

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

**Untersuchung zum Einfluss der DCAB
in der Futterration unter besonderer
Berücksichtigung von Schwefel und Chlorid
auf die Futteraufnahme, Milchleistung und Parameter
der Tiergesundheit von Milchkühen**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin**

vorgelegt von
Laura Marie Hanebeck
Tierärztin aus Berlin

Berlin 2023
Journal-Nr.: 4381

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

**Untersuchung zum Einfluss der DCAB in der Futtermittelration unter
besonderer Berücksichtigung von Schwefel und Chlorid auf die
Futtermittelaufnahme, Milchleistung und Parameter der Tiergesundheit
von Milchkühen**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin**

**vorgelegt von
Laura Marie Hanebeck
Tierärztin
aus Berlin**

Berlin 2023

Journal-Nr.: 4381

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Uwe Rösler
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, feeds, sulfur, chlorides, ion balance,
feed intake, milk yield, animal health

Tag der Promotion: 06.04.2023

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: 978-3-96729-210-7

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2023

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 2023 Choriner Str. 85 - 10119 Berlin
verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1. Einleitung.....	1
2. Literatur.....	2
2.1. Schwefel.....	2
2.1.1. Die Bedeutung des Schwefels und sein Vorkommen in der Wiederkäuerfütterung.....	3
2.1.2. Haushalt des Schwefels.....	4
2.1.3. Interaktion mit anderen Elementen.....	7
2.1.4. Schwefelübersversorgung.....	8
2.1.5. Schwefelunterversorgung.....	12
2.1.6. Die Wirkung von Schwefel in der Ration.....	13
2.2. Chlorid.....	15
2.2.1. Vorkommen des Chlorids in der Wiederkäuerfütterung.....	15
2.2.1. Haushalt des Chlorids.....	16
2.2.2. Wechselwirkung mit anderen Elementen.....	17
2.2.3. Chlorid-Übersversorgung.....	18
2.2.4. Chlorid-Unterversorgung.....	19
2.3. DCAB.....	19
2.3.1. Berechnung der DCAB.....	20
2.3.2. DCAB und saure Salze.....	21
3. Material und Methoden.....	23
3.1. Untersuchungszeitraum, Betrieb und Tiere.....	23
3.2. Untersuchungsaufteilung und Untersuchungsfütterung.....	23
3.2.1. Untersuchungsreihe 1 Dauer 10 Wochen.....	24
3.2.2. Untersuchungsreihe 2 Dauer 9 Wochen.....	25
3.2.3. Untersuchungsreihe 3 Dauer 19 Wochen.....	26
3.3. Datengewinnung und Beurteilung, Laboranalytik.....	28

Inhaltsverzeichnis

3.3.1.	Futtermenge und Futteraufnahme	29
3.3.2.	Blutparameter.....	30
3.3.3.	Kuhsignale	31
3.3.4.	Lebendmasse, RFD, BCS	33
3.3.5.	Milchdaten.....	33
3.4.	Statistische Auswertung.....	34
4.	Ergebnisse	36
4.1.	Untersuchungsreihe 1	36
4.1.1.	Futtermenge.....	36
4.1.2.	Futteraufnahme	41
4.1.3.	Blutparameter.....	42
4.1.4.	Kuhsignale	44
4.1.5.	Lebendmasse, RFD, BCS	46
4.1.6.	Milchdaten.....	47
4.2.	Untersuchungsreihe 2	49
4.2.1.	Futtermenge.....	49
4.2.2.	Futteraufnahme	54
4.2.3.	Blutparameter.....	55
4.2.4.	Kuhsignale	57
4.2.5.	Lebendmasse, RFD, BCS	58
4.2.6.	Milchdaten.....	59
4.3.	Untersuchungsreihe 3	61
4.3.1.	Futtermenge.....	62
4.3.2.	Futteraufnahme	66
4.3.3.	Blutparameter.....	67
4.3.4.	Kuhsignale	74
4.3.5.	Lebendmasse, RFD, BCS	76
4.3.6.	Milchdaten.....	77
5.	Diskussion	80
5.1.	Kritik an der Untersuchungsmethode	80

5.2. Untersuchungsreihe 1	81
Senkung der DCAB durch Soy-Chlor®	81
5.2.1. Futterration und Futteraufnahme	81
5.2.2. Blutparameter.....	82
5.2.3. Kuhsignale	82
5.2.4. Lebendmasse, RFD, BCS	83
5.2.5. Milchdaten.....	83
5.3. Untersuchungsreihe 2	85
Steigerung der DCAB durch Natriumbicarbonat	85
5.3.1. Futterration und Futteraufnahme	85
5.3.2. Blutparameter.....	85
5.3.3. Kuhsignale	86
5.3.4. Lebendmasse, RFD, BCS	86
5.3.5. Milchdaten.....	86
5.4. Untersuchungsreihe 3	87
Senkung der DCAB durch Calciumsulfat und Pufferung mit Natriumbicarbonat.....	87
5.4.1. Futterration und Futteraufnahme	87
5.4.2. Blutparameter.....	89
5.4.3. Kuhsignale	89
5.4.4. Lebendmasse, RFD, BCS	89
5.4.5. Milchdaten.....	90
5.5. Zusammenfassende Diskussion	92
6. Schlussfolgerungen	94
7. Zusammenfassung	96
8. Summary	98
9. Literaturverzeichnis.....	100
10. Anhang	124
11. Danksagung	145
12. Selbstständigkeitserklärung	146

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Folgen einer erhöhten Schwefel- und Sulfataufnahme modifiziert nach Crawford 2007	11
Abbildung 2: Body Condition Score nach (Edmonson et al. 1989)).....	33
Abbildung 3: Tägliche Chloridaufnahme in der Untersuchungsreihe 1.....	37
Abbildung 4: Tägliche Schwefelaufnahme in Untersuchungsreihe 1.....	38
Abbildung 5: Tägliche DCAB-Aufnahme in in der Untersuchungsreihe 1.....	39
Abbildung 6: Tägliche ADF-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 1	40
Abbildung 7: Tägliche ADL-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 1.....	40
Abbildung 8: Tägliche Frischmasseaufnahme in der Untersuchungsreihe 1	41
Abbildung 9: Tägliche Trockenmasseaufnahme in der Untersuchungsreihe 1.....	42
Abbildung 10: Tägliche Milchmenge in der Untersuchungsreihe 1.....	47
Abbildung 11: Tägliche EKM in der Untersuchungsreihe 1.....	48
Abbildung 12: Täglicher Harnstoffgehalt in der Untersuchungsreihe 1.....	49
Abbildung 13: Tägliche Chloridaufnahme in der Untersuchungsreihe 2.....	50
Abbildung 14: Tägliche Schwefelaufnahme in der Untersuchungsreihe 2.....	51
Abbildung 15: Tägliche DCAB-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 2.....	52
Abbildung 16: Tägliche ADF-Aufnahme je Tier der Untersuchungsreihe 2	53
Abbildung 17: Tägliche ADL-Aufnahme je Tier der Untersuchungsreihe 2.....	53
Abbildung 18: Tägliche Frischmasseaufnahme je Tier der Untersuchungsreihe 2	54
Abbildung 19: Tägliche Trockenmasseaufnahme je Tier der Untersuchungsreihe 2.....	55
Abbildung 20: Tägliche Milchmenge in der Untersuchungsreihe 2.....	59
Abbildung 21: Tägliche EKM in der Untersuchungsreihe 2.....	60
Abbildung 22: Täglicher Harnstoffgehalt der Milch in der Untersuchungsreihe 2	61
Abbildung 23: Tägliche Chlorid-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 3	62
Abbildung 24: Tägliche Schwefelaufnahme in der Untersuchungsreihe 3.....	63
Abbildung 25: Tägliche DCAB-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 3.....	64
Abbildung 26: Tägliche ADF-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 3	65
Abbildung 27: Tägliche ADL-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 3.....	65
Abbildung 28: Tägliche Frischmasseaufnahme in der Untersuchungsreihe 3	66
Abbildung 29: Tägliche Trockenmasseaufnahme in der Untersuchungsreihe 3.....	67
Abbildung 30: ASAT im Blut der Untersuchungsreihe 3.....	68
Abbildung 31: GGT im Blut der Untersuchungsreihe 3	68
Abbildung 32: GLDH im Blut der Untersuchungsreihe 3	69
Abbildung 33: CK im Blut der Untersuchungsreihe 3	69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 34: Phosphat im Blut der Untersuchungsreihe 3	70
Abbildung 35: Ca im Blut der Untersuchungsreihe 3	71
Abbildung 36: Chlorid im Blut der Untersuchungsreihe 3	71
Abbildung 37: BUN im Blut der Untersuchungsreihe 3.....	72
Abbildung 38: BHBS im Blut der Untersuchungsreihe 3.	72
Abbildung 39 TP im Blut der Untersuchungsreihe 3	73
Abbildung 40: Tägliche Milchmenge der Untersuchungsreihe 3.	77
Abbildung 41: Tägliche EKM der Untersuchungsreihe 3.....	78
Abbildung 42: Täglicher Harnstoffgehalt der Untersuchungsreihe 3	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schwefelgehalt in Futtermitteln (Ulbrich et al. 2004)	4
Tabelle 2: Schwefelbedarf und toxische Mengen.....	9
Tabelle 3: Chloridgehalt in ausgewählten Futtermitteln (Hoffmann 2021)	16
Tabelle 4: Chloridbedarf und toxischer Bereich	18
Tabelle 5: Untersuchungstiere.....	24
Tabelle 6: Berechnete Rationszusammensetzung.....	25
Tabelle 7: Untersuchungstiere.....	25
Tabelle 8: Berechnete Rationszusammensetzung.....	26
Tabelle 9: Untersuchungstiere.....	26
Tabelle 10: Berechnete Rationszusammensetzung.....	27
Tabelle 11: Erhobene Parameter und Quellen.....	28
Tabelle 12: Messgerät und Methode der Blutparameter	31
Tabelle 13: Kotbonitur nach Zaaijer, D. und J. P. Noordhuizen (2003)	32
Tabelle 14: Enzymaktivitäten in Woche 0 und Woche 9 in Untersuchungsreihe 1	42
Tabelle 15: Metaboliten im Blut in Woche 0 und 9 der Untersuchungsreihe 1	43
Tabelle 16: Wiederkau- und Liegeverhalten Woche 1 bis 10 der Untersuchungsreihe 1.....	44
Tabelle 17: Kotbonitur, Intensität und Frequenz der Pansenmotilität in den Wochen 0,5 und 10 der Untersuchungsreihe 1	45
Tabelle 18: LM, RFD und BCS in Woche 0 und 9 der Untersuchungsreihe 1	46
Tabelle 19: Enzymaktivität in jeweils Woche 0 und Woche 7 der Untersuchungsreihe 2	55
Tabelle 20: Metaboliten im Blut in jeweils der Woche 0 und 7 der Untersuchungsreihe 2.....	56
Tabelle 21: Wiederkau- und Liegeverhalten jeweils der Wochen 1 bis 8 der Untersuchungsreihe 2	57
Tabelle 22: Kotbonitur, Intensität und Frequenz der Pansenmotilität in den Wochen 0,3 und 8 der Untersuchungsreihe 2	58
Tabelle 23: LM, RFD und BCS in Woche 0 und 7 der Untersuchungsreihe 2	58
Tabelle 24: Blutwerte mit nur 2 Messwerten der Untersuchungsreihe 3	73
Tabelle 25: Wiederkau- und Liegeverhalten jeweils der Wochen 0 bis 16 der Untersuchungsreihe 2	75
Tabelle 26: Kotbonitur, Intensität und Frequenz der Pansenmotilität in den Wochen 0,3,9 und 16 der Untersuchungsreihe 3	76
Tabelle 27: LM, RFD und BCS in Woche 0 und 12 der Untersuchungsreihe 3	76
Tabelle 28: Analysierte Rationen der Untersuchungsreihe 1 (Prädel 2021).....	124

Tabelle 29: Rationen mit verwendeten Futtermitteln, Zufütterung Soy-Chlor® in der Untersuchungsgruppe der Untersuchungsreihe 1.....	125
Tabelle 30: Futtermitteldaten Untersuchungsreihe 1.....	126
Tabelle 31: Milchdaten Untersuchungsreihe 1.....	128
Tabelle 32: Analysierte Rationen der Untersuchungsreihe 2 (Prädel 2021).....	129
Tabelle 33: Rationen mit verwendeten Futtermitteln, Zufütterung NaHCO ₃ in der Untersuchungsgruppe der Untersuchungsreihe 2.....	130
Tabelle 34: Futtermitteldaten Untersuchungsreihe 2.....	131
Tabelle 35: Milchdaten Untersuchungsreihe 2.....	133
Tabelle 36: Analysierte Rationen der Untersuchungsreihe 3.1 (Prädel 2021).....	134
Tabelle 37: Analysierte Rationen der Untersuchungsreihe 3.2 (Prädel 2021).....	134
Tabelle 38: Analysierte Rationen der Untersuchungsreihe 3.2 (Prädel 2021).....	135
Tabelle 39: Rationen mit verwendeten Futtermitteln, Zufütterung CaSO ₄ in der Untersuchungsgruppe der Untersuchungsreihe 3.1.....	136
Tabelle 40: Rationen mit verwendeten Futtermitteln, Zufütterung CaSO ₄ in der Untersuchungsgruppe der Untersuchungsreihe 3.2.....	137
Tabelle 41: Rationen mit verwendeten Futtermitteln, Zufütterung CaSO ₄ und NaHCO ₃ in der Untersuchungsgruppe der Untersuchungsreihe 3.3.....	138
Tabelle 42: Futtermitteldaten Untersuchungsreihe 3.....	139
Tabelle 43: Milchdaten Untersuchungsreihe 3.....	143

Abkürzungsverzeichnis

µg	.....	Mikrogramm
ADF	.....	Säure-Detergenz-Faser
ADL	.....	Säure-Detergenz-Lignin
AST	.....	Aspartat-Aminotransferase
ATP	.....	Adenosintriphosphat
BHBS	.....	Beta-Hydroxybutyratehe
BUN	.....	Harnstoff
ca	.....	circa
CaSO ₄	.....	Calciumsulfat
CK	.....	Creatininkinase
Cl	.....	Chlor
Cl ⁻	Chlorid
CO ₂	.....	Kohlendioxid
Crea	.....	Creatinin
DCAB	.....	Dietary cation anion balance
EKM	.....	Energie korrigierte Milch
evtl.	.....	Eventuell
FCM	.....	Fettkorrigierte Milch
FM	.....	Frischmasse
g	.....	Gramm
GGT	.....	Gamma-Glutamyl-Transferase
GLDH	.....	Glutamatdehydrogenase
Glu	.....	Glukose
GVO	.....	gentechnisch veränderte Organismen
H ₂ S	.....	Schwefelwasserstoff
K	.....	Kalium
kg	.....	Kilogramm
KM	.....	Körpermasse
l	.....	Liter
meq	.....	Milliäquivalent
mg	.....	Milligramm
ml	.....	Milliliter
Na	.....	Natrium
NaCl	.....	Natriumchlorid
NaHCO ₃	.....	Natriumhydrogencarbonat
NDF	.....	Neutrale-Detergenzien-Faser
NEFA	.....	Non estifies fatty acids
NEL	.....	Netto-Energie-Laktation
NFC	.....	Nichtfaser-Kohlenhydrate
nXP	.....	Nutzbares Rohprotein am Duodenum
OS	.....	Organische Substanz
PEM	.....	Polioenzephalomalazie
pH	.....	Negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionen
Pho	.....	Phosphat
RES	.....	Rapseextraktionsschrot
RNB	.....	Ruminale Stickstoff Bilanz
S	.....	Schwefel
SES	.....	Sojaextraktionsschrot
SO ₂	.....	Schwefeldioxid

Abkürzungsverzeichnis

SW	Strukturwert
tBili	Total-Bilirubin
TM	Trockenmasse
TP	Total-Protein
TS	Trockensubstanz
TU	Trächtigkeitsuntersuchung
USR	Untersuchungsreihe
XA	Rohasche
XFA	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XS	Rohstärke
XZ	Rohzucker
ZKZ	Zwischenkalbezeit

1. Einleitung

Die deutschen Verbraucher fordern immer stärker Lebensmittel ohne Bestandteile aus genetisch veränderten Organismen. Für die Herstellung von GVO-freien Lebensmitteln muss man bei der Lebensmittelproduktion allerdings bei der Fütterung anfangen. Rinder in der Hochlaktation benötigen einen hohen Proteinanteil in ihrer täglichen Ration, der lange Zeit durch das Sojaextraktionsschrot sehr gut abgedeckt wurde.

Sojaextraktionsschrot wird als Nebenprodukt bei der Herstellung von Sojaöl gewonnen. Die Sojabohne wächst auf mitteleuropäischen Böden und in den dortigen Klimaverhältnissen eher schlecht und muss deshalb importiert werden. Die weltweit größten Sojabohnenexporteure sind Brasilien, Argentinien, USA und Kanada. In diesen Ländern wird größtenteils eine gentechnisch veränderte Sojabohne angebaut, die resistent gegenüber Glyphosat ist, wodurch die Unkrautbekämpfung erleichtert wird.

Wenn allerdings Sojaextraktionsschrot (SES) aus diesen SES Bohnen verfüttert wird, dann sind die am Ende daraus hergestellten Lebensmittel nicht GVO-frei. Deshalb versuchte man in den letzten Jahren eine Alternative für SES als Proteinquelle im Futter zu finden. Eine mögliche Alternative ist Rapsextraktionsschrot (RES). Ergeben sich dabei aber verschiedene Probleme, weil RES eine deutlich andere Mineralstoffzusammensetzung hat als SES? So ist etwa der Anteil von Schwefel im RES deutlich höher als im SES und der Anteil von Chlorid fällt nicht deutlich niedriger aus. Bei der Zugabe von RES anstelle von SES zu einer Ration kommt es daher zu einer deutlichen Absenkung des DCAB-Wertes.

In diesem Zusammenhang stellen sich die folgenden Fragen:

- Welchen Effekt hat die DCAB auf die Tiergesundheit, Futteraufnahme und die Milchleistung?
- Welchen Effekt hat der Chloridgehalt einer Ration auf die Tiergesundheit, Futteraufnahme und die Milchleistung?
- Welchen Effekt hat der Schwefelgehalt einer Ration auf die Tiergesundheit, Futteraufnahme und die Milchleistung?
- Hat Schwefel einen von der DCAB unabhängigen Einfluss auf die Tiergesundheit, Futteraufnahme und Milchleistung?

Diese und weitere Fragen sollen in der vorliegenden Arbeit und in der Arbeit von Prädel (2021) erörtert werden.

2. Literatur

2.1. Schwefel

Schwefel ist ein gelbes Nichtmetall, der im Lateinischen als *sulphur* oder *sulfur* bezeichnet wird. Im Periodensystem der Elemente steht er an der 16. Stelle und wird mit dem Elementensymbol S abgekürzt. Er gehört zur Gruppe der Chalkogene. In der Natur kommt Schwefel in elementarer Form und in anorganischen Verbindungen, wie Sulfaten und Sulfiden, vor. Schwefel ist Bestandteil bestimmter Aminosäuren und verschiedener Coenzyme und somit essenziell für Lebewesen.

Als Schadstoff, zum Beispiel in der Form von Schwefeloxid im sauren Regen, kann er unterschiedliche negative Wirkungen hervorrufen.

Durch seine hohe Reaktivität geht Schwefel mit fast allen anderen Stoffen Verbindungen ein. Schwefel kommt in allen vier Erdsphären vor, wobei sich der Schwefelkreislauf auf den Austausch des Schwefels zwischen den einzelnen Schichten bezieht. Er kommt auf der gesamten Erde zu 0,46 % vor und steht damit an 8. Stelle der Elemente. In der Erdhülle (Erdkruste und oberster Erdmantel) steht er an der 15. Stelle (0,048%) und in der kontinentalen Erdkruste an der 16. Stelle (0,035 %) (Mortimer et al. 2015; Schmidt 1973).

Schwefelverbindungen und schwefelhaltige Aminosäuren sind essenzielle Bestandteile von Körperzellen. Schwefel gehört zu den Mengenelementen und ist damit für die Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen unentbehrlich. Dem tierischen Organismus stehen dabei pflanzliche Bestandteile als Schwefelquelle zur Verfügung (Müller und Erichsen 1952). Die Pflanze nimmt mit ihren Wurzeln Sulfat aus dem Boden auf, welches über das Xylem in die Blätter transportiert wird. Dort erfolgt in den Chloroplasten die Assimilation des Sulfats über Sulfid und Schwefelwasserstoff zu Cystein (Heldt und Piechulla 2015).

Die Aminosäuren Methionin und Cystein enthalten im tierischen Organismus Schwefel, sodass man in allen Proteinen Schwefel nachweisen kann. In besonders hohen Konzentrationen kann man ihn im Keratin der Haare, in Wolle und Federn finden. Auch in wasserlöslichen Vitaminen, Thiamin und Biotin ist Schwefel vorhanden (Engelhardt 2005). Im gesamten Organismus eines Säugetiers liegt ein Schwefelgehalt von 0,37-0,6 % vor (Beach et al. 1939). Im Unterschied zu den Monogastriern, die auf eine Quelle für organische Schwefelverbindungen angewiesen sind, sind Wiederkäuer auch mit anorganischen Schwefelquellen gut versorgt, da die Pansenbakterien daraus Methionin und Cystein herstellen können. Diese Aminosäuren können dann von den Wiederkäuern verwertet werden (Müller und Erichsen 1952).

Der Schwefel unterliegt einem kontinuierlichen Kreislauf, wobei sich in den ausgeschiedenen Exkrementen der Tiere Sulfid befindet, das durch Sauerstoff zu Sulfat oxidiert und dann wiederum den Pflanzen zur Verfügung steht.

2.1.1. Die Bedeutung des Schwefels und sein Vorkommen in der Wiederkäuerfütterung

Als ein Mengenelement gehört Schwefel neben Calcium, Phosphor, Magnesium, Natrium, Kalium und Chlorid zu den lebensnotwendigen Elementen. Dabei sind schwefelhaltige Aminosäuren wichtige Ausgangsprodukte für den Stoffwechsel, vor allem bei der Synthese und dem Stoffwechsel der Proteine. So dienen sie etwa der Herstellung von Biokatalysatoren, wie Hormonen, Vitaminen und Blutbestandteilen. Außerdem sind sie beim Aufbau der Proteine für die Sekundär- und Tertiärstruktur unabdingbar, da Disulfid-Brücken die häufigsten kovalenten Bindungen sind (Scheunert, Trautmann 1951).

Auch in den Pflanzen werden schwefelhaltige Aminosäuren für die Proteinbiosynthese benötigt. Deshalb haben Pflanzen mit einem hohen Proteinertrag auch einen hohen Schwefelbedarf. Die Pflanzen enthalten dann auch eine große Menge an Schwefel (Wessels 2002). Extraktionsschrote weisen gegenüber Mais- oder Grassilage einen hohen Rohproteinanteil auf, wobei dann auch der Schwefelgehalt deutlich erhöht ist (Tabelle 1). Im Sojaextraktionsschrot finden sich Werte zwischen 4,05-4,25 g S/kg TM (Walch 1998; NRC 2001). Das Rapsextraktionsschrot gehört zu den schwefelreichsten Futtermitteln, wobei hier der Wert bei 16,3 g S/kg TM liegt (NRC 2001; Walch 1998). Allerdings schwanken die Angaben in der Literatur sehr stark. Insgesamt kann man davon ausgehen, dass praxisübliche Rationen für Wiederkäuer 1,5g – 3 g/kg TM Schwefel enthalten.

Tabelle 1: Schwefelgehalt in Futtermitteln (Ulbrich et al. 2004)

Futtermittel	Schwefel (g/kg TM)	Summe der schwefelhaltigen Aminosäuren (g/kg TM)
Maiskleber	6,8	28,2
Kartoffeleiweiß	16,2	18,4
<i>Rapsextraktionsschrot</i>	<i>16,3</i>	<i>18</i>
<i>Sojaextraktionsschrot</i>	<i>4,8</i>	<i>15,3</i>
Rapsexpeller (8-15% Fett)	12,5	13,3
Maiskleberfutter	3,5	12,1
Biertreber	0,9	11,1
Ackerbohne	1	5,8
Erbsen	1,4	5,8
Trockengrünfutter	3,4	4
Getreide (ohne Mais)	1,6	4,6
Maissilage	1,3	-
Grassilage	1,7	-
Bakterien und Protozoen (Pansen)	2,8 – 3,2	22 – 25

2.1.2. Haushalt des Schwefels

Schwefel wird in organischer oder anorganischer Form aus dem Futter und dem Trinkwasser aufgenommen. Wie der Schwefel dann weiter verstoffwechselt wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dabei geht es zum einen um die Art und die Mengen, in denen der Schwefel aufgenommen wird. Zum anderen beeinflussen die im Futter in verschiedenen Mengen vorkommenden Stoffe die Schwefelverwertung (Fontenot und Church 1979; Kandylis 1984).

Wiederkäuer sind auf verschiedene Mikroorganismen im Pansen angewiesen, die für sie den anorganischen Schwefel verstoffwechseln. Diese Bakterien wandeln dabei die vorliegenden Schwefelverbindungen in Sulfid um (McDowell und Lee 2003). Deutlich häufiger wandeln andere Bakterien Sulfate in Schwefelwasserstoff um (Kandylis 1984). Am besten verfügbar sind dabei Schwefelverbindungen in der Form von Cystein und Methionin oder anorganisch gebundener Schwefel (Bray und Till 1975). Gerade die hohen Aktivitäten der Mikroorganismen

in den Vormägen bilden eine Besonderheit der Wiederkäuer, weil sie im Unterschied zu Monogastriern anorganische Schwefelquellen verwerten können. Monogastrier sind auf organische Quellen angewiesen (Kandylis 1984). Für die Mikroorganismen sind dabei die folgenden Schwefelquellen am besten zu verwerten: L-Methionin mit 100 %, Calciumsulfat mit 94 %, Ammoniumsulfat mit 93 %, DL-Methionin mit 63 %, Natriumsulfat mit 55 %, Natriumsulfid mit 43 %, elementarer Schwefel mit 36 % und Methionin-Hydroxy-Analog mit 29 % (Kahlon et al. 1975).

Die Schwefelverbindungen werden dann in mikrobielle Proteine eingebaut oder von der Pansenwand und vom Dünndarm absorbiert (Stöber und Scholz 2006). Nach Andersen (1956) verbleiben die Schwefelverbindungen für ca. zwei Stunden im Pansen, wobei gleichzeitig mit ihrer Absorption auch der Blutspiegel ansteigt. Dabei werden unabhängig vom pH-Wert und von der mikrobiellen Besiedelung des Pansens Sulfate deutlich schlechter resorbiert als Sulfide (Bray 1969a, 1969b). Die Sulfate spielen deshalb bei der Resorption eine fast zu vernachlässigende Rolle. Sulfide haben gegenüber anderen Schwefelverbindungen eine deutlich kürzere Verweildauer im Pansen, die zwischen 10 min und 22 min liegt (Bray 1969a, 1969b).

Den größten Einfluss auf die Absorption haben jedoch die mikrobielle Besiedelung des Pansens (Männer und Bronsch 1987) und der pH-Wert des Pansensaftes (Bray 1969b; Bray und Till 1975). Je niedriger der pH-Wert ist, umso besser können die Sulfide absorbiert werden (van Soest 1994). Diesen Einfluss kann man durch die Verteilung zwischen Flüssig- und Gasphase erklären, die durch den pH-Wert beeinflusst wird. Bei einem niedrigen pH-Wert steigt die Konzentration von Schwefelwasserstoff an. Gould (2000) und Bray und Hemsley (1969) fanden allerdings heraus, dass eine Konzentration von 1 µg /ml Sulfid im Pansen nicht unterschritten werden darf. Denn ab dieser Konzentration werden die meisten Sulfide in die mikrobiellen Proteine eingebaut, sodass sie nicht mehr für die Absorption zur Verfügung stehen.

Das absorbierte Sulfid wird in der Leber oder im Blut zu Sulfat oxidiert (Bray 1969c). Im Blut liegen diese Sulfate als freie Ionen vor oder sind mit Plasmaproteinen verestert (Kandylis 1983). Der Hauptteil der Sulfat-Ionen wird in die Proteine von Geweben, Haaren, Wolle und Milch eingebaut (Kandylis 1984). Bei trächtigen Wiederkäuern wird eine große Menge an den Fötus weitergegeben, wobei hohe Konzentrationen hier vor allem in der Leber, im Gehirn, der Hypophyse und den Knochen auftreten (Fontenot und Church 1979; Kurtz 2007).

Das Sulfat, das wieder in die Leber gelangt, wird entweder zu Phosphoadenosylphosphosulfat aktiviert, wobei es dann für die Biosynthese von Binde- und Stützgewebe oder Gehirnproteinen weiterverwendet wird. Oder es wird als konjugierter Schwefel für die Entgiftung von Phenolen,

Indoxyl-Verbindungen und Steroiden eingesetzt. Das konjugierte Sulfat, das auch als Etherschwefel bezeichnet wird, wird dann ausgeschieden (Kurtz 2007).

Das Sulfat im Körper unterliegt daher einem ständigen Kreislauf. Über das Blut gelangt es in die Speicheldrüsen und liegt dann dort als anorganisches Sulfat, Estersulfat oder Restsulfat vor (Kandyliis 1983). Die Ohrspeicheldrüse produziert ca. 50 % des Gesamtspeichels. Der Schwefelgehalt variiert dabei stark zwischen 0,1 mg/l und 15,2 mg/l. Wenn man bei allen anderen Speicheldrüsen von einer im Mittel ähnlichen Konzentration ausgeht, dann gelangen ca. 2,6 g Sulfat pro Tag über den Speichel in den Pansen zurück (Méot et al. 2006).

Im Pansen wird das Sulfat durch die Mikroorganismen wieder in verschiedene Verbindungen umgewandelt, wobei diese Schwefelverbindungen dann in unterschiedlicher Weise verarbeitet werden. Schwefelwasserstoff wird über den Ruktus ausgeschieden. Dabei wird ein Teil des Ruktus durch das Einatmen über die Lunge erneut aufgenommen, während der Rest endgültig ausgeschieden wird (Gould 1998). Auch die Sulfide werden erneut resorbiert. Schwefelverbindungen, die nicht im Pansen resorbiert werden, wozu vor allem die Futtereiproteine und die mikrobiellen Proteine gehören, gelangen in den hinteren Verdauungstrakt (Suttle 2010). Zusätzliche Quellen für Schwefel sind der Verdauungsbrei, die Galle, die pankreatische Sekretion, Plasmaproteine und degenerierte Mukosazellen (Kandyliis 1984). Diese verschiedenen Verbindungen des Schwefels werden zu 80-90 % vor allem im Ileum absorbiert (Suttle 2010; Kandyliis 1984). Schwefel, der dann noch nicht absorbiert wurde, gelangt in den Dickdarm und wird dort in Schwefelwasserstoff umgewandelt und wiederaufgenommen (Kandyliis 1984). Dennoch ist die mikrobielle Aktivität im Dickdarm von Wiederkäuern im Unterschied zum Pansen sehr gering (Bray und Till 1975).

Ein geringer Anteil des Schwefels wird nicht absorbiert, sodass die Verdaulichkeit bei ca. 80 % liegt. Dabei gibt es jedoch durch die oral aufgenommene Dosis individuell Unterschiede (Kamphues et al. 1999). Der nicht resorbierte Anteil wird dann ausgeschieden, wobei die Ausscheidung über den Kot als organischer Schwefel und über den Harn als Sulfat erfolgt (Suttle 2010). Dies wird auch durch die Zusammensetzung der Ration beeinflusst (Williams und Haynes 1993). Dabei ist allerdings in jedem Fall die Menge des über den Kot ausgeschiedenen Schwefels sehr gering (Fontenot und Church 1979). Die Ausscheidung erfolgt nur zu 13 % über den Kot, aber zu 78 % (Hansard und Mohammed 1969) bzw. 74 % (Williams und Haynes 1993) über den Harn, wobei der Schwefel in organischer Form ausgeschieden wird (Suttle 2010). Die Exkretion des Sulfates wird stark durch die hohe glomeruläre Filtrationsrate der Niere beeinflusst, da sie häufig die tubuläre Reabsorption übersteigt (Suttle 2010). Die im Tubulus absorbierte Menge ist relativ konstant. Wenn die Filtration höher ist, dann wird verstärkt Sulfat ausgeschieden (Weeth und Capps 1972). Eine

Trächtigkeit und der damit verbundene höhere Schwefelbedarf haben auf das Ausscheidungsverhalten keinen Einfluss (Hansard und Mohammed 1969).

2.1.3. Interaktion mit anderen Elementen

Schwefel zeigt im Stoffwechsel eine enge Interaktion mit Molybdän, Kupfer, Selen, Eisen und Zink (Gould 1998).

Organischer Schwefel und Molybdän sind bei verschiedenen Reaktionen Antagonisten und außerdem verwenden sie die gleichen Transportproteine. Durch Molybdän wird die bakterielle Sulfatreduktion von Aminosäuren und die Umwandlung von Sulfat in Sulfid verhindert (Kandyli 1984). Dies führt dazu, dass das Sulfat den Pansen verstärkt in Richtung des Darms verlässt und dort Molybdän von den Transportproteinen verdrängt, was in ähnlicher Weise auch in der Niere passiert (Bray und Till 1975). Dadurch wird dann Molybdän verstärkt ausgeschieden (Suttle 2010). Darüber hinaus bildet Molybdän mit Schwefelwasserstoff auch Thiomolybdat, wodurch es dann nur vermindert aufgenommen wird. Die Ausscheidung erfolgt über den Kot oder es akkumuliert sich im Gewebe (Qi et al. 1993).

Ab einer Schwefelkonzentration im Futter von 0,3 % wird der Kupferstoffwechsel negativ beeinflusst (SMART et al. 1986). Wenn Kupfer auf Sulfid trifft, dann reagiert es zu unlöslichem Kupfersulfid, was im Pansen und im hinteren Gastrointestinaltrakt auftreten kann (Suttle 2010). Aber auch im Gewebe, was dann zu einem sekundären Kupfermangel führt. Ein solcher sekundärer Kupfermangel beeinflusst die Fortpflanzung und das Verhalten negativ (Gould et al. 2002). Je höher die Schwefelkonzentration in einer Ration ist, umso nachteiliger kann der Effekt auf Kupfer ausfallen. Wenn man die Schwefelkonzentration von 0,2 % auf 0,4 % steigert, dann sinkt die Absorptionsrate von Kupfer um 50 % (Suttle 1991). Ein hoher Kupfergehalt (50 mg/kg) in einer Ration kann dagegen den negativen Effekt hoher Schwefelkonzentrationen auf die Thiaminsynthese im Pansen verringern (Puls 1990).

Der Stoffwechsel von Kupfer, Molybdän und Schwefel ist darüber hinaus auch in dieser Dreierkonstellation eng miteinander verbunden. Der durch Schwefel ausgelöste Kupfermangel wird bei der Anwesenheit von Molybdän noch verstärkt, weil sich dabei unlösliches Kupfer-Thiomolybdat bildet (Gould 1998). Dieses Kupfer-Thiomolybdat kann nur begrenzt absorbiert werden und wird daher größtenteils mit dem Kot ausgeschieden (Allen und Gawthornet 1987). Wenn sich für diese Reaktion nicht genügend Kupfer im Gastrointestinaltrakt befindet, dann wird Thiomolybdat absorbiert, das direkt von Kupfer abhängige Enzyme hemmt (Mason 1986) oder es reagiert im Gewebe und im Blut mit Kupfer (Gooneratne et al. 1989).

Da Kupfer und Molybdän Antagonisten sind, führen große Mengen Molybdän zu einem Kupfermangel (Johnson et al. 2007). Abhängig vom Kupferstatus und der aufgenommenen Sulfatmenge kann Molybdän die Anzeichen eines Kupfermangels verstärken oder verschleiern (Qi et al. 1993). Um eine optimale Versorgung zu gewährleisten, sollten Molybdän, Kupfer und Schwefel in einem Verhältnis von 3:10:1000 mg/kg TM vorliegen (Bickhardt 2001).

Auch Selen ist ein Antagonist von Schwefel, weil es als Teil von Aminosäuren mit Schwefel um das aktive Zentrum von Enzymen konkurriert (Männer und Bronsch 1987). Außerdem können Methionin und Cystein die negative Wirkung des Selenanalogons am aktiven Zentrum von Enzymen verringern (McDowell und Lee R 2003). Gooneratne et al. (1989) fanden heraus, dass eine moderate Erhöhung der Schwefelkonzentration in einer Futterration zu einer verstärkten Ausscheidung des Selens über den Harn und dadurch zu einem sekundären Selenmangel (Castillo et al. 2013) und den typischen Symptomen führt (Ivancic und Weiss 2001b).

Ähnlich wie Kupfer reagiert auch Zink mit Sulfid zu einem schwerlöslichen Zinksulfid, wodurch wiederum die Zinkabsorption verringert wird (Qi et al. 1993). Ein hoher Zinkgehalt verringert die Schwefelretention (Puls 1994), wobei auch eine hohe Schwefelkonzentration die Zinkretention absenkt (Pogge et al. 2014).

Ein weiterer Interaktionspartner von Schwefel ist Eisen. Eisen und Schwefel bilden einen Eisensulfid-Komplex. Dadurch kann der Schwefel nicht absorbiert werden, was zu einem sekundären Mangel führt (Shen 2011).

2.1.4. Schwefelübersversorgung

Für eine Schwefelübersversorgung gibt es verschiedene Ursachen. In einigen Fällen müssen unterschiedliche Faktoren zusammentreffen, um eine Übersversorgung auszulösen, während in anderen Fällen eine Veränderung eines einzelnen Faktors ausreicht. Die Einflüsse können dabei klimatischen oder geologischen Ursprungs sein. Aber auch das Management im Betrieb und die variierende Qualität der Futterkomponenten und des Wassers spielen eine Rolle. So sind beispielsweise Regionen mit sehr warmen Sommern häufiger davon betroffen (Gould et al. 2002). Die Emission von SO₂ durch Industrieanlagen kann zu einer Anreicherung in den Pflanzen und dadurch auch beim fressenden Tier zu einer Übersversorgung führen (Kandyli 1983). Der Wiederkäuer ist sehr viel anfälliger für eine Übersversorgung, da im Pansen H₂S gebildet wird, wobei der Bedarf und die toxische Grenze (Tabelle 2) sehr eng beieinander liegen (Dänicke und Schenkel 2009).

Tabelle 2: Schwefelbedarf und toxische Mengen

Tierart	Bedarf g/kg TM	Quelle	Toxische Menge g/kg TM	Quelle
Laktierende Kuh	2	(NRC 2001)	> 4,0	(Puls 1994)
Wachsendes Rind, Trockensteher, Bulle	1,6	(Reeves 2004)		
Fleischrind	1,5	(NRC 1996)	> 4,0	(NRC 1996)

Davon betroffen sind vor allem junge und laktierende Tiere. Dabei sind es bei den Schafen die abgesetzten Lämmer bis 18 Monate und bei den Rindern das Jungvieh zwischen 3 und 16 Monaten (Kul et al. 2006). Bei älteren Tieren tritt eine Überversorgung nur sporadisch auf (Rachid et al. 2011).

Die Hauptaufnahme des Schwefels erfolgt über Futter und Wasser (Gould 1998). Um eine schädliche Wirkung zu vermeiden, sollten im Wasser der Tränke für Kälber Mengen von 500 mg/l und für Rinder von 1000 mg/l nicht überschritten werden (NRC 2001). Im Boden befinden sich durchschnittlich 100-500 mg/kg Schwefel (Gisi 1997). Dabei enthält basisches Gestein mehr Schwefel als saures Gestein und in Tonschwarzerden steigt der Gehalt an (Scheffer et al. 2010). Der Gehalt an Schwefel und schwefelhaltigen Aminosäuren schwankt auch in den verschiedenen Futterbestandteilen, was in der Tabelle 1 dargestellt wird.

Damit die Tiere nicht den Appetit verlieren, sollten in krafftutterreichen Rationen 3 g/kg TM als Schwefelkonzentration nicht überschritten werden (Stöber und Scholz 2006). In grundfutterreichen Rationen wird eine maximale Konzentration von 5g/kg TM empfohlen (Dänicke und Schenkel 2009).

Wie schädlich eine Überversorgung mit Schwefel ist, hängt auch von den auftretenden Schwefelverbindungen und der Menge des aufgenommenen Schwefels ab. Schwefelwasserstoff ist ein stark toxisches Gas, während elementarer Schwefel kaum toxisch ist (NRC 1980).

Eine zu hohe Menge von H₂S führt zu typischen Vergiftungserscheinungen (Dänicke und Schenkel 2009). Es wird dabei entweder über den Pansen absorbiert oder nach dem Ruktus zu 60-70 % inhaliert (Bulgin et al. 1996). Durch die Inhalation wird der Leberstoffwechsel umgangen, was zu direkten Schädigungen führt (Kandylis 1983). Schwefelwasserstoff hemmt dann das Enzym Cytochromoxidase und stört dadurch den oxidativen Mechanismus. Da in nervalen und kardialen Strukturen die größten Mengen von Sauerstoff benötigt werden, sind

diese Strukturen am ehesten von diesen Auswirkungen betroffen. So kann es im Gehirn zu einer Schädigung des Atemzentrums kommen. Bei sehr hohen Dosen ist eine Paralyse der Atmung möglich (Ammann 1986).

Auch Schwefeldioxid hat eine schädliche Wirkung, sie fällt allerdings deutlich geringer aus als die von H_2S . Durch die Entstehung von Schwefelsäure aus Schwefeldioxid kommt es zu Reizungen und hämorrhagischen Läsionen der Pansenschleimhaut und damit zu einer Zerstörung der Barrierefunktion (Dänicke und Schenkel 2009).

Sulfide haben eine ähnliche toxische Wirkung wie H_2S . Auch sie blockieren Enzyme, wodurch dann die Bildung von ATP gestört wird (Kung et al. 1998). Da das Gehirn und vor allem die graue Substanz besonders stark auf ATP angewiesen sind, kommt es dann hier zu Nekrosen (McAllister et al. 1997). Durch die paralytische Beeinflussung des Glomus caroticum wird die Atmung beeinträchtigt (Bulgin et al. 1996). Außerdem binden Sulfide an das Hämoglobin, wobei dann durch die Bildung von Sulfhämoglobin der Sauerstofftransport eingeschränkt wird (McDowell und Lee R 2003). Darüber hinaus wirkt sich Sulfid auch negativ auf die Cytochromoxidase aus (McAllister et al. 1997).

