthese und Leistungseinbußen führen (Weber 2007).

Der Bilanzierung des optimalen Gehaltes an strukturwirksamen Bestandteilen in einer wiederkäuergerechten Ration kommt eine große Bedeutung zu, da nicht nur der Pansenfüllung, sondern auch der Wiederkautätigkeit physiologische Grenzen gesetzt sind (Hoffmann 2011). So sind bei strukturreichen Rationen u. a. die Wiederkauaktivität, die Verdaulichkeit der Futterbestandteile sowie deren Passagegeschwindigkeit aus dem Retikulumen Faktoren, die die Futteraufnahme limitieren können (De Boever et al. 1993, Allen 1996). Eine erhöhte Futteraufnahme kann aufgrund der bestehenden positiven Korrelation des NDF-Gehaltes einer Ration mit der Gesamtkauzeit (Beauchemin 1991, 2018) u. a. durch eine Verminderung des Anteils an Gerüstsubstanzen im Futter und damit einer geringeren Füllung des Retikulums erreicht werden (Allen 2000). Der Fülleffekt der NDF wird dabei wesentlich von der Größe der Partikel bzw. von der Teilchengrößenverteilung beeinflusst. Folglich wird im Zusammenhang mit den Fasergehalten und deren Strukturwirksamkeit häufig die Bedeutung der Partikellänge für die Höhe der aufgenommenen Futtermenge diskutiert.

Die Angaben hinsichtlich der kritischen Partikelgröße, bei der noch keine negative Wirkung auf Kauaktivität und Pansenfermentation festzustellen ist, weisen aufgrund verschiedener Messmethoden und unterschiedlicher Eigenschaften des Grundfutters eine große Streubreite auf (De Brabander et al. 1999, Schadt et al. 2012). Als ein Grund wird die starke Futterselektion der Tiere genannt. Grobe Partikel werden oft zurückgelassen, und der peNDF-Gehalt der Ration entspricht nicht dem aufgenommenen (DeVries et al. 2007). Das Sortierverhalten der Tiere verändert sich abhängig von der Partikelgrößenverteilung in einer Ration. So stellten Coon et al. (2018) einen Rückgang der Futterselektion gegen grobe Partikel mit abnehmender Partikellänge in der TMR fest.

Während einige Autoren berichten, dass eine Reduktion der Partikellänge, abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren, die Futteraufnahme verringert (Beauchemin et al. 1997) oder kaum beeinträchtigt (Krause et al. 2002, Zebeli et al. 2007), konnte in anderen Untersuchungen eine steigende Futteraufnahme bei abnehmender Partikellänge beobachtet werden (De Boever et al. 1993, Allen 2000, Bal et al. 2000, Kononoff et al. 2003, Maulfair et al. 2010).

Als kritische Partikellänge, die zu einer starken Reduktion der Kauaktivität führt, wird eine mittlere Partikelgröße von unter 5 mm angegeben (Beauchemin 2018). Der Einfluss von geringeren Partikellängen auf die Wiederkauaktivität ist meist stärker ausgeprägt als auf die Fressaktivität (Beauchemin et al. 1994).

Neben der Partikellänge des Futters sind auch andere Faktoren für die Regulation des pH-Wertes im Pansen und folglich der Futteraufnahme entscheidend. Jedoch führten auch hier entsprechende Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen. Im Rahmen einer Metaanalyse von 86 Studien kommen Nasrollahi et al. (2015) zu dem Schluss, dass die Futterpartikelgröße zwar das Potenzial hat die Futteraufnahme und die Milchproduktion von Milchkühen zu beeinflussen, das Ausmaß der Auswirkungen aber von weiteren Faktoren abhängig ist. Als wesentliche Einflussfaktoren nennen sie die Art der Futterquelle, das Futteraufnahmeniveau des Tieres und die Konservierungsmethode der Futtermittel.

Kononoff et al. (2003) konnten hinsichtlich des Einflusses der Partikellänge auf die Trockensubstanzaufnahme eine Erhöhung der Futteraufnahme bei abnehmender Partikellänge lediglich bei Hochleistungsmilchkühen in der Früh-laktation beobachten. Begründet wurde dies u. a. damit, dass der Einsatz von zunehmender Partikellänge einen Rückgang der Futteraufnahme aufgrund der physikalischen Pansenfüllung auslöst (Allen 1996), was früh-laktierende Milchkühe aufgrund der negativen Energiebilanz am stärksten betreffen kann. Der Effekt der Partikellänge ist somit auch vom Stadium der Energieversorgung der Milchkühe abhängig.

Allen (1996, 2000) vertritt den Standpunkt, dass nur bei niedrigem Krafftutterniveau die Partikellänge der Ration ein limitierender Faktor hinsichtlich der Futteraufnahme sein kann,

während sich bei hohem Krafftutterniveau eher die im Pansen gebildeten Fermentationsprodukte als die physikalische Pansenfüllung negativ auf die Futteraufnahme auswirken. Der Effekt einer abnehmenden Partikellänge des Grundfutters auf die Futteraufnahme scheint demnach vor allem vom Krafftutteranteil in der Ration beeinflusst zu werden (Weber 2007). Dies zeigen auch die Untersuchungen von Belyea et al. (1985) und Beauchemin et al. (2005). Sie konnten bei steigendem Krafftutteranteil in der Ration keinen signifikanten Einfluss der Partikellänge des Grundfutters auf die Futteraufnahme beobachten, während bei reinen Grundfutterrationen eine reduzierte Partikellänge die Futteraufnahme der Kühe signifikant positiv beeinflusste (Belyea 1985). Bis zu welchem Krafftutter-Raufutter-Verhältnis eine Reduzierung der Häcksellänge die Futteraufnahme steigert, wird in der Literatur kontrovers diskutiert (Hüttmann 2007).

Grundsätzlich kann durch die Verfütterung hoher Mengen an Krafftutter die Gesamtfutteraufnahme aufgrund der geringeren Rohfasergehalte in der Ration kurzzeitig gesteigert werden, gleichzeitig wird aber die Grundfutteraufnahme dadurch reduziert (Tafaj et al. 1999, Weber 2007). Infolge negativer Auswirkungen auf das Pansenmilieu führt dies zu einer niedrigeren Gesamtfutteraufnahme. Hohe Gesamtfutteraufnahmen können nur realisiert werden, wenn gleichzeitig die Optimierung des Pansenmilieus angestrebt wird. Dies wird durch die Etablierung einer ausgeprägten Schichtung des Panseninhaltes und Aufrechterhaltung eines stabilen Pansen-pH-Wertes erreicht, um möglichst optimale Milieubedingungen für die Pansenmikroorganismen und hohe ruminale Abbaurate der pflanzliche Gerüstsubstanz erzielen zu können. Können diese Faktoren gewährleistet werden, schlägt sich dies wiederum in einer verbesserten Gesamtfutteraufnahme nieder (Schwarz 2000, Weber 2007).

2.1.3 Pansensaft

2.1.3.1 pH-Wert

Der ruminale pH-Wert stellt eine der wichtigsten tierbezogenen Größen zur Charakterisierung der Versorgung mit strukturwirksamer Rohfaser dar (Zebeli et al. 2008) und ist die Untersuchungsmethode der Wahl zur Erkennung einer Pansenazidose (Enemark et al. 2004, Krause et al. 2006).

Im Idealfall sollte ein relativ konstanter Wert im leicht sauren Bereich vorliegen. Unter physiologischen Bedingungen werden für ruminierende Rinder Werte zwischen 6,2 und 6,8 (Hofmann 2005) bzw. zwischen 6,2 und 7,2 (Gasteiner et al. 2008b) angegeben. Je nach Tageszeit, Ration und dem zeitlichen Abstand zu der letzten Fütterung können Schwankungen in einem verhältnismäßig weiten Bereich auftreten (Krause et al. 2006, Dirksen et al. 2012). Tagesdynamische Unterschiede von 0,5 bis 1,0 pH-Einheiten innerhalb von 24 Stunden sind durchaus üblich (Dado et al. 1993, Nocek et al. 2002).

Die Einstellung des pH-Bereiches wird hauptsächlich durch die Wechselwirkung der Bildung der kurzkettigen Fettsäuren und der sich daraus ergebenden ruminalen Fettsäurezusammensetzung, der Pufferung durch den Speichel bzw. durch die Pufferkapazität der aufgenommenen Futtermittel sowie der Sekretion von Hydrogencarbonat durch das Pansenepithel und den Abfluss der SCFA in den Psalter bzw. deren Resorption bedingt (Erdman 1988, Engelhardt et al. 2005).

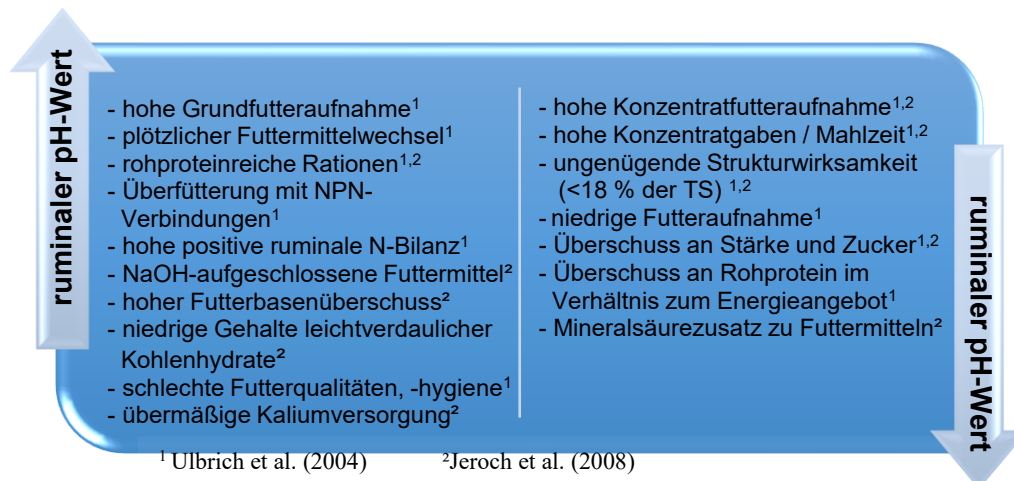
Beeinflusst wird der ruminale pH-Wert zudem durch die Menge und den Zeitpunkt der Aufnahme von Flüssigkeiten, die Anpassung der Mikrobiota und die stark variierenden Passageraten der Futtermittel durch den Vormagenbereich (Krause et al. 2006). Weiterhin sind tierindividuelle Unterschiede (Penner et al. 2009) sowie der Zeitpunkt der Untersuchung in Bezug auf die vorangegangene Fütterung zu beachten. Etwa zwei bis vier Stunden nach der Vorlage von Krafffutter bzw. fünf bis acht Stunden nach dem Angebot von frischem Futter in TMR-gefütterten Herden ist infolge intensiver mikrobieller Verdauung der Gehalt an flüchtigen Fettsäuren am größten, und der pH-Wert kann sein entsprechendes Minimum erreichen (Krause et al. 2006, Humer et al. 2018a). Dieses reziproke Verhältnis zwischen pH-Wert und SCFA-Konzentration stellten bereits Bennink et al. (1978) fest. Bei vermehrter Aufnahme von leicht fermentierbaren Kohlenhydraten, schnell abbaubaren Pektinen oder anderen Futtermitteln mit wenig strukturwirksamer Rohfaser kann die Fähigkeit des Rindes, den ruminalen pH-Wert im Pansen in physiologischen Grenzen zu halten, überfordert werden (Owens et al. 1998, Engelhardt et al. 2005).

Als kritischer Grenzwert, der den Übergang von einer physiologischen zu einer gestörten Pansenfermentation darstellt, gilt ein pH-Wert von 5,5 (Kleen 2004, Krause et al. 2006) bzw. 5,8 (Yang et al. 2007, Zebeli et al. 2008). Ein Absinken unter diese Werte kann kurzfristig toleriert werden. Längere Abnahmen führen zu Störungen des Kohlenhydratstoffwechsels mit vermehrtem Auftreten von kurzkettigen Fettsäuren und Einschränkungen in der Futteraufnahme, sodass mit einem Auftreten der verschiedenen Formen der Pansenazidose zu rechnen ist (Plaizier et al. 2008, Zebeli et al. 2008). Durch Störungen der Barriere- und Transportfunktion der Vormagenepithelien kann es zur Ausbildung einer metabolischen Azidose und Erkrankung anderer Organe mit den entsprechenden Folgen für die Gesundheit der Tiere und deren Wirtschaftlichkeit kommen (Engelhardt et al. 2005, Plaizier et al. 2018). Inzwischen werden jedoch starke Schwankungen des pH-Wertes sowie die über den Tag verteilte Dauer des Unterschreitens des kritischen pH-Wertes für bedeutendere Einflussfaktoren gehalten als ein gleichbleibendes Einstellen des Pansenmilieus im niedrigen Bereich. Entscheidend ist demnach, wie lange pH-Wertabsenkungen unterhalb des kritischen Grenzwertes im Verlaufe eines Tages auftreten (Aeberhard et al. 2001). Zebeli et al. (2008) zeigten im Rahmen einer Studiauswertung, dass zur Minimierung des Risikos von

subakuten Pansenazidosen die Dauer, in der der pH-Wert unter 5,8 liegt, nicht länger als 5,24 Stunden pro Tag betragen sollte.

Weitere Fütterungsfaktoren, die einen Einfluss auf den pH-Wert des Pansensaftes haben, sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Ausgewählte fütterungsbedingte Einflussfaktoren auf den ruminalen pH-Wert



2.1.3.2 Flüchtige Fettsäuren

Bedingt durch mikrobiellen Abbau der aufgenommenen pflanzlichen Zellwandbestandteile und anderer kohlenhydrathaltiger Nährstoffe entstehen im Pansen verschiedene Fermentationsprodukte (Ulbrich et al. 2004). Zu den wesentlichsten Produkten dieser ruminalen Fermentationsprozesse zählen die Gase CO₂ und Methan sowie die im beträchtlichen Umfang gebildeten kurzkettigen Fettsäuren (Bergman 1990, Gäbel et al. 2002, Engelhardt et al. 2005). Die mengenmäßig wichtigsten SCFA sind Acetat, Propionat und Butyrat. Das optimale Fettsäurenmuster setzt sich zusammen aus 50–65 mol% Acetat, 20–25 mol% Propionat, 10–20 mol% Butyrat (Dirksen 2002, Kraft et al. 2005, Jeroch et al. 2008, Dirksen et al. 2012) und jeweils bis zu 5 mol% aus längerkettigen Fettsäuren (Bergman 1990, Dirksen et al. 2012).

Ruminal gebildet und vom Pansenepithel resorbiert, decken die SCFA über 75 Prozent des täglichen Energiebedarfs der Tiere (Bergman 1990, Jeroch et al. 2008). Ein Teil der Energie wird im Pansenepithel bereitgestellt, um dessen Resorptionsleistungen zu ermöglichen (Weigand et al. 1975, Bugaut 1987, Bergman 1990, Penner et al. 2009). Daneben erfüllt die Resorption der flüchtigen Fettsäuren aus dem Pansen weitere wichtige Funktionen. So stellen die flüchtigen Fettsäuren u. a. den Pansenepithelzellen weitere Substrate für ihren Metabolismus zur Verfügung, dienen als Grundbausteine der Gluconeogenese und werden zur Körper- und MilCHFettbildung genutzt (Weigand et al. 1975, Bergman 1990, Kristensen et al. 2000, Penner et al. 2009).

Wie andere ruminale Nähr- und Mineralstoffe unterliegen die SCFA-Konzentrationen tagesdynamischen Schwankungen. Abhängig von Menge, Art und Zeitpunkt der Fütterung bewegt sich die luminale Gesamtkonzentration zwischen 60 und 120 mmol/l (Kraft et al. 2005, Dirksen et al. 2012) bzw. bis 150 mmol/l (Bergman 1990), wobei bei mikrobieller Entgleisung auch Maximalwerte von bis zu 200 mmol/l nachgewiesen werden können (Bergman 1990). Die höchsten Konzentrationen werden zwei bis fünf Stunden nach der Fütterung gemessen (Bennink et al. 1978, Leedle et al. 1982, Rémond et al. 1993).

Die SCFA liegen bei einem physiologischen pH-Wert aufgrund ihres pK_a -Wertes von 4,8 zum größten Teil dissoziiert vor (Aschenbach et al. 2010). Mit Anstieg und Akkumulation der SCFA in der Vormagenflüssigkeit sinkt der ruminale pH-Wert (Martens 2005). Mit Abnahme des pH-Wertes im Panseninhalt nähert sich der pH-Wert dem pK_a -Wert der kurzkettigen Fettsäuren, und der Anteil der protonierten, undissoziierten kurzkettigen Fettsäuren steigt (Dijkstra et al. 1993, Martens 2005, Aschenbach et al. 2010). Um eine potenziell gefährliche Ansäuerung der Pansenflüssigkeit und den Anstieg des osmotischen Drucks mit der Konsequenz des Wassereinstroms (Poppi et al. 2000, Martens 2005) und einer Intensivierung von Passage und Auswaschung von Mikroorganismen zu vermeiden (Gäbel et al. 2002), ist eine schnelle Resorption der SCFA für die Erhaltung der Pansenhomöostase von großer Bedeutung (Kristensen et al. 2004). Hierfür müssen die SCFA effektiv und entlang eines starken Konzentrationsgradienten aus dem Pansen in Richtung Blut resorbiert werden (Bergman 1990, Gäbel et al. 1997, Gäbel et al. 2002). Obwohl der chemische Gradient zwischen Pansenlumen und Blut die Resorption antreibt, haben verschiedene Studien gezeigt, dass weitere Mechanismen notwendig sind, um den Pansen-pH-Wert zu stabilisieren (Gäbel et al. 2002, Aschenbach et al. 2009).

So wird u. a. in Abhängigkeit von der Konzentrationen an Buttersäure und Propionsäure im Pansensaft das Ausmaß der morphologischen und funktionellen Veränderungen der Pansenschleimhaut bestimmt (Dirksen et al. 1984, Gäbel et al. 1987b, Liebich 1999, Penner et al. 2009, Martens et al. 2012). Diese wirken als Wachstumsstimulatoren, von deren proliferativen Auswirkungen die Resorptionskapazität der Pansenmukosa abhängt (Schulenburg 2005). Mit steigender Konzentration der SCFA vergrößert sich im Laufe der Zeit über ein deutliches Dicken- und Längenwachstum der Pansenzotten die Gesamtoberfläche des Pansens (Kauffold 1975, Dirksen et al. 1984, Gäbel et al. 1987a, Gäbel et al. 1991). Die Größenzunahme der Pansenzotten verändert die Aktivität der in den Pansenepithelzellen vorhandenen Transporter und damit die Transporteigenschaften des Epithels (Dirksen et al. 1984, Gäbel et al. 1987b, Dirksen et al. 1992, Martens et al. 2012). Indem sie ihre Zelloberfläche mit mehr Transportproteinen ausstatten, passen sich die Epithelzellen nicht nur morphologisch, sondern auch funktionell an. Auf diese Weise ist eine verstärkte Absorption der im überhöhten Maße anfallenden Fettsäuren und anderer Nähr- bzw. Mineralstoffe aus

dem Pansen möglich (Liebich 1999). Eine adaptierte Schleimhaut ist in der Lage, in der gleichen Zeit die dreifache Menge an Fettsäuren aufzunehmen (Dirksen et al. 1984) und zu einer schnelleren Stabilisierung des pH-Wertes in der Pansenflüssigkeit beizutragen. Nach Weiss (1994) kann in der Hälfte der Zeit der pH-Wert von pH 5 auf pH 7 neutralisiert werden. Umgekehrt kommt es zur Verkürzung der Pansenzotten bei einer vermehrten Aufnahme von Raufutter. Als zeitlicher Rahmen werden für die morphologischen Adaptationsprozesse zwei (Hofmann 1989, Rémond et al. 1995, Dirksen et al. 2012) bis fünf Wochen (Liebich 1999) angegeben.

Somit sind die ruminalen Konzentrationen und relativen Anteile an Essig-, Propion- und Buttersäure zueinander sowie die Resorptionskapazität der Vormägen für diese u. a. von der Fütterung, insbesondere dem Verhältnis Grund- zu Krafffutter bzw. dem Energiegehalt der Ration, abhängig. Bei konzentratarmer, rohfaserreicher Fütterung kommt es unter Einschränkung der metabolischen Aktivität am Pansenepithel zu einer Reduktion der Resorptionsraten u. a. für die kurzkettigen Fettsäuren, Chlorid, Calcium, Magnesium und Natrium (Martens et al. 2012). Unter den drei flüchtigen Fettsäuren Acetat, Propionat und Butyrat dominiert das Acetat, und es stellt sich eine prozentuale SCFA-Verteilung von bis zu 70 : 20 : 10 (Acetat : Propionat : Butyrat) ein (Bergman 1990, Engelhardt et al. 2005, Jeroch et al. 2008, Dirksen et al. 2012). Bei Verfütterung von Rationen, denen es an strukturwirksamer Rohfaser mangelt oder die hohe Anteile an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten enthalten, sind ein Anstieg der Gesamtfettsäurenkonzentration bei Abnahme der natürlichen Pufferkapazität des Pansens sowie niedrige pH-Werte im Pansen zu beobachten (Dirksen 1985, Gäbel et al. 1987b, Dirksen et al. 2012). Der Anteil an Acetat als Produkt des Zelluloseabbaus sinkt zugunsten vergleichsweise größerer Mengen Propionat. Die ruminalen Konzentrationen an Butyrat und Laktat sind erhöht. In der Folge verschiebt sich das SCFA-Verhältnis bei konzentratreicher Fütterung zu ungefähr 50 : 35 : 15 mit einer entsprechenden Verengung des Acetat-Propionat-Verhältnisses (Erdman 1988, Bergman 1990, Rémond et al. 1995, Dirksen et al. 2012).

2.1.3.3 Elektrolyte

Der Mineralstoffgehalt im Pansensaft ist neben einer tierindividuellen Streuung abhängig von dem Mineralstoffgehalt des Futters, der Löslichkeitsrate der Mineralstoffe von den Futterpartikeln, der Löslichkeit der Mineralstoffe im Pansensaft, der Sekretion des Speichels sowie deren Absorption und Abfluss aus dem Pansen (Prießnitz 2006).

In Abhängigkeit der Gesamtsumme an gelösten Stoffen ergibt sich die Osmolarität des Panseninhaltes. Diese nimmt Werte zwischen 260 mosmol/l (präprandial) und ≥ 400 mosmol/l (postprandial) ein (Martens 2005). Großen Anteil haben daran die vor allem bei energiereichen Diäten entstehenden SCFA (Bennink et al. 1978, Martens 2005).

Das Pansenepithel ist in der Lage, die erheblichen Konzentrationsgradienten zwischen Pansenflüssigkeit und Blut aufrechtzuerhalten (Martens 2005). Um Elektrolyte und andere Stoffe zu befördern, bedarf es spezieller Membranproteine, die den Transport zunächst über die äußere und anschließend über die innere Zellmembran ermöglichen. Obwohl nach derzeitigem Kenntnisstand die Mineralstoffe grundsätzlich auch aus dem Pansen absorbiert werden, sind Umfang und Bedeutung sowie die wechselseitigen Einflüsse auf die Transportraten der Elektrolyte unterschiedlich und die Mechanismen zum Teil noch nicht abschließend geklärt.

Die Chloridkonzentration in der Pansenflüssigkeit beträgt im Mittel 10 bis 20 mmol/l (Martens 2005). Die höchsten ruminalen Konzentrationen (≤ 34 mmol/l (Bennink et al. 1978)) werden ein bis zwei Stunden nach der Futteraufnahme beobachtet. Die niedrigsten Chloridwerte finden sich acht bzw. 14 Stunden nach der Fütterung (Bailey 1961). Begründet wird der Konzentrationsabfall mit den Verdünnungseffekten des Speichels sowie der Resorption durch das Pansenepithel (Bailey 1961). Bei Futterentzug ist ein Abfall der Chloridkonzentration festzustellen (Höltershinken et al. 2004 zit. nach Wichern 2011). Dauerhaft erhöhte Chloridgehalte im Pansensaft können nach Ausschluss fütterungsbedingter Einflüsse auf das Vorliegen eines abomasoruminalen Reflux hindeuten (Dirksen et al. 2012). Für den Chloridtransport am Pansenepithel wurden u. a. Zusammenhänge mit dem Transport der SCFA nachgewiesen (Kramer et al. 1996, Georgi 2011).

Die mittlere Konzentration von Calcium in der Pansenflüssigkeit beträgt 1 bis 10 mmol/l (Martens 2005), kann jedoch Werte bis 19 mmol/l (Bennink et al. 1978) erreichen. Im Wesentlichen wird der ruminale Calciumgehalt von der Aufnahme über das Futter beeinflusst (Martens 2005, Suttle 2010).

Die Magnesiumkonzentration in der Pansenflüssigkeit entspricht in etwa der Größenordnung der Calciumkonzentration und beträgt je nach Gehalt im Futter 1 bis 10 mmol/l (Martens 2005). Abhängig von der Zufuhr sowie zum Teil großen individuellen und altersbedingten Variationen können im Verdauungskanal bis zu 80 Prozent des oral aufgenommenen Magnesiums resorbiert werden (Jeroch et al. 2008). Von den zahlreichen Faktoren, die im Zusammenhang mit einer negativen Beeinflussung der Magnesiumresorption in den Vormägen genannt werden, wird der ruminalen Kaliumkonzentration und dem pH-Wert im Pansensaft die größte Bedeutung beigemessen (Suttle 2010). So stellt sich, ähnlich wie beim Calcium, mit dem Anstieg des pH-Wertes eine Reduzierung der Löslichkeit ein. Dies spiegelt die bessere Löslichkeit beider Elemente in sauren Lösungen und damit die Verfügbarkeit für die Absorption wider (Ben-Ghedalia et al. 1975, Dalley et al. 1997, Suttle 2010). In vitro konnte die größere Veränderung in der Löslichkeit bei pH-Werten von 5,5 bis 6,0 und 6,5 bis 7,0 beobachtet werden (Dalley et al. 1997, Suttle 2010). Eine verstärkte Löslichkeit des Magnesiums in Folge eines reduzierten pH-Wertes bedeutet jedoch nicht immer eine größere zelluläre Absorption.

So verringern pH-Werte unter 5,0 die Magnesiumaufnahme durch eine Verminderung der Na^+/K^+ -ATPase-Aktivität (Gäbel et al. 1987b).

Eine Verminderung der ruminalen Magnesiumresorption ist aufgrund der elektrophysiologischen Veränderungen des Pansenepithels u. a. auch bei Erhöhung der Kaliumkonzentration im Pansensaft zu erwarten (Martens et al. 2003, Martens 2005).

Mit Konzentrationen von 20 bis 120 mmol/l (Leonhard-Marek 2007) bzw. 80 bis 160 mmol/l (Bennink et al. 1978) ist Natrium trotz starker Schwankungen das quantitativ bedeutsamste Ion im Pansensaft. Aufgrund der hohen endogenen Sekretion dieses Kations mit dem Speichel und dessen Eintrag in die Vormägen stellt die Salivation einen dominierenden Faktor für die Natriumkonzentration im Pansen dar (Bailey 1961, Martens 2005). Beeinflusst durch Chlorid, wird mit dem Futter aufgenommenes Natrium nahezu vollständig resorbiert (Jeroch et al. 2008, Suttle 2010). Infolge von Konzentratfütterung (Gäbel et al. 1987b, Schulenburg 2005), insbesondere bei hohen Gehalten ruminaler Fermentationsprodukte und der dadurch bedingten erhöhten intraruminalen Osmolarität (Gäbel et al. 1987b, Uppal et al. 2003), konnte eine deutliche Stimulation des Natriumtransportes über das Pansenepithel beobachtet werden. Eine effektive Resorption von Natrium ist bei nahezu allen physiologisch vorkommenden ruminalen Natriumkonzentrationen möglich (Martens et al. 1988).

Die Kaliumkonzentration in der Pansenflüssigkeit beträgt circa 30 bis 80 mmol/l (Bailey 1961). Zwischen der Natrium- und Kaliumkonzentration besteht ein reziprokes Verhältnis, das in der Summe zu weitestgehend konstanten ruminalen Gehalten von etwa 130 bis 160 mmol/l führt (Martens 2005).

Die Höhe der Kaliumkonzentration in der Pansenflüssigkeit ist starken Schwankungen unterworfen und wird im Wesentlichen durch dessen Gehalt im Futter und die Konzentration im Speichel bestimmt (Martens 2005). Die höchsten Gehalte sind ein bis zwei Stunden nach der Fütterung zu finden (Bennink et al. 1978). Beim Vergleich verschiedener Futterarten konnten Bennink et al. (1978) zeigen, dass die höchsten Kaliumkonzentrationen bei Verfütterung von Luzerne-Pellets und Heufütterung erreicht werden. Aber auch der Einsatz von Futtermitteln mit einem hohen Anteil an leichtverdaulichen Kohlenhydraten und höheren Kaliumgehalten kann zu ruminalen Kaliumkonzentrationen von über 100 mmol/l führen (Scott 1966, Martens 2005). Während Fastenzuständen sinken die ruminalen Kaliumgehalte ab (Cakala et al. 1979, Höltershinken et al. 2004 zit. nach Wichern 2011).

Ähnlich wie bei den Nichtwiederkäuern sind auch bei den Rindern Resorptionsraten von 80 bis 100 Prozent des aufgenommenen Kaliums nachweisbar (De Sousa et al. 1974, Khorasani et al. 1997, Bannink et al. 1999, Jeroch et al. 2008, Suttle 2010). Bei hohem Kaliumangebot im Futter tragen hierzu insbesondere auch präintestinale Bereiche wie der Pansen bei (Warner et al. 1972, Khorasani et al. 1997). Bei Kaliummangelzuständen kann eine Kaliumresorption durch die apikale K^+/H^+ -ATPase auch im Bereich des Colons erfolgen (Engelhardt et al. 2005).

2.1.4 Blut

Auch wenn der Organismus in der Lage ist eine fast zehnfache Konzentrationsänderung für H^+ -Ionen zu tolerieren, ist es für den Ablauf wesentlicher Lebensvorgänge zwingend erforderlich, dass sich der pH-Wert des Blutes innerhalb seiner physiologischen Grenzen von 7,35 bis 7,45 bewegt (Gäbel 2005).

Ein pathologischer systemischer pH-Wert verändert u. a. die Konfiguration und nachfolgend die Funktion vieler Proteinmoleküle im Körper (Silbernagel 2001, Hartmann 2005). Ferner verfügen die meisten Enzymreaktionen sowie weitere biologische Vorgänge, wie der zelluläre transmembranale Transport, über ein Wirkungsoptimum bezüglich des pH-Wertes (Silbernagel 2001, Gäbel 2005). Die Beibehaltung eines physiologischen Säuren-Basen-Haushaltes zählt daher gemeinsam mit den anderen Funktionsebenen des inneren Milieus zu den Vitalfunktionen des Körpers. Abweichungen, bei denen die Blut-pH-Werte unter 7,0 bzw. 6,8 (Hartmann 2005) sinken und über 7,8 ansteigen, können zu gravierenden systemischen Dysfunktionen bis hin zum Tod führen (Gäbel 2005).

Um die erforderliche Stabilität des Säuren-Basen-Haushalt gewährleisten zu können, müssen insbesondere die im Intermediärstoffwechsel fortlaufend gebildeten Säuren bzw. Säureanionen permanent gepuffert und eliminiert werden (Hartmann 2005). Folglich finden sich in allen Körperflüssigkeiten Puffersysteme (Gäbel 2005). Sind diese Puffersysteme sowie die Regelorgane Lunge und Niere nicht mehr imstande, den physiologischen H^+ -Gehalt aufrechtzuerhalten, entwickelt sich eine Störung des Säuren-Basen-Haushalts. Je nach Ursprung der Störung wird zwischen respiratorischen und metabolischen Azidosen bzw. Alkalosen unterschieden. Kann der Organismus die Störungen bzw. Belastungen abfangen bzw. neutralisieren, handelt es sich um kompensierte Störungen im Säuren-Basen-Haushalt. Eine primär respiratorisch bedingte Azidose oder Alkalose wird renal kompensiert. Umgekehrt erfolgt bei primär metabolischen Störungen eine respiratorische Kompensation. Versagen die Regelmechanismen, entstehen dekomensierte Störungen (Gäbel 2005, Hartmann 2005).

Azidose oder Alkalose können jeweils metabolischen oder respiratorischen Ursprungs sein und ziehen vier primäre Störungen des Säuren-Basen-Haushalts nach sich: metabolische Azidose, metabolische Alkalose, respiratorische Azidose und respiratorische Alkalose (Gäbel 2005). Zur Beschreibung des Säuren-Basen-Gleichgewichts und der Beurteilung der Pathogenese und einer eventuellen Kompensation des Säuren-Basen-Status können die Parameter der Blutgasanalyse (Tabelle 5, siehe auch 2.3.2) herangezogen werden.

Tabelle 5: Blutgasanalyse – Normwerte, tolerierbare Schwankungen und Veränderungen (modifiziert nach Gäbel 2005, Kraft et al. 2005)

Störung	pH-Wert Blut	pCO ₂ (kPa)	Ursache	BE (mmol/l)	Kompensation
Normalwert Rind	7,4	5,9	-	0	-
physiologische Toleranzbreite	7,35 bis 7,45	4,7 bis 7,1	-	-4 bis +4 -3,5 bis +3,5	-
respiratorische Azidose	↓	↑	pCO ₂ ↑	(↑)	Niere: H ⁺ -Ausscheidung ↑ HCO ₃ ⁻ -Neubildung ↑
respiratorische Alkalose	↑	↓	pCO ₂ ↓	(↓)	Niere: H ⁺ -Ausscheidung ↓ HCO ₃ ⁻ -Ausscheidung ↑
metabolische Azidose	↓	(↓)	HCO ₃ ⁻ ↓	↓	Lunge: Hyperventilation
metabolische Alkalose	↑	(↑)	HCO ₃ ⁻ ↑	↑	Lunge: Hypoventilation

2.1.5 Harn

Die Elimination von Säuren erfolgt aufgrund der relativ geringen Lungenkapazität der Wiederkäuer im Wesentlichen über die Nieren. Die Untersuchung des Harns bietet daher ein gutes Mittel zur Erkennung von Belastungszuständen und Verschiebungen im Säuren-Basen- und Elektrolythaushalt (Lachmann et al. 1985a, Lachmann et al. 1985b, Fürll 1993, Hartmann 2005).

2.1.5.1 pH-Wert

Der pH-Wert im Harn von Rindern liegt bei tierartspezifischer Fütterung zwischen 7,0 und 8,4 (Kraft et al. 2005) bzw. auf Herdenbasis zwischen 7,8 und 8,4 (Staufenbiel 2011). Abweichungen hiervon kommen u. a. in Abhängigkeit von Fütterung und Laktationsphase vor (Fürll et al. 1994, Bender 2002, Kraft et al. 2005). So zeigen sich Verschiebungen zur sauren Seite vor allem als Reaktion auf Fütterungseinflüsse wie zum Beispiel durch überhöhte Gabe von Getreide und/oder Krafffutter bzw. energiereichen Rationen (Staufenbiel 2007). Ebenso kann die Aufnahme von Calciumchlorid oder von angesäuerten Rationen (Gelfert et al. 2008) zu einem Absinken des pH-Wertes im Harn der Tiere führen.

Azidotische Störungen des Säuren-Basen-Haushaltes, z. B. als Folge von Pansenazidosen (Staufenbiel 2011) oder Ketosen (Hartmann 2005), können ebenfalls mit einem Rückgang des Harn-pH-Wertes einhergehen. Umgekehrt lässt sich ein Anstieg des pH-Wertes im Harn nach der Aufnahme von kaliumreichen Rationen (Goff et al. 1997) oder der Zufuhr von als Pansenpuffer wirkenden Substanzen nachweisen (Kilmer et al. 1981, Ghorbani et al. 1989, Didik 1999).

2.1.5.2 Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung

Die Bestimmung der Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung im Harn hat als ein weiteres diagnostisches Hilfsmittel an Bedeutung gewonnen und bietet eine gute Ergänzung bezüglich der Bestimmung und Beurteilung des Säuren-Basen-Gleichgewichts.

Diese auf dem Prinzip der Titration beruhende Methode erfasst alle Wasserstoffionen in einem Medium (Kutas 1965, Lachmann 1981) und bringt damit die Gesamtheit des ausgeschiedenen Säuren-Basen-Überschusses zum Ausdruck (Kutas 1967, Fürll et al. 1994, Fürll et al. 1997). Im Unterschied zum pH-Wert, der erst nach Erschöpfung der Pufferkapazität reagiert, ist es mithilfe der NSBA-Bestimmung möglich, bereits die Beanspruchung der Puffer zu ermitteln (Kraft et al. 2005). Abnahmen der NSBA und des BSQ können dabei auf azidotische, Zunahmen der NSBA auf alkalotische Belastungen des Säuren-Basen-Haushaltes hinweisen (Kutas 1967, Lachmann et al. 1979, Kraft et al. 2005). Niedrige NSBA-Werte beruhen im Wesentlichen auf der verstärkten Ausscheidung von Säurevalenzen, z. B. infolge von Pansenfermentationsstörungen oder Pansenazidosen bzw. von fütterungsbedingten Faktoren, die zu entsprechenden Störungen führen können (Staufenbiel 2011). Auch kann die Zufuhr von sauren Salzen (Bender et al. 2005) oder eine erniedrigte Basenausscheidung im Harn die Gesamt-NSBA absenken (Hörügel et al. 1998). Ebenso konnten kurze Zeit nach der Kalbung verminderte NSBA-Werte festgestellt werden (Fürll et al. 1994).

Die Basenausscheidung im Harn, für die sowohl eine Jahres- als auch Laktationsdynamik nachgewiesen werden konnte (Fürll et al. 1997, Hörügel et al. 1998, Teufel 1999, Bender 2002, Hoops 2007), weist einen ähnlichen Verlauf auf wie die NSBA. Dementsprechend kann ein Rückgang der Basenexkretion u. a. in Zeiten geringer Futteraufnahmen (Lunn et al. 1990a, Fürll et al. 1997, Dirksen 2002), unter azidotischen Belastungen (Staufenbiel 2011), bei einer gesteigerten Proteinzufuhr (Wang et al. 1990) sowie infolge von Harnverdünnung nach erhöhter Diurese (Lachmann et al. 1985a) festgestellt werden. Auch die Abnahme der Kaliumkonzentration im Harn (Fürll et al. 1994) sowie die Gabe von sauren Salzen (Wang et al. 1992, Bender et al. 2005) werden als Ursache für eine verminderte Basenausscheidung im Harn angesehen. Im Gegenzug steigt die Basenzahl bei den unterschiedlichen Formen von Alkalose, der Verabreichung alkalisch wirkender Substanzen oder bei vermehrter Konzentrierung des Harnes an (Lachmann et al. 1985a).

In der Säureausscheidung des Harns spiegeln sich nur geringe jahreszeitliche (Fürll et al. 1997) und laktationsdynamische Schwankungen (Hörügel et al. 1998, Teufel 1999, Bender 2002) wider. Ein Anstieg der Werte ist in Zeiten der Belastung des Säuren-Basen-Haushaltes zu beobachten, insbesondere bei azidotischen Belastungen und Pansenazidosen (Cakala et al. 1979, Fürll et al. 1997, Dirksen 2002, Staufenbiel 2011). Zu einer Abnahme der Säureausscheidung kommt es bei alkalotischen Zuständen (Lunn et al. 1990b, Dirksen 2002)

oder bei der Verabreichung von als Pansenpuffer eingesetzten Verbindungen wie Natriumhydrogencarbonat (Didik 1999).

Die Ammonium-Ionen-Konzentration im Harn entsteht aus Ammoniak (NH_3), das im Wesentlichen in den Tubuluszellen aus der Aminosäure Glutamin durch enzymatische Hydrolyse freigesetzt wird und als Protononenakzeptor dienen kann (Berg et al. 2003). Da NH_4^+ aufgrund der positiven Ladung nicht durch die Tubulusmembranen zurückdiffundiert, verbleibt es im Tubuluslumen und wird mit dem Harn ausgeschieden (Brobst 1983, Engelhardt et al. 2005). Berücksichtigt man den Entstehungsweg des NH_4^+ , wird deutlich, dass azidotische Zustände mit einer erhöhten Bildung und Ausscheidung von Ammonium-Ionen über die Niere einhergehen (Lachmann 1981, Brobst 1983, Amin 1992). Die renalen Regulationssysteme benötigen für eine Korrektur des pH-Wertes mehrere Tage (Gäbel 2005). Lotspeich (1967) konnte bereits 24 Stunden nach Auftreten einer azidotischen Belastung einen Anstieg der NH_3 - und der Glutaminkonzentration sowie der Glutaminaseaktivität im Harn verzeichnen. Nach Lachmann et al. (1985a) kann eine vermehrte NH_4^+ -Ausscheidung theoretisch auch durch erhöhten Einsatz von NPN-Verbindungen ausgelöst werden. Eine Erhöhung der Ammonium-Ionen-Konzentration entsteht jedoch auch durch bakteriellen Abbau des im Harn enthaltenen Harnstoffs, sei es durch Harnwegsinfektionen, Verunreinigung der Proben oder auch hohen Lufteinschluss in den Probengefäßen (Bender et al. 2003). Niedrige NH_4^+ -Konzentrationen finden sich u. a. bei alkalotischen Stoffwechsellagen (Dirksen 2002) sowie nach der Verabreichung von Natriumhydrogencarbonat und Kaliumbicarbonat (Kilmer et al. 1981, Didik 1999).

Effekte der durch Störungen des Säuren-Basen-Haushaltes bedingten Diureseschwankungen sowie deren Einfluss auf die NSBA lassen sich durch die Berechnung des von der Harnmenge unabhängigen Parameters Basen-Säuren-Quotient eliminieren (Dirksen 2002). Da der BSQ als Quotient aus Basenzahl und Säurezahl berechnet wird, wird er durch diese in seiner Ausprägung bestimmt. Entsprechend zeigt der BSQ ein vergleichbares Muster und unterliegt den gleichen Beeinflussungen wie die NSBA und die Basenzahl (Fürl et al. 1997, Didik 1999).

2.1.5.3 Elektrolyte

Der Organismus kann Mineralstoffe weder synthetisieren noch abbauen, sondern nimmt sie auf und scheidet sie aus. Die Ausscheidung einiger Elektrolyte und damit ihre Konzentration im Harn zeigt eine Abhängigkeit vom Säuren-Basen-Status des Organismus (Suttle 2010).

Aufgenommenes Chlorid wird, beeinflusst durch Natrium und im Austausch gegen andere Anionen, nahezu vollständig resorbiert. Es nimmt wie Natrium und Kalium Einfluss auf die elektrische Bilanz und den Säuren-Basen-Haushalt (Sanchez et al. 1994a). So kann eine übermäßige Chloridzufuhr eine metabolische Azidose (Goff et al. 1998), ein Chloridmangel eine metabolische Alkalose induzieren (Fettman et al. 1984, Coppock 1986, Suttle 2010). Ein

Chloridmangel soll natürlicherweise nicht vorkommen; bei länger andauernden Hitzeperioden von über 40 °C kann es jedoch zu Chloridverlusten kommen (Suttle 2010). Auch eine Überversorgung mit Chlorid ist aufgrund einer relativ hohen Toleranz und unter der Voraussetzung der uneingeschränkten Wasseraufnahme selten zu beobachten (Suttle 2010). Die Chloridausscheidung erfolgt bis zu 98 Prozent über den Harn sowie über Kot, Haut und Milch (Coppock 1986). Die renale Chloridausscheidung wird dabei in erster Linie von dessen Aufnahme beeinflusst (Coppock et al. 1979, Fettman et al. 1984).

Die durchschnittliche renale Ausscheidung des mit der Nahrung aufgenommenen Calciums ist beim Wiederkäuer mit circa 1 Prozent gering (Fromm et al. 2005). Spieker (1989) konnte nachweisen, dass die Calciumausscheidung – neben Einflussfaktoren wie Alter und Rasse der Tiere (Horst et al. 1994) – einem circadianen Rhythmus unterliegt. So stellte er ein Ausscheidungsmaximum um die Tagesmitte und ein Ausscheidungsminimum in der Nacht fest. Für die Calciumkonzentration im Harn konnte eine Laktationsdynamik mit höheren Werten ante partum und einem deutlichen Anstieg in den letzten drei Wochen vor der Kalbung belegt werden (FürlI et al. 1997, Bender 2002). Neben einer hormonellen Beeinflussung des Calciumstoffwechsels wirken sich u. a. verschiedene fütterungsabhängige Einflüsse wie die Calcium- und Phosphorgehalte des Futters, die Höhe der Proteinaufnahme (Jeroch et al. 2008), aber auch eine Ansäuerung des Harnes (Vagnoni et al. 1998, Staufenbiel 2011), beispielsweise durch die Gabe von anionischen Salzen zur Gebärpareseprophylaxe (Gelfert et al. 2004), auf die Calciumresorption und -ausscheidung aus. Letzteres macht sich den Einfluss des Säuren-Basen-Gleichgewichts auf die Regulation der Calcium-Homöostase zunutze (Bender et al. 2005). Unabhängig von der Ursache ist unter azidotischen Belastungen eine vermehrte Calciumausscheidung im Harn nachweisbar; die Hypercalciurie kann als eine typische Reaktion auf diese Belastungen gewertet werden (FürlI 1993, Gelfert et al. 2004). Die Höhe der Calciumausscheidung lässt jedoch keine Rückschlüsse auf die Stärke der azidotischen Belastung zu (Lachmann et al. 1983, Löptien 2005).

Aufgrund des gesicherten Zusammenhangs zwischen Aufnahme und renaler Ausscheidung wird die Bestimmung der Magnesiumkonzentration im Harn als probates Kontrollmedium angesehen, um Aussagen über den Versorgungsstatus treffen zu können (Martens 1995, Suttle 2010). Während die Laktationszahl keinen signifikanten Einfluss auf die Magnesiumkonzentration im Harn hat (Aeberhard et al. 2001), zeigt sich in Untersuchungen von Bender (2002) eine deutliche Laktationsdynamik mit einem Anstieg in der Vorbereitungsphase, einem Abfall zum Abkalbezeitpunkt und einem allmählichen Anstieg im Verlauf der Laktation. Die Nieren stellen den Hauptausscheidungsweg für Magnesium dar. Der Ausscheidung mit dem Kot und der Sekretion in der Milch kommt unter physiologischen Bedingungen dagegen nur geringe Bedeutung zu (Suttle 2010).

Die Natriumausscheidung über die Nieren steht beim Rind in enger Beziehung zur Natriumaufnahme. Erhöhte Natriumaufnahmen bedingen erhöhte Harnnatriumgehalte (Kilmer et al. 1981, Tucker et al. 1993, Didik 1999).

Die Natriumhomöostase wird im Wesentlichen über die renale Natriumausscheidung bzw. -reabsorption reguliert. Die Resorption kann durch Aldosteron verstärkt werden, sodass Harnverluste vernachlässigbar werden, wenn die Natrium- und Kaliumzufuhr niedrig ist (Suttle 2010). Nach Spieker (1989) werden 55,6 Prozent des mit dem Futter aufgenommenen Natriums renal ausgeschieden. Darüber hinaus wird Natrium mit dem Schweiß, dem Speichel und bei laktierenden Tieren auch mit der Milch sezerniert (Suttle 2010). Unter Umständen können auch bis zu 60 Prozent des Natriums über den Kot ausgeschieden werden (Boehncke et al. 1976).

Über Änderungen der Natriumkonzentrationen im Harn im Tagesverlauf (Boehncke et al. 1981, Spieker 1989) sowie während der unterschiedlichen Jahreszeiten und Laktationsphasen berichten verschiedene Autoren (Amin 1992, Bender 2002).

Als physiologisch wichtigstem intrazellulären Elektrolyt kommt Kalium eine zentrale Bedeutung zu (Suttle 2010). Schwankungen von ein bis zwei Prozent zwischen intrazellulären und extrazellulären Flüssigkeitskompartimenten können einen potenziell tödlichen Anstieg der Kaliumkonzentration im Plasma zur Folge haben (Muto 2001). Entsprechend streng wird der Kaliumhaushalt reguliert. Die Höhe der Kaliumausscheidung steht in engem Zusammenhang mit der Nahrungsaufnahme und dem Resorptionsverhalten (Bannink et al. 1999, Fromm et al. 2005). Über den Bedarf hinaus resorbiertes Kalium wird hauptsächlich über die Niere durch glomeruläre Filterung und tubuläre Sekretion abgegeben (Fromm et al. 2005). Bei laktierenden Tieren erfolgt zudem eine Ausscheidung über die Milch. Geringe Mengen Kalium werden über den Kot, Schweiß und Speichel abgegeben (Suttle 2010). Von dem mit der Nahrung aufgenommenen Kalium können zwischen 90 und 95 Prozent mit dem Harn ausgeschieden werden (Koeppen et al. 2017). Die renale Kaliumausscheidung scheint dabei keinen nennenswerten Schwankungen im Tagesverlauf unterworfen zu sein (Spieker 1989).

Einen starken Einfluss auf die renale Regulation der Kaliumausscheidung üben u. a. Veränderungen der extra- und intrazellulären H^+ -Konzentration aus. So resorbiert die K^+/H^+ -ATPase bei Vorliegen einer akuten Alkalose aufgrund des verringerten Protonengradienten weniger Kalium. In der Folge erhöht sich die renale Kaliumausscheidung. Umgekehrt vermindert sich die renale Kaliumausscheidung mit abnehmendem pH-Wert (Fromm et al. 2005).

2.1.6 Milch

Die Höhe der Milchleistung und die Konzentration der Milchinhaltsstoffe werden beim Wiederkäuer von vielen Faktoren bestimmt. Den vorherrschenden exogenen Einflussfaktor

stellt die Zusammensetzung der Ration dar (Engelhardt et al. 2005, Jeroch et al. 2008). Während bei der Milchmengenleistung sowie bei den Eiweiß- und Harnstoffwerten die Energie- und/oder Proteinversorgung als fütterungsabhängige Einflussfaktoren im Vordergrund stehen, steht die Milchfettproduktion in engem Zusammenhang mit der Strukturversorgung der Kuh. So sinkt der Fettgehalt der Milch bei einem Abfall des ruminalen pH-Wertes (Spiekers et al. 2009). Dies resultiert u. a. aus einer Verschiebung im Verhältnis der mikrobiell synthetisierten kurzkettigen Fettsäuren zugunsten von Propionat (Kennelly et al. 1999, Martin et al. 2006). Der Milchdrüse steht weniger Acetat und β -Hydroxybutyrat aus der Fermentation im Pansen für die *De-novo*-Synthese der kurz- und mittelkettigen Fettsäuren (C_4 – C_{14}) zur Verfügung (Chilliard et al. 2000, Bauman et al. 2001, Martin et al. 2006, Brade 2016). Parallel kommt es zu einem Anstieg von Intermediärprodukten in Form der langkettigen trans-Fettsäuren und konjugierten Linolsäuren (Rossow 2008). Diese endogen durch $\Delta 9$ -Desaturase synthetisierten Fettsäuren (Baumgard et al. 2001) entstehen u. a. durch unvollständige Biohydrierung mehrfach ungesättigter Fettsäuren aus den Futtermitteln. Eine besonders starke Hemmwirkung auf den Milchfettgehalt konnte für trans-10, cis-12 C18 bzw. trans C18:1 nachgewiesen werden (Baumgard et al. 2001, Oetzel 2007, Harvatine et al. 2009).

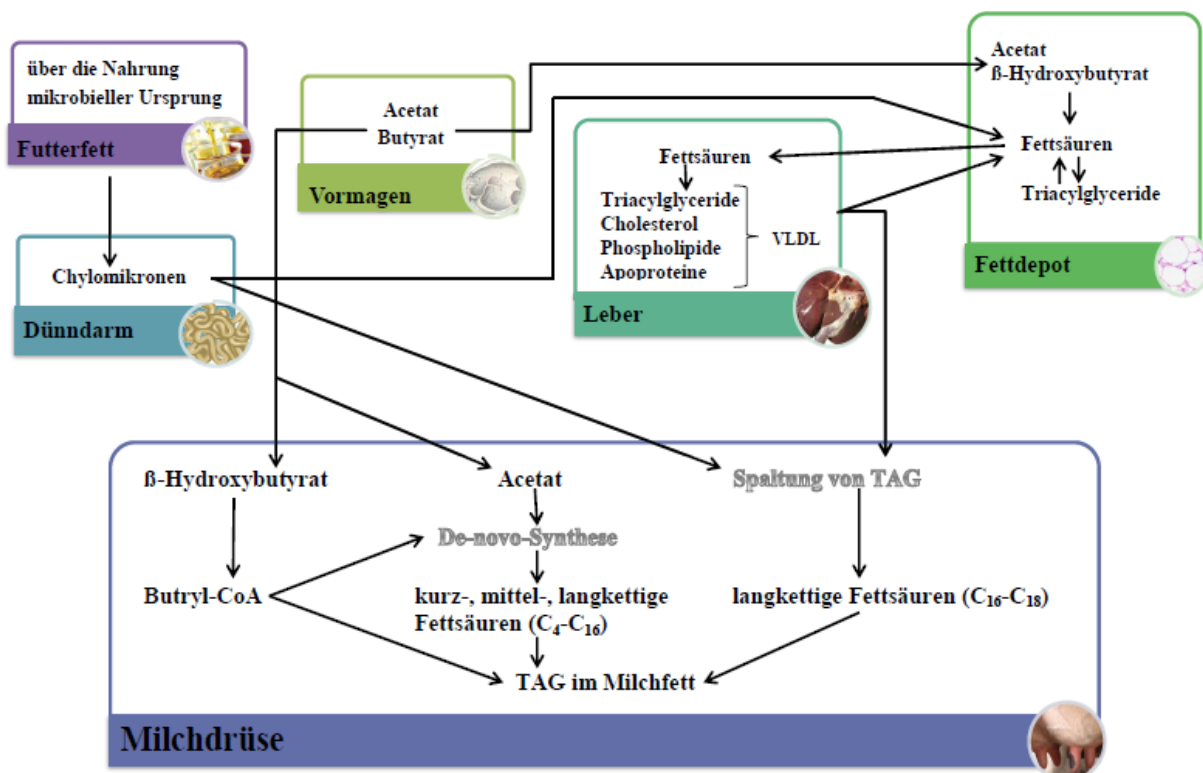


Abbildung 2: Schematische Übersicht der Milchfettsynthese nach Gürtler et al. (2005)

Für den Gehalt an Milchfett, definiert als der nach der Röse-Gottlieb-Methode abgetrennte und festgestellte Gehalt an Fett und fettähnlichen Substanzen in g pro 100 g Probe (Töpel 2007), werden für die Kuhmilch Orientierungswerte von 3,5 bis 4,5 Prozent (Spiekers et al. 2009) bzw. 5,0 Prozent (Staufenbiel et al. 2009) angegeben. Jedoch sollten mittlere

Fettkonzentrationen zwischen 3,8 und 4,2 Prozent angestrebt werden (Kamphues et al. 2004). Fütterungsfaktoren können bewirken, dass der Milchfettgehalt um bis zu 3 Prozent variiert (Staufenbiel et al. 2009).

2.2 Physiologische Regelmechanismen zur Aufrechterhaltung der Säuren-Basen-Homöostase

Die infolge einer nicht wiederkäuergerechten Fütterung im Pansen hervorgerufenen Veränderungen können zu nachweisbaren Abweichungen im Säuren-Basen-Haushalt führen, da enge Verflechtungen zwischen dem pH-Wert im Pansen und dem des Blutes sowie der Regulation dieser Werte über die Lunge und die Nieren bestehen (Gäbel 2005).

Kommt es in Ermangelung an strukturwirksamer Rohfaser zu einer Störung bei der Ausbildung der Schwimmdecke, nehmen Wiederkauaktivität, Pansenmotorik und in Verbindung damit auch die Passagerate des Futters durch den Magen-Darm-Trakt des Tieres ab (Ulbrich et al. 2004). Zeitgleich reduziert sich der Puffereintrag in den Pansen bei gesteigerter Bildung der kurzkettigen Fettsäuren. Kommt es zu einem pH-Wert-Abfall in der Pansenflüssigkeit, unterbleibt die Dissoziation in Anionen und Protonen. Da es sich bei der undissoziierten Form um elektroneutrale und verhältnismäßige kleine Moleküle handelt, können diese leichter die Membran der Pansenzotten durchdringen. Innerhalb der Pansenepithelzellen dissoziieren die HSCFA weitestgehend in Säureanionen und Protonen (Gäbel 2005, Hartmann 2005, Beauchemin 2018). Die Folge ist eine Belastung der Epithelzelle mit Protonen. Es folgt der Versuch, über die in der Zellmembran vorhandenen Ionenkanäle und -pumpen den physiologischen Zustand wiederherzustellen. So wird u. a. der Na^+/H^+ -Austauscher in der luminalen Membran aktiviert, um die Protonen aus der Zelle herauszuschleusen (Martens 2005). Gleichzeitig wird die Beförderung von Basen gehemmt. Eine Nettobewegung von H^+ -Ionen aus der Zelle in den Extrazellularraum ist die Folge (Hartmann 2005).

Parallel zu diesen Vorgängen wirkt die membranale Na^+/K^+ -ATPase darauf hin, die Natriumionen, die sich in der Zelle angesammelt haben, im Austausch gegen Kalium basolateral aus der Zelle zu entfernen und somit den transzellulären Natriumtransport zu erhöhen. Wenn die Belastung der Zellen mit Protonen die Kapazität des Na^+/H^+ -Austauschers und anderer intrazellulärer Puffersysteme übersteigt, bildet sich eine intrazelluläre Azidose aus. Mit steigender Säurebelastung wird die Funktion der Na^+/K^+ -ATPase zunehmend beeinträchtigt (Martens 2005). Es zeigt sich eine reduzierte intrazelluläre Kaliumkonzentration, während sich die Kaliumionen im Extrazellularraum akkumulieren (Silbernagel 2001, Gäbel 2005, Hartmann 2005). Weiterhin kann durch das durch den aktivierten Na^+/H^+ -Austauscher vermehrt in die Zelle aufgenommene Natrium nicht mehr abtransportiert werden. Die intrazelluläre Akkumulation von Natriumionen kann zur Zellschwellung und aufgrund der veränderten Gradienten für Natriumionen zu einer Abnahme der Aktivität des Na^+/H^+ -

Austauschers und des $\text{Na}^+/\text{HCO}_3^-$ -Cotransporters führen. Dies verringert wiederum den Abtransport der Protonen bzw. die Protonenpufferung. Folglich wird die intrazelluläre Azidose weiter verstärkt, die Zellschädigung schreitet fort, und Lysiserscheinungen mit entsprechenden Epithelläsionen und Funktionsbeeinträchtigung der Vormagenepithelien können auftreten (Martens 2005).

Um diese zelluläre Übersäuerung zu kompensieren, bedient sich der Organismus verschiedener Regulationsmechanismen. Hierbei spielen das Blutpuffersystem, die pulmonale Elimination von CO_2 und die Ausscheidung von H^+ -Ionen über die Nieren eine besondere Rolle (Hartmann et al. 1997, Hartmann 2005).

Die anfallenden H^+ -Ionen reagieren u. a. mit der Pufferbase Hydrogencarbonat zu der leichtflüchtigen Kohlensäure, die unmittelbar in Wasser und Kohlenstoffdioxid zerfällt. Letzteres wird über die Lunge abgegeben. Auf diesem Wege wird die Protonenlast in der Zelle bekämpft, aber auch extrazelluläres HCO_3^- verbraucht. Im Plasma kommt es zum Absinken des pH-Wertes und der Bicarbonatkonzentration. Der pH-Wertabfall stimuliert seinerseits die Chemorezeptoren, wodurch innerhalb weniger Minuten das Atemminutenvolumen steigt und der pCO_2 -Wert sinkt. In solchen Fällen spricht man von einer respiratorischen Kompensation (Silbernagel 2001, Gäbel 2005). Um diesen Mechanismus zu unterstützen und eine endgültige Stabilisierung des Säuren-Basen-Haushaltes zu erreichen, setzt die renale Kompensation ein. Hierbei wird u. a. das im Glomerulum filtrierte Bicarbonat rückresorbiert. Zudem besitzt die Niere im proximalen Tubulus die Fähigkeit, HCO_3^- aus CO_2 neu zu bilden und es somit dem Puffersystem wieder zuzuführen (Gäbel et al. 2002, Gäbel 2005, Hartmann 2005). Da infolge dieses Prozesses zahlreiche Protonen entstehen, kann die Neubildung von Hydrogencarbonat nur im Zusammenspiel mit der Ausscheidung einer sogenannten titrierbaren Säure erfolgen (Gäbel 2005).

Im Gegensatz zu der pulmonalen Regulation und den chemischen Puffern benötigt die renale Kompensation mehrere Stunden und erreicht ein Optimum nach zwei bis drei Tagen (Gäbel 2005, Hartmann 2005). Sind die Puffersysteme des Organismus erschöpft und die Eliminationssysteme überlastet, können die Entgleisungen des Säuren-Basen-Haushaltes nicht mehr kompensiert werden. Die Folge ist eine Veränderung des Blut-pH-Wertes (Gäbel 2005).

Aufgrund dieser Kompensationsreaktionen sind Änderungen im Säuren-Basen-Haushalt in den einzelnen Substraten nachweisbar.

2.3 Diagnostische Mittel zur Erkennung eines Mangels an strukturwirksamer Rohfaser am Tier

2.3.1 Pansensaft

Obwohl die Pansensaftuntersuchung bereits in den Fünfzigerjahren Eingang in die klinische Diagnostik fand (Dirksen et al. 2012) und wertvolle Aufschlüsse liefert (Lachmann et al. 1985a, Fürll 1993), hat sie sich in der routinemäßigen tierärztlichen Praxis nicht durchgesetzt.

Grundlegende Voraussetzung für eine verlässliche Interpretation der Messwerte ist eine sachgerechte Gewinnung und Aufbewahrung möglichst speichelfreier Pansenflüssigkeit (Garrett et al. 1999).

In Bezug auf den ruminalen pH-Wert sehen Aschenbach et al. (2010) die größten Herausforderungen in den Schwankungen des pH-Wertes innerhalb der verschiedenen Abschnitte des Pansens (Duffield et al. 2004) sowie in der Beeinflussung der Messergebnisse durch das Probenahmeverfahren (Garrett et al. 1999, Duffield et al. 2004, Enemark et al. 2004). So werden im ventralen Pansensack höhere pH-Werte gemessen als im dorsalen Pansensack (Duffield et al. 2004). Auch liegen die Gesamtfettsäuregehalte sowie die Ammonium-Ionen-Konzentrationen im dorsalen Pansensack höher als im ventralen Pansensack (Bryant et al. 1968). Um vergleichbare Untersuchungsergebnisse zu erhalten, sollte der Pansensaft möglichst immer aus dem gleichen Bereich innerhalb des Pansens, vorzugsweise aus dem ventralen Pansensack, entnommen werden (Garrett et al. 1999, Duffield et al. 2004).

Für die Gewinnung von Pansensaft stehen verschiedene Methoden unter experimentellen und/oder Feldbedingungen zur Verfügung. Hierzu zählen die Entnahme über Sonden, die Ruminozentese oder die Anbringung einer Pansenfistel. Darüber hinaus wird an verschiedenen nationalen und internationalen Instituten an der (Weiter-)Entwicklung und Etablierung von Pansensensoren gearbeitet.

Die durch transkutane Punktion des ventralen Pansensacks gewonnenen Pansensaftproben liefern im Vergleich zu Schlundsonden realistischere Ergebnisse hinsichtlich des pH-Wertes (Duffield et al. 2004, Kleen et al. 2005). Jedoch wird die Ruminozentese mit Verweis auf die zum Teil heftig ausfallenden Abwehrbewegungen der Tiere und die möglichen negativen Auswirkungen auf die Tiergesundheit (subkutane Hämatome, Abszessbildung und/oder Peritonitis) von einigen Autoren kritisch gesehen (Duffield et al. 2004, Strabel et al. 2007).

Bei der Entnahme von Pansensaft über eine Fistel ist zu beachten, dass laut einer Veröffentlichung aus dem Jahr 1977 (Hejlasz et al. 1977) die Symptomatik der Pansenazidose und die ruminale pH-Wertabsenkung bei pansenfistulierten Kühen weniger stark ausgeprägt sein soll als bei Tieren ohne Pansenfistel. Dies führen die Autoren darauf zurück, dass Kühe mit einer Pansenfistel nicht die physiologischen metabolischen Prozesse widerspiegeln würden. So gab Smith (1941) an, dass bei dieser Art der Pansensaftgewinnung eine

Verzögerung bis zur pH-Wert-Messung eintritt, während derer das CO₂ aus der Pansensaftprobe entweicht und sich der pH-Wert dadurch erhöht.