Wie sich eine Schwefelübersorgung klinisch darstellt, hängt von der Menge und dem chemischen Auftreten des aufgenommenen Schwefels ab. Die ersten Symptome können schon nach zwei Stunden auftreten, aber auch erst nach einem Monat (Lamm et al. 2010).

Bei Rindern zeigt sich häufig, neben einem sekundären Kupfermangel, eine Polioenzephalomalazie (Arora und Shukla 2004). Die orale Aufnahme führt zu gastrointestinalen Störungen, während die Inhalation eine Lungensymptomatik und ZNS-Ausfälle auslöst (Gould et al. 1997).

Bei der Inhalation kann man nach einigen Tagen den Geruch von H_2S nach fauligen Eiern wahrnehmen. Erst einige Tage später treten dann die ersten ZNS-Symptome auf (Cummings et al. 1995). Nach einer schwefelreichen Fütterung kommt es nach ca. 30 Tagen zu einer PEM (Drewnoski und Hansen 2013), die mit Futterverweigerung, Rastlosigkeit, Pansenatonie, einem Anstieg des Pulses und der Atmung und einer Zyanose verbunden ist (Fontenot und Church 1979).

Bei Untersuchungen mit einem erhöhten Schwefelgehalt in der Futtermischung trat nach wenigen Stunden Durchfall auf und nach 48 Stunden waren die Rinder hochgradig dehydriert und litten unter Verstopfung. Außerdem zeigten sich bei ihnen eine Lungensymptomatik und ein dolentes Abdomen. Danach kam es zu Ataxie bis hin zu einem Festliegen und zum Tod (Julian und Harrison 1975). In der Literatur fallen die Beschreibungen alle sehr ähnlich aus, wobei als Symptome Stöhnen, Tritte in den Bauch (McDowell und Lee 2003), Apathie, Headpressing (McKenzie et al. 2009), ein vermehrter Speichelfluss und Aufblähen genannt werden (Lamm

et al. 2010). Wenn es zu einer PEM kommt, dann beginnt es häufig mit Appetitlosigkeit, bis dann die zentralnervösen Störungen auftreten (McAllister et al. 1992; Lamm et al. 2010), wobei als Symptome Blindheit, Inkoordination, Festliegen und Krampfanfälle beobachtet werden können (McAllister et al. 1992). Außerdem treten ein Muskeltremor im Bereich des Kopfes, Opisthotonus, kreisende Bewegungen und Krämpfe auf (McDowell und Lee 2003). Darüber hinaus fällt die Hautsensorik im Gesicht und an den Ohren aus (McAllister et al. 1997). Nach Vergiftungen mit Schwefelwasserstoff treten neben den oben genannten Symptomen auch Maulatmung und rasselnde Atemgeräusche bei der Auskultation auf (Knubben-Schweizer et al. 2011).

Wenn die Sulfatwerte im Wasser der Tränke erhöht sind, dann kommt es zu einer schlechteren Wasseraufnahme und Lebendmassezunahme, die Milchleistung (Abbildung 1) und die Fruchtbarkeit bleiben bis 2608 ppm unbeeinflusst (Patterson et al. 2004).

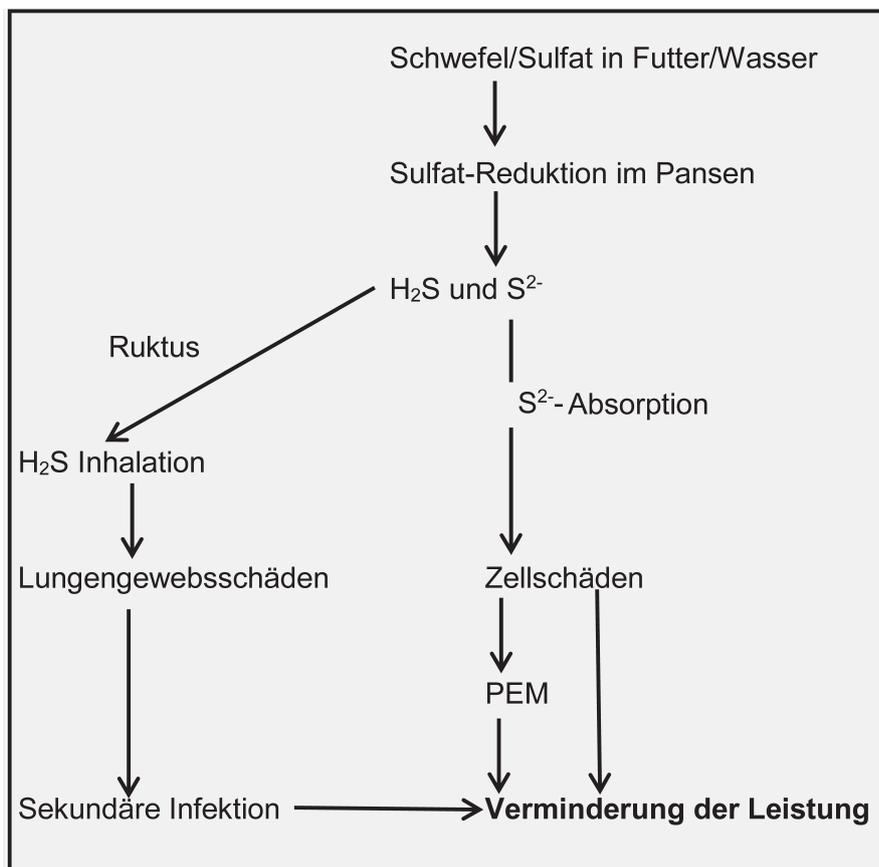


Abbildung 1: Folgen einer erhöhten Schwefel- und Sulfataufnahme modifiziert nach Crawford (2007)

Um eine Überversorgung bei einem lebenden Tier zu diagnostizieren, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Dazu gehören die klinische Untersuchung, die Bestimmung der ruminalen H_2S -Konzentration mit der Sulfid-Messröhrchen-Methode percutan in der linken Hungergrube, die Untersuchung des Pansensaftes auf seinen Sulfidgehalt, die Bestimmung des

Schwefelgehaltes im Blut und die Untersuchung von Wasser und Futter auf den Gesamtgehalt des über die Nahrung zugeführten Schwefels (Wall 2016). Die Messung der Wahl sollte jedoch die Bestimmung des Serumsulfates sein, da dadurch die Schwefelaufnahme am besten erfasst werden kann. Ruminales Sulfid ist zu instabil für eine Messung und das H₂S-Gas hängt zu stark vom pH-Wert ab (Amat et al. 2014). Drewnoski et al. (2012) stellten fest, dass das ruminale H₂S-Gas größeren Veränderungen unterliegt als die Sulfid-Konzentration im Pansen. Deshalb eignet es sich auch gut als Indikator für die Schwefelversorgung. Dabei sollte jedoch darauf geachtet werden, dass ca. sechs bis acht Stunden nach der Fütterung gemessen wird und sowohl Tiere mit und ohne klinische Probleme untersucht werden. Denn bei klinisch auffälligen Tieren treten häufig falsch niedrige Werte auf. Auch Gould et al. (1997) halten die Sulfid-Messröhrchen-Methode für eine sensible, schnelle und einfache Methode für die Detektion von pathologischen H₂S-Gaserhöhungen.

Um einer Überversorgung vorzubeugen, sollten regelmäßig Futtermittelanalysen durchgeführt werden (Gould 2000). Außerdem kann man Zusatzstoffe verabreichen, die bei einer Umstellung auf eine hohe Krafftuttermenge der Schwefelaufnahme entgegenwirken können (Crawford 2007).

2.1.5. Schwefelunterversorgung

Die Relevanz einer Schwefelunterversorgung wurde erst dadurch dringlicher, dass man begonnen hat, die Emission von Schwefeldioxid im Zusammenhang mit den Maßnahmen zur Senkung der Umweltverschmutzung zu senken. Durch eine geringere Emission sind die Futterpflanzen nicht mehr verstärkt Schwefeldioxid ausgesetzt, sodass sie auch weniger Schwefel aufnehmen (Hagel 2000). Die Pflanzen beziehen daher nach der Absenkung von Schwefeldioxid-Emissionen ihren Schwefelbedarf aus dem Dünger und dem Erdboden. Eine Unterversorgung tritt häufiger bei Jungtieren auf, da sie einen höheren Bedarf als ältere Tiere haben (Suttle 2010). Wenn man die Kontinente betrachtet, dann finden sich auf jedem Mangelgebiete (Qi et al. 1994). Dennoch wurden aus dem mitteleuropäischen Raum bisher keine Mangelernährungen gemeldet (GfE 2001). Wegen des niedrigen Schwefelgehalts im Boden sind vor allem tropische Regionen betroffen (McDowell und Lee 2003). Außerdem führen extensive Fütterungen öfter zu Schwefelmangel (Kamphues et al. 1999).

Schwefel steht im Stoffwechsel in einer engen Verbindung mit Stickstoff. Ein ausgewogenes Verhältnis dieser beiden Elemente ist wichtig, da sie sich sonst gegenseitig bei der Proteinsynthese blockieren (Uwituze et al. 2011). Für Rinder wird ein Stickstoff-Schwefel-Verhältnis von 10:1 bis 15:1 empfohlen (GfE 2001). Deshalb sollte bei einer Supplementierung

immer darauf geachtet werden, dass beide Elemente in ausreichender Menge verabreicht werden (Qi et al. 1994). Unter üblichen Bedingungen decken die Rationen und ihr Proteingehalt allerdings den Schwefelbedarf vollständig ab (Rosenberger 1970). Deshalb ist eine Unterversorgung bei Milchkühen in Deutschland bis heute weitgehend unbekannt (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2003).

2.1.6. Die Wirkung von Schwefel in der Ration

Die Wirkung von Schwefel in der Ration wird in der Literatur unterschiedlich diskutiert. Einerseits spricht man von einer verbesserten Verdaulichkeit und einer Senkung der Methanausscheidung (Qi et al. 1992) und andererseits wird auf eine verminderte Futteraufnahme und einen Abfall der Leistung verwiesen.

Der Anteil schwefelhaltiger Verbindungen in einer Ration ist wichtig für die Pansenmikrobiota, sodass sich die Zusammensetzung der Ration auf die Population der Mikroorganismen und die Fermentation im Pansen auswirkt. Wenn das Futter zu wenig schwefelhaltige Verbindungen enthält, dann führt dies zu einer Reduktion der Anzahl an gramnegativen Bakterien (Gall et al. 1951), wodurch sich dann die mikrobielle Verdauung von Cellulose und die mikrobielle Produktion von flüchtigen Fettsäuren verschlechtern (Spears et al. 1976; Barton et al. 1971; Whanger et al. 1978; Bird 1972). In einem Fütterungsversuch mit Schafen wurden zwei unterschiedliche Rationen verfüttert. Die Schafe deren Futterration 0,04 % Schwefel enthielt zeigten dabei eine verminderte Anzahl von cellulolytischen Bakterien und eine geringere Methanproduktion als die Schafe, deren Ration 0,34% Schwefel enthielt (Slyter et al. 1986; Judy et al. 2019).

Die Verdaulichkeit von Stärke wurde durch einen höheren Schwefelanteil verbessert (Morrison et al. 1990). Auch Qi et al. (1992) konnten bei Ziegen eine verbesserte Verdaulichkeit durch einen höheren Schwefelanteil nachweisen. Dabei wurden Rationen mit 0,16 %, 0,26 % und 0,36 % Schwefel in der Form von Calciumsulfat in der TM verfüttert, wobei ein linearer Zusammenhang mit der Verdaulichkeit von TM, OS und ADF beobachtet werden konnte.

Insgesamt wurde dabei in einer Ration durch den Anteil von Schwefel und schwefelhaltigen Substanzen das Gleichgewicht zwischen Kationen und Anionen beeinflusst (Tucker et al. 1991). Es ist allerdings umstritten, bis zu welchem Schwefelgehalt ein solch positiver Effekt wirksam ist. Ab einem Gehalt von 0,3 % Schwefel in der Form Calciumsulfat in der TM wird alles was darüber hinausgeht, als übermäßig ausgeschieden (Bouchard und Conrad 1973). Ab 0,35 % Schwefel wurde bei Milchkühen eine Abnahme der TM-Aufnahme beobachtet

(Bouchard und Conrad 1974). Auch Tisdale (1977) beobachtete ab einem Gehalt von 0,35 % Schwefel in der Ration eine Abnahme der Futteraufnahme und der Milchleistung. In einem Versuch mit Ochsen zeigte sich, dass sich die Futteraufnahme und die tägliche Zunahme bei 9,8 g/kg Schwefel in der TM deutlich verringerten (Rumsey 1978). In einem Fütterungsversuch mit Mastrindern konnte nachgewiesen werden, dass eine Zugabe von Calciumsulfat zwischen 0,15 % und 0,3 % S in der TM einen positiven Einfluss auf die Futteraufnahme und die Tageszunahme hatte. Wenn die Schwefelwerte über oder unter diesen Werten lagen, dann waren die Futteraufnahme und Tageszunahme schlechter. Die Ergebnisse dieser Studie konnten allerdings nur als Tendenzen dargestellt und nicht statistisch gestützt werden (Wessels 2002). Als eine zweite Schwefelquelle wurde Ammoniumsulfat verwendet, das keinen so positiven Einfluss auf die Futteraufnahme und die Tageszunahme hatte (Wessels 2002). Auch in anderen Studien konnte bestätigt werden, dass Ammoniumsulfat als Schwefelquelle keinen so stark positiven Effekt wie andere Schwefelquellen hatte (Bolsen et al. 1973; Zinn et al. 1997). Eine Versorgung mit 0,021-0,07 % Schwefel in der TM führte zu einem Mangel und auch zu Leistungsdepressionen (Gutierrez et. al. 1996; Slyter et al. 1986). In einem Fütterungsversuch von Spears et al. (2011) ergab sich ein ähnliches Bild. In diesem Versuch wurden sechs verschiedene Rationen verfüttert, und zwar jeweils mit einem Zusatz von 0 %, 0,15 % und 0,3 % Schwefel in der TM. Außerdem wurden diesen Rationen Natriumhydrogencarbonat zugesetzt, um die DCAB anzuheben. Die TM-Aufnahme wurde dadurch nicht beeinflusst. Die Gruppe mit 0,15 % Schwefelzusatz und einem Gesamtwert von 0,3 % Schwefel in der TM zeigte dabei die beste Tageszunahme, was sich auch durch den Zusatz von Natriumhydrogencarbonat nicht veränderte.

Durch den Einsatz von Schwefel in der Ration werden der pH-Wert des Harns, die Blutglucose und der Kupferwert im Blut abgesenkt, während die CK und AST ansteigen (Tisdale 1977).

2.2. Chlorid

Die Bezeichnung Chlor wurde vom Französischen *chlore* abgeleitet, das man wiederum auf das griechische Wort $\chi\lambda\omega\rho\acute{o}\varsigma$ / chlōrós (hellgrün, frisch) zurückführen kann, und im 19. Jahrhundert in die deutsche Sprache aufgenommen (Joost und Seebold 2001). Chlor ist ein gelblichgrünes, giftiges und stechend riechendes Gas. Dieses Element hat im Periodensystem die Ordnungszahl 17, es wird mit dem Symbol Cl bezeichnet und gehört zur Gruppe der Halogene. Elementares Chlor weist eine hohe Reaktivität auf, worauf auch seine Giftigkeit beruht. In der Natur kommt Chlor nicht in seiner elementaren Form, sondern nur gebunden vor. Zu den wichtigsten Chlorverbindungen zählen die sogenannten Chloride, in denen Chlor als Anion Cl⁻ vorliegt, deren bekanntestes Beispiel das Natriumchlorid ist. Chlor ist eines der häufigsten Elemente auf der Erde, wobei es in der Erdhülle (Erdkruste und oberster Erdmantel) zu 0,19 % vorkommt und damit an 19. Stelle der Elemente steht (Binder 2016).

Der Hauptteil der chlororganischen Verbindungen wird von Meereslebewesen gebildet, wie Seetang, Schwämmen und so weiter. Aber auch die Lebewesen auf dem Land bilden einen geringen Teil der chlororganischen Verbindungen. Ein weiterer Anteil entsteht bei Vulkanausbrüchen und der Verbrennung von Biomasse (Gribble 2003).

Chlor gehört zu den Mengenelementen und ist damit essenziell, um die Lebensfunktionen von Säugetieren aufrechtzuerhalten. Deshalb muss es regelmäßig über die Nahrung aufgenommen werden, um so den Bedarf decken zu können. Hauptsächlich findet man es in der extrazellulären Flüssigkeit, in der es als wichtigstes Anion für die Erhaltung des osmotischen Drucks sorgt. Insgesamt findet man im Körper von Säugetieren einen Chloridgehalt von 0,8-1,2 g/kg KM (Engelhardt 2005).

2.2.1. Vorkommen des Chlorids in der Wiederkäuerfütterung

In einer Wiederkäuerration sollten im Schnitt 2-4 g/kg TM Chlorid enthalten sein. In der folgenden Tabelle 3 sind die einzelnen Futtermittel mit ihrer durchschnittlichen Chloridkonzentration vermerkt.

Tabelle 3: Chloridgehalt in ausgewählten Futtermitteln (Hoffmann 2021)

Futtermittel	Chlorid g/kg TM
Grassilage	11,0
Maissilage	3,0
Stroh	3,0
Heu	8,0
Rapsextraktionsschrot	0,3
Sojaextraktionsschrot	0,5
Biertreber	0,7
Getreide	1,0
Melasse	8,5
Pressschnitzel	1,0

2.2.1. Haushalt des Chlorids

Der Haushalt des Chlorids ist eng mit dem von Natrium und Kalium verbunden. Es ist das wichtigste Anion in der extrazellulären Flüssigkeit und sorgt gemeinsam mit Natrium für eine Aufrechterhaltung des osmotischen Drucks und des Säure-Basen-Gleichgewichts. Der Bedarf von Chlorid liegt bei 1-3 g/kg TM (Suttle 1991) bzw. bei 0,1-0,2 % TM (Jeroch et al. 1999). Chlorid wird über das Futter und das Wasser aufgenommen, wobei die Resorption weitgehend unabhängig vom Bedarf erfolgt. Im Pansen wird das Chlorid über einen Chlorid-Bicarbonat-Antiporter aufgenommen. Im Omasum, Abomasum und im Duodenum erfolgt eine Sekretion von Chlorid (Sklan und Hurwitz 1985). Die Absorption liegt am Ende des Ileums bei 8,7 % und am Ende des Dickdarms bei bis zu 90 %. Diese Absorption erfolgt dabei para- und transzellulär über apikale Cl/HCO_3^- -Antiporter, die eng mit den Na^+/H^+ -Antiportern und der Na^+/K^+ -ATPase verbunden sind (Thews und Vaupel 1997).

Der Plasmaspiegel ist weitgehend unabhängig von der Aufnahme (Peirce 1963), solange Wasser ad libitum zur Verfügung steht (Colle et al. 1958; Weeth et al. 1960), was mit der Ausscheidung des Chlorids über die Niere zusammenhängt. Auch dabei ist das Chlorid wiederum mit der Ausscheidung des Natriums verbunden (Becker 1971), wobei ca. neunmal am Tag die Gesamtmenge von Chlorid glomerulär filtriert wird. Davon wird aber nur 1 % ausgeschieden, sodass ca. 99 % resorbiert werden können. Diese Resorption erfolgt zu 70 % im proximalen Tubulus als isotone Resorption und zu 20 % in der Henle-Schleife als hypotone Resorption, aber auch noch zu 9 % im distalen Tubulus (Engelhardt und Aurich 2010). Das überschüssige Chlorid wird zu 98 % über den Harn und zu 2 % über den Kot ausgeschieden. Dabei ist die Menge des im Kot ausgeschiedenen Chlorids immer gleich, während die Menge

im Harn in Abhängigkeit von der Aufnahme und dem Bedarf variiert (Pfeffer et al. 1965). Bei Rindern in der Laktation ist die Ausscheidung über den Urin geringer, da dann verstärkt Chlorid über die Milch mit einem Gehalt von ca. 1050-1150 mg/kg FM abgegeben wird (NRC 2005).

2.2.2. Wechselwirkung mit anderen Elementen

Die Wechselwirkungen des Chlorids mit anderen Elementen ergeben sich vor allem über den Einfluss auf den pH-Wert und die Osmolarität. Die wichtigsten Ionen für eine Aufrechterhaltung der Osmolarität und die Ermöglichung eines Ruhe- bzw. Spannungsmembranpotenzials sind extrazellulär Natrium und Chlorid, während Kalium intrazellulär wirksam ist (Loeffler und Gäbel 2015).

Natrium und Chlorid sind eng miteinander verbunden, wobei sowohl die Aufnahme als auch die Ausscheidung der beiden Elemente in einer starken Abhängigkeit voneinander ablaufen. So folgen die Chlorid-Ionen jedem passiven oder aktiven Transport von Natrium (Ullrich 1973; Engelhardt und Aurich 2010).

Aus Chlorid-Ionen und Wasserstoff-Ionen wird in den Belegzellen des Labmagens Salzsäure gebildet, die der Verdauung von Proteinen dient. Außerdem wandelt sie inaktives Pepsinogen in Pepsin um, das ebenfalls an der Proteinverdauung beteiligt ist (Loeffler und Gäbel 2015).

Um HCl sekretieren zu können, wird durch die K-Protonen-Pumpe als Ladungsausgleich Kalium beim Fluss von HCl mit aus der Zelle transportiert. (Loeffler und Gäbel 2015).

Bicarbonat- und Chloridionen beeinflussen sich gegenseitig im Stoffwechsel, und zwar vor allem über das Säure-Basen-Gleichgewicht. Eine verstärkte Aufnahme von Bicarbonat führt zu einer reduzierten Ausscheidung von Chlorid (Bender et al. 2003). Durch den Austausch von Chlorid gegen Bicarbonat wird der pH-Wert beeinflusst und dadurch auch die Ausscheidung von CO₂.

Zugaben von Chlorid-Ionen zu einer Ration können durch eine Absenkung des pH-Werts und die damit verbundene verstärkte Calciumresorption, einem Calciummangel vorbeugen (Block 1984).

2.2.3. Chlorid-Übersorgung

Eine Chlorid-Übersorgung spielt bei ungestörter Nierenfunktion und ausreichender Flüssigkeitszufuhr keine Rolle. In Tabelle 4 ist der Bedarf für Chlorid dargestellt. Die toxische Menge ist nur problematisch, wenn keine ausreichende Trinkwasserzufuhr vorhanden ist.

Tabelle 4: Chloridbedarf und toxischer Bereich

Tierart	Bedarf g/kg TM	Quelle	Toxische Menge g/kg TM	Quelle
Laktierende Kuh	4,0	(Hoffmann 2021)	> 8,0	(Hoffmann 2021)
Trockensteher	2,0	(Hoffmann 2021)		

Als Kochsalz kann es dagegen schon eher schädlich wirken, vor allem über die damit verbundene Veränderung der Osmolarität. Hier sind vor allem Tiere unter Belastung betroffen, wie etwa bei Hochlaktation, heißer Witterung oder unter körperlichen Anstrengungen. Auch das Unvermögen, Wasser aufzunehmen, oder Resorptionsstörungen können zu einer Intoxikation führen. Bei Saugkälbern ergeben sich häufige Probleme durch falsch konzentrierte Milchaustauscher. Dabei treten zunächst Fressunlust, verdickter Kot und Milchleistungs- bzw. Lebenmassezunahmedepressionen auf. Später leiden die Tiere an starker Unruhe, eingesunkenen Augäpfeln, Leerkaugen mit Schaumbildung und roten und pappigen Schleimhäuten. Dies steigert sich dann zu starken Exsikkosen, eingefallenen Flanken, Koliken mit schleimigem Durchfall sowie Tympanien und Tachykardien. Wenn es zu einer Beteiligung des Gehirns kommt, dann äußert sie sich über neuromuskuläre Erregbarkeit, Nystagmus, Muskelzittern, Trippeln, apatisches Stehen mit gesenktem Kopf und aufgekrümmtem Rücken. Danach zeigt sich eine Ataxie der Hinterhand mit Kreislaufen, Überköten bis hin zum Niederfallen. Auch epileptiforme Anfälle, Hypothermie, Festliegen und Blindheit können auftreten. Die meisten Tiere sterben ohne Behandlung nach ein bis drei Tagen. Eine Behandlung sollte durch eine verlangsamte Tränkezufuhr erfolgen, die man bei einem Schluckunvermögen über eine Sonde durchführen kann. Dadurch wird dann der osmotische Druck langsam ausgeglichen (Stöber und Dirksen 2006). Bei einer Chlorid-konzentration von 10% im Futter konnte man Appetitlosigkeit, Lethargie, Abmagerung, Verstopfung und eine kardiovaskuläre Depression feststellen. Im weiteren Verlauf reduzierte sich das Körpergewicht und die Milchleistung nahm deutlich ab (Fettman et al. 1984; Aines und Smith 1957). Danach

kam es zu metabolischen Veränderungen, und zwar zunächst zu einer hyperchlorämischen und dann zu einer hypokalämischen metabolischen Alkalose (Fettman et al. 1984).

2.2.4. Chlorid-Unterversorgung

Chlorid-Mangel tritt in Deutschland eher selten auf. Dabei ist es häufig auch schwierig, die klinischen Symptome mit einem Chlorid-Mangel in Verbindung zu bringen, da sie erst nach zwei Monaten oder sogar nach mehr als einem Jahr auftreten können (Aines und Smith 1957).

2.3. DCAB

DCAB steht für Dietary Cation Anion Balance (Gaynor et al. 1989), wobei auch die Abkürzung CAB für Cation Anion Balance verwendet wird (Block 1984; Romo et al. 1991). Außerdem finden sich die Abkürzungen und Bezeichnungen CAD für Cation Anion Difference (Horst et al. 1997), ACB für Anion Cation Balance (Oetzel 1988, 1991), DCAD für Dietary Cation Anion Difference (Oetzel 1993; Roche et al. 2003; Schonewille et al. 1999), fixed cation-anion balance (Fredeen et al. 1988b), dietary fixed ion balance (Fredeen et al. 1988a) und alkali-alkalinity (Dishington 1975; Dishington und Bjørnstad 1982). Alle Bezeichnungen beziehen sich auf die Anionen-Kationen-Bilanz, die durch die Differenz aus den Kationen Natrium und Kalium und den Anionen Chlorid und Sulfat abgeleitet wird (Block 1984). Dabei handelt es sich um den am häufigsten verwendeten Parameter für die Bestimmung der Zugabe von sauren Salzen zu einer Ration und die Ermöglichung eines angemessenen Einflusses auf den Metabolismus der Kuh (Horst et al. 1994). In diesem Rahmen beeinflussen sowohl die Kationen als auch die Anionen durch ihre Effekte auf die Puffersysteme, die Niere und die Zellen als solche, den ganzen Organismus (Block 1994). Der Einfluss ist dabei entweder azidogen oder alkalogen (Block 1984). Deshalb kann man durch die Berechnung der DCABs indirekt den Säuregrad einer Ration bestimmen (Staufenbiel und Engelhard 1999).

Die DCAB wirkt sich unmittelbar auf den Säure-Basen-Haushalt und den Calcium-Haushalt aus (La Manna et al. 1999). Daher kann eine Ration mit einem zu hohen Anionen- oder Kationenanteil zu verschiedenen Erkrankungen führen. Wenn der Anteil der Kationen zu hoch ist, sodass die DCAB zu weit im positiven Bereich liegt, dann kann es zum Beispiel zu einer Gebärpause kommen (Goff und Horst 1997). Dies führt man auf die alkalisierenden Effekte der Kationen zurück, durch die die homöostatischen Mechanismen des Calciumhaushalts gehemmt werden (Goff und Horst 1998). Um dies zu verhindern, sollte die DCAB durch die

Zugabe von sauren Salzen gesenkt werden (Gaynor et al. 1989; Block 1994). Durch die dann wiederum die Mobilisierung des Calciums optimiert werden kann (Block 1984). Durch eine zu niedrige DCAB oder einen zu hohen Anteil von sauren Salzen in der Ration wird allerdings auch eine klinische Azidose ausgelöst (Gelfert et al. 2006c). Deshalb sollte man vor dem Verfüttern einer Ration eine genaue Berechnung des DCAB-Werts durchführen.

2.3.1. Berechnung der DCAB

Für die Berechnung des DCAB-Werts gibt es verschiedene Formeln:

$$\text{DCAB [meq/kg TM]} = (\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl} + \text{S})$$

(Block 1984; Leclerc und Block 1989)

$$\text{DCAB [meq/kg TM]} = (\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl})$$

(Fredeen et al. 1988a; Gaughran 1947; Gaynor et al. 1989; Jackson et al. 1992; Tucker et al. 1988)

$$\text{DCAB [meq/kg TM]} = (\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) - (\text{Cl} + \text{S} + \text{P})$$

(Oetzel 1991; Gasperlin et al. 2002)

$$\text{DCAB [meq/kg TM]} = (\text{Na} + \text{K} + 0,38 \text{ Ca} + 0,30 \text{ Mg}) - (\text{Cl} + 0,60 \text{ S} + 0,50 \text{ P})$$

(Goff 1992; Goff et al. 2004)

Am häufigsten wird die als erste aufgeführte Formel verwendet (Oetzel 2000). Sie bezieht sich auf die Ionen Na^+ , K^+ , Cl^- und S , die den größten Einfluss auf den Organismus haben. Wenn man in der Formel alle Elektrolyte, die in einer Ration enthalten sind, einbeziehen würde, dann wäre der berechnete Wert immer null. Denn die Futtermittel stammen von Pflanzen als lebenden Organismen, bei denen immer eine elektrische Neutralität vorliegt (Block 1994).

Dabei sind die Ionen Na^+ , K^+ und Cl^- sogenannte „fixed ions“, sodass sie nicht metabolisierbar sind und den größten Einfluss auf den SBH haben. Schwefel ist dagegen kein „fixed ion“, da er als Sulfat metabolisierbar ist, das eine direkte azidogene Wirkung hat (Block 1994). Die Resorption der „fixed ions“ erfolgt im Magendarmtrakt bei allen gleich, und zwar zu fast 100 % (Goff und Horst 1997; Sousa et al. 1974). Nach Puls (1994) wird Schwefel in einem geringeren Ausmaß absorbiert als Chlorid. Da aber Schwefel einen stärkeren Einfluss auf die Hypocalcämie hat (Oetzel 1991; Roche et al. 2002) und für die Aufrechterhaltung der Isohydrie ebenso wichtig ist wie Chlorid (Block 1994), sollte er mit in die DCAB-Berechnung einbezogen werden.

Phosphat wird in der Fütterung nicht als saures Salz verwendet, da es nur zu einem sehr geringen Anteil absorbiert wird und nur eine schwache Wirkung auf den SBH hat (Horst et al. 1997). Auch Magnesium wird nur sehr langsam absorbiert und deshalb in den meisten Fällen nicht berücksichtigt (Waterman et al. 1991). Deshalb sollten sowohl Calcium und Magnesium als auch Phosphat nicht mit in die DCAB-Formel einbezogen werden, da sie sonst mit den anderen Ionen (Na, K, Cl, S) und deren Wirkung auf den Organismus gleichgestellt würden (Goff et al. 2004).

Die Einheit der DCAB ist ein Milliäquivalent pro kg TM. Dies beruht darauf, dass bei der Berechnung das Äquivalentgewicht der Elemente berücksichtigt werden muss, weil der SBH wesentlich durch die Quantität der Ladungen beeinflusst wird. Das Molekulargewicht wird dabei durch die Anzahl der Ladungen dividiert (Oetzel 2000).

2.3.2. DCAB und saure Salze

Saure Salze sind Mineralsalze, die aus starken Anionen (Cl, S) und schwachen Kationen bestehen (Ca, Mg, Ammonium) (Baker et al. 1998; Berthard und Stokes 2000; Moore et al. 2000; Staufenbiel 2000; Felde 1999a). Dabei können verschiedene saure Salze eingesetzt werden, etwa Ammoniumsulfat, Magnesiumsulfat, Calciumsulfat, Calciumchlorid (Felde 1999a; Byers 1994a), Ammoniumchlorid, Aluminiumsulfat (Tran 1997) und auch Magnesiumchlorid (Byers 1994a). Ammoniumchlorid ist allerdings nur für Hunde und Katzen zugelassen (Felde 1999b). Für die Wirksamkeit der sauren Salze gibt es verschiedene Erklärungen. Calciumchlorid wirkt nach Goff et al. (1991) sehr gut ansäuernd auf eine Ration. Sulfat-Ionen wirken dagegen weniger ansäuernd als Chlorid-Ionen (Oetzel 1991; Goff et al. 2004). Demgegenüber konnte Oetzel (1991) bei sechs unterschiedlichen sauren Salzen keine Unterschiede in der Wirksamkeit feststellen. Da es aber bei fast jedem dieser Salze bei einer Überversorgung zu einer Intoxikation kommen kann, sollte man in einer Ration die Salze kombinieren, um die gewünschte DCAB zu erreichen und eine Unterversorgung mit Mineralien zu vermeiden (Block 1994).

Die sauren Salze werden eingesetzt, um die DCAB abzusenken (Block 1984; Dishington 1975). Weil die meisten sauren Salze allerdings schlecht schmecken (Oetzel 1988), werden sie häufig von den Rindern nicht so gut aufgenommen. Um die Aufnahme zu verbessern, sollte man sie daher mit in die TMR geben (Oetzel 1988, 1991).

Welchen Anteil von sauren Salzen man einer Ration zusetzen kann, hängt vor allem von den Grundfuttermitteln ab. Die Rationen in Mitteleuropa basieren häufig auf Grassilagen, die einen hohen K-Gehalt haben (Block 1994). Deshalb kann man auch größere Mengen von sauren

Salzen zusetzen, etwa in der Summe von 2000-3000 meq. Nach Joyce et al. (1997) kann man einer auf Luzerne basierenden Ration sogar im Bereich von 5000 meq saure Salze zusetzen. In den meisten Literaturangaben findet man aber eine obere Grenze bei 2000-3000 meq (Oetzel 1993) oder 3000 meq (Tran 1997). In einem Fütterungsversuch fraßen die meisten Rinder in einem Bereich von 3500-4000 meq (-300 meq/kg TM) noch sehr gut, aber es zeigten sich schon vorher eine deutliche metabolische Azidose, eine Bradykardie und auch die Kotkonsistenz wurde weicher (Gelfert et al. 2006b).

Die Empfehlungen für den DCAB-Wert, um einer Gebärdparese vorzubeugen, liegen in der Trockenstehperiode im negativen Bereich bei -100 meq/kg TS bis -150 meq/kg TM (Tran 1997; Kamphues und Meyer 1999), bei -50 meq/kg TM bis -100 meq/kg TS (Horst et al. 1997), bei -75 meq/kg TS bis -200 meq/kg TM (Leclerc und Block 1989; O'Connor 2002) und bei -100 meq/kg TS bis -200 meq/kg TM (Byers 1994b).

Demgegenüber liegen die Empfehlungen für die Werte bei den Rindern in der Laktation deutlich im positiven Bereich bei 200-350 meq/kg TM (Staufenbiel et al. 2007), bei 150-300 meq/kg TM (Apper-Bossard et al. 2006) und nach Chan et al. (2005) bei einem Wert von 230-330 meq/kg TM. Denn in diesen Bereichen konnten nach Hu und Murphy (2004) die höchste Futteraufnahme und Milchleistung erzielt werden. Allerdings sollte der Einfluss der DCAB in der Phase der Laktation auf die Leistungsfähigkeit und die Gesundheit noch genauer untersucht werden (Iwaniuk et al. 2015).

3. Material und Methoden

3.1. Untersuchungszeitraum, Betrieb und Tiere

Im Zeitraum vom 03.08.2017 bis zum 15.05.2018 wurden die vorliegenden Untersuchungen in der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG) Sachsen-Anhalt in Iden durchgeführt. Dieser Betrieb verfügte über 420 Milchkühe der Rasse Holstein Friesian Rind und eine zusätzliche weibliche Nachzucht. Dabei besteht eine Lebenseffektivität von 22,1 kg, eine ZKZ von 408 Tagen, eine TU-Rate von 87 %, ein Besamungsaufwand von 2,5, Kälberverluste von 1 % und Totgeburten von 4 %. Die Merzungsrate lag bei 20,5 % und die Nutzungsdauer bei 55 Monaten pro Tier.

Aus diesem Betrieb wurden eine Untersuchungstiergruppe von ca. 39 Tieren und eine Kontrollgruppe von ebenfalls ca. 39 Tieren entnommen. Dabei befanden sich all diese Tiere in der Hochlaktation zwischen dem 100. und dem 200. Laktationstag. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte rein zufällig unter Berücksichtigung von Laktationsnummer, Laktationstag, aktueller Milchleistung und Milchinhaltstoffen. Die Tiere wurden in einem Laufstall mit 36 Wiegetrögen gehalten (hergestellt von Weihenstephan in Zusammenarbeit mit Fa. Alfa Laval), der über eine automatische Tiererkennung verfügte. Die durchgeführten Untersuchungen wurden durch das Landesverwaltungsamt, Referat Verbraucherschutz, Veterinärangelegenheiten, Halle, Sachsen-Anhalt, unter „Effekte variierender Kationen-Anionen-Bilanzen von Gesamtrationen mit hohem Anteil an Rapsextraktionsschrot für laktierende Milchkühe auf deren Futteraufnahme sowie auf Leistungs- und Stoffwechselfparameter“ unter dem Aktenzeichen 42502-3-827 LLG registriert.

Die Untersuchung wurde in drei Untersuchungsreihen gegliedert.

3.2. Untersuchungsaufteilung und Untersuchungsfütterung

Die Tiere erhielten alle einheitlich eine Voll-TMR zweimal täglich, wobei die Grobfuttermittel entweder grasbetont (VSR 1) oder maisbetont (VSR 2 und 3) gefüttert wurden. Die originalen Rationen finden sich im Anhang in den Tabellen 29, 33, 39, 40 und 41. Dadurch hatten beide Gruppen eine identische Futtermittel- und Rationszusammenstellung und auch die Grundversorgung mit Vitaminen und Spurenelementen durch Mikromineral war vollkommen

identisch. Die beiden Gruppen unterschieden sich nur durch die Zugabe verschiedener Mengenelemente und damit ab der zweiten Woche in der DCAB.

3.2.1. Untersuchungsreihe 1 Dauer 10 Wochen

Die Kontroll- und Untersuchungsgruppe waren homogen zusammengesetzt. Die Probanden wurden zufällig nach Laktationstag (LT) und Laktationsnummer (LNr) ausgewählt. Dies ist in Tabelle 5 ersichtlich.

Tabelle 5: Untersuchungstiere

Gruppe	Anzahl	LT	LNr	Erstlaktation
31	35	169	3,2	7
32	35	174	3,2	7

Untersuchungsfütterung

Die DCAB wurde in der Untersuchungsgruppe durch eine erhöhte Zufütterung von Cl⁻ in der Form von geschmacksneutralen sauren Salzen abgesenkt (SoyChlor® von Dairy Nutrition Plus). Dadurch wurde in der Kontrollgruppe ein DCAB-Wert von 195 bis 239 meq und in der Untersuchungsgruppe ein DCAB-Wert von -18 meq bis 131 meq erreicht. In der Tabelle 6 ist die Rationszusammensetzung ersichtlich, die Werte sind berechnete Werte, weshalb sie leicht von den absoluten Werten abweichen (s. Tabelle 28/29). Die Schwankungen der absoluten Werte sind auf eine unterschiedliche Grundfutterzusammensetzung zurückzuführen. Wie es Tabelle 29 im Anhang zu entnehmen ist, wurde während der Untersuchung das Grundfutter angepasst, da es zur Verknappung von Maissilage in dem Betrieb kam.

Tabelle 6: Berechnete Rationszusammensetzung

	Rationszusammensetzung	
	Kontrolle	Untersuchung
Zusatzstoff anionisch	-	Soy-Chlor®
Einsatzmenge, g/Kuh/Tag Mineral	400	700
Gehaltswerte im Mittelwert	je kg TM Voll-TMR	
K, g	15,8	15,2
Ca, g	8,7	8,2
P, g	4,8	4,9
Na, g	4,0	3,4
Mg, g	2,2	2,8
Cl, g	6,8	10,0
S, g	2,9	2,9
DCAB, meq	217	74

3.2.2. Untersuchungsreihe 2 Dauer 9 Wochen

Die Auswahl der Probanden erfolgte wieder zufällig jedoch gleichmäßig nach Laktationstag und Laktationsnummer. (Tabelle 7)

Tabelle 7: Untersuchungstiere

Gruppe	Anzahl	LT	LNr	Erstlaktierende
31	39	160	3,2	7
32	39	152	2,9	7

Untersuchungsfütterung

Es erfolgte eine DCAB-Abpufferung innerhalb der Untersuchungsgruppe durch Natriumhydrogencarbonat (BICAR®Z von Solvay). Dadurch lagen die DCAB-Werte in der Kontrollgruppe bei 50-127 meq und in der Untersuchungsgruppe bei 199-246 meq. In Tabelle 8 ist die berechnete Ration ersichtlich. Die Abweichungen von der tatsächlichen Ration sind

wieder auf unterschiedliche Zusammensetzungen der Grundfuttermittel zurückzuführen (s. Tabelle 32/33).

Tabelle 8: Berechnete Rationszusammensetzung

	Rationszusammensetzung	
	Kontrolle	Untersuchung
Zusatzstoff	-	NaHCO ₃
Gehaltswerte im Mittelwert	je kg TM Voll-TMR	
K, g	12,0	11,6
Ca, g	9,8	8,6
P, g	4,6	4,4
Na, g	2,8	5,4
Mg, g	2,8	2,5
Cl, g	5,7	4,8
S, g	3,0	2,8
DCAB, meq	80	221

3.2.3. Untersuchungsreihe 3 Dauer 19 Wochen

Die Untersuchungstiere der 3. Reihe wurden nach den gleichen Kriterien ausgewählt. Wie in den beiden vorhergehenden Untersuchungsreihen. Dies ist in Tabelle 9 ersichtlich.

Tabelle 9: Untersuchungstiere

Gruppe	Anzahl	LT	LNr	Erstlaktierende
31	38	152	2,9	8
32	39	152	3,1	8

Untersuchungsfütterung

In der 3. Untersuchungsreihe wurde in der Untersuchungsgruppe der DCAB-Wert abgesenkt. Dies erfolgte durch die Zufütterung von Calciumsulfat (CS Dihydrat QS von Casea). Die Untersuchungsreihe wurde dabei in drei Untersuchungsabschnitte eingeteilt. Der erste Abschnitt lief über 10 Wochen, wobei die DCAB-Werte in der Kontrollgruppe bei 82-202 meq und in der Untersuchungsgruppe bei -34 meq bis 43 meq lagen.

Danach wurden die Kontrollgruppe und die Untersuchungsgruppe getauscht, wobei dann über 4 Wochen die DCAB-Werte in der Kontrollgruppe bei 143-146 meq und in der Untersuchungsgruppe bei -7 meq bis 8 meq lagen.

Abschließend wurde über 5 Wochen die Ration der Untersuchungsgruppe mit Natriumhydrogencarbonat abgepuffert (BICAR®Z von Solvay). Der DCAB-Wert in der Untersuchungsgruppe stieg an auf 63-103 meq, in der Kontrollgruppe lag der DCAB-Wert bei 122-173 meq. Die Abweichungen der DCAB-Werte zu Tabelle 10 erschließen, sich wie in den beiden vorangegangenen Untersuchungen, durch den Unterschied innerhalb der berechneten Ration und den absoluten Werten (s. Tabelle 36 – 41).

Tabelle 10: Berechnete Rationszusammensetzung

Rationszusammensetzung	Phase 1		Phase 2		Phase 3	
	Kontrolle	Untersuchung	Kontrolle	Untersuchung	Kontrolle	Untersuchung
Zusatzstoff	-	CaSO ₄	-	CaSO ₄	-	CaSO ₄ + NaHCO ₃
Gehaltswerte im Mittelwert	je kg TM Voll-TMR					
K, g	11,2	11,0	11,8	11,8	12,1	12,0
Ca, g	7,9	8,4	7,8	8,5	7,9	8,2
P, g	4,5	4,5	4,6	4,7	4,7	4,8
Na, g	2,2	1,7	2,4	1,6	2,5	2,9
Mg, g	1,9	2,0	1,8	2,1	2,1	2,1
Cl, g	2,5	4,1	2,7	3,7	3,9	3,6
S, g	2,8	3,9	3,0	4,3	2,6	4,1
DCAB, meq	143	-6	145	1	150	77

3.3. Datengewinnung und Beurteilung, Laboranalytik

Die Daten wurden gemeinsam mit Prädel (2021) gewonnen. In der Tabelle 11 sind alle erhobenen Parameter aufgeführt. Außerdem ist ersichtlich, in welcher Quelle sie veröffentlicht sind.

Tabelle 11: Erhobene Parameter und Quellen

Parameter/Untersuchungsort		Quelle
Futtermitteln	DCAB	Prädel (2021)/ Hanebeck (2023)
LKV Brandenburg in Waldsiedersdorf	Chlorid (Cl) Schwefel (S) Säure-Detergenz-Faser (ADF) Säure-Detergenz-Lignin (ADL)	Hanebeck (2023)
	Natrium (Na) Kalium (K)	Prädel (2021)
Futteraufnahme LLG Sachsen-Anhalt Iden	Frischmasse (FM) Trockenmasse (TM)	Hanebeck (2023)
Blutwerte Labor der Klinik für Klauentiere, des Fachbereichs Veterinärmedizin der FU Berlin	Aspartat-Aminotransferase (AST) Gamma-Glutamyl-Transferase (GGT) Glutamatdehydrogenase (GLDH) Creatininkinase (CK) Non estified fatty acids (NEFA) Harnstoff (Bun) Beta-Hydroxybutyrat (BHBS) Total-Bilirubin (tBili) Total-Protein (TP) Glucose (Glu) Phosphat (Pho) Calcium (Ca) Chlorid (Cl) Magnesium (Mg)	Hanebeck (2023)
	pH Kohlendioxidpartialdruck (pCO ₂) Bicarbonat (HCO ₃) Base excess (BE)	Prädel (2021)

	Kalium (K) Natrium (Na)	
Harnwerte LLG Sachsen-Anhalt, Iden Labor der Klinik für Klauentiere, des Fachbereichs Veterinärmedizin der FU Berlin	pH Netto-Säure-Basen-Ausscheidung (NSBA) Calcium (Ca) Magnesium (Mg) Kalium (K) Natrium (Na) Phosphat (P) Chlorid (Cl) Creatinin (Crea)	Prädel (2021)
Pansensaft LLG Sachsen-Anhalt, Iden	pH Methylenblautest Sedimentaktivitätszeit (SAT) Sensorik (Farbe, geruch, Viskosität) Infusorien (Anzahl, Beweglichkeit, Verhältnis)	Prädel (2021)
Kuhsignale LLG Sachsen-Anhalt, Iden	Wiederkauen und Position Pansenmotilität Kotbonitur	Hanebeck (2022)
Körperkonditionen LLG Sachsen-Anhalt, Iden	Body Condition Score (BCS) Lebendmasse Rückenfettdicke	Prädel (2021)/ Hanebeck (2023)
Milchwerte LLG Sachsen-Anhalt, Iden LKV Sachsen-Anhalt	Milchmenge Energie korrigierte Milch Milchharnstoffgehalt	Hanebeck (2023)

3.3.1. Futterration und Futteraufnahme

Die 36 Wiegeträge erfassten täglich die Futteraufnahme der TMR. Um die TM der Ration zu bestimmen, wurde der Ration fünfmal wöchentlich 1 kg entnommen. Dieses trocknete man über 24 h bei 50 °C in einem Trockenschrank. Danach wurde erneut das Gewicht bestimmt.

Bei den Einzel- und Grobfuttermitteln wurden mindestens fünfmal je Silo Proben entnommen. Beim Rapsextraktionsschrot und den anderen Kraffuttermitteln wurden ein- bis dreimal pro

Charge und Lieferung Proben für die Analyse entnommen. Die TMR wurde zwei- bis dreimal wöchentlich und die Gärsäuren wurden mind. zweimal pro Silo untersucht.

Die Proben wurden an das LKV Brandenburg in Waldsieversdorf verschickt. Das Labor untersuchte Vollanalysen einschließlich aNDF, ADF und der Mengenelemente (Ca, P, Mg, Na, K, S, Cl, einschl. DCAB).

3.3.2. Blutparameter

Die Blutentnahme fand in der Zeit zwischen 5 und 7 Uhr vor der Fütterung statt, wobei das Blut mit einer 18G x 1,5' Kanüle aus der *Vena coccygea* gewonnen wurde. Es kam zur Abfüllung in einer 2 ml Blutgas-Monovette mit Heparin von SARSTEDT und in einer 9 ml Serum-Monovette ebenfalls von SARSTEDT. Das Vollblut wurde danach in einer Rotofix 32A Zentrifuge von HETTICH bei 2000 g für 10 Minuten zentrifugiert. Das Serum wurde in ein 5 ml fassendes Plastikröhrchen von SARSTEDT gefüllt, welches bei -20°C eingefroren, bis zur Untersuchung lagerte.

Die Blutwerte untersuchte das Labor der Klauentierklinik der FU Berlin. Mit welchem Messgeräten und nach welcher Analysemethode die einzelnen Parameter bestimmt wurden, ist der Tabelle 12 zu entnehmen.

Tabelle 12: Messgerät und Methode der Blutparameter

Parameter	Gerät	Methode
AST	Cobas Mira Plus der Firma Roche	Optimierter UV-Test nach IFCC
GGT		Kinetischer photometrischer Test nach IFCC
GLDH		Optimierte Standardmethode nach Empfehlung des DGKL
CK		Optimierte Standardmethode nach Empfehlung des DGKL
NEFA		Colorimetrisch
BUN		Vollenzymatisch, UV (Urease/GLDH) nach Jedrassik und Grof
BHBS		Kinetisch enzymatisch
tBili		Vollenzymatisch, UV (Urease/GLDH) nach Jedrassik und Grof
TP		Colorimetrisch
Glu		Enzymatischer kinetischer UV-Test mit Hexokinase
Pho		Ammonium-Phosphomolybdat-Komplexbildung in schwefelsauer Lsg.
Cl	Ionensensitive Elektrode	
Ca	Atomabsorbtionsspektralphotometer	Atomabsorbtionsspektrometrie
Mg	M6 der Firma Thermo Fischer	Atomabsorbtionsspektrometrie

IFCC – International Federation of. Clinical Chemistry and Laboratory Medicine,
 DGKL – deutsche Gesellschaft für klinische Chemie und Laboratoriumsmedizin

3.3.3. Kuhsignale

Einmal wöchentlich wurden in der Zeit zwischen 6 und 7 Uhr die Kuhsignale bestimmt, dies waren das Wiederkauverhalten, die Position (Stehen oder Liegen) und die Kotkonsistenz. Die Eingliederung erfolgte hinsichtlich ihres Status als liegend bzw. stehend und als wiederkäuend bzw. nicht wiederkäuend.

Der Kot wurde nach dem spontanen Absatz oder nach einer Kotentnahme direkt aus dem Rectum beurteilt. Für die Beurteilung des Kots wurde die Skala von Zaaijer und Noordhuizen

(2003) verwendet (Tabelle 13). Diese Skala reicht von 1 bis 5 und wurde leicht modifiziert in Schritte von 0,5 unterteilt. Dabei steht 1 für flüssig und 5 für fest.

Tabelle 13: Kotbonitur nach Zaaijer und Noordhuizen (2003)

Score	Kotkonsistenz
1	Wässrig, dünn, nicht sicher als Kot erkennbar
2	Dünn, soßenähnlich, Kotstruktur erkennbar, beim Aufkommen auf dem Boden spritzt der Kot.
3	Dicker, soßenähnlich, beim Aufkommen auf dem Boden gibt es ein ploppendes Geräusch, ergibt einen gut umschriebenen Haufen, der sich verteilt und etwa zwei cm dick ist, kein saugendes Gefühl bei der Stiefelprobe und das Schuhsohlenprofil bleibt nicht am Kothaufen bestehen.
4	Harter und fester Kot, verursacht schweres ploppendes Geräusch beim Aufkommen auf dem Boden, ergibt einen gut umschriebenen Haufen, der sich in Ringen auftürmt und kaum verteilt, bei der Stiefelprobe fühlt man ein saugendes Geräusch, das Sohlenprofil bleibt bestehen.
5	Harter und kugelförmiger Kot, wie Pferdeäpfel

Die Intensität und Frequenz der Pansenmotilität wurden bei je 12 Tieren pro Gruppe untersucht und beurteilt, dies erfolgte zweimal pro Untersuchungsreihe. Die Intensität wurde nach der Stärke der Kontraktion beurteilt und in eine Skala von 1-3 eingeordnet. Die Pansenkontraktionen wurde mittels eines Littman-Stethoskops per Auskultation in der linken Hungergrube ermittelt, wobei die Kontraktionen innerhalb einer Minute gezählt wurden.

3.3.4. Lebendmasse, RFD, BCS

Über die bisher durchgeführten Messungen hinaus, wurden jeweils zu Beginn und zum Ende einer jeden Untersuchungsreihe die drei Parameter BCS, Lebendmasse und Rückenfettdicke bestimmt.

Die Bestimmung der Körpermasse erfolgte mittels einer Waage, die der Rückenfettdicke mittels eines Ultraschallgerätes.

Der Herdenmanager ermittelte den BCS und zwar nach dem Score von Edmonson et al. (1989) in Schritten von 0,25 (Abbildung 2), wobei 1 für dünn und 5 für fett steht.

	SCORE	Spinous processes (SP) (anatomy varies)	Spinous to Transverse processes	Transverse processes	Overhanging shelf (care - rumen fill)	Tuber coxae (hooks) & Tuber ischi (pins)	Between pins and hooks	Between the hooks	Tailhead to pins (anatomy varies)
SEVERE UNDERCONDITIONING (emaciated)	1.00	individual processes distinct, giving a saw-tooth appearance	deep depression	very prominent, > 1/2 length visible	definite shelf, gaunt, tucked	extremely sharp, no tissue cover	severe depression, devoid of flesh	severely depressed	bones very prominent with deep "V" shaped cavity under tail
	1.25								
	1.50								
FRAME OBVIOUS	1.75			1/2 length of process visible					
	2.00	individual processes evident	obvious depression	between 1/2 to 1/3 of processes visible	prominent shelf	prominent	very sunken		bones prominent "U" shaped cavity formed under tail
	2.25								
FRAME & COVERING WELL BALANCED	2.50	sharp, prominent ridge		1/3 - 1/4 visible	moderate shelf		thin flesh covering	definite depression	first evidence of fat
	2.75								
	3.00		smooth concave curve	< 1/4 visible	slight shelf	smooth	depression	moderate depression	bones smooth, cavity under tail shallow & fatty tissue lined
FRAME NOT AS VISIBLE AS COVERING	3.25			appears smooth, TP's just discernible					
	3.50	smooth ridge, the SP's not evident	smooth slope	distinct ridge, no individual processes discernable		covered	slight depression	slight depression	
	3.75								
SEVERE OVERCONDITIONING	4.00	flat, no processes discernable	nearly flat	smooth, rounded edge	none	rounded with fat	sloping	flat	bones rounded with fat and slight fat-lined depression under tail
	4.25								
	4.50			edge barely discernable		buried in fat	flat		bones buried in fat, cavity filled with fat forming tissue folds
	4.75								
	5.00	buried in fat	rounded (convex)	buried in fat	bulging	rounded	rounded		

Abbildung 2: Body Condition Score nach Edmonson et al. (1989)

3.3.5. Milchdaten

Das Erfassen der Milchmenge erfolgte während der gesamten Untersuchung täglich im Rahmen des Melkvorganges. Das Melken fand im Betrieb dreimal täglich um 4 Uhr, 12 Uhr und 20 Uhr statt. Dabei wurden die Milch Inhaltsstoffe einmal wöchentlich gemessen.

Die Milchproben wurden an das LKV Sachsen-Anhalt verschickt und dort auf die Milch Inhaltsstoffe (Fett, Eiweiß, Harnstoff, Laktose), die Zellzahl und den pH-Wert untersucht.

Die Durchführung fand einmal im Monat im Rahmen der offiziellen Milchleistungskontrolle statt.

3.4. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung und grafische Darstellung erfolgte mit dem Programm SPSS Version 25 und 26 für Windows.

Die erhobenen Daten fanden Einteilung in zwei Kategorien, ordinale Werte und metrische Werte.

Die ordinalen Parameter (z.B. Wiederkauen, Position) wurden mit dem Chi-Quadrat-Test ausgewertet. Sie wurden in Tabellen mit Mittelwert und Standardabweichung dargestellt. Die metrischen Daten wurden zu Beginn auf Normalverteilung überprüft. Dies erfolgte durch die optische Bewertung der grafischen Darstellung und durch die mathematisch-statistische Beurteilung des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

Bei metrischen Daten mit zwei Messpunkten wurden der Gruppenvergleich mittels t-Test für unabhängige Stichproben untersucht und deskriptiv über den Mittelwert und die Standardabweichung beschrieben. Diese Daten wurden in Tabellen dargestellt.

Bei einem $p < 0,05$ lag eine Signifikanz vor, die mit einem * markiert wurde. Ein $p < 0,1$ stellt eine Tendenz dar und wurde mit (*) markiert. Der Gruppenvergleich gegenüber dem Nullwert wurde mit dem t-Test für verbundene Stichproben durchgeführt. Auch hier ergab sich eine Signifikanz ab $p < 0,05$, die bei Gruppe 31 mit einem a und bei Gruppe 32 mit einem b gekennzeichnet wurde.

Metrische Daten mit mehr als 2 Messpunkten wurden zuerst umstrukturiert und dann mit einem gemischten linearen Modell ausgewertet. Es wurde der Effekt der Gruppe, der Zeit und die Interaktion zwischen Gruppe und Zeit bestimmt. Metrische Daten wurden graphisch dargestellt.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen zu einem bestimmten Zeitpunkt wurde bei $p < 0,05$ mit * und bei $p < 0,1$ als Tendenz mit (*) in die Abbildung eingearbeitet. Der Effekt über die Zeit wurde bei einem $p < 0,05$ mit 1 für Gruppe 31 und 2 für Gruppe 32 markiert. Lag der p-Wert bei $p < 0,1$ wurde dies als Tendenz mit (1) und (2) gekennzeichnet.

Der Untersuchungszeitpunkt stellt die Wochen des Untersuchungszeitraums dar. In der ersten Untersuchungsreihe waren es 10 Wochen, in der zweiten Untersuchungsreihe waren es 9 Wochen und in der dritten Untersuchungsreihe waren es 19 Wochen. Die dritte Untersuchungsreihe gliedert sich in 3 Phasen. Diese sind in der graphischen Darstellung

gekennzeichnet. Erste Phase bis Woche 9, ab Woche 9 erfolgte der Tausch der Gruppen, ab Woche 14 erfolgte die Pufferung der Untersuchungsgruppe. Die Zeitachseneinteilung ist nicht immer proportional, dies muss bei der Betrachtung des Graphen beachtet werden. Die Fehlerbalken geben den jeweiligen Standardfehler an.

Die Gruppen definieren sich als Gruppe 31 und Gruppe 32. Die Gruppe 31 ist die Kontrollgruppe und die Gruppe 32 die Untersuchungsgruppe, sofern es in den einzelnen Abschnitten nicht anders beschrieben wird.

Die Futtermitteldaten sind graphisch mit Hilfe von absoluten Werten dargestellt (g/Tier und Tag bzw. meq/Tier und Tag). Unter Zunahme der täglichen Futteraufnahme des einzelnen Tieres, können aus diesen Werten die TMR-Konzentrationen (g/kg TM oder meq/kg TM) berechnet werden.

4. Ergebnisse

4.1. Untersuchungsreihe 1

Wenn es nicht anders beschrieben wird, dann wurden die Parameter anhand von 39 Tieren in der Gruppe 31 und anhand von 38 Tieren in der Gruppe 32 erhoben. Die Gruppe 31 bildete die Kontrollgruppe und die Gruppe 32 bildete die Untersuchungsgruppe.

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich über 11 Wochen. Es wurde Calciumchlorid in Form von Soy-Chlor® innerhalb der TMR der Untersuchungsgruppe zugefüttert. Die Grundration war in beiden Gruppen gleich (39% Anwelksilage, 12% Luzerne, 16% Mais). Ab der vierten Woche veränderte sich die Grundration auf Grund von Futterknappheit etwas (66% Anwelksilage). Dies wirkte sich stark auf den Natriumgehalt der TMR aus, wodurch auch der Chloridgehalt angepasst werden musste, um den DCAB-Wert konstant zu halten (Tabelle 33).

4.1.1. Futtermation

Für die tägliche Chloridaufnahme über die TMR wurde ein hochsignifikanter Effekt der Gruppe, der Zeit sowie eine hochsignifikante Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit nachgewiesen. Die Untersuchungsgruppe nahm hochsignifikant mehr Chlorid mit der TMR auf im Vergleich zur Kontrollgruppe. Im Untersuchungszeitraum der Woche vier bis elf betrug die Differenz über 100 g pro Tag (Abbildung 3) ($p < 0,001$). Die Chloridaufnahme beider Gruppen hatte zum Zeitpunkt null ein einheitliches Niveau. Durch die Veränderungen der Rationen hatte sich die Chloridaufnahme der Untersuchungsgruppe ab der Woche zwei im Untersuchungszeitraum signifikant erhöht, was zu erwarten war. Die Zahlen 1 und 2 markieren die Signifikanz der Differenz zum Ausgangswert. Außerdem blieben die beiden Gruppen durch die Veränderungen nicht mehr auf einem einheitlichen Niveau.

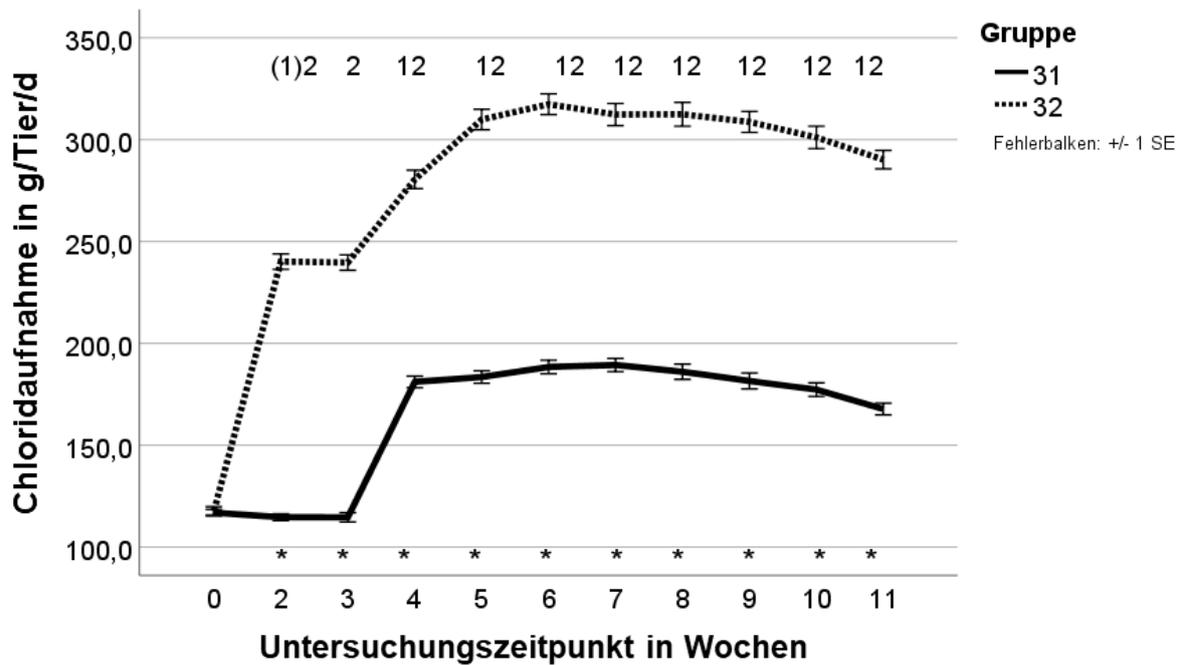


Abbildung 3: Tägliche Chloridaufnahme in der Untersuchungsreihe 1

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

Auch die tägliche Schwefelaufnahme über die TMR zeigte hochsignifikante Effekte der Gruppe, der Zeit sowie eine hochsignifikante Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit. Der Gruppeneinfluss stellte sich geringer dar als bei der Chloridaufnahme. Die Untersuchungsgruppe nahm über 4 g pro Tag mehr Schwefel auf als die Kontrollgruppe (Abbildung 4) ($p < 0,05$). Diese Unterschiede zwischen den Gruppen waren über den Untersuchungszeitraum nur in den Wochen vier, sieben und acht nicht signifikant. Die Schwefelaufnahme im Untersuchungszeitraum zur Woche null startete auf einem einheitlichen Niveau, ab der zweiten Woche veränderte sich die Schwefelaufnahme der Untersuchungsgruppe signifikant gegenüber der Woche null. In der Kontrollgruppe zeigte sich dieser Effekt ab der vierten Woche im Untersuchungszeitraum ($p < 0,001$).

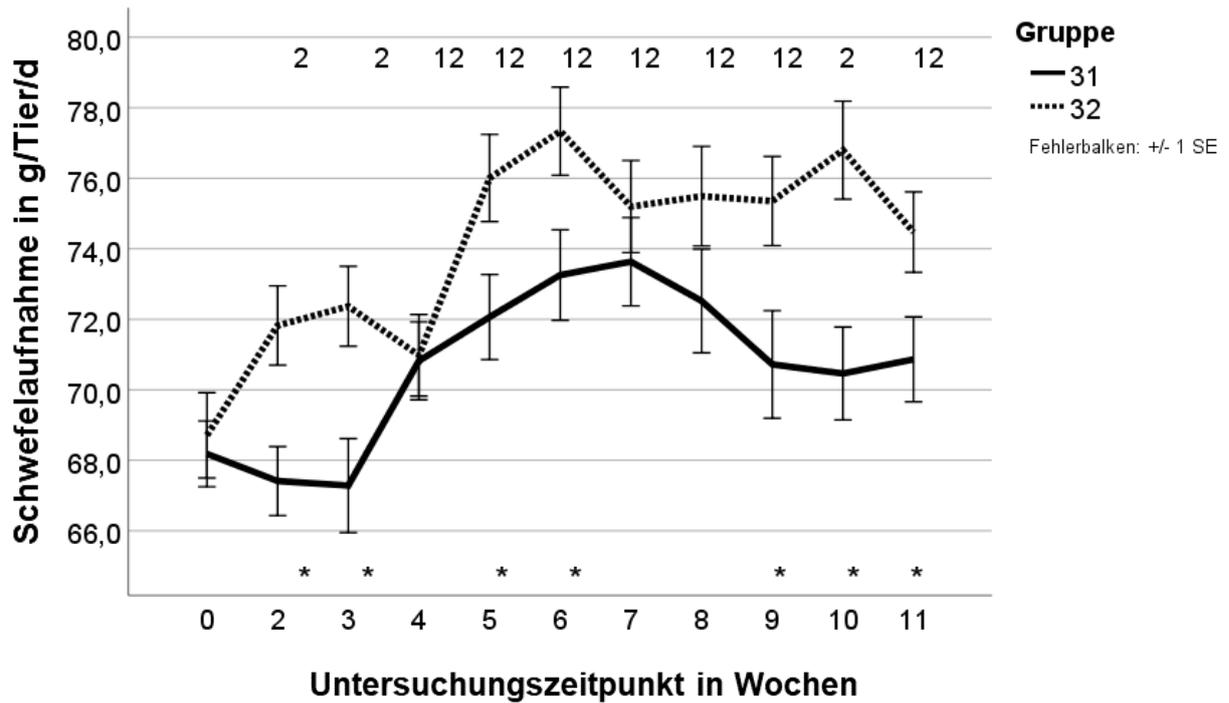


Abbildung 4: Tägliche Schwefelaufnahme in Untersuchungsreihe 1

Test auf feste Effekte Gruppe $p < 0,01$; Zeit $p < 0,001$, Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

Der DCAB-Wert lag in Woche null in beiden Gruppen bei über 4000 meq/Tier/d, in Abbildung 5 ersichtlich. Wegen des erhöhten Chloridgehaltes war der DCAB-Wert ab der zweiten Woche in der Untersuchungsgruppe signifikant niedriger, und zwar mit einem Tiefstwert von unter 0 meq/Tier/d gegenüber der Kontrollgruppe ($p < 0,001$). Der Effekt über die Zeit stellte sich ab der zweiten Woche im Untersuchungszeitraum zwischen den Untersuchungsgruppen ($p < 0,001$) hochsignifikant dar.

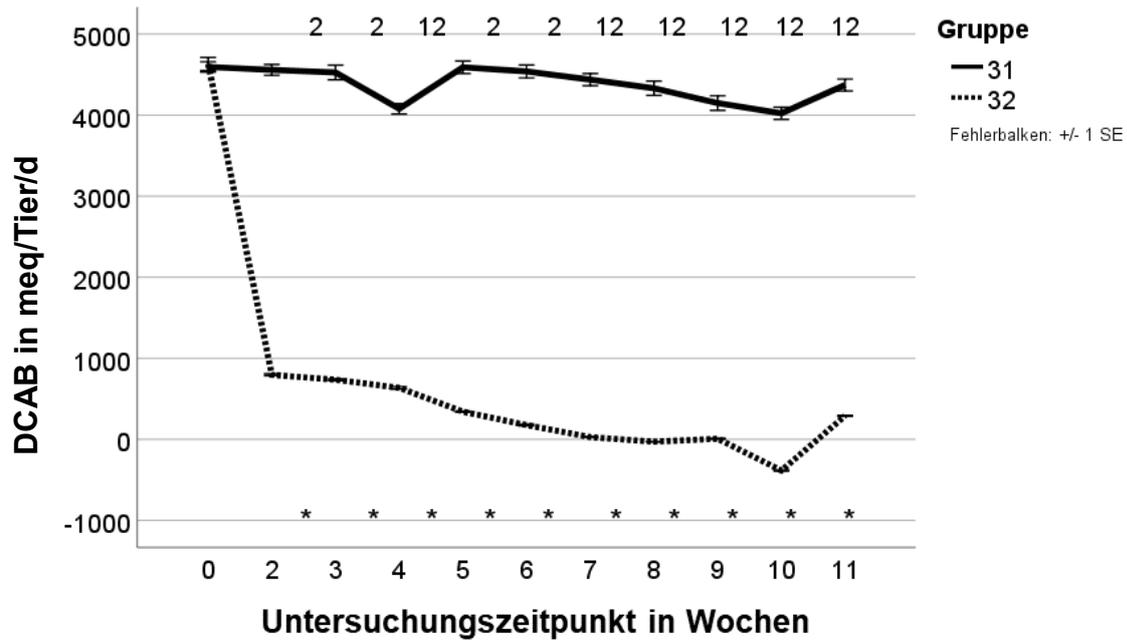


Abbildung 5: Tägliche DCAB-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 1

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

Sowohl die ADF (Abbildung 6) als auch die ADL (Abbildung 7) fielen in der Untersuchungsgruppe niedriger aus als in der Kontrollgruppe, wobei sich im Gruppenvergleich auch signifikante Unterschiede ergaben. Während sich bei der ADF im Vergleich über die Zeit innerhalb der Untersuchungsgruppe nur in der Woche zehn ein signifikanter Unterschied zeigte, ergaben sich in der Kontrollgruppe hier ab der Woche zwei des Untersuchungszeitraums signifikante Differenzen (Abbildung 6). Bei der ADL hingegen trat in beiden Gruppen beim Vergleich über die Zeit innerhalb der Gruppen ab der zweiten Woche ein signifikanter Unterschied auf (Abbildung 7). Weitere Futtermitteldaten der Untersuchungsreihe 1 finden sich im Anhang in der Tabelle 30.

Ergebnisse

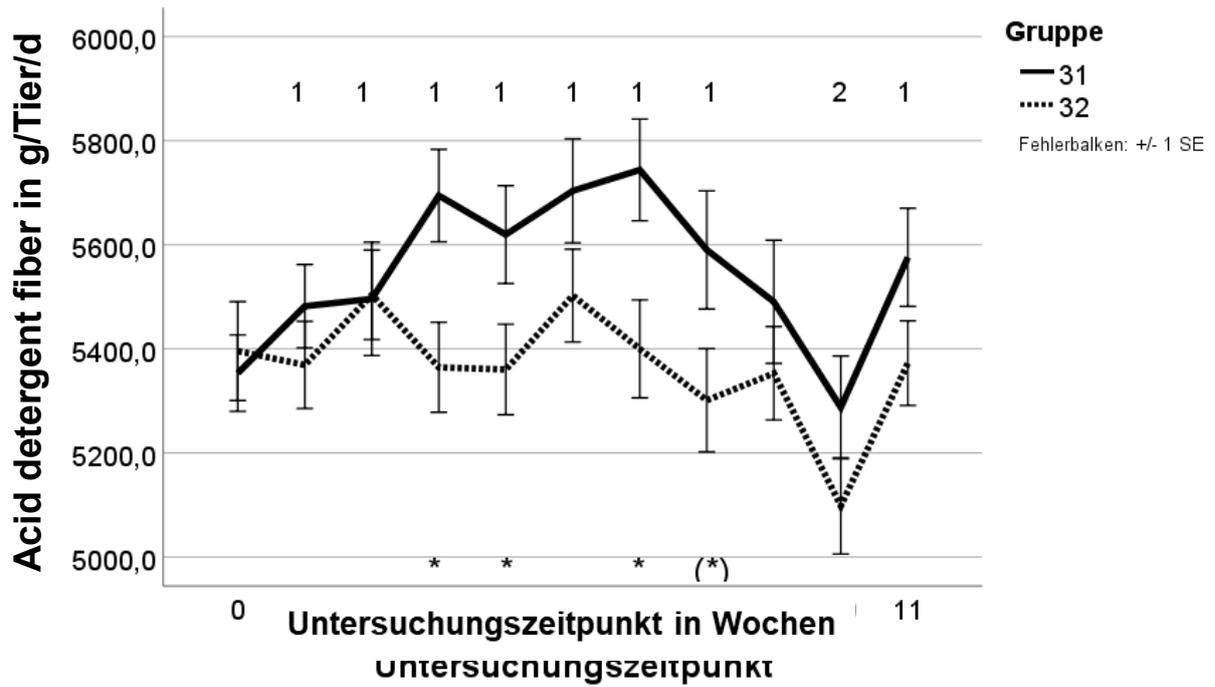


Abbildung 6: Tägliche ADF-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 1

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,08$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

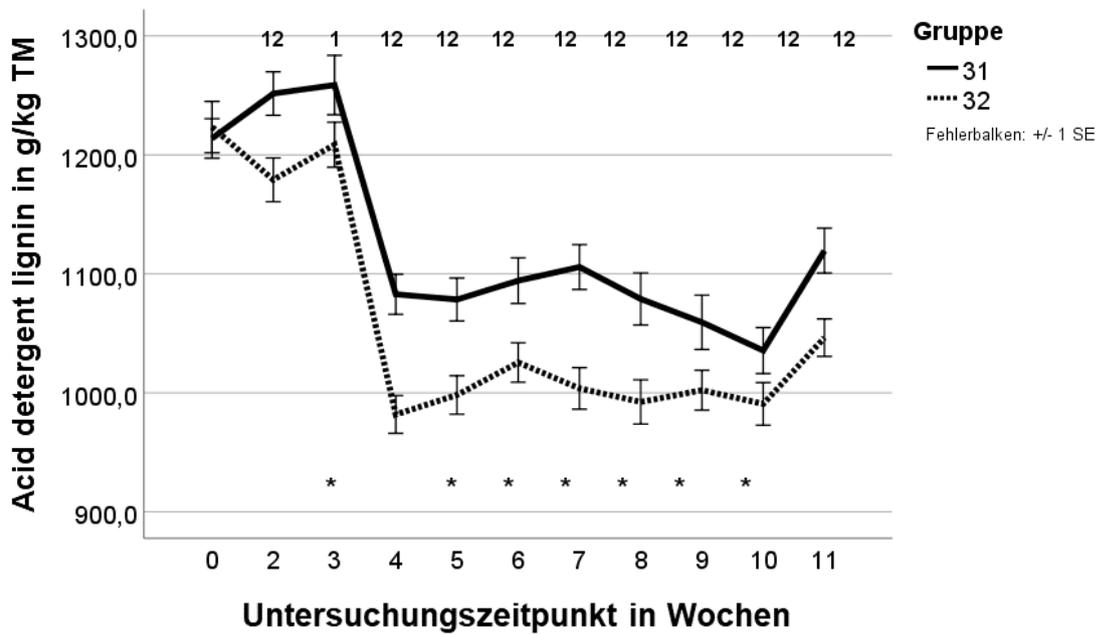


Abbildung 7: Tägliche ADL-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 1

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,003$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

4.1.2. Futteraufnahme

Der Gruppenvergleich zu jedem Zeitpunkt zeigte, dass die Untersuchungsgruppe weniger Frischmasse aufnahm (Abbildung 8), was jedoch nur in der Woche vier des Untersuchungszeitraums tendenziell signifikant ($p = 0,071$) und in der Woche sieben signifikant ausfiel ($p = 0,018$). Betrachtet man die Futteraufnahme über die Zeit war, in der Kontrollgruppe eine Steigerung auffällig, die in den Wochen sechs bis zehn auch signifikant höher war. In der Untersuchungsgruppe zeigte sich eine verminderte Futteraufnahme, was jedoch nur in den Wochen drei und neun signifikant war.

Die in der Abbildung 9 dargestellte Trockenmasseaufnahme bestätigte das Bild der Frischmasseaufnahme, wobei sich hier die signifikanten Unterschiede als weniger deutlich ausgeprägt erwiesen.

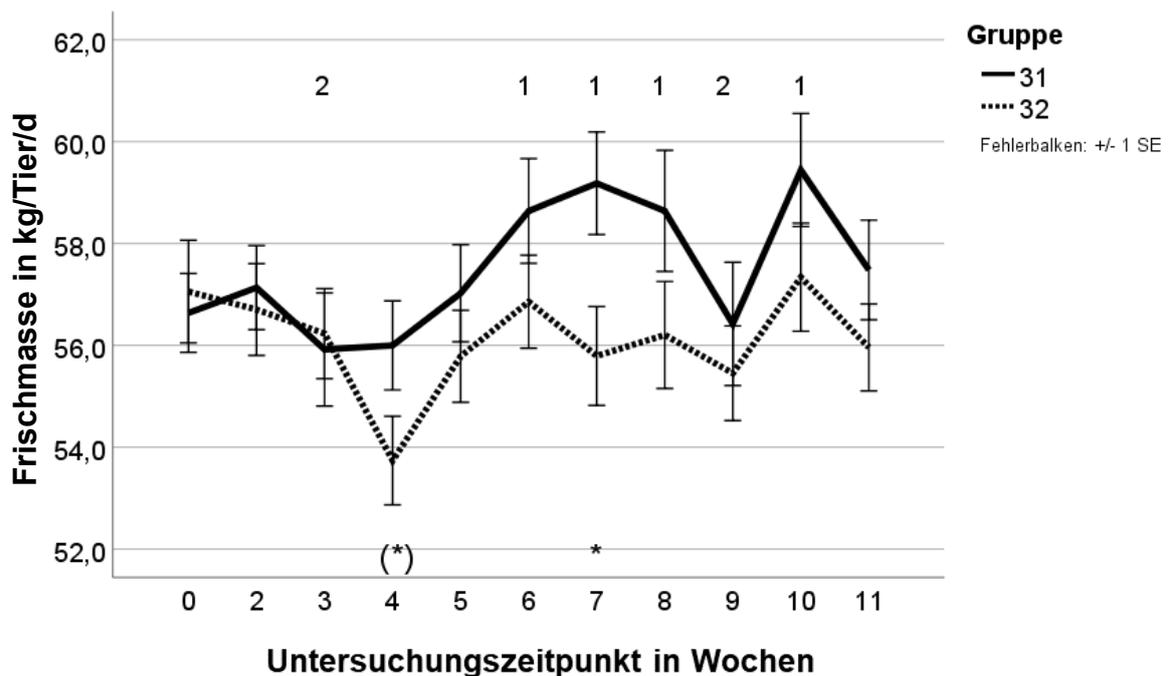


Abbildung 8: Tägliche Frischmasseaufnahme in der Untersuchungsreihe 1

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,2$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

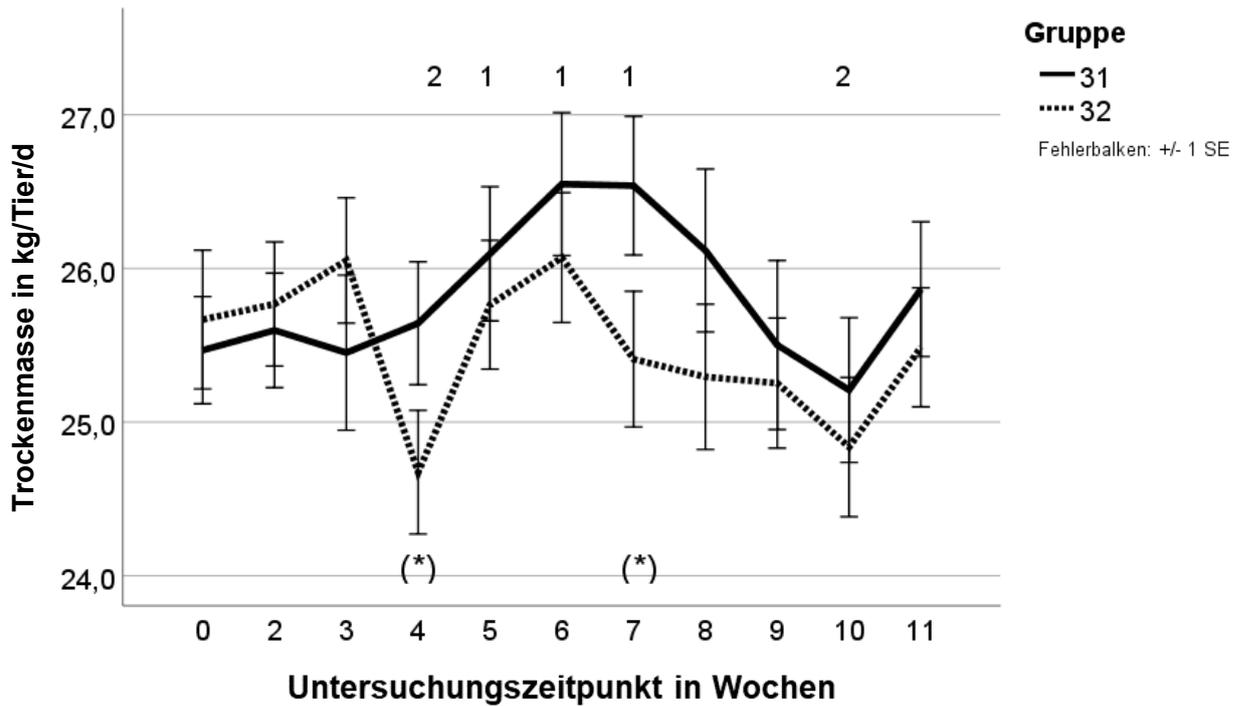


Abbildung 9: Tägliche Trockenmasseaufnahme in der Untersuchungsreihe 1

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,4$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

4.1.3. Blutparameter

Im Untersuchungszeitraum der ersten Untersuchungsreihe unterschieden sich die Enzymaktivitäten der beiden Gruppen nicht signifikant voneinander, wie es in der Tabelle 14 dargestellt wird. Auffällig war allerdings eine signifikante Absenkung der Aspartat-Aminotransferase und der Gamma-Glutamyl-Transferase in der Untersuchungsgruppe.

Tabelle 14: Enzymaktivitäten in Woche 0 und Woche 9 in Untersuchungsreihe 1

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
ASAT 0 in U/l	136	142	39	44
ASAT 9 in U/l	129	117 ^b	49	38
GGT 0 in U/l	42	45	15	14
GGT 9 in U/l	38	37 ^b	12	10
GLDH 0 in U/l	40	41	20	19
GLDH 9 in U/l	36	35	19	19
CK 0 in U/l	180	219	109	169
CK 9 in U/l	203	312	241	429

a/b: Signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,001$).