Eine Alternative stellt die intraruminale pH-Wertmessung, häufig in Kombination mit Temperaturerfassung des Pansensaftes, mittels elektronischer Datenübermittlung dar. Diese kontinuierliche pH-Werterfassung hat gegenüber dem „spot sampling“ den entscheidenden Vorteil, dass Schwankungen des Pansen-pH-Wertes besser erkannt und dargestellt werden können (Gasteiner 2011). Zudem ist die Zeitdauer unterhalb eines definierten pH-Wertes sicher bestimmbar. Die Zeit der Unterschreitung findet in neueren Untersuchungen immer häufiger Beachtung und ist daher verstärkt in Beschreibungen hinsichtlich der Tiergesundheit eingegangen (Gozho et al. 2007, Gasteiner et al. 2009).

2.3.1.1 pH-Wert

Übermäßige oder fehlende Säurebildung führt zu pH-Wert-Abweichungen, sodass die Kenntnis des Pansensaft-pH-Wertes auf das Vorliegen von Störungen im Retikulumen hindeuten kann. Bei der Bewertung sind u. a. Tagesschwankungen, die Abstände zur Futteraufnahme sowie die Art der Pansensaftentnahme zu berücksichtigen (Gasteiner et al. 2009). So besitzt die ruminale pH-Wert-Bestimmung, mit Ausnahme der Pansensensoren, lediglich den Charakter einer Momentaufnahme (Plaizier et al. 2018). Ein pH-Wert von < 5,5, der von diversen Autoren als physiologischer Grenzwert angegeben wird, wird in der Praxis selten nachgewiesen, da die pH-Werte im tageszeitlichen Verlauf meist nur für kurze Zeit oder gar nicht unter diesen Wert fallen. Dieses Zeitfenster bei Routineuntersuchungen zu treffen, gelingt – auch in Abhängigkeit von der Art der Probengewinnung – nicht regelmäßig (Kleen 2004, Dirksen et al. 2012).

2.3.1.2 Flüchtige Fettsäuren

Die Menge und die Art der flüchtigen Fettsäuren spiegeln die Fütterungsart wider und können speziell in der Herdendiagnostik wichtige analytische Hinweise liefern. Die Bestimmung des Acetat-Propionat-Verhältnisses in der Pansenflüssigkeit lässt indirekte Rückschlüsse auf den Verlauf des pH-Wertes zu. Weicht der pH-Wert im Zeitverlauf nur wenig vom Optimum der acetatbildenden Mikroorganismen ab, wird das Acetat-Propionat-Verhältnis eher weit sein, zeigt der pH-Wert dagegen verstärkt Verschiebungen in den sauren Bereich, kommt es zur Ausbildung eines engeren C₂:C₃-Verhältnisses (Kleen 2004, Silveira et al. 2007).

2.3.2 Blut

Die Blutgasanalyse dient standardmäßig der Erfassung und Beurteilung des Säuren-Basen-Status im arteriellen oder venösen Vollblut des Einzeltieres.

Die Aussagekraft dieser Werte im venösen Blut, insbesondere des Sauerstoffpartialdruckes, ist umstritten. Während nach Hartmann (1994) eine leichte Verschiebung in den sauren Bereich vorhanden ist, hält Kraft et al. (2005) die venöse Blutgasmessung zur Einschätzung des Säuren-Basen-Haushalts für nur bedingt geeignet. Jedoch werden in der Praxis aufgrund der leicht durchzuführenden venösen Blutgewinnung beim Rind häufig die Parameter im venösen Vollblut bestimmt.

Zur Beurteilung der Pathogenese von Störungen des Säuren-Basen-Haushaltes und zu deren eventueller Kompensation werden folgende gemessene bzw. kalkulierte Parameter herangezogen:

- pH-Wert
- $p\text{CO}_2$ [mmHg bzw. kPa]
- HCO_3^- [mmol/l] als HCO_3^- -Aktuell oder HCO_3^- -Standard (Standardbicarbonat, SBK)
- Base excess bzw. Basenüberschuss [BE, mmol/l] (Gäbel 2005).

Während der pH-Wert als Indikator darüber Auskunft gibt, in welche Richtung die Störung des Säuren-Basen-Haushalt auftritt und einen mittleren Säuren-Basen-Zustand aller Körpergewebe anzeigt, lässt sich anhand des $p\text{CO}_2$ -Wertes beurteilen, ob die Störung respiratorischer oder metabolischer Natur ist und inwieweit regulierende Kompensationsvorgänge im Organismus vorliegen (Dirksen 2002, Gäbel 2005).

Von Standardbicarbonat [mmol/l] spricht man bei einer Bicarbonatkonzentration im Plasma, die man vorfinden würde, wenn die erhaltenen Werte von respiratorischen Einflüssen bereinigt sind und Veränderungen allein durch metabolische Einflüsse bedingt werden. Im Unterschied dazu handelt es sich bei HCO_3^- -aktuell [mmol/l] um die HCO_3^- -Konzentration bei aktuell vorliegendem pH-Wert und $p\text{CO}_2$. Hierbei werden sowohl die Veränderungen durch respiratorische und metabolische Einflüsse berücksichtigt (Hartmann 2005, Hartmann et al. 2009). Änderungen in der Bicarbonatkonzentration führen in der Regel auch zu gleichgerichteten Änderungen im Basenexcess (Gäbel 2005).

Neben dem pH-Wert des Blutes gibt auch der Basenexcess Aufschluss über die Lage des Säuren-Basen-Haushaltes im Körper, da er die Abweichung der Pufferbase vom Normalwert beschreibt (Dirksen 2002, Gäbel 2005). So bezeichnet der BE die Menge an Säure – bzw. bei negativem Basenexcess die Menge an Base –, die bei normalem $p\text{CO}_2$ (40 mmHg) und einer Körpertemperatur 37 °C benötigt wird, um das Blut auf einen physiologischen pH-Wert von 7,4 zu titrieren (Astrup et al. 1966, Dirksen et al. 2012). Die Gesamtkonzentration aller Pufferbasen liegt unter physiologischen Bedingungen bei 48 mmol/l. Der Mehrbetrag über 48 mmol/l wird als „Basenüberschuss“, der Minderbetrag als „Basendefizit“ bzw. auch als negativer Basenüberschuss bezeichnet (Gäbel 2005). Der physiologische Basenexcess liegt nahe bei 0 und sollte sich etwa in den Grenzen von -2 bis +2 (Hartmann 2005) bzw. von -4 bis +4 mmol/l (Haskins 1977) bewegen.

Die Bicarbonatkonzentration und noch mehr der BE gelten als Parameter für die Beurteilung nicht-respiratorischer Störungen (Gäbel 2005). Grenzen der Blutgasanalyse stellen (über)kompensierte und chronische Belastungen des Säuren-Basen-Haushalts dar, da sie im Gegensatz zu akuten metabolischen Störungen durch die Erhebung der genannten Parameter nicht sicher erkannt werden können (Lachmann 1981, Lachmann et al. 1985a, Fürll 1993, Hartmann 2005).

Ergänzend kann die Konzentrationsbestimmung von Vitaminen des B-Komplexes, insbesondere Vitamin B₁₂ und Folsäure, Hinweise auf eine hochgradige Schädigung der Vormagenmikroorganismen, etwa in Folge schwerwiegender alimentärer Indigestionen, geben (Klein 2004).

2.3.3 Harn

Die Harndiagnostik ist beim Rind sehr gut dazu geeignet, Belastungszustände und Verschiebungen im Säuren-Basen- und Elektrolythaushalt zu erkennen (Lachmann 1981, Lachmann et al. 1985a, Lunn et al. 1990a, Fürll 1993).

Die Gewinnung von Harnproben einzelner Kühe kann über Spontanurin, die manuelle Stimulation der Scham oder aber durch die Katheterisierung der Tiere erfolgen.

Erfolgt die Analyse der Proben zu einem späteren Zeitpunkt, ist auf die Füllung der Probengefäße zu achten. So konnte Bender (2002) in gering gefüllten Gefäßen Veränderungen des pH-Wertes durch die eingeschlossene Luft bzw. des darin enthaltenen CO₂ sowie erhöhte Vermehrungsraten aerober Bakterien beobachten. Auch ist die Wirkung von im Harn enthaltener Harnsäure bzw. von Harnstoff zu berücksichtigen. Harnsäure ist ein hochwirksames Antioxidans (Sautin et al. 2008), welches Sauerstoffradikale bindet. Reagiert die Harnsäure mit dem Sauerstoff aus der Luft im Probengefäß, kann die Harnsäure teilweise neutralisiert werden. Dies führt zu einer Verschiebung in Richtung der alkalischen Seite und damit zu einem Anstieg des pH-Wertes im Harn (Bender et al. 2003).

Können Harnproben nach der Entnahme nicht sofort in ein Untersuchungslabor transportiert werden, bietet sich für einen längeren Zeitraum das Einfrieren der Proben an. Hierbei entsteht jedoch ein Sediment aus Bakterien und Harnkristallen, das bei einer späteren pH- und NSBA-Bestimmung zu erhöhten Werten bei tiefgefrorenen Harnproben führt (Bender 2002).

2.3.3.1 pH-Wert

Die Aussagefähigkeit des Harn-pH-Wertes wird dadurch begrenzt, dass lediglich Rückschlüsse auf die freien und somit ungepufferten Wasserstoffionen möglich sind (Fürll et al. 1997). Harn-pH-Werte im sauren Bereich sind nicht immer mit einer azidotischen Stoffwechsellage gleichzusetzen (Erdman et al. 1980, Lunn et al. 1990a, Dirksen et al. 2012).

2.3.3.2 Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung

Die Bestimmung der Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (NSBA) im Harn hat sich als das Mittel der Wahl zur Beurteilung des Säuren-Basen-Status etabliert.

Dieses Verfahren macht sich die Tatsache zunutze, dass die Nieren beim Rind den wesentlichsten Regulationsweg des Säuren-Basen-Haushaltes darstellen (Kutas 1965). Belastungen des Säuren-Basen-Haushaltes können durch die Erfassung der renalen Elimination von Basen bzw. Säuren nachgewiesen werden, wenn diese durch Blutgasanalysen (noch) nicht erfasst werden können (Lachmann et al. 1986, Fürll et al. 1994).

2.3.3.3 Elektrolyte im Harn

Bei der Betrachtung der Elektrolyte des Harns sind im Zusammenhang mit dem Säuren-Basen-Haushalt vor allem die Calcium- und Kaliumkonzentration im Harn von Bedeutung.

So steigt die Calciumausscheidung über den Harn bei azidotischen Belastungen an (Gelfert et al. 2004). Auch konnte in diversen Untersuchungen gezeigt werden, dass die Kaliumkonzentration im Harn gesichert positiv mit der NSBA korreliert (Fürll et al. 1994).

Nach Fürll (1993) besteht eine negative Korrelation zwischen renaler NSBA und Chloridkonzentration im Harn.

2.3.4 Milch

Die Milch als Untersuchungsmedium zur Bestimmung von Veränderungen des Gesundheits- und Stoffwechselstatus der Kuh findet aufgrund der einfachen Probengewinnung häufig Anwendung (Mertens 1997). Während pH-Wert, „Säuregrad“ bzw. Soxhlet-Henkel-Zahl (SHZ) in der Milch auf Veränderungen des Säuren-Basen-Haushalts hinweisen können, gilt deren Aussagekraft als relativ unspezifisch und von verschiedenen Faktoren beeinflussbar (Emery 1988, Kraft et al. 2005).

Änderungen der Milchinhaltsstoffe sind häufig auf eine Beeinträchtigung der Eutergesundheit, aber auch auf Störungen im Stoffwechsel bzw. auf eine nicht adäquate Fütterung zurückzuführen (Winter 2009).

Als alleinige Bewertungsgrundlage birgt der Milchfettgehalt angesichts der vielfältigen alimentären und nicht alimentären Einflussmöglichkeiten und Wechselwirkungen der Stoffwechselfparameter gravierende Fehlermöglichkeiten in der Interpretation. Dementsprechend ist zu beachten, dass sich die Auswirkungen von Fütterungsfehlern und Stoffwechselstörungen auf den Milchfettgehalt überlagern und ausgleichen können (Gasteiner et al. 2008a).

Daher wird der Fettgehalt häufig ins Verhältnis zum Proteingehalt der Milch gesetzt. Der so bestimmte Fett-Eiweiß-Quotient liefert Verdachtsmomente hinsichtlich eventuell vorliegender subklinischer Pansenazidosen und eines Mangels an strukturwirksamer Rohfaser und lässt

gerade in den ersten hundert Laktationstagen gute Rückschlüsse auf die energetische Situation der Kühe zu (Winter 2009).

Als Referenzbereich für den Fett-Eiweiß-Quotient werden Werte um 1,2 (Spohr et al. 1991, Kruif et al. 1998) bzw. zwischen 1,1 und 1,5 angegeben (Winter 2009).

2.4 Natriumhydrogencarbonat als Rationsbestandteil

2.4.1 Definition

Als Puffer wird in der Chemie ein Stoffgemisch bezeichnet, das sich aus einer schwachen Säure und ihrer konjugierten starken Base oder aus einer schwachen Base und ihrer konjugierten starken Säure zusammensetzt (Gäbel 2005). Bei Zugabe einer Säure oder Base reagiert der pH-Wert einer Pufferlösung mit nur geringen Veränderungen (Zeeck 2000).

Nach Erdman (1988) müssen Substanzen die folgenden Voraussetzungen erfüllen, um unter physiologischen Bedingungen Pufferwirkung erzielen zu können:

- sie müssen wasserlöslich sein,
- sie müssen eine schwache Säure oder Base oder deren Salz sein und
- sie müssen einen pK_a -Wert in der Nähe des pH-Wertes der zu puffernden Flüssigkeit besitzen.

Der Begriff des Pansenpuffers wird hingegen für verschiedene das Pansenmilieu beeinflussende Substanzen gebraucht, auch wenn diese nicht immer die Kriterien der klassischen Pufferdefinition erfüllen. So zählen unter anderem Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3), Natriumcarbonat (Na_2CO_3), Kaliumhydrogencarbonat (KHCO_3) und Calciumcarbonat (CaCO_3) zu den echten Puffersubstanzen (Erdman 1988, Didik 1999). Magnesiumoxid (MgO) und Bentonite erfüllen die genannten Voraussetzungen nicht und gelten daher nicht als Puffer im klassischen Sinne (Didik 1999).

2.4.2 Gründe des Puffereinsatzes

Um den hohen Energie- und Nährstoffbedarf von Kühen, insbesondere in der Hochlaktation, zu decken, sowie zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit empfehlen die derzeitigen Fütterungsprogramme für Rinder konzentratreiche Rationen (Humer et al. 2018a). Der Einsatz hochverdaulicher Komponenten und steigende Konzentratgaben gehen meist zulasten des Anteils an strukturwirksamer Rohfaser in der Ration (Humer et al. 2018b, Plaizier et al. 2018). Konzentratreiche Rationen sind meist schmackhaft und im Pansen leicht fermentierbar. Bedingt durch die vermehrte Bildung kurzkettiger Fettsäuren pro Zeiteinheit nehmen die natürliche Pufferkapazität des Pansens und der ruminale pH-Wert ab. Es kommt zu Veränderungen innerhalb des Pansenmilieus (Humer et al. 2018b). Ein deutlich höheres Risiko für das Auftreten von Pansenfermentationsstörungen, klinischer und subklinischer

Pansenazidosen sowie Auswirkungen auf die allgemeine Gesundheit und die Produktivität der Milchkühe können folgen (Erdman 1988, Enemark 2008, Aschenbach et al. 2010).

Als häufigster Grund für den Einsatz von Pansenpuffern wird folglich die Vermeidung einer unerwünschten pH-Wert-Absenkung im Pansen der Wiederkäuer mit Aufrechterhaltung eines stabilen Pansenökosystems genannt (Humer et al. 2018b, Sharma et al. 2018). Als weitere Einsatzgründe werden die Erhöhung des Milchfettgehaltes bei bestehendem Milchfettmangelsyndrom, die Erhöhung der Futteraufnahme, die Minderung der Folgen von Hitzestress sowie die Deckung des Natriumbedarfs angeführt (Didik 1999, Doepel et al. 2011, Cruywagen et al. 2015) (Abbildung 3).

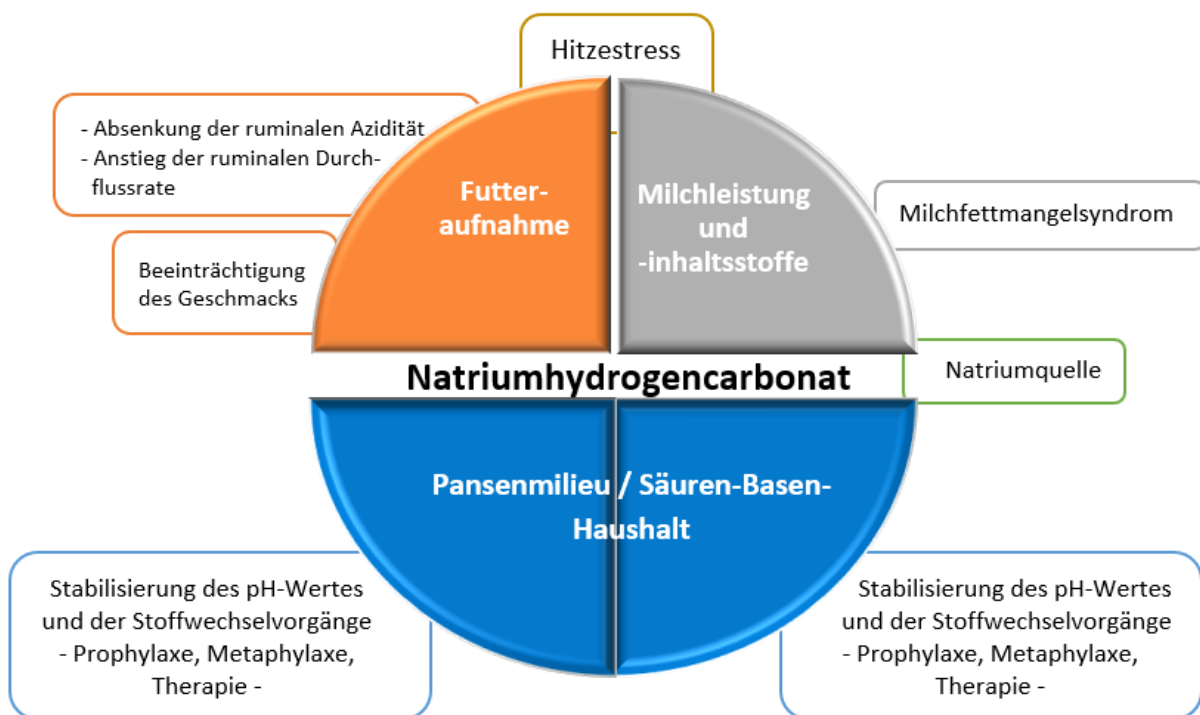


Abbildung 3: Wirkungsbereiche des Natriumhydrogencarbonats nach Didik (1999)

Als rationspezifische Gründe für den Einsatz von Puffern nennt Hutjens (1998) unter anderen einen ADF-Gehalt in der Gesamtration unter 19 Prozent, einen NDF-Gehalt in der Gesamtration unter 28 Prozent, einen NDF-Gehalt der (Einzel-)Futtermittel unter 21 Prozent sowie die Fütterung von mehr als 3 kg Getreide pro Mahlzeit.

Die größte Bedeutung in diesem Zusammenhang hat das Natriumhydrogencarbonat.

2.4.3 Natriumhydrogencarbonat (NaHCO₃)

Natriumhydrogencarbonat ($pK_a = 6,25$) gehört in der Rinderfütterung zu den am häufigsten als Pansenpuffer eingesetzten Substanzen (Erdman 1988, Hu et al. 2005, Cruywagen et al. 2015, Sharma et al. 2018).

Obwohl viele Untersuchungen zeigen konnten, dass es u. a. zu einer Erhöhung des ruminalen pH-Wertes und einer positiven Beeinflussung der Pansenfermentation sowie des Fettsäuremusters kommt (West et al. 1987, Cruywagen et al. 2015, Mao et al. 2017), wird der Einsatz von NaHCO_3 als Futterzusatz in der Literatur kontrovers diskutiert (Le Ruyet et al. 1992, Hu et al. 2005, van Dyk 2015). So sind die Effekte stark von der Art des Grobfutters abhängig (Hu et al. 2005). Darüber hinaus zeigt Natriumhydrogencarbonat lediglich in einem begrenzten Zeitraum Wirkung und ist nicht in der Lage, langfristig stabilisierende Effekte auszubilden (Cruywagen et al. 2015).

Im Zusammenhang mit der Verfütterung von Natriumhydrogencarbonat wird vor der möglichen Erzeugung chronischer Alkalosen, insbesondere bei fehlender Indikation oder Überdosierung, aber auch vor Geschmacksbeeinträchtigungen gewarnt (Cakala et al. 1979, Lachmann 1981, Erdman 1988, Flachowsky et al. 1991a, Füll 1993, van Dyk 2015).

Die in der Literatur genannten Fütterungsempfehlungen für Natriumhydrogencarbonat hat Didik (1999) zusammengetragen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Auswahl von Konzentrationsangaben zum Natriumhydrogencarbonat nach Didik (1999)

Konzentration in der Trockenmasse der Ration	Aufnahme NaHCO_3 pro Tag (in 20 kg Trockenmasse)	Quelle
0,7–1,0 %	140–200 g	Hu et al. (2005)
0,6–0,8 %	120–160 g	NCR (2001)
0,75 %	150 g	Boisclair et al. (1986) Hutjens (1998)
0,38 % / 0,75 %	75 g / 150 g	Flachowsky et al. (1991b)
1,0 %	200 g	Ghorbani et al. (1989)
1,5 %	300 g	West et al. (1987)
0,4 % / 0,7 %	80 g / 140 g	Stokes et al. (1986)
2,5 %	500 g	Okeke et al. (1983)
0,9 %	100 g	Fisher et al. (1983)

Auch wenn eine selbstregulierte Pufferaufnahme durch die Tiere entsprechend ihrem individuellen Bedarf ökonomisch reizvoll wäre, konnten Keunen et al. (2003) und Cottee et al. (2004) die Theorie dieser „Ernährungsweisheit“ in ihren Studien nicht bestätigen. Ihre Untersuchungen zur freien Pufferaufnahme (gelöst im Trinkwasser) bei Vorliegen von subakuter Pansenazidose deuten darauf hin, dass Kühe nicht versuchen, Imbalancen innerhalb ihres Pansenmilieus durch eine ausreichende freiwillige Aufnahme von NaHCO_3 auszugleichen.

2.4.4 Auswirkungen von Natriumhydrogencarbonat als Rationsbestandteil

2.4.4.1 Futteraufnahme

Die positiven Auswirkungen des Natriumhydrogencarbonates auf die Höhe der aufgenommenen Futtermengen stehen in engem Zusammenhang mit der Beeinflussung des

Pansenmilieus. So können erhöhte Säuregehalte im Vormagenbereich und daraus resultierende Verzehrsdepressionen durch den Einsatz eines Puffers gemildert werden (Cruywagen et al. 2015).

Meixner und Flachowsky (1990, zit. nach Didik 1999) fanden im Rahmen einer Literaturliteraturauswertung neben durchschnittlichen Mehraufnahmen von 0,9 kg TM pro Tier und Tag auch Angaben zu Minderaufnahmen von bis zu 1,3 kg TM pro Tier und Tag.

Höhere Trockenmasseaufnahmen bei zeitgleichem Einsatz von NaHCO_3 konnten Hu et al. (2005) nur bei Tieren in der frühen und mittleren Laktationsphase feststellen, die Rationen erhielten, deren Grobfutter hauptsächlich oder ausschließlich aus Maissilage bestand.

Auch die Behebung möglicher hitzestressbedingter Beeinträchtigungen der Gesundheit in Milchkuhbeständen durch Natriumhydrogencarbonatzufütterung kann zu einer positiven Beeinflussung der Futteraufnahme führen. Ab Umgebungstemperaturen von über 25 °C (Gruber et al. 2001b zit. nach Hüttmann 2007) können neben Futteraufnahme und Milchleistung auch die Gehalte an Milchfett und Milcheiweiß abnehmen (Polsky et al. 2017). Die reduzierte Futteraufnahme folgt dem Temperaturanstieg mit einer Verzögerung von zwei Tagen und wird mit 0,85 kg je °C Temperaturanstieg angegeben (West 2003, West et al. 2003). Mehrkalbige Kühe reagieren dabei sensibler auf den Hitzestress als erstlaktierende (Holter et al. 1997). Ein Erklärungsansatz für die positiven Effekte des NaHCO_3 besteht darin, dass es unter Hitzestress und hoher relativer Luftfeuchtigkeit durch die Erhöhung der Respirationsrate zum Verlust von Kohlenstoffdioxid kommt. Die Folge ist die Ausbildung einer respiratorischen Alkalose, die durch die renale HCO_3^- -Ausscheidung kompensiert wird. Bei einer Normalisierung der Atmung besteht der Mangel an Bicarbonationen weiter, und die Möglichkeit zur Ausbildung einer metabolischen Azidose ist gegeben (West et al. 1992, Didik 1999). Zudem speicheln Kühe unter Hitzebelastung mehr als unter thermoneutralen Bedingungen. Die Speichelmenge, die in den Pansen gelangt, verringert sich, sodass auch über diesen Weg eine azidotische Belastung durch ungenügende Pufferung der ruminalen Fermentationsprodukte entsteht (Sanchez 1994, Polsky 2017).

Die meisten als Puffer eingesetzten Substanzen sind wenig schmackhaft, daher ist sorgfältiges Management erforderlich, um reduzierte Futteraufnahmen zu vermeiden (van Dyk 2015). So weist Lachmann (1981, zit. nach Didik 1999) darauf hin, dass maximal 200 g Natriumhydrogencarbonat pro Tier und Tag über das Futter verabreicht werden sollten, da ansonsten aufgrund von Geschmacksbeeinträchtigungen verminderte Futteraufnahmen beobachtet werden können. Erdman (1988) schreibt dagegen, dass bei Einmischung der Puffersubstanz in die TMR keine Geschmacksbeeinflussung auftritt.

2.4.4.2 Pansen

Die Beeinflussung des Pansenmilieus durch Natriumhydrogencarbonat ergibt sich zunächst aus einer Anhebung des Pansen-pH-Wertes unmittelbar nach Aufnahme mit dem Futter sowie aus der eigentlichen Pufferung durch die Verhinderung einer postprandialen Absenkung des pH-Wertes (Tucker et al. 1992b, Didik 1999, Mao et al. 2017). Bei der Auswertung von Literaturquellen stellte Erdman (1988) fest, dass Pansenpuffer den größten Effekt im Sinne einer pH-Anhebung bei rohfaserarmeren Rationen bis vier bis acht Stunden nach der Futteraufnahme hatten. Im Vergleich zum Speichel trägt mit dem Futter aufgenommenes NaHCO_3 nur einen kleinen Teil zur gesamten Pufferkapazität des Pansens bei (Erdman 1988, Allen 1997), und die postprandialen Effekte auf den ruminalen Säuren-Basen-Status sind nur von kurzer Dauer (Hogue et al. 1991).

In einigen Untersuchungen wurde über ausbleibende Effekte (Hu et al. 2005) oder auch abnehmende pH-Werte (Rogers et al. 1985) nach erfolgter Verabreichung von NaHCO_3 berichtet.

Nach Russell et al. (1993) ist es nicht möglich, die Pufferkapazität der Pansenflüssigkeit in vivo durch Natriumhydrogencarbonatgabe zu erhöhen. Bedingt durch die Sättigung des Pansensaftes mit CO_2 ist eine Umsetzung der HCO_3^- -Ionen nach der Formel $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ und eine damit verbundene puffernde Wirkung ihrer Ansicht nach unwahrscheinlich. Zudem erfolgt mit der Aufnahme der pufferwirksamen HCO_3^- -Ionen gleichzeitig die Zufuhr von Natriumionen. Die Wirkung der Puffersalze führen Russell et al. (1993) vielmehr auf eine erhöhte Wasseraufnahme, einen verstärkten Wassereinstrom in den Pansen sowie auf einen beschleunigten Durchfluss durch den Pansen zurück. In der Folge können insbesondere leichtverdauliche Stärkepartikel den ruminalen Fermentationsprozessen entgehen; somit kommen sie nicht mehr als Verursacher für einen sinkenden pH-Wert und Verschiebungen im Fettsäuremuster in Richtung Propionat in Frage (Didik 1999).

Der Einfluss der Puffersalze auf die ruminale Gesamtfettsäurenkonzentration wurde in verschiedenen Studien ebenfalls untersucht. Während West et al. (1987) Abnahmen der ruminalen Fettsäuregehalte im Vergleich mit unbehandelten Kontrolltieren feststellten, berichten Cruywagen et al. (2015), Khorasani et al. (2001) sowie Rogers et al. (1985) u. a. über höhere Gesamtfettsäuren- und Acetatkonzentrationen mit Erweiterung des Acetat-Propionat-Verhältnisses in der Pansenflüssigkeit von Kühen, die Rationen mit Natriumbicarbonat erhielten.

2.4.4.3 Harn

Jede Natriumhydrogencarbonatgabe über das Futter stellt zunächst eine alkalogene Belastung dar. Wird NaHCO_3 verabreicht, müsste dies neben der angestrebten pH-Wert-Erhöhung (Kilmer et al. 1981, Ghorbani et al. 1989) auch einen Anstieg der renalen NSBA

aufgrund der erhöhten Basenelimination bei gleichbleibender Säuren- und Ammonium-Ionen-Ausscheidung bewirken (Flachowsky et al. 1991b, Fürll et al. 1992 zit. nach Didik 1999). Aufgrund der angeregten Diurese können bei natriumhaltiger Puffergabe die Säuren- und Ammonium-Ionen-Ausscheidung sinken, während die Basenwerte kaum ansteigen. Entsprechend gering sind in diesen Fällen die Veränderungen der NSBA-Werte (Lachmann et al. 1985a, Fürll 1993). Durch die Bestimmung des BSQ lässt sich die Abhängigkeit von Diureseschwankungen weitgehend eliminieren (Kraft et al. 2005)

Die Ausscheidung einiger Elektrolyte und damit deren Konzentration im Harn wird ebenfalls von einer Zufütterung von NaHCO_3 beeinflusst. So stellten Tucker et al. (1993) bei intraruminaler Verabreichung von NaHCO_3 eine Abnahme der renalen Calcium- und Kaliumausscheidung sowie eine Zunahme der renalen Magnesium- und Natriumausscheidung fest. Eine Korrelation der renalen Natrium- und Kaliumausscheidung mit der NSBA konnten u. a. Fürll et al. (1994) in ihren Untersuchungen nachweisen.

2.4.4.4 Milch

Die Auswirkungen oraler Gaben von Natriumhydrogencarbonat auf die Milchmengenleistung und den Gehalt an Milchinhaltsstoffen werden unterschiedlich beschrieben.

In der Mehrzahl der Studien war eine Erhöhung der Milchmengenleistung nur bei zeitgleicher Steigerung der Futtertrockenmasseaufnahme zu beobachten (Donker et al. 1980, Erdman et al. 1980, Kilmer et al. 1981).

Einen tendenziellen Anstieg der Milchfettkonzentrationen stellten neben Hu et al. (2005) u. a. Snyder et al. (1983), Boisclair et al. (1986) und Ghorbani et al. (1989) in ihren Untersuchungen fest. Stokes et al. (1986) berichten dagegen über sinkende Milchfettgehalte.

In anderen Untersuchungen fanden sich weder eine Beeinflussung der Milchmengenleistung (Tucker et al. 1992a, Bougouin et al. 2018) noch des Fett- und Proteingehaltes der Milch infolge einer grundsätzlichen Zufütterung von Natriumhydrogencarbonat (Donker et al. 1985, Eickelberger et al. 1985, Hu et al. 2005).

Eine positive Beeinflussung des Milchfettgehaltes bei Zufütterung von Natriumhydrogencarbonat war besonders im Zusammenhang mit einer alimentär bedingten Milchfettdepression zu beobachten (Erdman et al. 1982, Rogers et al. 1985, Erdman 1988, Russell et al. 1993, Sharma et al. 2018).

3 Material und Methoden

3.1 Überblick über die durchgeführten Versuche

Im Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie werden auf dem Lehr- und Versuchsgut Köllitsch (LVG Köllitsch) in der Zeit vom März 2008 bis zum Juni 2009 Untersuchungen an laktierenden, pansenfistulierten Milchkühen durchgeführt.

Mit dem Ziel, die Effekte verschiedener Rationen auf den Säuren-Basen-Haushalt von Milchkühen zu untersuchen, erfolgt die Durchführung eines im Cross-over-Design angelegten Fütterungsversuches. Im Versuchsablauf soll ermittelt werden, inwiefern sich unterschiedliche Gehalte an strukturwirksamer Rohfaser bei gleichbleibender Rohfaserkonzentration in der Ration auf die Stoffwechselräume Pansen, Blut und Harn auswirken und welchen Einfluss die gleichzeitige Verwendung von Natriumhydrogencarbonat hat.

Die Versuchsdurchführungen erfolgten im Rahmen des vom Regierungspräsidium Leipzig genehmigten Tierversuchsvorhabens (TVV – Nr. 24/05) zum Thema „Auswirkungen von Futtermitteln bzw. -zusätzen und Futteraufbereitungsformen auf Gesundheit, Stoffwechsel und Leistung der Milchkühe“.

3.2 Versuchstiere, Haltung und vorbereitende Maßnahmen

Für die Durchführung des experimentellen Abschnittes dieser Arbeit stellte das LVG Köllitsch im genannten Zeitraum bis zu sechs pansenfistulierte schwarzbunte Holsteinkühe zur Verfügung (Abbildung 4). Die Milchkühe wurden in den Jahren 2002 bis 2005 geboren und hatten zu Beginn der Versuchsreihe mindestens zwei Kalbungen durchlaufen.

Im gesamten Untersuchungszeitraum sind die Kühe mittels Anbindehaltung (Grabner-Kette) und auf im Liegebereich mit Gummimatten ausgelegten Spaltenböden aufgestellt.

Jedem Tier stand eine Selbsttränke zur freien Wasseraufnahme zur Verfügung. Das Futter wurde ad libitum und stets als TMR angeboten.

Die manuell abgewogenen Tagesmengen wurden in zwei Einzelgaben jeweils um 6 Uhr und um 16 Uhr von Hand vorgelegt. Um zu gewährleisten, dass jedes Versuchstier lediglich die ihm zugewiesene Ration aufnimmt, war der Futtergang vor dem jeweiligen Stand mittels einer Konstruktion aus seitlichen Gummiwänden und einer frontal angebrachten Holztrennwand abgeteilt.

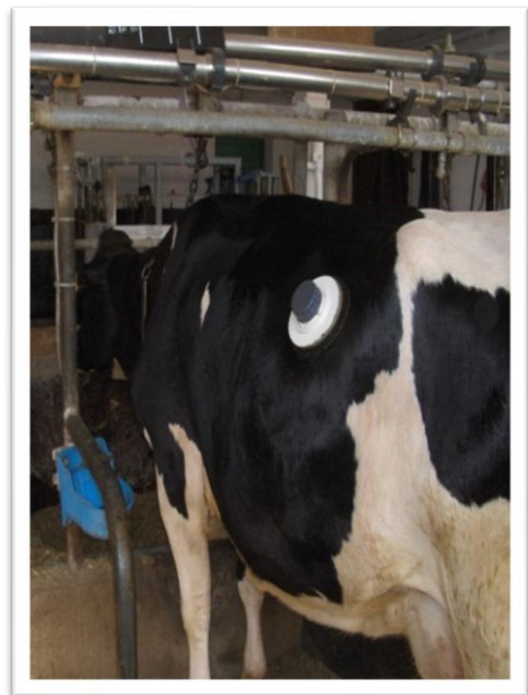


Abbildung 4: Kuh mit Pansenfistelkanüle

Zu Beginn des ersten Versuchsabschnittes besaßen vier Probanden Pansenfisteln. Um eine kontinuierliche Nutzung von mindestens vier laktierenden Tieren über die gesamte Zeit der Hauptuntersuchungen zu gewährleisten, erhielten im Dezember 2008 zwei weitere Milchkühe Pansenfisteln. Die beiden nachträglich in den Versuchsablauf integrierten Tiere erhielten im Aufbau ähnliche, jedoch kleinere Fistelkanülen.

Der Fistelkanülenaufbau der vier ursprünglichen Versuchstiere ist im linken Bild dargestellt. Diesem wird im Bild rechts die modifizierte und wesentlich kleinere Pansenfistelkanüle gegenübergestellt (Abbildung 5).



Abbildung 5: Aufbau der verwendeten Pansenfistelkanülen nach Alert (2008)

Bei den verwendeten Fistelkanülen handelt es sich um Eigenkonstruktionen nach Alert (2008), dem Leiter des Versuchsvorhabens und Verantwortlichen für die Betreuung und Arbeit mit den fistulierten Kühen im LVG Köllitsch.

3.3 Versuchskonzeption

Angesichts der Zielsetzung dieser Arbeit erscheint es zweckmäßig, das Versuchsvorhaben in zwei Abschnitte (I und II) zu unterteilen.

Insgesamt werden zwölf verschiedene Rationen bzw. Rationszusätze und deren Auswirkungen über einen Zeitraum zwischen 12 Stunden und 21 Tagen untersucht (Tabelle 7).

Tabelle 7: Versuchsübersicht

Bezeichnung	Versuchstiere	Ration / Zusätze	Versuchsdauer	Entnahmezeitraum, -zeitpunkt*
Abschnitt I	4 ruminal fistulierte Milchkühe	8	12 Stunden – 21 Tage	Tagesprofil: 5 – 5 Uhr Tagesprofil: 5 – 17 Uhr Einzelproben: 9 Uhr
Abschnitt II	4 ruminal fistulierte Milchkühe	4	21 Tage	Tagesprofil: 5 – 17 Uhr Einzelproben: 9 Uhr

*Entnahmeschema der 21-Tage-Verlaufsuntersuchung, siehe Tabelle 14

3.3.1 Versuchsabschnitt I – Voruntersuchungen

Im Rahmen dieser Untersuchungen ist die Durchführung von Tagesprofilen (24 bzw. 12 Stunden) sowie erster Verlaufsuntersuchungen über 21 Tage möglich. Diese dienen zur Beurteilung der Frage, inwieweit die Reaktionen in den jeweiligen Stoffwechselräumen bei verschiedenen Futtertypen variieren, sowie der Festlegung eines repräsentativ erscheinenden Zeitpunktes bei einer einmalig pro Tag stattfindenden Probengewinnung.

Diese Untersuchungen finden keinen weiteren Eingang in die vorliegende Arbeit; die Angabe dient ausschließlich der Vollständigkeit. Alle weiteren Ausführungen beziehen sich auf die Hauptuntersuchungen, den Versuchsabschnitt II.

3.3.2 Versuchsabschnitt II – Hauptuntersuchungen

Die Untersuchung zum Einfluss der strukturwirksamen Rohfaser einer Ration mit und ohne zeitgleichen Einsatz von Natriumhydrogencarbonat erfolgt in einer im Cross-over-Design angelegten Studie, dessen Rotationsschema in Tabelle 8 aufgeführt ist.

Die anfängliche Zuordnung der zu prüfenden Rationen zu den Probanden geschieht nach dem Zufallsprinzip. Durch diese Anordnung sollen systematische Versuchsfehler reduziert und die Risiken einer möglichen Beeinflussung bestimmter Merkmale bei geordneter Reihenfolge der Rationen minimiert werden.

Tabelle 8: Rotationsschema

Proband	Durchgang 1	Durchgang 2	Durchgang 3	Durchgang 4
89 073 – Valerte	Ration A	Ration B	Ration C	Ration D
17 078 – Ilsa	Ration B	Ration D	Ration A	Ration C
84 569 – Noni	Ration C	Ration A	Ration D	Ration B
06 277 – Leona	Ration D	Ration C	Ration B	Ration A

Der Ablauf dieses Untersuchungsvorhabens gliedert sich in vier sich wiederholende Perioden. Jeder Durchgang setzt sich aus einer dreiwöchigen Testphase und einer sich anschließenden

Ruhephase zusammen. Die mindestens zwei Wochen andauernde Pause zwischen den Versuchen soll ermöglichen, dass sich versuchsbedingt eingestellte Veränderungen in den betrachteten Parametern normalisieren und alle Tiere vergleichbare Ausgangssituationen aufweisen.

Die Rationsumstellung erfolgt am Tag vor der ersten Probennahme.

Der Rhythmus der Probenentnahme im Rahmen der 21-tägigen Verlaufsuntersuchungen ist in Tabelle 14 dargestellt.

Am Ende des Fütterungsversuches erhalten vier Tiere jede Rationsvariante einmal. Zwei kalbungsbedingt später in die Untersuchungen integrierte Kühe erhalten jeweils eine bzw. zwei der möglichen Testrationen. Die an ihnen erhobenen Daten werden in der Auswertung nicht berücksichtigt.

3.4 Rationsgestaltung

Im Versuchszeitraum (Januar bis Juni 2009) erhalten die Probanden Mischrationen verschiedener Zusammensetzung. Die theoretische Häcksellänge der Maissilage beträgt 2 cm (Alert 2009). Die Herstellerangaben geben Häcksellängen von 1 bis 2 cm für die als Häckselstroh und von 0,2 bis 0,5 cm für die als Strohmehl eingesetzten Rohfaserkomponenten an.

Die angebotene TMR-Tagesmenge beträgt zwischen 50 und 60 kg Originalsubstanz, die auf zwei Mahlzeiten pro Tag verteilt vorgelegt wird. Die Futtervorlage erfolgte jeweils um 6 Uhr und um 16 Uhr. Die vorgelegte Menge richtet sich nach dem aufnahmestärksten Tier, sodass eine ad libitum-Fütterung gewährleistet werden kann. Durch Rückwägung der Futterreste ist die Bestimmung der Futteraufnahme in der Zeit zwischen Futtervorlage und den jeweiligen Probennahmen möglich.

Die beiden TMR (Ration B und D) werden wöchentlich hergestellt und portionsweise (25 bzw. 30 kg) bei $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ gelagert. Mindestens 12 Stunden vor Futtervorlage werden die abgewogenen Mengen aus der Kühlung genommen und unmittelbar vor der Fütterung grobsinnlich auf das Vorhandensein von Frostschäden überprüft. Im Zuge dieser Vorbereitungen werden den als Ration A und Ration C vorgesehenen Futterportionen jeweils 60 g Natriumhydrogencarbonat (pro Futtervorlage) hinzugefügt.

Bei der Auswahl des Milchleistungsfutters wird Wert darauf gelegt, dass dieses frei von Natriumhydrogencarbonat ist.

Die Komponenten der Mischrationen ist in Tabelle 9 dargestellt. Die dort angegebenen Einzelfuttermengen beziehen sich jeweils auf die pro Tier und Tag vorgelegten Originalsubstanzen. Die prozentualen TMR-Bestandteile sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 9: Zusammensetzung der Rationen im Untersuchungszeitraum (OS in kg)

Rationskomponenten	Ration A	Ration B	Ration C	Ration D
Maissilage	42,0	42,0	42,0	42,0
Strohhäcksel	3,0	3,0	-	-
Strohfeinmehl	-	-	3,0	3,0
Sojaextraktionsschrot	4,4	4,4	4,4	4,4
Quetschgerste	3,6	3,6	3,6	3,6
Milchleistungsfutter 20/IV	5,9	5,9	5,9	5,9
Mineralfutter	0,1	0,1	0,1	0,1
Natriumhydrogencarbonat	0,12	-	0,12	-

Tabelle 10: Prozentuale Zusammensetzung der Grundrationen B und D

Rationskomponenten	TMR-Bestandteile in % der TM
Maissilage	46,6
Stroh (Häcksel/Mehl)	9,2
Sojaextraktionsschrot	13,9
Quetschgerste	11,4
Milchleistungsfutter 20/IV	18,6
Mineralfutter	0,3

In Tabelle 11 sind die je Fütterungsdurchgang (1 bis 4) analysierten Nährstoffgehalte der Grundrationen (Ration B und D) dargestellt.

Die Ergebnisse der je Fütterungsdurchgang (1 bis 4) durchgeführten Strukturanalyse der Grundrationen (Ration B und D) sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Tabelle 11: Trockenmasse und Nährstoffgehalte der analysierten Grundrationen B und D

Inhaltsstoff	Rationen mit Strohhäcksel (\triangleq Ration B)					Rationen mit Strohmehl (\triangleq Ration D)				
	B _{1*}	B ₂	B ₃	B ₄	$\bar{x} \pm s$	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	$\bar{x} \pm s$
TM [g/kg FM]	504	522	526	531	521 \pm 20,4	516	536	517	540	527 \pm 21,7
Rohasche [g/kg TS]	56	56	57	56	56 \pm 0,9	53	57	61	54	56 \pm 6,2
Rohprotein [g/kg TS]	140	143	153	145	145 \pm 9,6	153	174	145	146	155 \pm 23,3
Rohfaser [g/kg TS]	164	166	148	172	163 \pm 17,7	151	149	131	156	147 \pm 18,9
Rohfett [g/kg TS]	29	30	28	26	28 \pm 3	30	32	30	24	29 \pm 6,0
Stärke [g/kg TS]	284	322	328	301	309 \pm 34,9	303	315	338	323	320 \pm 25,4
Zucker [g/kg TS]	34	43	41	42	40 \pm 7,1	38	28	40	37	36 \pm 9,2
ADF_{org} [g/kg TS]	176	172	167	175	173 \pm 7	162	154	153	177	162 \pm 19,2
NDF_{org} [g/kg TS]	373	368	388	385	379 \pm 16,5	369	350	359	373	363 \pm 17,9
Calcium [g/kg TS]	3,9	4,3	4,1	4,4	4,2 \pm 0,4	3,8	4,3	4,2	4,3	4,2 \pm 0,4
Phosphor [g/kg TS]	3,8	3,7	3,9	3,9	3,8 \pm 0,2	3,9	4,2	3,9	4,1	4,0 \pm 0,3
Natrium [g/kg TS]	1,3	1,3	1,7	1,3	1,4 \pm 0,3	1,3	1,2	1,4	1,3	1,3 \pm 0,1
Magnesium [g/kg TS]	2,2	2,2	2,4	2,3	2,3 \pm 0,2	2,1	2,4	2,3	2,3	2,3 \pm 0,2
Kalium [g/kg TS]	11,6	11,1	11,8	11,2	11 \pm 0,6	10,8	10,9	11,2	10,5	10,9 \pm 0,5
Schwefel [g/kg TS]	1,3	1,3	1,2	1,3	1,3 \pm 0,1	1,3	1,5	1,3	1,4	1,4 \pm 0,2
Chlor [g/kg TS]	2,8	2,7	2,9	2,7	2,8 \pm 0,2	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5 \pm 0,1
NEL [MJ/kg TM]	6,7	6,7	6,8	6,3	6,6 \pm 0,4	6,9	7,0	7,0	6,4	6,8 \pm 0,5
DCAB [meq/kg TS]	191	181	217	184	195 \pm 28,5	182	168	194	165	177 \pm 23,2

*Nummer des Rotationsdurchgangs

Tabelle 12: Strukturanalyse der Grundrationen

Partikellänge des Futters*	Referenzwerte in %	Rationen mit Strohhäcksel (\triangleq Ration B)				Rationen mit Strohmehl (\triangleq Ration D)			
		B _{1**}	B ₂	B ₃	B ₄	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
> 19 mm	5–10	20,9	13,8	5,9	4,5	1,8	1,6	1,0	1,7
8–19 mm	30–50	15,5	19,4	17,1	23,7	38,1	41,3	17,0	15,3
1,2–7,9 mm	30–50	46,9	48,2	59,4	53,6	46,6	39,7	61,0	61,4
< 1,2 mm	< 20	16,7	18,6	17,6	18,2	13,5	17,4	21,0	21,6

*Angabe in Prozent in der luftgetrockneten Substanz

** Nummer des Rotationsdurchgangs

3.5 Milchleistung

Aufgrund der zahlenmäßig beschränkt zur Verfügung stehenden Probanden ist es nicht möglich, zu gewährleisten, dass sich die Tiere im gleichen Laktationsstadium bzw. auf dem gleichen Leistungsniveau befinden. Die Laktationsdauer der Tiere variiert im Untersuchungszeitraum zwischen 78 und 446 Tagen.

In Tabelle 13 sind die im Rahmen der Milchleistungsprüfung erhobenen mittleren Milchleistungsdaten der Kühe rationsgetrennt dargestellt.

Tabelle 13: Übersicht über die Milchleistungsparameter im Untersuchungszeitraum

Milchleistungsparameter	Ration A			Ration B			Ration C			Ration D		
	\bar{x}	min.	max.	\bar{x}	min.	max.	\bar{x}	min.	max.	\bar{x}	min.	max.
Laktationsnummer	2,5	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0	2,5	2,0	3,0
Laktationstag	222	113	328	222	154	370	222	127	404	222	78	446
Milchmenge [kg]	29,9	23,9	33,2	30,4	23,2	36,4	28,2	15,6	36,1	29,4	23,9	34,7
Fett [%]	4,2	3,7	4,6	4,6	3,9	4,9	4,4	4,2	4,9	4,4	4,0	5,0
Eiweiß [%]	3,8	3,6	4,1	3,9	3,6	4,4	3,6	3,5	4,2	3,8	3,4	4,1
FEQ	1,1	1,0	1,2	1,2	1,1	1,3	1,2	1,0	1,3	1,2	1,0	1,2
Harnstoff [ppm]	201	110	250	189	160	220	191	42	280	215	150	270
Zellzahl [*1000/ml]	158	30	493	67	23	101	184	28	603	124	27	283
Laktose [%]	4,7	4,2	4,9	4,8	4,4	5,0	4,8	4,3	5,1	4,7	4,2	5,2

Die Entwicklung der durchschnittlichen Milchleistung sowie der mittleren Fett- und Eiweißgehalte aller in den Versuch integrierten Probanden für den Zeitraum der Voruntersuchung und der Hauptuntersuchungen (Rotationsphase) zeigt die Abbildung 6.

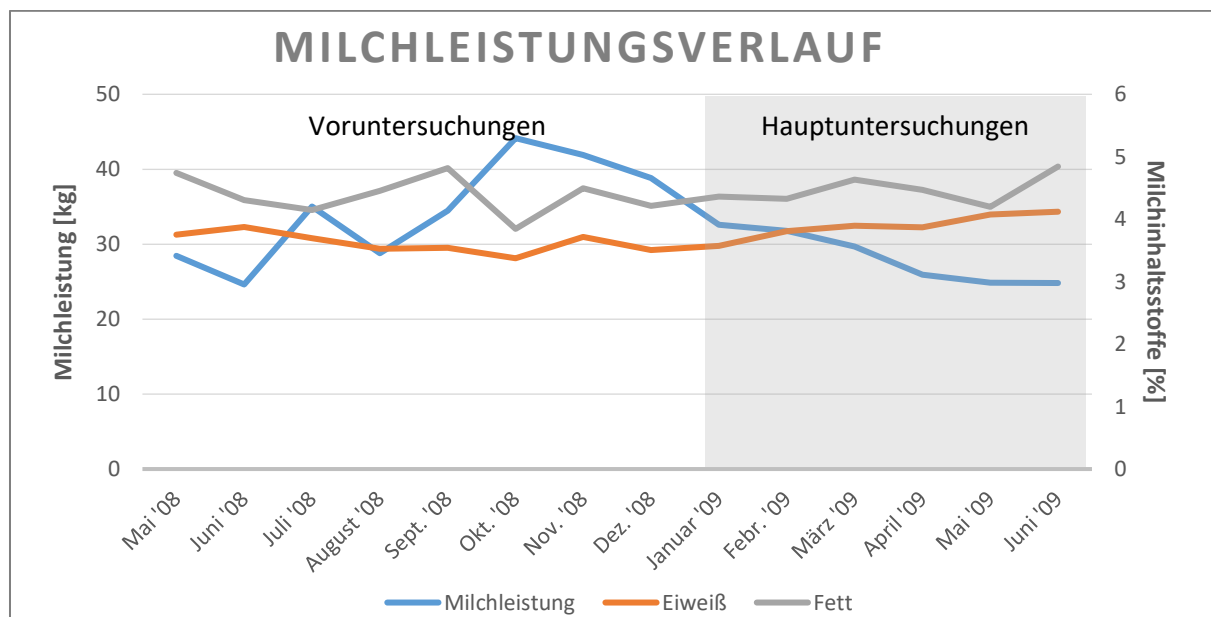


Abbildung 6: Verlauf der mittleren Milchleistung der Probanden anhand der MLP

3.6 Probenentnahme, Parameter und laboranalytische Methoden

3.6.1 Entnahme, Primäraufbereitung und Aufbewahrung des Probenmaterials

Die Gewinnung von Harn, Pansensaft und venösem Blut erfolgt nach dem in Tabelle 14 dargestellten Zeitplan und umfasst die Untersuchung der in Tabelle 15 aufgeführten Parameter.

Tabelle 14: Probenentnahmeschema

Probenentnahme (Tag)		1	2	3	4	5	6	7	10	13	16	19	21
Zeit	Behandlung												
5.00	Probenentnahme			x									x
8.00	Probenentnahme			x									x
9.00	Probenentnahme	x ¹	x		x	x	x	x ¹	x	x	x	x ¹	
11.00	Probenentnahme			x									x
14.00	Probenentnahme			x									x
17.00	Probenentnahme			x									x

¹ zusätzliche Gewinnung von Blutserum

Tabelle 15: Übersicht der untersuchten Parameter

Medium	Art der Probengewinnung	Spektrum der analysierten Parameter
Ration	Sammelprobe	Futtermittelaufnahme, Rations- und Strukturanalyse
Pansensaft	Pansenfistel	pH Elektrolyte Chlorid, Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium Flüchtige Fettsäuren Essigsäure, Propionsäure, i-/n-Buttersäure, i-/n-Valeriansäure, Gesamtkonzentration, C ₂ :C ₃ -Verhältnis
Blut	Vena jugularis externa	Blutgasanalyse (venös) pH, pCO ₂ , pO ₂ , Hydrogencarbonat, Base Excess Blutserum Vitamin B ₁₂ und Folsäure
Harn	Spontanharn infolge manueller Stimulation	pH fraktionierte Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung NSBA, Basen, Säuren, Ammonium-Ionen, BSQ Elektrolyte Chlorid, Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium
Milch	Milchleistungsprüfung	Melktage, Milchleistung Milchinhaltsstoffe Fett, Protein, Fett-Eiweiß-Quotient, Zellzahl, Harnstoff und Laktose

3.6.2 Untersuchung der Futterproben

Aufgrund der eingeschränkten Lagerkapazitäten werden die Grundrationen B und D wöchentlich hergestellt. Von jeder Mischung werden mindestens 5 kg als Rückstellprobe bei -3 °C gelagert. Am Ende der dreiwöchigen Untersuchungszyklen erfolgt die Vermengung der jeweiligen Rückstellproben einer Ration, die Portionierung zu $2 \times 2\text{ kg}$ für Analysezwecke sowie der Transport zur entsprechenden Untersuchungsstelle, dem Sächsischen Landesamt für Landwirtschaft, Fachbereich landwirtschaftliches Untersuchungswesen (LUFA), nach Leipzig-Möckern. Die Ergebnisse der Rationsanalysen finden sich in Tabelle 11. Die Bestimmung der Partikellänge erfolgt im Boden- und Futtermittellabor der LKS-Landwirtschaftliche Kommunikations- und Service-GmbH in Lichtenwalde. Die Ergebnisse der Partikellängenanalyse finden sich in Tabelle 12.

3.6.3 Untersuchung der Pansensaftproben

Die Pansensaftgewinnung erfolgt über die Pansenfistelkanülen. Während die ersten 100 ml des gewonnenen Pansensaftes verworfen werden, dienen die nachfolgend entnommenen Volumina der Beschickung der jeweiligen Probengefäße (100-ml-Versandgefäße der Fa. Sarstedt®). Unmittelbar nach der Probengewinnung erfolgt die pH-Wert-Bestimmung mittels eines elektrischen pH-Meters (Delta 350®; Fa. Mettler); im Anschluss werden die Proben bei -22 °C tiefgefroren. Der spätere Transport in das Labor der Klinik für Kleintiere (FU Berlin) geschieht in einer mit Kühlaggregaten/-akkus ausgelegten Styroporkiste.

Die bis zur Untersuchung gefroren gelagerten Pansensaftproben werden direkt vor der Untersuchung geschüttelt, um eventuell vorhandenen Bodensatz zu lösen. Nach erneuter pH-Wert-Bestimmung erfolgt die Bestimmung der Konzentrationen an Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium und Chlorid. Hierfür wird der Pansensaft für 10 Minuten bei 3000 U/min zentrifugiert. Aus dem Überstand kann mittels eines Chloridmeters (Chloridmeter 6610®, Fa. Eppendorf) coulometrisch der Chloridgehalt bestimmt werden. Nach der Überprüfung des Geräts mit einem Chloridstandard werden 50 µl Probenflüssigkeit in die Standardlösung pipettiert. Dieses Vorgehen wird so lange wiederholt, bis mindestens zwei Messwerte einer Probe eine Maximaldifferenz von 0,3 mmol/l aufweisen. Aus diesen beiden Werten wird das arithmetische Mittel gebildet.

Die Bestimmung der Mengenelemente Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium erfolgt nach der Herstellung der jeweiligen Verdünnungsreihen aus dem gewonnenen Überstand unter Anwendung der Atomabsorptionsspektrometrie (Thermo Electron Corporation, AAS-Spektrometer Solar M6). Dieses Messverfahren basiert auf der Bestimmung der spezifischen Absorption von Strahlung durch Wechselwirkung mit Atomen im Gaszustand. Über Verdampfung des Lösungsmittels mittels eines Atomisators (hier: eine Luft-Acetylen-Flamme) kommt es zum Zerfall der in der Probe enthaltenen Moleküle in Atome. Durch den Vergleich

der Intensität des Lichtstrahls hinter der Atomisierungseinheit mit der Intensität des ungeschwächten Lichtes wird bestimmt, wie viel des eingestrahnten Lichtes einer bestimmten Wellenlänge durch die freien Atome absorbiert wurde.

Zur Bestimmung der kurzkettigen Fettsäuren erfolgt die Zentrifugation unter den gleichen Bedingungen, wie sie für die Messung der Elektrolytgehalte notwendig sind. Circa 1,5 ml des Überstandes werden in Eppendorf Cups (Fa. Sarstedt®) umgefüllt und bis zu den gaschromatographischen Untersuchungen, die durch das Institut für Tierernährung an der FU Berlin durchgeführt werden, tiefgefroren.

3.6.4 Untersuchung der Blutproben

Die Blutentnahmen erfolgen durch wechselseitige Punktion der Vena jugularis externa mit Einmalkanülen (Sterican® 1,20 x 40 mm, Fa. Braun), wobei vor jeder Entnahme die Punktionsstelle gereinigt und desinfiziert wird. Da für den gesamten Untersuchungszeitraum häufige Venenpunktionen vorgesehen sind, wird die erste Einstichstelle möglichst weit kranial gewählt und die folgenden kaudal davon gesetzt.

Maximal 10 Minuten nach der Entnahme erfolgt die Blutgasanalyse mittels eines ABL 5® (Fa. Radiometer Copenhagen). Vor Analysebeginn sind die ersten Tropfen aus der Blutgasmonovette (Kabevette®, Fa. Kabe Labortechnik) zu verwerfen. Die jeweils vor der Probengewinnung gemessene Rektaltemperatur dient der Korrektur der Blutgasparameter.

Zur Bestimmung der Folsäure- sowie der Vitamin-B₁₂-Konzentration an den Untersuchungstagen 1, 7 und 19 wird ein mit Kunststoffperlen versetztes Serumröhrchen (12 ml, Fa. Kabe Labortechnik®, SE95PP) mit Blut beschickt und nach einer 10-minütigen Standzeit bei Zimmertemperatur zentrifugiert (10 min bei 4000 U/min). Mit den auf diese Weise erzeugten Überständen werden je zwei Micro Tubes (1,5 ml, Fa. Sarstedt®; 72.690) gefüllt und bei -22 °C gefriergelagert. Während eines der Probengefäße zur späteren Analyse an das veterinärmedizinische Labor für klinische Prüfung Ludwigsburg GmbH versendet wird, dient das zweite als tiefgefrorene Rückstellprobe.

3.6.5 Untersuchung der Harnproben

Der durch Manipulation der vorgereinigten Scham abgesetzte Spontanharn (Mittelstrahlurin) kann unmittelbar nach dem Auffangen (100-ml-Versandgefäße, Fa. Sarstedt®) der pH-Wert-Bestimmung unterzogen werden. Anschließend wird mit dem Harn in gleicher Weise verfahren wie mit den Pansensaftproben (siehe 3.6.3).

Das Analysespektrum schließt neben pH-Wert und Elektrolyten auch die Bestimmung der fraktionierten Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung mithilfe der pH-Meter-Titration nach Kutas (1965) ein. Hierfür werden 10 ml Harn mit 1 n Salzsäure auf einen pH-Wert von 3,5 eingestellt und anschließend für 30 Sekunden gekocht. Die abgekühlten Proben werden mit 0,1 n

Natronlauge auf einen pH-Wert von 7,4 titriert. Nach Zugabe von 10 ml einer 20-prozentigen Formaldehydlösung wird der pH-Wert wiederum mit 0,1 n NaOH auf den pH-Wert von 7,4 eingestellt. Mittels der jeweiligen Mengen an verbrauchter Salzsäure (V_{HCl}) bzw. Natronlauge (V_{NaOH1} , V_{NaOH2}) lassen sich nach den in Tabelle 16 aufgeführten Formeln die NSBA, die Basen-, Säuren- und NH_4^+ -Ausscheidung sowie der Basen-Säuren-Quotient berechnen. Die Präzisionskontrolle in der Serie ergibt einen Variationskoeffizienten von 0,02 bzw. 2 %.

Tabelle 16: Formeln zur Berechnung der fraktionierten NSBA

Parameter	Formel
NSBA (mmol/l)	$[(V_{\text{HCl}} \times 10) - (V_{\text{NaOH1}} + V_{\text{NaOH2}})] \times 10$
Basengehalt (mmol/l)	$V_{\text{HCl}} \times 100$
Säuregehalt (mmol/l)	$V_{\text{NaOH1}} \times 10$
NH_4^+ (mmol/l)	$V_{\text{NaOH2}} \times 10$
BSQ	Basen / (Säuren + NH_4^+)

3.6.6 Untersuchung der Milch

Die Bestimmung der Milchmenge und -inhaltsstoffe erfolgt im Rahmen der monatlich durchgeführten Milchleistungsprüfung durch den Landeskontrollverband Sachsen.

3.7 **Statistische Auswertung**

Die Dateneingabe erfolgt mittels MS Excel (Microsoft® Office Excel 2013, USA), mit dem die Daten deskriptiv ausgewertet und grafisch dargestellt werden. Mithilfe der Computerprogramme PASW Version 18 (SPSS Inc., USA) und Statistical Analysis System (SAS V 9.0, SAS Institute, USA) erfolgt die statistische Auswertung der ermittelten Werte. Es werden die zeitlichen Verläufe (Tage 1, 2, ... 21) einzelner abhängiger Gruppen ($\hat{=}$ Rationen) betrachtet (Tabelle 17). Somit handelt es sich um ein varianzanalytisches Problem mit Messwiederholung. Da die Daten jedoch nicht die Voraussetzungen (Normalverteilung) zur Anwendung einer Varianzanalyse erfüllen, müssen auch hier parameterfreie Verfahren angewendet werden. Anstelle von Lageparametern (μ_{ii}) oder Differenzen (δ_{ii}) werden daher Randverteilungen benutzt, um Behandlungseffekte in nichtparametrischen Modellen zu definieren (Siebert 2012).