Die Metaboliten im Blut unterschieden sich zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant (Tabelle 15). Der Chloridgehalt im Blut stieg sowohl in der Kontrollgruppe als auch in der Untersuchungsgruppe von der Woche null zur Woche neun signifikant an ($p < 0,001$). Der Wert für Phosphat sank in der Kontrollgruppe signifikant ab. Das Totalprotein verringerte sich in der Untersuchungsgruppe signifikant. Der Wert für Calcium stieg in der Untersuchungsgruppe signifikant an.

Tabelle 15: Metaboliten im Blut in Woche 0 und 9 der Untersuchungsreihe 1

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
NEFA 0 in mmol/l	0,06	0,07	0,01	0,01
NEFA 9 in mmol/l	0,06	0,06	0,00	0,00
Bun 0 in mmol/l	5,23	5,28	0,80	0,81
Bun 9 in mmol/l	5,19	5,24	0,65	0,74
BHBS 0 in mmol/l	0,47	0,50	0,15	0,17
BHBS 9 in mmol/l	0,54	0,53	0,13	0,14
tBili 0 in $\mu\text{mol/l}$	1,94	1,90	0,98	1,18
tBili 9 in $\mu\text{mol/l}$	1,27 ^a	1,42	1,06	1,03
TP 0 in g/l	73	75	11,7	5,4
TP 9 in g/l	73	72 ^b	5,4	6,5
Glu 0 in mmol/l	3,64	3,53	0,30	0,29
Glu 9 in mmol/l	3,64	3,53	0,39	0,38
Phos 0 in mmol/l	1,67	1,61	0,30	0,25
Phos 9 in mmol/l	1,41 ^a	1,52	0,25	0,23
Ca 0 in mmol/l	2,43	2,46	0,11	0,11
Ca 9 in mmol/l	2,48	2,51 ^b	0,12	0,09
Cl 0 in mmol/l	101	101	2,4	1,9
Cl 9 in mmol/l	103 ^a	104 ^b	1,9	1,5
Mg 0 in mmol/l	1,00	1,00	0,09	0,07
Mg 9 in mmol/l	0,98	1,02	0,08	0,09

a/b: Signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,004$).

4.1.4. Kuhsignale

In den Wochen 0 bis 10 wurde jeweils das Wiederkau- und das Liegeverhalten der Tiere beobachtet. Dabei wurde „kaut wieder“ bzw. „liegt“ mit 1 und „kaut nicht wieder“ bzw. „liegt nicht“ mit 2 bewertet, wobei in beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede auftraten (Tabelle 16).

Tabelle 16: Wiederkau- und Liegeverhalten Woche 1 bis Woche 10 der Untersuchungsreihe 1

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
WDK 1	1,36	1,45	0,48	0,50
WDK 2	1,28	1,42	0,45	0,50
WDK 3	1,51	1,53	0,50	0,50
WDK 4	1,38	1,45	0,49	0,50
WDK 5	1,51	1,37	0,50	0,48
WDK 6	1,36	1,39	0,48	0,54
WDK 7	1,51	1,42	0,50	0,50
WDK 8	1,36	1,47	0,48	0,55
WDK 9	1,41	1,5	0,49	0,60
WDK 10	1,56	1,58	0,85	0,79
L 1	1,13	1,24	0,33	0,43
L 2	1,23	1,16	0,42	0,37
L 3	1,28	1,24	0,45	0,43
L 4	1,15	1,16	0,36	0,37
L 5	1,26	1,11	0,44	0,31
L 6	1,28	1,11	0,45	0,38
L 7	1,26	1,16	0,44	0,37
L 8	1,18	1,26	0,38	0,50
L 9	1,21	1,34	0,40	0,58
L 10	1,38	1,32	0,84	0,77

In den Wochen null, fünf und zehn wurde die Kotbonitur und die Intensität und Frequenz der Pansenmotilität untersucht. Die Intensität der Pansenmotilität wurde mit 1-3 beurteilt in Abhängigkeit von der Stärke, wobei 1 für gering und 3 für stark steht. Bei der Frequenz der

Pansenmotilität wurde die Kontraktionen pro Minute ausgewertet. Die Pansenmotilität wurde nur bei je 12 Rindern der beiden Gruppen bestimmt.

Bei der Kotbonitur traten keine signifikanten Unterschiede auf, wie aus der Tabelle 17 ersichtlich ist. Die Intensität der Pansenmotilität wies zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede auf. Innerhalb der Gruppen trat über die Zeit in beiden Gruppen eine signifikante Absenkung in der zehnten Woche auf ($p = 0,027$, $p = 0,011$). Auch bei der Auswertung der Pansenfrequenz zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen in der Woche zehn, wobei die Untersuchungsgruppe eine höhere Frequenz aufwies.

Tabelle 17: Kotbonitur, Intensität und Frequenz der Pansenmotilität in den Wochen 0, 5 und 10 der Untersuchungsreihe 1

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
Kot 0	2,26	2,30	0,38	0,45
Kot 5	2,01	1,91	0,26	0,27
Kot 10	2,18	2,31	0,46	0,27
PMI 0	2,33	2,42	0,78	0,51
PMI 5	2,00	2,08	0,43	0,51
PMI 10	1,75 ^a	1,82 ^b	0,75	0,40
PMF 0	2,00	2,50	0,74	0,52
PMF 5	2,00	1,75	0,60	0,62
PMF 10*	1,92	2,36	0,29	0,67

* Signifikante Gruppenunterschiede ($p < 0,02$); a/b: Signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,01$).

4.1.5. Lebendmasse, RFD, BCS

Die Lebendmasse, die Rückenfettdicke und die BCS wurden in den Wochen null und neun bestimmt.

Bei allen drei Kategorien zeigten sich zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 18). Innerhalb der Gruppen ergab sich jedoch eine signifikante Zunahme der Lebendmasse, der RFD und des BCS über die Zeit.

Tabelle 18: LM, RFD und BCS in Woche 0 und 9 der Untersuchungsreihe 1

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
LM 0 in kg	651	653	49	53
LM 9 in kg	703 ^a	694 ^b	51	62
RFD 0 in mm	9,85	10,29	4,27	4,48
RFD 9 in mm	11,56 ^a	13,05 ^b	4,63	7,32
BCS 0	2,23	2,26	0,41	0,38
BCS 9	2,42 ^a	2,50 ^b	0,48	0,53

a/b: Signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,001$).

4.1.6. Milchdaten

Bei der täglichen Milchmenge wurde ein deutlich signifikanter Effekt über die Zeit nachgewiesen (Abbildung 10). Dies war im Untersuchungszeitraum für die Kontrollgruppe ab der Woche zwei zu erkennen und für die Untersuchungsgruppe ab der Woche vier. Ein signifikanter Effekt der Gruppe und eine Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit konnten nicht nachgewiesen werden.

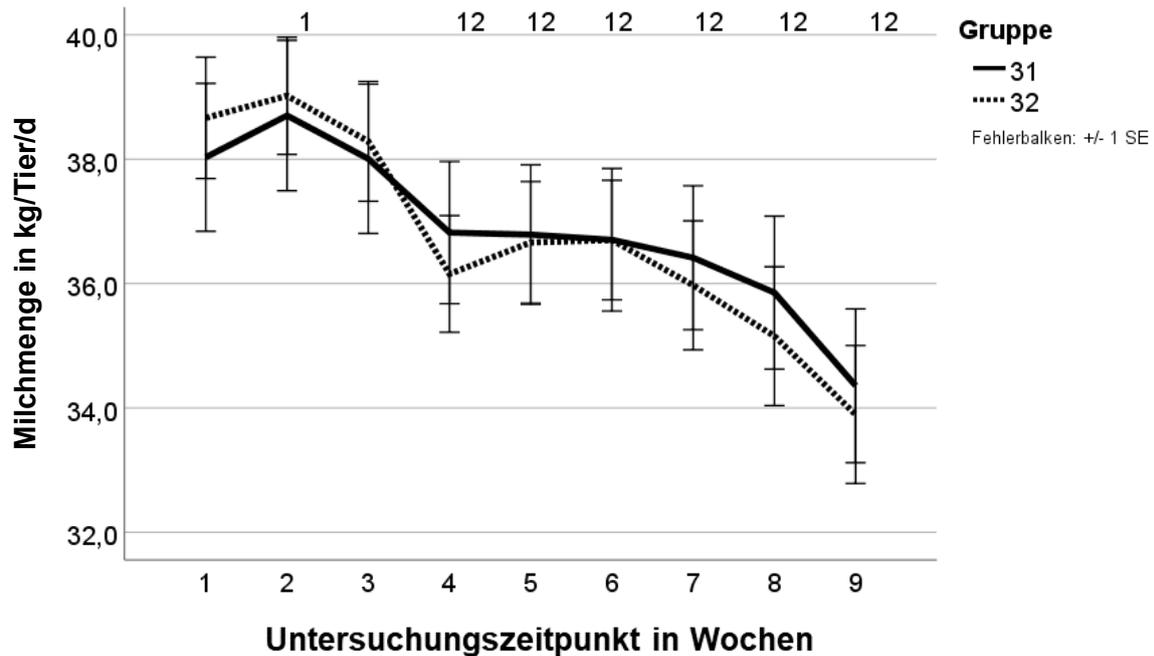


Abbildung 10: Tägliche Milchmenge in der Untersuchungsreihe 1

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,9$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,5$.

Auch bei der energiekorrigierten Milch konnten keine signifikanten Effekte der Gruppe und der Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit ermittelt werden (Abbildung 11). Bei der Untersuchungsgruppe stellte sich jedoch ein signifikanter Effekt über die Zeit in der vierten Woche und in den Wochen sieben bis neun ein ($p = 0,000$). In der Kontrollgruppe trat dieser Effekt signifikant nur in der Woche neun des Untersuchungszeitraums auf.

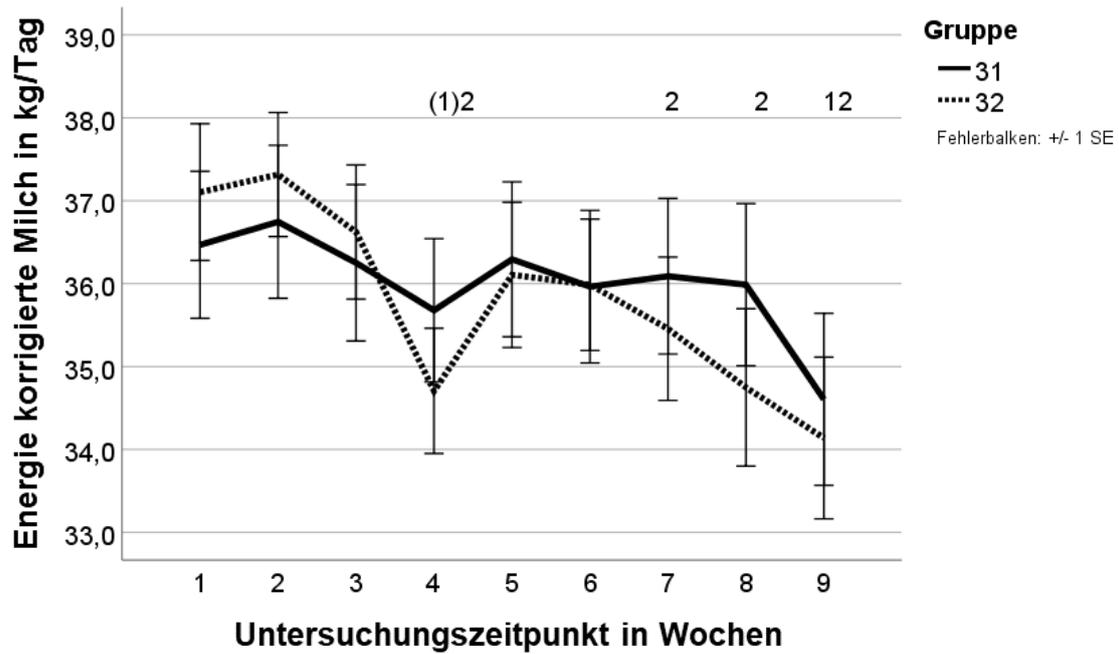


Abbildung 11: Tägliche EKM in der Untersuchungsreihe 1

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,8$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,1$.

Wie bei den beiden anderen Parametern zeigte sich auch beim Harnstoffwert kein signifikanter Effekt der Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit und der Gruppe (Abbildung 12). Über die Zeit traten aber in beiden Gruppen signifikante Effekte von der Woche zwei bis Woche acht im Untersuchungszeitraum auf ($p = 0,000$).

Weitere Ergebnisse der Milchdaten finden sich im Anhang in der Tabelle 31.

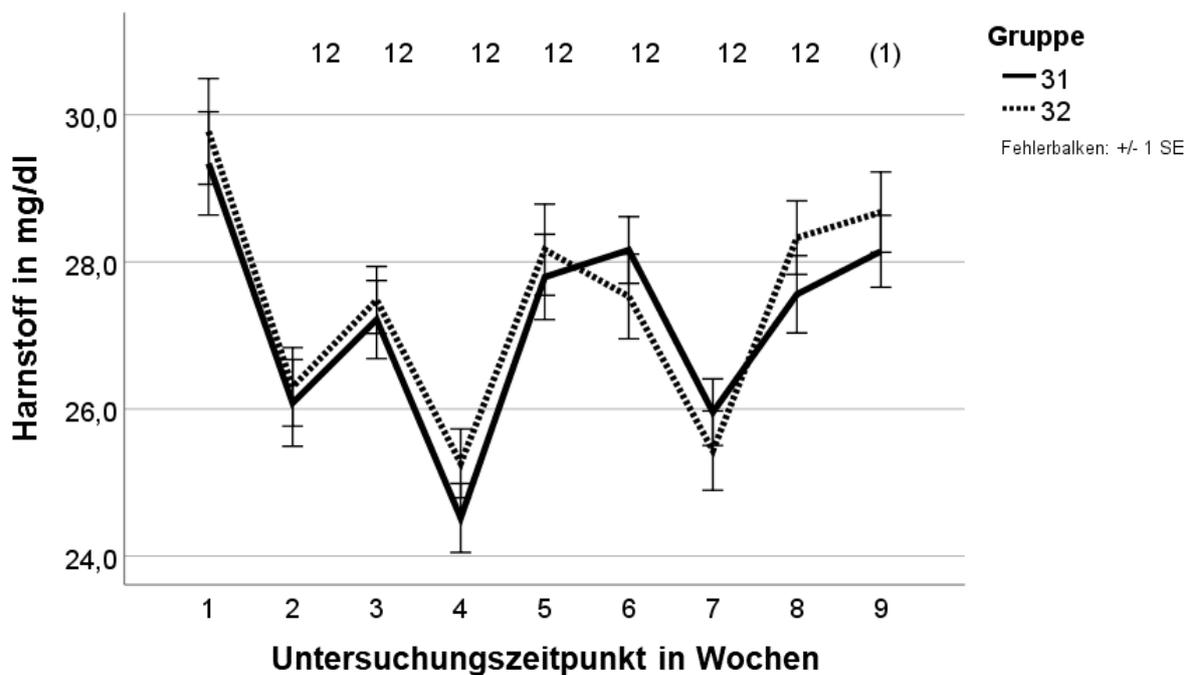


Abbildung 12: Täglicher Harnstoffgehalt der Milch in der Untersuchungsreihe 1
 Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,6$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,6$.

4.2. Untersuchungsreihe 2

Innerhalb der zweiten Untersuchungsreihe wurden die jeweiligen Parameter anhand von je 39 Tieren bestimmt. Die Gruppe 32 war dabei die Untersuchungsgruppe und die Gruppe 31 war die Kontrollgruppe. Die Untersuchungsreihe lief über neun Wochen. Beide Gruppen erhielten das gleiche Grundfutter (20% Anweilsilage, 11% Luzernesilage, 35% Maissilage). In der Untersuchungsgruppe wurde die DCAB durch Zumischen von BICAR®Z angehoben.

4.2.1. Futtermittelration

Für die tägliche Chloridaufnahme über die TMR wurde ein tendenziell signifikanter Effekt der Gruppe sowie der Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit nachgewiesen. Der Zeiteffekt stellte sich als hochsignifikant dar (Abbildung 13). Der Effekt der Gruppe war in Woche acht tendenziell signifikant. Ein weiterer Effekt konnte nicht nachgewiesen werden (Abbildung 12). Die signifikanten Unterschiede über die Zeit waren in beiden Gruppen ab der Woche eins des Untersuchungszeitraums ersichtlich.

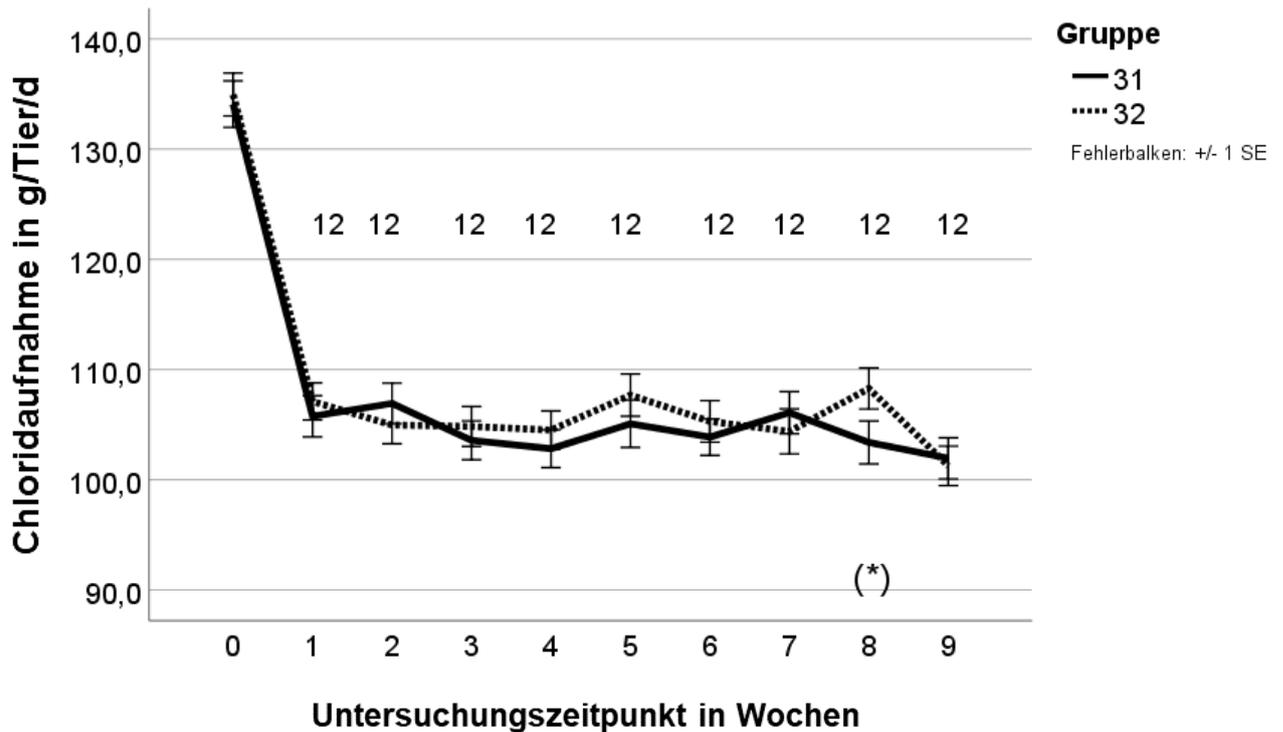


Abbildung 13: Tägliche Chloridaufnahme in der Untersuchungsreihe 2

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,6$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

Auch die tägliche Schwefelaufnahme zeigte keine signifikanten Effekte der Gruppe und der Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit (Abbildung 14). Der Effekt der Zeit stellte sich in der Untersuchungsgruppe in den Wochen fünf und neun als signifikant dar. Die Kontrollgruppe zeigte einen signifikanten Effekt der Zeit in den Wochen eins, drei und neun im Untersuchungszeitraum.

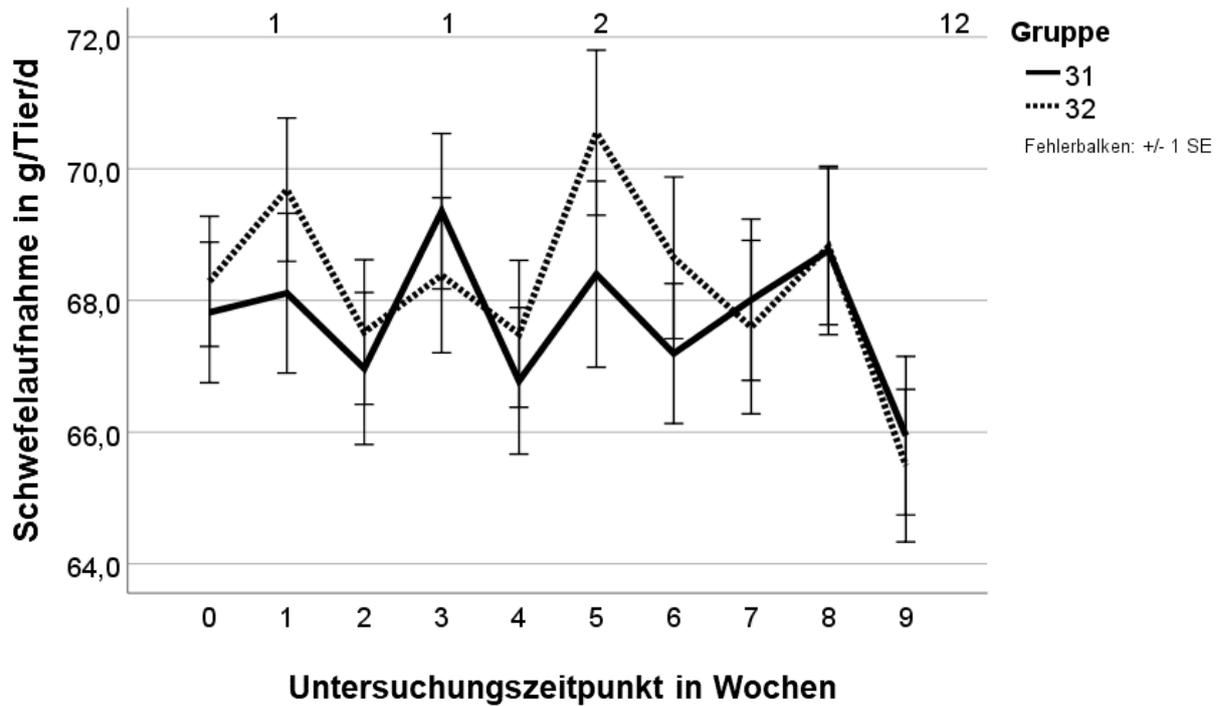


Abbildung 14: Tägliche Schwefelaufnahme in der Untersuchungsreihe 2

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,7$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,03$.

Die tägliche DCAB-Aufnahme über die TMR zeigte einen hochsignifikanten Effekt der Gruppe, der Zeit und eine hochsignifikante Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit (Abbildung 15). Die Untersuchungsgruppe nahm ab Woche eins des Untersuchungszeitraums mit einem Höchstwert von über 4000 meq/Tier/d einen signifikant höheren DCAB-Wert auf als die Kontrollgruppe mit einem Höchstwert von über 1000 meq/Tier/d. Beide Gruppen starteten zu Beginn des Untersuchungszeitraums auf einem einheitlichen Niveau mit über 1000 meq/Tier/d. Der Effekt über die Zeit ist ab der ersten Woche des Untersuchungszeitraums in beiden Gruppen signifikant nachgewiesen.

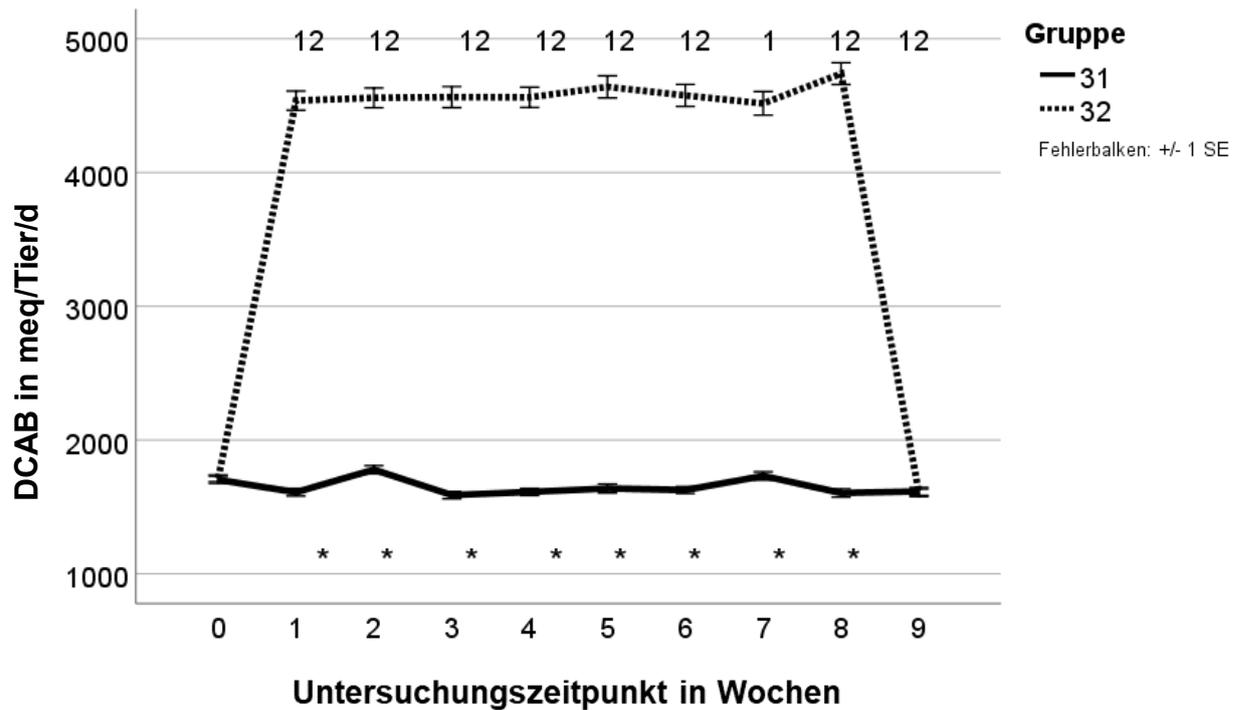


Abbildung 15: Tägliche DCAB-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 2

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion $p < 0,001$.

Sowohl bei der ADF (Abbildung 16) als auch bei der ADL (Abbildung 17) ergaben sich zwischen den Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Ein signifikanter Effekt der Zeit trat bei der ADF in den Wochen fünf und neun innerhalb der Untersuchungsgruppe und innerhalb der Kontrollgruppe nur in der Woche neun auf. Bei der ADL zeigte sich dieser Effekt häufiger, in der Kontrollgruppe in den Wochen zwei, drei, fünf, sieben und acht und in der Untersuchungsgruppe in den Wochen zwei, drei, fünf und acht.

Weitere Futtermitteldaten finden sich im Anhang in der Tabelle 34.

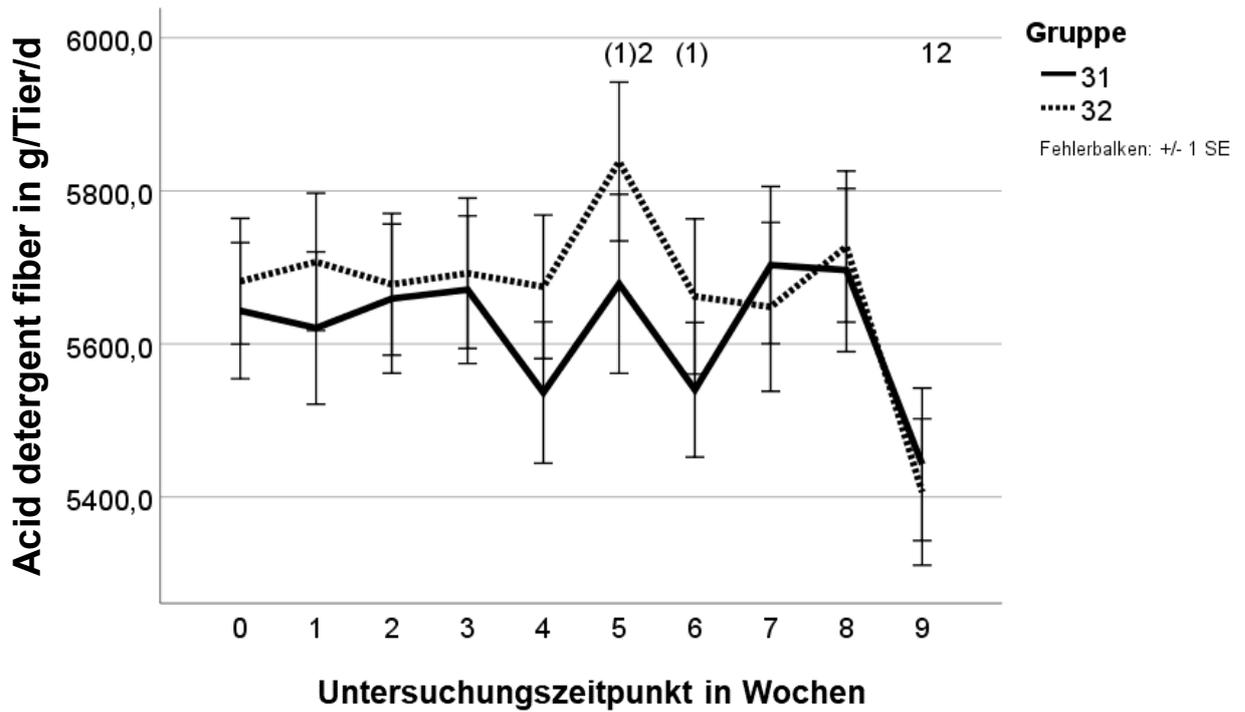


Abbildung 16: Tägliche ADF-Aufnahme je Tier der Untersuchungsreihe 2
 Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,6$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,2$.

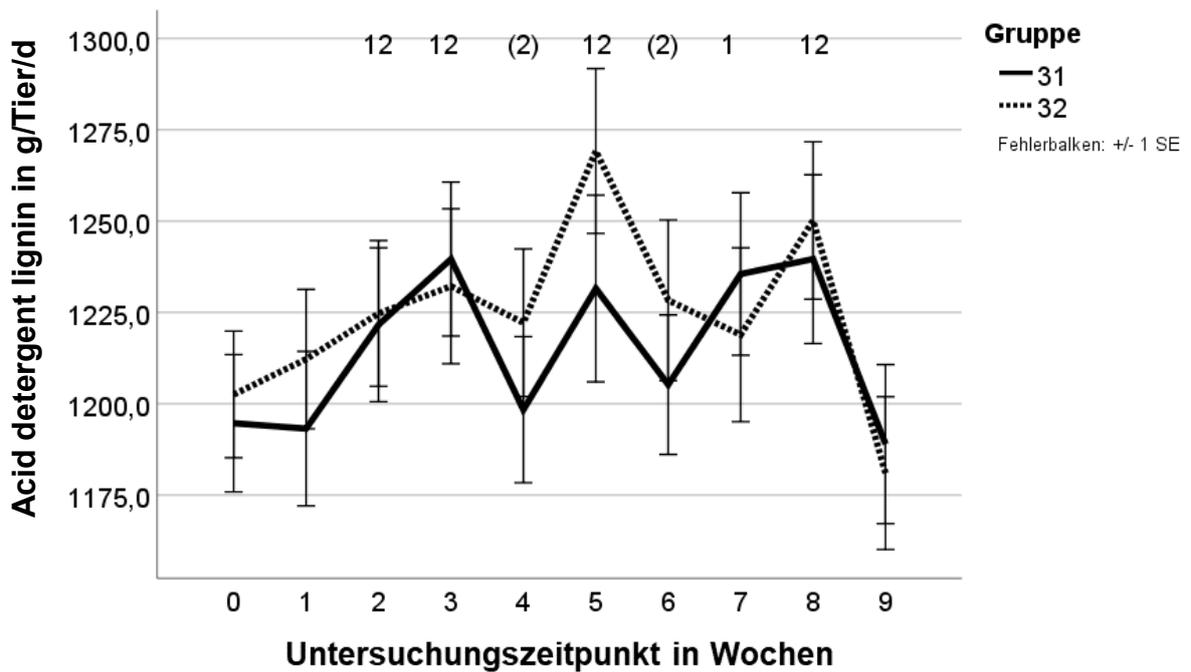


Abbildung 17: Tägliche ADL-Aufnahme je Tier der Untersuchungsreihe 2
 Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,6$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,04$.

4.2.2. Futteraufnahme

Bei der Frischmasseaufnahme stellten sich keine signifikanten Effekte der Gruppe dar. Die Interaktion zwischen Gruppe und Zeit und die Zeit zeigten in einzelnen Untersuchungswochen signifikante Unterschiede (Abbildung 18). Innerhalb der Kontrollgruppe zeigte sich dieser Effekt in der Woche vier und innerhalb der Untersuchungsgruppe in der Woche neun des Untersuchungszeitraums.

Bei der Trockenmasseaufnahme ergaben sich im Gruppenvergleich ähnliche Ergebnisse wie bei der Frischmasseaufnahme (Abbildung 19). Beim Zeiteffekt zeigten sich jedoch häufiger als bei der Frischmasseaufnahme signifikante Unterschiede.

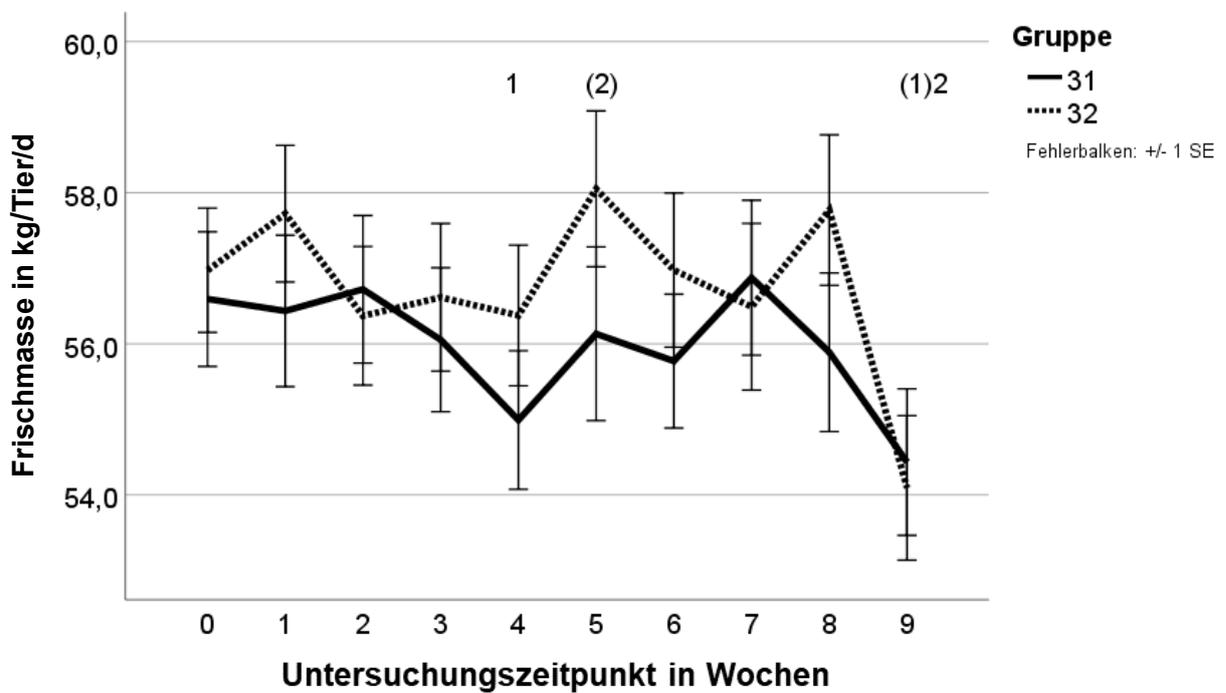


Abbildung 18: Tägliche Frischmasseaufnahme je Tier der Untersuchungsreihe 2
 Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,4$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,002$.

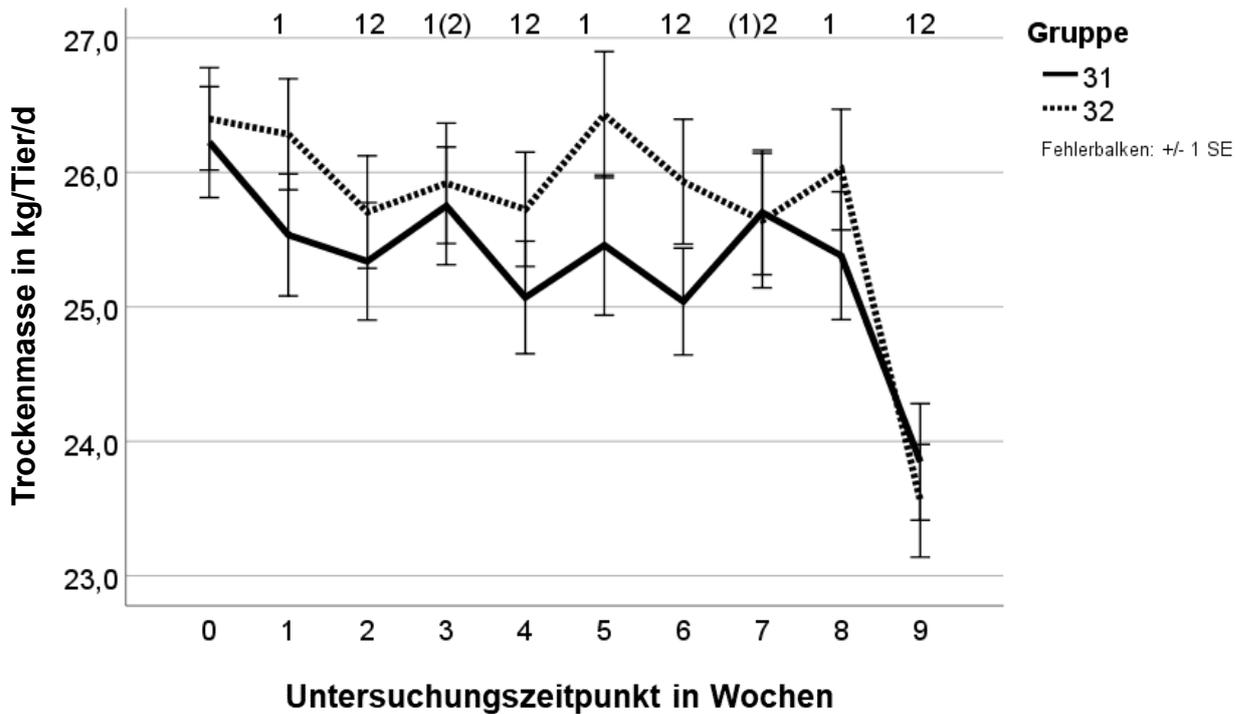


Abbildung 19: Tägliche Trockenmassaufnahme je Tier der Untersuchungsreihe 2
 Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,3$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,005$.

4.2.3. Blutparameter

Bei den Enzymaktivitäten konnten keine signifikanten Effekte der Zeit, der Gruppe und in der Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit festgestellt werden (Tabelle 19).

Tabelle 19: Enzymaktivität in Woche 0 und Woche 7 der Untersuchungsreihe 2

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
ASAT 0 in U/l	141	139	48	36
ASAT 7 in U/l	143	129	39	31
GGT 0 in U/l	42	43	19	21
GGT 7 in U/l	46	51	16	46
GLDH 0 in U/l	43	46	19	21
GLDH 7 in U/l	40	42	18	21
CK 0 in U/l	289	265	515	388
CK 7 in U/l	456	264	1121	320

Bei den Blutmetaboliten ergab sich ein signifikanter Effekt der Gruppe und der Zeit beim Phosphat. Die Untersuchungsgruppe lag signifikant höher als die Kontrollgruppe. In der Kontrollgruppe traten signifikante Unterschiede über die Zeit beim Total-Bilirubin, bei der Chloridkonzentration und beim Magnesium auf. Weitere signifikante Unterschiede ergaben sich in der Untersuchungsgruppe beim Total-Bilirubin und beim Totalprotein. Eine signifikante Erhöhung des Harnstoffes über die Zeit trat außerdem in der Untersuchungsgruppe auf (Tabelle 20).

Tabelle 20: Metaboliten im Blut in jeweils der Woche 0 und 7 der Untersuchungsreihe 2

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
BUN 0 in mmol/l	4,38	4,32	0,69	0,58
BUN 7 in mmol/l	4,21	4,24	0,81	0,58
NEFA 0 in mmol/l	0,06	0,07	0,03	0,03
NEFA 7 in mmol/l	0,05	0,04	0,02	0,02
BHBS 0 in mmol/l	0,50	0,45	0,17	0,15
BHBS 7 in mmol/l	0,48	0,49	0,13	0,15
tBili 0 in μ mol/l	2,18	2,34	0,98	1,36
tBili 7 in μ mol/l	0,42 ^a	0,44 ^b	0,54	0,56
TP 0 in g/l	74	73	6,67	5,56
TP 7 in g/l	73	74 ^b	5,19	6,09
Glu 0 in mmol/l	3,80	3,77	0,46	0,38
Glu 7 in mmol/l	3,93	4,06	0,82	0,54
Phos 0 in mmol/l	1,58	1,58	0,21	0,19
Phos 7* in mmol/l	1,51	1,67 ^b	0,26	0,25
Ca 0 in mmol/l	2,54	2,59	0,14	0,15
Ca 7 in mmol/l	2,51	2,49	0,15	0,11
Cl 0 in mmol/l	103	102	2,2	2,7
Cl 7 in mmol/l	101 ^a	101	2,5	6,2
Mg 0 in mmol/l	1,02	1,04	0,09	0,08
Mg 7 in mmol/l	1,06 ^a	1,06	0,08	0,08

*: Signifikante Gruppenunterschiede ($p < 0,01$); a + b: Signifikante Zeitunterschiede ($p < 0,004$).

4.2.4. Kuhsignale

In jeder Woche wurden das Wiederkauverhalten und das Liegeverhalten festgehalten. Dabei stand 1 für liegend und wiederkäuend und 2 für stehend und nicht wiederkäuend.

Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. (Tabelle 21)

Tabelle 21: Wiederkau- und Liegeverhalten jeweils der Wochen 1 bis 8 der Untersuchungsreihe 2

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
WDK 1	1,44	1,41	0,50	0,49
WDK 2	1,41	1,41	0,54	0,54
WDK 3	1,46	1,54	0,50	0,55
WDK 4	1,38	1,28	0,49	0,45
WDK 5	1,41	1,46	0,49	0,55
WDK 6	1,56	1,56	0,55	0,55
WDK 7	1,51	1,49	0,50	0,55
WDK 8	1,41	1,49	0,54	0,60
L 1	1,31	1,18	0,46	0,38
L 2	1,21	1,21	0,46	0,46
L 3	1,28	1,21	0,45	0,46
L 4	1,15	1,21	0,36	0,40
L 5	1,21	1,31	0,40	0,52
L 6	1,113	1,21	0,40	0,46
L 7	1,21	1,13	0,40	0,40
L 8	1,23	1,26	0,48	0,54

Die Verdauung wurde in den Wochen null, drei und acht anhand des Kots über die Kotbonitur und die Pansenverdauung beurteilt. Die Intensität der Pansenmotilität wurde mit 1 als gering bis 3 als stark beurteilt. Bei der Frequenz der Pansenmotilität wurden die Kontraktionen pro Minute festgehalten. Der Pansen wurde bei jeder Gruppe nur bei zwölf Rindern beurteilt.

Es traten keine signifikanten Effekte der Gruppe und der Zeit auf. Innerhalb der Kontrollgruppe zeigte sich ein signifikanter Effekt der Zeit in der Woche acht bei der Kotbonitur, welche ein weicher werden des Kotes anzeigte. Bei beiden Gruppen trat ein signifikanter Effekt der Zeit

in der dritten Woche des Untersuchungszeitraums bei der Intensität der Pansenkontraktionen auf (Tabelle 22).

Tabelle 22: Kotbonitur, Intensität und Frequenz der Pansenmotilität in den Wochen 0, 3 und 8 der Untersuchungsreihe 2

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
Kot 0	2,57	2,54	0,33	0,39
Kot 3	2,59	2,60	0,30	0,31
Kot 8	2,36 ^a	2,37	0,22	0,26
PMI 0	2,00	2,00	0,43	0,43
PMI 3	1,50 ^a	1,41 ^b	0,52	0,51
PMI 8	1,72	1,63	0,47	0,50
PMF 0	1,33	1,58	0,65	0,67
PMF 3	1,66	2,08	0,49	0,67
PMF 8	1,54	1,45	0,69	0,69

a + b: Signifikante Zeitunterschiede ($p < 0,002$).

4.2.5. Lebendmasse, RFD, BCS

Jeweils in der Woche null und in der Woche sieben wurden die Rückenfettdicke, die Lebendmasse und der Körperconditionscore bestimmt. Zwischen den beiden Gruppen zeigten sich dabei keine signifikanten Unterschiede. Über die Zeit nahm innerhalb der Gruppen die Körperkondition signifikant zu. (Tabelle 23)

Tabelle 23: LM, RFD und BCS in Woche 0 und 7 der Untersuchungsreihe 2

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
LM 0 in kg	669	673	56	60
LM 7 in kg	687 ^a	693 ^b	59	60
RFD 0 in mm	9,94	11,23	3,43	5,56
RFD 7 in mm	11,79 ^a	13,05 ^b	4,53	5,69
BCS 0	2,19	2,30	0,39	0,51
BCS 7	2,21	2,37 ^b	0,41	0,51

a + b: Signifikante Zeitunterschiede ($p < 0,001$).

4.2.6. Milchdaten

In der Betrachtung der Milchmenge ergaben sich keine signifikanten Effekte der Gruppe und der Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit. Bei beiden Gruppen konnte man feststellen, dass es zu einem signifikanten Effekt über die Zeit kam. Die Milchmenge nahm in beiden Gruppen ab ($p < 0,001$) (Abbildung 20).

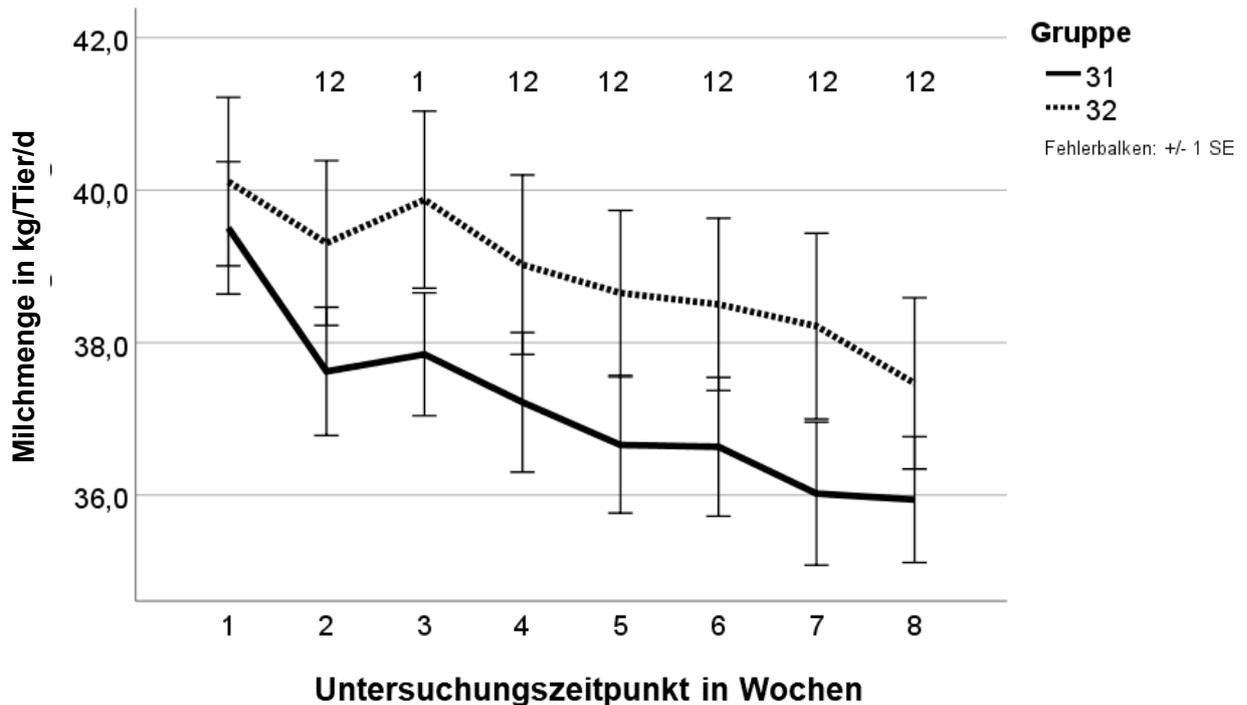


Abbildung 20: Tägliche Milchmenge in der Untersuchungsreihe 2

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,1$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,8$.

Auch bei der energiekorrigierten Milch konnte kein Effekt der Gruppe und der Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit festgestellt werden (Abbildung 21). Die Kontrollgruppe zeigte eine signifikante Abnahme der EKM über die Zeit ab der zweiten und bis zur achten Woche ($p = 0,000$). In der Untersuchungsgruppe war diese Abnahme in den Wochen vier und sechs signifikant eine tendenziell signifikante Abnahme trat in den Wochen zwei und acht auf.

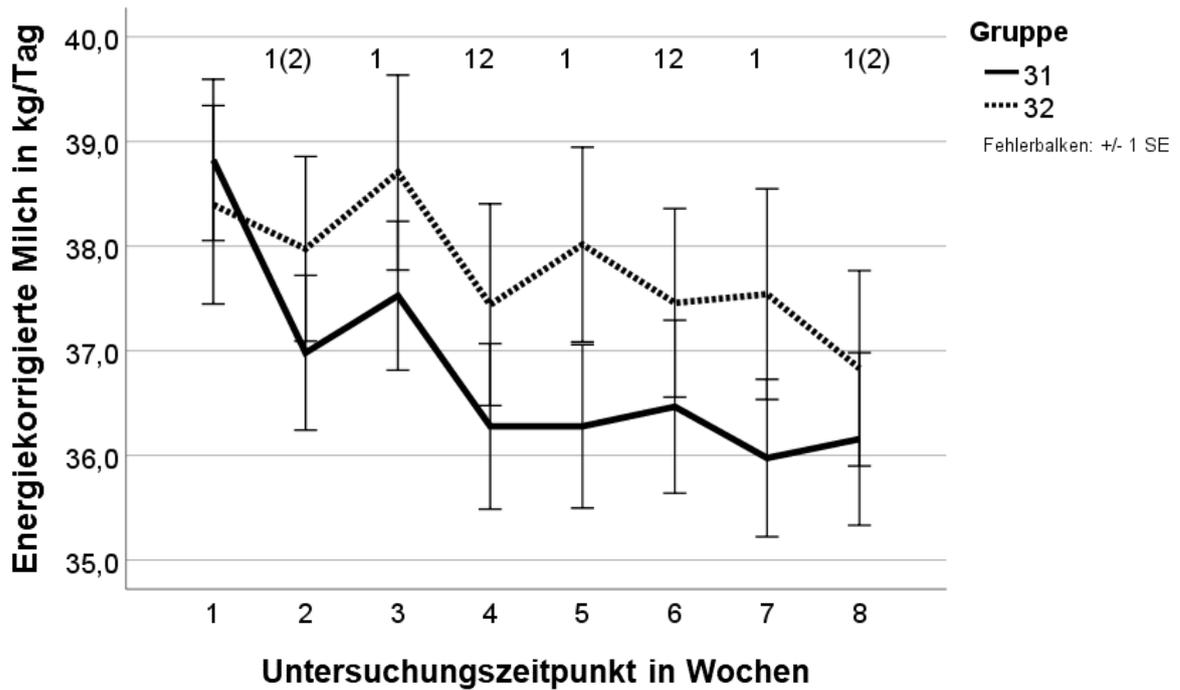


Abbildung 21: Tägliche EKM in der Untersuchungsreihe 2

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,3$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,5$.

Beim Harnstoffgehalt der Milch zeigten sich in den Wochen eins, zwei, vier und acht signifikante Effekte der Gruppe (Abbildung 22). In den Wochen drei und sieben waren die Effekte tendenziell signifikant. Die Untersuchungsgruppe lag dauerhaft unterhalb der Kontrollgruppe im Harnstoffwert. Die Kontrollgruppe zeigte einen signifikanten Effekt über die Zeit in den Wochen zwei, drei, fünf und sieben. Dieser Effekt über die Zeit stellte sich auch in der Untersuchungsgruppe in den Wochen zwei, sechs und sieben dar.

Weitere Milchdaten finden sich im Anhang in der Tabelle 35.

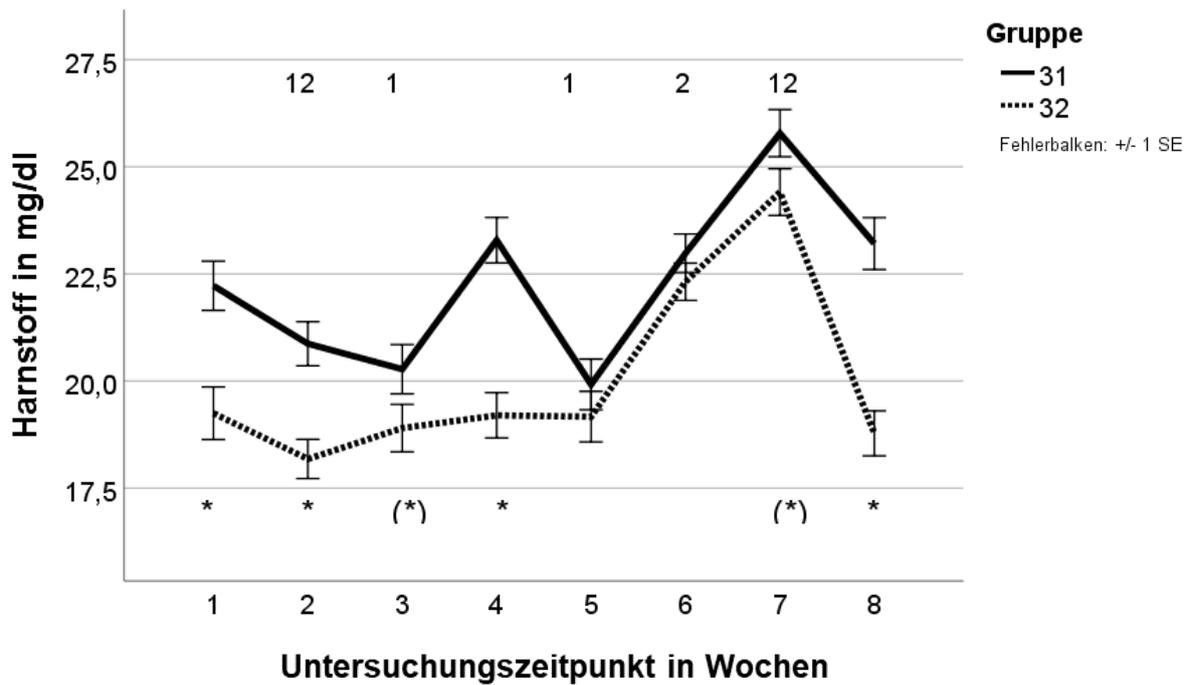


Abbildung 22: Täglicher Harnstoffgehalt der Milch in der Untersuchungsreihe 2
 Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$

4.3. Untersuchungsreihe 3

Die Untersuchungsreihe 3 verlief über 19 Wochen. Es wurden in der Gruppe 31 39 und ab der zwölften Woche 37 Rinder für die Erhebung der Daten herangezogen. Bei der Gruppe 32 waren es 39 und ab der zwölften Woche 38 Tiere, wenn es bei verschiedenen Parametern nicht anders beschrieben wird. Die Gruppe 31 war dabei die Untersuchungsgruppe und die Gruppe 32 war die Kontrollgruppe. In der Woche 9 wurde ein Gruppentausch vollzogen, sodass dann Gruppe 31 Kontrollgruppe und die Gruppe 32 Untersuchungsgruppe war. Die Tiere erhielten eine Grundration als TMR (11% Anwelksilage, 16% Luzernesilage, 36% Maissilage, 16% Press-Schnitzel, 8% Rapsextraktionsschrot). Innerhalb der Untersuchungsgruppe wurde Calciumsulfat als CS-Dihydrat QS zugefüttert, um den Schwefelgehalt anzuheben. Im dritten Abschnitt wurde der Ration der Untersuchungsgruppe Natriumhydrogencarbonat in Form von BICAR®Z zugesetzt, um den DCAB-Wert anzuheben.

4.3.1. Futterration

Wie man der Abbildung 23 entnehmen kann, stellten sich in der Chloridaufnahme signifikante Effekte der Gruppe, der Zeit und der Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit ein. Beide Gruppen starteten in der Woche null auf einem Niveau von 105 g/Tier/d Chlorid. Ab der ersten Woche trat ein signifikanter Effekt der Gruppe auf, der bis zur 18. Woche anhielt ($p < 0,001$). Zu Beginn nahm die Untersuchungsgruppe 31 signifikant mehr Chlorid mit einem Höchstwert von 106 g/Tier/d auf. Die Kontrollgruppe 32 nahm 59 g/Tier/d Chlorid auf. Ab der neunten Woche ist es dann die Untersuchungsgruppe 32, die einen signifikant höhere Chloridmenge aufnahm. Nach der Zugabe von Natriumbicarbonat frass die Untersuchungsgruppe wieder weniger Chlorid am Tag als die Kontrollgruppe.

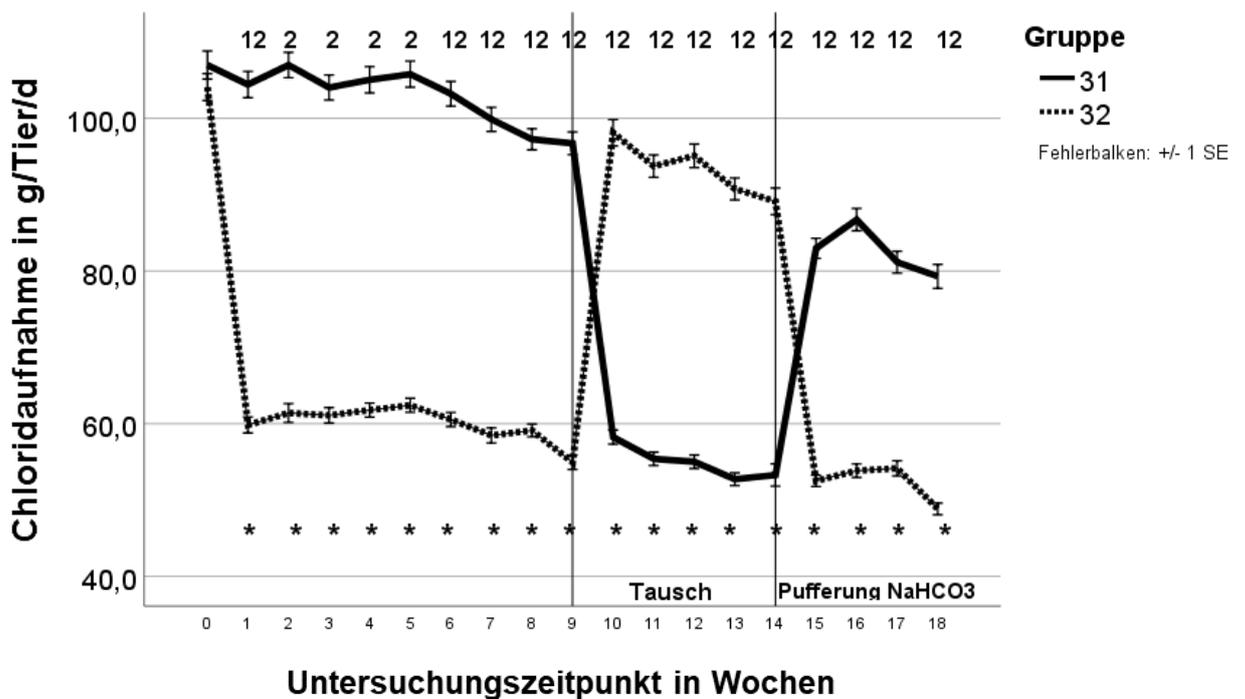


Abbildung 23: Tägliche Chlorid-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$, Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

Auch in der Schwefelaufnahme können signifikante Effekte der Zeit und der Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit der Abbildung 24 entnommen werden. Es starteten beide Gruppen auf einem Niveau von 71 g. Dabei ergab sich ab der ersten Woche zwischen den beiden Gruppen ein signifikanter Effekt. Der höchste Wert für die Schwefelaufnahme in der Untersuchungsgruppe lag in der Woche sechs bei 102 g gegenüber einem Tiefstwert von 58 g in Woche 18 in der Kontrollgruppe. Dabei zeigte sich ein Effekt über die Zeit in der Untersuchungsgruppe ab der ersten Woche. In der Kontrollgruppe trat ein solcher Effekt nur

in der sechsten Woche auf. Nach dem Tausch in der neunten Woche wiesen beide Gruppen signifikante Effekte der Zeit auf.

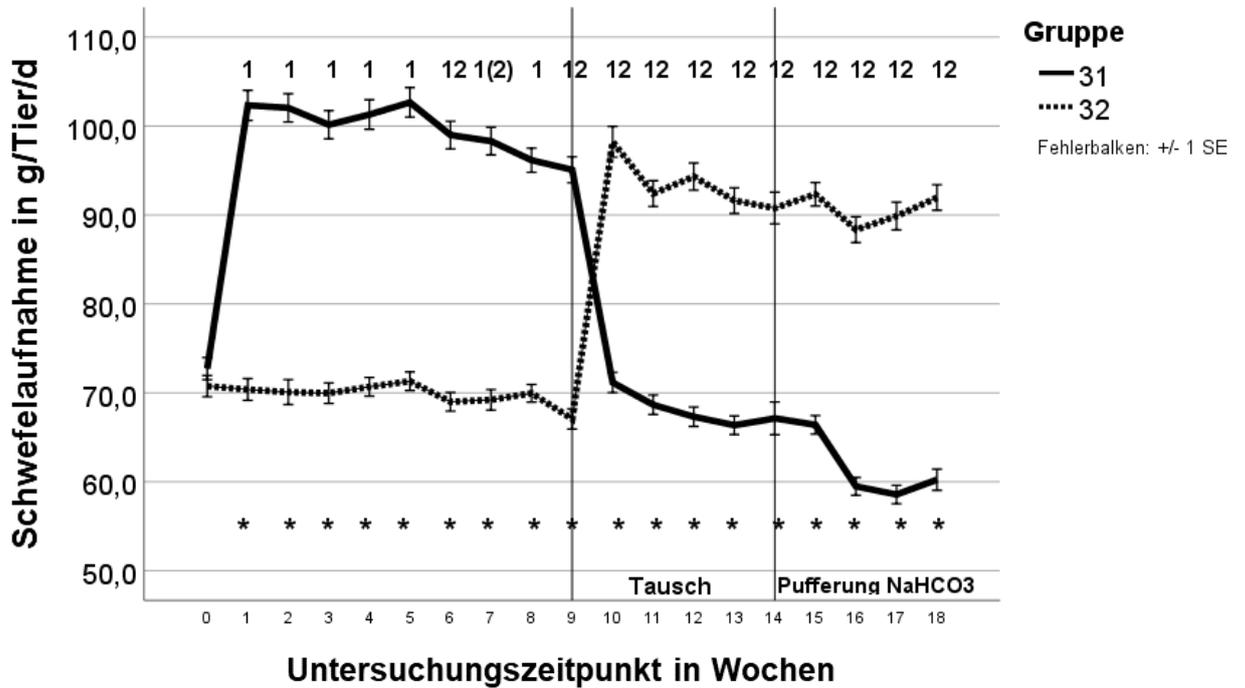


Abbildung 24: Tägliche Schwefelaufnahme in der Untersuchungsreihe 3
 Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,2$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

Der DCAB-Wert startete in beiden Gruppen auf einem Niveau von über 1000 meq/Tier/d. Ab der ersten Woche stellten sich signifikante Effekte der Gruppe ein, wie es in der Abbildung 25 dargestellt wird. Dabei konnte man am Ende der Untersuchungsreihe und beim Beginn der Pufferung eine Annäherung zwischen den beiden Gruppen erkennen. Der niedrigste Wert der Untersuchungsgruppe lag bei ca. 202 meq/Tier/d in der zehnten Woche. Der Höchstwert in der Kontrollgruppe ergab sich bei über 3000 meq/Tier/d. Nach dem Tausch wurde der Tiefstwert mit ca. 603 meq/Tier/d in der Woche 11 erreicht. Nach der Pufferung stieg der DCAB-Wert in der Untersuchungsgruppe auf über 2000 meq/Tier/d an. Auch der Effekt der Zeit war in beiden Gruppen zu jedem Zeitpunkt hochsignifikant.

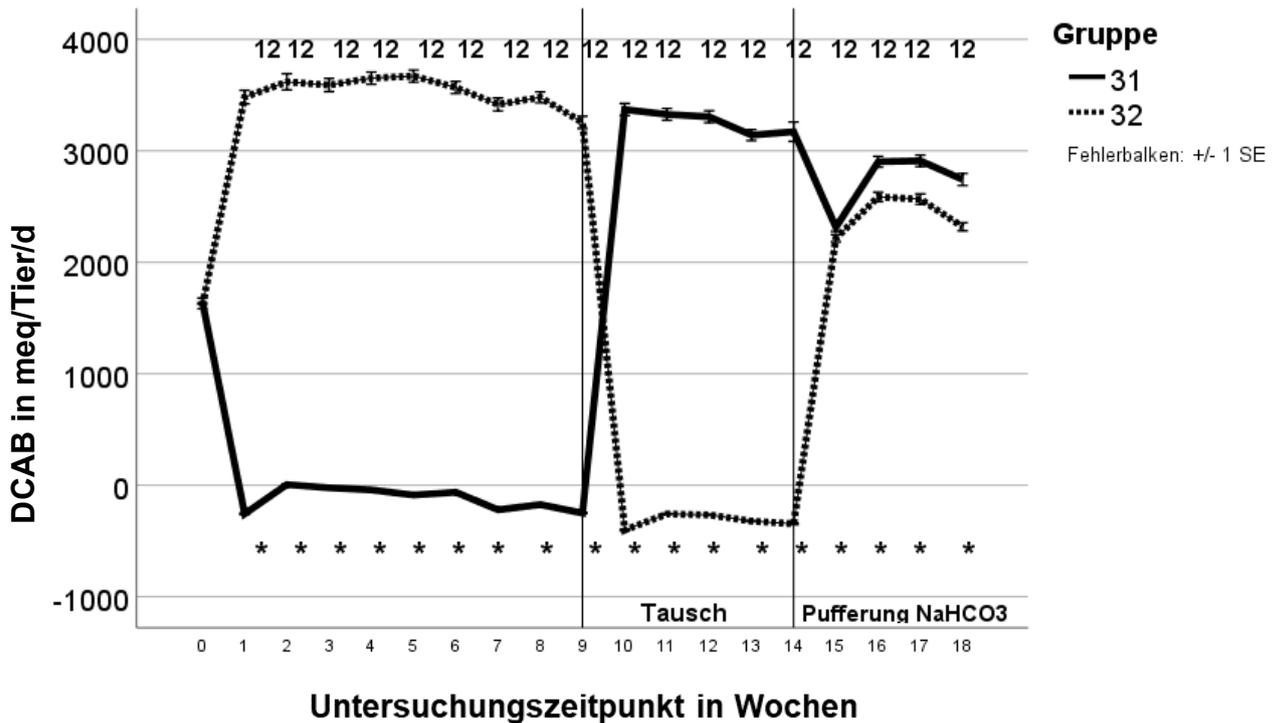


Abbildung 25: Tägliche DCAB-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

Beim Vergleich der ADF beider Gruppen fiel in der achten Woche ein signifikanter Effekt der Wechselwirkung zwischen Zeit und Gruppe auf (Abbildung 26). Nach dem Tausch zeigten sich weitere signifikante Effekte in den Wochen zehn, elf, 13 und 14. Ab der Woche 14 erfolgte die Pufferung, wobei auch hier signifikante Effekte nachgewiesen werden konnten. Der Effekt der Zeit stellte sich in der Gruppe 31 ab der zweiten Woche immer mal wieder als signifikant dar. Die Gruppe 32 zeigte diesen Effekt erst ab der neunten Woche des Untersuchungszeitraums.

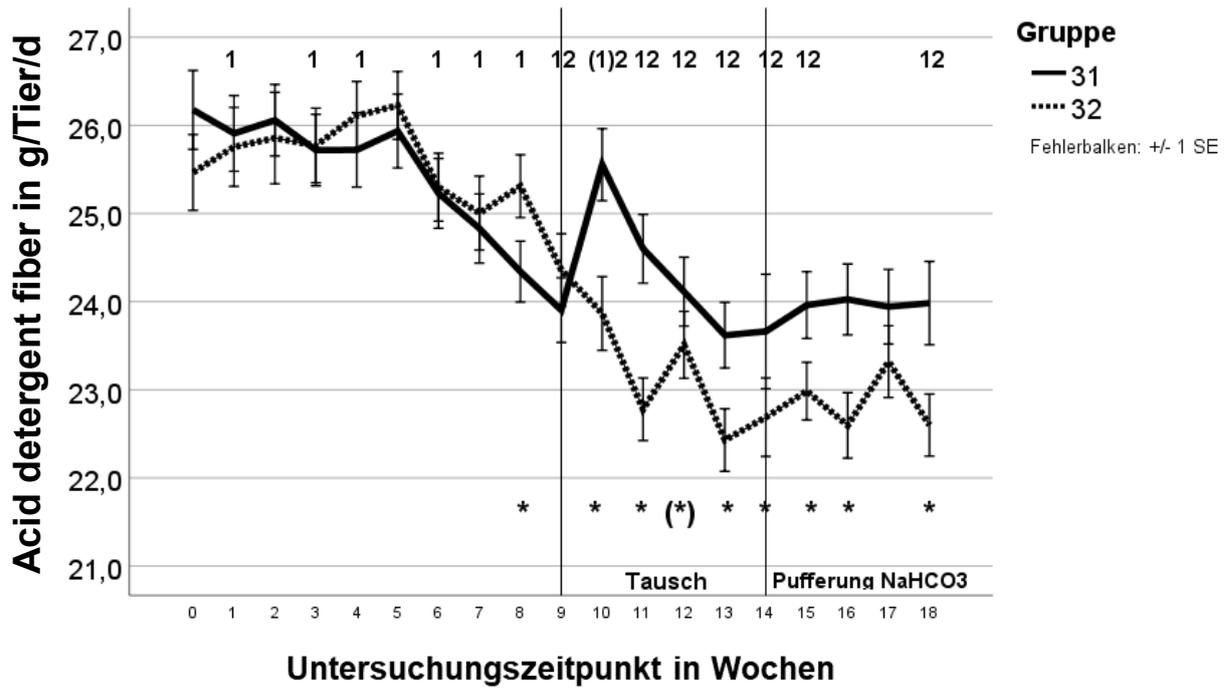


Abbildung 26: Tägliche ADF-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,2$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

Wie man der Abbildung 27 entnehmen kann, zeigte der Verlauf der ADL ähnliche signifikante Effekte wie bei der ADF, wodurch diese Ergebnisse wiederum bestätigt wurden.

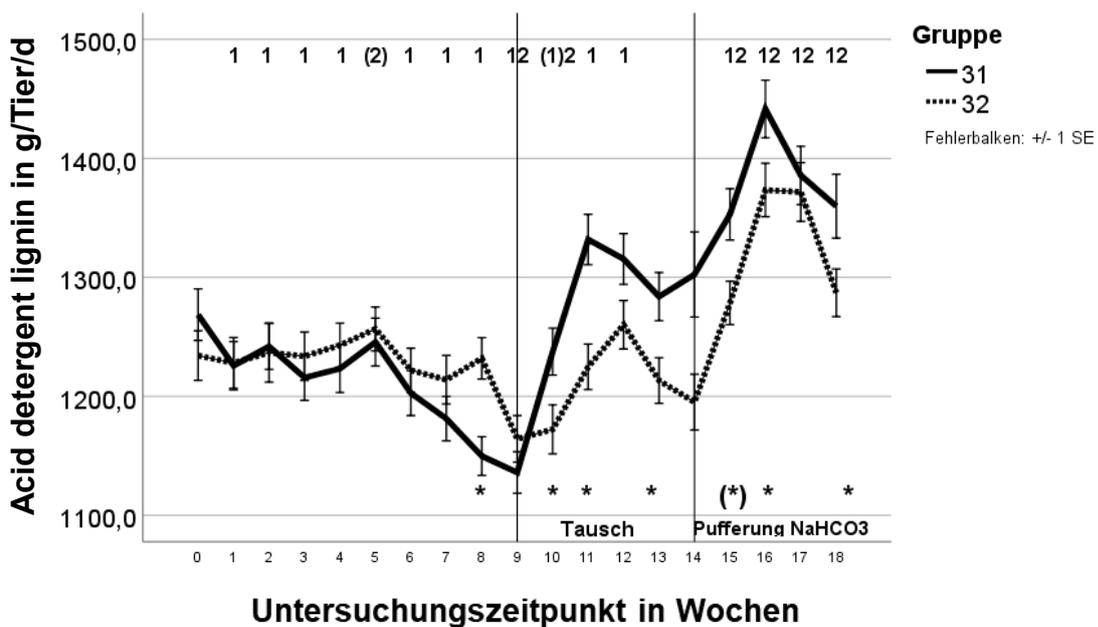


Abbildung 27: Tägliche ADL-Aufnahme in der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,1$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

Weitere Daten zu den Futtermitteln der Untersuchungsreihe 3 finden sich im Anhang in der Tabelle 42.

4.3.2. Futteraufnahme

Im Untersuchungszeitraum stellten sich bei der Frischmasseaufnahme signifikante Effekte der Zeit und in der Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit dar (Abbildung 28). Der Effekt der Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit war in der achten Woche ersichtlich. Die Untersuchungsgruppe nahm mit 54 kg signifikant weniger auf als die Kontrollgruppe mit 56 kg ($p = 0,025$). Nach dem Tausch der beiden Gruppen frassen die Tiere in der Untersuchungsgruppe mit 53-54 kg in den Wochen zehn, elf und 13 signifikant weniger als die Tiere in der Kontrollgruppe mit 56-58 kg. Nach der Pufferung in der Woche 14 nahm die Untersuchungsgruppe in der Woche 16 mit 47 kg und in der Woche 18 mit 48 kg signifikant weniger auf als die Kontrollgruppe mit 50-51 kg. Der Effekt der Zeit war in beiden Gruppen ab der ersten Woche über den gesamten Untersuchungszeitraum signifikant.

Durch die Analyse der Trockenmasseaufnahme konnte dieses Bild bestätigt werden.

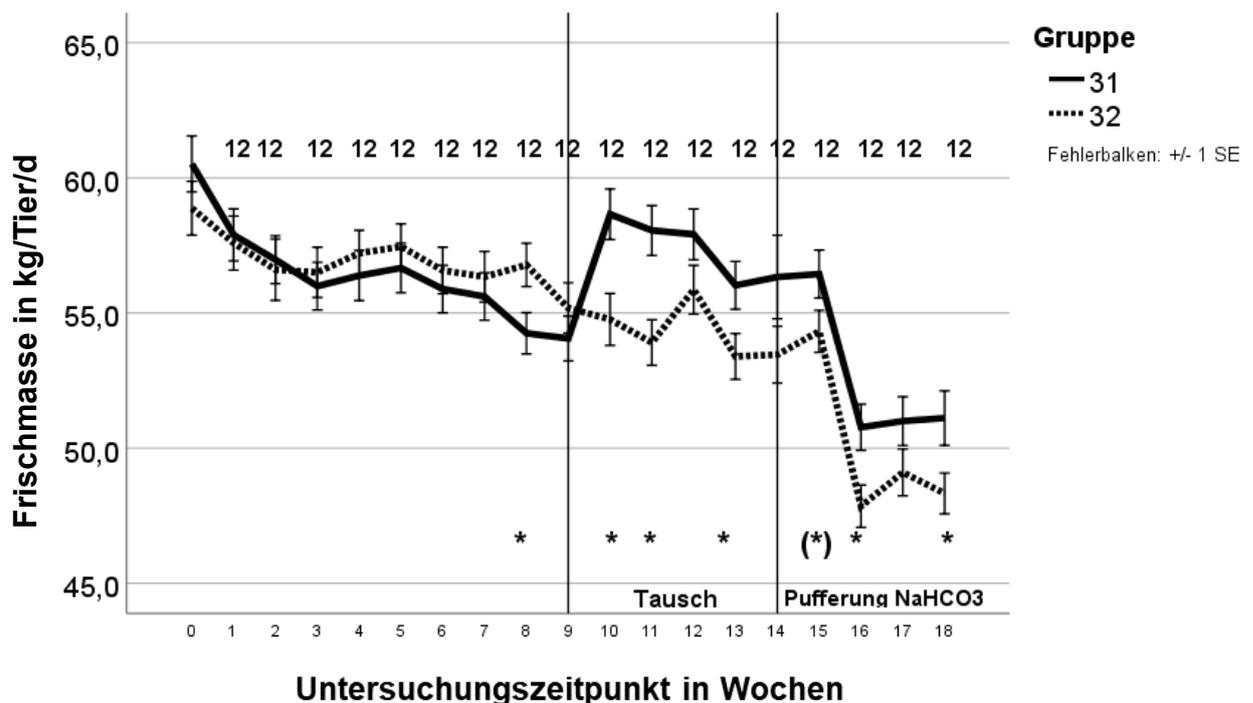


Abbildung 28: Tägliche Frischmasseaufnahme in der Untersuchungsreihe 3
 Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,1$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

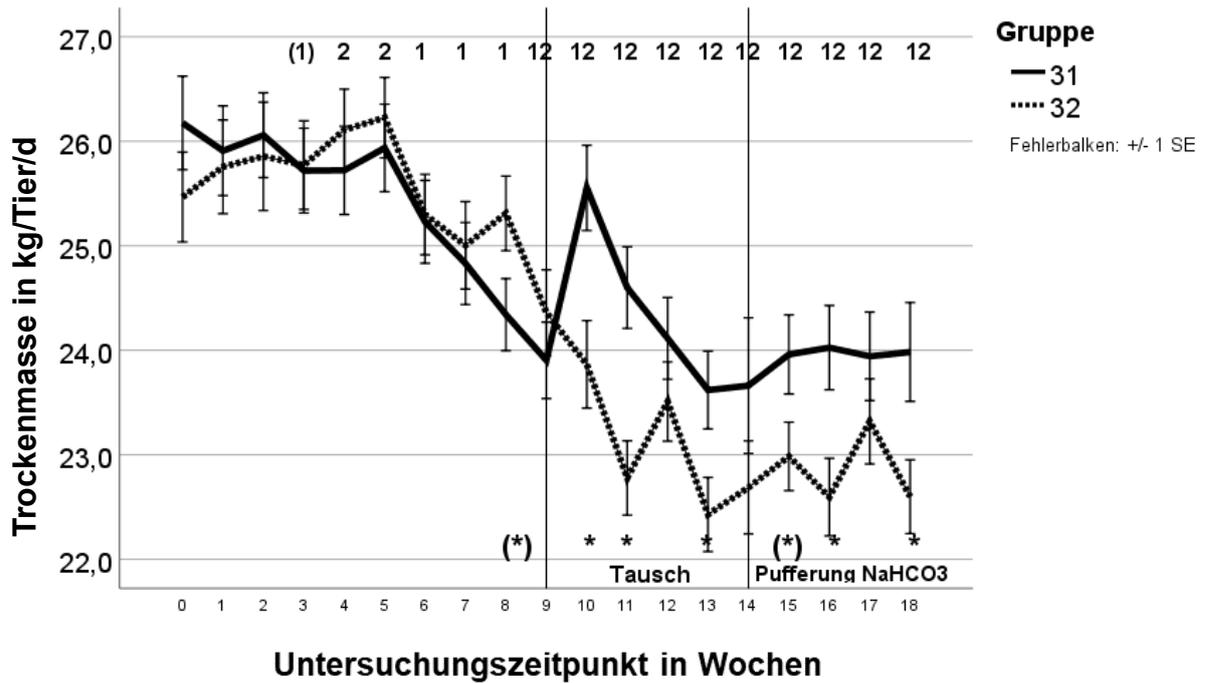


Abbildung 29: Tägliche Trockenmasseaufnahme in der Untersuchungsreihe 3
 Test auf feste Effekte: $p < 0,1$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

4.3.3. Blutparameter

Innerhalb der Untersuchungsreihe drei wurden an fünf Zeitpunkten die Blutwerte bestimmt.

Die Enzymaktivitäten im Blut beider Gruppen zeigten im Vergleich keine signifikanten Effekte. Der Effekt über die Zeit stellte sich vereinzelt signifikant dar. Die GLDH und CK sank ab, während die anderen Werte in beiden Gruppen anstiegen (Abbildung 30-33).

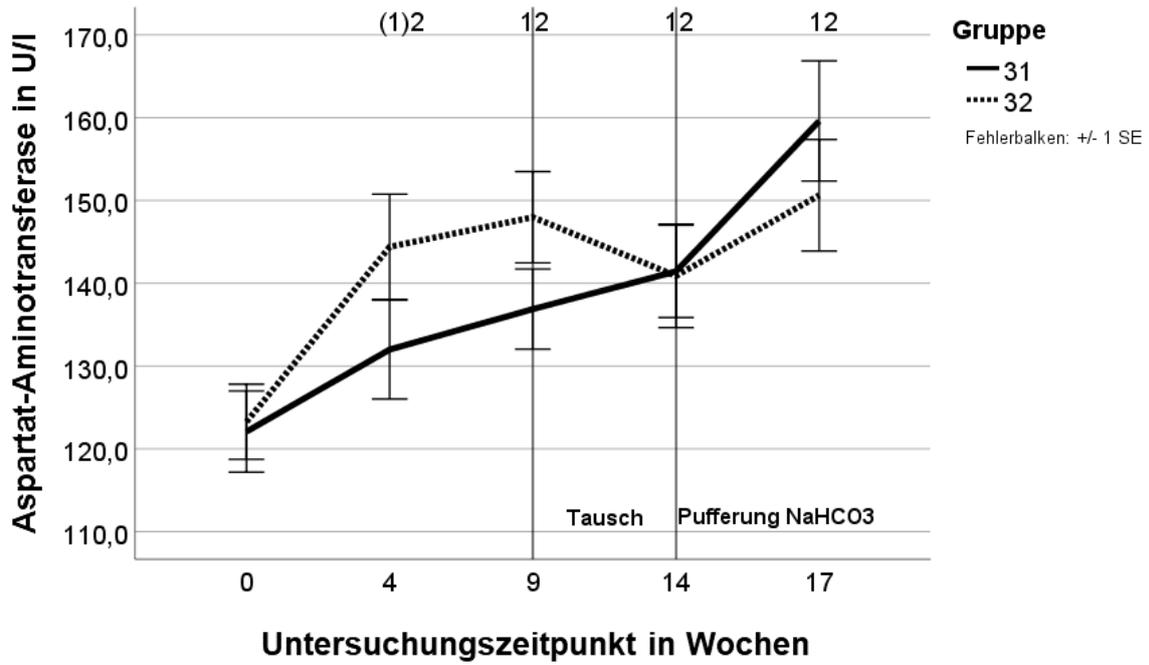


Abbildung 30: ASAT im Blut der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,6$; Zeit $p < 0,001$, Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,1$.

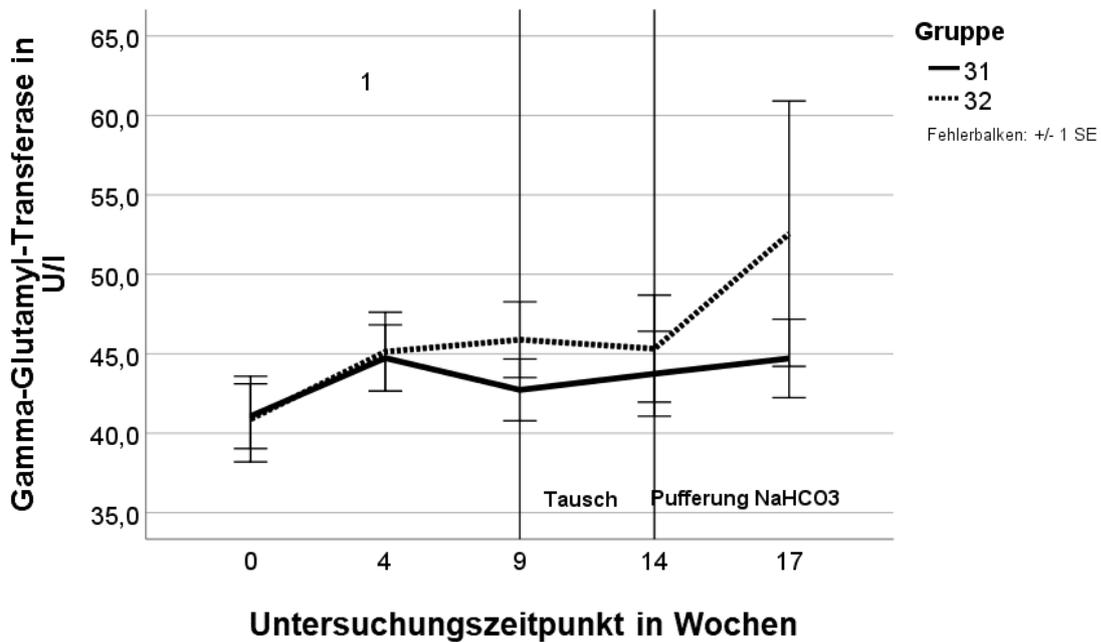


Abbildung 31: GGT im Blut der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,4$; Zeit $p < 0,1$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,6$.