Tabelle 17: Versuchsstruktur

		Randverteilungen			
Faktor G		T1	T2	...	Tp
Gruppe 1	Proband 1	F11	F12	...	F1p
	
	Proband n1	F11	F12	...	F1p
<hr/>					
Gruppe 2	Proband 1	F21	F22	...	F2p
	
	Proband n2	F21	F22	...	F2p
<hr/>					
.....					
Gruppe K	Proband 1	Fk1	Fk2	...	Fkp
	
	Proband nK	Fk1	Fk2	...	Fkp

Hat man sowohl einen abhängigen Faktor G (Gruppe = Ration) als auch einen abhängigen Faktor T (Zeit), so besteht das Ziel der nicht-parametrischen Analyse darin, zu prüfen, ob der Faktor G und der Faktor T Einfluss auf die Veränderung des interessierenden Merkmals haben und ob das Profil der Verlaufskurven in den Gruppen unterschiedlich ist. Es wird also untersucht, ob es einen Gruppeneffekt, einen Zeiteffekt und Wechselwirkungen zwischen Gruppe und Zeit gibt (Siebert 2012).

Zu diesem Zweck werden die folgenden drei Nullhypothesen aufgestellt.

- H_{0G} : Die Randverteilungen zwischen den Gruppen – gemittelt über die Zeit – unterscheiden sich nicht.
- H_{0T} : Die Randverteilungen zwischen den Zeitpunkten – gemittelt über die Gruppen – unterscheiden sich nicht.
- $H_{0G \cdot T}$: Es existieren keine Wechselwirkungen zwischen den Faktoren G und T.
(Die Differenzen der Randverteilungen von einem Zeitpunkt zum nächsten Zeitpunkt zwischen den einzelnen Gruppen unterscheiden sich nicht.)

Diese Nullhypothesen wurden sodann gegen die entsprechenden Alternativhypothesen getestet (Siebert 2012).

Aufgrund der Fragestellung der vorliegenden Arbeit liegt besonderer Wert auf dem Gruppen- und damit auf dem Rationseffekt.

Analoge Überlegungen gelten auch für den Vergleich der Verlaufsdaten an den Tagen 3 und 21 (Tagesprofil). Hier wird für jede Gruppe (Ration) der Vergleich einzeln geprüft.

Zeigen sich Effekte mit Werten von $p < 0,05$, wird mit einem sich anschließenden Post-Hoc-Test geprüft, zwischen welchen Rationsgruppen diese Unterschiede bestehen.

Als Verfahren werden die von E. Brunner et al. (2001) entwickelten Analyseverfahren angewandt.

Zwischen welchen Tagen der Probenahme die Zeiteffekte bestehen, wurde nicht überprüft.

Die Auswertungen erfolgen im explorativen Sinne, d. h. ohne Adjustierung des Signifikanzniveaus, sodass Differenzen auf dem Niveau $p < 0,05$ als signifikant betrachtet werden (Siebert 2012).

Die ermittelten Unterschiede werden wie folgt gekennzeichnet:

- * = schwach signifikant ($p < 0,05$),
- ** = signifikant ($p < 0,01$),
- *** = hoch signifikant ($p < 0,001$) und
- n. s. = nicht signifikant ($p > 0,05$).

Über die Entwicklung der untersuchten Parameter im Verlauf der 21-tägigen Versuchsintervalle sowie während der beiden Tagesprofile geben die entsprechenden Abbildungen Aufschluss. Sofern nicht anders aufgeführt, stellen diese Abbildungen die arithmetischen Mittelwerte der verschiedenen Fütterungsgruppen während der zwölf Probenahme dar.

In den jeweils nachgestellten Tabellen sind neben den rationsspezifischen Mittelwerten (\bar{x}) die dazugehörigen minimalen und maximalen Einzelwerte (min.; max.) sowie die nach dem oben genannten Verfahren ermittelten Signifikanzniveaus (p) angegeben.

4 Ergebnisse

4.1 Futteraufnahme

Die in der Zeit zwischen Morgenfütterung (6 Uhr) und Probenentnahme (9 Uhr) aufgenommene Menge an Originalsubstanz zeigt die Abbildung 7.

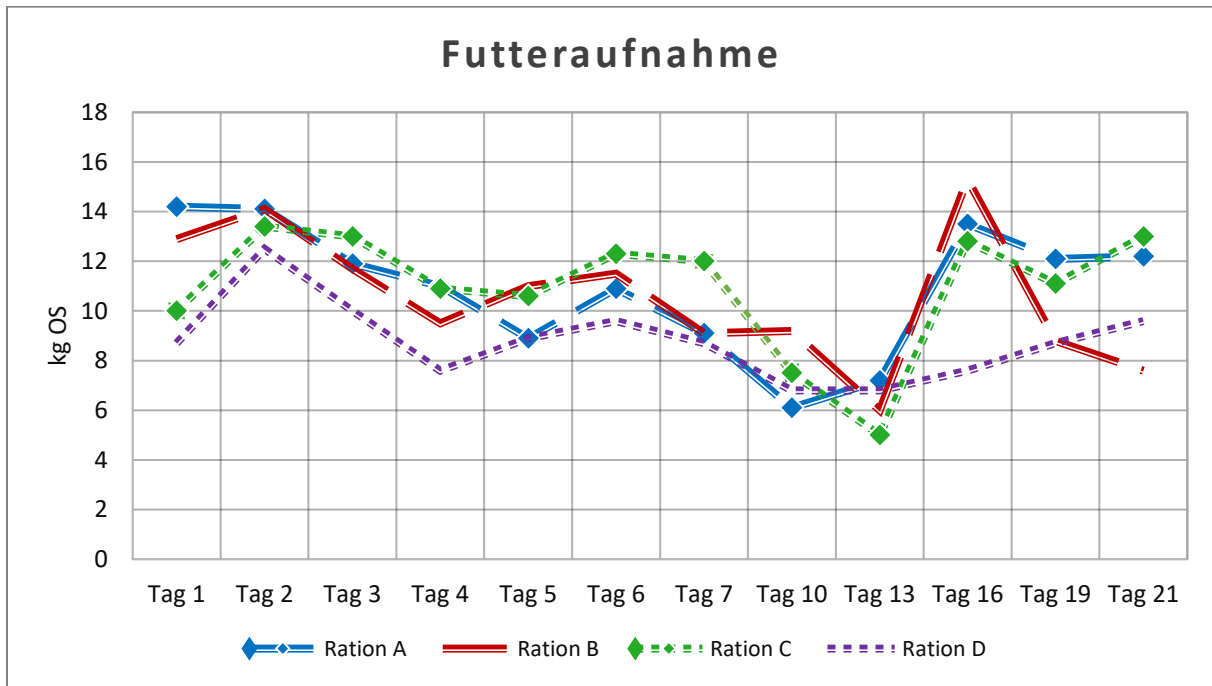


Abbildung 7: Mittlere Futteraufnahmen (kg OS) – Untersuchungsverlauf

Tabelle 18: Futteraufnahmen [kg OS] im Untersuchungsverlauf
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	10,9	6,1	14,2	0,732				
B	10,6	6,0	15,3		n. s.			
C	11,0	5,0	13,4		n. s.	n. s.		
D	8,8	6,8	12,5		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,006$				
				$p_{G/T} = 0,753$				

Die mittleren Futteraufnahmen liegen bei den Probanden der Rationen A, B und C auf ähnlichem Niveau und rund 2 kg OS über den durchschnittlichen Aufnahmemengen der Versuchsgruppe D. Diese Unterschiede sind statistisch nicht signifikant.

Innerhalb der ersten zwei Wochen der Verlaufsuntersuchung kommt es rationsübergreifend zu einer stetigen Abnahme der Futteraufnahme. Der von der Ration unabhängige Zeiteffekt p_T auf die Menge der aufgenommenen Futtersubstanz ist statistisch signifikant (Tabelle 18).

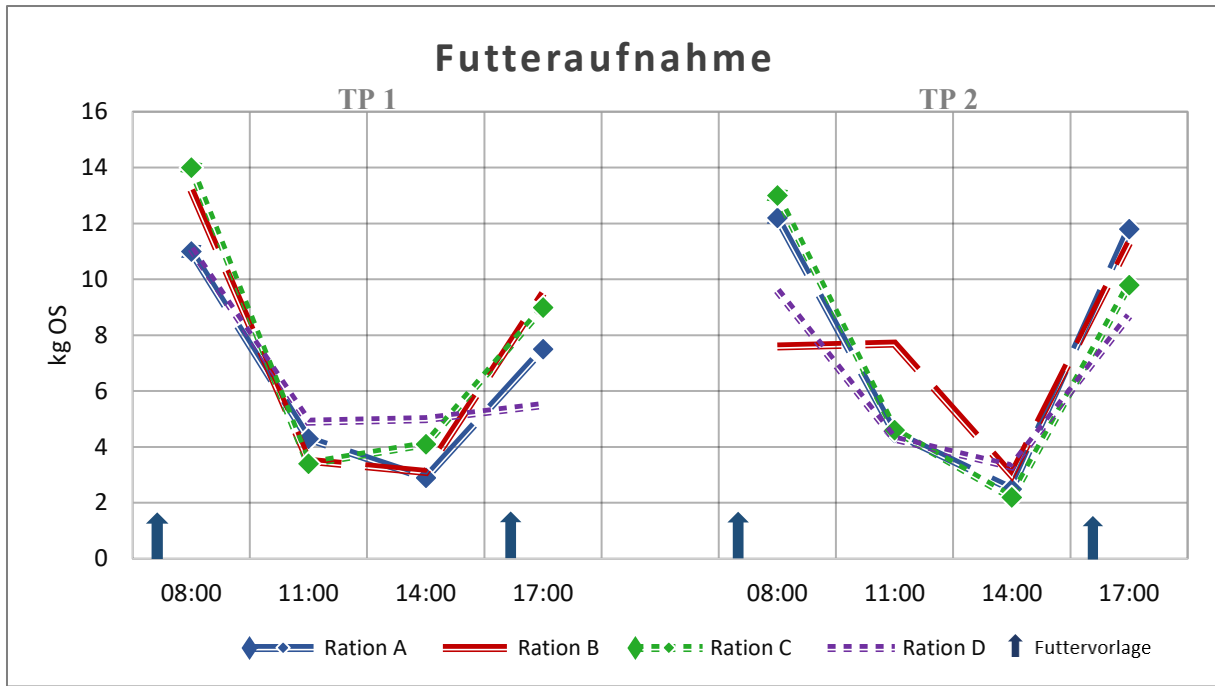


Abbildung 8: Mittlere Futteraufnahmen (kg OS) – Tagesprofile

Tabelle 19: Futteraufnahmen [kg OS] an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	9,56	2,9	22,1	0,876				
B	9,90	3,1	20,2		n. s.			
C	9,16	3,4	15,3		n. s.	n. s.		
D	8,92	4,9	18,1		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T < 0,001$ $p_{G/T} = 0,392$				

Tabelle 20: Futteraufnahmen [kg OS] an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	10,00	2,5	19,0	0,581				
B	9,88	3,0	19,8		n. s.			
C	9,24	2,2	16,6		n. s.	n. s.		
D	8,16	3,3	14,9		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T < 0,001$ $p_{G/T} = 0,636$				

Hinsichtlich der Futteraufnahmen sind keine statistisch signifikanten Gruppenunterschiede zu bestimmen. Für beide Tagesverlaufsuntersuchungen ist ein hochsignifikanter Einfluss des Messzeitpunktes auf die Menge des aufgenommenen Futters zu ermitteln (Tabellen 19 und 20).

4.2 Pansensaft

4.2.1 pH-Wert

Die Verläufe der mittleren pH-Werte des Pansensaftes in den vier Fütterungsgruppen zeigt Abbildung 9. Die pH-Werte bewegen sich während der Studie rationsübergreifend im Referenzbereich von 5,5 bis 7,0 (Engelhardt et al. 2005).

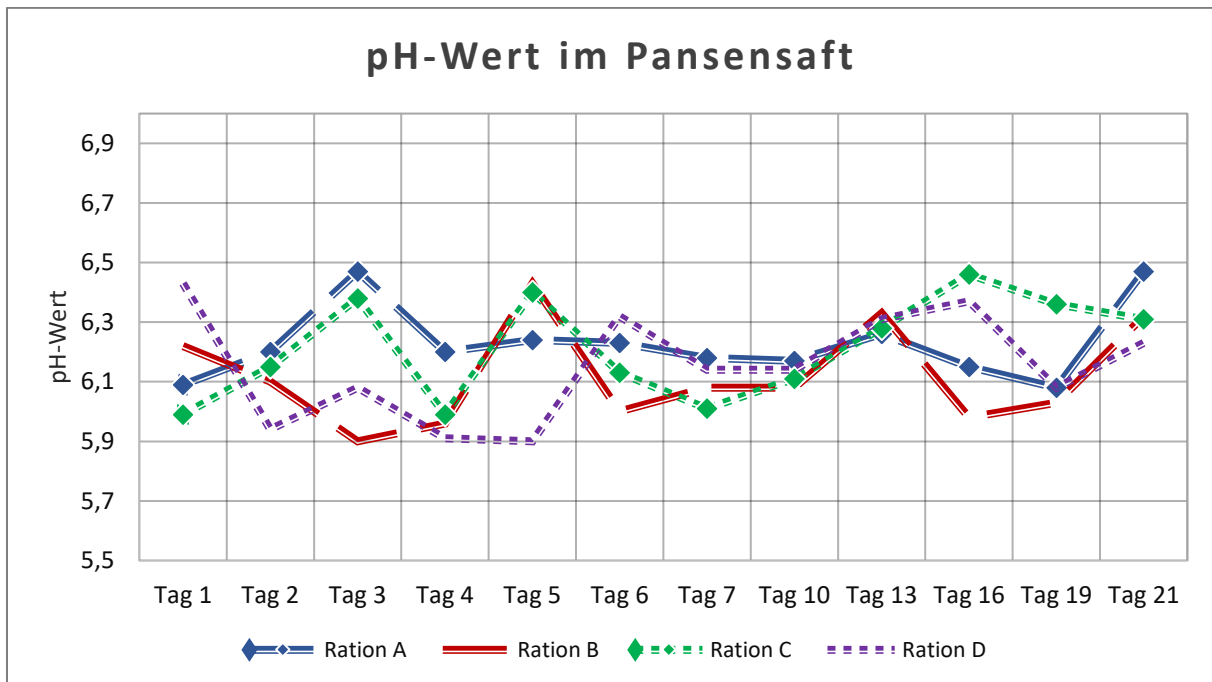


Abbildung 9: Mittlere pH-Werte im Pansensaft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 21: pH-Werte im Pansensaft
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	6,23	5,68	6,79	0,198	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	6,12	5,42	6,88					
C	6,21	5,49	6,94					
D	6,15	5,32	6,85					
				$p_T = 0,094$				
				$p_{G/T} = 0,357$				

Für die pH-Verlaufskurven lassen sich Unterschiede beim Einsatz von NaHCO_3 erkennen. Während sich bei den Tieren der Rationsgruppen mit Zusatz von NaHCO_3 in den ersten Untersuchungstagen Zunahmen des mittleren Pansen-pH-Wertes zeigen, sinken die Werte bei den Kühen ohne Pufferzusatz ab. Besonders deutlich ist dies bei den Probanden der Ration D. Mit Ausnahme dieser Versuchsgruppe zeigen die Tiere am letzten Untersuchungstag höhere pH-Mittelwerte als zu Beginn der Studie.

Diese Zeit- und Rationsgruppeneffekte sind statistisch nicht signifikant (Tabelle 21).

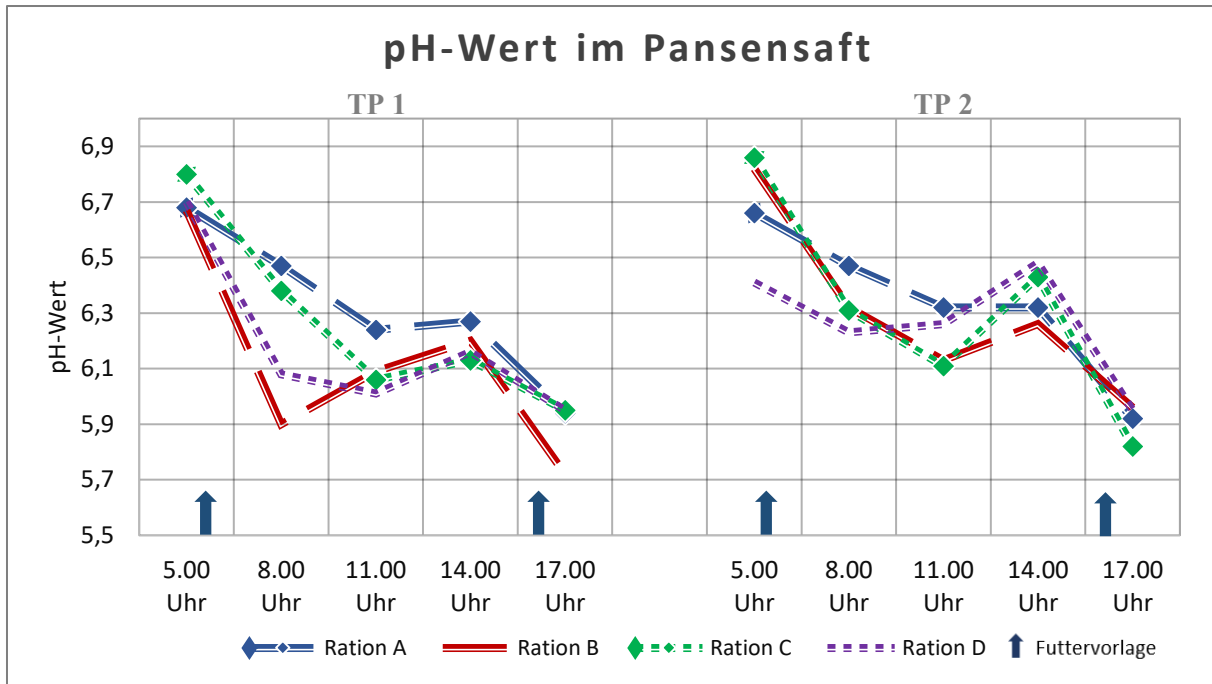


Abbildung 10: Mittlere pH-Werte im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 22: pH-Werte im Pansensaft an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	6,32	5,69	6,94	0,231	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	6,12	5,53	6,83					
C	6,26	5,67	7,41					
D	6,18	5,49	6,90					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,328$				

Tabelle 23: pH-Werte im Pansensaft an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	6,32	5,68	6,95	0,893	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	6,30	5,46	6,99					
C	6,31	5,53	7,00					
D	6,27	5,20	6,73					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,241$				

Die durchschnittlichen pH-Wert-Verläufe beider Tagesprofile sind ähnlich (Abbildung 10).

Rationsübergreifend ist nach Futtermvorlage am Morgen ein rasches Absinken der mittleren ruminalen pH-Werte zu beobachten. Tendenziell erreichen die pH-Werte der Tiere ohne Pufferzusatz in der Ration ein pH-Minimum zwischen den beiden Futtermvorlagen früher als diejenigen der Probanden der anderen Gruppen. Anschließend kommt es in allen Fütterungsgruppen bis zur Nachmittagsfütterung zu einem leichten Wiederanstieg. Die

Absenkung des pH-Wertes infolge der Futtervorlage am Nachmittag erreicht die im Verlauf des Tagesprofils ermittelten Tiefstwerte.

Ein Vergleich der beiden zwölfstündigen Verlaufsuntersuchungen zeigt weitestgehend deckungsgleiche pH-Verläufe der pufferzugewetzten Rationen. Im Anschluss an die Nachmittagsfütterung kann an Tag 21 ein stärkerer Abfall ermittelt werden.

Deutlich unterschiedlicher entwickeln sich die Tagesprofile der Rationen ohne Pufferzusatz. So weisen die Probanden der Fütterungsgruppe B im zweiten TP höhere Ausgangswerte sowie geringere Abnahmen im unmittelbaren Anschluss an die jeweiligen Futtervorlagen auf. Bei den Tieren der Versuchsgruppe D liegt das Ausgangsniveau im zweiten Tagesprofil niedriger als zu Beginn der Untersuchungen. Die pH-Wert-Absenkung nach der Morgenfütterung ist weniger stark ausgeprägt. Lediglich die mittleren pH-Werte dieser Gruppe erreichen im Verlauf des TP ihr Ausgangsniveau, bevor die Futtervorlage am Nachmittag zu einem deutlichen Absinken der pH-Werte führt.

Im Rahmen der statistischen Analyse können weder rationsintern noch rationsübergreifend signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen berechnet werden. Bedingt durch tagesdynamische Unterschiede zeigt sich jedoch ein hochsignifikanter Einfluss des Messzeitpunktes auf die Höhe der ruminalen pH-Werte (Tabellen 22 und 23).

Während die mittleren ruminalen pH-Werte im gesamten Untersuchungszeitraum innerhalb der Referenz lagen, können bei den Einzelwerten Unterschreitungen des Referenzwertes festgestellt werden. Weisen die Tiere der Rationen A bis C im Rahmen der einmal täglich stattfindenden Beprobung sowie im Zuge der beiden Tagesprofile jeweils keine bzw. nur einmalig (jeweils bei $n = 80$) ruminale pH-Werte $\leq 5,50$ auf, liegen sieben pH-Einzelmessungen bei den Probanden der Ration D unterhalb dieser physiologischen Referenz. Diese Unterschreitungen in der Rationsgruppe D sind ausschließlich auf einen Probanden („Leona“ – 06277) zurückzuführen. Der festgestellte minimale pH-Wert ist ebenfalls diesem Tier zuzuschreiben. Hier kann eine Stunde nach erfolgter Futtervorlage am Nachmittag des letzten Beprobungstages ein ruminaler pH-Wert von 5,20 ermittelt werden.

4.2.2 Flüchtige Fettsäuren

4.2.2.1 Acetat

Die Werte der mittleren ruminalen Konzentrationen an Acetat liegen im Untersuchungszeitraum zwischen 46,4 mmol/l ($\bar{x}_{\min.}$; Ration C) und 74,1 mmol/l ($\bar{x}_{\max.}$; Ration D).

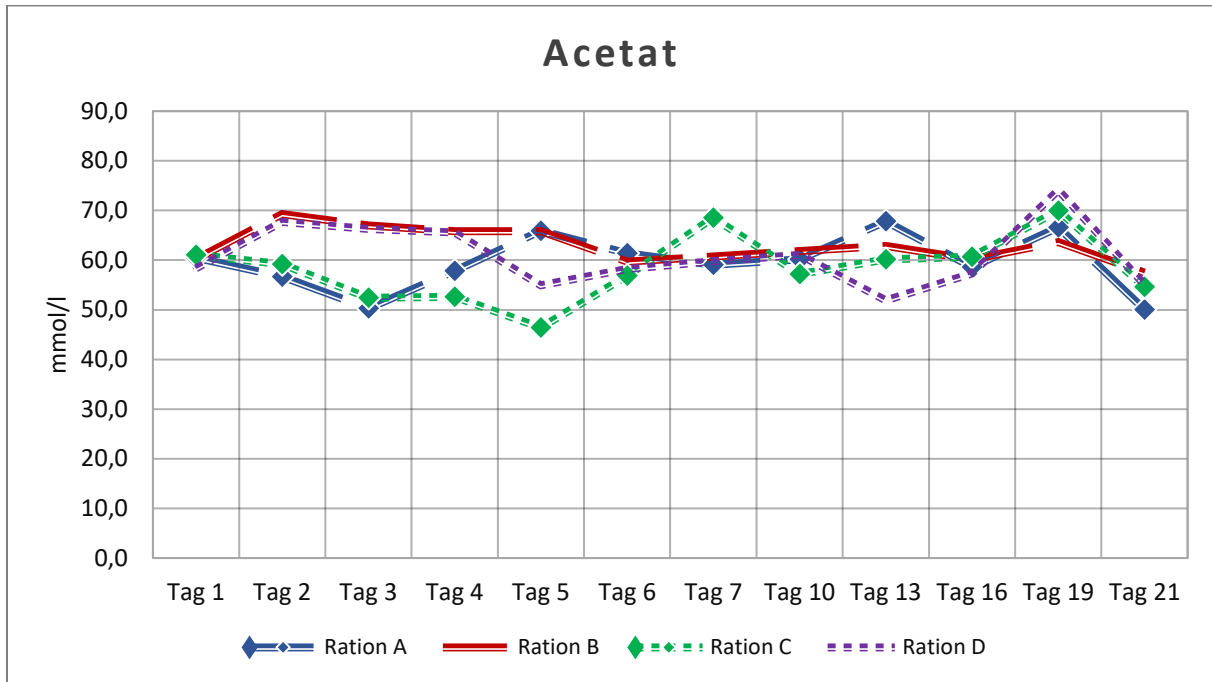


Abbildung 11: Mittlere Acetat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 24: Acetat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	59,57	30,5	94,5	0,553				
B	62,87	44,7	88,9					
C	58,30	30,5	75,3					
D	60,86	34,8	100,2					
				$p_T = 0,080$				
				$p_{G/T} = 0,274$				

Die mittleren Acetatgehalte sind bei den Tieren der Gruppen B und D geringfügig höher als bei den Probanden der Rationen mit NaHCO_3 -Zugabe (Abbildung 11).

Bei der statistischen Prüfung der Daten können hinsichtlich der Acetat-Konzentrationen weder für die Faktoren Gruppe und Zeit noch für deren Wechselwirkung signifikante Unterschiede bestimmt werden (Tabelle 24).

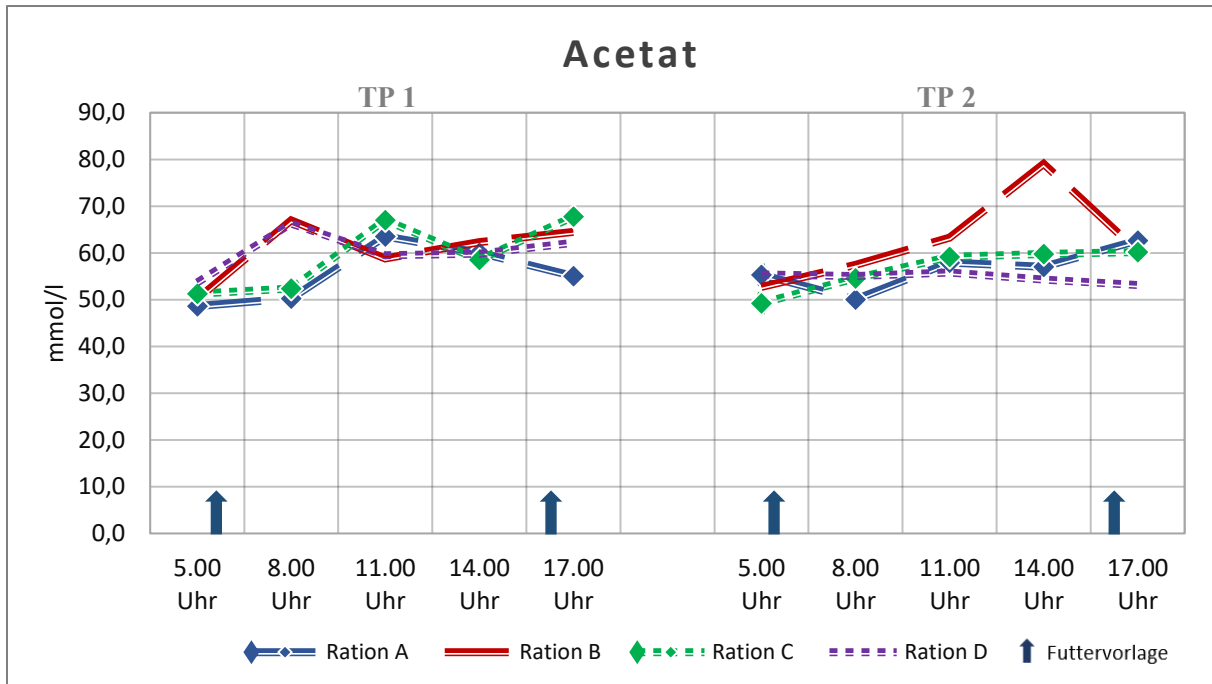


Abbildung 12: Mittlere Acetat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 25: Acetat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	55,51	30,5	73,7	0,630				
B	60,56	40,3	88,9		n. s.			
C	59,42	39,2	86,7		n. s.	n. s.		
D	60,31	46,0	81,6		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,302$				

Tabelle 26: Acetat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	56,61	41,4	69,1	0,799				
B	62,60	32,2	163,2		n. s.			
C	56,59	21,1	77,2		n. s.	n. s.		
D	54,75	34,8	73,8		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,270$				
				$p_{G/T} = 0,751$				

Im ersten Tagesprofil zeigen sich in Abhängigkeit vom Puffereinsatz sehr gleichförmige Gehaltsentwicklungen. Bei den Tieren, die die Rationen B und D erhielten, stellte sich ein Konzentrationsmaximum im Anschluss an die morgendliche Futtermalage eher ein.

Auch die in TP 2 dargestellten Verläufe sind mit Ausnahme des 14-Uhr-Wertes der Gruppe B sehr gleichförmig. Dieser Anstieg wird durch einen Ausreißer bedingt, dessen Acetat-Konzentration das Mehrfache der übrigen Werte zu diesem Zeitpunkt beträgt.

Ein hochsignifikanter Einfluss des Faktors Zeit auf die Höhe der Acetat-Konzentration lässt sich für die Verlaufsuntersuchungen an Tag 3 nachweisen (Tabelle 26).

4.2.2.2 Propionat

Die mittleren Gehalte an Propionat bewegen sich in dieser Versuchsreihe zwischen 19,2 mmol/l ($\bar{x}_{\min.}$; Ration C) und 34,3 mmol/l ($\bar{x}_{\max.}$; Ration B).

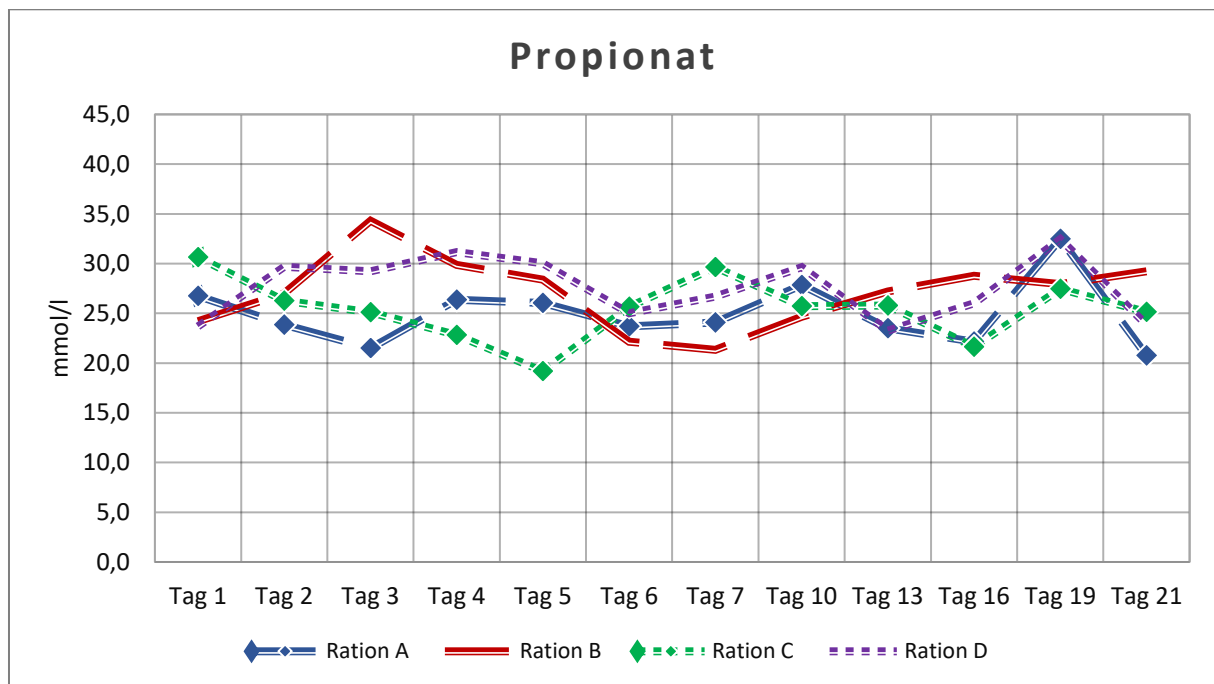


Abbildung 13: Mittlere Propionat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 27: Propionat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	P	A	B	C	D
A	25,80	11,8	44,1	0,849	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	27,89	16,6	56,5					
C	26,26	12,1	44,1					
D	28,41	14,0	46,5					
				$p_T = 0,093$				
				$p_{G/T} = 0,346$				

Unterschiede zwischen den jeweiligen Fütterungsgruppen zeigen sich in den ersten Tagen der Untersuchung. So nehmen die Propionatgehalte im Pansensaft bei den Tieren, die die Rationen mit Pufferzusatz erhielten, zunächst ab. Bei Kühen, die die Rationen ohne Pufferzusatz erhielten, ist ein Anstieg der Konzentrationen festzustellen (Abbildung 13). Ein statistisch sicherer Unterschied zwischen diesen Gruppen lässt sich nicht ermitteln (Tabelle 27).

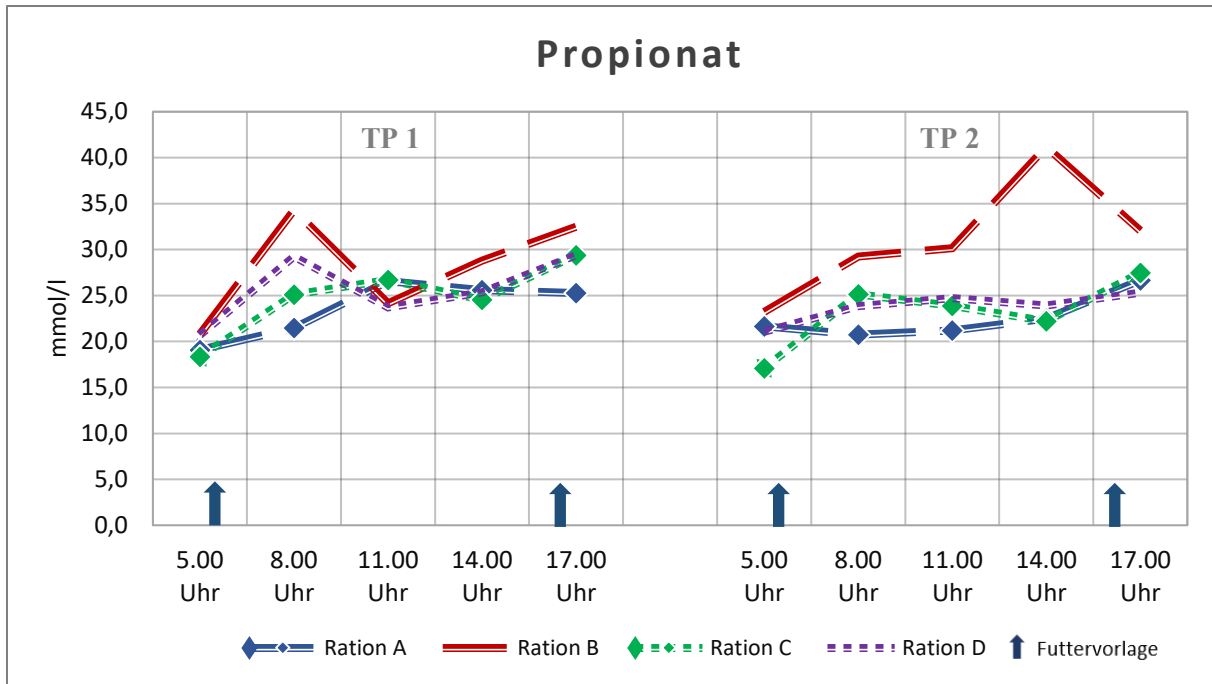


Abbildung 14: Mittlere Propionat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 28: Propionat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	23,60	11,8	33,4	0,779				
B	28,11	13,4	56,5		n. s.			
C	24,81	8,0	44,4		n. s.	n. s.		
D	25,67	15,2	46,5		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,469$				

Tabelle 29: Propionat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	P	A	B	C	D
A	22,55	12,3	31,8	0,677				
B	31,17	12,3	96,0		n. s.			
C	23,16	7,6	46,1		n. s.	n. s.		
D	23,77	12,3	42,2		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,007$				
				$p_{G/T} = 0,737$				

Bei den Tieren, die Rationen ohne Pufferzugabe erhielten, sind im Tagesverlauf höhere durchschnittliche Propionat-Konzentrationen zu bestimmen als bei den Probanden der Rationsgruppen A und C. Das Konzentrationsmaximum stellt sich eher ein (Abbildung 14). Diese Entwicklungen sind während des 2. TP weniger ausgeprägt. Auch hier zeigt sich innerhalb der Fütterungsgruppe B eine deutliche Abweichung, die durch einen Ausreißer bedingt wird.

Im Rahmen der statistischen Untersuchung können keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen berechnet werden. Bedingt durch tagesdynamische Unterschiede ist ein Einfluss des Messzeitpunktes nachzuweisen. Dieser ist zu Beginn der Versuchsreihe stärker ausgeprägt als am Ende (Tabellen 28 und 29).

4.2.2.3 Acetat-Propionat-Quotient

Die Acetat-Propionat-Quotienten sind sich im Rationsmittel sehr ähnlich und bewegen sich an den Probetagen innerhalb des Referenzbereiches (Abbildung 15).

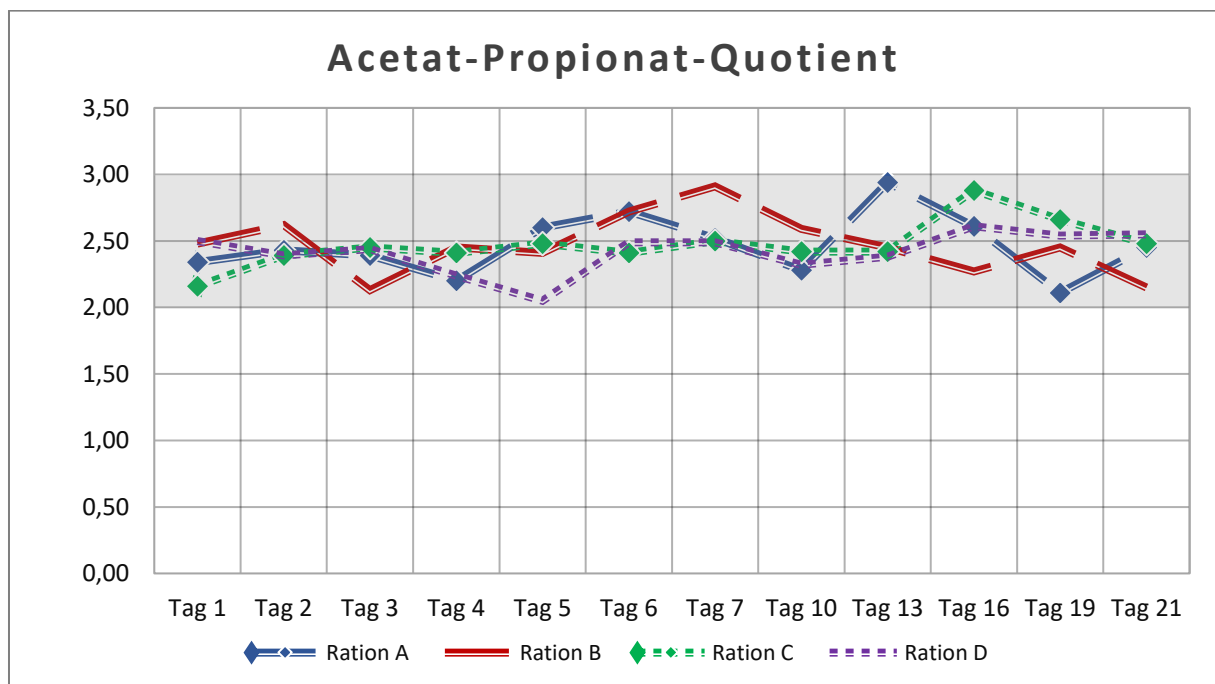


Abbildung 15: Mittlere Acetat-Propionat-Quotienten im Pansensaft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 30: Acetat-Propionat-Quotienten im Pansensaft
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	2,47	1,65	3,55	0,969				
B	2,38	1,42	3,46		n. s.			
C	2,57	1,47	3,89		n. s.	n. s.		
D	2,48	1,35	4,34		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,313$				
				$p_{GT} = 0,508$				

Bei den Einzelwerten fallen erhebliche Unter- sowie Überschreitungen der Referenzwerte auf (Tabelle 30). Diente Strohhäcksel als strukturwirksame Rohfaser, liegen je 19 der Einzelwerte ($n = 96$) unter 2,00 und über 3,00.

Bei den Probanden der Strohmehlgruppen liegen 32 der für die Einzelwerte berechneten Quotienten ($n = 96$) unter 2,00 und 20 Werte über 3,00.

Ein signifikanter Einfluss der Faktoren Ration oder Zeit ist nicht nachzuweisen (Tabelle 30).

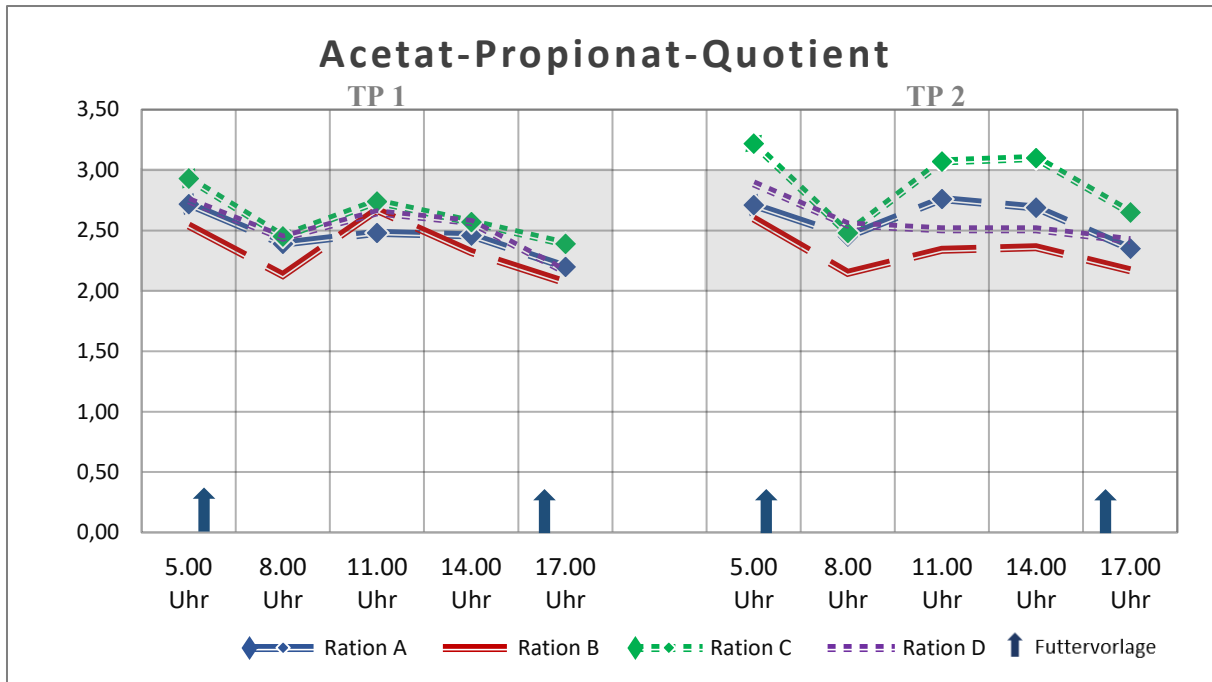


Abbildung 16: Mittlere Acetat-Propionat-Quotienten im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 31: Acetat-Propionat-Quotienten im Pansensaft an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	2,45	1,81	3,54	0,721	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	2,35	1,57	3,37					
C	2,62	1,52	4,88					
D	2,51	1,58	3,22					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,824$				

Tabelle 32: Acetat-Propionat-Quotienten im Pansensaft an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	2,59	1,78	3,55	0,740	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	2,32	1,30	4,53					
C	2,90	1,33	5,13					
D	2,58	1,41	4,83					
				$p_T = 0,063$				
				$p_{G/T} = 0,576$				

Bei der Gegenüberstellung der beiden Tagesprofile zeigen sich im Verlauf sehr ähnliche Werteentwicklungen. Sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Fütterungsgruppen an Tag 3 noch wenig ausgeprägt, kommt es am letzten Probenentnahmetag zu einer deutlichen Trennung der Gruppen bei annähernd identischen Verläufen. Die Tiere, deren Rationen NaHCO_3 hinzugefügt wurde, weisen dabei höhere $\text{C}_2:\text{C}_3$ -Quotienten und eine stärker ausgeprägte Tagesdynamik zum Ende der Untersuchungsreihe auf als die entsprechenden Vergleichstiere (Abbildung 16).

Ein signifikanter Einfluss des Faktors Zeit zeigt sich im Rahmen der Untersuchungen nur an Tag 3 (Tabellen 31 und 32).

4.2.2.4 n-Butyrat

Die Konzentrationsentwicklungen des n-Butyrats ist in Abbildung 17 dargestellt. Es zeigen sich wellenförmige Verläufe mit mittleren Gehalten zwischen 10,6 mmol/l ($\bar{x}_{\min.}$; Ration D) und 17,1 mmol/l ($\bar{x}_{\max.}$; Ration C).

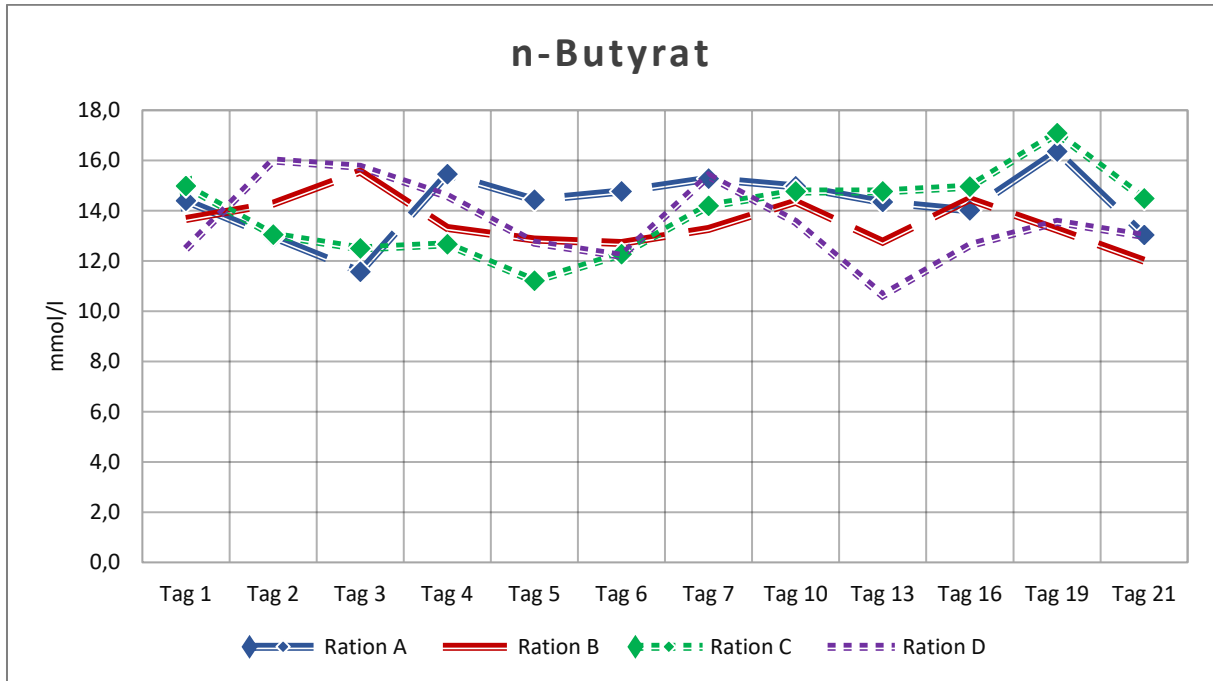


Abbildung 17: Mittlere n-Butyrat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 33: n-Butyrat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	14,30	6,2	20,1	0,802				
B	13,54	8,6	20,0		n. s.			
C	13,91	6,1	22,2		n. s.	n. s.		
D	13,72	7,7	24,2		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,347$				
				$p_{G/T} = 0,443$				

Die mittleren n-Butyrat-Konzentrationen sind in allen Fütterungsgruppen sehr ähnlich. Bei der statistischen Prüfung der Daten können hinsichtlich der n-Butyrat-Konzentrationen weder für die Faktoren Gruppe und Zeit noch für deren Wechselwirkung signifikante Unterschiede bestimmt werden (Tabelle 33).

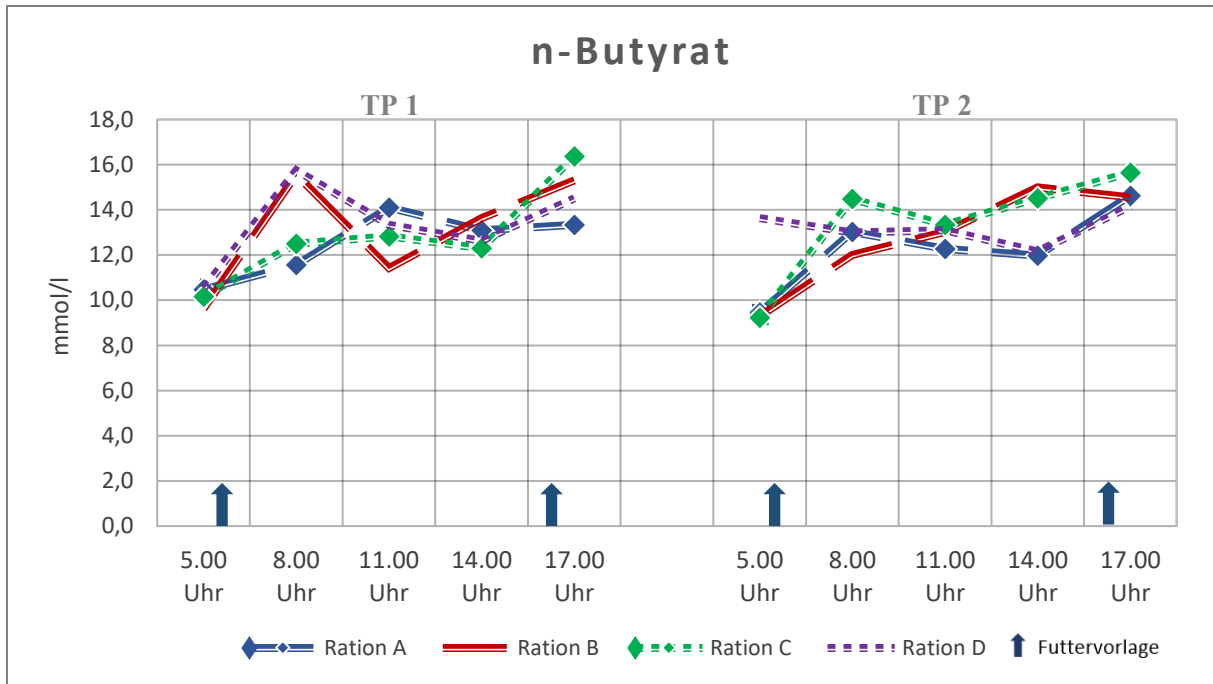


Abbildung 18: Mittlere n-Butyrat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 34: n-Butyrat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	12,52	6,2	19,0	0,748	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	13,11	8,1	20,0					
C	12,83	3,9	17,9					
D	13,35	8,7	17,6					
				$p_T = 0,002$				
				$p_{G/T} = 0,285$				

Tabelle 35: n-Butyrat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	12,27	6,3	18,0	0,375	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	12,77	6,5	29,2					
C	13,44	5,2	18,0					
D	13,21	7,1	17,3					
				$p_T = 0,006$				
				$p_{G/T} = 0,518$				

Bei den Tagesverlaufsuntersuchungen zeigen sich tageszeitliche Schwankungen der n-Butyrat-Konzentrationen. Diese Änderungen in den ruminalen Gehalten sind insbesondere im Anschluss an die Futtermorlagen zu beobachten. Besonders deutlich werden diese während des TP 1 bei den Gruppen ohne Pufferzusatz und bei den Tieren mit NaHCO_3 -zugewetzten Rationen während des TP 2 (Abbildung 18).

Signifikante Unterschiede zwischen den Rationen können weder für Tag 3 noch Tag 21 berechnet werden. Es ist jedoch für beide Tagesprofile ein statistisch sicherer Einfluss der Zeit auf die ruminalen n-Butyrat-Konzentrationen nachweisbar (Tabellen 34 und 35).

4.2.2.5 i-Butyrat

Die mittleren ruminalen i-Butyrat-Konzentrationen zeigen einen wellenförmigen Verlauf; die Werte betragen zwischen 0,57 mmol/l ($\bar{x}_{\min.}$; Ration B) und 1,50 mmol/l ($\bar{x}_{\max.}$; Ration A).

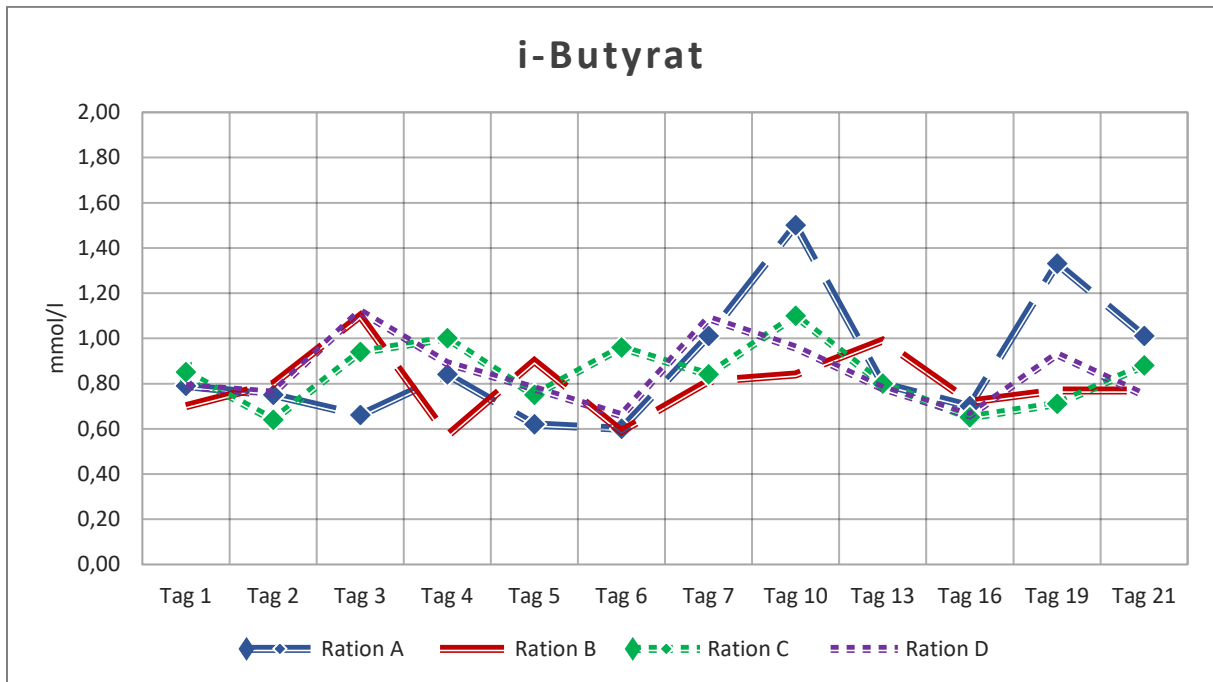


Abbildung 19: Mittlere i-Butyrat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansen – Untersuchungsverlauf

Tabelle 36: i-Butyrat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansen
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	0,88	0,33	2,16	0,729	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	0,80	0,45	2,54					
C	0,84	0,41	1,87					
D	0,85	0,39	2,49					
				$p_T = 0,009$				
				$p_{G/T} = 0,364$				

Während die Verläufe der Rationen B bis D gleichförmig sind, lassen sich bei den mittleren i-Butyrat-Werten der Ration A ab der zweiten Untersuchungswoche starke Konzentrationsanstiege beobachten. Diese Anstiege sind auf Werterhöhungen bei allen Probanden der Gruppe zurückzuführen (Abbildung 19).

Für den Faktor Zeit kann ein signifikanter Einfluss ermittelt werden (Tabelle 36).

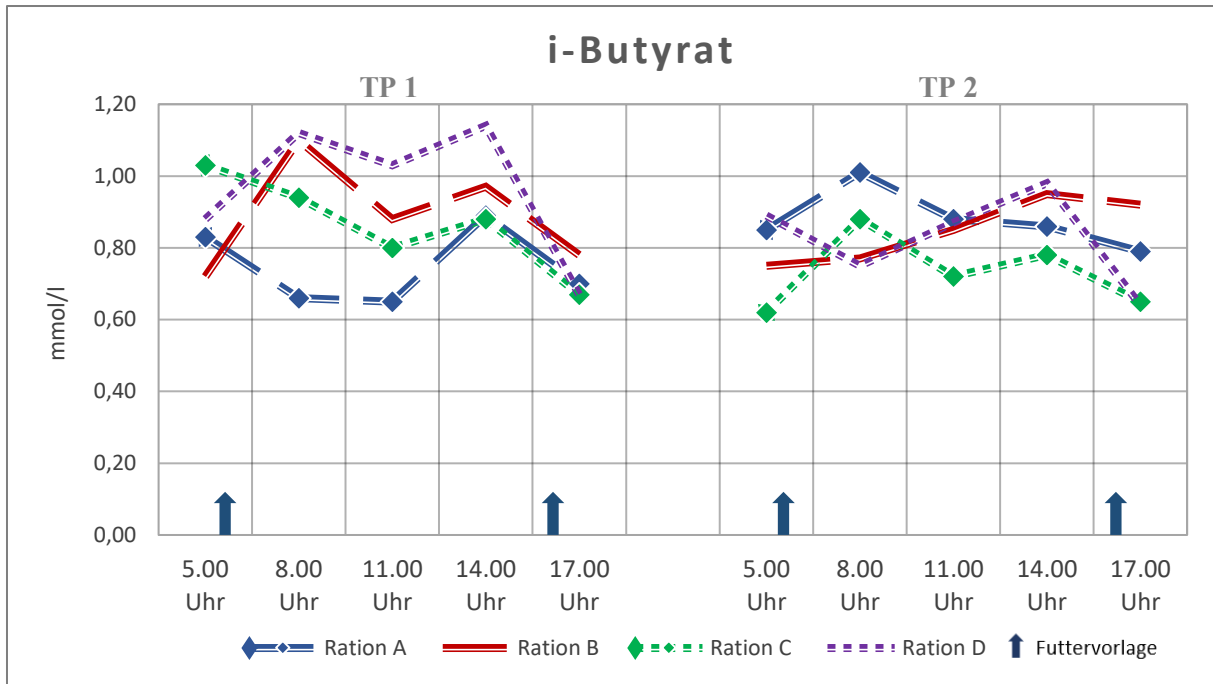


Abbildung 20: Mittlere i-Butyrat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 37: i-Butyrat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	0,75	0,33	1,29	0,891	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	0,89	0,38	2,54					
C	0,86	0,55	1,67					
D	0,97	0,42	2,58					
				$p_T = 0,504$				
				$p_{G/T} = 0,597$				

Tabelle 38: i-Butyrat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	0,88	0,38	1,50	0,693	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	0,85	0,48	2,08					
C	0,73	0,29	1,22					
D	0,83	0,39	1,61					
				$p_T = 0,580$				
				$p_{G/T} = 0,605$				

In den Untersuchungen zeigen sich tagesdynamische Schwankungen der i-Butyrat-Konzentrationen (Abbildung 20). Signifikante Unterschiede sind weder für Tag 3 noch Tag 21 zu ermitteln (Tabellen 37 und 38).

4.2.2.6 n-Valeriat

Die mittleren Konzentrationen an n-Valeriat bewegen sich in dieser Studie zwischen 1,23 mmol/l ($\bar{x}_{\min.}$; Ration A) und 1,84 mmol/l ($\bar{x}_{\max.}$; Ration D).

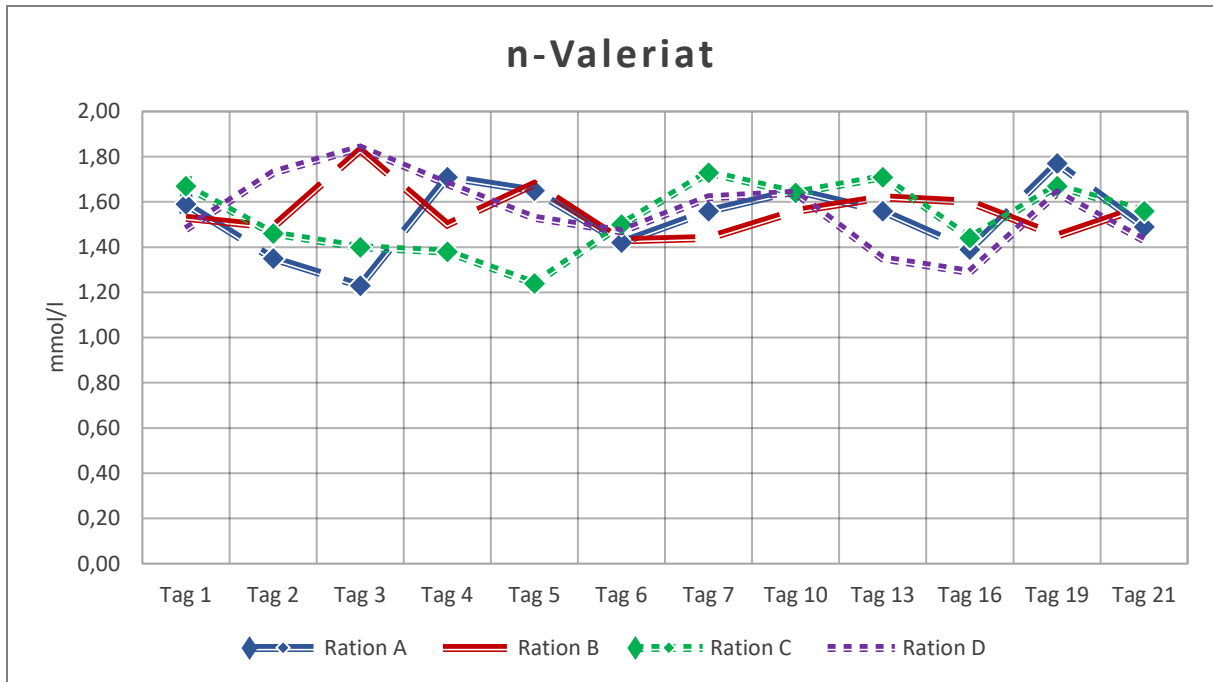


Abbildung 21: Mittlere n-Valeriat-Konzentrationen (mmol/l) im Pensensaft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 39: n-Valeriat-Konzentrationen [mmol/l] im Pensensaft
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	1,53	0,71	2,02	0,980	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	1,56	0,96	2,65					
C	1,53	0,71	2,19					
D	1,56	0,94	2,50					
				$p_T = 0,307$				
				$p_{GT} = 0,323$				

Die n-Valeriat-Konzentrationen im Pensensaft der Tiere, die den Pufferzusatz erhielten, nehmen in den ersten Tagen der Probenentnahme ab. Ab dem sechsten Tag nach Rationswechsel gleichen sich die Reaktionsmuster der verschiedenen Fütterungsgruppen an und zeigen bis zum Ende der Untersuchungsreihe gleichartige Gehaltsentwicklungen (Abbildung 21). Signifikante Unterschiede lassen sich nicht nachweisen (Tabelle 39).