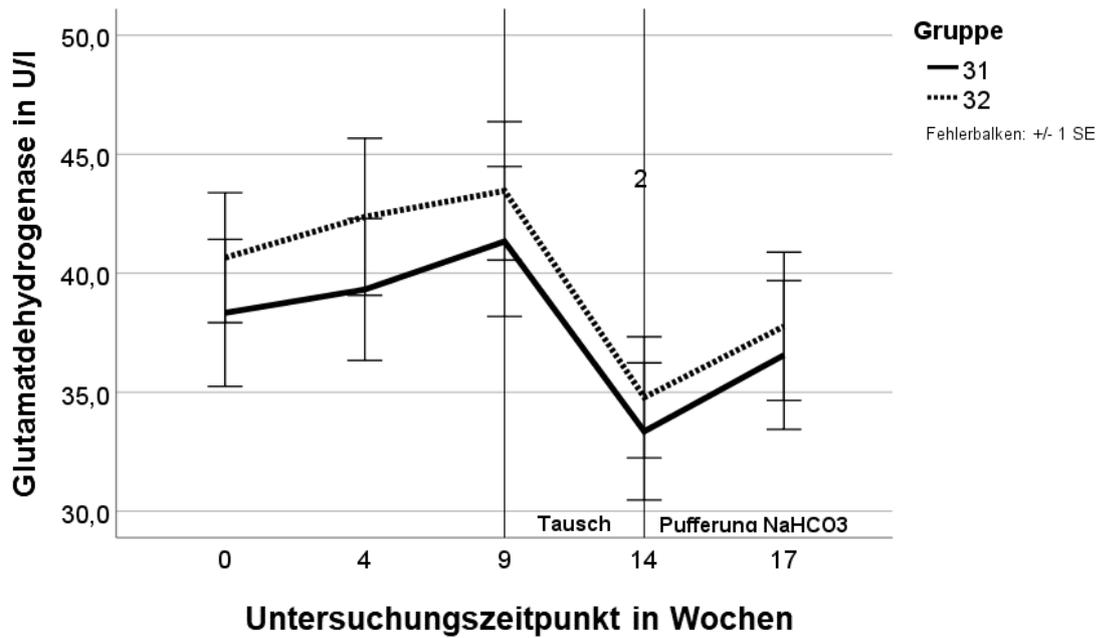


Abbildung 32: GLDH im Blut der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,5$, Zeit $p < 0,001$, Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,9$.

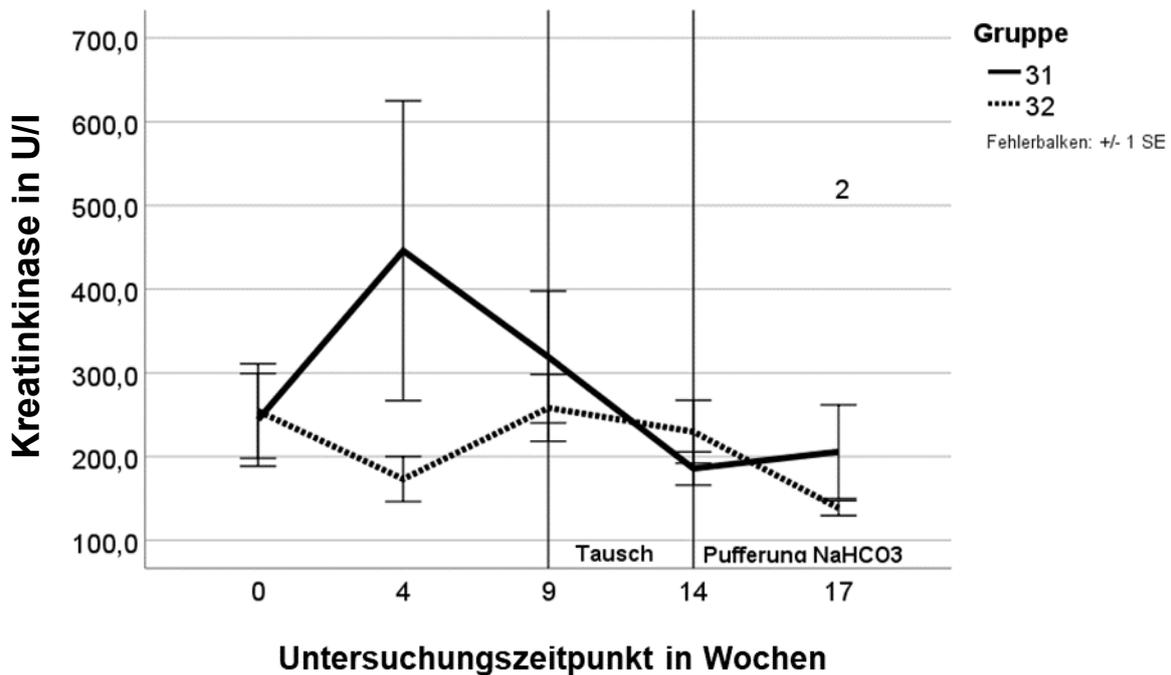


Abbildung 33: CK im Blut der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,1$; Zeit $p < 0,3$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,2$.

Bei den Metaboliten im Blut zeigten nur der Chloridgehalt (Abbildung 36) und der Harnstoffgehalt (Abbildung 37) signifikante Effekte der Gruppe bzw. in der Wechselwirkung zwischen Gruppe und Zeit. Der Chloridwert der Untersuchungsgruppe stieg gegenüber der Kontrollgruppe signifikant an. Der Harnstoffwert war über die gesamte Untersuchungsdauer

bei der Gruppe 31 signifikant niedriger als in der Gruppe 32, wobei sich die Werte zum Ende wieder annährten.

Der Effekt der Zeit ergab sich immer einmal wieder signifikante Unterschiede, was man den Abbildungen 34-39 und der Tabelle 24 entnehmen kann.

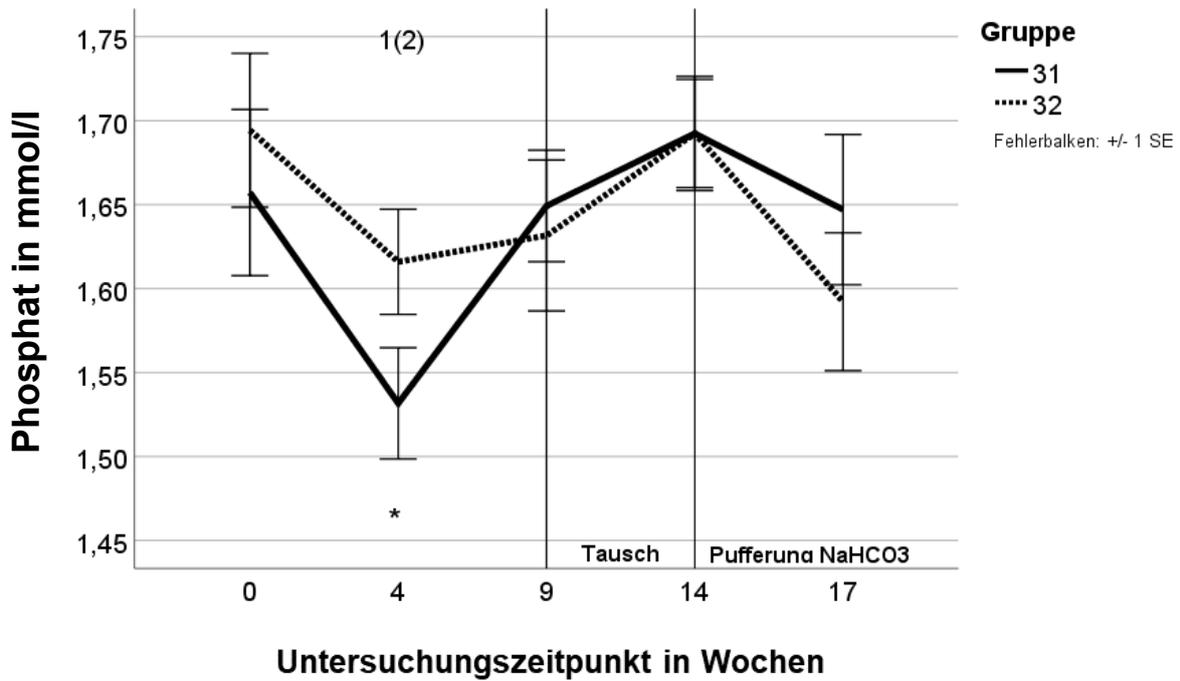


Abbildung 34: Phosphat im Blut der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,7$; Zeit $p < 0,002$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,3$.

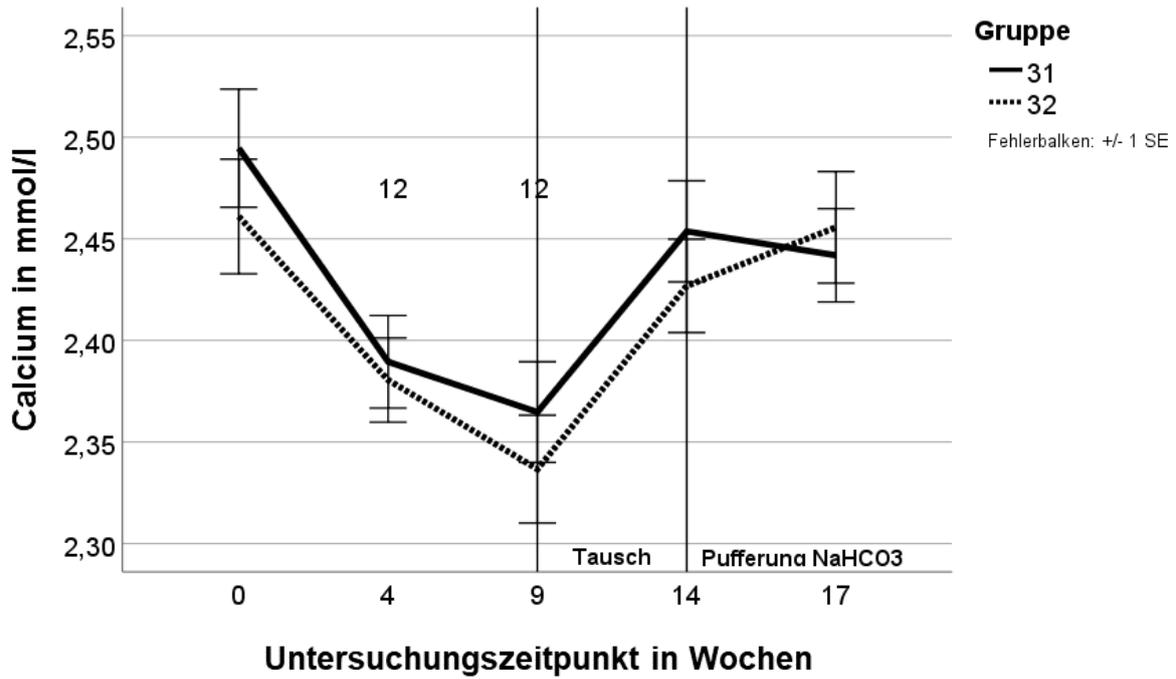


Abbildung 35: Ca im Blut der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,4$; Zeit $p < 0,001$, Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,8$.

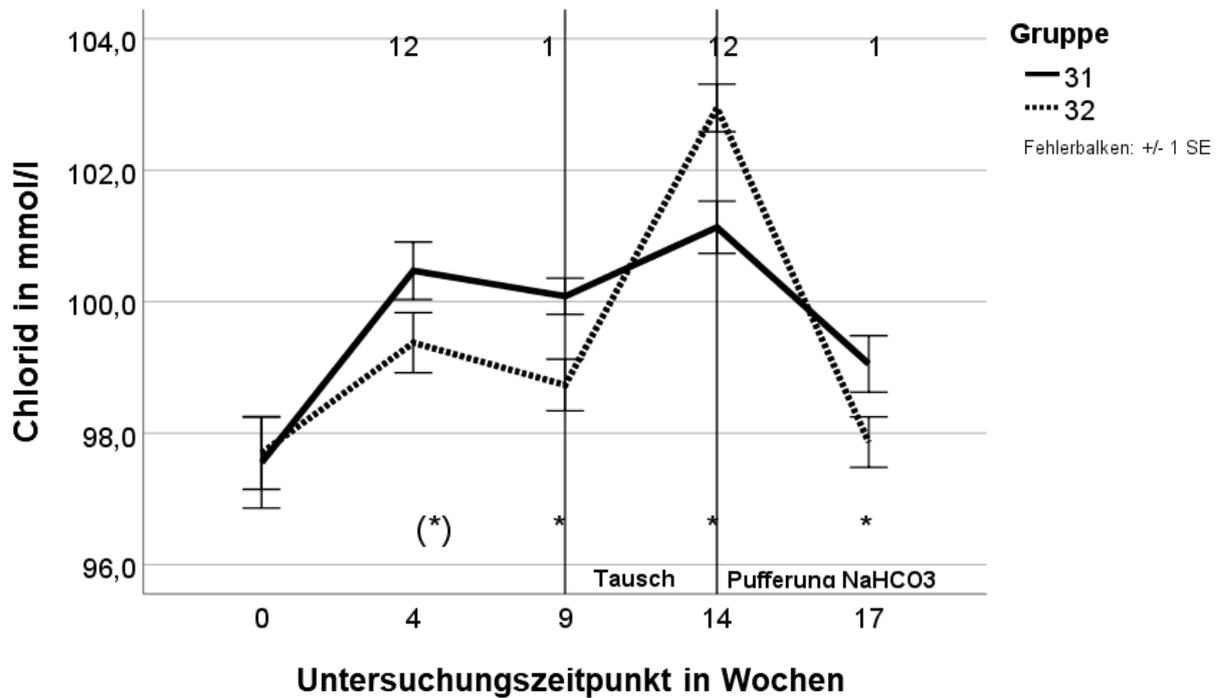


Abbildung 36: Chlorid im Blut der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,1$, Zeit $p < 0,001$, Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,004$.

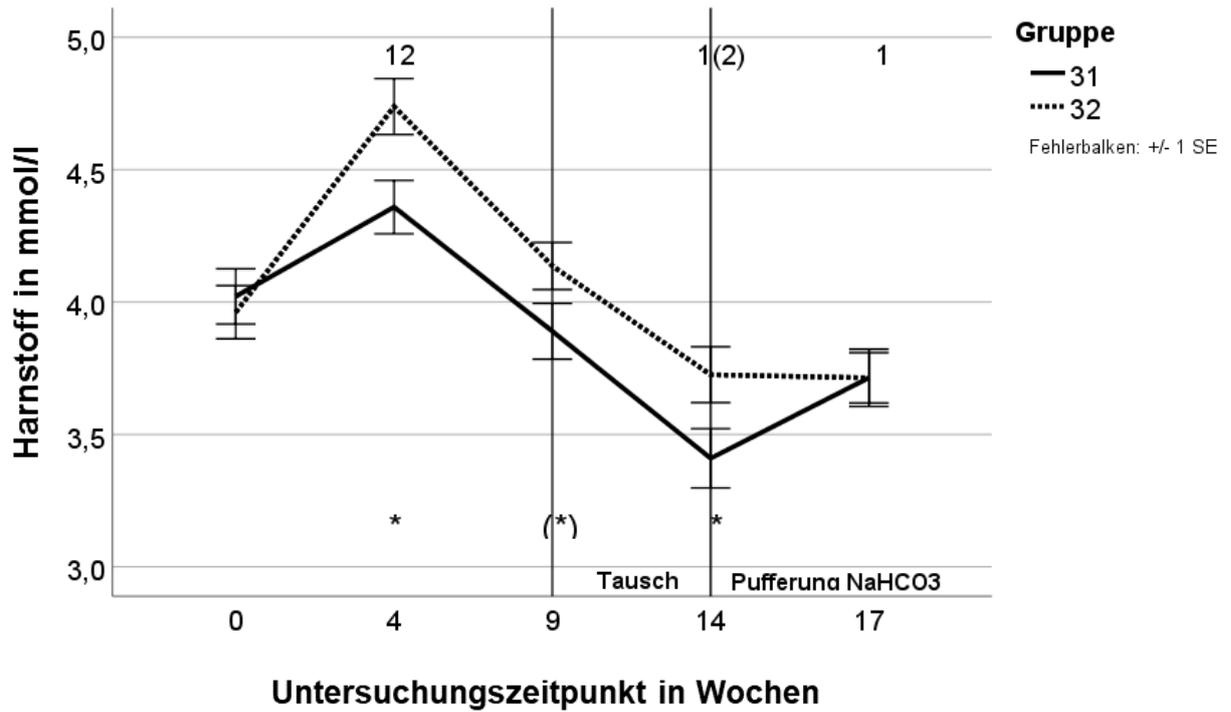


Abbildung 37: Harnstoff im Blut der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,04$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,03$.

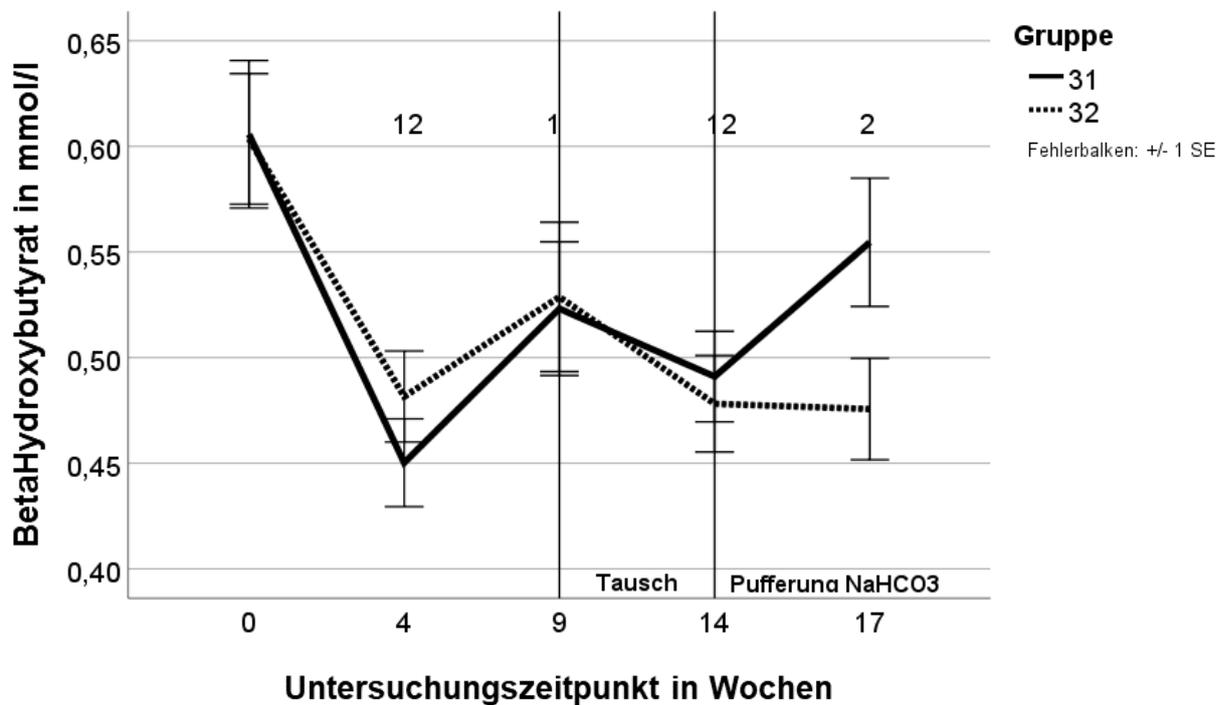


Abbildung 38: BHBS im Blut der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,6$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,3$.

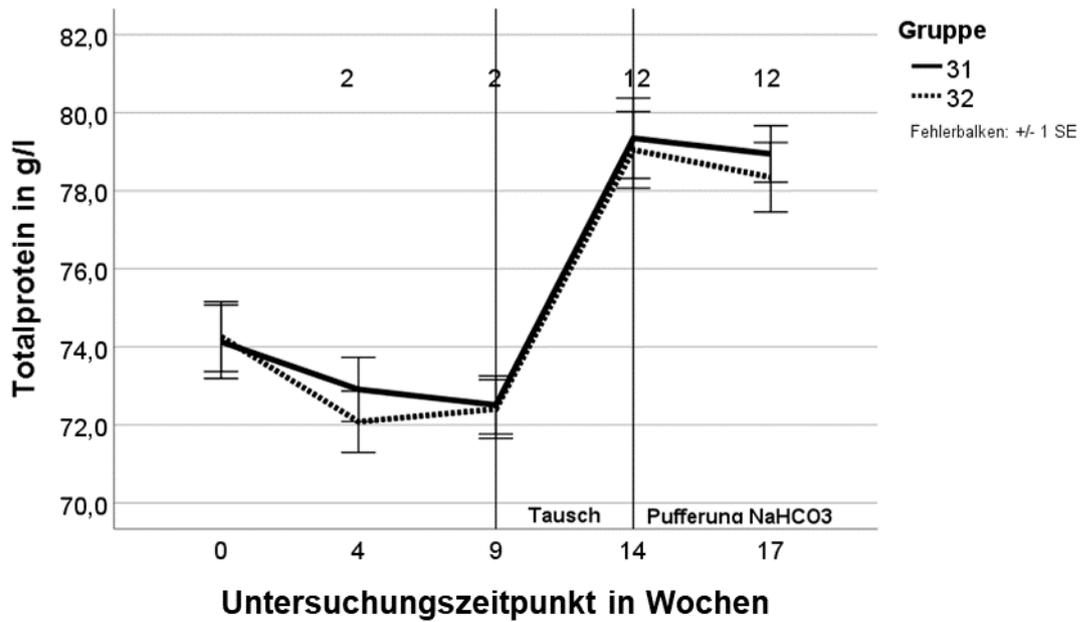


Abbildung 39: Gesamtprotein im Blut der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,6$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,9$.

Tabelle 24: Blutwerte mit nur 2 Messwerten der Untersuchungsreihe 3

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
Mg 0 in mmol/l	1,03	1,02	0,08	0,07
Mg 4 in mmol/l	1,02	1,00	0,07	0,07
NEFA 0 in mmol/l	0,07	0,07	0,04	0,06
NEFA 4 in mmol/l	0,10 ^a	0,09	0,06	0,04
Glu 0 in mmol/l	4,09	4,07	0,47	0,49
Glu 4 in mmol/l	3,97	3,99	3,61	0,29
tBili 0	0,83	0,87	1,02	1,13
tBili 4	0,79	0,72	0,82	0,84

a + b: Signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,02$).

4.3.4. Kuhsignale

In den Wochen 0-16 wurde das Wiederkau- und das Liegeverhalten der Tiere beobachtet. Die 1 stand dabei für liegend und wiederkäuend, die 2 für stehend und nicht wiederkäuend. Beim Wiederkäuverhalten ergaben sich außer in der Woche 0 keine signifikanten Effekte der Gruppe. Dabei wiederkauten in der Gruppe 31 weniger Tiere ($p = 0,022$). Das Wiederkauverhalten steigerte sich jedoch in der Gruppe 31 über die Zeit signifikant. In der Gruppe 32 waren keine Effekte der Zeit festzustellen.

In der Gruppe 31 lagen auch signifikant weniger Kühe in den Wochen vier und 15 als in der Gruppe 32. Über die Zeit steigerte sich innerhalb der Gruppe 32 das Liegeverhalten in den Wochen vier, 10 und 15. Die Gruppe 31 zeigte keine signifikanten Effekte über die Zeit (Tabelle 25).

Tabelle 25: Wiederkau- und Liegeverhalten jeweils der Wochen 0 bis 16 der Untersuchungsreihe 2

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
WDK 0*	1,31	1,59	0,46	0,49
WDK 1	1,56 ^a	1,62	0,50	0,49
WDK 2	1,54 ^a	1,51	0,50	0,50
WDK 3	1,49	1,56	0,50	0,50
WDK 4	1,62 ^a	1,51	0,49	0,50
WDK 5	1,44	1,54	0,50	0,50
WDK 6	1,54 ^a	1,46	0,55	0,50
WDK 7	1,51	1,56	0,50	0,55
WDK 8	1,46	1,51	0,64	0,50
WDK 9	1,64 ^a	1,44	0,62	0,50
WDK 10	1,59 ^a	1,51	0,63	0,50
WDK 11	1,56	1,64	0,64	0,48
WDK 12	1,67 ^a	1,49	0,62	0,50
WDK 13	1,62 ^a	1,51	0,63	0,55
WDK 14	1,59 ^a	1,49	0,63	0,64
WDK 15	1,59	1,74	0,75	0,59
WDK 16	1,59	1,67	0,75	0,66
L 0	1,23	1,15	0,42	0,36
L 1	1,28	1,18	0,45	0,38
L 2	1,38	1,21	0,49	0,40
L 3	1,26	1,21	0,44	0,40
L 4*	1,13	1,36 ^b	0,33	0,48
L 5	1,26	1,31	0,44	0,46
L 6	1,18	1,18	0,45	0,38
L 7	1,23	1,18	0,42	0,45
L 8	1,23	1,26	0,58	0,44
L 9	1,36	1,21	0,62	0,40
L 10	1,31	1,33 ^b	0,63	0,47
L 11	1,23	1,28	0,62	0,45
L 12	1,23	1,08	0,58	0,27
L 13	1,23	1,18	0,58	0,45
L 14	1,23	1,23	0,58	0,58
L15*	1,26	1,44 ^b	0,71	0,64
L16	1,33	1,51	0,73	0,68

* Signifikanter Gruppenunterschied ($p < 0,02$); a + b: Signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,02$).

Die Kotbonitur wurde in den Wochen null, drei, neun und 16 bestimmt. Die Intensität und Frequenz der Pansenmotilität wurden in den Wochen null, drei und neun erfasst. Bei der Intensität standen 1 für wenig und 3 für stark und die Frequenz wurde über eine Minute ausgezählt.

Bei der Untersuchung der Verdauung fielen keine Effekte der Gruppe auf. Im Effekt der Zeit zeigte die Woche neun in beiden Gruppen ein signifikantes Weicher-Werden des Kotes und in der Woche 16 wurde der Kot dann in beiden Gruppen wieder signifikant fester (Tabelle 26).

Tabelle 26: Kotbonitur, Intensität und Frequenz der Pansenmotilität in den Wochen 0, 3, 9 und 16 der Untersuchungsreihe 3

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
Kot 0	3,00	2,93	0,44	0,38
Kot 3	2,96	2,91	0,35	0,37
Kot 9	2,25 ^a	2,42 ^b	0,34	0,38
Kot 16	3,21 ^a	3,13 ^b	0,38	0,34
PMI 0	2,00	1,91	0,40	0,83
PMI 3	1,69	1,55	0,85	0,68
PMI 9	2,00	1,73	0,60	0,78
PMF 0	1,85	1,82	0,55	0,75
PMF 3	1,31	1,27	0,63	0,46
PMF 9	1,58	1,18	0,51	0,60

a + b: Signifikante Zeitunterschiede ($p < 0,03$).

4.3.5. Lebendmasse, RFD, BCS

In den Wochen 0 und 12 wurde bei allen Tieren der beiden Gruppen die Rückenfettdicke, die Lebendmasse und der Body-Condition-Score nach Edmonson et al. (1989) bestimmt.

Die Gruppen wiesen nur in der Woche 0 innerhalb der Körperbonität einen signifikanten Unterschied auf und ansonsten ergaben sich zwischen den Gruppen keine signifikanten Veränderungen (Tabelle 27). Im Vergleich innerhalb der Gruppen über die Zeit zeigten beide Gruppen bei allen drei Werten eine signifikante Zunahme.

Tabelle 27 LM, RFD und BCS in Woche 0 und 12 der Untersuchungsreihe 3

Gruppe	Mittelwert		Standardabweichung	
	31	32	31	32
LM 0	690	688	62	68
LM 12	694	700 ^b	61	63
RFD 0 in mm	13,44	12,05	5,87	4,77
RFD 12 in mm	14,51 ^a	13,36 ^b	6,27	5,67
BCS 0*	2,53	2,32	0,60	0,46
BCS 12	2,60 ^a	2,45 ^b	0,65	0,47

* Signifikanter Gruppenunterschied ($p < 0,02$); a + b: Signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,01$).

4.3.6. Milchdaten

Die Milchmenge beider Gruppen startete auf einem einheitlichen Niveau (38,9 kg und 38,7 kg), wie es Abbildung 40 zu entnehmen ist. Danach lag die Milchmenge der Untersuchungsgruppe immer leicht unter der der Kontrollgruppe, wobei sich hier aber keine signifikanten Effekte der Gruppe ergaben. Der Effekt über die Zeit war in beiden Gruppen ab der zweiten Woche zu jedem Zeitpunkt signifikant und auch die Interaktion zwischen Zeit und Gruppe zeigte vereinzelt Effekte.

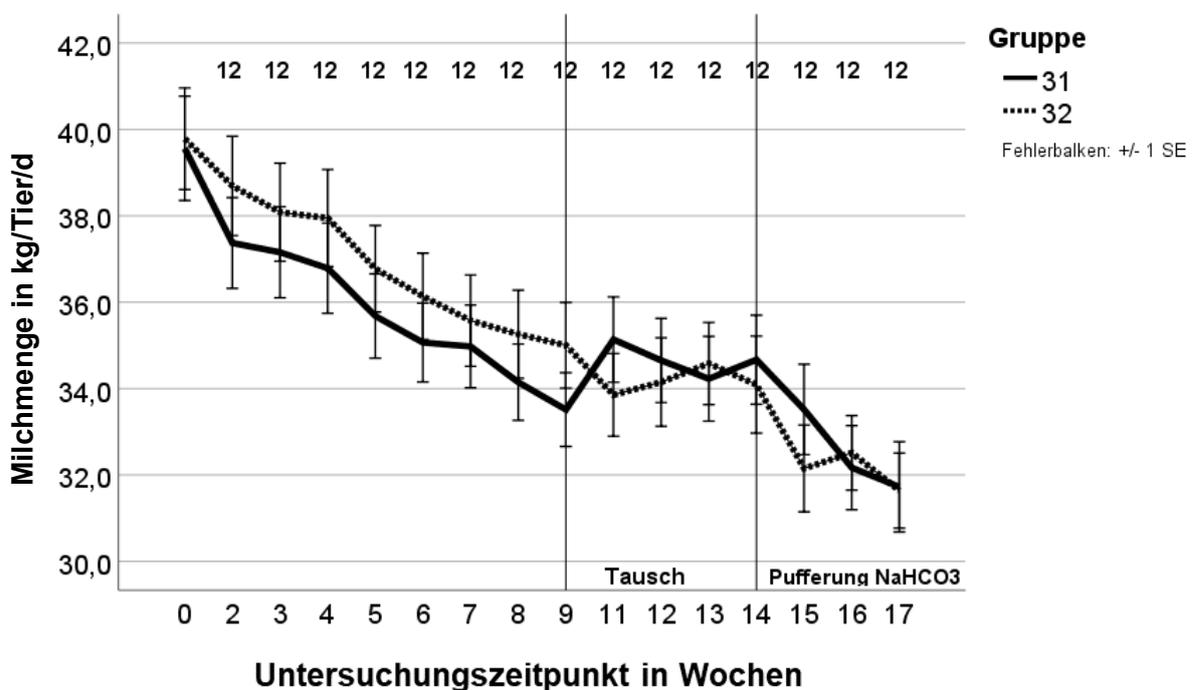


Abbildung 40: Tägliche Milchmenge der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,8$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

Die Auswertung der energiekorrigierten Milch konnte das Ergebnis der Milchmenge bestätigen, wobei hier ein tendenziell signifikanter Effekt der Gruppe in der Woche neun auftrat. Die Untersuchungsgruppe lieferte dabei eine Menge von 33,8 kg und die Kontrollgruppe eine Menge von 35,2 kg. Beim Vergleich innerhalb der Gruppen über die Zeit konnte man bei beiden Gruppen ein signifikantes Absinken der Menge ab der zweiten Woche feststellen. (Abbildung 41)

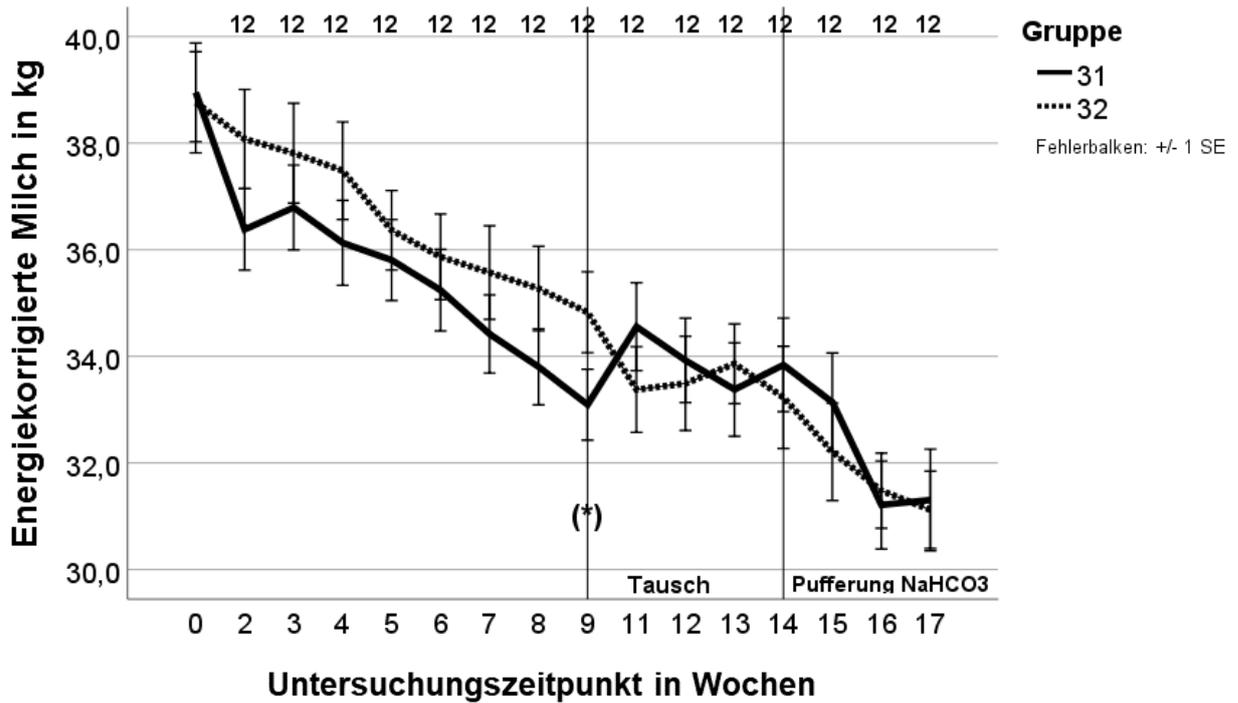


Abbildung 41: Tägliche EKM der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,7$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

Der Harnstoffgehalt der Milch stieg auf einem einheitlichen Niveau ein. Signifikante Gruppeneffekte waren dann in den Wochen zwei, drei, sieben, neun, 15 und 16 ersichtlich. Die Gruppe 32 lag dabei über die gesamte Untersuchungsdauer über dem Wert der Gruppe 31. Der Zeiteffekt war in beiden Gruppen signifikant, wie man der Abbildung 42 entnehmen kann.

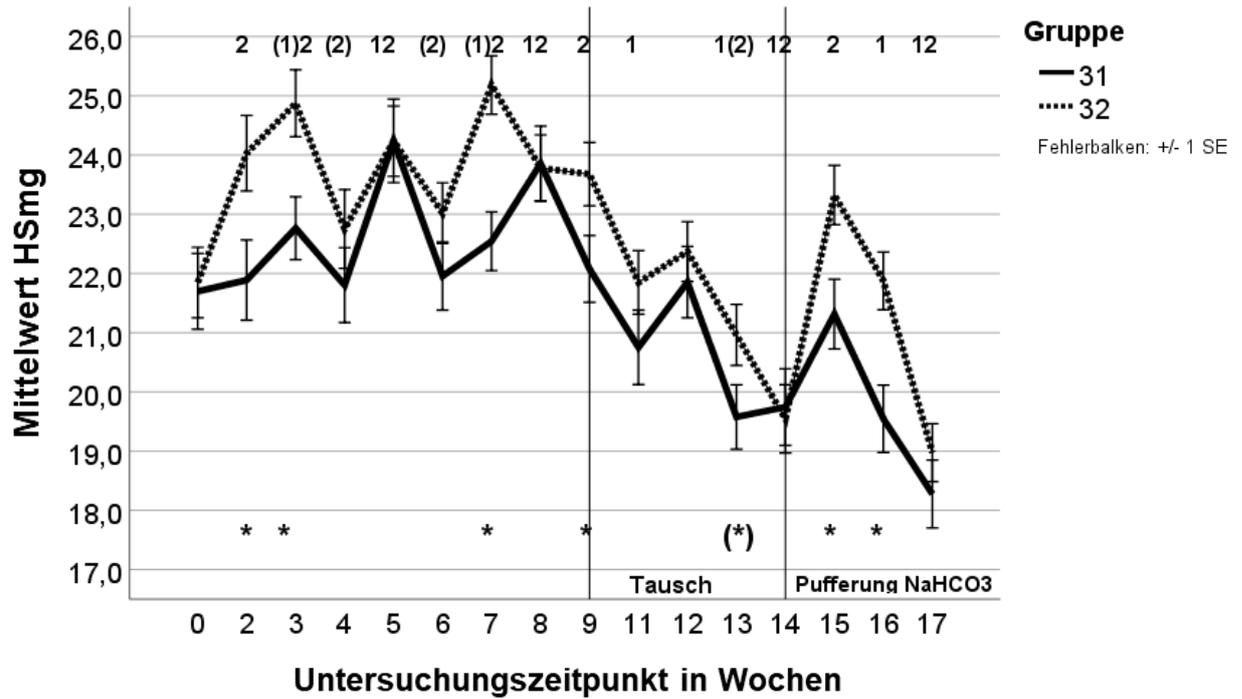


Abbildung 42: Harnstoffgehalt der Milch der Untersuchungsreihe 3

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,003$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$.

5. Diskussion

5.1. Kritik an der Untersuchungsmethode

Da ein großer Kuhbestand zur Verfügung stand, konnte eine einheitliche Zusammenstellung der beiden Gruppen durch ein zufälliges Auswählen der Tiere gewährleistet werden. Dieses Vorgehen führte allerdings zu einem Problem, wenn Tiere wegen Erkrankungen ausschieden. Dies führte dann zu einer ungleichmäßigen Verteilung der Tiere auf die Gruppen. Da es aber nicht bei vielen Tieren auftrat, konnte dieses Problem vernachlässigt werden.

Die verwendeten Scoringmethoden nach Edmonson et al. (1989) und nach Zaaijer und Noordhuizen (2003) waren leicht zu erlernen und durch die verwendete Modifizierung noch etwas aussagekräftiger.

Die Tiere der beiden Gruppen wurden während den ersten beiden Wochen mit den gleichen Rationen gefüttert, um einen einheitlichen Startpunkt gewährleisten zu können. Dies wirkte sich auf fast alle der erfassten Parameter aus. Nur bei der Harnstoffkonzentration in der Milch in der Untersuchungsreihe 2 und beim BCS in der Untersuchungsreihe drei ergaben sich bereits am Anfang signifikante Unterschiede, sodass die Tiere nicht auf einem einheitlichen Niveau starteten. Bei der Harnstoffkonzentration konnte für dieses Ergebnis keine Erklärung gefunden werden. Es spielte aber auch für den weiteren Untersuchungsverlauf keine Rolle. Den signifikanten Unterschied beim BCS kann man eventuell durch die etwas subjektive Einschätzung dieser Methode erklären, sodass sich auch daraus kein Problem ergab. Die Lebendmasse und auch die Rückenfettdicke wurden zusätzlich als objektivere Messwerte erfasst, wobei sich keine signifikanten Unterschiede in der Woche null ergaben.

Die Einschätzung des Pansens erfolgte nur für 12 Tiere von jeder Gruppe, wodurch die Repräsentativität der Ergebnisse etwas eingeschränkt wird. Dieses Vorgehen war allerdings durch die Betriebsabläufe vorgegeben und konnte deshalb nicht verändert werden.

5.2. Untersuchungsreihe 1

Senkung der DCAB durch Soy-Chlor®

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungsreihe 1 diskutiert, in der die Untersuchungsgruppe mit einer erniedrigten DCAB und einem erhöhtem Chloridgehalt durch Soy-Chlor® gefüttert wurde.

5.2.1. Futtermittellieferung und Futteraufnahme

Die Untersuchungsreihe startete bei allen Futtermittelparametern auf einem einheitlichen Niveau. Durch die Zugabe des Mineralsalzes Soy-Chlor® stieg in der Untersuchungsgruppe der Chloridgehalt deutlich an. Er lag mit 11 g/kg TM deutlich über der empfohlenen Fütterungskonzentration (Suttle 1991; Jeroch et al. 1999; NRC 2001). Auch der Chloridgehalt im Futter der Kontrollgruppe stieg an, aber mit 7 g/kg TM nicht auf ein so hohes Niveau wie in der Untersuchungsgruppe. Die Erhöhung in der Kontrollgruppe kann man auf die unterschiedliche Zusammensetzung des Grundfutters zurückführen.

Der Schwefelgehalt blieb auf einem ähnlichen Niveau, wobei auch hier eine leichte Steigerung festgestellt werden konnte, die man wiederum auf die Grundfutterzusammensetzung zurückführen kann.

Durch die Fütterung von sauren Salzen wurde der DCAB-Wert in der Untersuchungsgruppe auf -15 meq/kg TM abgesenkt. Er lag dadurch signifikant niedriger als in der Kontrollgruppe. Eine leichte Absenkung ergab sich auch in der Kontrollgruppe, die man auch auf das Grundfutter zurückführen konnte und die nicht so stark war wie in der Untersuchungsgruppe. Der DCAB-Wert der Untersuchungsgruppe lag deutlich unter den empfohlenen Werten in der Literatur. Es werden Werte zwischen 150 meq/kg TM und 330 meq/kg TM empfohlen (Staufenbiel et al. 2007; Chan et al. 2005; Apper-Bossard et al. 2006; Hu und Murphy 2004).

Durch die veränderte TMR-Zusammensetzung verringerte sich in der Untersuchungsgruppe die Futteraufnahme. Beide Gruppen stiegen mit einem einheitlichen Niveau ein. Die Kontrollgruppe mit 25,4 kg TM und die Untersuchungsgruppe mit 25,6 kg TM. Nach der Veränderung der Untersuchungsration nahm die Futteraufnahme der Untersuchungsgruppe um 1 kg TM ab, während die Futteraufnahme in der Kontrollgruppe konstant blieb. Dies kann man vor allem durch den niedrigen DCAB (Lean et al. 2019; Tucker et al. 1988) und eine eventuell auftretende subklinische Azidose erklären (Gelfert et al. 2006c). Wie es den

Ergebnissen bei Prädel (2021) zu entnehmen ist, zeigten die Tiere der Untersuchungsgruppe einen signifikanten Abfall des Blut pH-Wertes. Dieser zeigte zwischen den Gruppen jedoch keine signifikanten Unterschiede und blieb stets im Normbereich. Erklärbar ist dies über diverse Regelmechanismen, was auch in den Ergebnissen der Harnuntersuchung bei Prädel (2021) sichtbar ist. Die NSBA im Harn sinkt signifikant ab.

Durch welche sauren Salze die DCAB abgesenkt wird, spielt nach Lean et al. (2019) keine Rolle, was man auch mit dem Stoffwechsel von Chlorid erklären kann. Solange die Niere normal arbeitet und ausreichend Trinkwasser zur Verfügung steht, wird ein Überschuss an Chlorid einfach ausgeschieden (Stöber und Dirksen 2006).

Eine verminderte Schmackhaftigkeit der Ration durch den Zusatz von Soy-Chlor® kann man ausschließen, da vom Hersteller eine Geschmacksneutralität gewährleistet wird.

5.2.2. Blutparameter

Die Blutwerte zeigten im Verlauf der Untersuchung kaum signifikante Effekte der Gruppe. Nur das Totalprotein in der Untersuchungsgruppe fiel signifikant ab, was man eventuell mit der verminderten Futteraufnahme erklären kann, wodurch diese Daten wiederum gestützt werden.

Auch die Effekte über die Zeit stellten sich gering dar. Lediglich die Enzymaktivität veränderte sich etwas, was aber in beiden Gruppen gleichermaßen festgestellt werden konnte. Diese Ergebnisse kann man mit dem Fortschreiten der Laktation erklären.

Ein deutlicher Anstieg ergab sich beim Calciumgehalt in der Untersuchungsgruppe, was zu erwarten war, da ein abgesenkter DCAB-Wert die Calcium-Metabolisierung anregt (La Manna et al. 1999; Block 1984; Leno et al. 2017)

5.2.3. Kuhsignale

Bei den Kuhsignalen konnte in beiden Gruppen während der Untersuchung keine Veränderung festgestellt werden. Deshalb kann man davon ausgehen, dass in den von uns gefütterten Bereichen sowohl das Wiederkau- als auch das Liegeverhalten nicht beeinflusst wurden.

Die untersuchten Verdauungsparameter zeigten minimale Veränderungen, die man vernachlässigen kann. Daraus kann man ableiten, dass weder der DCAB-Wert zu niedrig noch der Chloridgehalt zu hoch angesetzt waren. Andernfalls wäre mit Durchfällen, einer klinischen

Azidose oder auch Tympanien zu rechnen gewesen (Gelfert et al. 2006b; Stöber und Dirksen 2006). Dies erschließt sich auch aus den Ergebnisse der Pansensaftuntersuchung bei Prädel (2021). Es kam zwar zu einem geringgradigem Abfall des pH-Wertes im Pansensaft, jedoch lag dieser zu keinem Zeitpunkt unterhalb des Referenzbereichs.

5.2.4. Lebendmasse, RFD, BCS

Die 3 Parameter zur Beurteilung der Körperkonditionen nahmen während der Untersuchung einheitlich zu, was man gleichermaßen in beiden Gruppen beobachten konnte. Auch diesen Aspekt kann man, ähnlich wie die veränderten Enzymaktivitäten im Blut, durch das Fortschreiten der Laktation erklären.

5.2.5. Milchdaten

In der Woche null starteten beide Gruppen mit einer ähnlichen Milchmenge von 38,0 kg in der Kontrollgruppe und 38,6 kg in der Untersuchungsgruppe. Im Verlauf der Untersuchung sank in beiden Gruppen die Milchmenge, wobei sich aber die Gruppen nicht signifikant voneinander unterschieden. Dabei fiel allerdings auf, dass die Untersuchungsgruppe auf einem nicht signifikant höheren Niveau startete und in der vierten Woche eine niedrigere Milchmenge aufwies als die Kontrollgruppe. Dabei war auch erstmals ein signifikanter Abfall über die Zeit zu erkennen. Ab der siebten Woche war der Abfall über die Zeit dann durchgängig signifikant. Innerhalb der Untersuchungsgruppe sank die Milchmenge insgesamt um 4,8 kg ab, während es in der Kontrollgruppe nur 3,7 kg waren. Wenn man die EKM betrachtet, dann kann man einen noch stärkeren Unterschied beim Abfall der Milchleistung erkennen, wobei die Untersuchungsgruppe um 3 kg und die Kontrollgruppe nur um 1,8 kg absank. Diese Unterschiede waren jedoch zu keinem Zeitpunkt zwischen den Gruppen signifikant.

Auffällig war auch, dass der DCAB-Wert in der vierten Woche nochmals etwas abgesenkt wurde. Daraus kann man einen Zusammenhang zwischen der Milchleistung und dem niedrigen DCAB-Wert ableiten.

In der Literatur finden sich unterschiedliche Einschätzungen zum Einfluss des Chlorids und der daraus resultierenden DCAB auf die Milchleistung. Einerseits wird eine Verbesserung der Milchleistung durch einen niedrigen DCAB-Wert beschrieben, wobei sich diese Studien aber meistens auf Fütterungsversuche in der Zeit vor der Kalbung beziehen (Lean et al. 2019;

Santos et al. 2019; Lopera et al. 2018; Weich et al. 2013) und nicht, wie in der vorliegenden Untersuchung, um Tiere in der Hochlaktation. Aber auch bei diesen Versuchen widersprechen sich die Ergebnisse etwas. So fällt etwa bei Santos et al. (2019) auf, dass die Milchleistung zwar bei Färsen abfällt, bei multiparen Tieren aber ansteigt. In anderen Studien wurden keine Unterschiede in der Milchleistung festgestellt (Glosson et al. 2020).

Studien mit Tieren in der Hochlaktation konnten dagegen zeigen, dass die Milchmenge bei einer Absenkung der DCAB verringert wird (Wang et al. 2018). In dieser Studie wurde durch eine direkte Infusion von Ammoniumchlorid in den Pansen eine metabolische Azidose ausgelöst. Auch in einer zweiten Studie nahm die Milchleistung wegen der abgesenkten DCAB durch Soy-Chlor® ab, wobei in dieser Studie keine anderen Parameter verändert wurden (Lee et al. 2020).

Der Milchharnstoff unterlag im Verlauf der Untersuchung starken Schwankungen. Es traten aber keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen auf, sondern innerhalb der Gruppen über die Zeit. Die Schwankungen des Harnstoffwertes der Milch können mit der Futteraufnahme in Verbindung gebracht werden. So wurde der Tiefstwert des Harnstoffs in der Woche vier erreicht, was in einer Verbindung mit der TM-Aufnahme steht. Dies war so zu erwarten, da der Harnstoffwert in der Milch stark von den verdauten Futterproteinen abhängt. Allerdings steigt der Harnstoffwert der Milch auch bei einem Energiedefizit stark an, was man auf den Aminosäureabbau zur Energiedeckung zurückführen kann (Kunz et al. 1985). Dies weist darauf hin, dass es in der vorliegenden Untersuchung zu keinem Zeitpunkt zu einem Energiedefizit durch eine Verschlechterung der Futteraufnahme kam.

5.3. Untersuchungsreihe 2

Steigerung der DCAB durch Natriumbicarbonat

In der zweiten Untersuchungsreihe wurde die Untersuchungsgruppe mit einer erhöhten DCAB und einem erhöhten Natriumgehalt durch BICAR®Z gefüttert.

5.3.1. Futterration und Futteraufnahme

Der Chloridgehalt in beiden Gruppen startete auf dem gleichen Niveau von 7 g/kg TM. Ab der zweiten Woche sank dieser Wert auf 4 g/kg TM, was man auf ein verändertes Grundfutter zurückführen kann. Die Versorgung mit Chlorid war auf diesem Niveau bedarfsdeckend (NRC 2001; Suttle 1991).

Der Schwefelgehalt lag während der gesamten Untersuchung auf einem konstanten Niveau von 2-3 g/kg TM, was den Bedarfsempfehlungen nach NRC (2001) entspricht.

Die DCAB-Werte beider Gruppen lagen zu Beginn auf einem identischen Niveau von 65 meq/kg TM. Durch die Zufütterung des Natriumhydrogencarbonats stieg der DCAB-Wert der Untersuchungsgruppe auf 182 meq/kg TM an. Dieser Wert lag im empfohlenen Bereich für Hochlaktierende (Hu und Murphy 2004; Staufenbiel et al. 2007; Chan et al. 2005; Apper-Bossard et al. 2006).

Die tägliche Futteraufnahme zeigte keine signifikanten Unterschieden zwischen den Gruppen. Sie lag zu Beginn in der Kontrollgruppe bei 26,2 kg TM und in der Untersuchungsgruppe bei 26,3 kg TM. In beiden Gruppen zeigte sich eine signifikante Veränderung über die Zeit, die aber in beiden Gruppen gleichermaßen bei etwa 3 kg TM lag. Eine Verbesserung der Tagesfutteraufnahme durch den erhöhten DCAB, wie es in der Literatur beschrieben wird, konnte nicht beobachtet werden (Tucker et al. 1988).

5.3.2. Blutparameter

Im Verlauf der Untersuchung zeigten die Blutwerte keine signifikanten Veränderungen. Es ergaben sich nur leichte nicht signifikante Veränderungen der Enzymaktivitäten, was man aber mit dem Fortschreiten der Laktation erklären kann.

5.3.3. Kuhsignale

Auch bei den Kuhsignalen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen und auch nicht über die Zeit festgestellt werden. Eine Erhöhung des DCAB-Wertes hatte also keinen Einfluss darauf. Die untersuchten Verdauungsparameter zeigten keine signifikanten Unterschiede.

5.3.4. Lebendmasse, RFD, BCS

Bei den 3 Parametern zur Beurteilung der Körperkonditionen beider Gruppen ergab sich über die Zeit ein signifikanter Anstieg, den man mit dem Fortschreiten der Laktation erklären kann.

5.3.5. Milchdaten

Bei der Milchmenge und der Menge der energiekorrigierten Milch ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Über die Zeit zeigte sich sowohl in der Kontroll- als auch in der Untersuchungsgruppe ein signifikanter Abfall der Milchmenge und der EKM, was man mit dem Fortschreiten der Laktation erklären kann.

Die Verbesserung der Milchleistung durch eine erhöhte DCAB, wie es häufig in der Literatur beschrieben wird (Tucker et al. 1988; Wang et al. 2018; Martinez et al. 2018), konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht festgestellt werden.

Der Milchharnstoffwert verlief schwankend und startete schon auf einem signifikant unterschiedlichen Niveau, wobei man auch hier im Verlauf einen Zusammenhang mit der Futteraufnahme annehmen kann.

5.4. Untersuchungsreihe 3

Senkung der DCAB durch Calciumsulfat und Pufferung mit Natriumbicarbonat

In der Untersuchungsgruppe wurde eine erniedrigte DCAB durch eine Rationsergänzung mit CS Dihydrat QS erreicht. Nach einem Tausch der Gruppen wurde die Ration nach einiger Zeit mit BICAR®Z abgepuffert.

5.4.1. Futterration und Futteraufnahme

Der Chloridgehalt in beiden Gruppen startete auf einem einheitlichen Niveau. Ab der zweiten Woche stieg die Chloridkonzentration der Ration der Untersuchungsgruppe über den der Kontrollgruppe. Dieser Effekt ergab sich durch die Zugabe von NaCl, um den Natrium-Gehalt der Ration konstant zu halten. Der Chloridgehalt beider Gruppen lag im empfohlenen Bedarfsbereich (NRC 2001).

Auch der Schwefelgehalt lag zu Beginn der Untersuchungsreihe auf einem einheitlichen Niveau von 2,8 g/kg TM. Ab der zweiten Woche unterschieden sich die beiden Gruppen signifikant voneinander. Der erste Höchstwert in der Untersuchungsfütterung wurde nach Woche sechs mit 3,9 g/kg TM erreicht. Danach erfolgte der Tausch der Gruppen in der Woche neun. Innerhalb dieser Fütterungsperiode lag der Höchstwert in Woche elf bei 4,1 g/kg TM. Nach der Pufferung in Woche 14 wurde der Höchstwert mit 4 g/kg TM erreicht. Die Bedarfsdeckung in der Kontrollgruppe war zu jedem Zeitpunkt gegeben (NRC 2001). In der Untersuchungsgruppe kam es zu einer Überversorgung mit Schwefel, wobei die Schwefelversorgung knapp im kritischen Bereich lag, der mit > 4 g/kg TM definiert wird (Puls 1994).

Der DCAB-Wert in beiden Gruppen startete auf einem einheitlichen Niveau mit 63 meq/kg TM. Ab der ersten Woche sank der DCAB-Wert der Untersuchungsgruppe durch die Zufütterung von Calciumsulfat stark ab. Innerhalb der ersten Fütterungsperiode wurde ein Tiefstwert in Woche acht mit -9 meq/kg TM erreicht. Dies erfolgte leicht verzögert gegenüber dem Höchstwert in der Schwefelfütterung in der Woche sechs. Nach dem Tausch der Gruppen lag der Tiefstwert bei -17 meq/kg TM und zwar ebenfalls in der elften Woche, wie es auch beim Höchstwert der Schwefelfütterung der Fall war. Durch die Pufferung in Woche 14 stieg der DCAB-Wert wieder an, bis ein Höchstwert in Woche 17 von 114 meq/kg TM erreicht wurde. Der DCAB-Wert in der Kontrollgruppe lag während der gesamten Untersuchungsperiode bei

ca. 135 meq/kg TM. Die Kontrollgruppe befand sich mit diesem Wert an der unteren Grenze der Fütterungsempfehlung für Rinder in der Hochlaktation (Chan et al. 2005; Apper-Bossard et al. 2006; Staufenbiel et al. 2007). Die Werte der Untersuchungsgruppe sanken deutlich in den negativen Bereich ab und bewegten sich damit deutlich unterhalb der Fütterungsempfehlung. Allerdings lag die Untersuchungsgruppe mit diesen Werten noch nicht im Bereich der Empfehlung für die Trockenstehperiode (Horst et al. 1997; O'Connor 2002). Auch der DCAB-Wert von -300 meq/kg TM, ab dem nach der Literatur eine Depression der Futteraufnahme zu beobachten ist, wurde zu keinem Zeitpunkt unterschritten (Gelfert et al. 2006a).

Auch die tägliche Futteraufnahme in den beiden Gruppen startete auf einem einheitlichen Niveau, wobei die Tiere in der Kontrollgruppe 25,4 kg TM und die Tiere in der Untersuchungsgruppe 26,1 kg TM fraßen. Dennoch sank die tägliche Futteraufnahme der Untersuchungsgruppe nach der Absenkung der DCAB ab. In der ersten Fütterungsperiode wurde der Tiefstwert in Woche neun erreicht. Die Tagesfutteraufnahme der Untersuchungsgruppe hatte um 2,2 kg TM abgenommen, während es in der Kontrollgruppe nur 0,1 kg TM waren. Nach dem Tausch der Gruppen sank die neue Untersuchungsgruppe deutlich ab, bis in der 13. Woche 3 kg TM pro Tag weniger gefressen wurden als in der Woche null. In der Kontrollgruppe waren es 2,5 kg TM pro Tag weniger. Durch die Pufferung in Woche 14 verbesserte sich die Futteraufnahme in der Untersuchungsgruppe nicht, sodass die Tiere in der Woche 20 2,9 kg TM pro Tag weniger als am Anfang fraßen. Im Vergleich waren es in der Kontrollgruppe nur 2,2 kg TM pro Tag weniger. Diese Unterschiede erwiesen sich als signifikant.

Das Absinken der Futteraufnahme kann man, mit der abgesenkten DCAB erklären (Lean et al. 2019; Tucker et al. 1988). Die vorliegenden Ergebnisse widersprechen allerdings der Annahme von Lean et al. (2019), dass das Salz, mit dem die DCAB abgesenkt wird, keine Rolle dabei spielt. Es zeigte sich ein deutlicher Effekt des Schwefels auf die Futteraufnahme, da auch nach der Pufferung der Ration keine Verbesserung der TM-Aufnahme erreicht werden konnte. Auch in der Literatur finden sich verschiedene Studien mit einer erhöhten Schwefelfütterung, wobei die Ergebnisse dieser Studien unterschiedlich ausfallen. Einige Studien zeigen, dass man einen negativen Effekt einer erhöhten Schwefelfütterung auf die Futteraufnahme erkennt (Ivancic und Weiss 2001a). In anderen Studien konnte kein Einfluss einer erhöhten Schwefelfütterung auf die Futteraufnahme festgestellt werden (Tucker et al. 1991). Bonchenari et al. (2014) beschrieben, dass eine Zugabe von anorganischem Schwefel die Futteraufnahme senkt, während eine Zugabe einer Mischung von organischem und anorganischem Schwefel die Futteraufnahme verbessern kann.

5.4.2. Blutparameter

In der Untersuchungsreihe 3 zeigten sich bei beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede bei den Enzymaktivitäten. Daraus kann man ableiten, dass es zu keiner Veränderung der Organfunktion durch die veränderte Fütterung kam.

Bei den Metaboliten im Blut zeigte sich nur bei Chlorid eine signifikante Erhöhung des Wertes innerhalb der Untersuchungsgruppe, was man auf die erhöhte Fütterung von Natriumchlorid zurückführen kann.

5.4.3. Kuhsignale

Die Kuhsignale zeigten sowohl innerhalb der Gruppen als auch zwischen den Gruppen keine relevanten signifikanten Unterschiede.

Weder bei der Pansenuntersuchung noch bei der Kotbeurteilung fielen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen auf. Die Kotbonitur zeigte innerhalb der Gruppen signifikante Unterschiede, die jedoch in beiden Gruppen gleichermaßen auftraten.

Diese Ergebnisse widersprechen einzelnen Darstellungen in der Literatur. Nach Julian und Harrison (1975) traten bei erhöhter Schwefelfütterung Durchfälle und später Verstopfungen auf, die man auf eine geringere Trinkwasseraufnahme zurückführte. Diese Effekte wurden in den vorliegenden Untersuchungen nicht beobachtet.

Auch eine erniedrigte DCAB soll nach Gelfert et al. (2006b) zu einer weicheren Kotkonsistenz führen, weil es dadurch zu einer subklinischen Azidose kommt. Nach den Ergebnissen anderer Arbeiten konnte mit der in dieser Arbeit gefütterten Ration der Blut pH zwar abgesenkt werden, dieser fiel jedoch nicht in den azidotischen Bereich. Einzig die NSBA im Harn zeigt starke Veränderungen (Prädel 2021).

5.4.4. Lebendmasse, RFD, BCS

Die drei Parameter zur Beschreibung der Körperkonditionen stiegen wie bereits in den beiden anderen Untersuchungsreihen auch in der dritten Untersuchungsreihe an, was man auf den Verlauf der Laktation zurückführen kann.

5.4.5. Milchdaten

Beim Einstieg in diese Untersuchungsreihe lagen beide Gruppen mit einer Milchmenge von 39,5 kg/d bzw. 39,7 kg/d auf einem einheitlichen Niveau. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen waren über die gesamte Untersuchungslänge nicht ersichtlich. Es zeigte sich jedoch ein signifikanter Rückgang der Milchmenge innerhalb der Gruppen. Der Tiefstwert wurde in Woche neun erreicht, wobei die Milchleistung in der Untersuchungsgruppe um 6 kg/d und die in der Kontrollgruppe um 4,7 kg/d abnahmen. Nach dem Tausch der Gruppen erholte sich die bisherige Untersuchungsgruppe, die nun Kontrollgruppe war, wieder. Der Milchrückgang lag aber noch bei 4,4 kg/d. Die neue Untersuchungsgruppe zeigte hingegen einen deutlichen Rückgang der Milchleistung mit einer Senkung um nun 5,9 kg/d in der elften Woche. Durch die Pufferung in Woche 14 verbesserte sich die Milchleistung der Untersuchungsgruppe wieder etwas, wobei im Vergleich mit der Woche null das Defizit bei 5,7 kg/d lag. Bei der Kontrollgruppe waren es zum gleichen Zeitpunkt 4,9 kg/d.

Dieses Ergebnis zeigt, dass eine Pufferung der Ration nur eine geringfügige Auswirkung auf die Milchleistung hat. Es scheint allerdings, dass der Einfluss des Calciumsulfats größer ist.

Dies widerspricht der Annahme von Lean et al. (2019), dass dieser Effekt unabhängig von der Auswahl des jeweiligen sauren Salzes ist, weil nur der DCAB-Wert relevant ist.

In der Studie von Spears et al. (2011) wurden bei Mastrindern Rationen mit verschiedenen DCAB-Werten und verschiedenen Schwefelkonzentrationen gefüttert. Die Studie ergab bei einem Wert von 0,46 % Schwefel in der Ration eine verminderte Gewichtszunahme der Tiere gegenüber der Kontrollgruppe, wobei eine Pufferung der DCAB diesen negativen Einfluss nicht ausgleichen konnte.

In einer weiteren Untersuchung von Bonchenari et al. (2014) mit 24 HF-Rindern wurden die Grundrationen gleich gestaltet und nur der Zusatz von Schwefel wurde variiert. Dabei wurde in der Basisration 0,21 % Schwefel hinzugefügt, in der zweiten Ration 0,41 % in der Form von Magnesiumsulfat und in der dritten Ration 0,41 % in der Form von Magnesiumsulfat und Mepron (Methionin pansengeschützt). In allen drei Rationen lag der DCAB-Wert bei -31 meq/kg TM. Diese Rationen wurden in der Zeit vor der Kalbung gefüttert. Dabei zeigte sich, dass die Tiere, die mit der zweiten Ration gefüttert wurden, eine reduzierte Futteraufnahme und eine verringerte Milchleistung aufwiesen. Demgegenüber zeigten die Tiere, die die dritte Ration erhielten, tendenziell sogar eine bessere Futteraufnahme und eine erhöhte Milchleistung.

Der Harnstoffwert der Milch beider Gruppen startete ebenfalls auf einem einheitlichen Niveau. Nach dem Beginn der Untersuchungsfütterung stieg der Harnstoffwert in der Kontrollgruppe an und der Wert in der Untersuchungsgruppe fiel ab. Dies kann man auf die verminderte Futteraufnahme der Untersuchungsgruppe zurückführen. Nach dem Tausch der Gruppen blieb der Harnstoffwert in der neuen Kontrollgruppe jedoch unter dem Wert der Untersuchungsgruppe. Dies könnte man damit erklären, dass sich die Infusorien des Pansens nicht ausreichend schnell erholen konnten. In der Arbeit von Prädell (2021) zeigte sich bei der Untersuchung des Pansensaftes eine tendenziell verbesserte Infusorienbeweglichkeit in der neunten Woche in der Kontrollgruppe. Der Harnstoffwert der Milch in den beiden Gruppen näherte sich immer dann stark an, wenn die Untersuchungsgruppe die stärkste Depression in der Futteraufnahme aufwies.

5.5. Zusammenfassende Diskussion

In der ersten Untersuchungsreihe wurde der DCAB-Wert mit Chlorid abgesenkt. Der Chloridgehalt in der Untersuchungsration lag bei 11g/kg TM und damit deutlich über der Fütterungsempfehlung (Suttle 1991; NRC 2001). Dadurch wurde ein DCAB-Wert von -15 meq/kg TM erreicht. Dieser Wert liegt deutlich unterhalb der Empfehlung für Tiere in der Hochlaktation (Staufenbiel et al. 2007; Chan et al. 2005). Die Trockenmasseaufnahme der Untersuchungsgruppe unterschied sich zu keinem Zeitpunkt signifikant von der Trockenmasseaufnahme der Kontrollgruppe. Allerdings fiel die Aufnahme der TM in der Untersuchungsgruppe um 1 kg TM mehr ab als in der Kontrollgruppe. Lean et al. (2019) beschreiben eine deutliche Depression der Futteraufnahme bei niedriger DCAB, wobei es keine Rolle spielt, mit welchem sauren Salz die DCAB gesenkt wird. Die Autoren erklären es mit einer subklinischen Azidose, welche jedoch in dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden konnte.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Milchmenge und der EKM. Zwischen den Gruppen konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Doch die Milchmenge der Untersuchungsgruppe sank um 1,1 kg/d mehr ab als in der Kontrollgruppe. Bei der EKM waren es 1,2 kg/d mehr Abfall der Untersuchungsgruppe. Einen deutlichen Zusammenhang mit der DCAB kann man daran erkennen, dass die DCAB in der vierten Woche nochmal deutlich absinkt und auch die Milchmenge über die Zeit ab hier eine signifikante Veränderung erfährt.

Die Literatur widerspricht sich bei den Auswirkungen der DCAB auf die Milchleistung. Bei Fütterung einer niedrigen DCAB vor der Kalbung wurde eine Verbesserung der Milchleistung nachgewiesen (Lean et al. 2019; Lopera et al. 2018). In anderen Arbeiten zeigte sich gar kein Effekt (Glosson et al. 2020). Studien, in denen in der Hochlaktation eine niedrige DCAB gefüttert wurde, zeigen allerdings ebenfalls einen Abfall der Milchmenge (Wang et al. 2018; Lee et al. 2020).

In der zweiten Untersuchungsreihe wurde der Untersuchungsgruppe eine gepufferte Ration durch Natriumhydrogencarbonat gefüttert. Der Chloridgehalt und der Schwefelgehalt waren in beiden Rationen gleich. Der DCAB-Wert der Untersuchungsration lag bei 182 meq/kg TM. Es zeigten sich in der Futteraufnahme und in der Milchleistung keine Veränderungen gegenüber der Kontrollgruppe. Eine Verbesserung der Milchleistung wie, es teilweise in der Literatur beschrieben wurde, blieb in dieser Arbeit aus (Wang et al. 2018; Martinez et al. 2018).

In der dritten Untersuchungsreihe wurde der DCAB-Wert in der Untersuchungsration mit Calciumsulfat abgesenkt. Später wurde die Untersuchungsration mit Natriumhydrogencarbonat abgepuffert. Diese Untersuchungsreihe teilte sich in drei Phasen.

Der Schwefelgehalt der Untersuchungsration lag in der ersten Phase bei 3,9 g/kg TM, in der zweiten Phase bei 4,1 g/kg TM und in der dritten Phase bei 4 g/kg TM. Daraus ergaben sich folgende DCAB-Werte: erste Phase -9 meq/kg TM, zweite Phase und Tausch der Gruppen -17 meq/kg TM, dritte Phase und Zugabe von Natriumhydrogencarbonat 114 meq/kg TM. Alle DCAB-Werte liegen deutlich über dem in der Literatur beschriebenen Wert von -300 meq/kg TM, bei dem es zu einer Depression der Futteraufnahme durch Azidose kommt (Gelfert et al. 2006c; Gelfert et al. 2006a). In dieser Arbeit kam es innerhalb der Untersuchungsgruppe zu einer verminderten Futteraufnahme, diese unterschied sich zu verschiedenen Zeitpunkten signifikant von der Kontrollgruppe. In der ersten Phase nahm die Untersuchungsgruppe 2,2 kg weniger TM auf als in der Woche null. Nach dem Tausch der Gruppen nahm die Untersuchungsgruppe 3 kg weniger TM auf als zum Zeitpunkt null und auch nach der Pufferung in der dritten Phase kam es nicht zur Erholung der Futteraufnahme, die Untersuchungsgruppe nahm 2,9 kg weniger TM auf. Dieser Effekt lässt sich einerseits durch den niedrigen DCAB-Wert erklären, der zu einer verminderten Futteraufnahme führt (Lean et al. 2019; Tucker et al. 1988). Andererseits widerspricht es der Aussage von Lean et al. (2019), dass es egal ist mit welchem Salz die DCAB abgesenkt wird, da auch nach der Pufferung keine Erholung stattfand. Es scheint, dass Schwefel einen Effekt über die DCAB hinaus auf die Futteraufnahme hat. Auch Ivancic und Weiss (2001a) wiesen einen negativen Effekt des Schwefels auf die Futteraufnahme nach.

Die Milchleistung zeigte unter der Zugabe von Calciumsulfat keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Allerdings konnte ein signifikanter Effekt über die Zeit nachgewiesen werden. So nahm die Milchleistung der Untersuchungsgruppe in der 1. Phase um 1,3 kg mehr ab als die Leistung der Kontrollgruppe. In der zweiten Phase waren es schon 1,5 kg mehr Abnahme. In der dritten Phase verringerte sich die Differenz zwischen der Abnahme der Milchleistung der beiden Gruppen wieder auf 0,8 kg. Die Abnahme der Leistung ist so auch in einigen Arbeiten beschrieben (Ivancic und Weiss 2001a; Spears et al. 2011; Kazemi Bonchenari et al. 2014), wobei Bonchenari et al. (2014) bei einer Kombination von Magnesiumsulfat und organischem Schwefel auch eine Verbesserung der Milchleistung feststellen konnten. In zahlreichen Studien wurde nachgewiesen, dass ein Schwefelgehalt von 0,3 % je TM in der Ration zu positiven Effekten auf die Leistungsparameter führte (Wessels 2002; Spears et al. 2011). Ab einem Schwefelgehalt von 0,35 % in der TM wird Schwefel ausgeschieden, zusätzlich kommt es zu Reduktion der Futteraufnahme und Leistungsdepressionen (Tisdale 1977; Rumsey 1978). Die Schwefelquelle mit dem positivsten Einfluss ist Calciumsulfat (Wessels 2002; Zinn et al. 1997).

Die Blutparameter und Kuhsignale wurden in allen drei Untersuchungsreihen nicht signifikant verändert.

Die Körperkondition nahmen in allen drei Untersuchungsreihen in beiden Gruppen signifikant zu.

6. Schlussfolgerungen

- Die DCAB hat in der Hochlaktation einen Einfluss auf die Milchleistung und die Futteraufnahme, was sich aber vor allem bei einer Absenkung durch Anionen in den negativen Bereich zeigt (Untersuchungsreihe 1 und 3). Dabei kam es zu einer Depression der Futteraufnahme und der Milchleistung, wobei dieser Effekt bei der Futteraufnahme deutlicher ersichtlich war als beim geringfügigen Abfall der Milchleistung. Dies kann man vermutlich auf die körperlichen Regulierungen zurückführen. Bei einer Erhöhung der DCAB ergaben sich keine Effekte auf die Milchleistung und die Futteraufnahme.
- Auch Chlorid hat einen Effekt auf die Futteraufnahme und die Milchleistung. Bei einer deutlichen Erhöhung des Chloridgehaltes einer Ration konnte eine verminderte Futteraufnahme und Milchleistung nachgewiesen werden. Dabei ist es allerdings fraglich, ob dieser Effekt auf das Chlorid oder eher auf die resultierende Senkung des DCAB-Wertes zurückzuführen ist, sodass hier weitere Studien erforderlich sind.
- Den stärksten Effekt auf die Futteraufnahme und die Milchleistung in der vorliegenden Studie zeigte Schwefel, was in der dritten Untersuchungsreihe untersucht wurde. Dabei war bereits die Zufütterung einer geringen Menge von Schwefel ausreichend, um die DCAB deutlich abzusenken, was dann mit einer starken Depression der Futteraufnahme einherging. Auch die Milchleistung fiel bei der Zufütterung von Schwefel deutlich ab, wobei dieser Effekt weniger stark ausgeprägt war als der auf die Futteraufnahme. Eine Pufferung mit Natriumhydrogencarbonat hatte dabei keine Auswirkung auf diesen negativen Effekt des Schwefels.
- Daraus kann man ableiten, dass Schwefel einen negativen Effekt auf die Futteraufnahme und die Milchleistung über die DCAB hinaus hat, weil er durch das Natriumhydrogencarbonat nicht behoben werden konnte und sich keine Verbesserungen bei der Milchleistung und der Futteraufnahme ergaben.
- Außerdem zeigt die vorliegende Arbeit, dass der Effekt des Schwefels stärker ist als der von Chlorid.

Alle anderen Parameter in dieser Arbeit wurden durch die gefütterten Rationen nicht beeinflusst. Die Tiergesundheit hat sich, soweit es ersichtlich war, unter den Umstellungen der Ration nicht verschlechtert und nur die Leistung wurde durch eine verminderte Futteraufnahme

verringert. Diese Schlussfolgerungen beziehen sich nur auf die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Bereiche. Um eine abschließende Aussage treffen zu können, erscheint der Untersuchungszeitraum zu kurz gewählt. Auf Grund dessen kann die Eingangsfrage, ob Sojaextraktionsschrot durch Rapsextraktionsschrot ersetzt werden kann, erst durch weitere Studien mit einer längeren Zeitdauer beantwortet werden.

7. Zusammenfassung

Untersuchung zum Einfluss der DCAB in der Futtermation unter besonderer Berücksichtigung von Schwefel und Chlorid auf die Futteraufnahme, Milchleistung und Parameter der Tiergesundheit von Milchkühen

Der Verbraucher fordert immer mehr GVO-freie Lebensmittel. Auf Grund der Fütterung von Sojaextraktionsschrot bei Rindern ist dies in der Milchproduktion eine Herausforderung. Sojaextraktionsschrot kann durch Rapsextraktionsschrot (RES) ersetzt werden. Jedoch sind im RES deutlich höhere Schwefelgehalte bei sonst ähnlicher Zusammensetzung der Mengenelemente zu finden. Somit wird der DCAB-Wert einer Ration gesenkt. Die Anionen Schwefel und Chlorid haben einen starken Einfluss auf die DCAB. Das Mengenelement Schwefel ist für den Wiederkäuer auch aus einer anorganischen Quelle durch die Pansenmikroben verwertbar, wobei der Schwefelbedarf bei dem laktierenden Rind (2 g/kg TM) und der toxische Bereich (>4 g/kg TM) eng beieinander liegen. Bis zu einem Gehalt von 3 g Schwefel je kg TM in der Ration hat Schwefel einen positiven Effekt auf die Futteraufnahme und Leistung.

Auch Chlorid zählt zu den Mengenelementen und ist in seinem Stoffwechsel eng mit Natrium verbunden. Der Bedarf von Chlorid liegt bei ca. 4 g/kg TM bei laktierenden Rindern. Eine Toxizität von Chlorid spielt in der Fütterung bei einer ausreichenden Zufuhr von Tränkwasser eine untergeordnete Rolle.

Die DCAB-Wert-Empfehlungen während der Hochlaktation bei der Milchkuh liegen zwischen 200 – 350 meq/kg TM. In dieser Arbeit wurde eine Fütterung mit verschiedenen DCAB-Werten durchgeführt. Dazu wurde eine Milchkuhgruppe in der Hochlaktation von 78 Rindern im LLG Sachsen-Anhalt in Iden in zwei Gruppen geteilt. Die Aufteilung erfolgte zufällig unter Beachtung des Laktationstages, der Laktationsnummer, der Milchleistung und –inhaltsstoffe. Die Probanden wurden in einem Laufstall mit Wiegetrögen gehalten. Die Untersuchung teilte sich in drei Untersuchungsreihen auf. Die Grundrationen waren während der Untersuchung in beiden Gruppen immer gleich, wobei gras- bzw. maisbetont gefüttert wurde. Zusätzlich wurden die Futteraufnahme und die Milchdaten täglich erfasst. Sowohl die Blutparameter (ASAT, GGT, GLDH, CK, BUN, NEFA, BHBS, tBili, TP, Glu, Phos, Ca, Cl, Mg) als auch die Lebendmasse, die RFD, der BCS wurden zu Beginn und zum Ende einer jeden Untersuchungsreihe dokumentiert. Die Untersuchung der Kuhsignale (Liegen, Stehen, Wiederkauen) erfolgte einmal wöchentlich und der Kot (Konsistenz, Pansenmotilität, Pansenfrequenz) wurde dreimal je Untersuchungsreihe kontrolliert.

In der ersten Untersuchungsreihe wurde der Untersuchungsgruppe zusätzlich Chlorid (Soy-Chlor®) gefüttert. Der Chloridgehalt in der Ration der Untersuchungsgruppe lag bei 7,1 g/kg TM bzw. bei 12,1 g/kg TM gegenüber einem Gehalt von 4,4 g/kg TM bzw. 9,2 g/kg TM in der

Kontrollgruppe. Die DCAB lag damit in der Untersuchungsgruppe bei 30 meq/kg TM bzw 6 meq/kg TM und in der Kontrollgruppe bei 175 meq/kg TM bzw. 166 meq/kg TM. In dieser Untersuchungsreihe konnten keine signifikanten Unterschiede in der Futteraufnahme festgestellt werden. Jedoch zeigte sich in der Untersuchungsgruppe ein signifikanter Effekt über die Zeit, welcher größer als in der Kontrollgruppe war und damit auf einen negativen Effekt durch die veränderte Ration schließen lässt. Auch in der Milchleistung spiegelten sich diese Effekte wider. Auch hier konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Jedoch war der Milchleistungsabfall über die Zeit in der Untersuchungsgruppe größer als in der Kontrollgruppe.

In der zweiten Untersuchungsreihe wurde der DCAB-Wert der Untersuchungsgruppe mittels Natriumhydrogencarbonat (BICAR®Z) angehoben. Die DCAB der Untersuchungsgruppe lag bei 176 meq/kg TM gegenüber der Kontrollgruppe mit einem Wert von 65 meq/kg TM. In dieser Untersuchungsreihe zeigten die Parameter Futteraufnahme und Milchleistung keine signifikanten Unterschiede.

Die dritte Untersuchungsreihe teilte sich in drei Abschnitte. Innerhalb des ersten Abschnitts wurde der Untersuchungsgruppe Calciumsulfat (CS-Dihydrat QS) zugefüttert. Im zweiten Abschnitt wurden die Gruppen getauscht und im dritten Abschnitt erhielt die Untersuchungsgruppe zusätzlich zum Calciumsulfat Natriumhydrogencarbonat gefüttert. Der Schwefelgehalt lag in der Untersuchungsgruppe im ersten Abschnitt bei 3,9 g/kg TM und der DCAB-Wert bei -5 meq/kg TM. Im zweiten Abschnitt wurde ein Schwefelgehalt von 4 g/kg TM in der Untersuchungsgruppe gefüttert, der DCAB-Wert lag bei -14 meq/kg TM. Innerhalb des dritten Abschnittes wurden 3,9 g/kg TM Schwefel gefüttert. Durch die Pufferung lag der DCAB-Wert bei 106 meq/kg TM. Der Kontrollgruppe wurde durchgehend ein Schwefelgehalt von 2,5 – 2,8 g/kg TM gefüttert. Der DCAB-Wert lag hier bei 114 - 138 meq/kg TM. Innerhalb der gesamten Untersuchungsreihe nahm die Untersuchungsgruppe weniger Trockenmasse auf als die Kontrollgruppe. Die Milchleistung zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Allerdings lag die Milchleistung der Untersuchungsgruppe dauerhaft unterhalb der Kontrollgruppe, was als Tendenz deutlich erkennbar ist. Die Pufferung der Ration erwirkte keine Verbesserung der Futteraufnahme.

In allen drei Untersuchungsreihen zeigte die Körperkondition eine gleichmäßige Steigerung in beiden Gruppen. Die Blutparameter, sowie die Kuhsignale und die Kotbeschaffenheit zeigten keine signifikanten Gruppendifferenzen.

Abschließend ist festzustellen, dass die DCAB eine Wirkung auf die Futteraufnahme und die Milchleistung in der Hochlaktation hat. Die Wirkung des Anions Schwefel scheint eine Wirkung auf die Futteraufnahme und Milchleistung über den DCAB-Wert hinaus auszuüben. Diese Aussagen beziehen sich auf den in dieser Arbeit untersuchten DCAB-Bereich, wobei auch eine recht kurze Untersuchungsdauer zu berücksichtigen ist.

8. Summary

Investigation on the influence of DCAB in feed ration with special consideration of sulfur and chloride on feed intake, milk yield and parameter of animal health of dairy cows

Consumers are demanding more and more GMO-free food. However, due to the feeding of soybean extraction meal to cattle, it is difficult in the dairy production. Soybean extraction meal could be replaced by rapeseed extraction meal. However, significantly higher sulfur contents are found in RES, with otherwise similar composition of bulk element. Thus, the DCAB value of a ration is lowered. The anions sulfur and chloride play a major role in influencing the DCAB. The mineral sulfur can also be utilized by ruminants from an inorganic source by the rumen microbes. The sulfur requirement in lactating cattle (2 g/kg DM) and the toxic range (>4 g/kg DM) are close to each other. Up to a content of 3 g sulfur per kg DM in the ration, sulfur has a positive effect on feed intake and performance.

Chloride is also one of the bulk elements and is closely related to sodium in its metabolism. The requirement of chloride is about 4 g/kg DM in lactating cattle. The toxicity of chloride can be compensated by the body with an adequate supply of drinking water. The DCAB value recommendations during peak lactation in dairy cows are between 200 - 350 meq/kg DM.