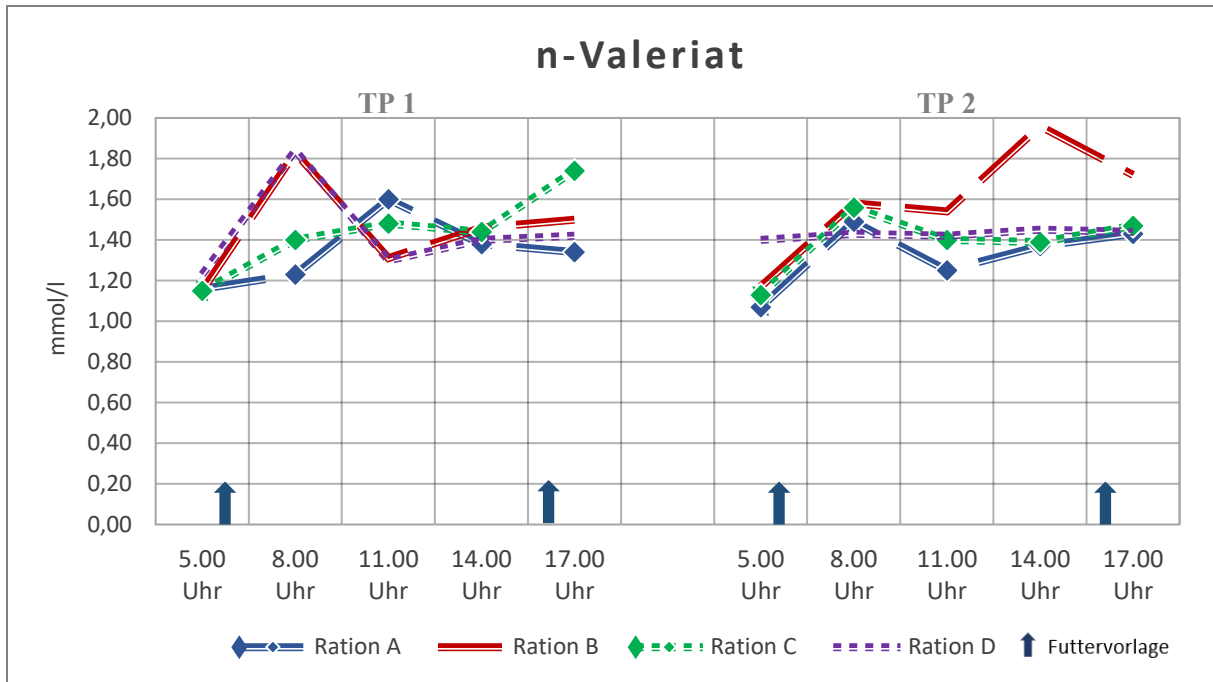


Abbildung 22: Mittlere n-Valeriat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 40: n-Valeriat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	P	A	B	C	D
A	1,34	0,71	1,99	0,796	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	1,45	0,81	2,65					
C	1,44	0,38	2,06					
D	1,44	0,94	2,40					
				$p_T = 0,002$				
				$p_{G/T} = 0,205$				

Tabelle 41: n-Valeriat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	P	A	B	C	D
A	1,32	0,70	1,88	0,814	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	1,59	0,72	3,95					
C	1,39	0,66	2,08					
D	1,43	0,92	1,87					
				$p_T = 0,023$				
				$p_{G/T} = 0,690$				

Änderungen der ruminalen Gehalte im Verlauf der beiden Tagesprofile zeigen sich vor allem im Anschluss an die Futtervorlagen. Bei den Tieren, deren Rationen keinen Pufferzusatz enthielten, werden diese während des TP 1 und bei den Tieren, deren Rationen mit Pufferzusatz versehen waren, im Verlauf des TP 2 besonders deutlich. Außerdem zeigen die Probanden der Fütterungsgruppe B höhere n-Valeriatwerte zum Ende des zweiten Tagesprofils (Abbildung 22). Auch dieser Anstieg wird durch einen Ausreißer bewirkt. Bedingt durch tagesdynamische Unterschiede kann ein Einfluss des Messzeitpunktes auf die

n-Valeriatgehalte ermittelt werden. Dieser Zeiteffekt ist zu Beginn der Versuchsreihe stärker ausgeprägt (Tabellen 40 und 41).

4.2.2.7 i-Valeriat

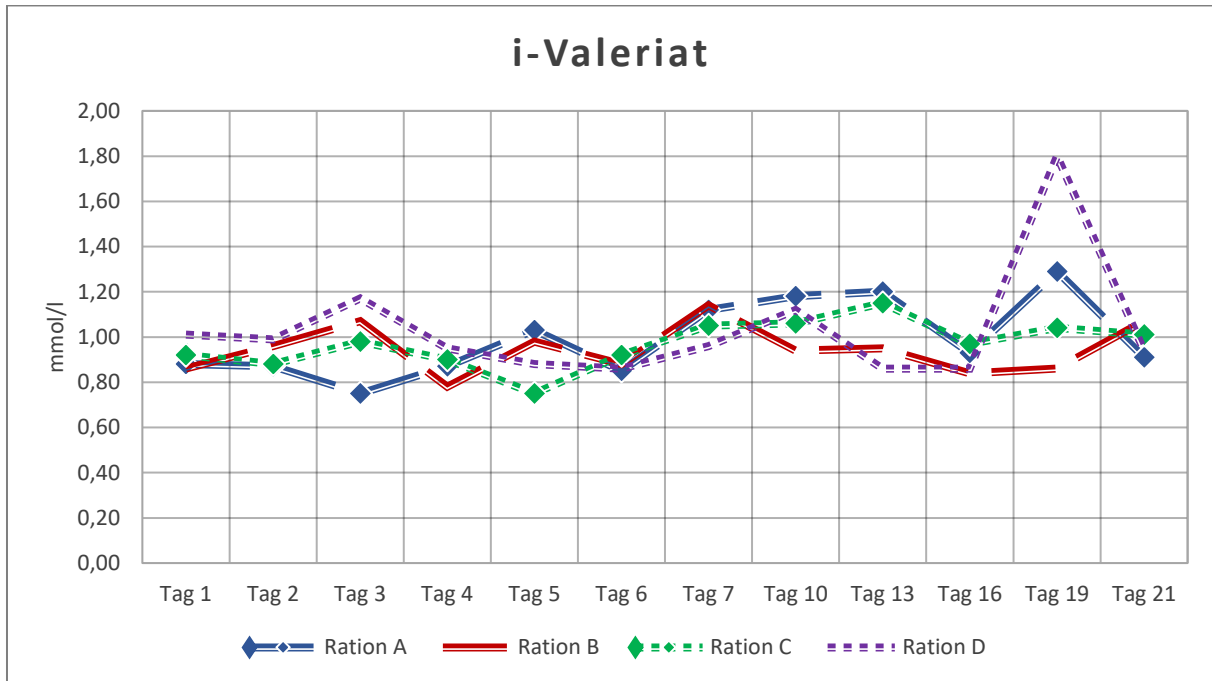


Abbildung 23: Mittlere i-Valeriat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 42: i-Valeriat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	0,99	0,50	1,73	0,740				
B	0,94	0,50	2,01		n. s.			
C	0,97	0,42	1,49		n. s.	n. s.		
D	1,03	0,64	3,15		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,058$				
				$p_{GT} = 0,329$				

Die Konzentrationen des i-Valeriat weisen zunächst rationsunabhängig vergleichbare mittlere Gehalte auf. An Tag 19 der Verlaufsuntersuchung kommt es zu einem Konzentrationsanstieg in den Gruppen A und D (Abbildung 23). Die hierbei in den Gruppen A und D ermittelten maximalen Mittelwerte sind jeweils auf einem Probanden zurückzuführen. Statistische Effekte sind nicht nachzuweisen (Tabelle 42).

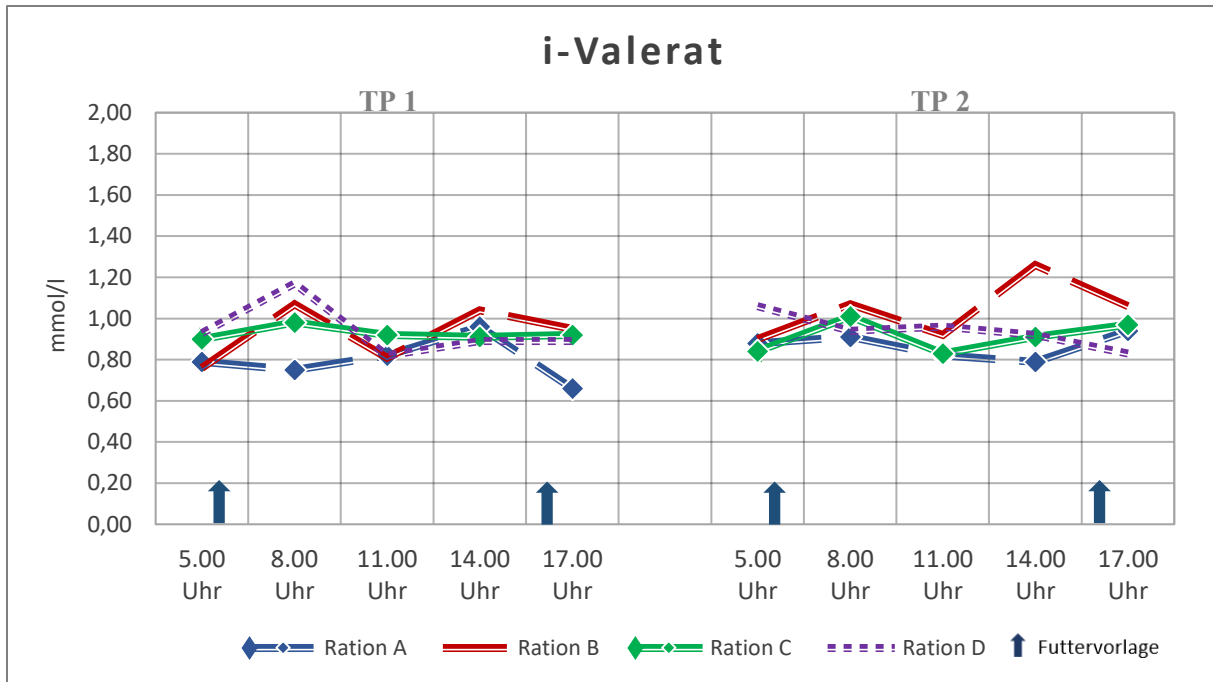


Abbildung 24: Mittlere i-Valeriat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 43: i-Valeriat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	0,80	0,50	1,08	0,356				
B	0,93	0,45	1,58		n. s.			
C	0,93	0,71	1,25		n. s.	n. s.		
D	0,94	0,45	2,21		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,162$				
				$p_{GT} = 0,260$				

Tabelle 44: i-Valeriat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	0,87	0,44	1,34	0,805				
B	1,04	0,56	2,95		n. s.			
C	0,91	0,36	1,27		n. s.	n. s.		
D	0,94	0,64	1,36		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,079$				
				$p_{GT} = 0,475$				

Die i-Valeriat-Konzentrationen sind im Untersuchungsverlauf sehr gleichförmig (Abbildung 24). Aufgrund der gering ausgeprägten tageszeitlichen Unterschiede sind keine signifikanten Differenzen zu ermitteln (Tabellen 43 und 44).

4.2.2.8 Gesamtkonzentration an flüchtigen Fettsäuren

Die mittleren Gesamtfettsäurenkonzentrationen bewegen sich während dieser Versuchsreihe in Bereichen von 79,5 mmol/l ($\bar{x}_{\min.}$; Ration C) bis 124,5 mmol/l ($\bar{x}_{\max.}$; Ration D).

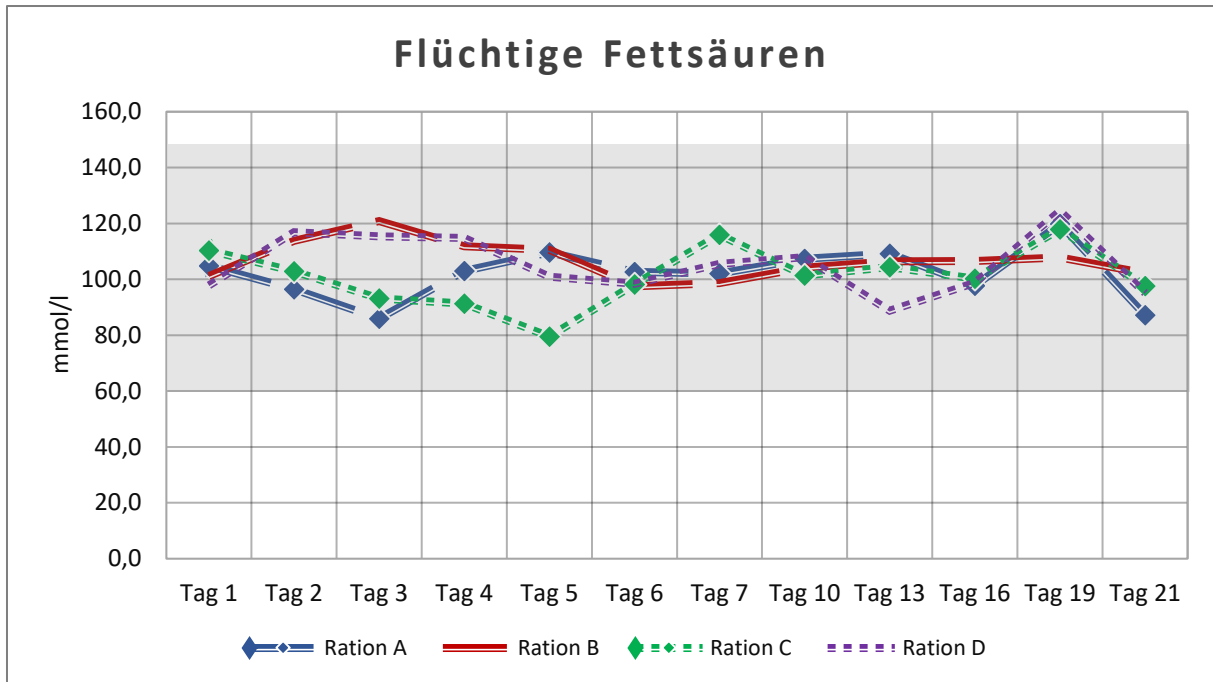


Abbildung 25: Mittlere Gesamtfettsäurenkonzentrationen (mmol/l) im Pansen saft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 45: Gesamtfettsäurenkonzentrationen [mmol/l] im Pansen saft
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	102,2	50,1	151,5	0,525				
B	106,8	78,2	172,3		n. s.			
C	101,1	50,8	131,8		n. s.	n. s.		
D	105,4	65,0	164,1		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,034$				
				$p_{G/T} = 0,277$				

In den jeweiligen Konzentrationsverläufen der Gesamtfettsäuren spiegeln sich hauptsächlich die Acetatgehalte wider. Dementsprechend finden sich bei den Rationen ohne Pufferzusatz tendenziell höhere Konzentrationen als bei den Rationen mit Pufferzusatz (Abbildung 25).

Bei der statistischen Prüfung der Daten kann für den Faktor Zeit ein schwach signifikanter Einfluss auf die Gesamtkonzentration der flüchtigen Fettsäuren nachgewiesen werden (Tabelle 45).

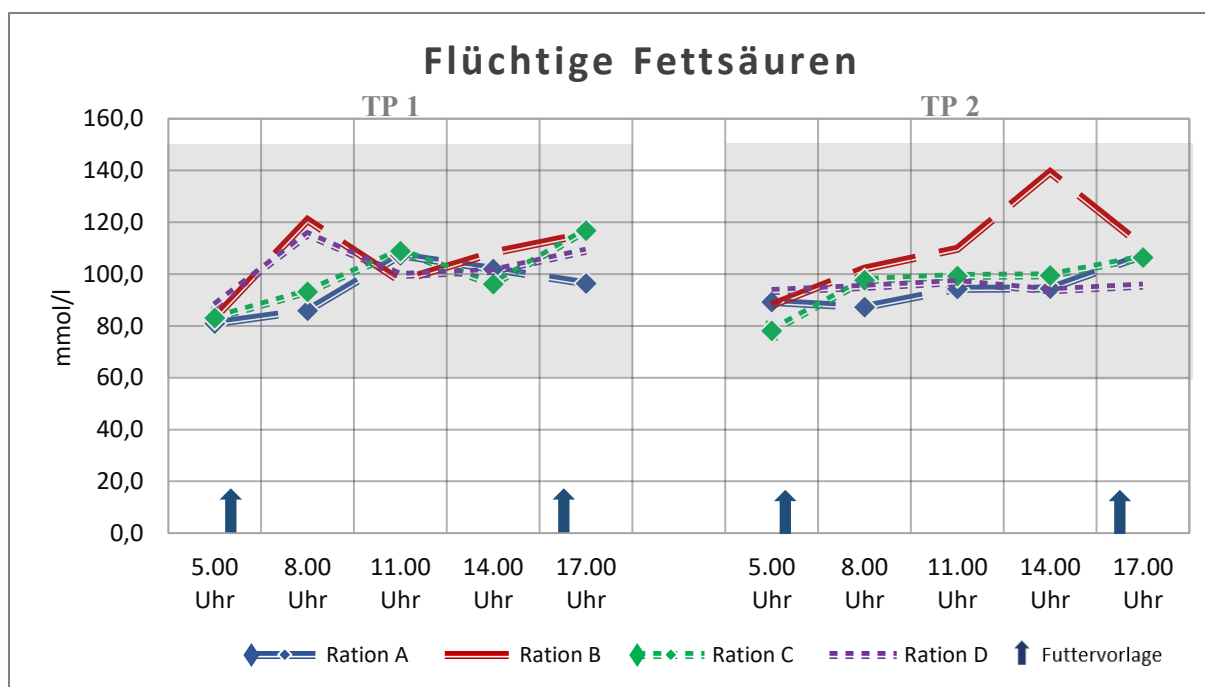


Abbildung 26: Mittlere Gesamtfettsäurenkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 46: Gesamtfettsäurenkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	94,5	50,1	122,8	0,677				
B	105,1	66,2	172,3		n. s.			
C	99,6	53,0	132,9		n. s.	n. s.		
D	102,7	73,3	147,6		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,328$				

Tabelle 47: Gesamtfettsäurenkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	94,5	66,1	115,1	0,435				
B	110,0	57,3	297,3		n. s.			
C	96,2	35,5	133,9		n. s.	n. s.		
D	94,9	65,0	127,5		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,050$				
				$p_{G/T} = 0,735$				

Die zwölfstündigen Verlaufsuntersuchungen zeigen für die Gesamtfettsäuren eine den Acetatgehalten nahezu identische Konzentrationsentwicklung (Abbildung 26).

Der Anstieg in der Ration B während des TP 2 ist auf einen Ausreißer zurückzuführen. So zeigt sich bei einem Probanden ein deutlicher Konzentrationsanstieg auf 297,3 mmol/l. Dieser geht mit einem Pansen-pH-Wert von 6,21 zum Beprobungszeitpunkt um 14 Uhr und von 5,84 zum Beprobungszeitpunkt um 17 Uhr einher. Die aufgenommene Futtermenge zwischen der Morgenfütterung um 6 Uhr bis zur Probenahme um 14 Uhr beträgt 11,4 kg Originalsubstanz.

Im Rahmen der statistischen Untersuchung kann ein Einfluss des Messzeitpunktes auf die Gesamtkonzentration der flüchtigen Fettsäuren ermittelt werden. Dieser ist zu Beginn der Versuchsreihe stärker ausgeprägt als an deren Ende (Tabellen 46 und 47).

4.2.2.9 Entwicklung der prozentualen Fettsäurenanteile im Pansensaft

Die Entwicklung der prozentualen Fettsäurenanteile im Pansensaft ist in Abbildung 27 dargestellt.

Die mittleren molaren Anteile an Acetat, Butyrat und Valeriat bewegen sich rationsübergreifend innerhalb der entsprechenden Referenzbereiche. Bei den Fettsäurenanteilen des Propionats sind Abweichungen zu beobachten. So liegen 44 der 96 (Häckselstroh, Rationen A und B) bzw. 72 der 96 Einzelwerte (Strohmehl, Rationen C und D) oberhalb des Referenzbereiches von 25 mol%. Dies führt bei den Probanden aller Fütterungstypen zu mittleren molaren Anteilen der Propionsäure zwischen 21,5 % und 29,8 %.

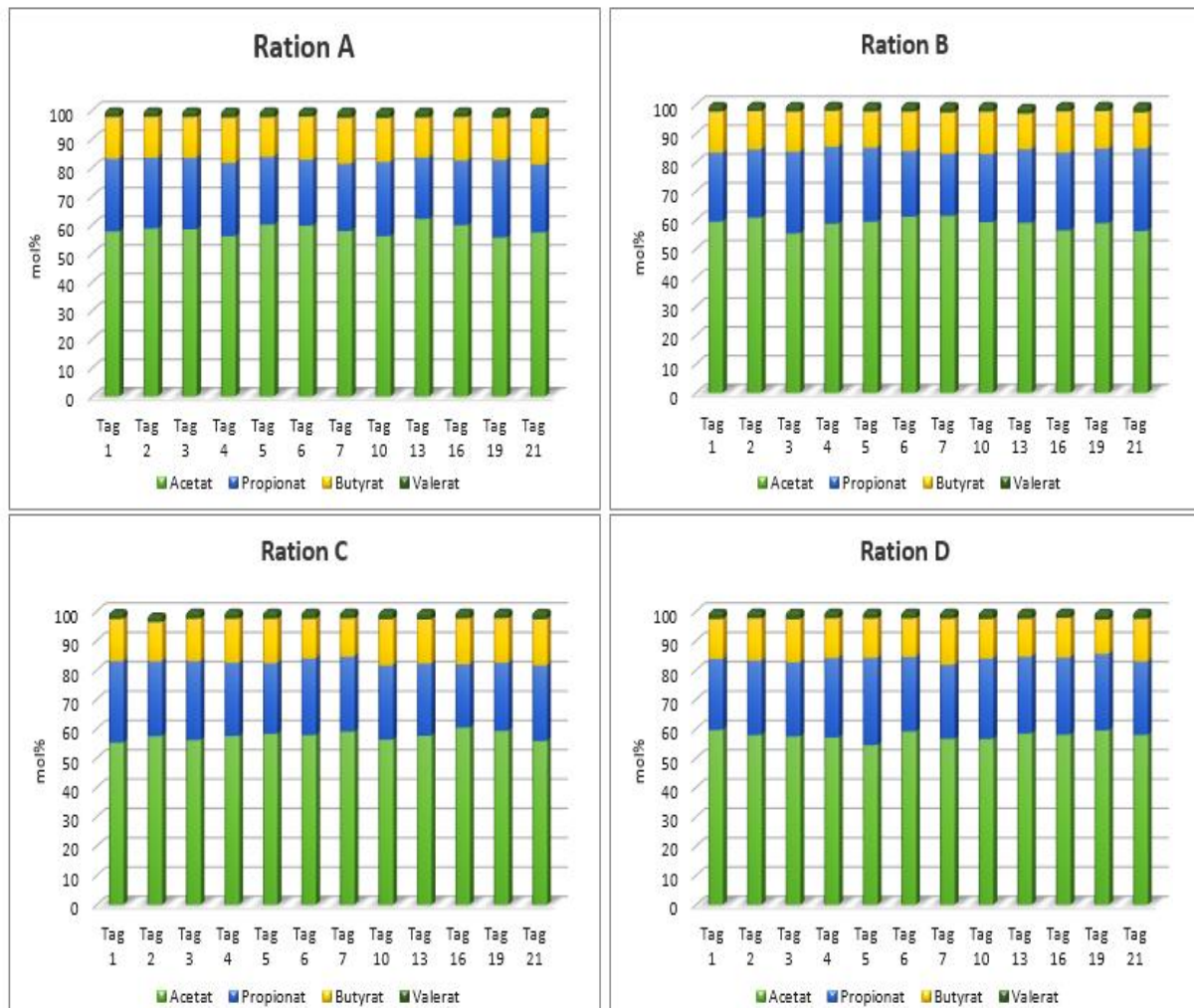


Abbildung 27: Mittlere prozentuale Verteilung der SCFA im Pansensaft – Untersuchungsverlauf

4.2.3 Elektrolyte

4.2.3.1 Chlorid

Rationsübergreifend bewegen sich die mittleren ruminalen Chloridgehalte innerhalb der Referenz von < 30 mmol/l (Kraft et al. 2005).

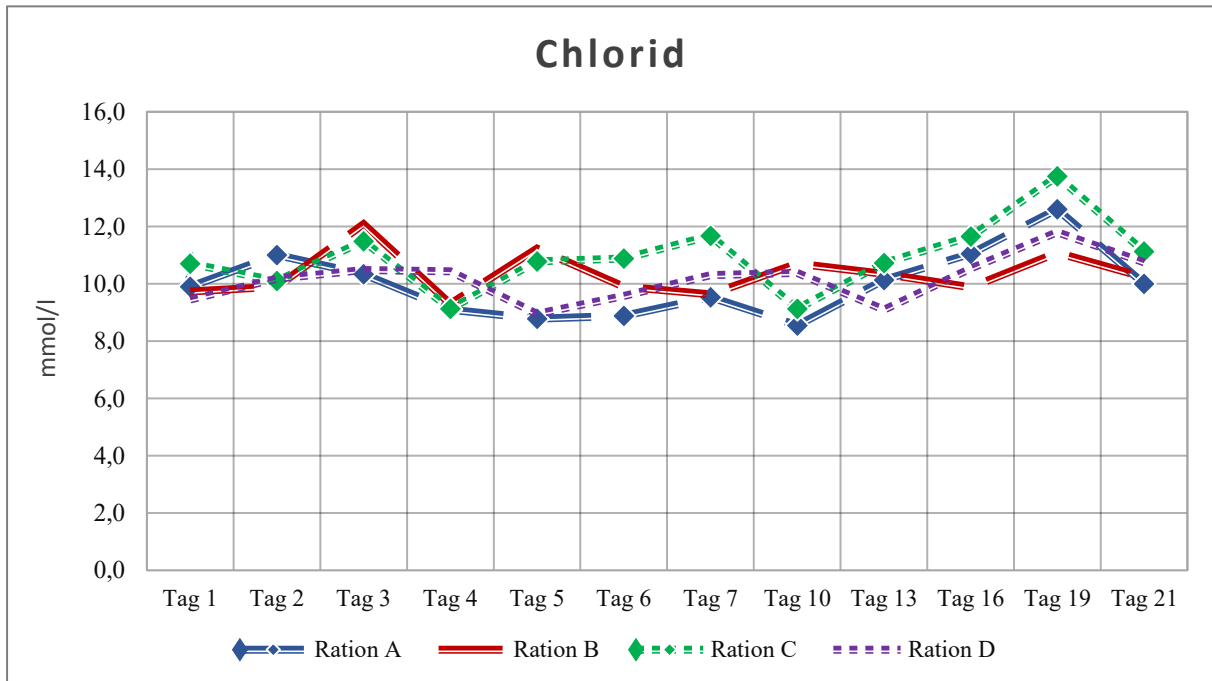


Abbildung 28: Mittlere Chloridkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 48: Chloridkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	9,99	6,0	16,5	0,544	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	10,33	6,5	14,8					
C	10,93	5,7	22,8					
D	10,16	6,7	15,4					
				$p_T = 0,022$				
				$p_{G/T} = 0,494$				

Hinsichtlich der Chloridkonzentrationen im Pansensaft unterscheiden sich die verschiedenen Fütterungsgruppen nur wenig (Abbildung 28). Im Untersuchungsverlauf lässt sich ein statistisch sicherer Einfluss auf die Höhe der Chloridkonzentration für den Faktor Zeit ermitteln (Tabelle 48).

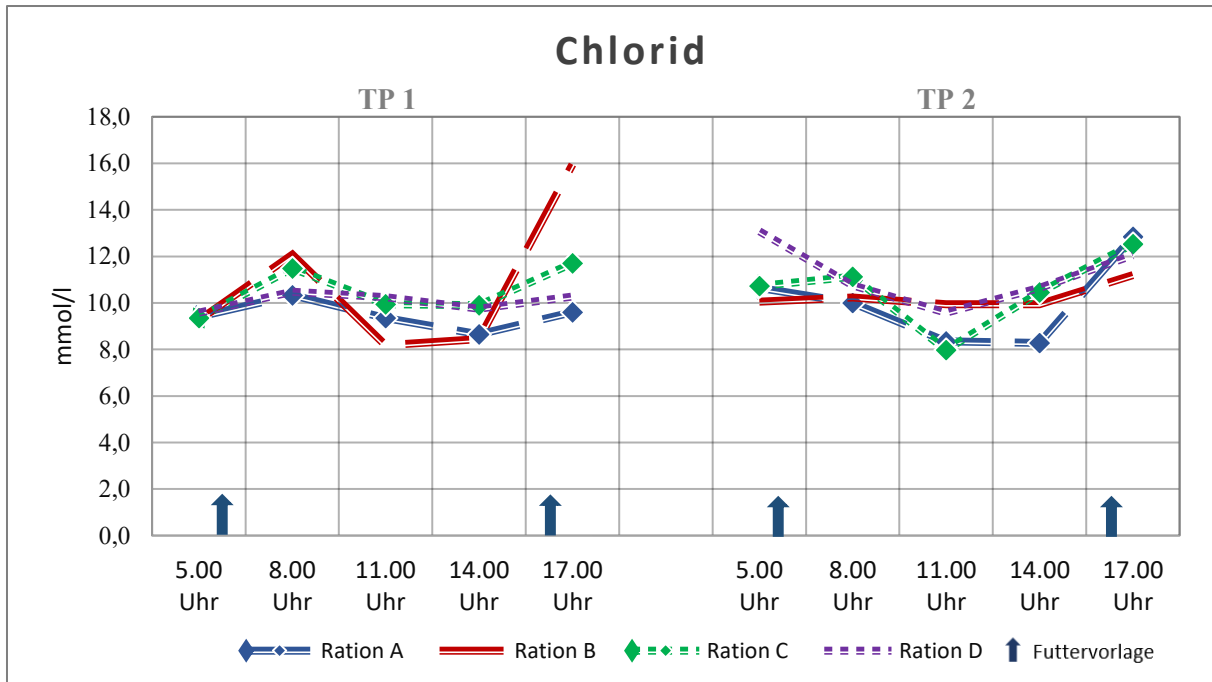


Abbildung 29: Mittlere Chloridkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 49: Chloridkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	9,5	6,3	13,4	0,480	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	10,8	5,5	21,0					
C	10,5	7,0	16,5					
D	10,1	8,8	11,8					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{GT} = 0,033$				

Tabelle 50: Chloridkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	10,03	6,9	17,7	0,624	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	10,28	7,7	13,1					
C	10,56	5,6	15,3					
D	11,22	7,2	17,2					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{GT} = 0,354$				

In beiden zwölfstündigen Verlaufsuntersuchungen stellen sich die ruminalen Gehaltsentwicklungen des Chlorids sehr homogen dar. Lediglich an Tag 3 kann im Anschluss an die Nachmittagsfütterung ein verstärkter Anstieg der Chloridkonzentration in der Fütterungsgruppe B ermittelt werden (Abbildung 29). Bedingt durch diese tageszeitlichen Unterschiede ist für beide Tage ein hochsignifikanter Einfluss des Messzeitpunktes auf die Höhe der ruminalen Chloridkonzentrationen zu bestimmen (Tabellen 49 und 50).

4.2.3.2 Calcium

Die mittleren ruminalen Calciumkonzentrationen bewegen sich im gesamten Untersuchungszeitraum innerhalb der Referenz von 1 bis 10 mmol/l (Martens 2005).

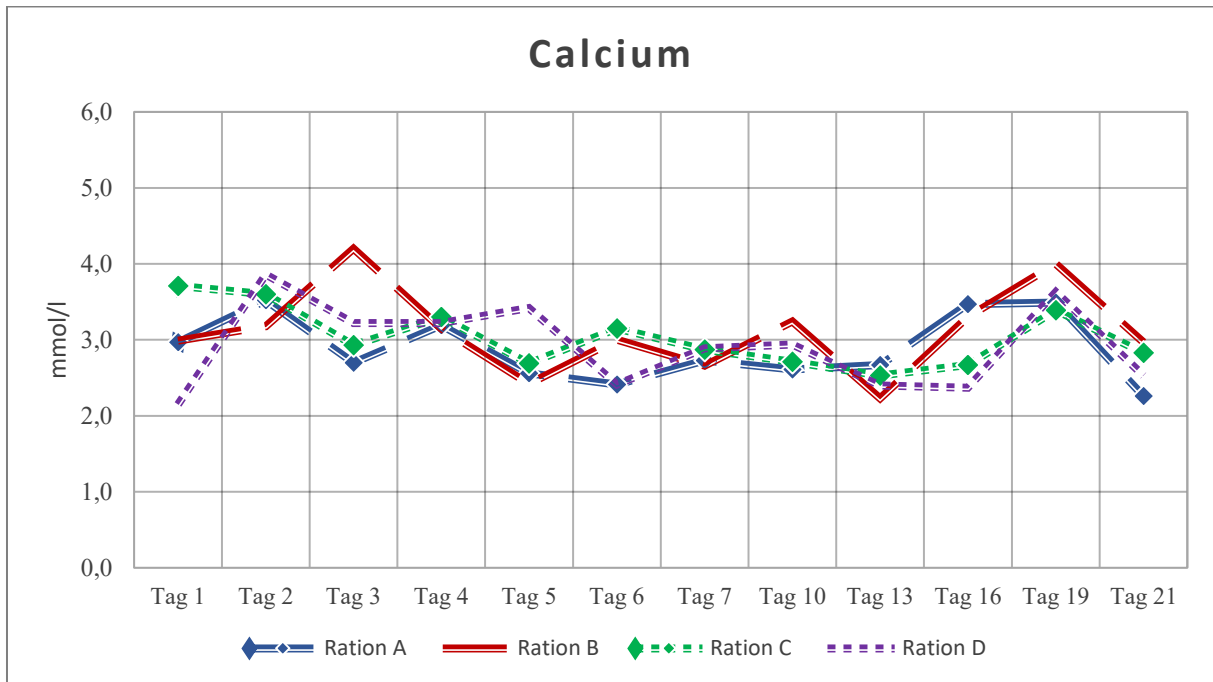


Abbildung 30: Mittlere Calciumkonzentrationen (mmol/l) im Pansen saft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 51: Calciumkonzentrationen [mmol/l] im Pansen saft

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	2,88	1,30	5,03	0,710	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	3,11	1,49	6,07					
C	3,03	1,33	5,30					
D	2,92	1,08	5,58					
				$p_T = 0,009$				
				$p_{GT} = 0,337$				

Anstieg und Abfall der mittleren ruminalen Calciumkonzentrationen verhalten sich, unabhängig von den getesteten Rationen, sehr ähnlich (Abbildung 30). Aufgrund dieser homogenen Wertentwicklung können keine statistisch sicheren Gruppeneffekte auf die Höhe des Calciumgehaltes ermittelt werden. Mit $p = 0,009$ kann für den Faktor Zeit ein signifikanter Einfluss auf die ruminale Calciumkonzentration nachgewiesen werden (Tabelle 51).

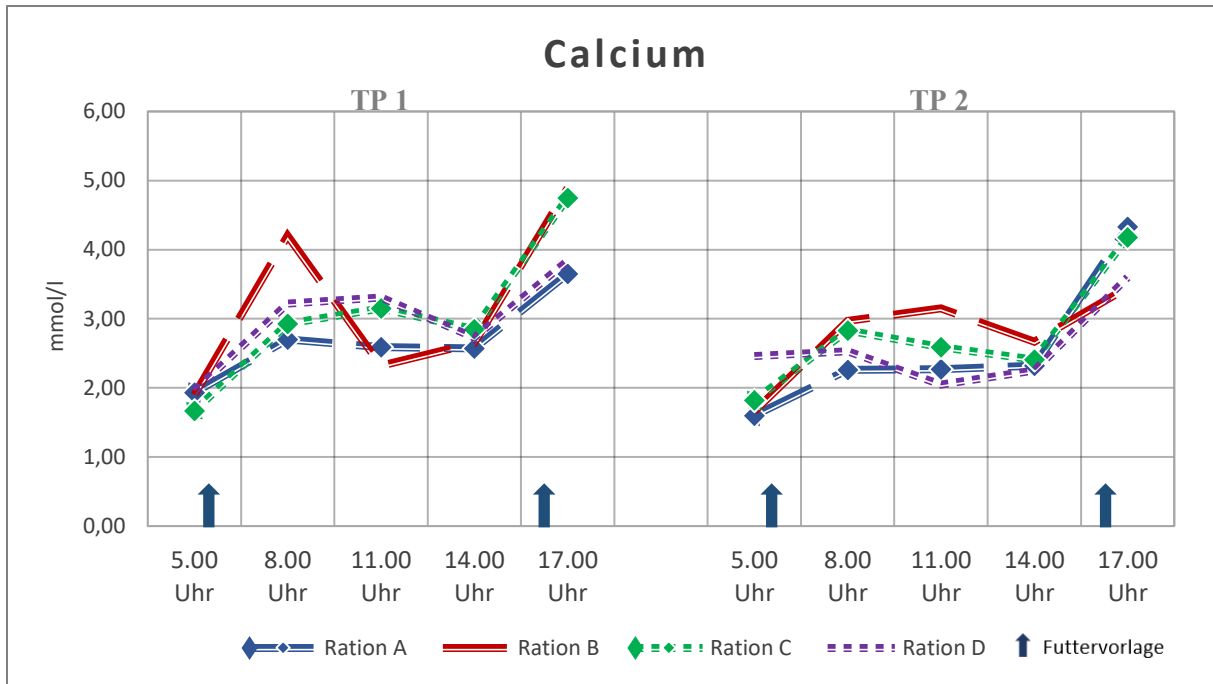


Abbildung 31: Mittlere Calciumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 52: Calciumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	2,69	1,54	4,59	0,241	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	3,19	1,41	6,15					
C	3,07	0,91	5,75					
D	3,01	1,78	4,26					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,144$				

Tabelle 53: Calciumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	2,56	1,30	5,55	0,912	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	2,78	1,29	5,59					
C	2,77	1,33	4,18					
D	2,58	1,47	6,49					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,190$				

Im Anschluss an die Futtervorlage zeigt sich ein Anstieg der Calciumgehalte im Pansensaft. Besonders deutlich ist diese Zunahme jeweils eine Stunde nach der Futtervorlage am Nachmittag (Abbildung 31). Für den Zeitpunkt der Probenentnahme kann für beide Tagesverlaufsuntersuchungen ein hochsignifikanter Einfluss nachgewiesen werden (Tabellen 52 und 53).

4.2.3.3 Magnesium

In allen Fütterungsgruppen verhalten sich die ruminalen Gehalte an Magnesium den Calciumkonzentrationen sehr ähnlich. Die Zu- und Abnahmen der Magnesiumkonzentrationen verlaufen rationsintern sowie rationsvergleichend weitestgehend parallel zueinander (Abbildung 32).

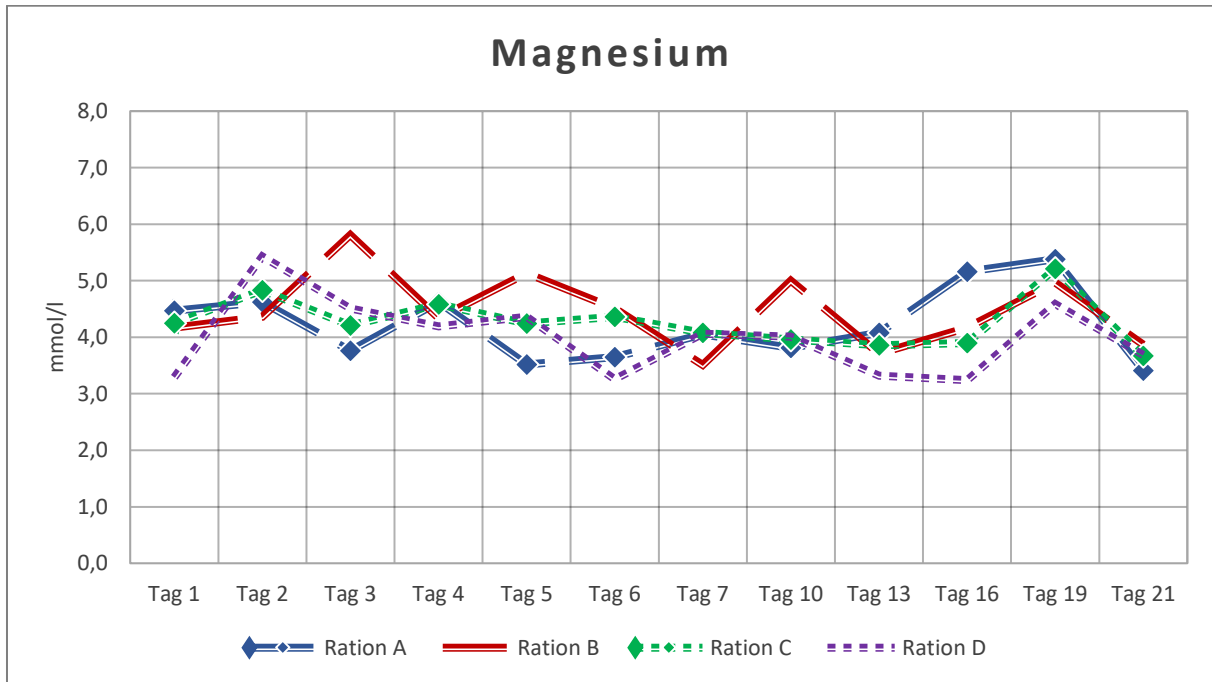


Abbildung 32: Mittlere Magnesiumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 54: Magnesiumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	4,21	2,02	6,54	0,518				
B	4,46	1,82	9,23		n. s.			
C	4,26	1,64	8,37		n. s.	n. s.		
D	4,00	1,70	7,02		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,011$				
				$p_{G/T} = 0,424$				

Während für den Zeiteffekt ein schwach signifikanter Einfluss auf die Höhe des Magnesiumgehaltes zu bestimmen ist, lässt sich für den Gruppeneffekt ein signifikanter Einfluss nicht nachweisen (Tabelle 54).

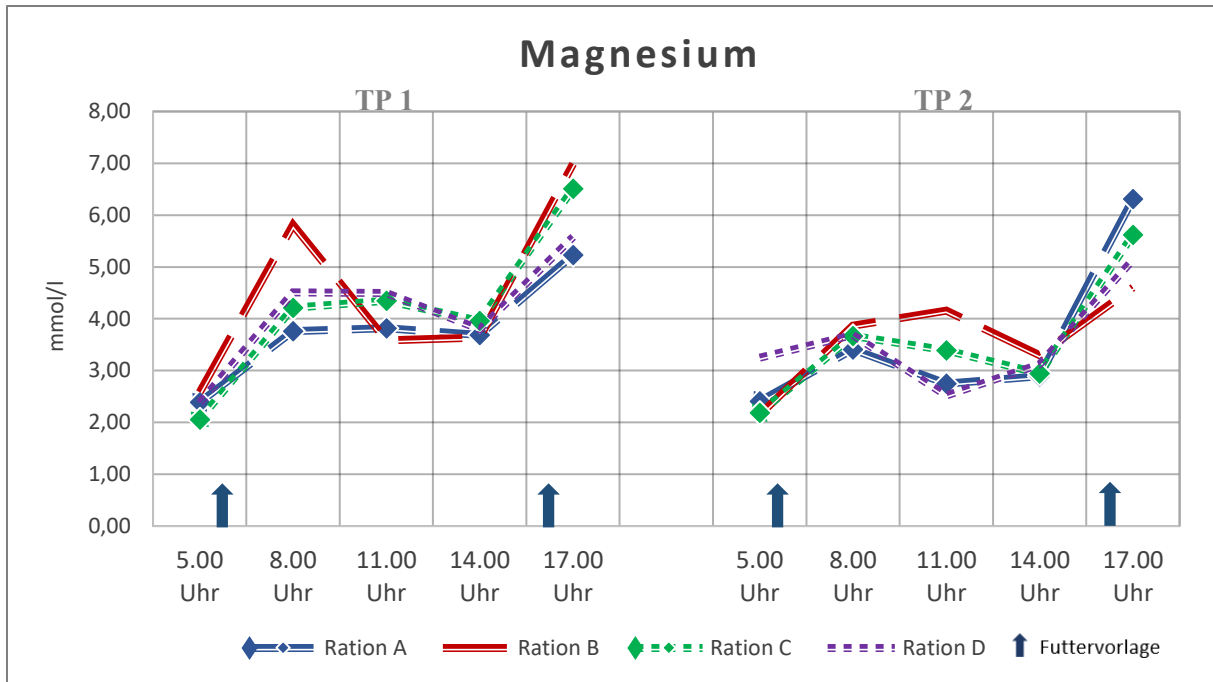


Abbildung 33: Mittlere Magnesiumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 55: Magnesiumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	3,78	1,36	6,09	0,389	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	4,52	2,12	8,51					
C	4,22	0,69	7,24					
D	4,15	2,13	6,78					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,160$				

Tabelle 56: Magnesiumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	3,55	1,66	8,68	0,772	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	3,62	1,34	6,08					
C	3,56	1,51	7,74					
D	3,54	1,90	5,86					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,101$				

Hinsichtlich der Magnesiumgehalte im Pansensaft können für beide Tagesverlaufsuntersuchungen mit $p < 0,001$ hochsignifikante Einflüsse des Messzeitpunktes nachgewiesen werden (Tabellen 55 und 56).

4.2.3.4 Natrium

Einen deutlich wellenförmigen Verlauf weisen die ruminalen Natriumkonzentrationen auf (Abbildung 34). Die Schwankungsbreite der Mittelwerte über den Untersuchungszeitraum fällt bei den Probanden, denen die Häckselstroh enthaltenden Rationen A und B vorgelegt wurden, mit 27,1 mmol/l deutlicher aus als bei den Tieren, deren Futter Strohmehl beinhaltete (16,9 mmol/l).

Während die mittleren Natriumgehalte zu jeder Zeit innerhalb der Referenz liegen, können bei den Einzelwerten Überschreitungen festgestellt werden. Mit jeweils 14 Einzelwerten (bei n = 80) oberhalb der Referenz zeigen sich diese am häufigsten bei den Probanden der Fütterungsgruppen mit zusätzlicher Puffergabe (Rationen A und C).

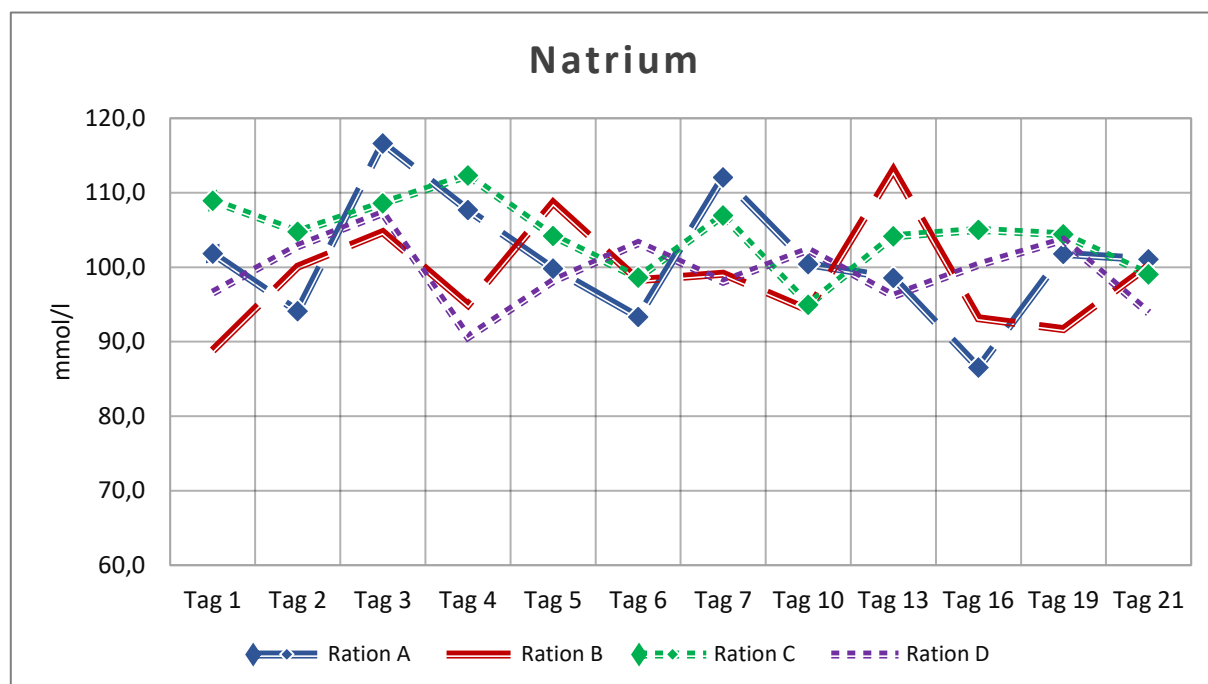


Abbildung 34: Mittlere Natriumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 57: Natriumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	101,2	71,9	134,6	0,453	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	104,3	40,2	139,0					
C	98,9	77,5	156,7					
D	99,4	76,0	129,8					
				$p_T = 0,448$				
				$p_{G/T} = 0,548$				

Weder für den Zeit- noch den Gruppeneffekt lässt sich ein signifikanter Einfluss auf die Höhe des Natriumgehaltes in Abhängigkeit von Zeit oder Fütterungsgruppe nachweisen (Tabelle 57).

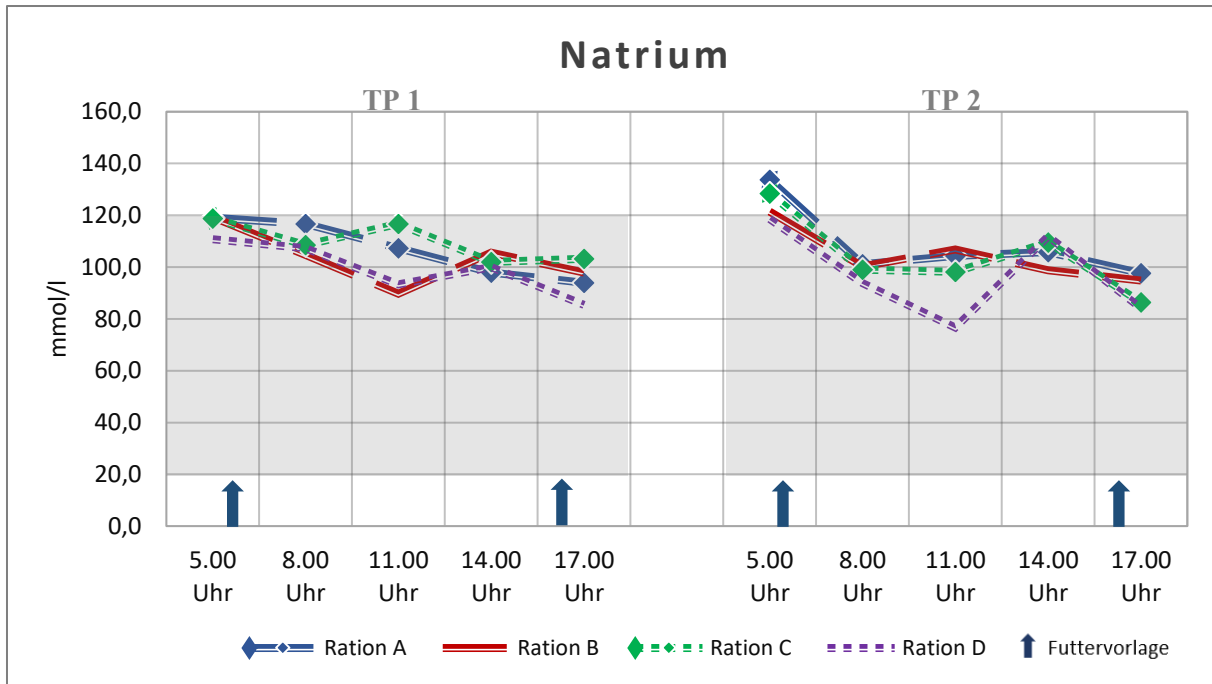


Abbildung 35: Mittlere Natriumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 58: Natriumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	107,0	72,3	134,4	0,450	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	103,5	66,0	131,5					
C	109,9	77,3	147,3					
D	99,4	77,7	128,3					
				$p_T = 0,009$				
				$p_{G/T} = 0,247$				

Tabelle 59: Natriumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	108,5	67,0	165,6	0,475	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	104,4	73,1	160,3					
C	104,3	68,5	161,2					
D	97,0	56,8	128,3					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,317$				

In beiden Tagesprofilen sind die mittleren Natriumgehalte ähnlich. Während an Tag 3 eine geringfügige Unterscheidung hinsichtlich des Puffereinsatzes möglich ist, kommt es bis zu Tag 21 zu einer weiteren Annäherung der jeweiligen Mittelwerte. Am letzten Tag der Untersuchungsreihe zeigt sich bei den Tieren der Fütterungsgruppe D im Anschluss an die morgendliche Futtermvorlage ein verstärkter Abfall der ruminalen Natriumkonzentration (Abbildung 35).

Im Rahmen der statistischen Untersuchung können weder rationsübergreifend noch rationsintern signifikante Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen bestimmt werden. Für beide Tage ist ein signifikanter Einfluss des Messzeitpunktes auf die Höhe der Natriumgehalte in der Pansenflüssigkeit zu ermitteln (Tabellen 58 und 59).

4.2.3.5 Kalium

Im Unterschied zum Natrium weisen die ruminalen Konzentrationen des Kaliums ein konstantes, aber niedriges Niveau auf. Lediglich 34 der insgesamt 320 für die vier Rationsgruppen ermittelten Einzelwerte (6 [Rationen A und C] bis 13 [Ration B]) lassen sich dem Referenzbereich zuordnen. Entsprechend niedrig fallen die mittleren Kaliumgehalte in der Pansenflüssigkeit aus (Abbildung 36).

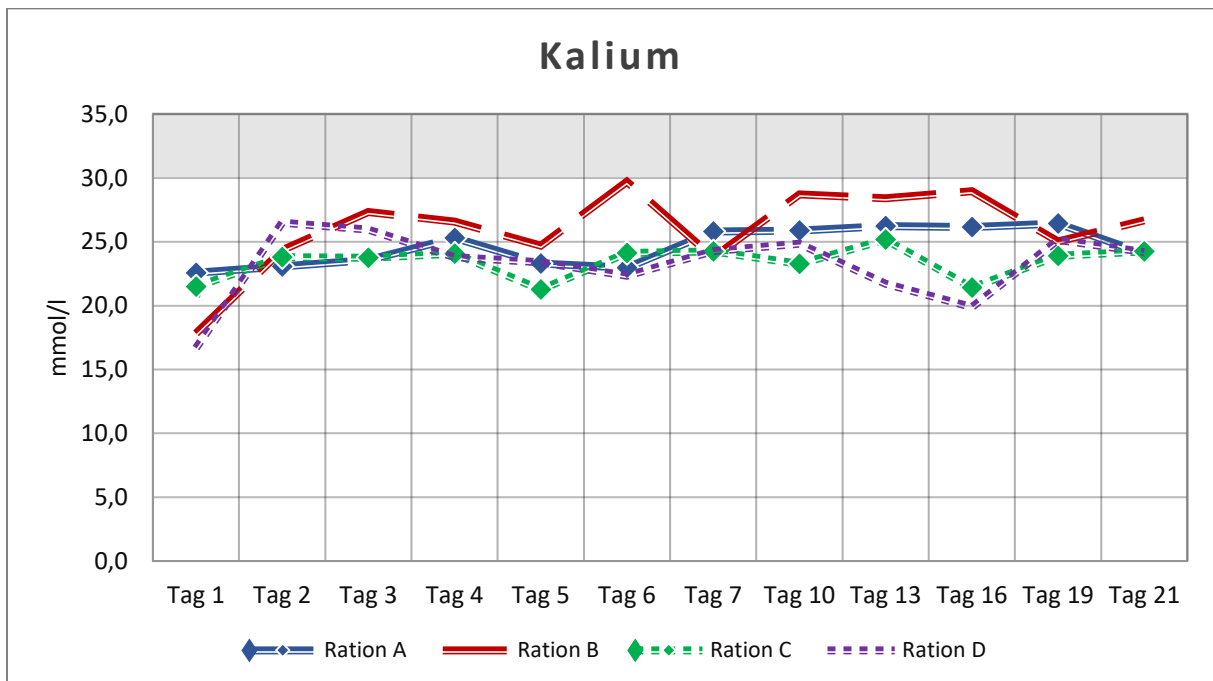


Abbildung 36: Mittlere Kaliumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 60: Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	24,6	17,6	33,4	0,035				
B	26,0	11,4	42,1		*			
C	23,4	14,7	32,6		n. s.	*		
D	23,2	14,4	31,7		**	***	n. s.	
				$p_T = 0,013$				
				$p_{G/T} = 0,576$				

Im Untersuchungsverlauf sind hinsichtlich der ruminalen Kaliumkonzentration signifikante Differenzen zwischen den verschiedenen Fütterungsgruppen nachweisbar. Besonders

deutlich fällt der Unterschied zwischen den Rationen B und D aus. Ebenso besteht ein signifikanter Einfluss der Zeit auf die Höhe der Kaliumkonzentration (Tabelle 60).

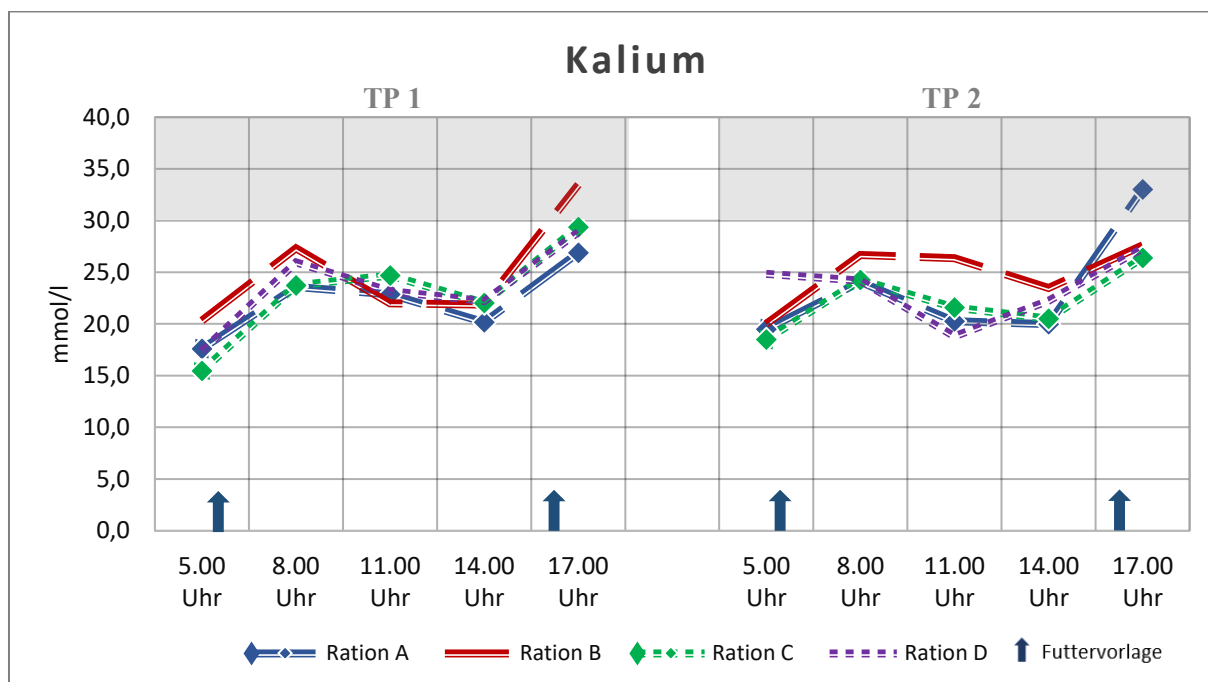


Abbildung 37: Mittlere Kaliumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 61: Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	22,2	14,0	31,6	0,329	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	25,0	18,5	38,3					
C	23,1	13,7	31,5					
D	23,5	14,1	32,1					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,449$				

Tabelle 62: Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	23,4	15,8	40,5	0,490	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	24,8	13,7	34,4					
C	22,3	16,6	32,1					
D	23,5	14,0	34,5					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,263$				

Ähnlich wie der Calcium- und der Magnesiumgehalt ist auch die Kaliumkonzentration in der Pansenflüssigkeit tageszeitlichen Schwankungen unterworfen (Abbildung 37). Für beide Tage kann ein hochsignifikanter Einfluss des Messzeitpunktes auf die Höhe der ruminalen Kaliumkonzentration ermittelt werden (Tabellen 61 und 62).

4.2.3.6 Summe aus Natrium und Kalium

Die starken Schwankungen der ruminalen Natriumkonzentrationen führen aufgrund der weitestgehend konstanten Kaliumgehalte dazu, dass sich in der Summe dieser beiden Kationen die Konzentrationsänderungen des Natriums deutlich widerspiegeln (Abbildung 38).

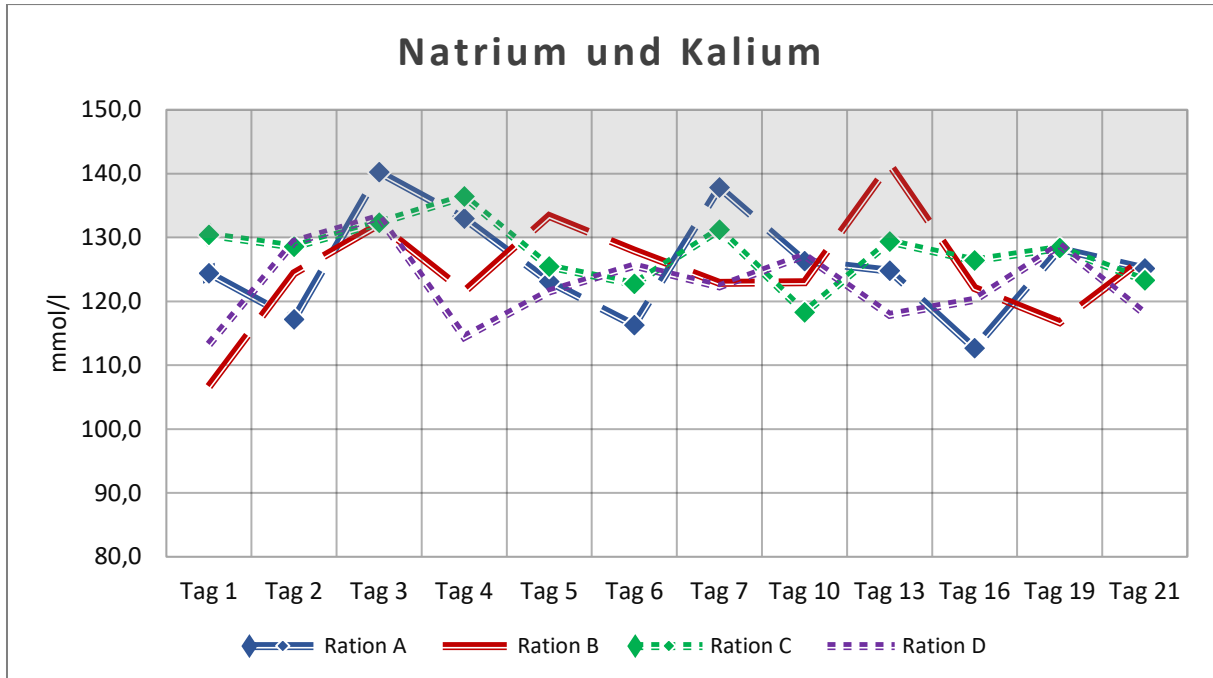


Abbildung 38: Mittlere Natrium- und Kaliumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf

Tabelle 63: Natrium- und Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	125,8	92,9	160,6	0,516	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	124,9	51,6	172,8					
C	127,7	98,2	181,8					
D	122,7	93,1	159,0					
				$p_T = 0,516$				
				$p_{G/T} = 0,501$				

Weder für den Zeit- noch den Gruppeneffekt lässt sich ein signifikanter Einfluss auf die Höhe der Summe von Natrium- und Kaliumgehalten in Abhängigkeit von Zeit oder Fütterungsgruppe nachweisen (Tabelle 63).

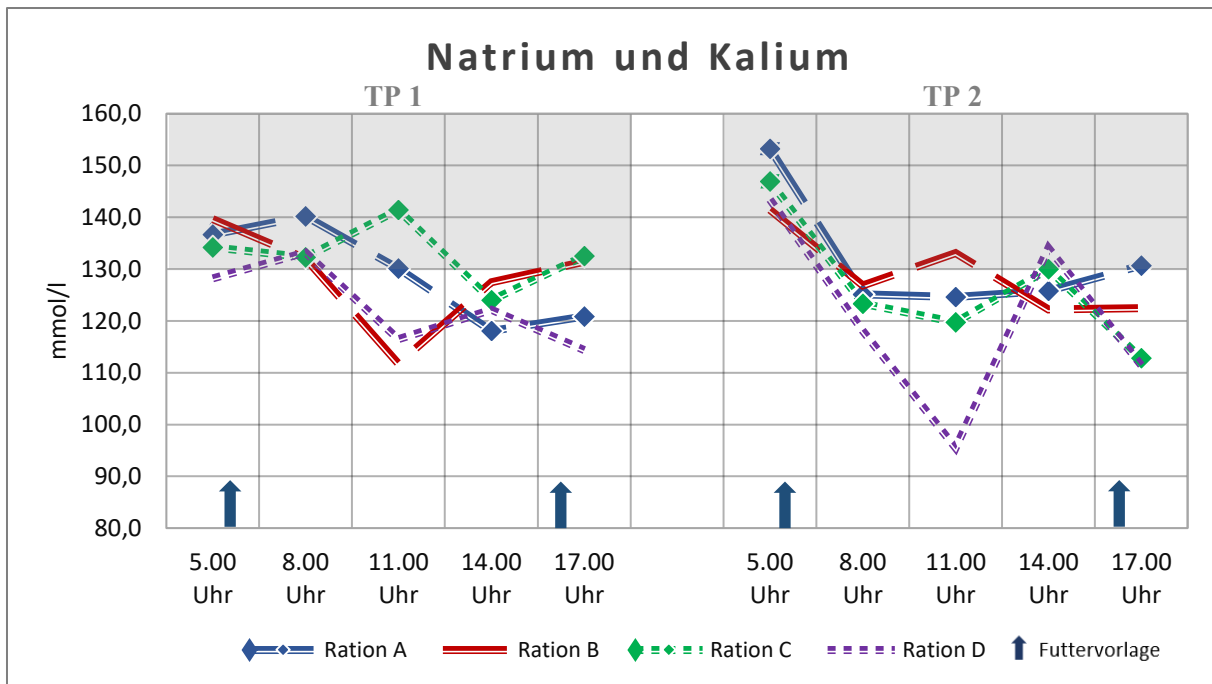


Abbildung 39: Mittlere Natrium- und Kaliumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile

Tabelle 64: Natrium- und Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	129,2	98,2	155,6	0,430	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	128,5	84,5	158,0					
C	132,9	99,7	171,0					
D	122,9	100,5	144,4					
				$p_T = 0,175$				
				$p_{G/T} = 0,246$				

Tabelle 65: Natrium- und Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	131,9	85,6	182,7	0,289	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	129,2	97,7	180,6					
C	126,6	85,1	183,0					
D	120,5	73,3	162,0					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,187$				

Die Darstellung der Summe dieser beiden Kationen reflektiert vornehmlich die Konzentrationsänderungen des Natriums (Abbildung 39).

Für die Summe der ruminalen Natrium- und Kaliumkonzentrationen sind weder für den Faktor Gruppe noch für die Wechselwirkung zwischen den Faktoren Gruppe und Zeit signifikante Unterschiede nachzuweisen. Für den letzten Untersuchungstag kann ein hochsignifikanter Einfluss des Faktors Zeit ermittelt werden (Tabelle 65).

4.3 Blut

Aufgrund der ausgeübten Sorgfalt und des Entnahmeregimes zeigen sich im Bereich der Jugularvenen keinerlei Komplikationen infolge der wiederholten Blutentnahmen.

4.3.1 Blutgasanalyse im venösen Blut

Zur Beurteilung des Säuren-Basen-Status im Blut findet die körpertemperaturkorrigierte Blutgasanalyse Anwendung: Vor jeder Blutentnahme wird rektal die Körpertemperatur ermittelt. Diese liegt mit Ausnahme von neun Werten (n = 320) innerhalb der physiologischen Norm von 38,0 bis 39,0 °C. Die festgestellten Überschreitungen erreichen weder den fieberhaften Bereich von > 39,5 °C, noch treten sie in aufeinanderfolgenden Messungen auf.

4.3.1.1 pH-Wert

Abbildung 40 zeigt die mittleren venösen Blut-pH-Werte im Untersuchungsverlauf. Diese bewegen sich rationsübergreifend im Referenzbereich von $7,40 \pm 0,05$ (Gäbel 2005).

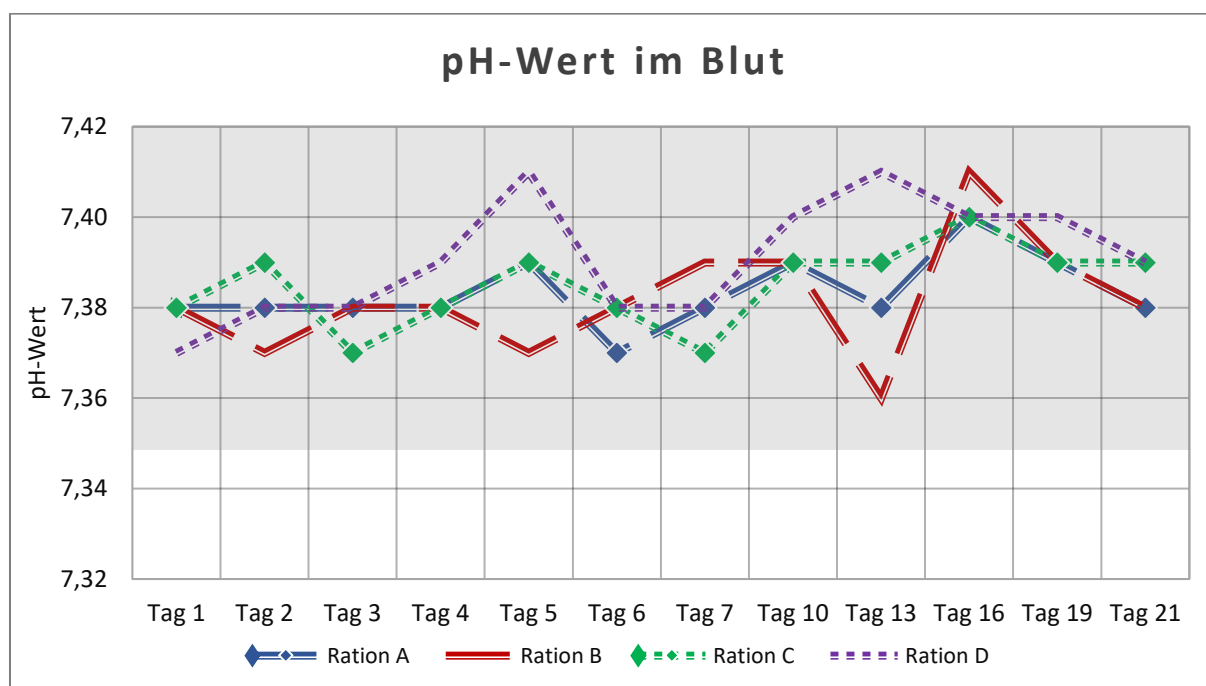


Abbildung 40: Mittlere pH-Werte im venösen Blut – Untersuchungsverlauf

Tabelle 66: pH-Werte im venösen Blut
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	7,38	7,33	7,44	0,338				
B	7,38	7,34	7,46		n. s.			
C	7,39	7,32	7,43		n. s.	n. s.		
D	7,39	7,35	7,43		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,003$ $p_{G/T} = 0,571$				

Abweichungen aus dem physiologischen Bereich lassen bei den individuellen Blut-pH-Werten festzustellen. Messwerte unterhalb der Referenz kommen dabei häufiger vor als Überschreitungen.

Für den pH-Wert des venösen Blutes ist ein statistisch sicherer Einfluss des Faktors Zeit nachweisbar (Tabelle 66).

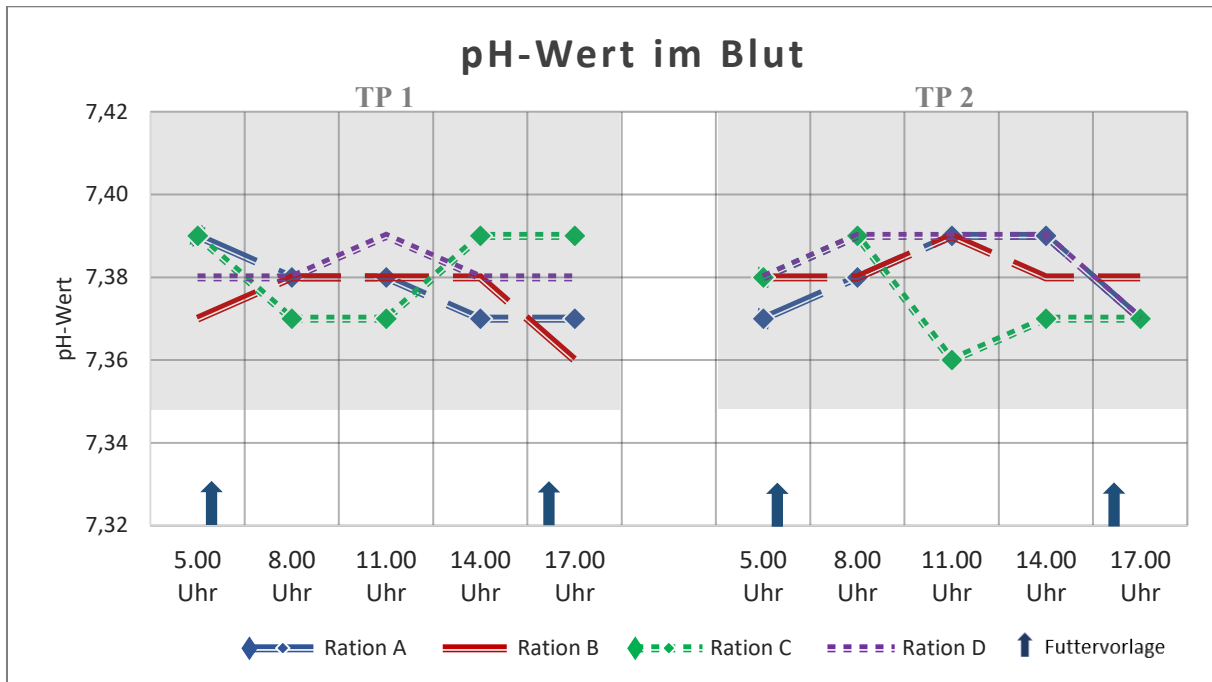


Abbildung 41: Mittlere pH-Werte im venösen Blut – Tagesprofile

Tabelle 67: pH-Werte im venösen Blut an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	7,38	7,34	7,40	0,503	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	7,37	7,31	7,39					
C	7,38	7,34	7,41					
D	7,38	7,34	7,41					
				$p_T = 0,905$				
				$p_{G/T} = 0,274$				

Tabelle 68: pH-Werte im venösen Blut an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	7,38	7,34	7,41	0,712	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	7,38	7,34	7,43					
C	7,37	7,33	7,40					
D	7,38	7,35	7,43					
				$p_T = 0,156$				
				$p_{G/T} = 0,217$				

Hinsichtlich des venösen Blut pH-Wertes sind für die Tagesverlaufsuntersuchungen weder für die Faktoren Gruppe und Zeit noch für deren Interaktion statistisch signifikante Einflüsse festzustellen (Tabellen 67 und 68). Lediglich bei den Probanden der Ration C wird zwischen diesen beiden Tagen ein rationsabhängiger Zeiteffekt ($p_T = 0,010$) auf die Ausprägung des pH-Wertes ermittelt.

4.3.1.2 Base Excess – Basenüberschuss

Die Entwicklung der mittleren BE über den Untersuchungsverlauf zeigt die Abbildung 42. An einzelnen Versuchstagen sind Überschreitungen des Referenzbereiches festzustellen.

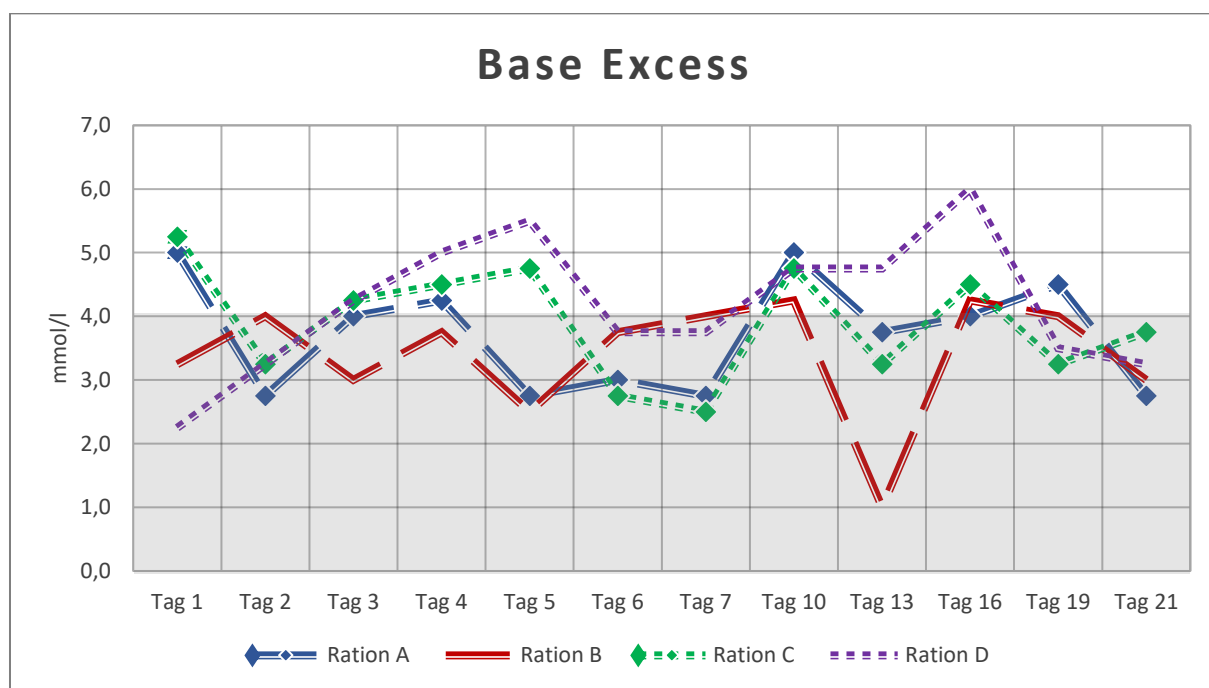


Abbildung 42: Mittlere Base Excesse (mmol/l) im venösen Blut – Untersuchungsverlauf

Tabelle 69: Base Excesse [mmol/l] im venösen Blut

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	3,7	-1,0	10,0	0,690				
B	3,4	-3,0	10,0		n. s.			
C	3,9	-2,0	10,0		n. s.	n. s.		
D	4,2	-3,0	10,0		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,152$ $p_{G/T} = 0,654$				

Die mittleren BE bewegen sich rationsübergreifend im oberen Referenzbereich. Vereinzelt wird dieser überschritten. Häufigere und stärker ausgeprägte Wertanstiege lassen sich bei der Fütterungsgruppe D beobachten. Hinsichtlich des Basenüberschusses sind weder für die Faktoren Gruppe und Zeit noch für deren Interaktion statistisch signifikante Einflüsse zu ermitteln (Tabelle 69).

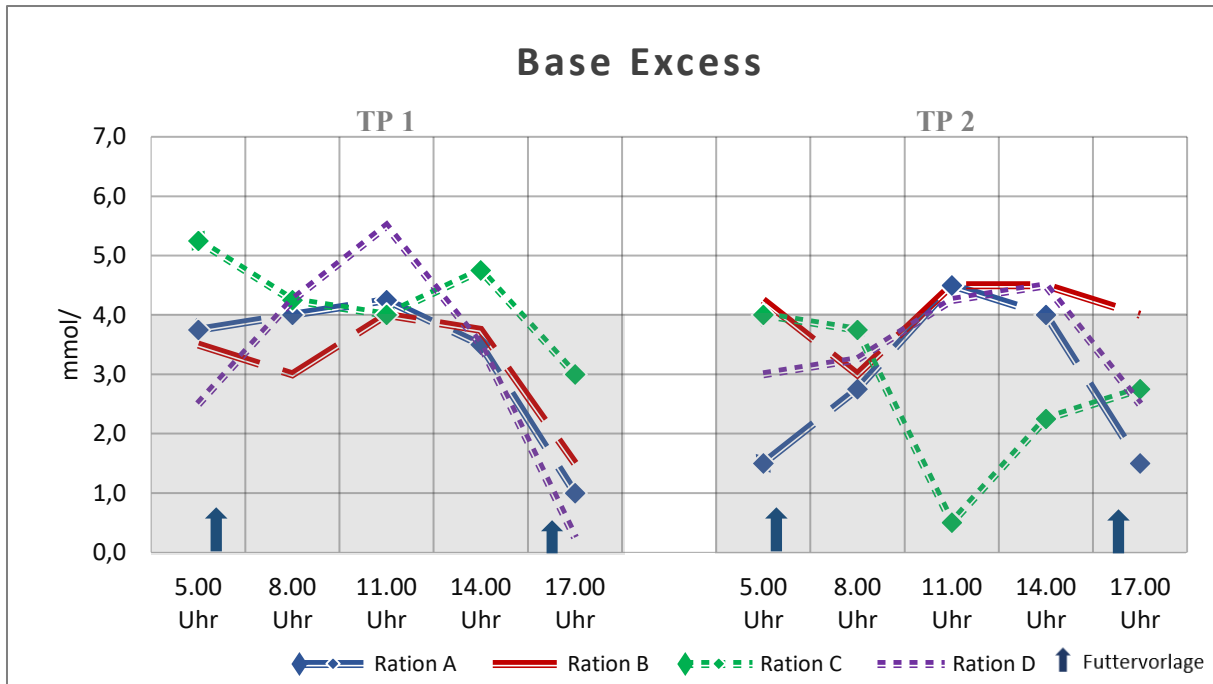


Abbildung 43: Mittlere Base Exesse (mmol/l) im venösen Blut – Tagesprofile

Tabelle 70: Base Exesse [mmol/l] im venösen Blut an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	3,3	-2,0	8,0	0,548				
B	3,2	0,0	6,0		n. s.			
C	4,3	2,0	7,0		n. s.	n. s.		
D	3,2	-7,0	8,0		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,619$				

Tabelle 71: Base Exesse [mmol/l] im venösen Blut an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	2,9	-3,0	6,0	0,765				
B	4,1	0,0	9,0		n. s.			
C	2,7	-4,0	7,0		n. s.	n. s.		
D	3,5	-2,0	8,0		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,042$				
				$p_{G/T} = 0,405$				

Die BE-Wertentwicklung der Tagesverlaufsuntersuchung ist in Abbildung 43 dargestellt. Es ist ein signifikanter Effekt des Messzeitpunktes auf die Höhe des Basenüberschusses zu bestimmen. Während der Einfluss des Zeitfaktors an Tag 3 hochsignifikant ist, ist er an Tag 21 nur noch schwach signifikant (Tabellen 70 und 71).

4.3.1.3 Hydrogencarbonat

Die mittleren HCO_3^- -Gehalte bewegen sich im Untersuchungsverlauf kontinuierlich im oberen Referenzbereich oder darüber (Abbildung 44). Die Verlaufsentwicklung ist derjenigen des Base Excess ähnlich. Anstieg und Abfall der Kurven verhalten sich nahezu identisch.

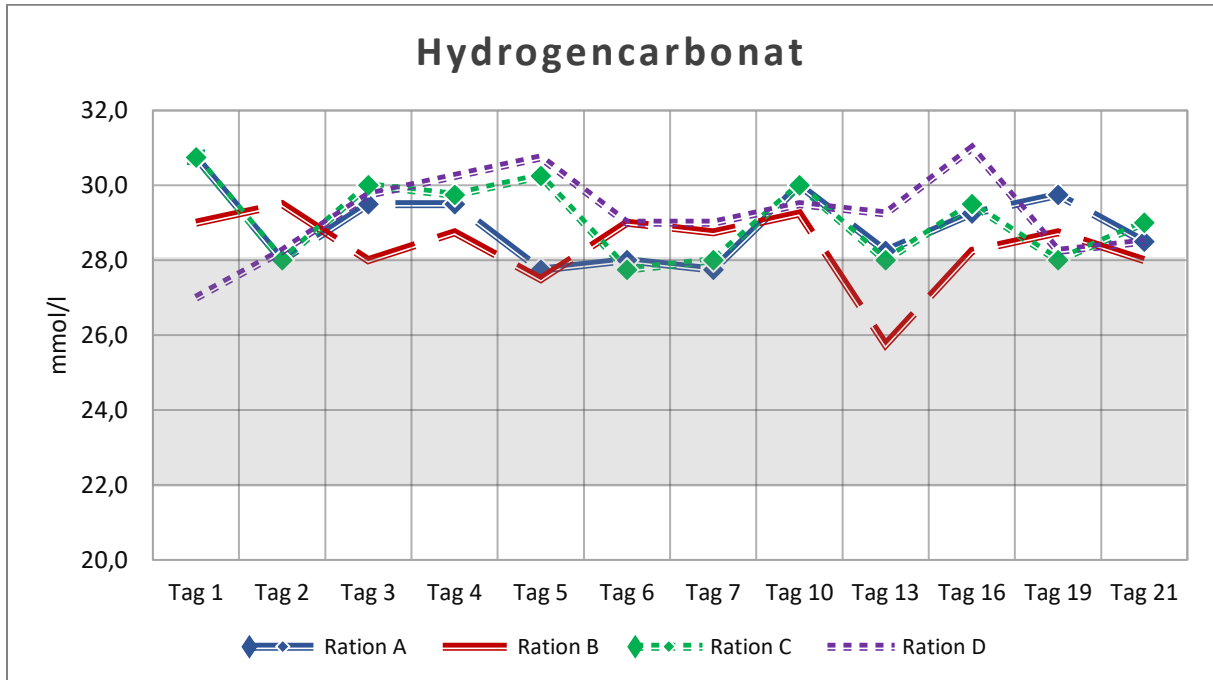


Abbildung 44: Mittlere HCO_3^- -Konzentrationen (mmol/l) im venösen Blut – Untersuchungsverlauf

Tabelle 72: HCO_3^- -Konzentrationen [mmol/l] im venösen Blut

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	28,9	23,0	36,0	0,792				
B	28,4	20,0	35,0		n. s.			
C	29,1	23,0	36,0		n. s.	n. s.		
D	29,2	21,0	36,0		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,133$				
				$p_{G/T} = 0,623$				

Hinsichtlich der HCO_3^- -Konzentration sind weder für die Faktoren Gruppe und Zeit noch für deren Interaktion statistisch signifikante Einflüsse zu ermitteln (Tabelle 72).

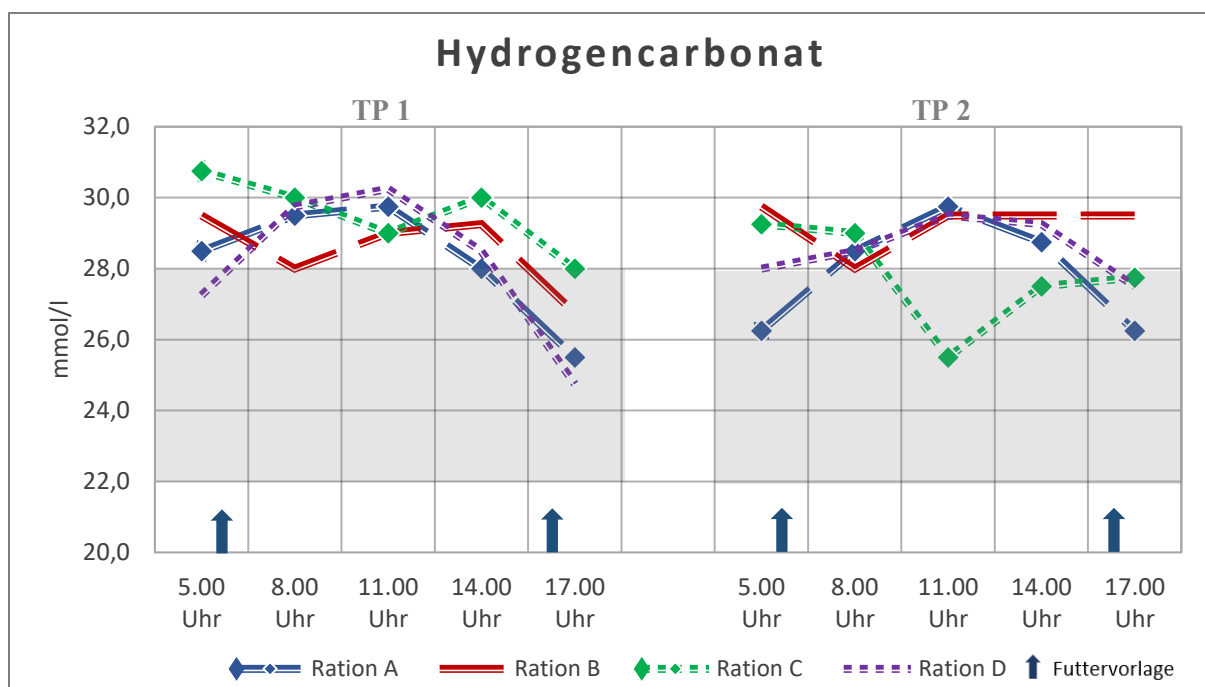


Abbildung 45: Mittlere HCO_3^- -Konzentrationen (mmol/l) im venösen Blut – Tagesprofile

Tabelle 73: HCO_3^- -Konzentrationen [mmol/l] im venösen Blut an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	28,3	23,0	34,0	0,582				
B	28,5	24,0	33,0		n. s.			
C	29,6	26,0	33,0		n. s.	n. s.		
D	28,1	16,0	33,0		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,596$				

Tabelle 74: HCO_3^- -Konzentrationen [mmol/l] im venösen Blut an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	27,9	21,0	32,0	0,705				
B	29,3	25,0	34,0		n. s.			
C	27,8	21,0	33,0		n. s.	n. s.		
D	28,6	22,0	34,0		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,198$				
				$p_{G/T} = 0,450$				

Auch die Tagesprofile zeigen mittlere Werte oberhalb des Referenzbereiches (Abbildung 45). Ein hochsignifikanter Einfluss auf die Höhe des Hydrogencarbonatgehaltes ist nur an Tag 3 und nur für den Faktor Zeit zu beobachten (Tabellen 73 und 74).

4.3.1.4 CO_2 -Partialdruck

Die Mittelwerte des venösen CO_2 -Partialdrucks nehmen rationsunabhängig über den Untersuchungsverlauf ab. Eine geringfügige Überschreitung des Referenzbereiches von 35

bis 53 mmHg bzw. 4,7 bis 7,1 kPa (Klee et al. 2017) ist zu Beginn der Untersuchungen für die mittleren p_vCO_2 -Gehalte jeweils einmalig für die Rationen A, B und C zu ermitteln (Abbildung 46).

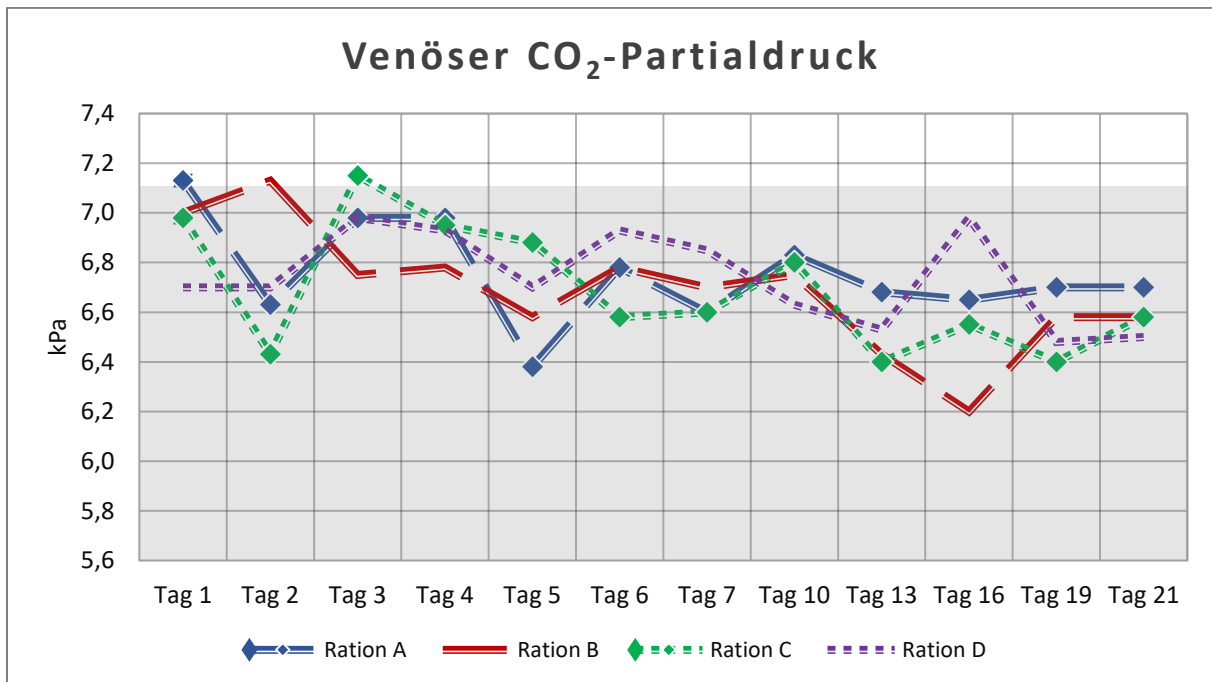


Abbildung 46: Mittlere pCO_2 -Partialdrücke (kPa) im venösen Blut – Untersuchungsverlauf

Tabelle 75: CO_2 -Partialdrücke [kPa] im venösen Blut
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	6,8	5,3	8,1	0,962				
B	6,7	5,4	7,6		n. s.			
C	6,7	4,8	8,1		n. s.	n. s.		
D	6,7	5,6	8,3		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,022$				
				$p_{G/T} = 0,521$				

Für den p_vCO_2 -Gehalt im Blut ist ein schwach signifikanter Einfluss des Messzeitpunktes auf die Ausprägung der CO_2 -Partialdrücke zu bestimmen (Tabelle 75).

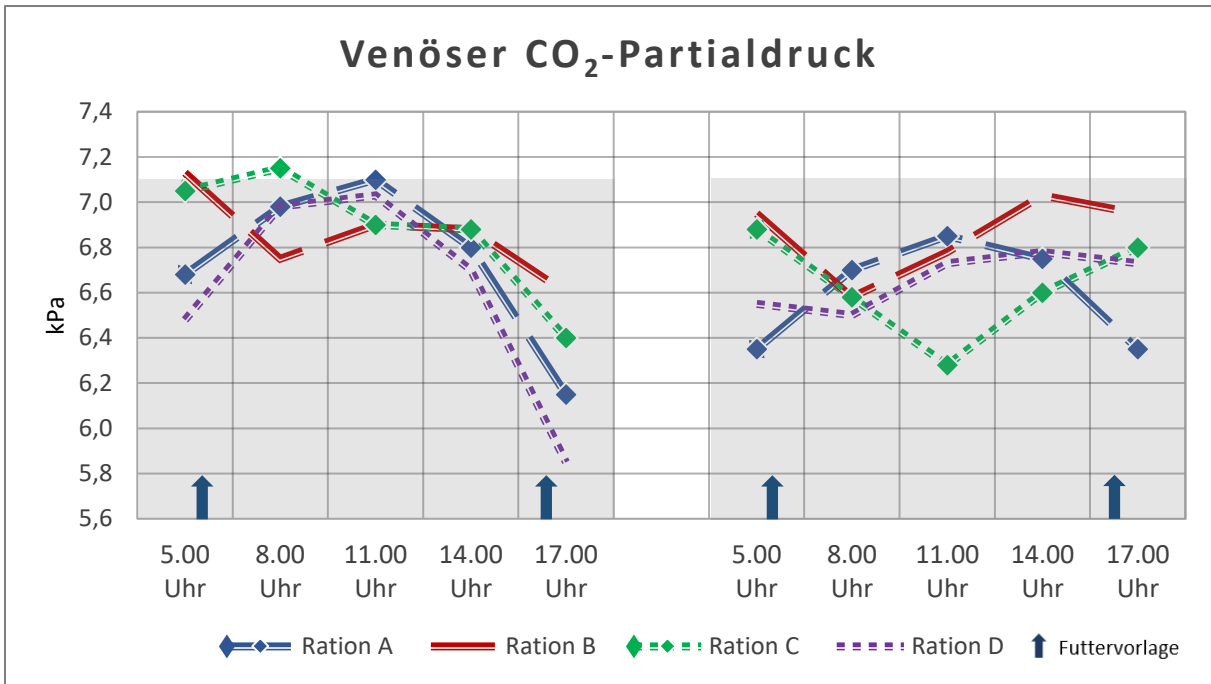


Abbildung 47: Mittlere pCO₂-Partialdrücke (kPa) im venösen Blut – Tagesprofile

Tabelle 76: CO₂-Partialdrücke [kPa] im venösen Blut an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	6,7	5,2	8,2	0,625				
B	6,9	5,5	7,9		n. s.			
C	6,9	5,6	7,7		n. s.	n. s.		
D	6,6	4,3	7,9		n. s.	n. s.	n. s.	
				p _T < 0,001				
				p _{G/T} = 0,556				

Tabelle 77: CO₂-Partialdrücke [kPa] im venösen Blut an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	6,6	5,6	7,5	0,417				
B	6,9	5,9	7,6		n. s.			
C	6,6	5,5	7,7		n. s.	n. s.		
D	6,7	5,6	7,8		n. s.	n. s.	n. s.	
				p _T = 0,515				
				p _{G/T} = 0,531				

Die CO₂-Partialdrücke im venösen Blut weisen große tagesdynamische Unterschiede auf (Abbildung 47). Ein Effekt des Faktors Zeit ist nur an Tag 3 festzustellen. Dieser ist hoch signifikant (Tabellen 76 und 77).

4.3.2 Vitamingehalt im Blutserum

Zusätzlich zur Blutgasanalyse erfolgt an den Tagen 1, 7 und 19 nach der Rationsumstellung die Entnahme von Blutserum für die Bestimmung der Konzentrationen an Folsäure und Vitamin B₁₂.

4.3.2.1 Folsäure

Abbildung 48 zeigt die mittleren Folsäurewerte. Die Werte bewegen sich unabhängig von Fütterungsgruppe und Proband innerhalb des Referenzbereiches von > 10 pg/ml (Staufenbiel 2007).

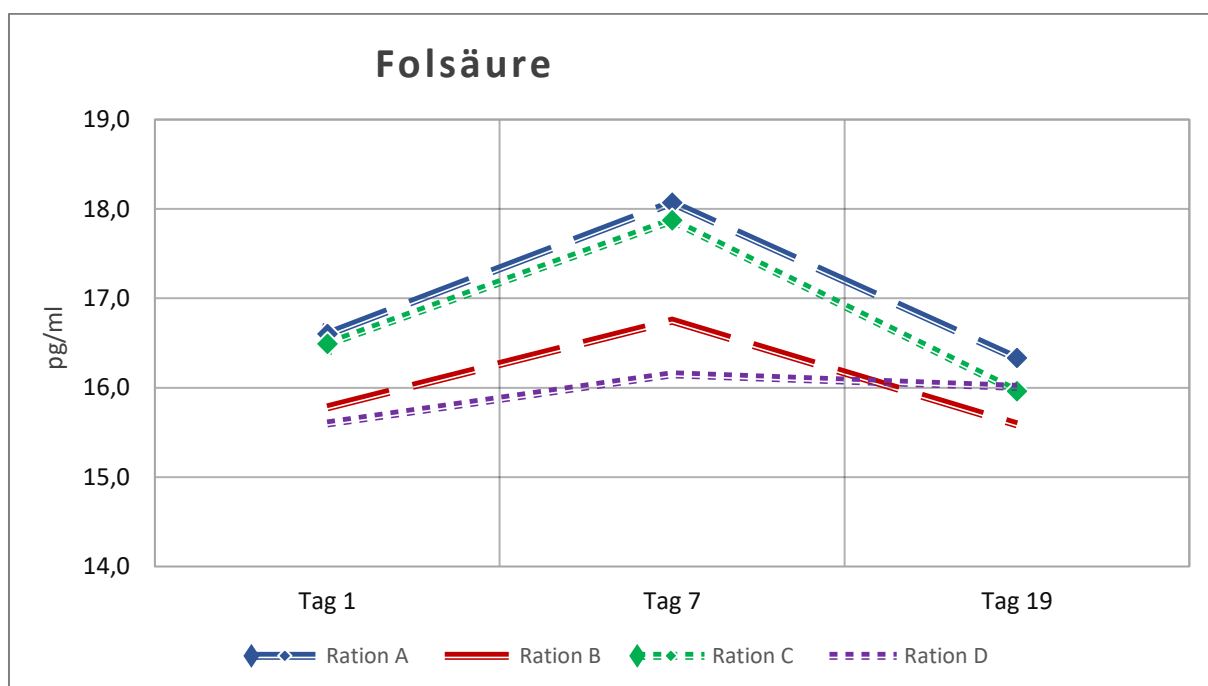


Abbildung 48: Mittlere Folsäurekonzentrationen (pg/ml) im Blutserum – Untersuchungsverlauf

Tabelle 78: Folsäurekonzentrationen [pg/ml] im Blutserum
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	17,0	15,2	20,0	0,457	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	16,0	13,5	20,0					
C	16,8	13,1	18,4					
D	15,9	12,4	19,9					
				$p_T = 0,016$				
				$p_{G/T} = 0,691$				

Die Rationsgruppen mit Pufferzusatz (A und C) weisen gegenüber den Fütterungsgruppen ohne Pufferzusatz (B und D) an den ausgewählten Messzeitpunkten stets gleiche oder höhere mittlere Konzentrationen an Folsäure auf. Ein schwach signifikanter Einfluss auf den Folsäuregehalt im Blutserum lässt sich für den Entnahmezeitpunkt nachweisen (Tabelle 78).

4.3.2.2 Vitamin B₁₂

Hinsichtlich der mittleren Serumkonzentrationen von Vitamin B₁₂ lassen sich rationsabhängige Unterschiede feststellen (Abbildung 49). Die mittleren Vitamin B₁₂-Werte der Probanden der Fütterungsgruppe A liegen zu jedem Untersuchungszeitpunkt unterhalb des Referenzbereiches von 200 bis 800 ng/ml (Hoffmann 2005). Auch bei den Tieren der Gruppe C zeigen sich zunächst Konzentrationen unterhalb der Norm. Im Verlauf der Untersuchung nähern sich deren mittlere Vitamin B₁₂-Konzentrationswerte dem Referenzbereich an bzw. erreichen diesen.

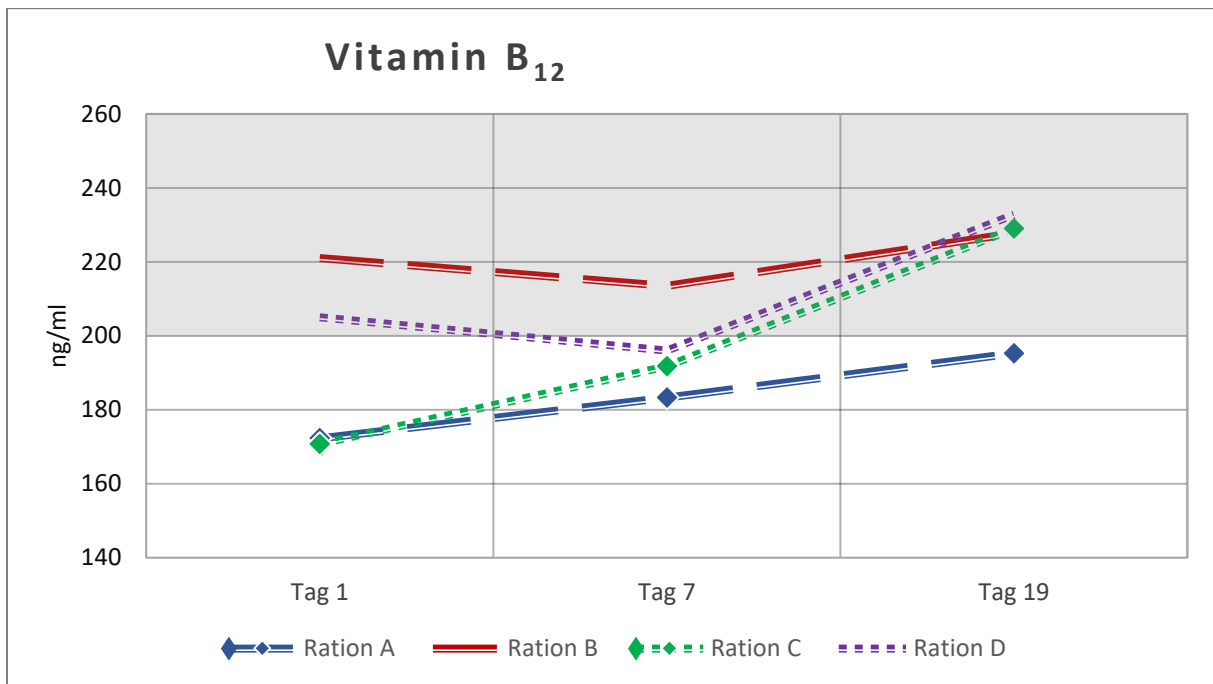


Abbildung 49: Mittlere Konzentrationen des Vitamin B₁₂ (ng/ml) im Blutserum – Untersuchungsverlauf

Tabelle 79: Vitamin B₁₂-Konzentrationen [ng/ml] im Blutserum
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	183,6	150	224	0,070				
B	220,8	135	288		n. s.			
C	197,2	137	346		n. s.	n. s.		
D	211,3	156	274		n. s.	n. s.	n. s.	
				p _T = 0,022				
				p _{G/T} = 0,355				

Ein schwach signifikanter Einfluss auf die Vitamin-B₁₂-Konzentration im Blutserum lässt sich für den Faktor Zeit ermitteln (Tabelle 79).

4.4 Harn

4.4.1 Säuren-Basen-Status

4.4.1.1 pH-Wert

Zu Beginn der Beobachtungen befindet sich der Harn-pH-Wert mit mittleren Werten von $8,22 \pm 0,09$ rationsübergreifend auf einem sehr ähnlichen Niveau. An Tag 2 nach der Futterumstellung sind zum Teil starke Abnahmen zu erkennen. Besonders deutlich wird dies bei den Tieren, die Strohmehraktionen erhielten; bei ihnen werden mit 7,81 (mit Pufferzusatz) bzw. 7,24 (ohne Pufferzusatz) die jeweiligen mittleren pH-Minima im Rahmen dieser Verlaufsuntersuchungen erreicht. Während sich im weiteren Untersuchungsverlauf die pH-Werte der Ration C um einen durchschnittlichen Wert von $7,99 \pm 0,08$ stabilisieren, bewegen sich die mittleren Harn-pH-Werte der Probanden, die die Ration D erhalten, überwiegend unterhalb des Referenzbereiches (Abbildung 50).

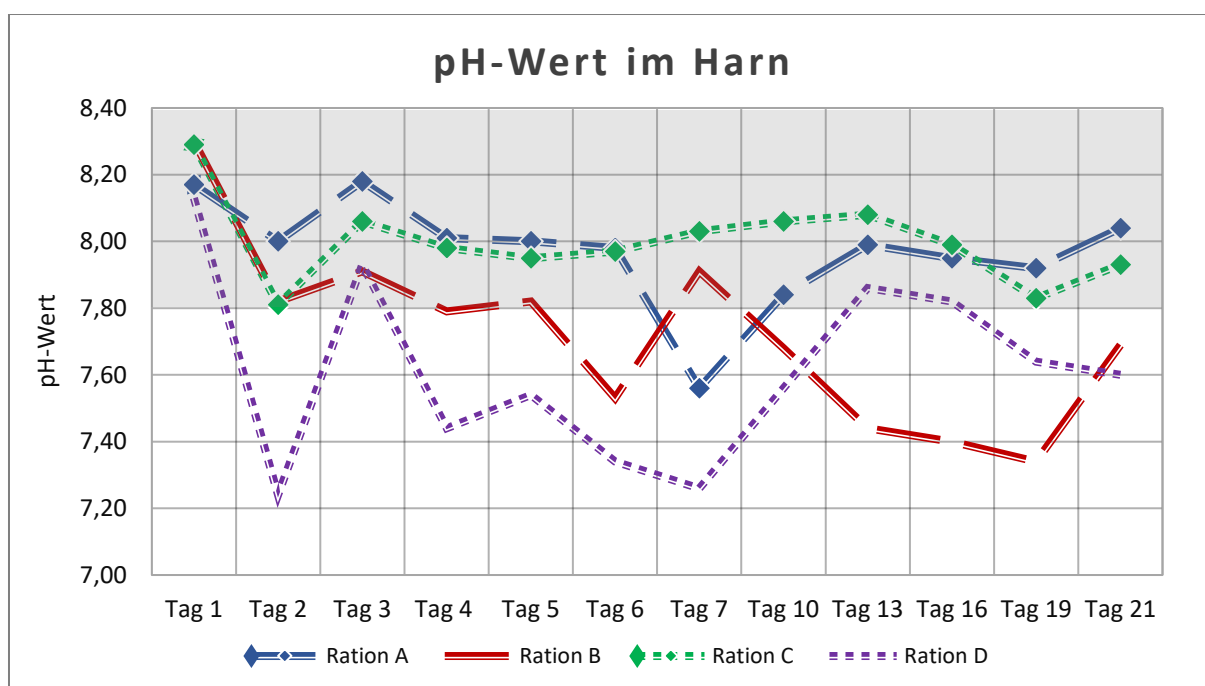


Abbildung 50: Mittlere pH-Werte im Harn – Untersuchungsverlauf

Tabelle 80: pH-Werte im Harn

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	7,97	5,79	8,59	0,037	***	*	*	*
B	7,72	5,74	8,52					
C	8,00	7,28	8,41					
D	7,61	5,76	8,32					
$p_T = 0,002$ $p_{G/T} = 0,669$								

Überschreitungen des Referenzbereiches kommen vereinzelt innerhalb der ersten drei Untersuchungstage und nur bei den Einzelwerten der Rationen A und B vor. Unterschreitungen der Norm sind dagegen bei allen vier Rationstypen festzustellen.

Am letzten Tag der Verlaufsuntersuchung liegen die mittleren pH-Werte aller Fütterungsgruppen unterhalb ihrer Ausgangswerte. Das anfangs enge pH-Niveau der Rationen ist aufgehoben, und es findet eine Neugruppierung hinsichtlich der Pufferanwendung statt.

Hinsichtlich der Harn-pH-Werte lassen sich während des Versuchsverlaufs für die Faktoren Gruppe und Zeit signifikante bis hochsignifikante Unterschiede bestimmen (Tabelle 80).

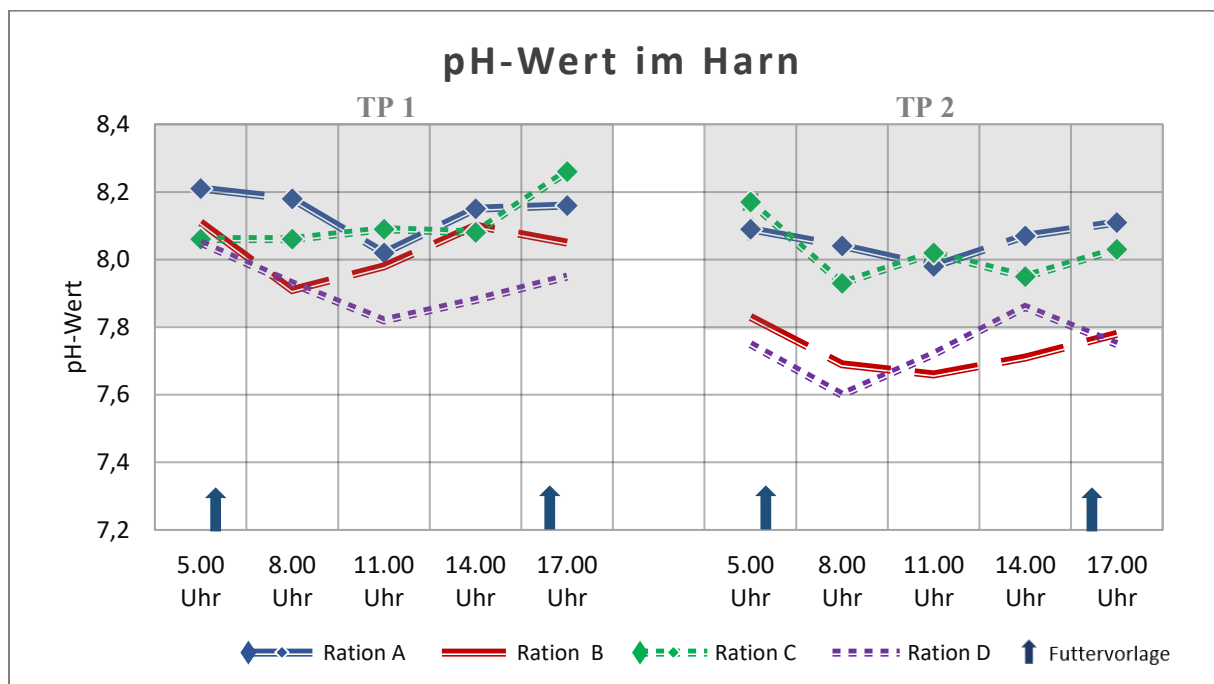


Abbildung 51: Mittlere pH-Werte im Harn – Tagesprofile

Tabelle 81: pH-Werte im Harn an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	P	A	B	C	D
A	8,14	7,91	8,59	0,062				
B	8,03	7,10	8,50		n. s.			
C	8,11	7,51	8,34		n. s.	n. s.		
D	7,93	7,34	8,22		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,141$				
				$p_{GT} = 0,300$				

Tabelle 82: pH-Werte im Harn an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	P	A	B	C	D
A	8,06	7,87	8,21	0,004				
B	7,73	7,01	8,15		**			
C	8,02	7,60	8,37		n. s.	*		
D	7,74	7,41	8,10		***	n. s.	***	
				$p_T = 0,058$				
				$p_{G/T} = 0,469$				

Hinsichtlich der Tagesverlaufsuntersuchungen zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Rationen mit und ohne Pufferzusatz (Abbildung 51).

Verlaufen im TP 1 die mittleren pH-Werte weitestgehend homogen und innerhalb der Referenz, können bei allen vier Fütterungstypen zum TP 2 Abnahmen beobachtet werden. Diese Abnahme fällt bei den Rationen B und D stärker aus und führt im zweiten Tagesprofil zu Mittelwerten unterhalb der Referenz. An Tag 21 sind diese Gruppeneffekte statistisch signifikant (Tabellen 81 und 82).

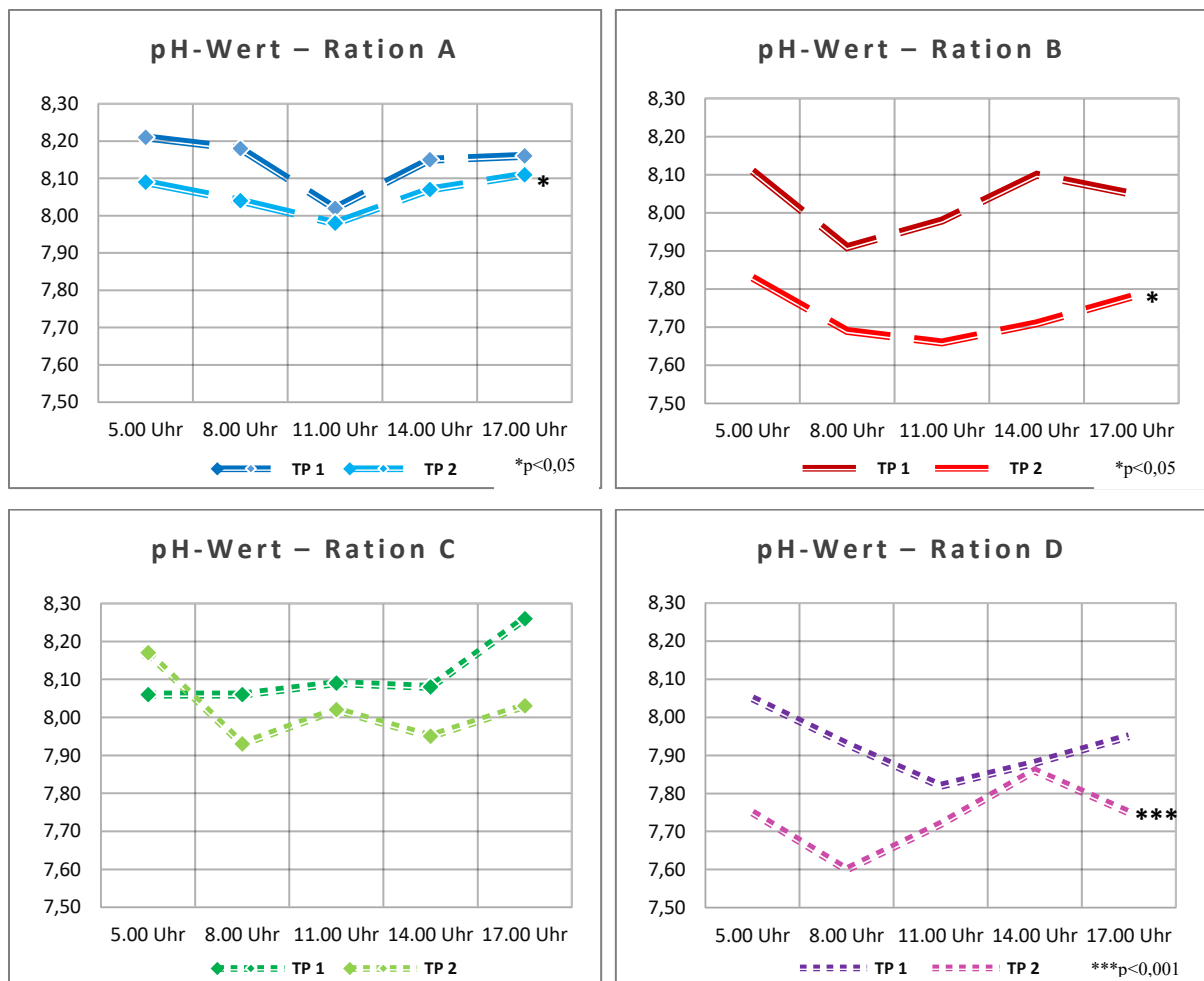


Abbildung 52: Rationsinterner Vergleich der mittleren Harn-pH-Werte beider Tagesprofile

Beim rationsinternen Vergleich der beiden Tagesprofile liegen für die Rationen A, B und D statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich der pH-Werte vor. So liegen am 21. Versuchstag die pH-Werte der Häckselstroh enthaltenden Rationen A und B mit $p = 0,039$ und $p = 0,033$ signifikant unter denen des TP 1. Deutlicher ist der Unterschied bei den Probanden der Ration D. Hier besteht mit $p < 0,001$ eine hochsignifikante Differenz zwischen den pH-Werten beider Tage (Abbildung 52).

4.4.1.2 Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung

Rationsunabhängig zeigen die NSBA-Werte einen wellenförmigen Verlauf mit abnehmender Tendenz (Abbildung 53).

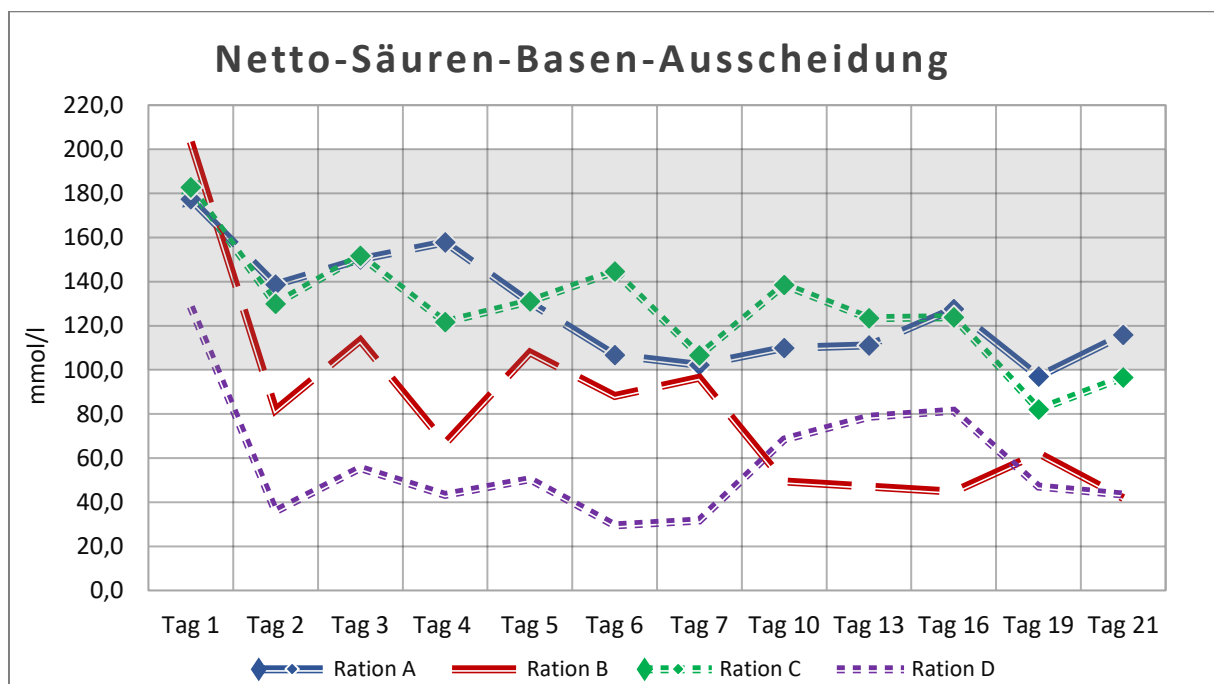


Abbildung 53: Mittlere Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf

Tabelle 83: NSBA [mmol/l] im Harn

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	127,1	-44,0	280,5	0,002	***	***	***	**
B	83,6	-84,0	272,0					
C	127,8	8,5	251,5					
D	57,9	-90,5	168,5					
				$p_T = 0,014$				
				$p_{GT} = 0,551$				

Vergleichbar den pH-Werten im Harn weist die NSBA der Gruppen A bis C an Tag 1 eine ähnliche Ausgangslage auf. Die Werte von durchschnittlich $187,8 \pm 13,7$ mmol/l liegen an der oberen Referenzgrenze bzw. leicht darüber. Ebenso sind starke Abnahmen an Tag 2 zu verzeichnen, die bei den Rationen ohne Pufferzusatz besonders ausgeprägt sind.

Am Ende der Verlaufsuntersuchung liegen die mittleren NSBA-Werte aller Versuchsgruppen deutlich unter ihren jeweiligen Ausgangswerten. Das enge Niveau des Untersuchungsbeginns ist aufgehoben, und es findet eine Neuordnung hinsichtlich des NaHCO₃-Einsatzes statt (Abbildung 53). Im Rahmen der statistischen Prüfung sind hinsichtlich des Gruppeneffektes teilweise hochsignifikante Unterschiede zu ermitteln (Tabelle 83).

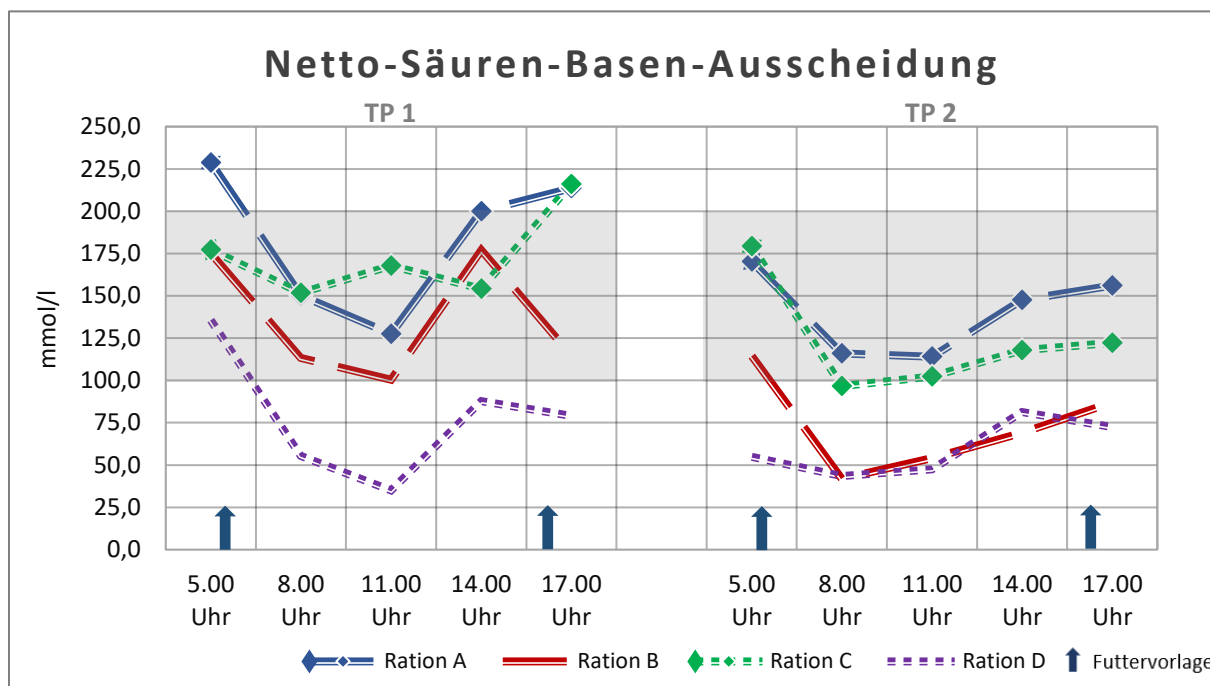


Abbildung 54: Mittlere Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (mmol/l) im Harn – Tagesprofile

Tabelle 84: NSBA [mmol/l] im Harn an Tag 3
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	P	A	B	C	D
A	184,0	66,0	278,0	0,073	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	136,2	5,0	272,0					
C	173,4	8,5	291,5					
D	78,6	6,5	235,0					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,313$				

Tabelle 85: NSBA [mmol/l] im Harn an Tag 21
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	P	A	B	C	D
A	140,8	59,0	264,5	0,021	***	n. s.	n. s.	***
B	73,3	-1,5	245,0					
C	123,7	33,0	269,5					
D	59,9	1,0	130,5					
				$p_T = 0,008$				
				$p_{G/T} = 0,691$				

Die Unterschiede in der NSBA in Abhängigkeit vom Puffereinsatz sind im Verlauf des TP 2 deutlicher ausgeprägt als während des TP1 (Abbildung 54). Diese Gruppeneffekte an Tag 21 sind zum Teil hochsignifikant. Für beide Tage der Verlaufsuntersuchung kann für den Faktor Zeit ein statistisch hochsignifikanter (Tabelle 84) bzw. signifikanter Einfluss (Tabelle 85) festgestellt werden.

Beim rationsinternen Vergleich der Tagesprofile sind keine signifikanten Unterschiede zwischen TP 1 und TP 2 für die NSBA zu bestimmen (Abbildung 55).

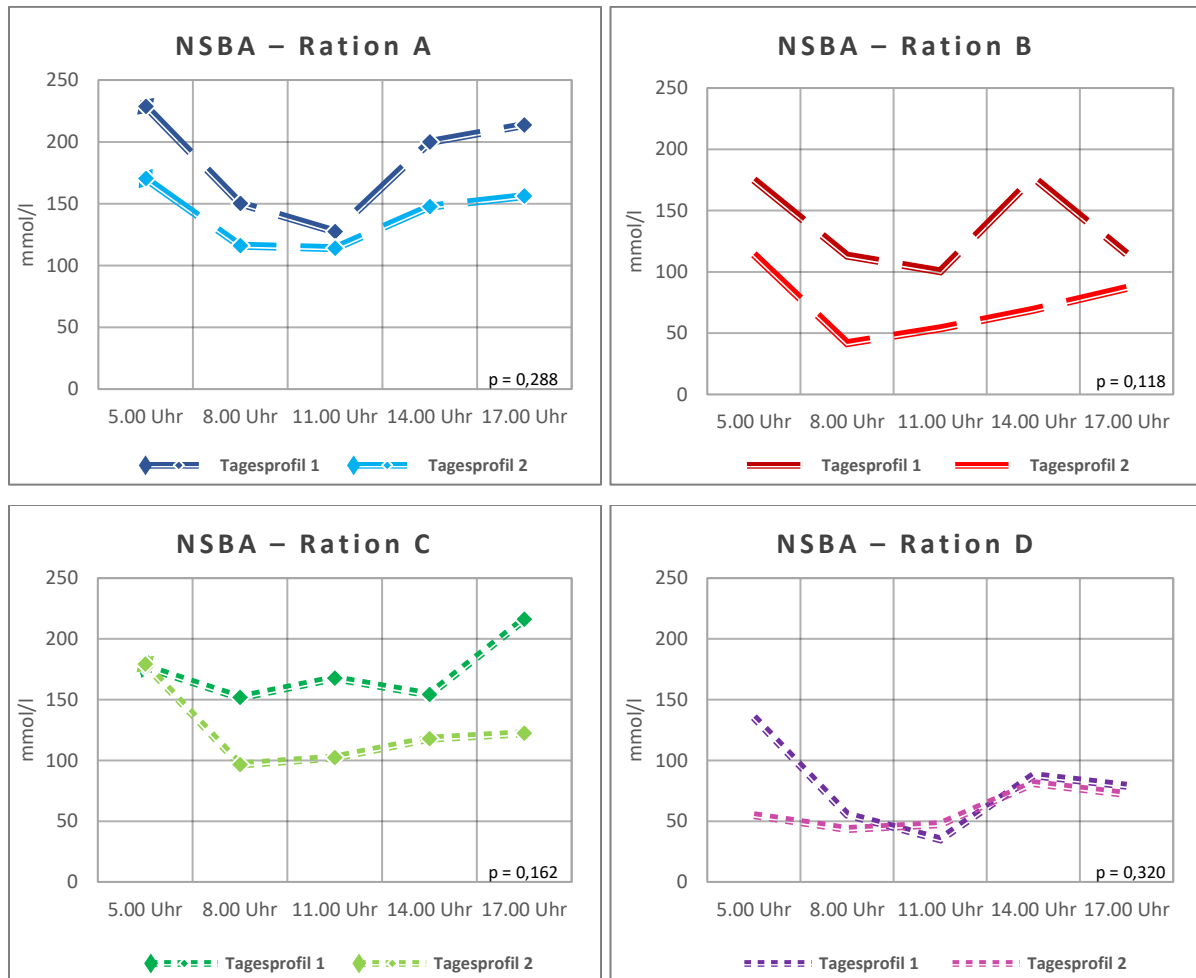


Abbildung 55: Rationsinterner Vergleich der mittleren NSBA-Werte (mmol/l) beider Tagesprofile

4.4.1.3 Basenausscheidung

Die Basenzahlen im Harn weisen unabhängig von der Rationsgestaltung am ersten Tag nach dem Futterwechsel die höchsten Mittelwerte auf. Im weiteren Verlauf fallen die Basenwerte in allen vier Fütterungsgruppen ab und liegen am Ende der Untersuchungsreihe zum Teil deutlich unterhalb der Ausgangswerte (Abbildung 56).

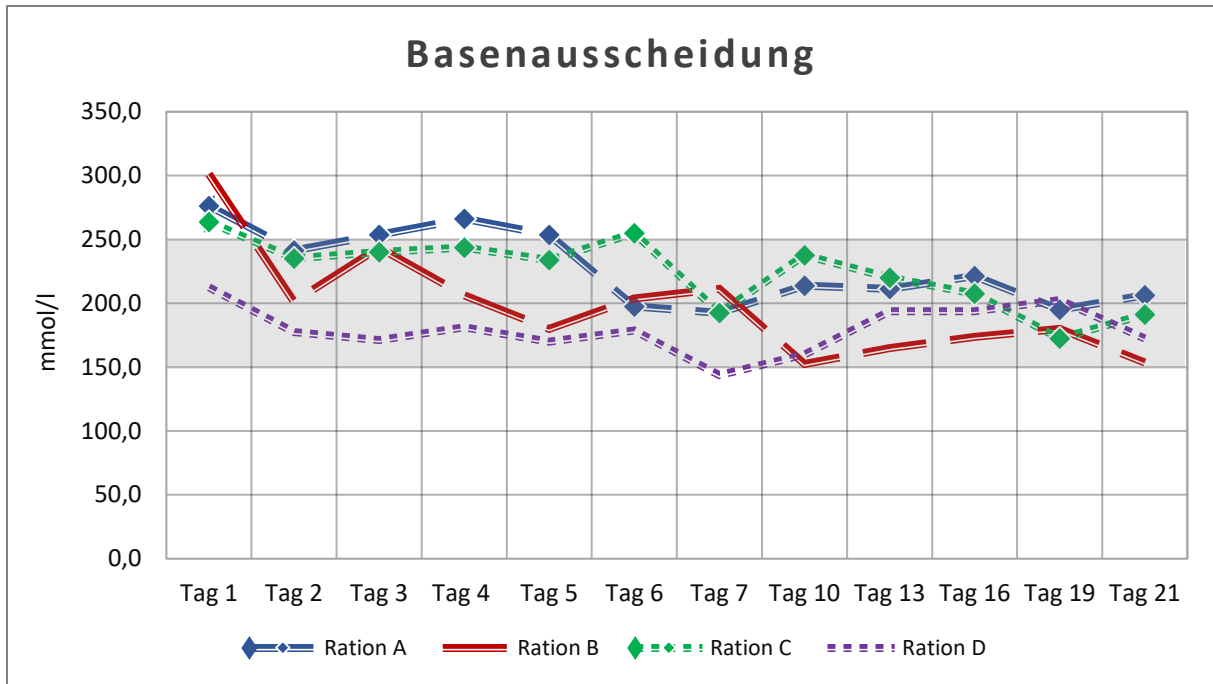


Abbildung 56: Mittlere Basenausscheidungen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf

Tabelle 86: Basenausscheidungen [mmol/l] im Harn

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	227,4	70	360	0,072	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	191,7	90	365					
C	224,4	115	325					
D	179,8	55	265					
				$p_T = 0,072$				
				$p_{GT} = 0,394$				

Während die Mehrzahl der Einzelwerte bei den Gruppen mit Pufferzusatz im oberen Referenzbereich oder darüber liegt, wird dieser vor allem bei Probanden der Ration D unterschritten. Hier befinden sich 14 der im Untersuchungsverlauf ermittelten Einzelwerte (n = 48) unterhalb der Referenz. Tiere, die die gepufferte Strohmehlration C erhielten, weisen bei den Einzelwerten zu gleichen Teilen (je n = 7) Über- wie Unterschreitungen des Referenzbereiches auf.

Weder für die Faktoren Gruppe und Zeit noch für deren Wechselwirkung sind signifikante Unterschiede zu bestimmen (Tabelle 86).

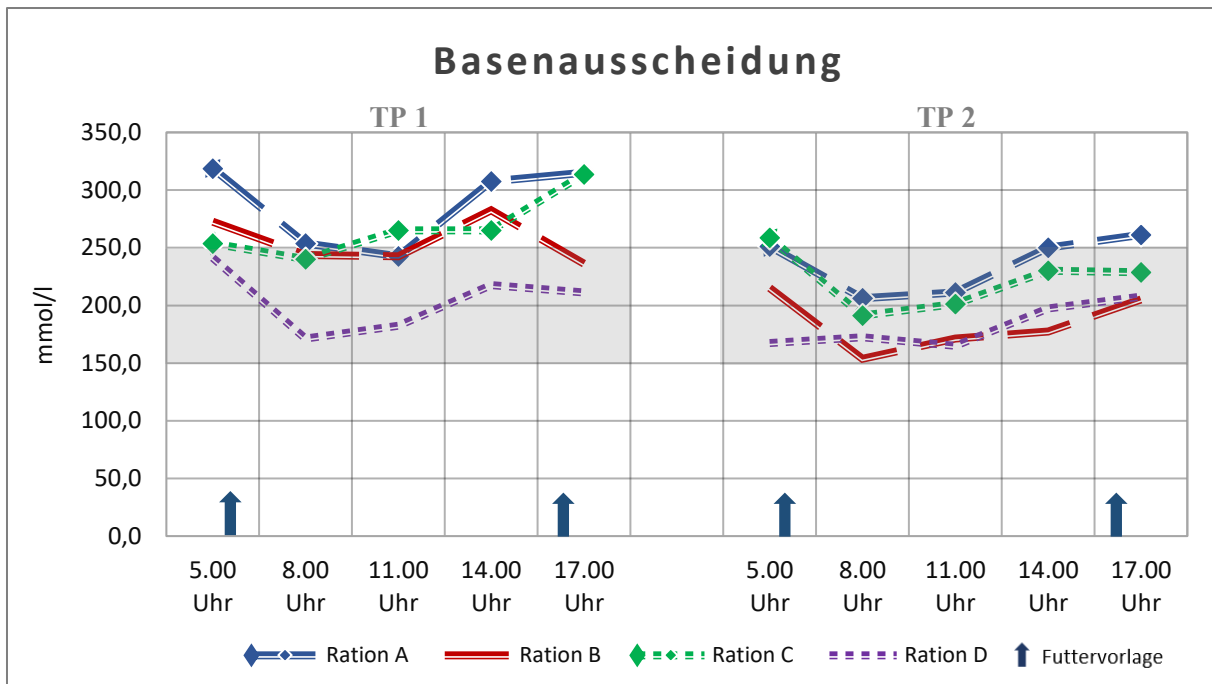


Abbildung 57: Mittlere Basenausscheidungen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile

Tabelle 87: Basenausscheidungen [mmol/l] im Harn an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	287,5	185	360	0,137	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	255,5	165	375					
C	267,5	100	340					
D	204,8	135	295					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{GT} = 0,389$				

Tabelle 88: Basenausscheidungen [mmol/l] im Harn an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	236,0	150	355	0,102	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	184,5	105	365					
C	222,0	155	340					
D	182,0	125	255					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{GT} = 0,592$				

Ein Absinken der Basenausscheidung im Verlauf der Studie zeigt sich auch beim Vergleich der beiden Tagesprofile (Abbildung 57). Rationsabhängige Unterschiede während beider Tagesverlaufsuntersuchungen lassen sich für den Faktor Zeit statistisch sicher ermitteln. Beim Vergleich beider Tagesprofile zeigt sich mit $p = 0,049$ zudem eine schwach signifikante Abnahme der Basenausscheidung bei den Probanden der Futtergruppe B (Tabellen 87 und 88).

4.4.1.4 Säureausscheidung

Abbildung 58 zeigt die Entwicklung der mittleren Säureausscheidung über den Untersuchungsverlauf. Wurde den Rationen NaHCO₃ zugesetzt, liegen die mittleren Säuregehalte bei 89,5 ± 9,7 mmol/l, während bei Probanden der Rationen ohne Pufferzusatz mittlere Säuregehalte von 106,7 ± 12,9 mmol/l ermittelt werden.

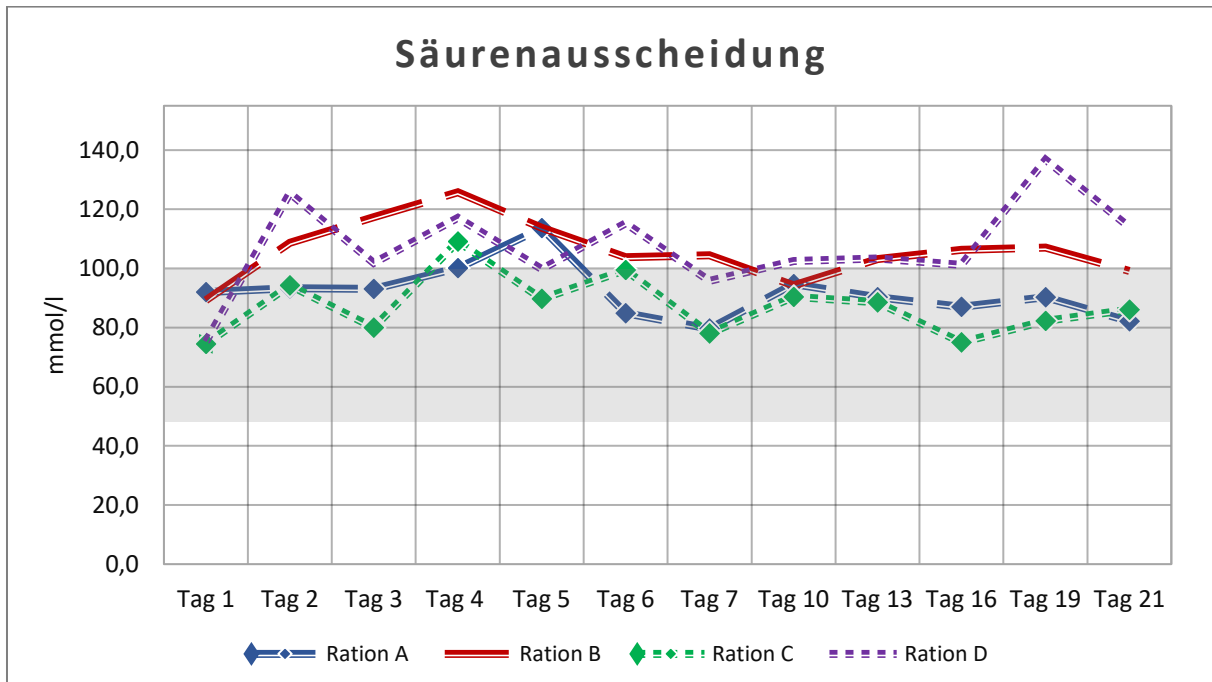


Abbildung 58: Mittlere Säureausscheidungen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf

Tabelle 89: Säureausscheidungen [mmol/l] im Harn
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	91,8	51,0	146,5	0,023				
B	106,1	56,0	190,0		*			
C	87,3	47,0	137,0		*	***		
D	107,4	43,5	170,0		*	n. s.	*	
				$p_T = 0,079$				
				$p_{G/T} = 0,574$				

Unabhängig von der Art der strukturwirksamen Rohfaser in der Ration weichen die arithmetischen Mittel der Säurezahlen bei den Fütterungsgruppen A und C, die zusätzlich 120 g NaHCO₃ pro Tag erhielten, vereinzelt von der Referenz ab. Lediglich an Tag 4 bzw. 5 nach der Rationsumstellung finden sich mittlere Säuregehalte oberhalb der physiologischen Norm. Bei den Tieren, die keinen Pufferzusatz erhielten, liegt die mittlere Säureausscheidung kontinuierlich über den Werten der gepufferten Rationen und bewegt sich im oberen Bereich der Referenz bzw. darüber (Abbildung 58). Am häufigsten ist dies für die Mittel- als auch Einzelwerte in der Rationsgruppe D zu beobachten. Hier liegen neun der zwölf Mittelwerte und

50 der 80 ermittelten Einzelwerte über dem Referenzbereich. Vergleichbare Ergebnisse zeigen sich auch bei den mit Ration B gefütterten Probanden.

Am Ende der Untersuchungsreihe liegen die mittleren Säurezahlen bei den Fütterungstypen B bis D höher als die entsprechenden Ausgangswerte. Während es sich bei Ration B und C um eine Zunahme von ca. 10 mmol/l handelt, weisen die Tiere der ungepufferten, strohmehlhaltigen Ration D einen Anstieg von ca. 40 mmol/l auf.

Diese Gruppeneffekte sind statistisch signifikant (Tabelle 89).

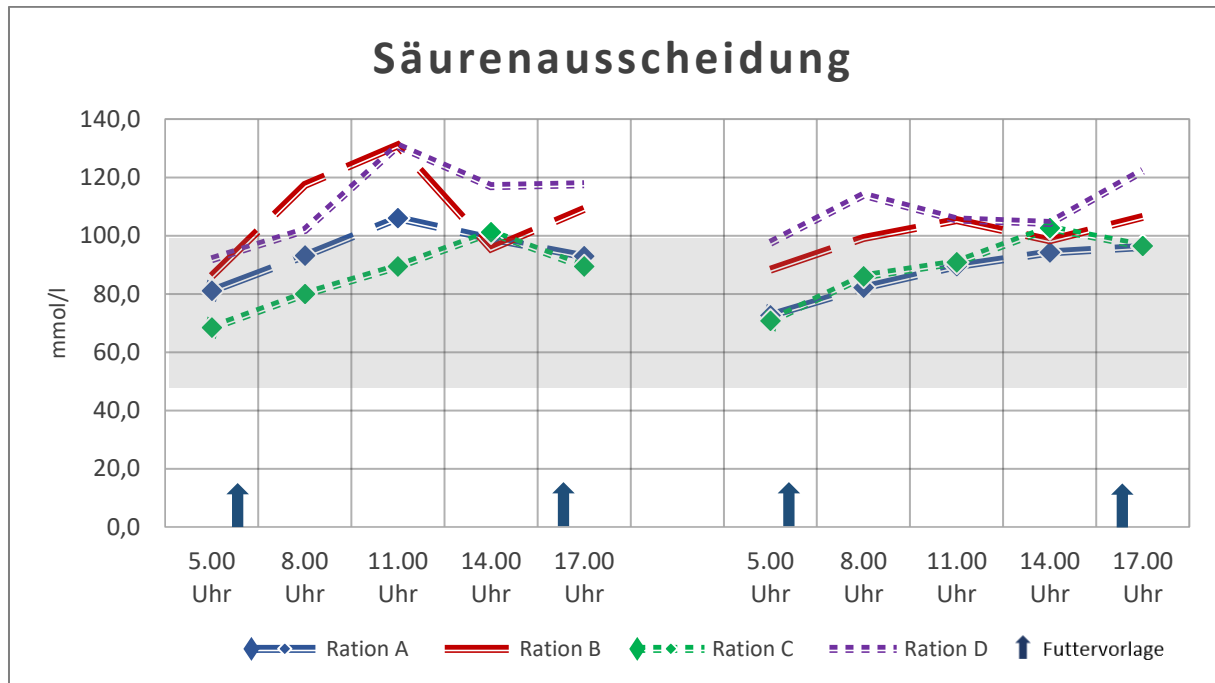


Abbildung 59: Mittlere Säureausscheidungen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile

Tabelle 90: Säureausscheidungen [mmol/l] im Harn an Tag 3
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	94,4	72,5	133,0	0,089				
B	107,8	61,0	190,0		n. s.			
C	85,7	54,0	144,5		n. s.	n. s.		
D	111,9	76,0	153,5		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T < 0,001$ $p_{G/T} = 0,485$				

Tabelle 91: Säureausscheidungen [mmol/l] im Harn an Tag 21
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	86,9	56,0	121,5	0,341				
B	99,5	56,0	128,0		n. s.			
C	89,3	57,0	133,0		n. s.	n. s.		
D	108,7	73,0	149,5		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T < 0,001$ $p_{G/T} = 0,690$				

Säureausscheidungen im oberen Bereich der Referenz bzw. darüber zeigen sich rationsunabhängig auch während der Tagesverlaufsuntersuchungen (Abbildung 59).

Für die Tage 3 und 21 sind weder rationsabhängige Unterschiede noch – beim direkten Vergleich der beiden TP miteinander – rationsinterne Unterschiede statistisch sicher nachweisbar. Ein hochsignifikanter Einfluss des Probenentnahmezeitpunktes kann für beide Tage ermittelt werden (Tabellen 90 und 91).

4.4.1.5 Ammonium-Ionen

Im Harn zeigen sich rationsunabhängig hohe Konzentrationen an Ammonium-Ionen mit teilweise starken Schwankungen und deutlichen Überschreitungen des Normbereiches (Abbildung 60).

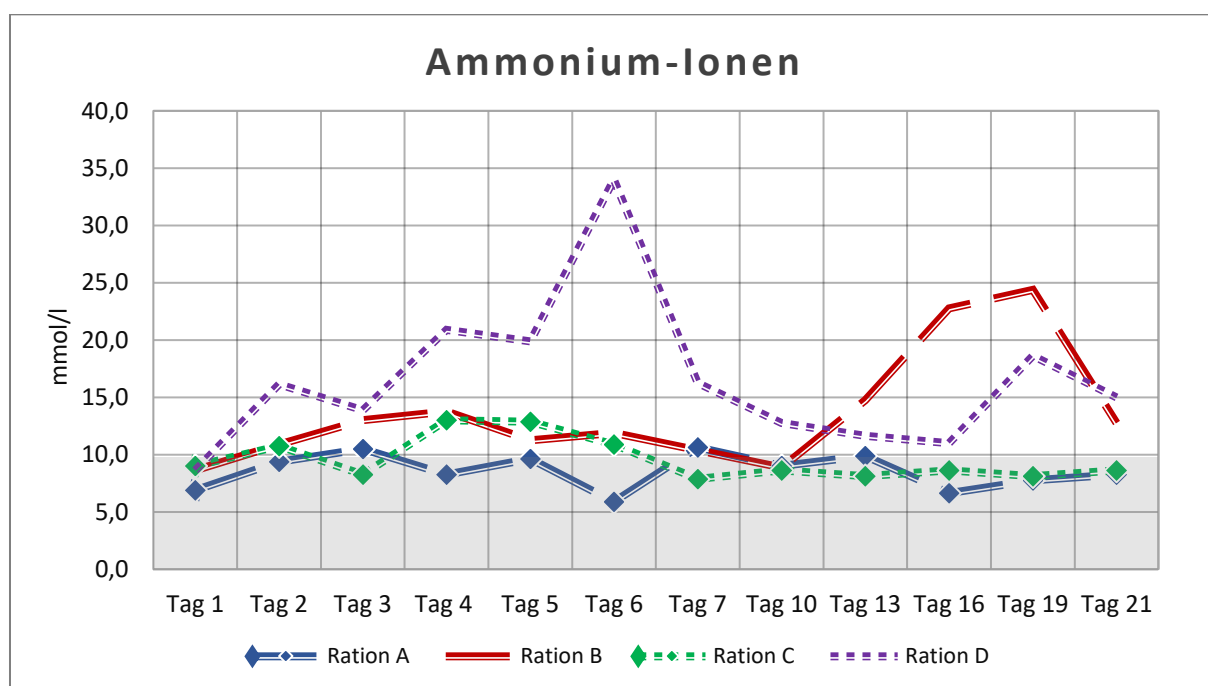


Abbildung 60: Mittlere Ammonium-Ionen-Konzentrationen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf

Tabelle 92: NH_4^+ -Konzentrationen [mmol/l] im Harn
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	8,56	3,5	22,5	< 0,001				
B	13,61	4,0	60,5		**			
C	9,57	3,5	19,0		n. s.	n. s.		
D	16,56	5,0	83,0		***	n. s.	***	
				$p_T = 0,186$				
				$p_{GT} = 0,297$				

Bei den Tieren der Fütterungsgruppen B und D liegen zehn bzw. elf der NH_4^+ -Mittelwerte (n = 12) oberhalb des Referenzbereiches. Die höchsten Konzentrationen sind den Probanden der Fütterungsgruppe D zuzuordnen. Für die Rationen mit bzw. ohne Pufferzusatz lassen sich

signifikante Unterschiede, insbesondere zwischen den Gruppen gleichen Strukturgehaltes, nachweisen (Tabelle 92).

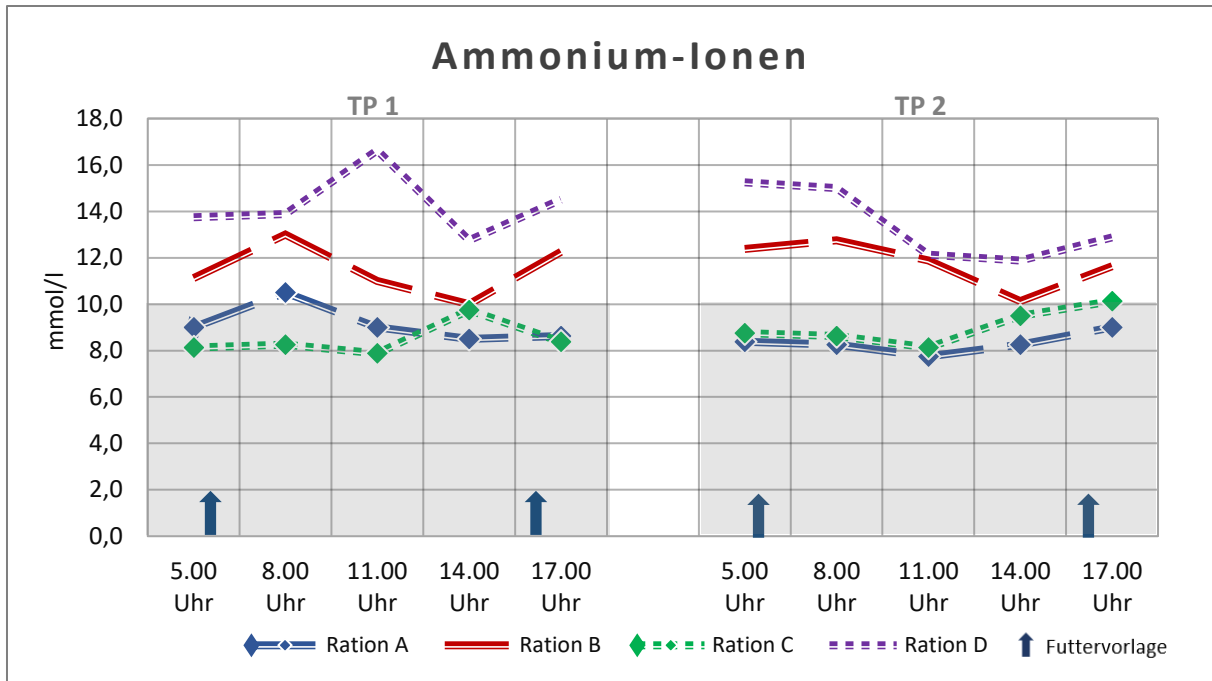


Abbildung 61: Mittlere Ammonium-Ionen-Konzentrationen (mmol/l) – Tagesprofile

Tabelle 93: NH₄⁺-Konzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	9,13	3,5	12,5	0,124	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	11,48	7,0	20,0					
C	8,48	4,5	14,5					
D	14,30	8,0	23,0					
$p_T = 0,591$ $p_{G/T} = 0,625$								

Tabelle 94: NH₄⁺-Konzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	8,33	4,0	14,5	0,041	***	n. s.	n. s.	***
B	11,75	7,0	15,5					
C	9,03	6,0	11,5					
D	13,43	7,0	29,0					
$p_T = 0,299$ $p_{G/T} = 0,483$								

Rationsabhängige Unterschiede in Abhängigkeit vom Puffereinsatz sind bei den Ammonium-Ionen-Gehalten im Harn im Verlauf des TP 2 deutlich ausgeprägt (Abbildung 61). Diese Gruppeneffekte deuten sich an Tag 3 an, ohne statistisch nachgewiesen werden zu können

(Tabelle 93). An Tag 21 ist der Einfluss der Ration auf die Ausscheidung der Ammonium-Ionen hoch signifikant (Tabelle 94).

4.4.1.6 Basen-Säuren-Quotient

Zu Beginn der Untersuchungen liegen die mittleren BSQ-Werte im Referenzbereich und fallen bei allen Rationsvarianten ab Tag 2 zum Teil deutlich ab. Im weiteren Untersuchungsverlauf verbleiben die BSQ auf einem niedrigen Niveau unterhalb der Referenz (Abbildung 62).

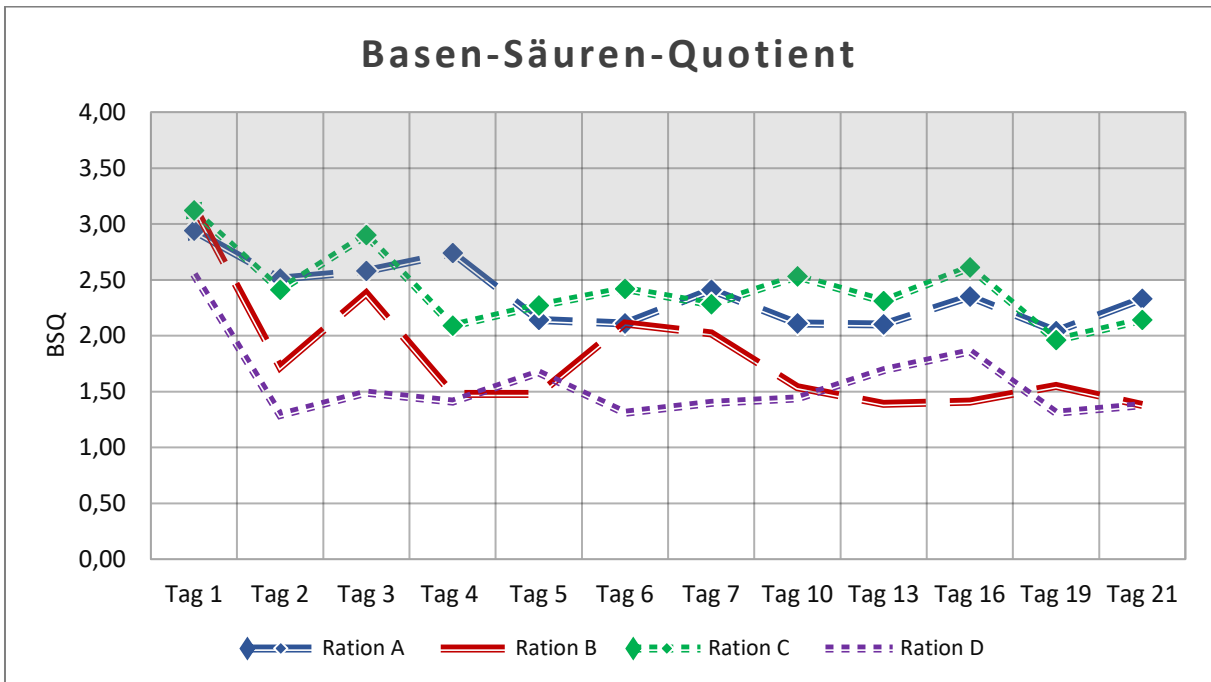


Abbildung 62: Mittlere Basen-Säuren-Quotienten im Harn – Untersuchungsverlauf

Tabelle 95: BSQ im Harn

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	2,36	0,61	4,77	< 0,001	***	***	***	***
B	1,80	0,55	5,00					
C	2,42	1,08	4,42					
D	1,57	0,55	3,01					
				$p_T = 0,024$				
				$p_{G/T} = 0,630$				

Rationsübergreifend befinden sich am Ende der Untersuchung die BSQ-Werte deutlich unterhalb der jeweiligen Ausgangsniveaus und unterhalb des Referenzbereiches. Für die Faktoren Zeit und Gruppe lassen sich, insbesondere in Abhängigkeit vom Puffereinsatz, statistisch signifikante Unterschiede ermitteln (Tabelle 95).

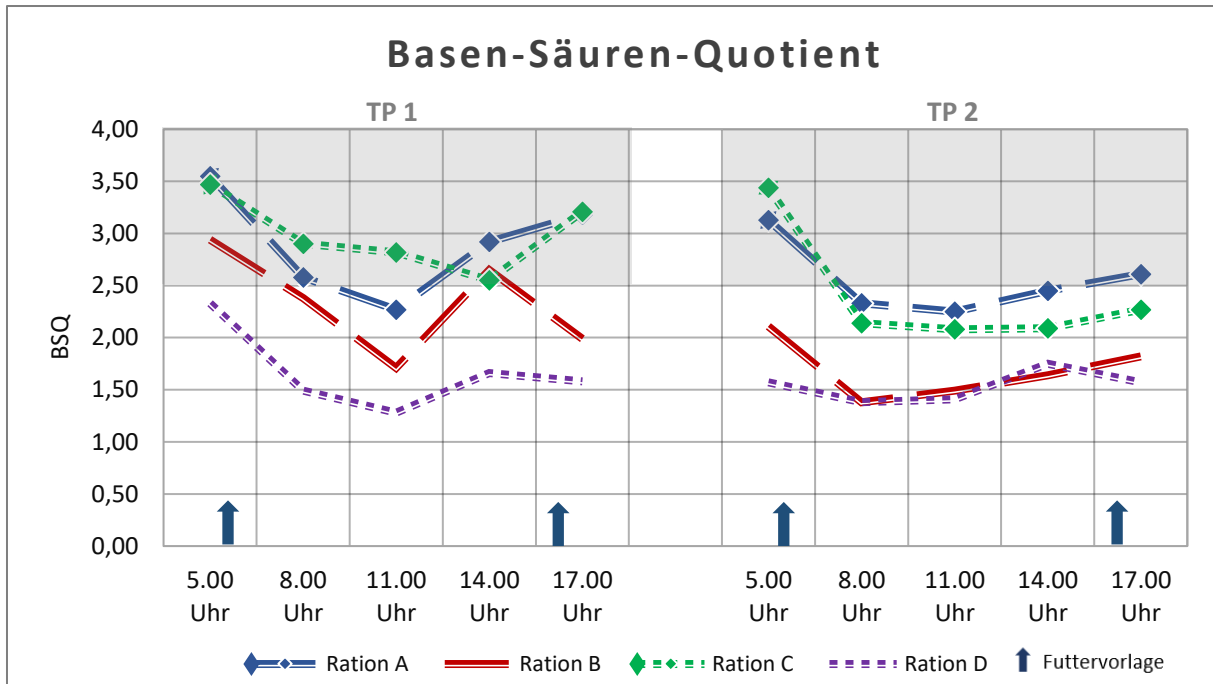


Abbildung 63: Mittlere Basen-Säuren-Quotienten im Harn – Tagesprofile

Tabelle 96: BSQ im Harn an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	2,90	1,55	4,39	0,071	n. s.	n. s.	n. s.	*
B	2,33	1,02	5,00					
C	2,99	1,08	5,98					
D	1,67	1,04	2,95					
				$p_T = 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,350$				

Tabelle 97: BSQ im Harn an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	2,55	1,56	3,92	0,015	**	n. s.	n. s.	**
B	1,69	0,99	3,04					
C	2,40	1,26	4,82					
D	1,54	1,01	2,11					
				$p_T = 0,014$				
				$p_{G/T} = 0,481$				

Rationsabhängige Unterschiede in Abhängigkeit vom Puffereinsatz sind auch für die mittleren BSQ-Werte sowohl im TP 1 als TP 2 zu bestimmen (Abbildung 63). Für die Fütterungsgruppe D ist der Gruppeneffekt an beiden Tagen statistisch signifikant. Darüber hinaus ist für beide TP ein signifikanter Einfluss des Zeitpunktes der Probenahme vorhanden. Am Tag 21 ist dieser nur schwach ausgeprägt (Tabellen 96 und 97).

4.4.2 Elektrolyte

4.4.2.1 Chlorid

Die Chloridgehalte im Harn bewegen sich rationsübergreifend unterhalb der physiologischen Referenz von 40 bis 160 mmol/l (Fürl 2005). Überschreitungen können weder bei den Einzel- noch bei den Mittelwerten festgestellt werden (Abbildung 64).

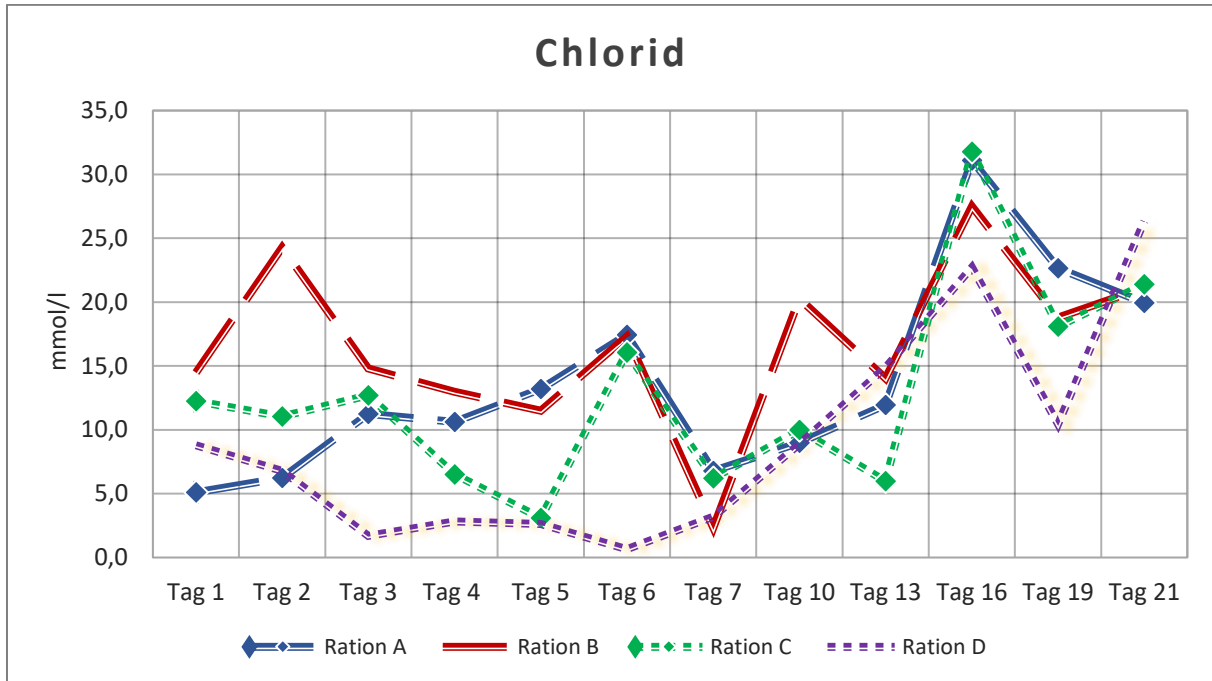


Abbildung 64: Mittlere Chloridkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf

Tabelle 98: Chloridkonzentrationen [mmol/l] im Harn
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	13,8	0,0	56,1	0,439				
B	16,6	0,0	58,5		n. s.			
C	12,9	0,0	63,3		n. s.	n. s.		
D	9,2	0,0	79,0		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,039$				
				$p_{G/T} = 0,583$				

Im Verlauf der Untersuchungen steigen die mittleren Chloridkonzentrationen an und liegen am letzten Untersuchungstag über den jeweiligen Ausgangswerten, aber weiterhin unterhalb des Referenzbereiches.

Hinsichtlich der Chloridgehalte des Harns können weder für den Faktor Gruppe noch für die Wechselwirkung zwischen den Faktoren Gruppe und Zeit signifikante Unterschiede ermittelt werden. Ein schwach signifikanter Einfluss des Zeitpunktes der Probenahme ist vorhanden (Tabelle 98).

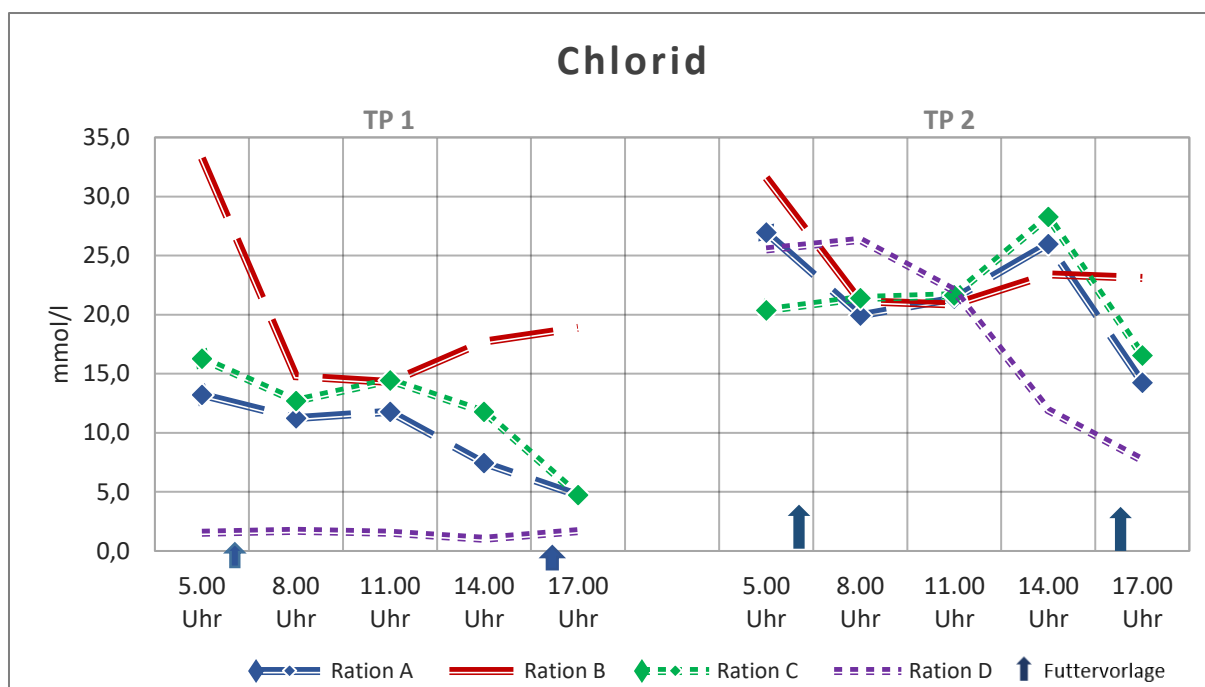


Abbildung 65: Mittlere Chloridkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile

Tabelle 99: Chloridkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	P	A	B	C	D
A	9,7	0,0	44,1	0,261	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	19,8	0,0	70,2					
C	12,0	0,0	34,8					
D	1,5	0,0	6,8					
				$p_T = 0,013$				
				$p_{G/T} = 0,370$				

Tabelle 100: Chloridkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	21,7	0,0	59,8	0,780	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	24,0	0,0	86,4					
C	21,7	1,2	77,1					
D	18,7	0,0	79,0					
				$p_T = 0,003$				
				$p_{G/T} = 0,609$				

Die Entwicklung und die Höhe der Chloridgehalte im Harn der Tiere, die die Rationen A und C erhalten, sind in den Tagesprofilen nahezu deckungsgleich. Den Probanden, die Ration B erhielten, sind die jeweils höchsten Mittelwerte zuzuordnen, während bei den Tieren, die Ration D erhielten, an Tag 3 renale Chloridgehalte nur knapp oberhalb der Messgrenze festzustellen sind (Abbildung 65). Bei der statistischen Analyse können weder rationsintern noch rationsübergreifend signifikante Unterschiede festgestellt werden. Bedingt durch

tageszeitliche Unterschiede ist ein signifikanter Einfluss des Messzeitpunktes auf die renale Chloridausscheidung zu verzeichnen (Tabellen 99 und 100).

4.4.2.2 Calcium

Im Verlauf der Untersuchungen zeigt sich bei den Calciumgehalten im Harn anfangs ein Anstieg der Mittelwerte. Die Calciumwerte in den Gruppen A, B und D erreichen zwischen dem fünften und siebten Tag ihr Ausscheidungsmaximum. Nach diesem Zeitpunkt fallen die Gehalte ab, um gegen Versuchsende erneut anzusteigen (Abbildung 66).

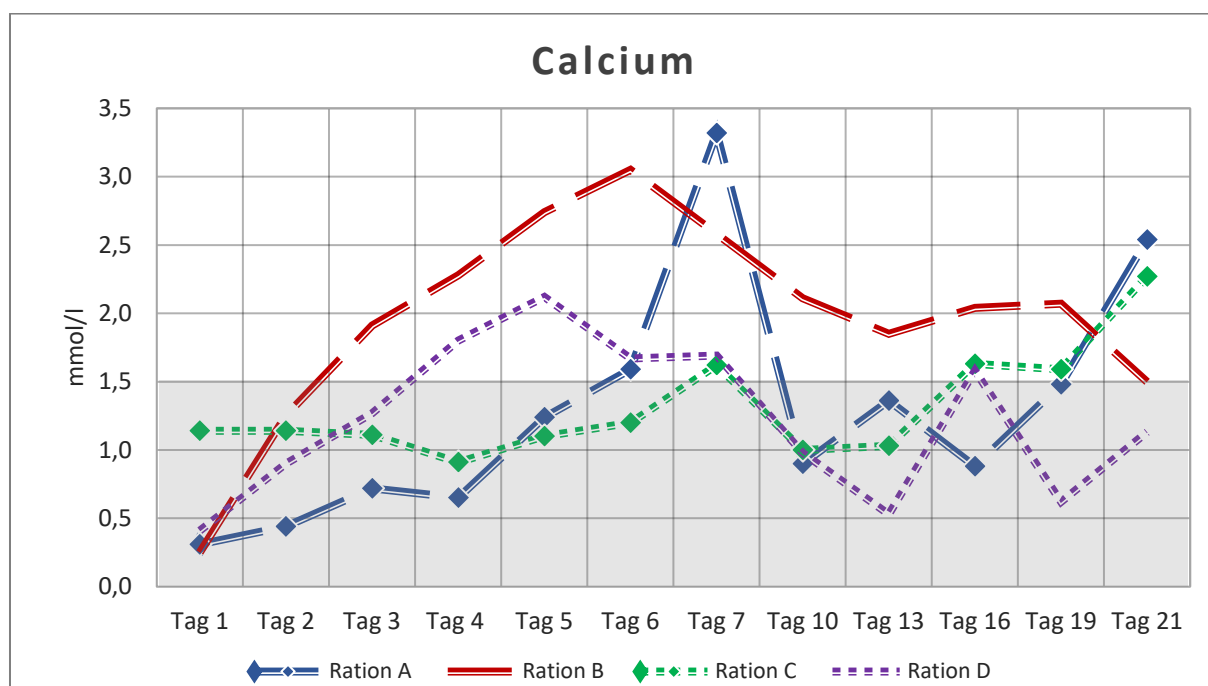


Abbildung 66: Mittlere Calciumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf

Tabelle 101: Calciumkonzentrationen [mmol/l] im Harn

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	1,29	0,11	10,17	0,475				
B	1,97	0,10	8,00		n. s.			
C	1,31	0,11	4,58		n. s.	n. s.		
D	1,23	0,18	5,00		n. s.	n. s.	n. s.	
				$p_T = 0,061$				
				$p_{G/T} = 0,564$				

Die ermittelten Maxima der mittleren Calciumausscheidung an Tag 7 sind bei den Probanden der Ration A durch ein Versuchstier bedingt, in dessen Harn an diesem Probenstag ein Calciumgehalt von 10,2 mmol/l gemessen wurde. Dieses Ausscheidungsmaximum geht mit einem pH-Wert im Harn von 5,79 und einer NSBA von -44 mmol/l einher.

Für die Calciumgehalte im Harn sind statistisch sichere Effekte weder für die Faktoren Gruppe und Zeit noch deren Wechselwirkung zu bestimmen (Tabelle 101).

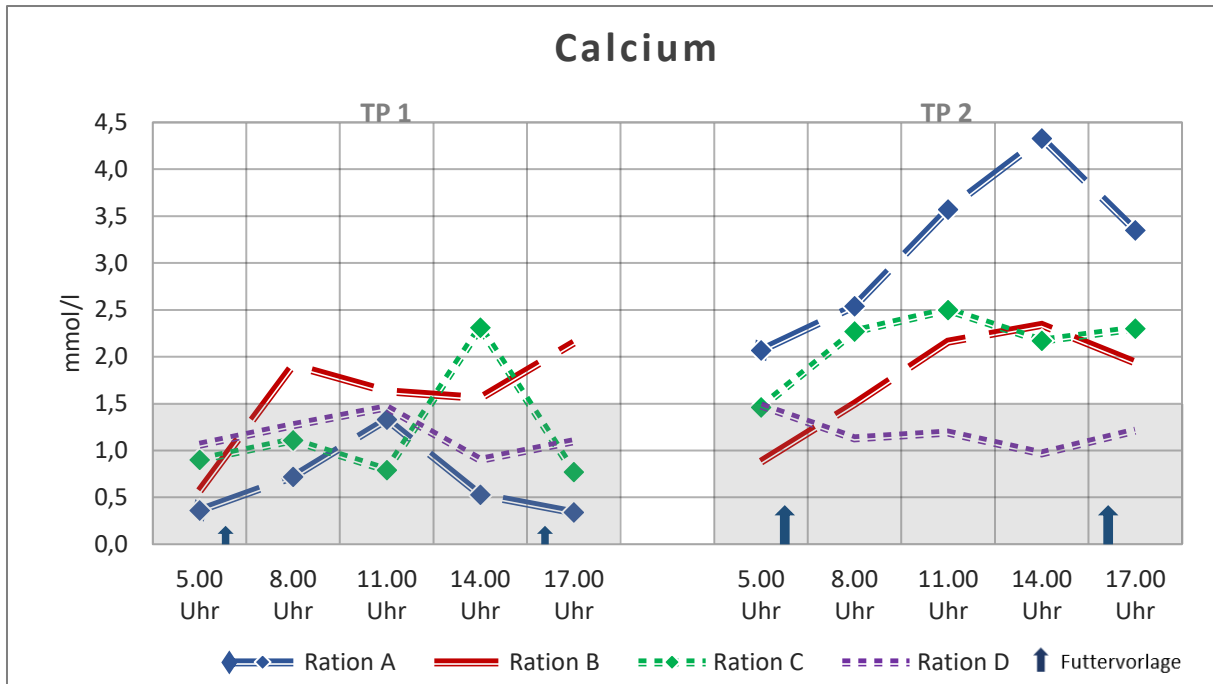


Abbildung 67: Mittlere Calciumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile

Tabelle 102: Calciumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	0,66	0,13	3,45	0,738	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	1,56	0,10	4,68					
C	1,18	0,13	4,97					
D	1,16	0,21	2,82					
				$p_T = 0,075$				
				$p_{G/T} = 0,232$				

Tabelle 103: Calciumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	3,17	0,22	7,21	0,372	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	1,76	0,40	4,39					
C	2,14	0,01	6,25					
D	1,20	0,13	3,47					
				$p_T = 0,029$				
				$p_{G/T} = 0,278$				

Im Vergleich der Tagesprofile zeigt sich ein Anstieg der Calciumausscheidung an Tag 21 (Abbildung 67). Der Einfluss des Faktors Zeit auf die Höhe der renalen Calciumausscheidung im Tagesverlauf ist im TP 2 statistisch signifikant (Tabellen 102 und 103). Für die Tiere der Fütterungsgruppe A können mit $p = 0,046$ schwach signifikante Unterschiede beim rationsinternen Vergleich der beiden Tagesprofile ermittelt werden.

4.4.2.3 Magnesium

Die Magnesiumgehalte im Harn weisen mit mittleren Werten von $25,1 \pm 4,2$ mmol/l Werte oberhalb des physiologischen Referenzbereiches von 16,5 mmol/l (Fürl 2005) auf. Dieses hohe Ausscheidungsniveau besteht rationsunabhängig über den gesamten Untersuchungszeitraum (Abbildung 68).

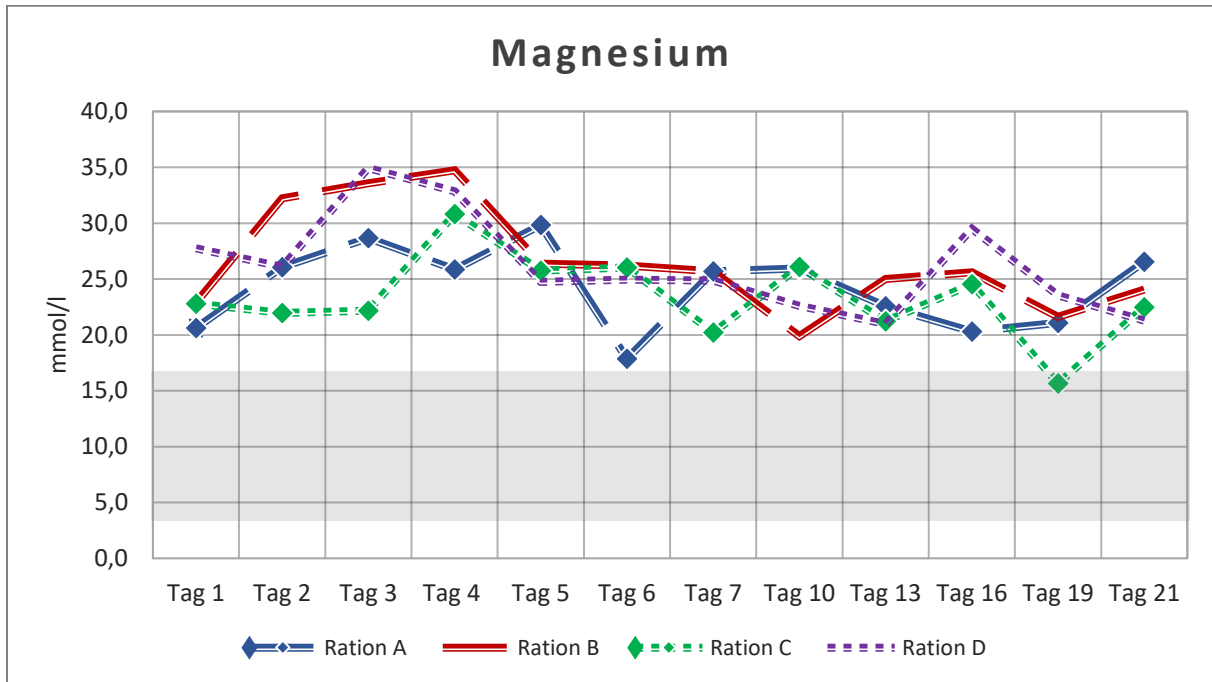


Abbildung 68: Mittlere Magnesiumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf

Tabelle 104: Magnesiumkonzentrationen [mmol/l] im Harn
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	24,3	8,1	39,7	0,416	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	26,5	7,4	46,2					
C	23,3	8,6	36,0					
D	26,2	7,4	49,3					
				$p_T = 0,012$				
				$p_{G/T} = 0,560$				

Hinsichtlich der Magnesiumgehalte des Harns können weder für den Faktor Gruppe noch für die Wechselwirkung zwischen den Faktoren Gruppe und Zeit signifikante Unterschiede bestimmt werden. Ein schwach signifikanter Einfluss des Zeitpunktes der Probenahme ist vorhanden (Tabelle 104).

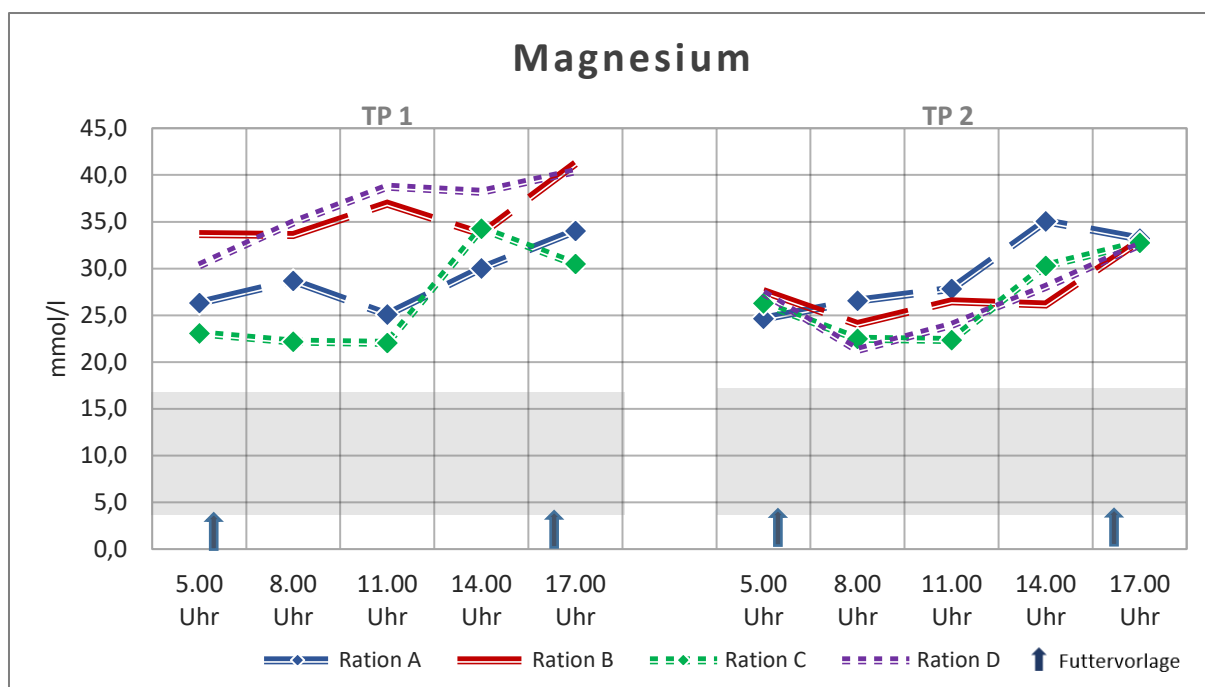


Abbildung 69: Mittlere Magnesiumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile

Tabelle 105: Magnesiumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 3
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	28,8	13,7	44,5	0,396	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	35,8	17,9	52,9					
C	26,4	13,5	43,9					
D	36,5	14,9	57,9					
				$p_T = 0,057$				
				$p_{G/T} = 0,397$				

Tabelle 106: Magnesiumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 21
Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	29,5	16,6	40,0	0,785	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	27,5	8,4	45,8					
C	26,8	13,9	39,6					
D	26,7	7,4	51,9					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,399$				

In beiden Tagesverlaufsuntersuchungen liegen die mittleren Magnesiumkonzentrationen rationsunabhängig oberhalb der physiologischen Referenz (Abbildung 69). Während bei den Tieren, die Rationen mit Pufferzusatz erhielten, an beiden Tagen vergleichbare Magnesiumgehalte im Harn gemessen werden, sinken die Magnesiumgehalte bei den Tieren, die keine zusätzliche NaHCO_3 -Gabe erhielten, im zweiten Tagesprofil ab. Bei den mit Ration B gefütterten Tieren ist diese Differenz statistisch schwach signifikant ($p = 0,037$). Für Tag 21

kann für den Faktor Zeit ein signifikanter Einfluss auf den Magnesiumgehalt des Harnes bestimmt werden (Tabellen 105 und 106).

4.4.2.4 Natrium

Im Verlauf der Untersuchungen zeigen sich starke Schwankungen der Konzentration von Natrium im Harn. Unabhängig vom Fütterungstyp liegen die Natriumwerte im Harn am Ende des Untersuchungszeitraumes unterhalb der jeweiligen Ausgangswerte (Abbildung 70).

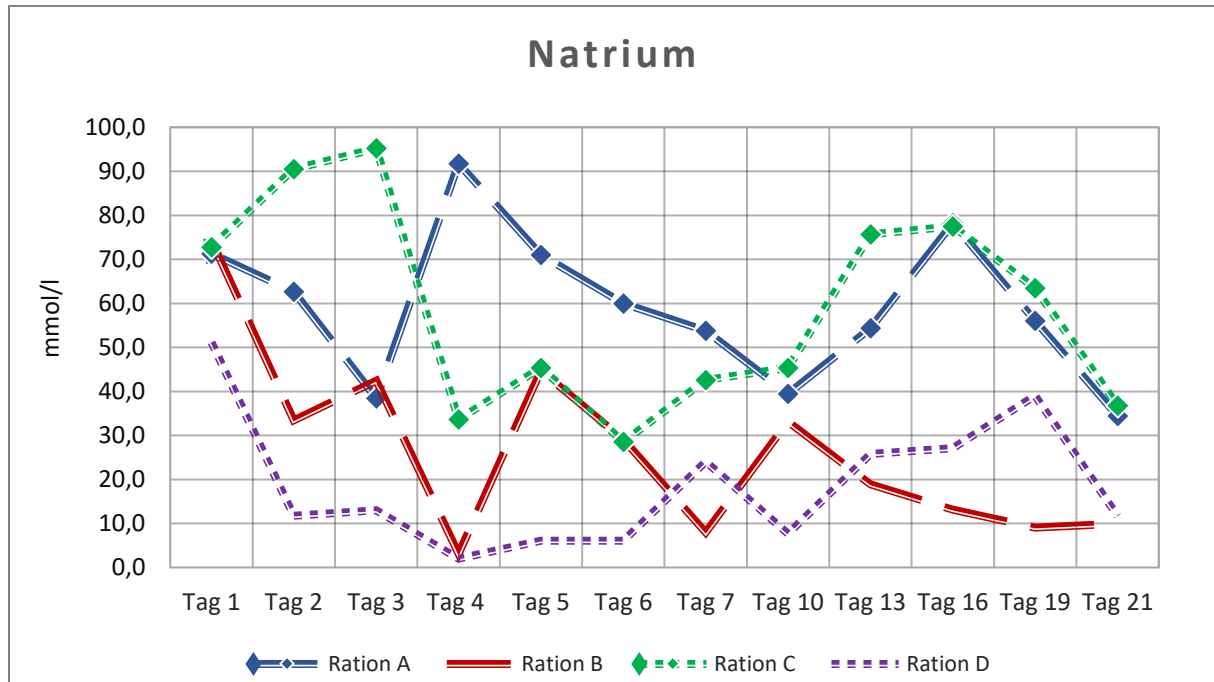


Abbildung 70: Mittlere Natriumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf

Tabelle 107: Natriumkonzentrationen [mmol/l] im Harn

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	P	A	B	C	D
A	59,3	2,0	158,2	< 0,001	***	***	***	***
B	26,6	0,0	150,6					
C	58,9	3,1	178,8					
D	18,8	0,0	101,3					
				$p_T = 0,072$				
				$p_{G/T} = 0,239$				

Die Probanden, die die Rationen mit Pufferzusatz erhalten, weisen zu allen Messzeitpunkten mittlere Natriumkonzentrationen im Referenzbereich auf. Bei den Tieren, die Rationen ohne Pufferzusatz erhalten, liegen zwei bzw. vier der zwölf bestimmten Mittelwerte unterhalb der Referenzgrenze von 8,7 mmol/l (Fürl 2005). Für den Einfluss der Ration auf die Höhe der Natriumausscheidung lassen sich teilweise hochsignifikante Unterschiede ermitteln (Tabelle 107).

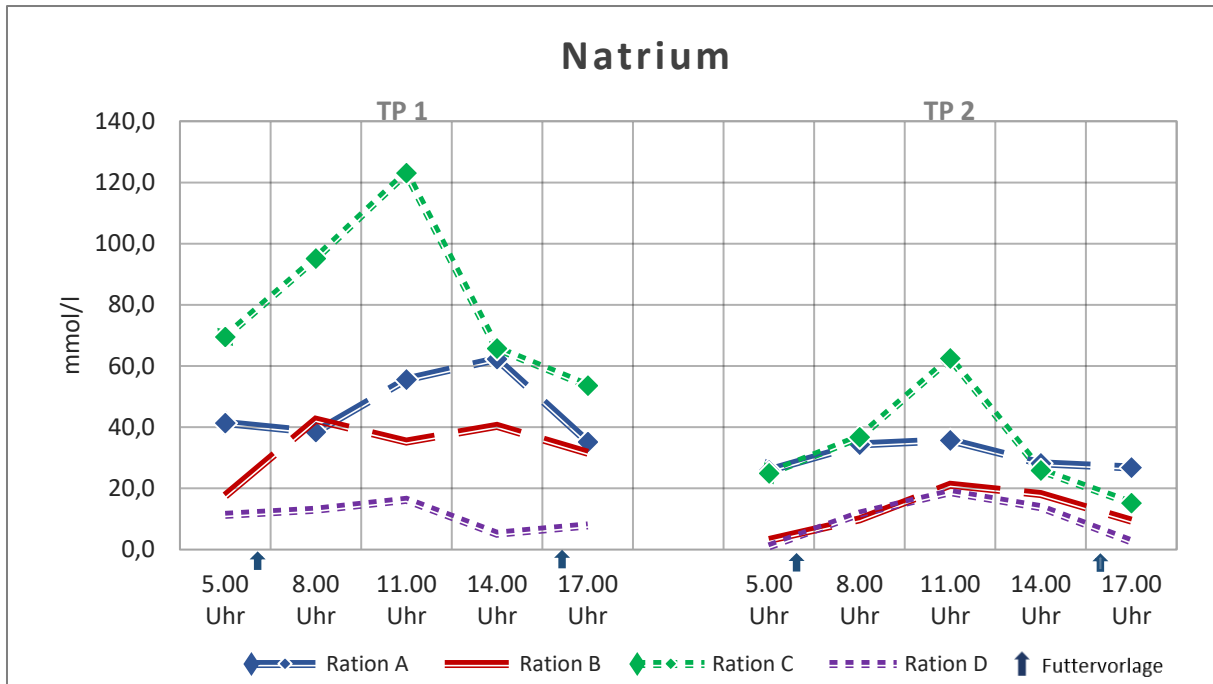


Abbildung 71: Mittlere Natriumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile

Tabelle 108: Natriumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	46,6	1,7	59,8	0,058	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	33,5	0,0	155,7					
C	81,4	11,1	188,7					
D	10,7	0,0	57,9					
				$p_T < 0,001$				
				$p_{G/T} = 0,474$				

Tabelle 109: Natriumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	30,2	0,5	84,4	0,058	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	12,4	0,0	63,6					
C	33,1	0,9	92,3					
D	9,6	0,0	42,4					
				$p_T = 0,025$				
				$p_{G/T} = 0,325$				

Hinsichtlich der mittleren Natriumgehalte im Harn ist jeweils ein Konzentrationsmaximum zur Probenahme um 11 Uhr zu verzeichnen. Am deutlichsten wird dies bei den pufferzugewetzten Rationen A und C, insbesondere zu Beginn der Untersuchungsreihe (Abbildung 71).

Bedingt durch diese tagesdynamischen Unterschiede kann für beide Tagesverlaufsuntersuchungen ein signifikanter Einfluss des Messzeitpunktes auf die Höhe des Natriumgehaltes im Harn ermittelt werden. Dieser ist zu Beginn der Untersuchung stärker ausgeprägt als am Ende der Versuchsreihe (Tabellen 108 und 109).

Während für die Tage 3 bzw. 21 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Rationsgruppen ermittelt werden können, ist für die Probanden der Ration C im rationsinternen Vergleich der Tagesprofile mit $p < 0,001$ eine hochsignifikante Abnahme der Natriumkonzentration im Harn nachweisbar.

4.4.2.5 Kalium

Die ermittelten durchschnittlichen Kaliumgehalte im Harn liegen im Untersuchungsverlauf kontinuierlich im unteren Drittel des Referenzbereiches oder darunter (Abbildung 72).

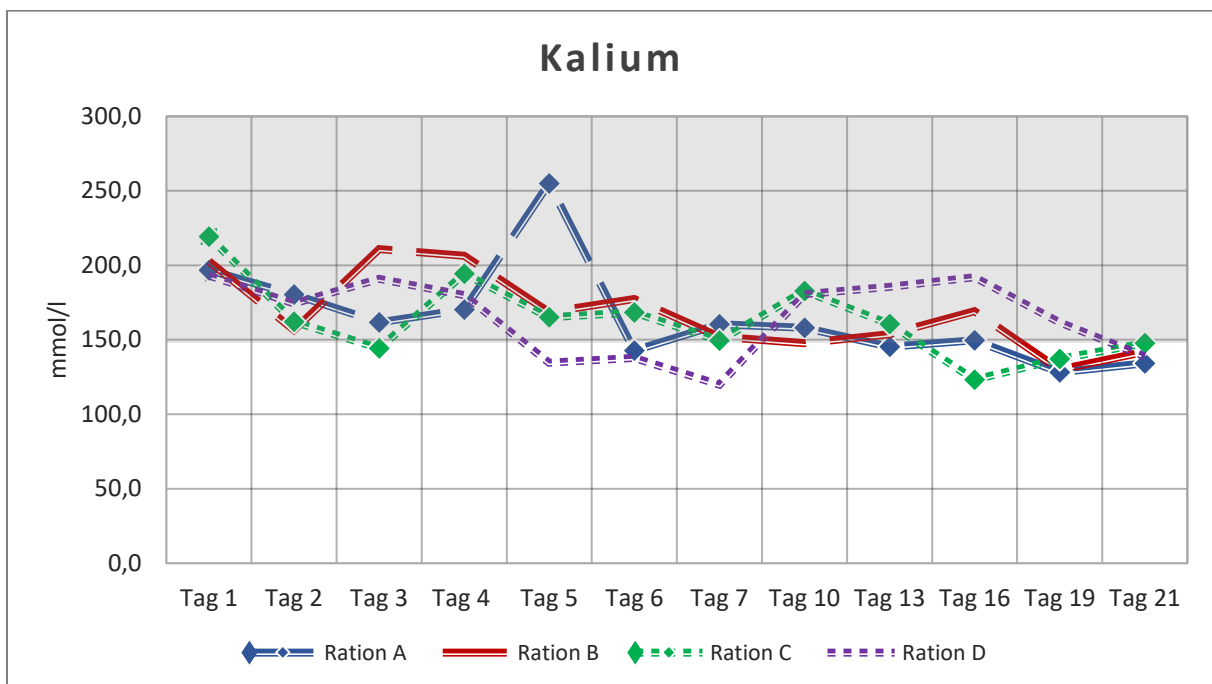


Abbildung 72: Mittlere Kaliumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf

Tabelle 110: Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Harn

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	P	A	B	C	D
A	165,3	76,8	383,2	0,935	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	168,1	56,0	270,2					
C	162,9	80,3	345,4					
D	165,8	50,4	306,1					
				$p_T = 0,069$				
				$p_{G/T} = 0,527$				

Hinsichtlich der Kaliumgehalte im Harn sind statistisch sichere Effekte weder für die Faktoren Gruppe und Zeit noch deren Wechselwirkung zu bestimmen (Tabelle 110).

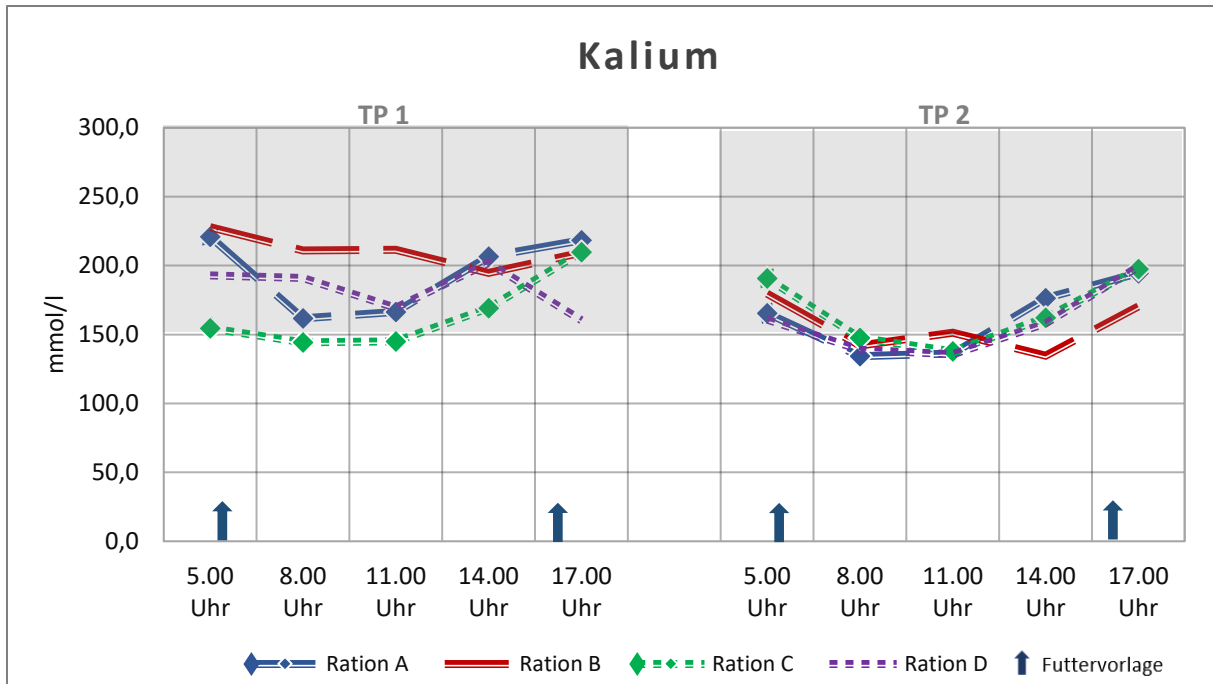


Abbildung 73: Mittlere Kaliumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile

Tabelle 111: Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 3

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	194,6	85,0	296,0	0,372	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	210,9	139,7	286,2					
C	164,6	96,5	288,1					
D	183,1	83,4	262,4					
				$p_T = 0,167$				
				$p_{G/T} = 0,258$				

Tabelle 112: Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 21

Mittelwerte (\bar{x}), Minimal- und Maximalwerte (min.; max.) sowie Signifikanzniveaus (p) in Abhängigkeit vom Rationstyp

Ration	\bar{x}	min.	max.	p	A	B	C	D
A	161,3	107,0	243,9	0,912	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
B	155,6	88,1	220,7					
C	167,2	81,8	259,3					
D	158,5	67,0	238,4					
				$p_T = 0,004$				
				$p_{G/T} = 0,357$				

Ebenso wie die Natriumausscheidung ist die Kaliumkonzentration im Harn tageszeitlichen Schwankungen unterworfen (Abbildung 73). Für das TP 2 lässt sich der Einfluss des Messzeitpunktes auf die Höhe der Kaliumgehalte statistisch sicher bestimmen (Tabellen 111 und 112).

Hochsignifikante Differenzen in den Harn-Kaliumgehalten ergeben sich beim rationsinternen Vergleich der jeweiligen Tagesprofile für die Probanden der Fütterungsgruppe B ($p < 0,001$).

5 Diskussion

5.1 Versuchskonzeption

Ziel dieser Studie war es, zwei Rationen, die sich lediglich hinsichtlich des Einsatzes von Häckselstroh und Strohfeinmehl als strukturwirksame Rohfaserkomponenten voneinander unterscheiden (Ration B und D), auf ihre Auswirkungen auf ausgewählte Stoffwechselfparameter der Milchkühe zu untersuchen. Zeitgleich sollten die Effekte dieser Rationen mit und ohne Einsatz von Natriumhydrogencarbonat (Ration A bzw. C) beobachtet werden.

Für die Durchführung dieser Studie standen insgesamt sechs pansenfistulierte laktierende Holstein-Kühe zur Verfügung. Die Daten von vier Tieren, die kontinuierlich an allen Versuchsdurchgängen des Hauptversuches teilgenommen haben, fanden Eingang in diese Arbeit. Dass sich durch die geringe Probandenzahl individuelle Eigenheiten der Versuchstiere stärker in den erhobenen Daten widerspiegeln, wurde dabei genauso akzeptiert wie die Varianz in Alter und Größe, Laktations- und Trächtigkeitsstadium der Tiere und die Verwendung verschiedener Pansenfistelkanülen.

Für die Gewährleistung des gewählten Rationsprinzips war es aus arbeitstechnischen Gründen notwendig, die beiden Grundrationen (Ration B: Strohhäcksel bzw. Ration D: Strohmehl) wöchentlich herzustellen und den Pansenpuffer für die Rationsgruppen A und C den abgewogenen Futterportionen jeweils bei Futtervorlage manuell einzumischen. Im Rahmen der Siebanalysen zeigten sich trotz des gleichen Anmischrezeptes (Tabellen 9 und 10) erhebliche Unterschiede in den Gehalten an strukturwirksamer Rohfaser in den gleichen Rationsgruppen (Tabelle 12). Variationen bei der Rationsanmischung sowie der Probenahme müssen als mögliche Ursachen für diese Abweichungen in Betracht gezogen werden. Eine über die dargestellte Strukturanalyse hinausgehende Erfassung der Häcksellänge erfolgte nicht. Aufgrund der Dauer der Versuche mit der kleinen Tieranzahl war sowohl eine Lagerung der abgeteilten Futterportionen als auch der Futterproben bei -3°C notwendig. Die Einflüsse der Futterportionierung sowie der Kühlvorgänge wurden in dieser Studie nicht betrachtet.

Die Anbindehaltung der Tiere sowie die einzeltierbezogene Futtervorlage gewährleisteten zu jeder Zeit eine ad libitum-Fütterung und lassen eine eindeutige tierbezogene Datensammlung zu.

Da die zu untersuchenden Parameter, insbesondere der pH-Wert des Pansensaftes, abhängig vom Zeitpunkt der Fütterung schwanken (Dirksen 1985), wurden neben der täglichen Probenahme zwei Tagesprofile (zwölf Stunden) in die Studie integriert: eines zu Beginn und eines am Ende der Versuchsreihe (Tabelle 14). Während sich der Messzeitpunkt um 9 Uhr – drei Stunden nach der Futtervorlage am Morgen – in den eigenen Voruntersuchungen am repräsentativsten für eine einmalig am Tag stattfindende Probenahme darstellte, deckten die in 3-Stunden-Intervallen durchgeführten Probenahmen der Tagesprofile die Zeit von einer

Stunde vor der ersten Futtevorlage des Tages bis zu einer Stunde nach der zweiten Futtevorlage des Tages ab. Dies erfolgte u. a. vor dem Hintergrund, dass insbesondere die Konzentration kurzkettiger Fettsäuren im Vormagen und damit der Pansen-pH-Wert tagesrhythmischen Schwankungen unterliegt und die höchsten Konzentrationen zwei bis vier Stunden nach der Fütterung gemessen werden (Rémond et al. 1993).

5.2 Ration und Futteraufnahme

Die Rationsanalysen wurden für die Rationen B und D durchgeführt (Tabelle 11).

Mit Werten von $521 \pm 20,4$ g/kg TM (Ration B) und $527 \pm 21,7$ g/kg TM (Ration D) weisen die Rationen durchgehend Trockenmassegehalte auf, die oberhalb der Fütterungsempfehlungen (LfL 2019) liegen. Durch wiederholtes Bewegen der vorgelegten Futtermengen (manuelles Einmischen des Puffers, Kontrollwägungen der Futtermengen nach Probenahme) wurde den möglichen schlechteren Mischeigenschaften der Rationsbestandteile sowie einer damit verbundenen potenziellen Selektionsgefahr (LfL 2019) entgegengewirkt.

Hauptkomponente der TMR bildete mit 46,6 Prozent der TM Maissilage am Ende der Teigreife. Das fortgeschrittene Vegetationsstadium der Maissilage spiegelt sich in den hohen Stärkegehalten ($309 \pm 34,9$ g/kg TS [Ration B] und $320 \pm 25,4$ g/kg TS [Ration D]) und den vergleichsweise niedrigen Rohfasergehalten ($163 \pm 17,7$ g/kg TS [Ration B] und $147 \pm 18,9$ g/kg TS [Ration D]) wider.

Die Rohproteingehalte in der TMR ($145 \pm 9,6$ g/kg TS [Ration B] und $155 \pm 23,3$ g/kg TS [Ration D]) können aufgrund des Einsatzes von rohproteinreichem Sojaextraktionsschrot und Milchleistungsfutter mit jeweils hohen UDP-Anteilen (Spiekers et al. 2009) als ausreichend betrachtet werden und passen zu den aktuellen N- und P-reduzierten Fütterungsstrategien zur Senkung der Nährstoffausscheidungen von Milchkühen (DLG 2020).

Unterhalb der Empfehlungen für laktierende Milchkühe (Staufenbiel et al. 2007, Staufenbiel et al. 2016) liegen mit einer Ausnahme die auf Basis der Rationsanalysen errechneten mittleren DCAB-Werte. Die DCAB-Werte der Ration D sind mit $177 \pm 23,2$ meq/kg TS niedriger als bei der Strohhackselgruppe B (Tabelle 11). Milchkuhrationen sollten i. d. R. DCAB-Werte um 200 meq/kg TS aufweisen (Staufenbiel 2011). Die DCAB gibt das Verhältnis der Kationen Kalium und Natrium zu den Anionen Chlorid und Sulfat in der Ration bzw. einem Futtermittel wieder. Obwohl sie nur einen Teil der direkt pH-wirksamen Substanzen einbezieht, kann sie einen direkten Rationseffekt auf den Pansensaft-pH-Wert und auf den Säuren-Basen-Haushalt im Blut und im Harn anzeigen. Puffernde Rationsbestandteile, die – wie Natriumhydrogencarbonat – starke Kationen oder Anionen enthalten, können bei der DCAB-Analyse erfasst werden (Staufenbiel 2011).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Rationsanalysen für die Rationen B und D in den verschiedenen Rationsdurchgängen deutliche Schwankungsbreiten mit Nährstoffgehalten, die

z. T. außerhalb der Fütterungsempfehlungen liegen. Dem Versuchsansatz entsprechend konnten für den Rationstyp D sowohl im Rahmen der Strukturanalyse (Tabelle 12) als auch bei den Rohfaser- und ADF-Werten der Rationsanalysen (Tabelle 11) Werte im unteren Bereich bzw. unterhalb der Empfehlungen für eine wiederkäuergerechte Rationsgestaltung ermittelt werden. Die Differenzen zur Vergleichsration B sind jedoch gering ausgeprägt.

Als strukturwirksam werden Partikel $\geq 0,65$ cm eingestuft (Piatkowski et al. 1975). Im Gegensatz zum eingesetzten Strohhacksel (Partikellänge 1–2 cm) enthält das eingesetzte Strohmehl (Partikellänge 0,2–0,5 cm) demnach keine strukturwirksame Rohfaser. Nach dieser Definition ist bei den Rationsgruppen C und D (Strohmehl) nur die Maissilage strukturwirksam. Rationen mit geringen Anteilen strukturwirksamer Rohfaser wird eine kürzere Verweildauer im Pansen mit gesteigerter Futteraufnahme zugesprochen (Schwab et al. 2002, Yang et al. 2005, Bhandari et al. 2007, Maulfair et al. 2010, Beauchemin 2018). In anderen Studien konnte nur eine geringe Beeinflussung der Futteraufnahme durch die Hacksellänge ermittelt werden (Yang et al. 2005, Zebeli et al. 2007). Auch in der vorliegenden Studie zeigen sich zwischen dem Zeitpunkt der Futtervorlage und den Probenahmezeitpunkten keine signifikanten Unterschiede in der Futteraufnahme hinsichtlich der Abhängigkeit von den Gehalten an strukturwirksamer Rohfaser (Tabellen 18–20). Aussagen hinsichtlich des Einflusses einer kontinuierlichen Zufütterung von NaHCO_3 auf die Trockenmasseaufnahme sind daraus ebenfalls nicht abzuleiten.

5.3 Pansensaft

Eines der wichtigsten diagnostischen Mittel zur Erkennung eines Mangels an strukturwirksamer Rohfaser und somit zur Erkennung von Belastungen der Pansengesundheit ist die Pansensaftuntersuchung (Garrett et al. 1999, Gasteiner et al. 2009). Die Schwierigkeit liegt in der Gewinnung des Pansensaftes. Es existieren zahlreiche Untersuchungen zur Entnahmetechnik für Pansensaft (Garrett et al. 1999, Kleen et al. 2005, Dirksen et al. 2012). In dieser Studie war die Entnahme des Pansensaftes über Pansenfistelkanülen möglich. Durch die Pansensaftgewinnung über die Fistelkanülen sind Verunreinigungen durch den Speichel und damit eine Beeinflussung der Messwerte auszuschließen (Gasteiner et al. 2009). Eine Beeinflussung des Pansen pH-Wertes durch Abnahme des pCO_2 infolge der Probenahme oder aufgrund des Entweichens von CO_2 durch die Fistelöffnung (Hille et al. 2016) wurde hierbei akzeptiert.

Die invasive Natur des Eingriffes schränkte die Anzahl der an der Studie teilnehmenden Probanden ein. Die Ruminozentese stellte aufgrund der häufigen Pansensaftentnahmen keine Alternative dar (Enemark et al. 2004).

Eine sachgemäße Probenentnahme sowie die Wahl geeigneter Probenentnahmezeiten unter Berücksichtigung der tageszeitlichen Periodik ist hinsichtlich der Vergleichbarkeit diagnostisch

verwertbarer Parameter unbedingt zu beachten (Gasteiner et al. 2009). Idealerweise erfolgt die Probengewinnung an einem festen Entnahmezeitpunkt vor und/oder unmittelbar nach der Fütterung (Spieker 1989, Fürll 1993) und aufgrund lokaler pH-Wertunterschiede an der möglichst gleichen Stelle innerhalb des Pansens (Shen et al. 2012, Fürll 2018). Zu berücksichtigen ist auch, inwieweit sich die Parameter im Prozess der Probengewinnung, des Probenverkehrs sowie der Lagerung des Probenmaterials verändern, um mögliche Fehlinterpretationen zu vermeiden (Bender 2002).

5.3.1 pH-Wert

Der Pansen-pH-Wert hat eine zentrale Bedeutung für die Beurteilung des Pansensaftes bzw. der Pansenfermentation (Fürll 2018).

Anders als in den Arbeiten von Didik (1999) und Snyder et al. (1983) zeigen die im Rahmen dieser Untersuchungen ermittelten durchschnittlichen pH-Werte der Pansenflüssigkeit keine signifikanten Differenzen zwischen den Fütterungsgruppen, deren Rationen 120 g Natriumhydrogencarbonat pro Tier und Tag zugesetzt worden waren, und denen, bei denen dies nicht der Fall war (Tabellen 21–23).

Mit Werten von $6,18 \pm 0,05$ fielen die Pansen-pH-Werte gleichförmiger und höher aus, als dies auf der Basis des Versuchsansatzes zu erwarten gewesen wäre. Als Erklärung sind die im Bereich der Bedarfsempfehlung bzw. auch darüber liegenden NDF_{org} -Gehalte der Rationen bei noch ausreichender Rohfaser- und Strukturversorgung der Tiere (Tabelle 12) in Betracht zu ziehen. Berücksichtigt man die Laktationsstadien der Tiere (Tabelle 13), ist außerdem eine bereits erfolgte Adaptation des Pansens und Stabilisierung des ruminalen Ökosystems im Verlauf der Untersuchungsreihe wahrscheinlich.

Im Bereich der Tagesprofile sind die pH-Werte bei den Probenahmezeitpunkten um 5 Uhr stets höher als zu den übrigen Beprobungszeitpunkten. Begründet wird dies dadurch, dass sich der pH-Wert während der längeren Fütterungspause über Nacht nach oben reguliert (Dirksen 1985). Dieser tageszeitliche Unterschied der pH-Werte spiegelt sich bei den Tagesverlaufsuntersuchungen in einer hohen statistischen Signifikanz für den Zeitpunkt der Probenentnahme ($p < 0,001$) wider.

5.3.2 Flüchtige Fettsäuren

Bei einer gleichbleibenden Fütterung gelten die molaren Verhältnisse der Fettsäuren im Pansen als relativ stabil. Veränderungen werden als Ausdruck massiver Einflüsse gewertet (Müller-Özkan 2002).

Die mittleren Konzentrationen der Gesamtfettsäuren im Pansensaft zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen. Das reziproke Verhalten von pH-Wert und

Gesamtfettsäurenkonzentration im Pansensaft (Humer et al. 2018a) wird besonders in den Verlaufsuntersuchungen deutlich (Abbildungen 9 und 25).

Bei den Rationsgruppen B und D (keine NaHCO_3 -Zugabe) sind die mittleren Gesamtfettsäurenkonzentrationen mit $98,62 \pm 3,55$ mmol/l am Ende der Versuchsreihe und einer Differenz von $\pm 1,4$ mmol/l zu den Ausgangswerten zum Beginn der Untersuchung nahezu identisch (Abbildung 25). Während dies bei Ration B mit einem Anstieg des mittleren pH-Wertes um 0,1 pH-Einheiten auf 6,32 verbunden war, sank der mittlere pH-Wert bei der Ration D um 0,2 pH-Einheiten auf 6,23.

Wie bei den Rationen A und C (mit NaHCO_3 -Zugabe) sind bei den Rationen ohne Pufferzusatz Abnahmen der absoluten Acetatgehalte festzustellen (Abbildung 11). Die mittleren Propionatkonzentrationen blieben dagegen unverändert (Ration D) bzw. stiegen im Vergleich zu den Ausgangswerten an (Ration B) (Abbildung 13). Die relativen Anteile an Acetat lagen am Ende der Untersuchungsreihe 2,8 mol% (Ration B) bzw. 1,8 mol% (Ration D) unter den Ausgangswerten von $59,6 \pm 0,1$ mol%. Die prozentualen Propionatanteile nahmen bei beiden Rationsgruppen ohne Pufferzusatz zu (Abbildung 27). Diese Zunahme ist bei Ration B mit einem Anstieg von 4,7 mol% auf 28,6 mol% stärker ausgeprägt als bei der Ration D, wo es zu einer Zunahme von 0,9 mol% auf 25,1 mol% kam. Bei Ration D führte dies am Ende der Versuchsreihe zu einer tendenziellen Erweiterung des $\text{C}_2:\text{C}_3$ -Quotienten um 0,05 auf 2,55. Bei Ration B ist mit einem $\text{C}_2:\text{C}_3$ -Quotienten von 2,15 dagegen eine Verengung des Acetat-Propionat-Verhältnisses um 0,33 festzustellen (Abbildung 15).

Der tendenzielle Rückgang der Futteraufnahme in Verbindung mit einer moderaten Abnahme der mittleren Pansen-pH-Werte sowie der Verringerung der prozentualen Acetatanteile zugunsten erhöhter Propionatanteile und mittleren NSBA-Werten ≤ 100 mmol/l lassen bei den Rationsgruppen B und D (keine NaHCO_3 -Zugabe) die Diagnose einer subakuten Pansenazidose zu (Staufenbiel 2011).

Bei den Rationsgruppen A und C (mit NaHCO_3 -Zugabe) kam es zum Ende der Versuchsreihe zu einer Abnahme der Gesamtfettsäurenkonzentration um $8,45 \pm 1,98$ mmol/l auf $92,44 \pm 5,21$ mmol/l (Abbildung 25) bei einem Anstieg des mittleren pH-Wertes um 0,4 pH-Einheiten auf 6,47 (Ration A) bzw. um 0,3 pH-Einheiten auf 6,31 (Ration C). Bedingt wird die Abnahme der Gesamtfettsäurenkonzentration durch die Abnahme der Acetat- und Propionatgehalte. Während die relativen Acetatgehalte am Ende der Untersuchungsreihe mit $-0,3$ mol% und $+0,6$ mol% bei beiden Gruppen ähnlich hohe Anteile wie zu Versuchsbeginn aufwiesen, nahmen die prozentualen Propionatanteile ab (Abbildung 27). In der Konsequenz kam es zu einer Erweiterung des $\text{C}_2:\text{C}_3$ -Quotienten. Diese ist mit einem Anstieg von 0,32 auf 2,48 bei Ration C stärker ausgeprägt als bei Ration A, wo eine Erweiterung des Quotienten von 0,11 auf 2,45 ermittelt wurde. Eine Erweiterung des Acetat-Propionat-Verhältnisses deutet auf erhöhte fibrolytische Aktivitäten hin (Hildebrand et al. 2011). Diese Erweiterung bzw. die

Verhinderung der Verengung des $C_2:C_3$ -Quotienten im Unterschied zu den Rationen B und D kann als Zeichen der Pufferwirkung des Natriumhydrogencarbonates gewertet werden. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kam auch Didik (1999) in seiner Arbeit.

5.3.3 Elektrolyte

Die Konzentrationen der Elektrolyte im Pansensaft unterlagen im untersuchten Versuchszeitraum sehr großen Schwankungen. Dabei waren vereinzelte Konzentrationsanstiege im Vergleich zu den anderen Beprobungen festzustellen. Das Auftreten dieser Messspitzen kann nicht in unmittelbare Beziehung zur Rationsgruppe gesetzt werden.

Trotz unterhalb der Bedarfsempfehlungen liegender Natriumgehalte in der Ration (Spiekers et al. 2009) liegen die mittleren Natriumkonzentrationen in der Pansenflüssigkeit im oberen Referenzbereich. Die mittleren Natriumgehalte sind rationsübergreifend sehr ähnlich (Tabelle 57). Bei den Tieren, die die Rationen A und B (Strohhäcksel) erhalten hatten, zeigten sich im Untersuchungsverlauf tendenziell höhere Konzentrationen als bei den Tieren, die die Rationen C und D (Strohmehl) erhalten hatten. Obwohl statistisch nicht signifikant, ließen sich für die beiden Tagesprofile hinsichtlich der mittleren ruminalen Natriumgehalte der Ration D tendenziell niedrigere Natriumkonzentrationen ermitteln. Dieses kann eine Folge der etwas niedriger ausfallenden Futteraufnahme zwischen Futtervorlage und Probennahme (Abbildung 8) in dieser Gruppe sein, kann aber auch auf positive Effekte des Häckselstrohs auf das Kau-/Wiederkauverhalten bei den Tieren, die die Rationen A und B erhielten, hinweisen. Gleichzeitig erfolgte bei den Rationen A und C mit dem Einsatz von Natriumhydrogencarbonat als Puffer eine zusätzliche Natriumverabreichung, die die Natriumgehalte im Pansensaft entsprechend beeinflusste.

Bei bedarfsdeckender Natriumaufnahme verhalten sich die Natrium- und Kaliumgehalte im Pansensaft reziprok zueinander und bleiben in ihrer Summe weitestgehend konstant. Die Kaliumkonzentration im Pansensaft wird maßgeblich durch den Kaliumgehalt des Futters bestimmt (Martens 2005). Die mittleren ruminalen Kaliumgehalte bewegen sich trotz geringer, aber bedarfsgerechter Gehalte in der Ration (Tabelle 11) (Kirchgeßner et al. 2014) fast ausschließlich unterhalb des Referenzbereiches, sodass geringere Futteraufnahmen bzw. reduziertes Kau-/Wiederkauverhalten in Betracht zu ziehen sind. Letzteres wird durch die statistisch signifikanten Gruppenunterschiede, insbesondere zwischen den Rationen mit unterschiedlichen Strukturgehalten, unterstützt (Tabelle 60). Mit $p < 0,001$ waren die Unterschiede der Kaliumgehalte im Pansensaft während des Untersuchungsverlaufes zwischen den Rationsgruppen B und D am stärksten ausgeprägt (Tabelle 60).

5.4 Blut

Die Parameter der Blutgasanalyse, insbesondere der Base Excess (BE) und der Blut-pH-Wert, können aufgrund der physiologischen Regulationsmechanismen (siehe Kapitel 2.2) Hinweise auf das Vorliegen einer Pansenfermentationsstörung geben (Staufenbiel 2007).

Im Verlauf der Versuchsreihe konnten bei den Ergebnissen der Blutgasanalyse weder für den Faktor Gruppe noch für die Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit signifikante Unterschiede festgestellt werden. Hinsichtlich des Faktors Zeit zeigten sich für die Parameter pH und $p_v\text{CO}_2$ im Untersuchungsverlauf sowie für die Parameter BE, HCO_3^- und $p_v\text{CO}_2$ in den Tagesprofilen signifikante Unterschiede. Letztere waren zu Beginn der Versuchsreihe stärker ausgeprägt als am Ende.

Bei den Einzelwerten können die häufigsten pH-Absenkungen (mit $n = 4$ bis 6) und auch die niedrigsten festgestellten pH-Werte im Blut ($7,31$ bis $7,33$) den Rationen A, B und C zugeordnet werden. Von den insgesamt 17 festgestellten Unterschreitungen des pH-Wert-Referenzbereiches gehen sieben mit niedrigen bzw. unterhalb der Referenz liegenden Hydrogencarbonatkonzentrationen einher. Die BE-Werte reagierten dementsprechend. Diese Ergebnisse deuten bei einzelnen Tieren auf das Vorliegen einer metabolischen Azidose mit respiratorischer Kompensation hin (Gäbel 2005). Ein Einfluss der verschiedenen Strukturgehalte bzw. eine Pufferwirkung des Natriumhydrogencarbonats konnte hierbei nicht festgestellt werden.

Die Vitamin B_{12} -Konzentrationen aller vier Probanden der Rationen A und C lagen zu Beginn der Untersuchungsreihen unterhalb der Referenz (Abbildung 49). Dies kann auf eine im Vorfeld bestehende Pansenfermentationsstörung mit Schädigung der Vormagenmikroorganismen hindeuten. Im Untersuchungsverlauf stabilisierten sich die mittleren Werte im Referenzbereich, was als Anzeichen einer Anpassung des Pansenmilieus an die veränderte Fütterung gewertet werden kann.

5.5 Harn

Die renale Kompensation stellt beim Rind den wesentlichsten Regulationsweg von Belastungen des Säuren-Basen-Haushaltes dar (Kutas 1967) und ist die Grundlage für die diagnostische Nutzung des Harnes bei Störungen des Säuren-Basen-Haushaltes der Rinder (Gäbel 2005, Krikszok 2015). Von der Tagesdynamik nur wenig beeinflusst, geben Harnproben als Sammelproben die Mittelwerte über einen Zeitraum von mehreren Stunden wieder (Staufenbiel 2011).

Die Auslenkungen des Säuren-Basen-Haushaltes sind im Zusammenhang mit mikrobiellen Pansenfunktionsstörungen von besonderem Interesse (Staufenbiel 2007, Staufenbiel 2011). Zu deren Abschätzung eignen sich bei experimentell ausgelösten akuten und subklinischen Pansenazidosen neben dem pH-Wert insbesondere die Bestimmung der NSBA sowie des

BSQ im Harn (Lachmann et al. 1985a, Staufenbiel 2011, Krikcziokat 2015). Da weitere Faktoren Einfluss auf die Harnreaktion nehmen können, ist die Beziehung zwischen Harn- und Pansensaftbefunden jeweils zu prüfen (Enemark et al. 2002, Füll 2018).

5.5.1 Säuren-Basen-Status

Der pH-Wert im Harn gibt das Maß der freien, ungepufferten Wasserstoffionen wieder, während die NSBA die Gesamtheit der ausgeschiedenen H⁺-Ionen reflektiert (Kraft et al. 2005). Dementsprechend reagieren diese Parameter auf Veränderungen im Säuren-Basen-Gleichgewicht (Bender 2002) und gelten daher als wesentliche Parameter zur Erkennung subklinischer Störungen des Säuren-Basen-Haushaltes (Kutas 1965).

Azidotische Belastungen des Säuren-Basen-Haushaltes sind durch eine Abnahme der pH-Werte, der NSBA und des BSQ sowie eine erhöhte Ammonium-Ionen-Ausscheidung gekennzeichnet (Füll 1993, Didik 1999). Der Einsatz von pansenpuffernden Substanzen wie NaHCO₃ kann die Erhöhung des pH-Wertes im Harn (Kilmer et al. 1981), der NSBA (Flachowsky et al. 1991b) und der Basenausscheidung (Lunn et al. 1990a, Lindinger et al. 2000) bei Abnahme der Ammonium-Ionen-Ausscheidung bewirken (Didik 1999).

Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Harnparameter weisen auf das Vorliegen azidotischer Stoffwechselbelastungen der Tiere hin. Signifikante Unterschiede hinsichtlich der Ausprägung dieser Belastung zeigen sich in Abhängigkeit von dem Einsatz von Natriumhydrogencarbonat und den unterschiedlichen Gehalten an strukturwirksamer Rohfaser.

So können rationsübergreifend sowohl bei den mittleren pH-Werten als auch bei der NSBA, der Basenausscheidung sowie beim BSQ Abnahmen festgestellt werden. Ein Konzentrationsanstieg oder Werte auf vergleichbarem Niveau finden sich bei der Säureausscheidung sowie der NH₄⁺-Konzentration. Die Konzentrationsänderungen fielen in den Fütterungsgruppen B und D (keine NaHCO₃-Zugabe) stärker aus und führten zu Werten unterhalb (pH-Wert, NSBA, BSQ) bzw. oberhalb der jeweiligen Referenzbereiche (Säureausscheidung, NH₄⁺-Konzentration).

Die dargestellten Reaktionsmuster deuten darauf hin, dass es innerhalb des Beobachtungszeitraums nicht zu einer Adaptation an die Fütterung kommt und eine Verschiebung des Säuren-Basen-Gleichgewichtes in azidotischer Richtung eintritt. Die eingesetzten Rationen wirken sich demnach unabhängig der verwendeten strukturwirksamen Rohfaser negativ auf den Säuren-Basen-Haushalt der Tiere aus. Der Verwendung von Häckselstroh anstelle von Strohmehl kann zunächst eine gewisse stabilisierende Wirkung auf die Harnparameter zugesprochen werden, diese geht jedoch mit fortschreitender Versuchsdauer deutlich zurück.

Eine über den Versuchsverlauf anhaltende Abmilderung der azidotischen Belastung erfolgt bei Einsatz von NaHCO₃. So weisen die Fütterungsgruppen A und C (mit NaHCO₃-Zugabe) bei

relativ stabilem Werteverlauf höhere mittlere pH-Werte auf als die Gruppen B und D (keine NaHCO_3 -Zugabe) (Tabelle 82). In den Gruppen, die keine NaHCO_3 -Zugabe erhielten, sind erhebliche Schwankungen der mittleren Harn-pH-Werte mit Unterschreitungen des Referenzbereiches zu verzeichnen. Auch die Abnahmen der mittleren NSBA fallen bei den Rationen B und D (keine NaHCO_3 -Zugabe) deutlich stärker aus und führen zu kontinuierlich unterhalb des Referenzbereichs von 100 bis 200 mmol/l liegenden NSBA (Staufenbiel 2011). Bei den Fütterungsgruppen, deren Rationen keine NaHCO_3 -Zugabe enthielten, liegen 35 der 48 Messwerte der im Untersuchungsverlauf ermittelten Einzelwerte unterhalb der Referenz, davon vier (Ration B) bzw. sechs Werte (Ration D) im Bereich ≤ 0 mmol/l. Bei den Fütterungsgruppen, denen NaHCO_3 zugesetzt wurde, liegen 13 (Ration C) bzw. 15 Werte (Ration A) im Bereich < 100 mmol/l, davon ein Messwert (Ration A) im Bereich ≤ 0 mmol/l. Vereinzelt Überschreitungen ($n = 4$ bis 6) der Referenz wurden bei den Rationsgruppen A, B und C ermittelt. Die NSBA der Fütterungsgruppen B und D (keine NaHCO_3 -Zugabe) liegt über den Versuchsverlauf im Mittel 57 mmol/l unterhalb derjenigen der Gruppen A und C (mit NaHCO_3 -Zugabe) (Tabelle 83). Anfänglich im oberen Referenzbereich oder darüber liegend, nahm die Basenausscheidung im Untersuchungsverlauf ab, und es erfolgte Gruppierung entsprechend dem Einsatz von NaHCO_3 . Die mittleren Basenkonzentrationen im Harn der Rationsgruppen A und C (mit NaHCO_3 -Zugabe) liegen dabei über den Werten der Rationsgruppen B und D (keine NaHCO_3 -Zugabe).

Ein Anstieg der mittleren Säurekonzentrationen im Harn ist insbesondere bei den Fütterungsgruppen B und D (keine NaHCO_3 -Zugabe) zu beobachten. Infolge der bereits zu Beginn der Untersuchungsreihe hohen Säureausscheidung kam es bei den Probanden dieser Gruppen zu Werten im oberen Referenzbereich bzw. darüber. Die hohe Säurebindungskapazität von NaHCO_3 (Erdman 1988) bewirkte bei den Gruppen A und C (mit NaHCO_3 -Zugabe) geringere Konzentrationen an titrierbaren Säuren im Harn mit relativ konstanten Verläufen.

Ebenfalls im oberen Bereich der Referenz bzw. darüber lag die NH_4^+ -Konzentration im Harn. NH_4^+ entsteht aus Ammoniak (NH_3). Bereits 24 Stunden nach Einsatz einer azidotischen Belastung ist ein Anstieg an NH_3 im Harn zu verzeichnen (Lotspeich 1967), das die vermehrt anfallenden H^+ -Ionen über die Bildung von NH_4^+ bindet. Eine verstärkte Ausscheidung von NH_4^+ im Harn ist die Folge (Brobst 1983). Die Verabreichung von Substanzen mit Pufferwirkung wie Natriumhydrogencarbonat (Kilmer et al. 1981, Didik 1999, Lindinger et al. 2000) kann über die Reduzierung der azidotischen Last demnach niedrigere NH_4^+ -Konzentrationen im Harn bewirken.

Dieser Einfluss des NaHCO_3 auf die NH_4^+ -Konzentrationen zeigt sich auch in der vorliegenden Untersuchung. Während die NH_4^+ -Konzentration im Harn der Tiere, die die Rationen A und C (mit NaHCO_3 -Zugabe) erhielten, im Untersuchungsverlauf auf einem vergleichbaren Niveau

verblieben, stiegen die Werte der Tiere, die die Rationen B und D (keine NaHCO_3 -Zugabe) erhielten, im Untersuchungsverlauf zeitweise deutlich an. Diese Rationsunterschiede sind zum Teil hoch signifikant (Tabelle 94).

Da der BSQ als Quotient aus Basenzahl und Säurezahl berechnet wird, wird er auch durch diese in seiner Ausprägung bestimmt. Beim Einsatz des NaHCO_3 war die Abnahme der Basenzahl geringer, während die Höhe der Säureausscheidung weitestgehend unbeeinflusst blieb. In der Folge kam es zu einer Abnahme des BSQ, wobei diese bei den Gruppen A und C (mit NaHCO_3 -Zugabe) geringer ausfiel. Die Fütterungsgruppen unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich des Einsatzes von NaHCO_3 signifikant voneinander (Tabellen 95–97). Über höhere BSQ bei der Verabreichung von NaHCO_3 berichtet u. a. auch Didik (1999). Ein Einfluss der Jahreszeit sowie der Laktationsdynamik auf die Ausprägung des Säuren-Basen-Status im Harn (Fürl et al. 1997, Bender 2002) der Probanden ist aufgrund der Versuchskonzeption sowie der Laktationsstadien der Tiere (Tabelle 13) zu vernachlässigen. Länger anhaltende Fastenzustände als Ursache einer Beeinflussung des Säuren-Basen-Haushaltes (Fürl et al. 1997) können durch die gewährleistete tierbezogene ad libitum-Fütterung der Tiere mit Erfassung der Futteraufnahme mindestens zwischen Vorlage und Probenahme am Tier ebenso ausgeschlossen werden wie eine relevante Beeinflussung der Ammonium-Ionen-Konzentrationen durch Zersetzungsprozesse im Harn (Fürl et al. 1997, Didik 1999, Bandilla 2009) durch das Probenahme-/Untersuchungsregime.

5.5.2 Elektrolyte

Azidotische Stoffwechsellagen werden von einer vermehrten Calciumausscheidung im Harn begleitet (Gelfert et al. 2008). Dieses physiologische Wirkprinzip wird u. a. beim Einsatz anionischer Salze im Rahmen der Gebärpäreseprohylaxe genutzt.

Obwohl die Calciumgehalte in den Rationen unterhalb der Bedarfsempfehlung lagen (Tabelle 11), kam es bei allen Fütterungsgruppen im Untersuchungsverlauf zu einem Anstieg der Calciumausscheidung im Harn. Dieser war bei den Gruppen B und D (keine NaHCO_3 -Zugabe) in den ersten Tagen der Rationsumstellung besonders deutlich und führte zu Überschreitungen der Referenz (Abbildung 66). Rossow (1987, zit. nach Thurmann 2012) gibt einen Wert von $< 1,5 \text{ mmol/l}$ als Referenz für die Calciumkonzentration im Harn von Rindern an. Signifikante Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen konnten für die mittleren Harncalciumkonzentrationen nicht festgestellt werden (Tabelle 101). Im Vergleich der Tagesprofile kam es bei den Probanden der Ration A mit $p = 0,046$ zu einem schwach signifikanten Anstieg der mittleren Calciumgehalte im Harn (Tabellen 102 und 103).

Die mittleren Magnesiumkonzentrationen liegen in allen Gruppen oberhalb des Referenzbereiches, wobei die über den Untersuchungsverlauf berechneten Mittelwerte der

Rationen B und D (keine NaHCO_3 -Zugabe) größer sind als die der Rationen A und C (mit NaHCO_3 -Zugabe). Signifikant ist dieser Unterschied jedoch nicht (Tabelle 104).

Die tendenziell höheren Werte der Gruppen ohne Pufferzugabe geben einen Hinweis auf eine azidotische Stoffwechsellage dieser Kühe (Gaynor et al. 1989, Wu et al. 2008, Razzaghi et al. 2012).

Im Harn kommt neben HCO_3^- auch Chlorid eine Bedeutung bei der Regulierung des Säuren-Basen-Haushaltes zu (Gelfert et al. 2002). Erhöhte Chloridkonzentrationen im Harn können auf das Vorliegen einer Azidose (Bandilla 2009), erniedrigte Werte dagegen u. a. auf eine alkalotische Stoffwechsellage (Gelfert et al. 2002) hinweisen. In dieser Studie bewegen sich die ermittelten Werte weit unterhalb der Referenz und weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen auf (Tabelle 98). Eine ähnliche Beobachtung konnte auch Bandilla (2009) in ihrer Arbeit machen. Da eine alkalotische Stoffwechsellage bei den Tieren ausgeschlossen werden kann, ist als Ursache der unterhalb der Bedarfsempfehlung liegende Chloridgehalt in der Ration wahrscheinlich.

Der Verlauf der mittleren Natriumkonzentrationen zeigt weder im Untersuchungsverlauf noch im Vergleich der Tagesprofile zwischen den Fütterungsgruppen signifikante Unterschiede (Tabellen 107–109). Bei den Rationsgruppen B und D (keine NaHCO_3 -Zugabe) befinden sich vereinzelte Werte unterhalb des Referenzbereichs. Erwartungsgemäß zeigen sich für die Natriumkonzentration im Harn in Abhängigkeit des Einsatzes von NaHCO_3 zwischen den Rationsgruppen hochsignifikante Unterschiede (jeweils $p < 0,001$). Innerhalb der Rationen ist die Konzentrationsänderung von TP 1 zu TP 2 für die Rationsgruppe C mit $p < 0,001$ hoch signifikant.

Mit Konzentrationen von 150 bis 300 mmol/l ist Kalium das dominierende Kation im Harn (Hofmann 2005). Die Reaktion des Harns wird vor allem durch die Kaliumausscheidung bestimmt. Sinkt die Kaliumaufnahme mit dem Futter, beispielsweise durch geringere Futterkaliumgehalte oder verminderte Futteraufnahme, verringert sich die Kaliumausscheidung im Harn (Constable et al. 2009), und der pH-Wert sinkt. Hohe Kaliumaufnahmen führen demgemäß zu einer alkalotischen Stoffwechsellage und damit zu einer Alkalisierung des Harns (Krikciokat 2015). Die für den Untersuchungsverlauf bestimmten Mittelwerte der Kaliumkonzentrationen zeigen mit $165,3 \pm 1,9$ mmol/l ein rationsübergreifend vergleichbares Niveau, das sich im unteren Referenzbereich befindet. Zwischen den Rationsgruppen sind keine signifikanten Unterschiede zu ermitteln (Tabelle 110). Bei der Gegenüberstellung der Tagesprofile zeigt sich zum Ende der Verlaufsuntersuchung eine Abnahme der mittleren Harn-Kaliumgehalte bei den Fütterungsgruppen A und B (Strohhäcksel), die zu einer Annäherung an die Gehalte der Fütterungsgruppen C und D (Strohmehl) führte. Diese Konzentrationsänderung ist bei der Ration B mit $p < 0,001$ hochsignifikant (Tabellen 111 und 112).

Die in der Rationsanalyse ermittelten Kaliumgehalte entsprechen den Bedarfsempfehlungen für Milchkühe; im Vergleich der Fütterungsgruppen konnten keine verminderten Futteraufnahmen beobachtet werden. Die pro Mahlzeit vorgelegte Futtermenge musste im Versuchszeitraum von 25 kg OS pro Tier und Mahlzeit auf 30 kg OS pro Tier und Mahlzeit erhöht werden, damit eine ad libitum-Fütterung jederzeit gewährleistet war. Die Futteraufnahmemengen zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Rationsgruppen. Eine maßgeblich durch die Futteraufnahme bedingte Beeinflussung des Kaliumgehaltes im Harn und, daraus resultierend, des pH-Wertes und der NSBA (Fürl et al. 1997, Constable et al. 2009) betraf alle Gruppen gleichermaßen und ist hier zu vernachlässigen.

Die im Pansensaft und der Blutgasanalyse erfassten Mittelwerte liegen vornehmlich im Referenzbereich und lassen keine Aussagen über eine azidotische Belastung der Tiere zu. Eine Titrationsbilanz im Pansensaft würde den Pansensaft-pH-Wert ergänzen, ist routinemäßig aber nicht nötig (Krikciokat 2015).

Die im Harn ermittelten Parameter sind in sich schlüssig und zeigen eindeutig, dass eine azidotische Belastung der Tiere vorlag. Diese wirkte sich bei den Rationen B und D (keine NaHCO_3 -Zugabe) stärker auf die Stoffwechsellage aus als bei den Rationen A und C (mit NaHCO_3 -Zugabe). Der Effekt des NaHCO_3 auf die Harnparameter nahm im Untersuchungsverlauf zu und führte zu den teilweise hochsignifikanten Differenzen zwischen den Fütterungsgruppen. Dagegen war der Einfluss der unterschiedlichen Rohfaserkomponenten vergleichsweise gering und ging im Verlauf der Untersuchung zurück. Dementsprechend kam es am Ende der Versuchsreihe bei allen im Harn bestimmten Parametern des Säuren-Basen-Haushaltes zu einer Gruppierung der Rationstypen entsprechend dem Einsatz von NaHCO_3 .

Lediglich im unmittelbaren Vergleich der vier Fütterungsgruppen wurden die Effekte der strukturwirksamen Rohfaser bzw. der Pufferwirkung auf die Parameterentwicklung deutlich und ließen Aussagen über deren Einfluss auf die Stoffwechsellage zu.

5.6 Milch

Die Daten der monatlichen Milchleistungsprüfung sind aufgrund der nicht eindeutigen Zuordnung zu jeweils einem Rationsdurchgang nicht aussagekräftig genug, um für diese Studie Ableitungen zu den Auswirkungen der strukturwirksamen Rohfaser sowie zum Einsatz von NaHCO_3 auf die Milchproduktion zuzulassen.

5.7 Schlussfolgerung

- (1) Die Ergebnisse der Siebanalysen und der chemischen Rationsanalysen unterscheiden sich trotz des gleichen Anmischrezeptes bei der Verwendung gleicher bzw. vergleichbarer Rationsbestandteile erheblich voneinander. Diese Unterschiede werden bei den Siebanalysen besonders deutlich und sind bei der Ableitung der rationsbedingten Einflüsse auf den Säuren-Basen-Haushalt der Kühe entsprechend zu berücksichtigen. Das gewählte Versuchsdesign mit zufälliger rotierender Zuordnung der Probanden zu den Rationen diente dazu, diese im praktischen Versuch unvermeidbaren zufälligen Einflüsse zu reduzieren.
- (2) Die im vorliegenden Versuch beschriebenen TMR, die sich lediglich in der Häcksellänge der eingesetzten Strohkomponenten unterscheiden, können zu signifikanten Unterschieden in der Ausprägung und Entwicklung der Parameter des Säuren-Basen-Haushaltes, insbesondere der Untersuchungsgrößen im Harn, führen.
- (3) Der Einfluss von 120 g NaHCO_3 / Tier und Tag auf die untersuchten Parameter nimmt während des 21-tägigen Untersuchungsverlaufs zu. Unter Beachtung der Ausführungen unter (1) fällt der Einfluss der unterschiedlichen Rohfaserstruktur vergleichsweise gering aus; er nimmt im Verlauf der Untersuchung ab. Am Ende der Versuchsdurchgänge kommt es insbesondere bei den Parametern im Harn zu einer Aufgliederung der Fütterungsgruppen entsprechend dem Einsatz von NaHCO_3 .
- (4) Die geringen Gehalte an strukturwirksamer Rohfaser verschieben den Säuren-Basen-Haushalt bei allen Rationen in eine azidotischere Richtung. Dieser Umstand geht nicht in jedem Fall mit einem eine azidotische Stoffwechsellage kennzeichnenden pathologischen Wertebereich einher. Insbesondere die renale Kompensation zeigt latent vorhandene Belastungszustände im Körper an. Negative Effekte auf die Stabilität der Tiergesundheit und die allgemeine Leistungsfähigkeit der Tiere können folgen. Letzteres kann aufgrund der begrenzten Versuchsdauer in der vorliegenden Arbeit nicht eruiert werden.
- (5) Die Diagnostik von Veränderungen im Säuren-Basen-Haushalt ist über die Harnuntersuchung in guter und praxistauglicher Qualität sichergestellt. Unmittelbare Rückschlüsse auf den Säuren-Basen-Status des Pansens und des Blutes lassen sich hieraus jedoch nicht ableiten.

6 Zusammenfassung

Die Fütterung von hochleistenden Milchkühen erfolgt häufig im Grenzbereich zwischen der Gewährleistung einer bedarfsgerechten Energieversorgung und der Erfüllung einer wiederkäuergerechten Strukturversorgung. Dies führt vermehrt zu fütterungsbedingten Belastungszuständen des Säuren-Basen-Haushalts der Tiere mit negativer Beeinflussung der Tiergesundheit.

Über einen Zeitraum von jeweils 21 Tagen wurden vier pansenfistulierten, laktierenden Milchkühen insgesamt vier verschiedene TMR vorgelegt, die sich nur in der Häcksellänge der eingesetzten Strohkomponente (Strohmehl, Häcksellänge ca. 0,2–0,5 cm; Strohhäcksel, Häcksellänge ca. 1–2 cm) sowie hinsichtlich der Zugabe von 120 g Natriumhydrogencarbonat pro Tier und Tag unterschieden. Während der 21-tägigen Untersuchungsphasen wurden Pansensaft-, Blut- und Harnproben entnommen sowie die Futteraufnahmen in der Zeit zwischen Futtervorlage und Probennahme erfasst. Die Probennahme erfolgte während der ersten Woche täglich und danach im Abstand von drei Tagen. An den Tagen 3 und 21 wurden zusätzlich Tagesverlaufsuntersuchungen (5 bis 17 Uhr) durchgeführt. Als Milchleistungsdaten standen die Daten der monatlichen Milchleistungsprüfung zur Verfügung.

Innerhalb des Versuchszeitraumes war eine Verschiebung des Säuren-Basen-Gleichgewichtes in azidotischer Richtung festzustellen.

Für die Futteraufnahme sowie für die im Blut und Pansensaft bestimmten Parameter, ausgenommen die mittlere ruminale Kaliumkonzentration, waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen nachweisbar. In den Harnergebnissen zeigten die Gruppen, die keine Zugabe von 120 g NaHCO_3 pro Tier und Tag erhielten, im Vergleich zu den Gruppen, die täglich NaHCO_3 erhielten, eine azidotische Stoffwechsellage mit Harnparametern außerhalb der Referenzbereiche. Die Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen waren in Abhängigkeit vom Einsatz von NaHCO_3 teilweise hochsignifikant.

Die in dieser Studie eingesetzten Rationen wirkten sich unabhängig von der Häcksellänge der eingesetzten Strohkomponenten negativ auf den Säuren-Basen-Haushalt der Tiere aus. Durch den Einsatz von 120 g NaHCO_3 pro Tier und Tag konnte dies abgemildert werden.

Die Ergebnisse der Pansensaftuntersuchungen zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fütterungsgruppen. Für die Rationsgruppen, die keine NaHCO_3 -Zugabe erhielten, trifft in der Kombination mit den Parametern des Harns die Diagnose der subakuten Pansenazidose zu (Staufenbiel 2011). Dagegen sind die Rationsgruppen, deren Rationen NaHCO_3 zugegeben wurde, tendenziell in den Bereich der mikrobiellen Pansenfermentationsstörung einzuordnen.

7 Summary

Experimental studies on the effect of rations with different content of structurally effective raw fiber and the use of sodium hydrogen carbonate on the acid-base balance of dairy cows

The feeding of high-yielding dairy cows often occurs at the interface between ensuring a demand-oriented energy supply and fulfilling a ruminant-oriented structural supply. This increasingly leads to feeding-related stress levels in the acid-base balance of the animals resulting in a negative impact on animal health.

Over a period of 21 days respectively, four rumen-fistulous, lactating dairy cows were presented with a total of four different TMRs, which differed only in the chop length of the straw component used (straw meal, chop length approx. 0.2–0.5 cm; straw chop, chop length approx. 1–2 cm) and with regard to the addition of 120 g NaHCO₃ per animal per day.

During the 21-day study phases, rumen fluid, blood and urine samples were taken, and the feed intake was recorded in the time between feed presentation and sampling. Samples were taken daily during the first week and thereafter at intervals of three days. On days 3 and 21, additional daily examinations (5 a.m. to 5 p.m.) were conducted. The data of the monthly milk yield test was available as milk yield data.

Within the test period, a shift of the acid-base balance in the acidotic direction was observed.

No significant differences between the feeding groups were observed for feed intake and the parameters determined in blood and rumen fluid, except for the mean ruminal potassium concentration. In the urinary results, the groups without the addition of 120 g NaHCO₃ per animal per day demonstrated an acidotic metabolic state with urinary parameters outside the reference ranges compared to the groups receiving NaHCO₃ daily. The differences between the feeding groups were partly highly significant, depending on the use of NaHCO₃.

The rations used in this study have a negative effect on the acid-base balance of the animals, irrespective of the chop length of the straw components used. This could be mitigated by using 120 g NaHCO₃ per animal per day.

The results of the rumen fluid tests do not indicate any significant differences between the feeding groups. For the ration groups without the addition of NaHCO₃, the diagnosis of subacute rumen acidosis in combination with the parameters of urine is correct (Staufenbiel 2011). In contrast, the ration groups with added NaHCO₃ would tend to be classified as microbial rumen fermentation disorders.

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Richtwerte für den optimalen Anteil an strukturwirksamer Rohfaser in Milchkuhrationen (Hoffmann 2011, 2018).....	3
Tabelle 2:	Anforderungen an die Strukturwirksamkeit in Rationen für Milchkühe (Hoffmann 2011)	4
Tabelle 3:	Ausgewählte Einflussfaktoren auf das Futteraufnahme- und Kauverhalten von Wiederkäuern (modifiziert nach Jeroch et al., 2008)	5
Tabelle 4:	Ausgewählte fütterungsbedingte Einflussfaktoren auf den ruminalen pH-Wert.....	10
Tabelle 5:	Blutgasanalyse – Normwerte, tolerierbare Schwankungen und Veränderungen (modifiziert nach Gäbel 2005, Kraft et al. 2005)	16
Tabelle 6:	Auswahl von Konzentrationsangaben zum Natriumhydrogencarbonat nach Didik (1999)	31
Tabelle 7:	Versuchsübersicht.....	37
Tabelle 8:	Rotationsschema.....	37
Tabelle 9:	Zusammensetzung der Rationen im Untersuchungszeitraum (OS in kg)	39
Tabelle 10:	Prozentuale Zusammensetzung der Grundrationen B und D.....	39
Tabelle 11:	Trockenmasse und Nährstoffgehalte der analysierten Grundrationen B und D.....	40
Tabelle 12:	Strukturanalyse der Grundrationen.....	40
Tabelle 13:	Übersicht über die Milchleistungsparameter im Untersuchungszeitraum	41
Tabelle 14:	Probenentnahmeschema	42
Tabelle 15:	Übersicht der untersuchten Parameter	42
Tabelle 16:	Formeln zur Berechnung der fraktionierten NSBA	45
Tabelle 17:	Versuchsstruktur	46
Tabelle 18:	Futteraufnahmen [kg OS] im Untersuchungsverlauf	48
Tabelle 19:	Futteraufnahmen [kg OS] an Tag 3	49
Tabelle 20:	Futteraufnahmen [kg OS] an Tag 21	49
Tabelle 21:	pH-Werte im Pansensaft	50
Tabelle 22:	pH-Werte im Pansensaft an Tag 3.....	51
Tabelle 23:	pH-Werte im Pansensaft an Tag 21	51
Tabelle 24:	Acetat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft.....	53
Tabelle 25:	Acetat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3	54
Tabelle 26:	Acetat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21	54
Tabelle 27:	Propionat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft.....	55
Tabelle 28:	Propionat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3	56
Tabelle 29:	Propionat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21	56
Tabelle 30:	Acetat-Propionat-Quotienten im Pansensaft	57
Tabelle 31:	Acetat-Propionat-Quotienten im Pansensaft an Tag 3	58
Tabelle 32:	Acetat-Propionat-Quotienten im Pansensaft an Tag 21	58
Tabelle 33:	n-Butyrat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft	59
Tabelle 34:	n-Butyrat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3.....	60
Tabelle 35:	n-Butyrat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21	60
Tabelle 36:	i-Butyrat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft.....	61
Tabelle 37:	i-Butyrat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3	62
Tabelle 38:	i-Butyrat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21	62
Tabelle 39:	n-Valeriat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft.....	63
Tabelle 40:	n-Valeriat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3	64

Tabelle 41:	n-Valeriat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21	64
Tabelle 42:	i-Valeriat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft.....	65
Tabelle 43:	i-Valeriat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3	66
Tabelle 44:	i-Valeriat-Konzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21	66
Tabelle 45:	Gesamtfettsäurenkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft.....	67
Tabelle 46:	Gesamtfettsäurenkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3.....	68
Tabelle 47:	Gesamtfettsäurenkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21.....	68
Tabelle 48:	Chloridkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft	70
Tabelle 49:	Chloridkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3	71
Tabelle 50:	Chloridkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21	71
Tabelle 51:	Calciumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft.....	72
Tabelle 52:	Calciumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3	73
Tabelle 53:	Calciumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21	73
Tabelle 54:	Magnesiumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft.....	74
Tabelle 55:	Magnesiumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3.....	75
Tabelle 56:	Magnesiumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21.....	75
Tabelle 57:	Natriumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft	76
Tabelle 58:	Natriumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3.....	77
Tabelle 59:	Natriumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21.....	77
Tabelle 60:	Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft.....	78
Tabelle 61:	Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3	79
Tabelle 62:	Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21	79
Tabelle 63:	Natrium- und Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft.....	80
Tabelle 64:	Natrium- und Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 3	81
Tabelle 65:	Natrium- und Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Pansensaft an Tag 21	81
Tabelle 66:	pH-Werte im venösen Blut	82
Tabelle 67:	pH-Werte im venösen Blut an Tag 3.....	83
Tabelle 68:	pH-Werte im venösen Blut an Tag 21	83
Tabelle 69:	Base Excesse [mmol/l] im venösen Blut.....	84
Tabelle 70:	Base Excesse [mmol/l] im venösen Blut an Tag 3.....	85
Tabelle 71:	Base Excesse [mmol/l] im venösen Blut an Tag 21	85
Tabelle 72:	HCO ₃ ⁻ -Konzentrationen [mmol/l] im venösen Blut.....	86
Tabelle 73:	HCO ₃ ⁻ -Konzentrationen [mmol/l] im venösen Blut an Tag 3.....	87
Tabelle 74:	HCO ₃ ⁻ -Konzentrationen [mmol/l] im venösen Blut an Tag 21.....	87
Tabelle 75:	CO ₂ -Partialdrücke [kPa] im venösen Blut.....	88
Tabelle 76:	CO ₂ -Partialdrücke [kPa] im venösen Blut an Tag 3.....	89
Tabelle 77:	CO ₂ -Partialdrücke [kPa] im venösen Blut an Tag 21.....	89
Tabelle 78:	Folsäurekonzentrationen [pg/ml] im Blutserum	90
Tabelle 79:	Vitamin B ₁₂ -Konzentrationen [ng/ml] im Blutserum	91
Tabelle 80:	pH-Werte im Harn	92
Tabelle 81:	pH-Werte im Harn an Tag 3	93
Tabelle 82:	pH-Werte im Harn an Tag 21	94
Tabelle 83:	NSBA [mmol/l] im Harn	95
Tabelle 84:	NSBA [mmol/l] im Harn an Tag 3.....	96
Tabelle 85:	NSBA [mmol/l] im Harn an Tag 21.....	96
Tabelle 86:	Basenausscheidungen [mmol/l] im Harn	98
Tabelle 87:	Basenausscheidungen [mmol/l] im Harn an Tag 3.....	99

Tabelle 88:	Basenausscheidungen [mmol/l] im Harn an Tag 21	99
Tabelle 89:	Säureausscheidungen [mmol/l] im Harn	100
Tabelle 90:	Säureausscheidungen [mmol/l] im Harn an Tag 3	101
Tabelle 91:	Säureausscheidungen [mmol/l] im Harn an Tag 21	101
Tabelle 92:	NH ₄ ⁺ -Konzentrationen [mmol/l] im Harn	102
Tabelle 93:	NH ₄ ⁺ -Konzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 3	103
Tabelle 94:	NH ₄ ⁺ -Konzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 21	103
Tabelle 95:	BSQ im Harn	104
Tabelle 96:	BSQ im Harn an Tag 3	105
Tabelle 97:	BSQ im Harn an Tag 21	105
Tabelle 98:	Chloridkonzentrationen [mmol/l] im Harn	106
Tabelle 99:	Chloridkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 3	107
Tabelle 100:	Chloridkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 21	107
Tabelle 101:	Calciumkonzentrationen [mmol/l] im Harn	108
Tabelle 102:	Calciumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 3	109
Tabelle 103:	Calciumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 21	109
Tabelle 104:	Magnesiumkonzentrationen [mmol/l] im Harn	110
Tabelle 105:	Magnesiumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 3	111
Tabelle 106:	Magnesiumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 21	111
Tabelle 107:	Natriumkonzentrationen [mmol/l] im Harn	112
Tabelle 108:	Natriumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 3	113
Tabelle 109:	Natriumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 21	113
Tabelle 110:	Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Harn	114
Tabelle 111:	Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 3	115
Tabelle 112:	Kaliumkonzentrationen [mmol/l] im Harn an Tag 21	115

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Regulation der Futteraufnahme beim Wiederkäuer (Gruber et al. 2001a)	5
Abbildung 2: Schematische Übersicht der Milchfettsynthese nach Gürtler et al. (2005).....	21
Abbildung 3: Wirkungsbereiche des Natriumhydrogencarbonats nach Didik (1999).....	30
Abbildung 4: Kuh mit Pansenfistelkanüle	35
Abbildung 5: Aufbau der verwendeten Pansenfistelkanülen nach Alert (2008).....	36
Abbildung 6: Verlauf der mittleren Milchleistung der Probanden anhand der MLP	41
Abbildung 7: Mittlere Futteraufnahmen (kg OS) – Untersuchungsverlauf	48
Abbildung 8: Mittlere Futteraufnahmen (kg OS) – Tagesprofile.....	49
Abbildung 9: Mittlere pH-Werte im Pansensaft – Untersuchungsverlauf	50
Abbildung 10: Mittlere pH-Werte im Pansensaft – Tagesprofile.....	51
Abbildung 11: Mittlere Acetat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	53
Abbildung 12: Mittlere Acetat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile	54
Abbildung 13: Mittlere Propionat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	55
Abbildung 14: Mittlere Propionat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile.....	56
Abbildung 15: Mittlere Acetat-Propionat-Quotienten im Pansensaft – Untersuchungsverlauf	57
Abbildung 16: Mittlere Acetat-Propionat-Quotienten im Pansensaft – Tagesprofile.....	58
Abbildung 17: Mittlere n-Butyrat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	59
Abbildung 18: Mittlere n-Butyrat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile	60
Abbildung 19: Mittlere i-Butyrat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	61
Abbildung 20: Mittlere i-Butyrat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile.....	62
Abbildung 21: Mittlere n-Valeriat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	63
Abbildung 22: Mittlere n-Valeriat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile.....	64
Abbildung 23: Mittlere i-Valeriat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	65
Abbildung 24: Mittlere i-Valeriat-Konzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile.....	66
Abbildung 25: Mittlere Gesamtfettsäurenkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	67
Abbildung 26: Mittlere Gesamtfettsäurenkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile	68
Abbildung 27: Mittlere prozentuale Verteilung der SCFA im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	69
Abbildung 28: Mittlere Chloridkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	70
Abbildung 29: Mittlere Chloridkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile	71
Abbildung 30: Mittlere Calciumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	72
Abbildung 31: Mittlere Calciumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile.....	73
Abbildung 32: Mittlere Magnesiumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	74
Abbildung 33: Mittlere Magnesiumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile	75
Abbildung 34: Mittlere Natriumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	76
Abbildung 35: Mittlere Natriumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile	77

Abbildung 36: Mittlere Kaliumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	78
Abbildung 37: Mittlere Kaliumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile.....	79
Abbildung 38: Mittlere Natrium- und Kaliumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Untersuchungsverlauf.....	80
Abbildung 39: Mittlere Natrium- und Kaliumkonzentrationen (mmol/l) im Pansensaft – Tagesprofile	81
Abbildung 40: Mittlere pH-Werte im venösen Blut – Untersuchungsverlauf	82
Abbildung 41: Mittlere pH-Werte im venösen Blut – Tagesprofile.....	83
Abbildung 42: Mittlere Base Excesse (mmol/l) im venösen Blut – Untersuchungsverlauf.....	84
Abbildung 43: Mittlere Base Excesse (mmol/l) im venösen Blut – Tagesprofile.....	85
Abbildung 44: Mittlere HCO ₃ ⁻ -Konzentrationen (mmol/l) im venösen Blut – Untersuchungsverlauf.....	86
Abbildung 45: Mittlere HCO ₃ ⁻ -Konzentrationen (mmol/l) im venösen Blut – Tagesprofile	87
Abbildung 46: Mittlere pCO ₂ -Partialdrücke (kPa) im venösen Blut – Untersuchungsverlauf.....	88
Abbildung 47: Mittlere pCO ₂ -Partialdrücke (kPa) im venösen Blut – Tagesprofile	89
Abbildung 48: Mittlere Folsäurekonzentrationen (pg/ml) im Blutserum – Untersuchungsverlauf	90
Abbildung 49: Mittlere Konzentrationen des Vitamin B ₁₂ (ng/ml) im Blutserum – Untersuchungsverlauf.....	91
Abbildung 50: Mittlere pH-Werte im Harn – Untersuchungsverlauf	92
Abbildung 51: Mittlere pH-Werte im Harn – Tagesprofile.....	93
Abbildung 52: Rationsinterner Vergleich der mittleren Harn-pH-Werte beider Tagesprofile	94
Abbildung 53: Mittlere Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf.....	95
Abbildung 54: Mittlere Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (mmol/l) im Harn – Tagesprofile	96
Abbildung 55: Rationsinterner Vergleich der mittleren NSBA-Werte (mmol/l) beider Tagesprofile	97
Abbildung 56: Mittlere Basenausscheidungen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf	98
Abbildung 57: Mittlere Basenausscheidungen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile	99
Abbildung 58: Mittlere Säureausscheidungen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf.....	100
Abbildung 59: Mittlere Säureausscheidungen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile.....	101
Abbildung 60: Mittlere Ammonium-Ionen-Konzentrationen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf.....	102
Abbildung 61: Mittlere Ammonium-Ionen-Konzentrationen (mmol/l) – Tagesprofile	103
Abbildung 62: Mittlere Basen-Säuren-Quotienten im Harn – Untersuchungsverlauf.....	104
Abbildung 63: Mittlere Basen-Säuren-Quotienten im Harn – Tagesprofile	105
Abbildung 64: Mittlere Chloridkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf	106
Abbildung 65: Mittlere Chloridkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile.....	107
Abbildung 66: Mittlere Calciumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf.....	108
Abbildung 67: Mittlere Calciumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile	109
Abbildung 68: Mittlere Magnesiumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf	110
Abbildung 69: Mittlere Magnesiumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile	111
Abbildung 70: Mittlere Natriumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf	112
Abbildung 71: Mittlere Natriumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile.....	113
Abbildung 72: Mittlere Kaliumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Untersuchungsverlauf.....	114
Abbildung 73: Mittlere Kaliumkonzentrationen (mmol/l) im Harn – Tagesprofile	115

10 Literaturverzeichnis

- Aeberhard K, Bruckmaier R, Blum J (2001):
Metabolic, enzymatic and endocrine status in high-yielding dairy cows - part 2.
J. Vet. Med. A Physiol. Pathol. Clin. Med., 48, 111–127
- Alert H (2009):
persönliche Mitteilung.
- Allen M (1996):
Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants.
J. Anim. Sci., 74, 3063–3075
- Allen M (1997):
Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber.
J. Dairy Sci., 80, 1447–1462
- Allen M (2000):
Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle.
J. Dairy Sci., 83, 1598–1624
- Amin M (1992):
Einfluss unterschiedlicher Mineralstoffversorgung auf die renale Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (NSBA) bei Kühen.
Dissertation, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig
- Aschenbach J, Penner G, Stumpff F, Gäbel G (2010):
Ruminant Nutrition Symposium: role of fermentation acid absorption in the regulation of ruminal pH.
J. Anim. Sci., 89, 1092–1107
- Aschenbach J, Bilk S, Tadesse G, Stumpff F, Gäbel G (2009):
Bicarbonate-dependent and bicarbonate-independent mechanisms contribute to nondiffusive uptake of acetate in the ruminal epithelium of sheep.
Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol., 296, G1098–G1107
- Astrup P, Engel K, Jørgensen K, Siggaard-Andersen O (1966):
Definitions and terminology in blood acid-base chemistry.
Ann. N.Y. Acad. Sci., 133, 59–65.
- Bailey C, (1961):
Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. 4. The relationship between the concentrations of sodium, potassium, chloride and inorganic phosphate in mixed saliva and rumen fluid.
Br. J. Nutr., 15, 489–498.
- Bal M, Shaver R, Jirovec A, Shinnors K, Coors J (2000):
Crop processing and chop length of corn silage: effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows.
J. Dairy Sci., 83, 1264–1273
- Bandilla S (2009):
Der Einfluss der Häcksellänge von Maissilage auf den Säuren-Basen-Haushalt von Milchkühen.
Dissertation, Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin
- Bannink A, Valk H, Van Vuuren A (1999):
Intake and excretion of sodium, potassium and nitrogen and the effects on urine production by lactating dairy cows.
J. Dairy Sci., 82, 1008–1018

- Bauman D, Griinari J (2001):
Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome.
Livest. Prod. Sci, 70, 15–29
- Baumgard L, Sangster J, Bauman D (2001):
Milk fat synthesis in dairy cows is progressively reduced by increasing supplemental amounts of trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid (cla).
J. Nutr., 131, 1764–1769
- Beauchemin K, Rode L (1997):
Minimum Versus optimum concentrations of fiber in dairy cow diets based on barley silage and concentrates of barley or corn.
J. Dairy Sci., 80, 1629–1639
- Beauchemin K (1991):
Effects of dietary neutral detergent fiber concentration and alfalfa hay quality on chewing, rumen function, and milk production of dairy cows.
J. Dairy Sci., 74, 3140–3151
- Beauchemin K, Rode L (1994):
Compressed baled alfalfa hay for primiparous and multiparous dairy cows.
J. Dairy Sci., 77, 1003–1012
- Beauchemin K, Yang W (2005):
Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage.
J. Dairy Sci., 88, 2117–2129
- Beauchemin K (2018):
Invited review: current perspectives on eating and rumination activity in dairy cows.
J. Dairy Sci., 101, 4762–4784
- Belyea R, Marin P, Sedgwick H (1985):
Utilization of chopped and long alfalfa by dairy heifers.
J. Dairy Sci., 68, 1297–1301
- Ben-Ghedalia D, Tagari H, Zamwel S, Bondi A (1975):
Solubility and net exchange of calcium, magnesium and phosphorus in digesta flowing along the gut of the sheep.
Br. J. Nutr., 33, 87–94
- Bender S (2002):
Einsatz der Harnuntersuchung zur Beurteilung des Säure-Base- und Mineralstoffhaushaltes im Rahmen der prophylaktischen Bestandsbetreuung von Milchviehherden.
Dissertation, Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin
- Bender S, Staufenbiel R (2003):
Methodische Einflüsse auf ausgewählte Parameter des Säure-Basen-Haushaltes in Harnproben von Milchkühen.
Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr., 116, 432–435
- Bender S, Staufenbiel R (2005):
Saure Salze – welchen Einfluss nehmen sie auf Parameter des Säure-Basen- und Mengenelement-Haushaltes in Harnproben von Milchrindern?
Prakt. Tierarzt, 86, 342–347
- Bennink M, Tyler T, Ward G, Johnson D (1978):
Ionic milieu of bovine and ovine rumen as affected by diet.
J. Dairy Sci., 61, 315–323

- Berg J, Tymoczko J, Strye L (2003):
Biochemie.
5. Auflage, Berlin; Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag
ISBN: 3-8274-1303-6
- Bergman E (1990):
Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species.
Physiol. Rev., 70, 567–590
- Bhandari S, Ominski K, Wittenberg K, Plaizier J (2007):
Effects of chop length of alfalfa and corn silage on milk production and rumen fermentation of dairy cows.
J. Dairy Sci., 90, 2355–2366
- Boehncke E, Gropp J, Wandl W (1976):
Zur renalen Elektrolytausscheidung wachsender Mastkälber – 2. Mitteilung: Renale Calcium- und Magnesiumausscheidung.
Zentralbl. Veterinarmed. A, 23, 717–726
- Boehncke E, Langner A, Weissmann F (1981):
Phosphate and sodium metabolism in growing calves.
Zentralbl. Veterinarmed. A, 28, 357–365
- Boisclair Y, Grieve D, Stone J, Allen O, MacLeod G (1986):
Effect of prepartum energy, body condition, and sodium bicarbonate on production of cows in early lactation.
J. Dairy Sci., 69, 2636–2647
- Bougouin A, Ferlay A, Doreau M, Martin C (2018):
Effects of carbohydrate type or bicarbonate addition to grass silage-based diets on enteric methane emissions and milk fatty acid composition in dairy cows.
J. Dairy Sci., 101, 6085–6097
- Brade W (2016):
Hochleistende Kühe und deren Milchbestandteile als mögliche Biomarker für das Energiedefizit in der Früh lactation. Berichte über Landwirtschaft.
In: Berichte über die Landwirtschaft, 94 / Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
ISSN: 2196–5099
- Brobst D (1983):
Pathophysiologic and adaptive changes in acid-base disorders.
J. Am. Vet. Med. Assoc., 183, 773–780
- Bryant M, Robinson I (1968):
Effects of diet, time after feeding, and position sampled on numbers of viable bacteria in the bovine rumen.
J. Dairy Sci., 51, 1950–1955
- Bugaut M (1987):
Occurrence, absorption and metabolism of short chain fatty acids in the digestive tract of mammals.
Comp. Biochem. Physiol. B., 86, 439–472
- Cakala S, Albrycht A, Bieniek K (1979):
On the acid-base-balance in experimental ruminal acidosis and alkalosis in cattle
Dtsch. Tierarztl. Wochenschr., 86, 482–485

- Chilliard Y, Ferlay A, Mansbridge R, Doreau M (2000):
Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids.
Ann. Zootech, 49, 181–205
- Constable P, Gelfert C, Fürll M, Staufenbiel R, Stämpfli H (2009):
Application of strong ion difference theory to urine and the relationship between urine pH and net acid excretion in cattle.
Am. J. Vet. Res., 70, 915–925
- Coon R, Duffield T, DeVries T (2018):
Effect of straw particle size on the behavior, health, and production of early-lactation dairy cows.
J. Dairy Sci., 101, 6375–6387
- Coppock C, Aguirre R, Chase L, Lake G, Oltenacu E, McDowell R, Fettman M, Woods M (1979):
Effect of a low chloride diet on lactating holstein cows.
J. Dairy Sci., 62, 723–731
- Coppock C (1986):
Mineral utilization by the lactating cow – chlorine.
J. Dairy Sci., 69, 595–603
- Cottee G, Kyriazakis I, Widowski T, Lindinger M, Cant J, Duffield T, Osborne V, McBride B (2004):
The effects of subacute ruminal acidosis on sodium bicarbonate-supplemented water intake for lactating dairy cows.
J. Dairy Sci., 87, 2248–2253
- Cruywagen C, Taylor S, Beya M, Calitz T (2015):
The effect of buffering dairy cow diets with limestone, calcareous marine algae, or sodium bicarbonate on ruminal pH profiles, production responses, and rumen fermentation.
J. Dairy Sci., 98, 5506–5514
- Dado R, Allen M (1993):
Continuous computer acquisition of feed and water intakes, chewing, reticular motility, and ruminal pH of cattle.
J. Dairy Sci., 76, 1589–1600
- Dalley D, Isherwood P, Sykes A, Robson A (1997):
Effect of in vitro manipulation of pH on magnesium solubility in ruminal and caecal digesta in sheep.
J. Agric. Sci., 129, 107–111.
- De Boever J, De Brabander D, De Smet A, Vanacker J, Boucque C (1993):
Evaluation of physical structure. 2. maize silage.
J. Dairy Sci., 76, 1624–1634
- De Brabander D, De Boever J, De Smet A, Vanacker J, Boucqué C (1999):
Evaluation of the physical structure of fodder beets, potatoes, pressed beet pulp, brewers grains, and corn cob silage.
J. Dairy Sci., 82, 110–121
- De Sousa R, Harrington J, Ricanati E, Shelkrot J, Schwartz W (1974):
Renal regulation of acid-base equilibrium during chronic administration of mineral acid.
J. Clin. Invest., 53, 465–476
- DeVries T, Beauchemin K, von Keyserlingk M (2007):
Dietary forage concentration affects the feed sorting behavior of lactating dairy cows.

J. Dairy Sci., 90, 5572–5579

Didik T (1999):

Untersuchungen zu metabolischen Effekten von Natriumbicarbonat (NaHCO₃) in Milchkurationen.

Dissertation, Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin

Dijkstra J, Boer H, Van Bruchem J, Bruining M, Tamminga S (1993):

Absorption of volatile fatty acids from the rumen of lactating dairy cows as influenced by volatile fatty acid concentration, pH and rumen liquid volume.

Br. J. Nutr., 69, 385–396

Dirksen G, Liebich H, Brosi G, Hagemester H, Mayer E (1984):

Morphologie der Pansenschleimhaut und Fettsäureresorption beim Rind – bedeutende Faktoren für Gesundheit und Leistung.

Zentralbl. Veterinarmed. A, 31, 414–430

Dirksen G (1985):

Der Pansenazidose-Komplex – neuere Erkenntnisse und Erfahrungen (1) – Eine Übersicht.

Tierärztl. Prax., 13, 501–512

Dirksen G, Ahrens F, Schon J, Mayer E, Liebich H (1992):

Preparatory feeding of the dry stage cow in regard to nutritional condition and the status of the rumen mucosa and rumen flora at calving.

Berl. Munch. Tierärztl. Wochenschr., 105, 1–4

Dirksen G, Gründer H, Stöber M (2002):

Innere Medizin und Chirurgie des Rindes.

4., vollständig neubearbeitete Auflage, Berlin; Wien; Parey

ISBN: 3-8263-3181-8

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2020):

Berücksichtigung N- und P-reduzierter Fütterungsverfahren bei den Nährstoffausscheidungen von Milchkühen.

In: DLG-Merkblatt 444. 1. Auflage/Hrsg.: DLG e.V.

Doepel L, Hayirli A (2011):

Exclusion of dietary sodium bicarbonate from a wheat-based diet: effects on milk production and ruminal fermentation.

J. Dairy Sci., 94, 370–375

Donker J, Marx G (1980):

Sodium bicarbonate in diets for milking holstein cows.

J. Dairy Sci., 63, 931–935

Donker J, Marx G (1985):

Dietary sodium bicarbonate for high-producing Holstein cows over complete lactations.

J. Dairy Sci., 68, 140–146

Duffield T, Plaizier J, Fairfield A, Bagg R, Vessie G, Dick P, Wilson J, Aramini J, McBride B (2004):

Comparison of techniques for measurement of rumen pH in lactating dairy cows.

J. Dairy Sci., 87, 59–66

Dyk van N (2015):

Buffer supplementation in concentrates for Jersey cows grazing spring ryegrass pasture.

Masterarbeit, Fakultät für Agrarwissenschaften der Universität Stellenbosch

Eickelberger R, Muller L, Sweeney T, Abrams S (1985):

Addition of buffers to high quality alfalfa hay-based diets for dairy cows in early lactation.

J. Dairy Sci., 68, 1722–1731

Emery R (1988):

Milk fat depression and the influence of diet on milk composition.

Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract., 4, 289–305

Enemark J, Jorgensen R, Kristensen N (2004):

An evaluation of parameters for the detection of subclinical rumen acidosis in dairy herds.

Vet. Res. Commun., 28, 687–709

Enemark J, Jørgensen R, Frederiksberg C (2002):

Rumen acidosis with special emphasis on diagnostic aspects of subclinical rumen acidosis: a review.

Vet. Zootech., 20, 16–29

Enemark J (2008):

The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): a review.

Vet. J., 176, 32–43

Engelhardt von W, Breves G (2005):

Physiologie der Haustiere.

2. völlig neu bearbeitete Auflage, Stuttgart: Enke Verlag

ISBN: 3-8304-1039-5

Erdman R (1988):

Dietary buffering requirements of the lactating dairy cow: a review.

J. Dairy Sci., 71, 3246–3266

Erdman R, Botts R, Hemken R, Bull L (1980):

Effect of dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide on production and physiology in early lactation.

J. Dairy Sci., 63, 923–930

Erdman R, Hemken R, Bull L (1982):

Dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide for early postpartum lactating dairy cows: effects of production, acid-based metabolism, and digestion.

J. Dairy Sci., 65, 712–731

Faverdin P, Bareille N, Verite R (1999):

Effects of rumen energy supply timing on feed intake control in lactating dairy cows.

J. Dairy Sci., 82, 2443–2454

Fettman M, Chase L, Bentinck-Smith J, Coppock C, Zinn S (1984):

Nutritional chloride deficiency in early lactation holstein cows.

J. Dairy Sci., 67, 2321–2335

Fisher L, MacKay V (1983):

The effect of sodium bicarbonate, sodium bicarbonate plus magnesium oxide or bentonite on the intake of corn silage by lactating cows.

Can. J. Anim. Sci., 63, 141–148

Flachowsky G, Richter G (1991a):

Effect of flavomycin on the apparent digestibility of crude nutrients in wethers, parameters of rumen fermentation in cattle and feed intake and weight gain of heifers.

Arch. Tierernahr., 41, 303–310

Flachowsky G, Wolfram D, Lober U, Viertel H (1991b):

Natriumbicarbonat (NaHCO₃) als Pansenpuffer in der Milchkuhfütterung.

Tierzucht, 45, 36–37

- Fromm M, Gäbel G (2005):
Erhaltung des Säure-Basen-Gleichgewichtes.
In: Physiologie der Haustiere/Hrsg.: Engelhardt von W, Breves G, 2. Auflage, S. 295–297
Stuttgart: Enke Verlag – ISBN: 3-8304-1039-5
- Fürll M, Eckermann W, Amin M (1994):
Säure-Basen- und Mineralstoff-Haushalt bei gesunden Kühen im geburtsnahen Zeitraum.
Tierärztl. Umschau, 49, 107–115
- Fürll M, Dietzel T, Fürll B (1992):
Einfluss oraler Bicarbonat (NaHCO_3)-Gaben bei chronisch azidotischer Belastung auf die
Elektrolytkonzentration bei Rindern.
In: Mengen- und Spurenelemente, 12. Arbeitstagung, 1992, Jena, Deutschland, S. 310–317
- Fürll M (1993):
Diagnostik und Therapie chronischer Störungen des Säure-Basen-Haushaltes (SBH) bei Rindern.
Prakt. Tierarzt, 75, 49–54
- Fürll M, Kirbach H (1997):
„Neues“ zur Harnreaktion (NSBA) bei Wiederkäuern.
In: Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e.V. (DVG)/Hrsg.: 6. Jahrestagung der DVG-
Fachgruppe „Innere Medizin und Klinische Laboratoriumsdiagnostik“, 05.–09.09.1997, München,
Deutschland, S. 4
- Fürll M (2005):
Stoffwechsel- und Mangelkrankheiten.
In: Rinderkrankheiten – Innere und chirurgische Erkrankungen/Hrsg.: Hofmann W, 2. Auflage, S.
363–476
Stuttgart: UTB – ISBN:3-8252-8044-6
- Fürll M (2018):
Pansenfermentationsstörungen einfach und sicher erkennen.
REKASAN-Journal, 25, 36–44
- Gäbel G, Sündermann M, Martens H (1987a):
The influence of osmotic pressure, lactic acid and pH on ion and fluid absorption from the washed
and temporarily isolated reticulo-rumen of sheep.
Zentralbl. Veterinarmed. A, 34, 220–226
- Gäbel G, Martens H, Sündermann M, Galfi P (1987b):
The effect of diet, intraruminal pH and osmolarity on sodium, chloride and magnesium absorption
from the temporarily isolated and washed reticulo-rumen of sheep.
Q. J. Exp. Physiol., 72, 501–511
- Gäbel G, Bestmann M, Martens H (1991):
Influences of diet, short-chain fatty acids, lactate and chloride on bicarbonate movement across
the reticulo-rumen wall of sheep.
Zentralbl. Veterinarmed. A, 38, 523–529
- Gäbel G, Sehested J (1997):
SCFA transport in the forestomach of ruminants.
Comp. Biochem. Physiol. A Physiol., 118, 367–374
- Gäbel G, Aschenbach J, Müller F (2002):
Transfer of energy substrates across the ruminal epithelium: implications and limitations.
Anim. Health Res. Rev., 3, 15–30
- Gäbel G (2005):
Säure-Basen-Haushalt.
In: Physiologie der Haustiere/Hrsg.: Engelhardt von W, Breves G, 2. Auflage, S. 208–276
Stuttgart: Enke Verlag – ISBN: 3-8304-1039-5

- Garrett E, Pereira M, Nordlund K, Armentano L, Goodger W, Oetzel G (1999):
Diagnostic methods for the detection of subacute ruminal acidosis in dairy cows.
J. Dairy Sci., 82, 1170–1178
- Gasteiner J, Fallast M, Rosenkranz M, Häusler J, Schneider K, Guggenberger T (2008a):
Chronische Pansenazidose – ein Wegbereiter für subklinische Mastitiden Ursachen, Erkennen
und Vorbeugen.
Abgerufen am 18.08.2019 um 12.53 Uhr, von https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/?option=com_r_fodok&Itemid=200881&task=detail&publnr=5684
- Gasteiner J, Fallast M, Rosenkranz M, Häusler J, Schneider K, Guggenberger T (2008b):
Stoffwechselphysiologie, Pansensaftgewinnung, Pansen-pH bei Milchkühen.
In: Tierärztliche Bestandsbetreuung von Milchviehbetrieben / Hrsg.: Lehr- und
Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein
Fortbildung für Tierärzte, 05.-07.06.2008, Gumpenstein, Österreich, S.21–27
- Gasteiner J, Fallast M, Rosenkranz M, Häusler J, Schneider K, Guggenberger T (2009):
Zum Einsatz einer intraruminalen pH-Datenmesseinheit mit kabelloser Datenübertragung bei
Rindern unter verschiedenen Fütterungsbedingungen.
In: Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2009 / Hrsg.: Lehr- und Forschungszentrum für
Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein
Bautagung Raumberg-Gumpenstein, 27.–28.05.2009, Gumpenstein, Österreich, S. 9–16
ISBN: 9-783-90255930-2
- Gasteiner J (2011):
Langzeitmessung des Pansen-pH-Wertes bei Milchkühen.
Abgerufen am 18.11.2020 um 21.01 Uhr, von https://raumberg-gumpenstein.at/component/rsfiles/download.html?path=FODOK%2Fsonstige%2Ffodok_3_10398_bpt_mainz_gasteinerneu.pdf
- Gaynor P, Mueller F, Miller J, Ramsey N, Goff J, Horst R (1989):
Parturient hypocalcemia in jersey cows fed alfalfa haylage-based diets with different cation to
anion ratios.
J. Dairy Sci., 72, 2525–2531
- Gelfert C, Löptien A, Montag N, Passfeld M, Baumgartner W, Staufenbiel R(2008):
The impact of energy deficiency on the effects of anionic salts on the acid-base status of dairy
cows.
Wien. Tierärztl. Monat., 95, 184–189
- Gelfert C, Zarrath M, Eustermann S, Staufenbiel R (2004):
Überwachung des Einsatzes saurer Salze in Milchviehherden durch Futter- und
Harnuntersuchungen.
Prakt. Tierarzt, 85, 422–430
- Gelfert C, Staufenbiel R (2002):
Einsatz der Harnuntersuchung in der Bestandsbetreuung von Milchviehherden.
Veterinärspiegel, 3, 123–125
- Georgi M (2011):
Charakterisierung eines nicht selektiven Anionenkanals an kultivierten Pansen- und
Psalterepithelzellen des Schafes.
Dissertation, Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin
- Geischeder S (2017):
Auswirkungen von Hitzestress auf Milchkühe der Rasse Fleckvieh unter bayerischen
Klimabedingungen und Einfluss einer Unterstützungslüftung durch Ventilatoren.
Dissertation, Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

GfE (2001):

Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder.

Frankfurt a. M.: DLG-Verlag

ISBN 3-7690-0591-0

Ghorbani G, Jackson J, Hemken R (1989):

Effects of sodium bicarbonate and sodium sesquicarbonate on animal performance, ruminal metabolism, and systemic acid-base status.

J. Dairy Sci., 72, 2039–2045

Goff J, Horst R (1997):

Effects of the addition of potassium or sodium, but not calcium, to prepartum rations on milk fever in dairy cows.

J. Dairy Sci., 80, 176–186

Goff J, Horst R (1998):

Use of hydrochloric acid as a source of anions for prevention of milk fever.

J. Dairy Sci., 81, 2874–2880

Gozho G, Krause D, Plaizier J (2007):

Ruminal lipopolysaccharide concentration and inflammatory response during grain-induced subacute ruminal acidosis in dairy cows.

J. Dairy Sci., 90, 856–866

Gruber L, Guggenberger T, Steinwider A, Häusler J, Schauer A, Steinwender R, Wenzl W, Steiner B (2001a):

Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen auf Basis der Fütterungsversuche der BAL Gumpenstein.

In: Bericht BAL Gumpenstein/Hrsg.: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein

28. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 02.–03.05.2001, Gumpenstein, Österreich, S. 11–28

Gruber L, Steinwider A, Guggenberger T (2001b):

Futteraufnahme von Milchkühen: Regulation – wichtige Einflußfaktoren – Vorhersage.

Der fortschrittliche Landwirt, 79, ÖAG–Sonderbeilage, 25–36

Gruber L, Schwarz F, Erdin D, Fischer B, Spiekers H, Steingass H, Meyer U, Chassot A, Jilg C, Omermaier A, Gruggenberg T (2004):

Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands.

In: Bericht der BAL Gumpenstein/Hrsg.: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein

31. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 27.–28.04.2004, Gumpenstein, Österreich, S. 21–39

Gürtler J, Schweigert F (2005):

Physiologie der Laktation.

In: Physiologie der Haustiere/Hrsg.: Engelhardt von W, Breves G, 2. Auflage, S. 552–573

Stuttgart: Enke Verlag – ISBN: 3-8304-1039-5

Hartmann H und Berchtold J (1997):

Pathogenesis and diagnosis of systemic acidosis in animals with conclusions for effective forms of therapy.

Tierärztl. Prax. G, 25, 611–624

Hartmann H (2005):

Klinische Labordiagnostik

In: Rinderkrankheiten – Innere und chirurgische Erkrankungen/Hrsg.: Hofmann W, 2. Auflage, S. 72–95

Stuttgart: UTB – ISBN:3-8252-8044-6

- Hartmann H und Berchtold J (2009):
Bedeutung der Parameter des Säuren-Basen-Status nach Henderson-Hasselbalch und nach Stewart für die Diagnostik und Therapieüberwachung bei Tieren.
Tierärztl. Prax. G, 37, 205–213
- Harvatine K, Boisclair Y, Bauman D (2009):
Recent advances in the regulation of milk fat synthesis.
Animal, 3, 40–54
- Haskins S (1977):
An overview of acid-base physiology.
J. Am. Vet. Med. Assoc., 170, 423–428
- Hejlasz Z, Nicpon J (1977):
Acid base equilibrium in experimental acidosis of cows with and without rumen fistula.
Acta Physiol. Pol., 28, 77–84
- Hildebrand B, Boguhn J, Rodehutschord M (2011):
Effect of maize silage to grass silage ratio and feed particle size on ruminal fermentation in vitro.
Animal, 5, 528–536
- Hille K, Hetz S, Rosendahl J, Braun H, Pieper R, Stumpff F (2016):
Determination of Henry's constant, the dissociation constant, and the buffer capacity of the bicarbonate system in ruminal fluid.
J. Dairy Sci., 99, 369–85
- Hoffmann M (2011):
Möglichkeiten und Grenzen der Bewertung der Strukturwirksamkeit von Rationen für Milchkühe.
Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen.
In: 11. Symposium – Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen, 31.03.2011, Neuruppin, S.105–125
- Hoffmann M (2018):
Wasser satt und Stroh nach Leistung? Fütterungsempfehlungen bei begrenzten Grobfutterreserven.
In: Sonderveranstaltung zur aktuellen Grobfutterversorgung, 16.08.2018, Nossen
Abgerufen am 17.06.2019 um 21.16 Uhr, von
https://www.lkvsachsen.de/fileadmin/wireframe/redaktion/portal/2_Hoffmann_Fuetterung_Nossen_160818.pdf
- Hofmann R (1989)
Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system.
Oecologia, 78, 443–457
- Hofmann W (2005):
Rinderkrankheiten – Innere und chirurgische Erkrankungen.
2. Auflage, Stuttgart: UTB
ISBN:3-8252-8044-6
- Hogue J, Tucker W, Van Koevering M, Vernon R, Adams G (1991):
Controlled ruminal infusion of sodium bicarbonate. 1. influence of postfeeding infusion interval on ruminal milieu.
J. Dairy Sci., 74, 1675–1683
- Holter J, West J, McGilliard M (1997):
Predicting ad libitum dry matter intake and yield of Holstein cows.
J. Dairy Sci., 80, 2188–2199

- Höltershinken M, Höhling A, Scholz H (2004):
Influence of starvation on fermentation in bovine rumen fluid (in vivo).
In: The Effect of Herd Health of Cattle, Sheep and Goat on Production Efficiency/Hrsg.: Szenci O, Brydl E, Viktor J
Proc. V. Mitteleuropäischen Buiatrischen Kongress Hajduszoboszlo, Budapest, Ungarn, 02.–05.06.2004, S. 446
ISBN: 9632162005
- Hoops M (2007):
Peripartaler Stoffwechsel und Morbidität bei Hochleistungskühen während eines Jahres.
Dissertation, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig
- Horst R, Goff J, Reinhardt T (1994):
Calcium and vitamin d metabolism in the dairy cow.
J. Dairy Sci., 77, 1936–1951
- Hörügel U, Füll M (1998):
Untersuchungen zur Früherkennung der Gebärparesegefährdung bei Kühen.
Prakt. Tierarzt, Collegium Veterinarium XXVIII, 86–92
- Hu W, Murphy M (2005):
Statistical evaluation of early- and mid-lactation dairy cow responses to dietary sodium bicarbonate addition.
Anim. Feed Sci. Technol., 119, 43–54
- Humer E, Aschenbach J, Neubauer V, Kröger I, Khiaosaard R, Baumgartner W, Zebeli Q (2018a):
Signals for identifying cows at risk of subacute ruminal acidosis in dairy veterinary practice.
J. Anim. Physiol. Anim. Nutr., 102, 380–392
- Humer E, Petri R, Aschenbach J, Bradford B, Penner G, Myqerem T, Südekum K, Zebeli Q (2018b):
Invited review: Practical feeding management recommendations to mitigate the risk of subacute ruminal acidosis in dairy cattle.
J. Dairy Sci., 101, 872–888
- Hutjens M (1998):
Strategic use of feed additives in dairy cattle nutrition.
Abgerufen am 20.01.2019 um 17.45 Uhr, von
<http://livestocktrail.illinois.edu/dairynet/paperDisplay.cfm?ContentID=156>
- Hüttmann H (2007):
Analyse der Futteraufnahme und der Energiebilanzmerkmale bei hochleistenden, erstlaktierenden Milchkühen.
Dissertation, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- Jeroch H, Drochner W, Simon O (2008):
Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere.
2., überarbeitete Auflage, Stuttgart: UTB
ISBN: 9-7838-2528180-9
- Kamphues J, Kienzle E, Simon O, Coenen M, Pallauf J, Zentek J (2004):
Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung.
10., vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage, Hannover: Schaper
ISBN: 3-7944-0205-7
- Kauffold P (1975):
Strukturen und Funktionen der Pansenschleimhaut erwachsener Wiederkäuer und ihre Beeinflussung durch Ernährungsfaktoren.

In: Nährstoffverwertung beim Wiederkäuer/Hrsg.: Piatkowski B, 1. Auflage, S. 62–113
Jena: VEB Gustav Fischer Verlag Jena – ASIN B008D0G4E0

Kennelly J, Robinson B, Khorasani G (1999):
Influence of carbohydrate source and buffer on rumen fermentation characteristics, milk yield, and milk composition in early-lactation holstein cows.
J. Dairy Sci., 82, 2486–2496

Keunen J, Plaizier J, Kyriazakis I, Duffield T, Widowski T, Lindinger M, McBride B (2003):
Short communication: effects of subacute ruminal acidosis on free-choice intake of sodium bicarbonate in lactating dairy cows.
J. Dairy Sci., 86, 954–957

Khorasani G, Janzen R, McGill W, Kennelly J (1997):
Site and extent of mineral absorption in lactating cows fed whole-crop cereal grain silage of alfalfa silage.
J. Anim. Sci., 75, 239–248

Khorasani G, Kennelly J (2001):
Influence of carbohydrate source and buffer on rumen fermentation characteristics, milk yield, and milk composition in late-lactation holstein cows.
J. Dairy Sci., 84, 1707–1716

Kilmer L, Muller L, Snyder T (1981):
Addition of sodium bicarbonate to rations of postpartum dairy cows: physiological and metabolic effects.
J. Dairy Sci., 64, 2357–2369

Kirchgeßner M, Stangl G, Schwarz F, Roth F, Südekum KH, Eder K (2014):
Tierernährung – Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis
14., aktualisierte Auflage, Frankfurt a. M.: DLG Verlag
ISBN: 978-3-7690-0819-7

Klee W, Hartmann I (2017):
Klinische Labordiagnostik in der Buiatrik.
abgerufen am 23.08.2019 um 14.10 Uhr, von <http://www.rinderskript.net/skripten/Laborskript.pdf>

Kleen J (2004):
Prevalence of subacute ruminal acidosis in dutch dairy herds – a field study
Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

Kleen J, Hooijer G, Rehage J, Noordhuizen J (2005):
Rumenocentesis (rumen puncture): a viable instrument in herd health diagnosis.
Dtsch. Tierarztl. Wochenschr., 111, 458–462

Klein B (2004):
Untersuchungen zu den Blutserumkonzentrationen an Vitaminen aus dem B-Komplex bei
Milchkühen.
Dissertation, Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin

Koeppen, B. M. und B. A. Stanton (2017).
Physiology.
7. Auflage, Philadelphia; Pennsylvania: Elsevier
ISBN: 0323523404

Kononoff P, Heinrichs A (2003):
The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation.
J. Dairy Sci., 86, 1445–1457

- Kraft W, Dürr U (2005):
Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin.
6., überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart: Schattauer
ISBN: 3-7945-2308-3
- Kramer T, Michelberger T, Gürtler H, Gäbel G (1996):
Absorption of short-chain fatty acids across ruminal epithelium of sheep.
J Comp Physiol B., 166, 262–269
- Krause K, Combs D, Beauchemin K (2002):
Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. I. milk production and diet digestibility.
J. Dairy Sci., 85, 1936–1946
- Krause K, Oetzel G (2006):
Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: a review.
Anim. Feed Sci. Technol., 126, 215–236
- Krikczikat J (2015):
Peripartaler Säure-Basen-Status bei niedersächsischen Holstein Friesian-Milchkühen.
Dissertation, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig
- Kristensen N, Gabel G, Pierzynowski S, Danfaer A (2000):
Portal recovery of short-chain fatty acids infused into the temporarily-isolated and washed reticulo-rumen of sheep.
Br. J. Nutr., 84, 477–482
- Kristensen N, Harmon D (2004):
Effect of increasing ruminal butyrate absorption on splanchnic metabolism of volatile fatty acids absorbed from the washed reticulorumen of steers.
J. Anim. Sci., 82, 3549–3559
- Kruif A, Mansfeld R, Hoedemaker M (1998):
Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind.
1. Auflage, Stuttgart: Enke Verlag
ISBN: 978-3-432-29221-2
- Kutas F (1965):
Determination of net acid-base excretion in the urine of cattle. A method for the estimation of acid-base equilibrium.
Acta Vet. Acad. Sci. Hung., 15, 147–153
- Kutas F (1967):
Diagnosis of acid-base disturbances in cattle herds fed on various diets.
Acta Vet. Acad. Sci. Hung., 17, 269–278
- Lachmann G, Seffner W (1979):
Zur Problematik der metabolischen Azidose des Wiederkäuers.
Mh. Vet.-Med., 34, 44–46
- Lachmann G (1981):
Ätiologie, Pathogenese, Diagnostik, Therapie und Prophylaxe der alimentären metabolischen Azidose des Rindes.
Habilitation, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig
- Lachmann G, Siegl W, Siebert H, Schafer M, Alkaff O (1983):
Untersuchungen zur renalen Kalziumausscheidung bei der metabolischen Azidose des Rindes.
Wiss. Z. Karl-Marx-Univ. Leipzig, Math-Naturwiss. R., 32, 314–320

Lachmann G, Schäfer M (1985a):

Diagnostik fütterungsbedingter metabolischer Azidosen und Alkalosen beim Rind.
Wiss. Z. Karl-Marx-Univ. Leipzig, Math-Naturwiss. R., 34, 366–474

Lachmann G, Siebert H, Schäfer M (1985b):

Säure-Basen-Parameter in Blut, Erythrozyten, Lebergewebe und Harn bei dekompensierter metabolischer Azidose des Rindes.
Arch. exper. Vet.med., 39, 422–28

Lachmann G, Siebert H, Schäfer M (1986):

Säure-Basen-Parameter in Blut, Erythrozyten, Lebergewebe und Harn bei vollständig kompensierter metabolischer Azidose des Rindes.
Arch. exper. Vet.med., 40, 791–797

Le Ruyet P, Tucker W (1992):

Ruminal buffers: temporal effects on buffering capacity and pH of ruminal fluid from cows fed a high concentrate diet.
J. Dairy Sci., 75, 1069–1077

Leedle J, Bryant M, Hespell R (1982):

Diurnal variations in bacterial numbers and fluid parameters in ruminal contents of animals fed low- or high-forage diets.
Appl. Environ. Microbiol., 44, 402–412

Leonhard-Marek S (2007):

Elektrogener Natriumtransport des Pansenepithels – Charakterisierung, Regulation und Interaktion mit anderen ruminalen Transportvorgängen.
Habilitation, Tierärztliche Hochschule Hannover

LfL (2019):

Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen.
44., veränderte Auflage, Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Abgerufen am 24.01.2020 um 22.36 Uhr, von
https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/gruber_tabelle_fuetterung_milchkuehe_zuchtrinder_schafe_ziegen_lfl-information.pdf

Liebich H (1999):

Funktionelle Histologie der Haussäugetiere.
3. Auflage, Stuttgart: Schattauer
ISBN: 3-7945-1899-3

Lindinger M, Franklin T, Lands L, Pedersen P, Welsh D, Heigenhauser G (2000):

NaHCO₃ and KHCO₃ ingestion rapidly increases renal electrolyte excretion in humans.
J Appl Physiol (1985), 88, 540–550

Löptien A (2005):

Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Fütterungsfaktoren auf die metabolischen Effekte von Calciumchlorid und Calciumsulfat auf den Mengenelementhaushalt von Milchkühen.
Dissertation, Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin

Lotspeich W (1967):

Metabolic aspects of acid-base change.
Science, 155, 1066–1075

Lunn D, McGuirk S (1990a):

Renal regulation of electrolyte and acid-base balance in ruminants.
Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract., 6, 1–28

- Lunn D, McGuirk S, Smith D, MacWilliams P (1990b):
Renal net acid and electrolyte excretion in an experimental model of hypochloremic metabolic alkalosis in sheep.
Am. J. Vet. Res., 51, 1723–1731
- Mao S, Huo W, Liu J., Zhang R, Zhu W (2017):
In vitro effects of sodium bicarbonate buffer on rumen fermentation, levels of lipopolysaccharide and biogenic amine, and composition of rumen microbiota.
J. Sci. Food Agric., 97, 1276–1285
- Martens H, Gabel G (1988):
Transport of Na and Cl across the epithelium of ruminant forestomachs: rumen and omasum. A review.
Comp. Biochem. Physiol. A Comp. Physiol., 90, 569–575
- Martens H (1995):
Die Konzentration von Mineralstoffen im Plasma von Wiederkäuern: Geeigneter Parameter zur Beurteilung der Mineralstoffversorgung?
Tierärztl. Umschau, 50, 321–326
- Martens H, Röntgen M (2003):
Effekte des Kaliums auf den Mg- und Ca-Stoffwechsel der Kuh: Wirkungen und Nebenwirkungen wissenschaftlicher Tätigkeit.
Schweiz. Arch. Tierheilkd., 145, 577–583
- Martens H. (2005):
Resorptionsvorgänge.
In: Physiologie der Haustiere/Hrsg.: Engelhardt von W, Breves G, 2. Auflage, S. 366–374
Stuttgart: Enke Verlag – ISBN: 3-8304-1039-5
- Martens H, Rabbani I, Shen Z, Stumpff F, Deiner C (2012):
Changes in rumen absorption processes during transition.
Anim. Feed Sci. Technol., 172, 95–102
- Martin R, Mansfeld R, Hoedemaker M, De Kruif A (2006):
Milchleistung und Fütterung.
In: Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind/Hrsg.: Kruif A, Mansfeld R, Hoedemaker M, 1. Auflage, S. 105–140
Stuttgart: Enke Verlag – ISBN: 978-3-432-29221-2
- Maulfair D, Zanton G, Fustini M, Heinrichs A (2010):
Effect of feed sorting on chewing behavior, production, and rumen fermentation in lactating dairy cows.
J. Dairy Sci., 93, 4791–4803
- Mertens D (1997):
Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows.
J. Dairy Sci., 80, 1463–1481
- Meyer U (2005):
Fütterung der Milchkühe
In: . Lanbauforschung Völknerode Sonderheft 289/Hrsg.: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, 2.Auflage, S. 111–127
Abgerufen am 27.07.2019 um 17.14 Uhr, von
https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/bitv/zi038400.pdf
- Müller-Özkan E (2002):
Untersuchungen zu möglichen Auswirkungen anionischer Futterzusätze auf den Kohlenhydratstoffwechsel im Pansen des Rindes (in vitro).
Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

Muto S (2001):

Potassium transport in the mammalian collecting duct.

Physiol. Rev., 81, 85–116

Nasrollahi S, Imani M, Zebeli Q (2015):

A meta-analysis and meta-regression of the effect of forage particle size, level, source, and preservation method on feed intake, nutrient digestibility, and performance in dairy cows.

J. Dairy Sci., 98, 8926–8939

NCR (2001):

Nutrient requirements of dairy cattle.

7., überarbeitete Auflage, Washington D.C.: National Academy Press.

ISBN: 0-309-06997-1

Nocek J, Allman J, Kautz W (2002):

Evaluation of an indwelling ruminal probe methodology and effect of grain level on diurnal pH variation in dairy cattle.

J. Dairy Sci., 85, 422–428

Oetzel G (2007):

Subacute ruminal acidosis in dairy herds: physiology, pathophysiology, milk fat responses, and nutritional management american association of bovine practitioners.

In: Preconference Seminar 7A: dairy herd problem investigation strategies: lameness, and ruminal acidosis.

American Association of bovine practitioners 40th annual conference, 17.09.2007, Vancouver, Canada, S. 89–119

Okeke G, Buchanan-Smith J, Grieve D (1983):

Effect of sodium bicarbonate on rate of passage and degradation of soybean meal in postpartum dairy cows.

J. Dairy Sci., 66, 1023–1031

Owens F, Secrist D, Hill W, Gill D (1998):

Acidosis in cattle: a review.

J. Anim. Sci., 76, 275–286

Penner G, Aschenbach J, Gäbel G, Rackwitz R, Oba M (2009):

Epithelial capacity for apical uptake of short chain fatty acids is a key determinant for intraruminal pH and the susceptibility to subacute ruminal acidosis in sheep.

J. Nutr., 139, 1714–1720

Piatkowski B, Hoffmann L, Kauffold P, Schiemann R, Steger H (1975):

Nährstoffverwertung beim Wiederkäuer.

1. Auflage, Jena: VEB Gustav Fischer Verlag

ASIN: B008D0G4E0

Plaizier J, Danesh Mesgaran M, Derakhshani H, Golder H, Khafipour E, Kleen J, Lean I, Loor J, Penner G, Zebeli Q (2018):

Review: enhancing gastrointestinal health in dairy cows.

Animal, 12, 399–412

Plaizier J, Krause D, Gozho G, McBride B (2008):

Subacute ruminal acidosis in dairy cows: the physiological causes, incidence and consequences.

Vet. J., 176, 21–31

Polsky L, von Keyserlingk M (2017):

Invited review: effects of heat stress on dairy cattle welfare.

J. Dairy Sci., 100, 8645–8657

- Poppi D, France J, McLennan S (2000):
Intake, passage and digestibility.
In: Feeding Systems and Feed Evaluation Models/Hrsg.: Theodorou M, France J, France M, 1.
Auflage, S. 25–52
Wallingford: CAB – ISBN: 0-85199-346X
- Prießnitz J (2006):
Die Adaptation des Pansenepithels im zeitlichen Verlauf in Abhängigkeit von der Fütterung am
Modell des Schafes.
Dissertation, Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin
- Razzaghi A, Aliarabi H, Tabatabaei M, Saki A, Valizadeh R, Zamani P (2012):
Effect of dietary cation-anion difference during prepartum and postpartum periods on
performance, blood and urine minerals status of holstein dairy cow.
Asian-Australas J Anim Sci., 25, 486–495
- Rémond D, Chaise J, Delval E, Poncet C (1993):
Net flux of metabolites across the ruminal wall of sheep fed twice a day with orchardgrass hay.
J. Anim. Sci., 71, 2529–2538
- Rémond D, Ortigues I, Jouany J (1995):
Energy substrates for the rumen epithelium.
Proc Nutr Soc., 54, 95–105
- Rogers J, Muller L, Davis C, Chalupa W, Kronfeld D, Karcher L, Cummings K (1985):
Response of dairy cows to sodium bicarbonate and limestone in early lactation.
J. Dairy Sci., 68, 646–660
- Rosenberger G (1990):
Die klinische Untersuchung des Rindes.
3. Auflage, Berlin; Hamburg: Parey
ISBN: 3-489-56516-9
- Rossow N (2008):
Beziehungen zwischen Michlfettdepression und subakuter Pansenazidose.
abgerufen am 12.07.2010 um 21.30 Uhr, von <http://www.portal-rind.de/index.php?name=News&file=article&sid=132>
- Russell J, Chow J (1993):
Another theory for the action of ruminal buffer salts: decreased starch fermentation and
propionate production.
J. Dairy Sci., 76, 826–830
- Sanchez W, Beede D, Cornell J (1994a):
Interactions of sodium, potassium, and chloride on lactation, acid-base status, and mineral
concentrations.
J. Dairy Sci., 77, 1661–1675
- Sanchez W, McGuire M, Beede D (1994b):
Macromineral nutrition by heat stress interactions in dairy cattle: review and original research.
J. Dairy Sci., 77, 2051–2079
- Sautin Y, Johnson R (2008):
Uric acid: the oxidant-antioxidant paradox.
Nucleosides, Nucleotides & Nucleic Acids, 27, 608–619
- Schadt I, Ferguson J, Azzaro G, Petriglieri R, Caccamo M, Van Soest P, Licitra G (2012):
How do dairy cows chew? Particle size analysis of selected feeds with different particle length
distributions and of respective ingested bolus particles.
J. Dairy Sci., 95, 4707–4720

Schulenburg von der A (2005):

Untersuchung der Adaptation des Pansenepithels im zeitlichen Verlauf.
Dissertation, Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin

Schwab E, Shaver R, Shinnors K, Lauer J, Coors J (2002):

Processing and chop length effects in brown-midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows.

J. Dairy Sci., 85, 613–623

Schwarz F (2000):

Fütterung hochleistender Milchkühe (Energie- und Proteinversorgung, Wiederkäuergerechtigkeit).
In: Bericht BAL Gumpenstein/Hrsg.: Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft
Gumpenstein

27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 6.–8.06.2000, Gumpenstein, Österreich, S. 19–25

Scott D (1966):

The effects of sodium depletion and potassium supplements upon electrical potentials in the rumen of the sheep.

Q. J. Exp. Physiol. Cogn. Med. Sci., 51, 60–69

Sharma H, Pal R., Mir S, Mani V, Ojha L (2018):

Effect of feeding buffer on feed intake, milk production and rumen fermentation pattern in lactating animals: a review.

J. Entomol. Zool. Stud., 6, 916–922

Shen J, Chai Z, Song L, Liu J, Wu Y (2012):

Insertion depth of oral stomach tubes may affect the fermentation parameters of ruminal fluid collected in dairy cows.

J. Dairy Sci., 95, 5978–5984

Siebert G (2012):

persönliche Mitteilung.

Silbernagel S, Despopoulos A (2001):

Taschenatlas der Physiologie.

5., komplett überarbeitete und neu gestaltete Auflage, Stuttgart; New York: Georg Thieme Verlag
ISBN: 3-13-567705-2

Silveira C, Oba M, Yang W, Beauchemin K (2007):

Selection of barley grain affects ruminal fermentation, starch digestibility, and productivity of lactating dairy cows.

J. Dairy Sci., 90, 2860–2869

Smith V (1941):

In vivo studies of hydrogen ion concentrations in the rumen of the dairy cow.

J. Dairy Sci., 24, 659–665

Snyder T, Rogers J, Muller L (1983):

Effects of 1.2% sodium bicarbonate with two ratios of corn silage:grain on milk production, rumen fermentation, and nutrient digestion by lactating dairy cows.

J. Dairy Sci., 66, 1290–1297

Spieker R (1989):

Der Einfluß der Tageszeit auf die renale Ausscheidung einiger Mineralstoffe bei Rindern.

Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr., 102, 52–56

Spiekers H, Nußbaum H, Potthast V (2009):

Erfolgreiche Milchviehfütterung.

5., erweiterte und aktualisierte Auflage, Frankfurt a. M.: DLG-Verlag

ISBN: 978-3-7690-0730-5

Spohr M, Wiesner H (1991):

Kontrolle der Herdengesundheit und Milchproduktion mit Hilfe der erweiterten Milchleistungsprüfung.
Milchpraxis, 29, 231–236

Staufenbiel R (2007):

Pansenfermentationsstörung und Pansenazidose – zwei grundlegende fütterungsbedingte Tiergesundheitsstörungen in der Milchkuhhaltung.
REKASAN-Journal, 14, 9–15

Staufenbiel R, Gelfert C, Hof K, Westphal A, Daetz C (2007):

Einfluss verschiedener Varianten der Trockensteher- und Transitzuhfütterung auf die Tiergesundheit und die Leistung.
In: 10. Symposium – Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen, 25.10.2007, Neuruppin, S. 11–76

Staufenbiel R, Feucker W, Groen C (2009):

Bestandsbetreuung Rind – Auswertung von Herdendaten unter Nutzung des Programmes ITB (Integrierte Bestandsbetreuung).
In: Weiterbildungsveranstaltung für Tierärzte Berlin, Modul 15, 17. –18.04.2009, Berlin

Staufenbiel R (2011):

Pansenalkalose, Pansenazidose, Pansenfermentationsstörungen – grundlegende Tiergesundheitsprobleme in der Milchkuhhaltung.
In: 11. Symposium – Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen, 31.03.2011, Neuruppin, S. 33–101

Staufenbiel R, Roder A, Pieper L (2016):

Die DCAB der Futtermittelration als eine bisher wenig beachtete Ursache für eine azidotische Stoffwechsellaage von Jungrindern und Milchkühen.
In: 41. Leipziger Fortbildungsveranstaltung Labordiagnostik in der Bestandsbetreuung, 24.06.2016, Leipzig, S. 43–45

Steingass G, Zebeli Q (2008):

Strukturbewertung von Rationen für Milchkühe.
In: 35. Viehwirtschaftliche Fachtagung/Hrsg.: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein
Viehwirtschaftliche Fachtagung, Gumpenstein, Österreich, 09.04.2008, S. 19–25

Stokes M, Bull L (1986):

Effects of sodium bicarbonate with three ratios of hay crop silage to concentrate for dairy cows.
J. Dairy Sci., 69, 2671–2680.

Strabel D, Ewy A, Kaufmann T, Steiner A, Kirchhofer M (2007):

Rumenozentese: Eine geeignete Methode zur pH-Bestimmung im Pansensaft beim Rind?
Schweiz. Arch. Tierheilkd., 149, 301–306

Suttle N (2010):

The mineral nutrition of livestock.
4. Auflage, Wallingford; Oxfordshire: CABI (CAB International)
ISBN: 978-1-84593-472-9

Tafaj M, Steingass H, Susenbeth A, Lang G, Drochner W (1999):

Einfluss der Partikellänge von Heu auf Verdauungsvorgänge und Futteraufnahme bei Wiederkäuern bei Variation von Kraffutter- und Fütterungsniveau.
Arch. Tierernähr., 52, 167–184

Teufel E (1999):

Verlaufsuntersuchungen zu Serum-Amyloid A, L-Carnitin sowie ausgewählten Stoffwechselfparametern bei hochleistenden Milchkühen im peripartalen Zeitraum.

Dissertation, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig

Thurmann J (2012):

Tagesschwankungen von Laborparametern beim Milchrind.

Dissertation, Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin

Töpel A (2007):

Chemie und Physik der Milch: Naturstoff, Rohstoff, Lebensmittel.

3. Auflage, Hamburg: Behr's Verlag

ISBN: 3- 899-47131-8

Tucker W, Aslam M, Lema M, Shin I, Le Ruyet P, Hogue J, Buchanan D, Miller T, Adams G (1992a):

Sodium bicarbonate or multielement buffer via diet or rumen: effects on performance and acid-base status of lactating cows.

J. Dairy Sci., 75(9), 2409–2420

Tucker W, Hogue J, Aslam M, Lema M, Martin M, Owens F, Shin I, Le Ruyet P, Adams G (1992b):

A buffer value index to evaluate effects of buffers on ruminal milieu in cows fed high or low concentrate, silage, or hay diets.

J. Dairy Sci., 75, 811–819

Tucker W, Hogue J, Aslam M, Lema M, Le Ruyet P, Shin I, Van Koeveering M, Vernon R, Adams G (1993):

Controlled ruminal infusion of sodium bicarbonate. 3. Influence of infusion dose on systemic acid-base status, minerals, and ruminal milieu.

J. Dairy Sci., 76, 2222–2234

Ulbrich M, Hoffmann M, Drochner W (2004):

Fütterung und Tiergesundheit.

1. Auflage, Stuttgart: UTB

ISBN: 3-825-28284-8

Uppal S, Wolf K, Martens H (2003):

The effect of short chain fatty acids on calcium flux rates across isolated rumen epithelium of hay-fed and concentrate-fed sheep.

J. Anim. Physiol. a Anim. Nutr., 87, 12–20

Vagnoni D, Oetzel G (1998):

Effects of dietary cation-anion difference on the acid-base status of dry cows.

J. Dairy Sci., 81, 1643–1652

Wang C, Beede D (1990):

Effects of supplemental protein on acid-base status and calcium metabolism of nonlactating jersey cows.

J. Dairy Sci., 73, 3178–3186

Wang C, Beede D (1992):

Effects of ammonium chloride and sulfate on acid-base status and calcium metabolism of dry jersey cows.

J. Dairy Sci., 75, 820–828

Wangsness P, Muller L (1981):

Maximum Forage for Dairy Cows: review.

J. Dairy Sci., 64, 1–13

Warner A, Stacy B (1972):

Water, sodium and potassium movements across the rumen wall of sheep.

Q. J. Exp. Physiol. Cogn. Med. Sci., 57, 103–119

Weber I (2007):

Effekte von Partikellänge, Faseranteil und Fermentierbarkeit von Rationen für Milchkühe auf Parameter der ruminalen Toleranz.

Dissertation, Fakultät für Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim

Weigand E, Young J, McGilliard A (1975):

Volatile fatty acid metabolism by rumen mucosa from cattle fed hay or grain.

J. Dairy Sci., 58, 1294–1300

Weiss B (1994):

The relationship between the acidity of the rumen contents and the proliferation status of the rumen mucosa in cattle.

Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr., 107, 73–78

West J, Coppock C, Nave D, Labore J, Greene L, Odom T (1987):

Effects of potassium carbonate and sodium bicarbonate on rumen function in lactating Holstein cows.

J. Dairy Sci., 70, 81–90

West J, Haydon K, Mullinix B, Sandifer T (1992):

Dietary cation-anion balance and cation source effects on production and acid-base status of heat-stressed cows.

J. Dairy Sci., 75, 2776–2786

West J (2003):

Effects of heat-stress on production in dairy cattle.

J. Dairy Sci., 86, 2131–2144

West J, Mullinix B, Bernard J (2003):

Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows.

J. Dairy Sci., 86, 232–242

Wichern A (2011):

Untersuchungen zum Einfluss von Grassilagen mit auffällig niedrigen Reineiweißanteilen auf bislang nicht identifizierte Substanzen im Pansensaft (in vitro)

Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

Winter P (2009):

Praktischer Leitfaden Mastitis. Vorgehen beim Einzeltier und im Bestand.

1. Auflage, Stuttgart: Parey

ISBN: 3-830-44168-1

Wu W, Liu J, Xu G, Ye J (2008):

Calcium homeostasis, acid–base balance, and health status in periparturient Holstein cows fed diets with low cation–anion difference.

Liv. Sci., 117, 7–14

Wülbeck C, Pries M, van de Sand H, Südekum K (2008):

Pansenpuffer für laktierende Milchkühe – Wirkungen von Natriumhydrogencarbonat in einer grassilagebetonten Ration.

In: Forum angewandte Forschung 2008, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen;

url: <https://www.landwirtschaftskammer.de/riswick/pdf/forumbeitraege/forum-2008-14-pansenpuffer.pdf>

Yang W, Beauchemin K (2005):

Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage.

J. Dairy Sci., 88, 1090–1098

Yang W, Beauchemin K (2006):

Physically effective fiber: method of determination and effects on chewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows.

J. Dairy Sci., 89, 2618–2633

Yang W, Beauchemin K (2007):

Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: chewing and ruminal ph.

J. Dairy Sci., 90, 2826–2838

Zebeli Q, Tafaj M, Weber I, Dijkstra J, Steingass H, Drochner W (2007):

Effects of varying dietary forage particle size in two concentrate levels on chewing activity, ruminal mat characteristics, and passage in dairy cows

J. Dairy Sci., 90, 1929–1942

Zebeli Q, Dijkstra J, Tafaj M, Steingass H, Ametaj B, Drochner W (2008):

Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal ph and milk fat production to composition of the diet.

J. Dairy Sci., 91, 2046–2066

Zebeli Q, Aschenbach J, Myqerem T, Boguhn J, Ametaj B, Drochner W (2012):

Invited review: role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle.

J. Dairy Sci., 95, 1041–1056

Zeeck A (2000):

Chemie für Mediziner.

4. Auflage, München; Jena: Urban & Fischer

ISBN: 3-437-42440-8

11 Danksagung

Da eine solche Arbeit nie nur das Werk eines Einzelnen ist, sondern zahlreiche Personen mehr oder weniger direkt im Entstehungsprozess und der Fertigstellung mitwirken, möchte ich an dieser Stelle meinen Dank ausdrücken.

Zunächst gilt mein besonderer Dank Herrn Professor Dr. Rudolf Staufenbiel für die Überlassung dieser Dissertationsthematik sowie seine hilfreiche Unterstützung, die stets gewährte Diskussionsbereitschaft und die unerschütterliche Zuversicht in die Fertigstellung dieser Arbeit.

Herrn Dr. Hans-Joachim Alert, Fütterungsreferent des Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (a.D.), möchte ich für die ausgesprochenen gute Zusammenarbeit, seinen unermüdlichen Einsatz und die aufopferungsvolle Hingabe in der Betreuung der Versuchstiere sowie dieser Doktorandin herzlich danken.

Dem Lehr- und Versuchsgut Köllitsch danke ich für die Möglichkeit zur Durchführung der praktischen Untersuchungsreihen.

Bei der Klinik für Klauentiere sowie dem Institut für Tierernährung an der Freien Universität Berlin bedanke ich mich für die Möglichkeit, die jeweiligen Laboratorien ausgiebig zu nutzen.

Ein weiteres Dankeschön gilt dem Land Berlin für die Gewährung einer finanziellen Unterstützung in Form eines Stipendiums nach dem Gesetz zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses bzw. des Elsa-Neumann-Stipendiums.

Frau Dr. Gerda Siebert verdanke ich einen signifikanten Anteil dieser Arbeit. Vielen Dank für Unterstützung bei der Durchführung der statistischen Berechnungen.

Nicht zuletzt gilt mein besonderer Dank vor allem meinen großartigen Eltern und Bruder, meiner Familie und Freunden, ohne deren Liebe, Unterstützung und seelisch-moralischen Beistand in allen Lebenslagen mit den notwendigen Ablenkungen, Aufmunterungen und letztlich motivierenden Zuspruch diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

Danke, auch wenn dieses eine Wort nicht annähernd ausreichend ist!

12 Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe. Stellen, die wortwörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Publikationen entnommen sind, sind unter Angabe des Quelltextes gekennzeichnet.

Stephanie Woida

Schwerin, den 25.01.2021



9 783967 291032

mbvberlin mensch und buch verlag

49,90 Euro | ISBN: 978-3-96729-103-2