During this work, a test feeding with different DCAB values was performed. For this purpose, a dairy cow group in high lactation of 78 cattle was divided into two groups at the LLG Sachsen-Anhalt in Iden. The division was done randomly, based on lactation day, number, milk yield and milk content. The animals were kept in a loose housing with weighing troughs. The study was divided into three series. The basic rations were always the same in both groups during the study, with grass- or corn-based diets. Feed intake and milk yield were recorded daily. Both blood parameters and body condition were recorded at the beginning and end of each study series. Cow signals were recorded once a week, and feces were checked three times per study series.

In the first test series, the study group was additionally fed chloride (Soy-Chlor®). The chloride content of the study group was 7.1 g/kg DM and 12.1 g/kg DM, respectively, compared to a content of 4.4 g/kg DM and 9.2 g/kg DM, respectively, in the control group. Thus, the DCAB was 30 meq/kg DM and 6 meq/kg DM in the study group and 175 meq/kg DM and 166 meq/kg DM in the control group, respectively. In this series of investigations, no significant differences in feed intake were found. However, there was a significant effect over time in the study group, which was greater than in the control group and thus suggests a negative effect because of the changed ration. A similar picture is presented by the milk yield. Again, no significant

differences were found between the groups. However, the decrease in milk yield over time was greater in the study group than in the control group.

In the second test series, the DCAB of the study group was raised using sodium bicarbonate (BICAR®Z). The DCAB of the study group was 176 meq/kg DM compared to the control group with a value of 65 meq/kg DM. In this study series, the parameters feed intake and milk yield did not show significant differences.

The third series of tests was divided into three sections. Within the first section, the test group was fed calcium sulfate (CS dihydrate QS). In the second section, the groups were swapped and in the third section, sodium hydrogen carbonate was fed to the study group in addition to calcium sulfate. The sulfur content in the first section was 3.9 g/kg DM and the DCAB value was -5 meq/kg DM. In the second section, a sulfur content of 4g/kg DM was fed to the study group, and the DCAB value was -14 meq/kg DM. Within the third section, 3.9 g/kg DM of sulfur was fed. Due to buffering, the DCAB value was 106 meq/kg DM. The control group was fed a sulfur level of 2.5 - 2.8 g/kg DM consistently. The DCAB value here was 114 - 138 meq/kg DM. Within the whole test series, the study group consumed less dry matter than the control group. The milk yield showed no significant differences between the groups. However, the milk yield of the study group was permanently lower than the control group, which is clearly visible as a tendency. The buffering of the ration did not produce any improvement in feed intake.

In all three series of investigations, the body condition showed an equal increase in both groups. The blood parameters, cow signals as well as the texture showed no significant changes worth mentioning.

In conclusion, DCAB influences feed intake and milk yield in high lactation. The effect of the anion sulfur seems to have an effect on feed intake and milk yield beyond the DCAB value. These statements refer to the range studied in this work, but it is also important to point out that the study duration is quite short.

9. Literaturverzeichnis

1. Aines, P. D.; Smith, S. E. (1957):
Sodium versus Chloride for the Therapy of Salt-Deficient Dairy Cows,
In: *Journal of Dairy Science* 40 (6), S. 682–688.
2. Allen, J. d.; Gawthornet, J. M. (1987):
Involvement of the solid phase of rumen digesta in the interaction between copper,
molybdenum and sulphur in sheep,
In: *British Journal of Nutrition* 58 (02), S. 265.
3. Amat, S.; McKinnon, J. J.; Penner, G. B.; Hendrick, S. (2014):
Effects of dietary sulfur concentration and forage-to-concentrate ratio on ruminal
fermentation, sulfur metabolism, and short-chain fatty acid absorption in beef
heifers,
In: *Journal of Animal Science* 92 (2), S. 712–723.
4. Ammann, H. M. (1986):
A new look at physiologic respiratory response to H₂S poisoning,
In: *Journal of Hazardous Materials* 13 (3), S. 369–374.
5. Andersen, C.-W. (1956):
The metabolism of sulphur in the rumen of the sheep,
In: *Canterbury Agricultural College*, S. 379–394.
6. Apper-Bossard, E.; Peyraud, J. L.; Faverdin, P.; Meschy, F. (2006):
Changing dietary cation-anion difference for dairy cows fed with two contrasting
levels of concentrate in diets,
In: *Journal of Dairy Science* 89 (2), S. 749–760.
7. Arora, A.; Shukla, Y. (2004):
Induction of preneoplastic altered hepatic foci following dietary sulphur
supplementation,
In: *Human & Experimental Toxicology* 23 (5), S. 229–234.

8. Baker, L. A.; Topliff, D. R.; Freemann, D. W.; Teeter, R. G.; Stoecker B. (1998):
The comparison of two forms of sodium and potassium and chloride versus sulfur in
the dietary cation-anion difference equation: effects on acid-base status and
mineral balance in sedentary horses.,
In: *Journal of Equine Veterinary Science* 18 (6), S. 389–395.
9. Barton, J. S.; Bull, L. S.; Hemken, R. W. (1971):
Effects of various levels of sulfur upon cellulose digestion in purified diets and
lignocellulose digestion in corn fodder pellets in vitro,
In: *Journal of Animal Science* 33 (3), S. 682–685.
10. Beach, E. F.; Bernstein, S. S.; Hummel, F. C.; Williams, H. H.; Macy, I. G. (1939):
Total Sulfur, Cystine, and Methionine content of Blood Globins of five Mammalian
Species,
In: *The Journal of Biological Chemistry* (130), S. 115–119.
11. Becker, M. (1971):
Empfehlungen zur Mineralstoffversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere;
Mineralstoffbedarfsnormen für Rinder,
In: *Landwirt Forschung*, S. 225–237.
12. Bender, S.; Gelfert, C.-C.; Staufenbiel, R. (2003):
Einsatz der Harnuntersuchung zur Beurteilung des Säure-Basen-Haushalts in der
Bestandsbetreuung von Milchkuhherden,
In: *Tierärztliche Praxis G* 31 (03), S. 132–142.
13. Berthard, G.; Stokes, S. (2000):
Managing transition cows for better health and production,
In: *WREP* 149, S. 1–7.
14. Bickhardt, K. (2001):
Störung des Kupfer- und Molybdänstoffwechsels,
In: *Lehrbuch der Schafkrankheiten*, S. 119–121,
Berlin: Parey, ISBN: 3826331869.
15. Binder, H. H. (2016):
Kleines Lexikon der chemischen Elemente,
Berlin: Lehmanns, ISBN: 3865418805.

16. Bird, P. R. (1972):
Sulphur metabolism and excretion studies in ruminants. X. Sulphide toxicity in sheep,
In: *Australian Journal of Biological Sciences* 25 (5), S. 1087–1098.
17. Block, E. (1984):
Manipulating dietary anions and cations for prepartum dairy cows to reduce incidence of milk fever,
In: *Journal of Dairy Science* 67 (12), S. 2939–2948.
18. Block, E. (1994):
Manipulation of dietary cation-anion difference on nutritionally related production diseases, productivity, and metabolic responses of dairy cows,
In: *Journal of Dairy Science* 77 (5), S. 1437–1450.
19. Bolsen, K. K.; Woods, W.; Klopfenstein, T. (1973):
Effect of Methionine and Ammonium Sulfate upon Performance of Ruminants Fed High Corn Rations,
In: *Journal of Animal Science* 36 (6), S. 1186–1190.
20. Bonchenari, M. K.; Esmaeil, M.; Hamid, A.; Vahid, K.; Mehdi, T. (2014):
Effects of Level and Source of Sulfur in Close-Up Diets of Holstein Dairy Cows on Intake, Blood Metabolites, Liver Enzymes and Lactation Performance,
In: *Journal of Animal Science Advances* 4 (6), S. 875.
21. Bouchard, R.; Conrad, H. R. (1973):
Sulfur Requirement of Lactating Dairy Cows. II. Utilization of Sulfates, Molasses, and Lignin-Sulfonate,
In: *Journal of Dairy Science* 56 (11), S. 1429–1434.
22. Bouchard, R.; Conrad, H. R. (1974)
Sulfur Metabolism and Nutritional changes in Lactating Cows associated with supplemental Sulfate and Methionine Hydroxy analog,
In: *Canadian Journal of Animal Science* 54 (4), S. 587–593.
23. Bray, A. C. (1969a):
Sulphur metabolism in sheep. I. Preliminary investigations on the movement of sulphur in the sheep's body,
In: *Australian Journal of Agricultural Research* 20 (4), S. 725–737.

24. Bray, A. C. (1969b):
Sulphur metabolism in sheep. II. The absorption of inorganic sulphate and inorganic sulphide from the sheep's rumen,
In: *Australian Journal of Agricultural Research* 20 (4), S. 739–748.
25. Bray, A. C. (1969c):
Sulphur metabolism in sheep. III. The movement of blood inorganic sulphate across the rumen wall of sheep,
In: *Australian Journal of Agricultural Research* 20 (4), S. 749.
26. Bray, A. C.; Hemsley, J. A. (1969):
Sulphur metabolism in sheep. IV. The effect of a varied dietary sulphur content on some body fluid sulphate levels and on the utilization of urea-supplemented roughage by sheep,
In: *Australian Journal of Agricultural Research* 20 (4), S. 759.
27. Bray, A. C.; Till, A. R. (1975):
Metabolism of sulphur in the gastro-intestinal tract,
Armidale, NSW, University of New England Publishing Unit, S. 243-260.
28. Bulgin, M. S.; Lincoln, S. D.; Mather, G. (1996):
Elemental sulfur toxicosis in a flock of sheep,
In: *Journal of the American Veterinary Medical Association* 208 (7), S. 1063–1065.
29. Byers, D. I. (1994):
Management considerations for successful use of anionic salts in dry-cow diets,
In: *The Compendium on continuing education for the practicing veterinarian* 16 (2), S. 237–242.
30. Caixeta L. S.; Weber, W. J.; Johnson, D. M.; Faser, J.; Visser, B. M.; Crooker, B. A. (2020)
Effects of anionic supplement source in prepartum negative dietary cation-anion difference diets on serum calcium, feed intake, and lactational performance of multiparous dairy cows,
In: *Journal of Dairy Science* 103 (5), S. 4302–4314.

31. Castillo, A. R.; St-Pierre, N. R.; Silva del Rio, N.; Weiss, W. P. (2013):
Mineral concentrations in diets, water, and milk and their value in estimating on-farm excretion of manure minerals in lactating dairy cows,
In: *Journal of Dairy Science* 96 (5), S. 3388–3398.
32. Chan, P. S.; West, J. W.; Bernard, J. K.; Fernandez, J. M. (2005):
Effects of dietary cation-anion difference on intake, milk yield, and blood components of the early lactation cow,
In: *Journal of Dairy Science* 88 (12), S. 4384–4392.
33. Colle, E.; Ayoub, E.; Raile R. (1958):
Hypertonic dehydration (hypernatremia): the role of feedings high in solutes,
In: *Pediatrics* 22, S. 5–12.
34. Crawford, G. I. (2007):
Managing sulfur intake in feedlot diets,
In: *Cattle Feeder Report*, B-504.
35. Cummings, B. A.; Gould, D. H.; Caldwell; Hamar, D. W. (1995):
Ruminal microbial alterations associated with sulfide generation in steers with dietary sulfate-induced polioencephalomalacia,
In: *American Journal of Veterinary Research* 56 (10), S. 1390–1395.
36. Dänicke, S.; Schenkel, H. (2009):
On the importance of sulfur as unwanted compound in dairy cow feeding,
In: *Züchtungskunde* 81 (6), S. 442–450.
37. Diehl, A. L.; Bernard, J. K.; Tao, S.; Smith, T. N.; Kirk, D. J.; McLean, D. J.; Chapman, J. D. (2018)
Effect of varying prepartum dietary cation-anion difference and calcium concentration on postpartum mineral and metabolite
In: *Journal of Dairy Science* 101 (11), S. 9915–9925
38. Dishington, I. W. (1975):
Prevention of milk fever (hypocalcemic paresis puerperalis) by dietary salt supplements,
In: *Acta Veterinaria Scandinavica* 16 (4), S. 503–512.

39. Dishington, I. W.; Bjørnstad, J. (1982):
Prevention of milk fever by dietary means. The effect of a concentrate fortified with mineral salts,
In: *Acta Veterinaria Scandinavica* 23 (3), S. 336–343.
40. Drewnoski, M. E.; Hansen, S. L. (2013):
Effect of delaying the feeding of high sulfur until 28 days after adaptation to finishing diet on cattle intake, gain, and ruminal hydrogen sulfide concentrations,
In: *Livestock Science* 155 (2-3), S. 230–235.
41. Drewnoski, M. E.; Ensley, S. M.; Beitz, D. C.; Schoonmaker, J. P.; Loy, D. D.; Imerman, P. M. (2012):
Assessment of ruminal hydrogen sulfide or urine thiosulfate as diagnostic tools for sulfur induced polioencephalomalacia in cattle,
In: *Journal of veterinary diagnostic investigation : official publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, Inc* 24 (4), S. 702–709.
42. Edmonson, A. J.; Lean, I. J.; Weaver, L. D.; Farver, T.; Webster, G. (1989):
A Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows,
In: *Journal of Dairy Science* 72 (1), S. 68–78.
43. Engelhardt W. (2005):
Physiologie der Haustiere,
Stuttgart: Enke, ISBN: 3830410395.
44. Engelhardt, W. ; Aurich, C. (2010):
Physiologie der Haustiere,
Stuttgart: Enke, ISBN: 9783830410782.
45. Felde, A. v. (1999a):
Innovationen bei der Anwendung saurer Salze,
In: *Krafftfutter, Feed Magazine* 11, S. 414–420.
46. Felde, A. v. (1999b):
Innovations in the use of acid salts,
In: *Krafftfutter* (11), S. 414–419.

47. Fettman, M. J.; Chase, L. E.; Bentinck-Smith, J.; Coppock, C. E.; Zinn, S. A. (1984):
Nutritional Chloride Deficiency in Early Lactation Holstein Cows,
In: *Journal of Dairy Science* 67 (10), S. 2321–2335.
48. Fontenot J.P.; Church, D. C. (1979):
Digestive physiology and nutrition of ruminants,
Corvallis, Or.: O & B Books, ISBN: 0960158650.
49. Fredeen, A. H.; DePeters, E. J.; Baldwin, R. L. (1988a):
Characterization of acid-base disturbances and effects on calcium and phosphorus
balances of dietary fixed ions in pregnant or lactating does,
In: *Journal of Animal Science* 66 (1), S. 159–173.
50. Fredeen, A. H.; DePeters, E. J.; Baldwin, R. L. (1988b):
Effects of acid-base disturbances caused by differences in dietary fixed ion balance
on kinetics of calcium metabolism in ruminants with high calcium demand,
In: *Journal of Animal Science* 66 (1), S. 174–184.
51. Gall, L. S.; Thomas, W. E.; Loosli, J. K.; Huhtanen, C. N. (1951):
The effect of purified diets upon rumen flora,
In: *Journal of Nutrition* 44, S. 113–122.
52. Gasperlin, B.; Zadnik, T.; Jazbeck, I.; Zust, J. (2002):
Effects of dietary cation-anion differences on serum calcium, phosphorus and
magnesium concentrations in periparturient dairy cows,
In: *Slovenian Veterinary Research*. 39, S. 215–225.
53. Gaughran, E. R. L. (1947):
The Thermophilic Microöranisms,
In: *Bacteriological Reviews* 11 (3), S. 189–225.
54. Gaynor, P. J.; Mueller, F. J.; Miller, J. K.; Ramsey, N.; Goff, J. P.; Horst, R. L. (1989):
Parturient hypocalcemia in jersey cows fed alfalfa haylage-based diets with
different cation to anion ratios,
In: *Journal of Dairy Science* 72 (10), S. 2525–2531.

55. Gelfert, C. C.; Klein, D.; Montag, N.; Passmann, M.; Staufenbiel, R. (2006a):
Impact of a constant raise of daily dose of anionic salts on acid-base balance and
clinical parameters of dairy cows,
In: *Veterinary Quarterly* 28, S. 130–139.
56. Gelfert, C. C.; Passfeld, M.; Löptien, A.; Montag, N.; Baumgartner, W.; Staufenbiel,
R. (2006b):
Experimental studies on the impact of an increased dose of anionic salts on the
metabolism of dairy cows,
In: *The Veterinary Quarterly* 28 (4), S. 130–139.
57. Gelfert, C.-C.; Hauser, S.; Löptien, A.; Montag, N.; Passmann, M.; Baumgartner,
W.; Staufenbiel, R. (2006c):
Auswirkungen einer gleichzeitigen Gabe von sauren Salzen und Pansenpuffern auf
den Säuren-Basen-Haushalt und Mineralstoffwechsel von Milchkühen,
In: *Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift* 119 (5-6), S. 244–250.
58. GfE, (2001):
Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und
Aufzuchttrinder
Frankfurt am Main, DLG Verlag.
59. Gisi, U. (1997):
Bodenökologie,
Stuttgart: Thieme, ISBN: 3137472024.
60. Glosson, K. M.; Zhang, X.; Bascom, S. S.; Rowson, A. D.; Wang, Z.; Drackley, J.
K. (2020):
Negative dietary cation-anion difference and amount of calcium in prepartum diets:
Effects on milk production, blood calcium, and health,
In: *Journal of Dairy Science* 103 (8), S. 7039–7054.
61. Goff, J. P. (1992):
Effects of acid/base balance on mineral metabolism of lactating dairy cattle,
In: *Proc. 1992 Nutr Inst Natl Feed Ingredients Association*, S. 1–15.
62. Goff, J. P.; Horst, R. L. (1997):
Effects of the addition of potassium or sodium, but not calcium, to prepartum ratios
on milk fever in dairy cows,
In: *Journal of Dairy Science* 80 (1), S. 176–186.

63. Goff, J. P.; Horst, R. L. (1998):
Use of hydrochloric acid as a source of anions for prevention of milk fever,
In: *Journal of Dairy Science* 81 (11), S. 2874–2880.
64. Goff, J. P.; Horst, R. L.; Mueller, F. J.; Miller, J. K.; Kiess, G. A.; Dowlen, H. H.
(1991):
Addition of Chloride to a Prepartal Diet High in Cations Increases 1,25-
Dihydroxyvitamin D Response to Hypocalcemia Preventing Milk Fever,
In: *Journal of Dairy Science* 74 (11), S. 3863–3871.
65. Goff, J. P.; Ruiz, R.; Horst, R. L. (2004):
Relative acidifying activity of anionic salts commonly used to prevent milk fever,
In: *Journal of Dairy Science* 87 (5), S. 1245–1255.
66. Gooneratne, S. R.; Olkowski, A. A.; Klemmer, R. G.; Kessler, G. A.; Christensen,
D. A. (1989):
High sulfur related thiamine deficiency in cattle: A field study,
In: *The Canadian Veterinary Journal* 30 (2), S. 139–146.
67. Gould, D. H. (1998):
Polioencephalomalacia,
In: *Journal of Animal Science* 76 (1), S. 309.
68. Gould, D. H. (2000):
Update on Sulfur-Related Polioencephalomalacia,
In: *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 16 (3), S. 481–496.
69. Gould, D. H.; Cummings, B. A.; Hamar, D. W. (1997):
In Vivo Indicators of Pathologic Ruminal Sulfide Production in Steers with Diet-
Induced Polioencephalomalacia,
In: *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* 9 (1), S. 72–76.
70. Gould, D. H.; Dargatz, D. A.; Garry, F. B.; Hamar, Dwayne W.; Ross, P. F. (2002):
Potentially hazardous sulfur conditions on beef cattle ranches in the United States,
In: *Journal of the American Veterinary Medical Association* 221 (5), S. 673–677.
71. Gribble, G. W. (2003):
The diversity of naturally produced organohalogens,
In: *Chemosphere* 52 (2), S. 289–297.

72. Gutierrez, C.L., Conterasa, L.D., Ramirez, C.J.T., Sanchez, F., Gonzalez, C.H. (1996):
Sulphur Supplementation Improves Rumen Activity
In: *Feed Mix 2*, S. 18–19.
73. Hagel, I. (2000):
Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf Ertrag und Qualität von Weizen schwefelmangelgefährdeter Standorte des Ökologischen Landbaus,
Braunschweig: Bundesforschungsanst. für Landwirtschaft (FAL), ISBN: 3933140420.
74. Hansard, S. L.; Mohammed, A. S. (1969):
Absorption, Excretion and Maternal-Fetal Utilization of Sulfate by the Bovine,
In: *Journal of Animal Science* 28 (2), S. 283–287.
75. Heldt, H.-W.; Piechulla, B. (2015):
Pflanzenbiochemie,
Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, ISBN: 366244397X.
76. Hoffmann, M. (2021):
DCAB – eine hilfreiche Kennzahl in Rationen für Milchkühe. Hg. v. Sächsischer
Landeskontrollverband e.V.,
Lichtenwalde. Online verfügbar unter
<https://www.lkvsachsen.de/fuetterungsberater/blogbeitrag/artikel/dcab-eine-hilfreiche-kennzahl-in-rationen-fuer-milchkuehe/>. Zuletzt abgerufen 25.02.2023
77. Horst, R. L.; Goff, J. P.; Reinhardt, T. A. (1994):
Calcium and vitamin D metabolism in the dairy cow,
In: *Journal of Dairy Science* 77 (7), S. 1936–1951.
78. Horst, R. L.; Goff, J. P.; Reinhardt, T. A.; Buxton, D. R. (1997):
Strategies for preventing milk fever in dairy cattle,
In: *Journal of Dairy Science* 80 (7), S. 1269–1280.
79. Hu, W.; Murphy, M. R. (2004):
Dietary cation-anion difference effects on performance and acid-base status of lactating dairy cows, A meta-analysis,
In: *Journal of Dairy Science* 87 (7), S. 2222–2229.

80. Ivancic, J.; Weiss, W. P. (2001a):
Effect of Dietary Sulfur and Selenium Concentrations on Selenium Balance of Lactating Holstein Cows,
In: *Journal of Dairy Science* 84 (1), S. 225–232.
81. Ivancic, J.; Weiss, W. P. (2001b):
Effect of Dietary Sulfur and Selenium Concentrations on Selenium Balance of Lactating Holstein Cows,
In: *Journal of Dairy Science* 84 (1), S. 225–232.
82. Iwaniuk, M. E.; Weidman, A. E.; Erdman, R. A. (2015):
The effect of dietary cation-anion difference concentration and cation source on milk production and feed efficiency in lactating dairy cows,
In: *Journal of Dairy Science* 98 (3), S. 1950–1960.
83. Iwaniuk, M. E.; Erdman, R. A. (2015b)
Intake, milk production, ruminal, and feed efficiency responses to dietary cation-anion difference by lactating dairy cows,
In: *Journal of Dairy Science* 98 (12), S. 8973–8985
84. Jackson, J. A.; Hopkins, D. M.; Xin, Z.; Hemken, R. W. (1992):
Influence of cation-anion balance on feed intake, body weight gain, and humoral response of dairy calves,
In: *Journal of Dairy Science* 75 (5), S. 1281–1286.
85. Jeroch, H.; Drochner, W.; Simon, O. (1999):
Mineralstoffe, 2. Auflage
Stuttgart: Eugen Ulmer-Verlag, ISBN 9783825281809.
86. Johnson, H. E.; Bleich, Vernon C.; Krausman, P. R. (2007):
Mineral deficiencies in tule elk, Owens Valley, California,
In: *Journal of Wildlife Diseases* 43 (1), S. 61–74.
87. Joost, U.; Seebold, E. (2001):
Friedrich Kluge, Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache. 23., erweiterte Auflage. Bearb. v. Elmar Seebold. Berlin, De Gruyter 1999.
Berlin: Lichtenberg-Jahrbuch

88. Joyce, P. W.; Sanchez, W. K.; Goff, J. P. (1997):
Effect of anionic salts in prepartum diets based on alfalfa,
In: *Journal of Dairy Science* 80 (11), S. 2866–2875.
89. Judy, J. V.; Bachman, G. C.; Brown-Brandl, T. M.; Fernando, S. C.; Hales, K. E.;
Miller, P. S. et al. (2019):
Reducing methane production with corn oil and calcium sulfate: Responses on
whole-animal energy and nitrogen balance in dairy cattle,
In: *Journal of Dairy Science* 102 (3), S. 2054–2067.
90. Julian, R. J.; Harrison, K. B. (1975):
Sulphur poisoning in cattle,
In: *The Canadian Veterinary Journal* 16 (1), S. 28–29.
91. Kahlon, T. S.; Meiske, J. C.; Goodrich, R. D. (1975):
Sulfur Metabolism In Ruminants,
In: *Journal of Animal Science* 41 (4), S. 1147–1153.
92. Kamphues, J.; Meyer H.; Schneider, D.; Leibetseder, J. (1999):
Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung,
Alfeld: Schaper, ISBN: 3794401891.
93. Kamphues, J.; Stolte, M.; Tschentscher, A.; Rust, P. (1999):
Untersuchungen zu Sulfatgehalten in Milchaustauschern und Molkeprodukten
sowie zur Bedeutung der Sulfataufnahme für die Kotbeschaffenheit bei Kälbern,
In: *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* 106 (11), S. 466–570.
94. Kandyliis, K. (1983):
Transfer of Plasma Sulfate from Blood to Rumen. A Review,
In: *Journal of Dairy Science* 66 (11), S. 2263–2270.
95. Kandyliis, K. (1984):
The role of sulphur in ruminant nutrition. A review,
In: *Livestock Production Science* 11 (6), S. 611–624.
96. Knubben-Schweizer, G.; Brosinski, K.; Steiner, B. (2011):
Schwefelwasserstoffvergiftung (Güllegasvergiftung) in einem Rindermastbetrieb
mit Offenstallhaltung,
In: *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 153 (3), S. 127–129.

97. Kul, O.; Karahan, S.; Basalan, M.; Kabakci, N. (2006):
Polioencephalomalacia in cattle: a consequence of prolonged feeding barley malt sprouts,
In: *Journal of Veterinary Medicine. A, Physiology, Pathology, Clinical Medicine* 53 (3), S. 123–128.
98. Kung, L., J.R.; Bracht, J. P.; Hession, A. O.; Tavares, J. Y. (1998):
High-sulfate induced PEM in cattle examined,
In: *Feedstuffs* 70 (47) S. 12-19
99. Kunz, P. L.; Blum, J. W.; Hart, I. C.; Bickel, H.; Landis, J. (1985):
Effects of different energy intakes before and after calving on food intake, performance and blood hormones and metabolites in dairy cows,
In: *Journal of Animal Science*. 40 (2), S. 219–231.
100. Kurtz, A. (2007):
Schwefelhaushalt,
in: Loeffler, G., Petrides, P. & Heinrich, P. *Biochemie und Pathobiochemie*, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, S. 941–942. ISBN: 9783540326809
101. La Manna, A. F.; Owens F.N.; Janloo, S.; Ahmad, J. H.; Welty, S. D. (1999):
Impact of dietary cation anion balance on water intake and physiological measurements of feedlot cattle,
In: *Animal Science Research Report*, S. 152–158.
102. Lamm, C. G.; Richter, G.; Taylor, J. D.; Morgan, S. E. (2010):
Characterization of sulfur and sulfate toxicosis in cattle,
In: *Bovine Practitioner* 44 (2), S. 124–130.
103. Lean, I. J.; Santos, J. E. P.; Block, E.; Golder, H. M. (2019):
Effects of prepartum dietary cation-anion difference intake on production and health of dairy cows: A meta-analysis,
In: *Journal of Dairy Science* 102 (3), S. 2103–2133.
104. Leclerc, H.; Block, E. (1989):
Effects of reducing dietary cation-anion balance for prepartum dairy cows with specific reference to hypocalcemic parturient paresis,
In: *Canadian Journal of Animal Science* 69, S. 411–423.

105. Lee, C.; Copelin, J. E.; Rebelo, L.R.; Phyllis, A. D. ;Brown, T. (2020):
Effects of reduced dietary cation and anion difference on production, nutrient digestibility, and urine pH in lactating cows,
In: *Journal of Dairy Science* (103), S. 33–35.
106. Leno, B. M.; Ryan, C. M.; Stokol, T.; Kirk, D.; Zanzalari, K. P.; Chapman, J. D.; Overton, T. R. (2017):
Effects of prepartum dietary cation-anion difference on aspects of peripartum mineral and energy metabolism and performance of multiparous Holstein cows,
In: *Journal of dairy science* 100 (6), S. 4604–4622.
107. Loeffler, K.; Gäbel, G. (2015):
Anatomie und Physiologie der Haustiere:
Stuttgart, Eugen Ulmer, ISBN: 9783825243630.
108. Lopera, C.; Zimpel, R.; Vieira-Neto, A.; Lopes, F. R.; Ortiz, W.; Poindexter, M. et al. (2018):
Effects of level of dietary cation-anion difference and duration of prepartum feeding on performance and metabolism of dairy cows,
In: *Journal of Dairy Science* 101 (9), S. 7907–7929.
109. Stöber M.; Dirksen, G. (2006):
Innere Medizin und Chirurgie des Rindes:
Stuttgart, Parey, ISBN: 9783830441694.
110. Männer, K.; Bronsch, K. (1987):
Schwefel, *Lehrbuch der Veterinär-Physiologie* Auflage 7, S. 103–104,
Stuttgart, Pary, ISBN: 9783489662167
111. Martinez, N.; Rodney, R. M.; Block, E.; Hernandez, L. L.; Nelson, C. D.; Lean, I. J.; Santos, J. E. P. (2018):
Effects of prepartum dietary cation-anion difference and source of vitamin D in dairy cows: Lactation performance and energy metabolism,
In: *Journal of Dairy Science* 101 (3), S. 2544–2562.
112. Mason, J. (1986):
Thiomolybdates: Mediators of molybdenum toxicity and enzyme inhibitors,
In: *Toxicology* 42 (2-3), S. 99–109.

113. McAllister, M. M.; Gould, D. H.; Hamar, D. W. (1992):
Sulphide-induced polioencephalomalacia in lambs,
In: *Journal of Comparative Pathology* 106 (3), S. 267–278.
114. McAllister, M. M.; Gould, D. H.; Raisbeck, M. F.; Cummings, B. A.; Loneragan, G. H. (1997):
Evaluation of ruminal sulfide concentrations and seasonal outbreaks of polioencephalomalacia in beef cattle in a feedlot,
In: *Journal of the American Veterinary Medical* 211 (10), S. 1275–1279.
115. McCaughern, J. H.; Mackenzie, A. M.; Sinclair, L. A. (2020)
Dietary starch concentration alters reticular pH, hepatic copper concentration, and performance in lactating Holstein-Friesian,
In: *Journal of Dairy Science* 103 (10), S. 9024–9036
116. McDowell, L. R. (2003):
Minerals in animal and human nutrition,
In: Academic Press Inc.
San Diego *Elsevier Science B.V.* 2, S. 644. ISBN: 9780124833692
117. McKenzie, R. A.; Carmichael, A. M.; Schibrowski, M. L.; Duigan, S. A.; Gibson, J. A.; Taylor, J. D. (2009):
Sulfur-associated polioencephalomalacia in cattle grazing plants in the Family Brassicaceae,
In: *Australian Veterinary Journal* 87 (1), S. 27–32.
118. Méot, F.; Bonnet, J.-M.; Boivin, R.; Cirio, A. (2006):
Determination of parotid sulfate secretion in sheep by means of ultrasonic flow probes¹,
In: *Journal of Animal Science* 84 (5), S. 1215–1220.
119. Moore, S. J.; VandeHaar, M. J.; Sharma, B. K.; Pilbeam, T. E.; Beede, D. K.; Bucholtz, H. F. (2000):
Effects of altering dietary cation-anion difference on calcium and energy metabolism in peripartum cows,
In: *Journal of Dairy Science* 83 (9), S. 2095–2104.

120. Morrison, M.; Murray, R. M.; Boniface, A. N. (1990):
Nutrient metabolism and rumen micro-organisms in sheep fed a poor-quality tropical grass hay supplemented with sulphate,
In: *The Journal of Agricultural Science*. 115 (2), S. 269–275.
121. Mortimer, Charles E.; Müller, Ulrich; Beck, Johannes (2015):
Chemie, Das Basiswissen der Chemie,
Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, ISBN: 3134843129.
122. Müller R.; Erichsen L.v. (1952):
Der Schwefel im Stoffwechsel der Wiederkäuer,
In: *Journal of Animal Breeding and Genetics* 60 (3), S. 285–295.
123. NRC (1980):
Mineral Tolerance of Domestic Animals:
Washington D.C.: National Academy of Sciences, ISBN: 9780309030229.
124. NRC (1996):
Nutrient requirements of beef Cattle,
Washington, D.C.: Natinal Acaddemy Press 7, S. 61.
125. NRC (2001):
Nutrient requirements of dairy cattle,
Washington, D.C: National Academy Press, ISBN: 9780309069977.
126. NRC (2005):
Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition, 2005:
Washibton, D.C.: National Academies Press, ISBN: 9780309096546.
127. O'Connor, B. (2002):
Hypocalcaemia and hypomagnesaemia in beef cows fed cereal greenfeed,
In: *Animal Health Expositor* 2 (2), S. 3–4.
128. Oetzel, G. R. (1988):
Parturient paresis and hypocalcemia in ruminant livestock,
In: *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice* 4 (2), S. 351–364.
129. Oetzel, G. R. (1991):
Meta-analysis of nutritional risk factors for milk fever in dairy cattle,
In: *Journal of Dairy Science* 74 (11), S. 3900–3912.

130. Oetzel, G. R. (1993):
Use of anionic salts for prevention of milk fever in dairy cattle,
In: *Compendium: Continuing Education for Veterinarians*. 15, S. 1138–1146.
131. Oetzel, G. R. (2000):
Management of dry cows for the prevention of milk fever and other mineral disorders,
In: *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice* 16 (2), S. 369-86
132. Patterson, H.; Johnson, P.; Epperson, W.; Haigh, R. (2004):
Effect of Total Dissolved Solids and Sulfates in Drinking Water for Growing Steers,
In: *South Dakota Beef Report, 2004*.
133. Peirce, A. W. (1963):
Studies on salt tolerance of sheep. V. The tolerance of sheep for mixtures of sodium chloride, sodium carbonate, and sodium bicarbonate in the drinking water,
In: *Australian Journal of Agricultural Research*. 14 (6), S. 815–823.
134. Pfeffer, E.; Bertzbach, J.; Helfferich, B.; Lenkeit, W. (1965):
Untersuchungen zur Beeinflussung des Stoffwechsels durch hohe Kochsalzzufütterung bei der Milchkuh,
In: *Zeitschrift für Tierphysiologie Tierernährung und Futtermittelkunde* 20 (1-5), S. 305–312.
135. Pogge, D. J.; Drewnoski, M. E.; Hansen, S. L. (2014):
High dietary sulfur decreases the retention of copper, manganese, and zinc in steers,
In: *Journal of Animal Science* 92 (5), S. 2182–2191.
136. Prädel, Y. J. S. (2021):
Untersuchung zum Einfluss der DCAB in den Futterrationen auf den Säure-Basen-Haushalt von Holstein-Friesian Milchkühen unter Berücksichtigung der Konzentrationen an Kalium und Natrium,
Berlin, Freie Universität Berlin, Dissertation.
137. Puls, R. (1990):
Mineral levels in animal health,
Clearbrook, B.C., ISBN: 096934290X.

138. Puls, R. (1994):
Mineral levels in animal health,
Clearbrook, B.C., ISBN: 0969342926.
139. Qi, K.; Lu, C. D.; Owens, F. N. (1993):
Sulfate supplementation of Angora goats: sulfur metabolism and interactions with
zinc, copper and molybdenum,
In: *Small Ruminant Research* 11 (3), S. 209–225.
140. Qi, K.; Lu, C. D.; Owens, F. N.; Lupton, C. J. (1992):
Sulfate supplementation of Angora goats: metabolic and mohair responses,
In: *Journal of Animal Science* 70 (9), S. 2828–2837.
141. Qi, K.; Owens, F. N.; Lu, C. D. (1994):
Effects of sulfur deficiency on performance of fiber-producing sheep and goats: A
review,
In: *Small Ruminant Research* 14 (2), S. 115–126.
142. Rachid, M. A.; Filho, E. F.; Carvalho, A. U.; Vasconcelo, A. C.; Ferreira, P. M.
(2011):
Polioencephalomalacia in Cattle,
In: *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 6 (2), S. 126–131.
143. Reeves, P. G. (2004):
Sulphur, The encyclopedia of farm animal nutrition,
Wallingford: CABI, ISBN: 0851993699.
144. Roche, J. R.; Dalley, D.; Moate, P.; Grainger, C.; Rath, M.; O'Mara, F. (2003):
Dietary cation-anion difference and the health and production of pasture-fed dairy
cows. 1. Dairy cows in early lactation,
In: *Journal of Dairy Science* 86 (3), S. 970–978.
145. Roche, J. R.; Morton, J.; Kolver, E. S. (2002):
Sulfur and chlorine play a non-acid base role in periparturient calcium homeostasis,
In: *Journal of Dairy Science* 85 (12), S. 3444–3453.
146. Romo, G. A.; Kellems, R. O.; Powell, K.; Wallentine, M. V. (1991):
Some blood minerals and hormones in cows fed variable mineral levels and ionic
balance,
In: *Journal of Dairy Science* 74 (9), S. 3068–3077.

147. Rosenberger, G. (1970):
Krankheiten des Rindes,
Berlin: Parey, ISBN: 3489557166.
148. Rumsey, T. S. (1978):
Effects of Dietary Sulfur Addition and Synovex-S Ear Implants on Feedlot Steers
Fed an All-Concentrate Finishing Diet,
In: *Journal of Animal Science* 46 (2), S. 463–477.
149. Santos, J. E. P.; Lean, I. J.; Golder, H.; Block, E. (2019):
Meta-analysis of the effects of prepartum dietary cation-anion difference on
performance and health of dairy cows,
In: *Journal of dairy science* 102 (3), S. 2134–2154.
150. Scheffer, F.; Schachtschabel, P.; Blume, H.-P.; Brümmer, G. W.; Horn, R.;
Kandeler, E. (2010):
Lehrbuch der Bodenkunde,
Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, ISBN: 9783827414441.
151. Scheunert, A., Trautmann A. (1951):
Lehrbuch der Veterinär-Physiologie,
Berlin: Parey ISBN: 348975316X
152. Schmidt, M. (1973):
Schwefel - was ist das eigentlich?,
In: *Chemie in unserer Zeit* 7 (1), S. 11–18.
153. Schonewille, J. T.; Van't Klooster, A. T.; Wouterse, H.; Beynen, A. C. (1999):
Hypocalcemia induced by intravenous administration of disodium
ethylenediaminetetraacetate and its effects on excretion of calcium in urine of cows
fed a high chloride diet,
In: *Journal of Dairy Science* 82 (6), S. 1317–1324.
154. Serrenho R. C.; Bruinje, T. C.; Morrison, E. I.; DeVries, T. J.; Duffield, T. F.;
LeBlanc, S. J. (2021):
Controlled trial of the effect of negative dietary cation-anion difference on
postpartum health of dairy cows,
In: *Journal of Dairy Science* 104 (6), S. 6929–6943

155. Shen, Xiao-yun (2011):
Studies on Wool-Eating Ailment in Guizhou Semi-Fine Wool Sheep,
In: *Agricultural Sciences in China* 10 (10), S. 1618–1623.
156. Sklan, D.; Hurwitz, S. (1985):
Movement and Absorption of Major Minerals and Water in Ovine Gastrointestinal Tract,
In: *Journal of Dairy Science* 68 (7), S. 1659–1666.
157. Slyter, L. L.; Chalupa, W.; Oltjen, R. R.; Weaver, J. M. (1986):
Sulfur influences on rumen microorganisms in vitro and in sheep and calves,
In: *Journal of Animal Science* 63 (6), S. 1949–1959.
158. Smart, M. E.; Cohen, R.; Christensen, D. A.; Williams, C. M. (1986):
The Effects of Sulphate Removal from the drinking water on the Plasma and Liver Copper and Zinc concentrations of Beef Cows and their Calves,
In: *Canadian Journal of Animal Science* 66 (3), S. 669–680.
159. Sousa, R. C. de; Harrington, J. T.; Ricanati, E. S.; Shelkrot, J. W.; Schwartz, W. B. (1974):
Renal regulation of acid-base equilibrium during chronic administration of mineral acid,
In: *The Journal of Clinical Investigation* 53 (2), S. 465–476.
160. Spears, J. W.; Ely, D. G.; Bush, L. P.; Buckner, R. C. (1976):
Sulfur Supplement and in Vitro Digestion of Forage Cellulose by Rumen Microorganisms,
In: *Journal of Animal Science* 43 (2), S. 513–517.
161. Spears, J. W.; Lloyd, K. E.; Fry, R. S. (2011):
Tolerance of cattle to increased dietary sulfur and effect of dietary cation-anion balance,
In: *Journal of Animal Science* 89 (8), S. 2502–2509.
162. Staufienbiel, R. (2000):
Prophylaxe der Gebärdparese, Teil 2,
In: *Nutztier Spiegel* 1, S. 58–61.

163. Staufenbiel, R.; Engelhard, T. (1999):
Vier Strategien gegen Milchfieber,
In: *Top Agrar* 9, R16-R20.
164. Staufenbiel, R.; Gelfert, C. C.; Hof, K.; Westphal, A.; Daetz, C. (2007):
Einfluss verschiedener Varianten der Trockensteher- und Transitkuhfütterung auf
die Tiergesundheit und die Leistung. In: Bernd Pieper (Hg.): Tagungsbericht 2007 /
10. Symposium "Fütterung und Management von Kühen mit Hohen Leistungen",
25.10.2007, Neuruppin. Neuruppin/OT Wuthenow: Dr.-Pieper-Technologie-und-
Produktentwicklung, S. 11–78.
165. Stöber, M.; Scholz H. (2006):
Sulfid-, Sulfad-, Sulfit- und Schwefelvergiftung,
in: Dierksen G., Innere Medizin und Chirurgie des Rindes,
Stuttgart: Pary, S. 1111-1113, ISBN: 9783830441694.
166. Suttle, N. F. (1991):
The interactions between copper, molybdenum, and sulphur in ruminant nutrition,
In: *Annual Review of Nutrition* 11, S. 121–140.
167. Suttle, N. F. (2010):
Mineral nutrition of livestock,
Wallingford, Oxfordshire, UK, Cambridge, MA: CABI, ISBN: 9781845934729.
168. Thews, G.; Vaupel, P. (1997):
Hormonale Regulationen. In: Gerhard Thews und Peter Vaupel (Hg.): Vegetative
Physiologie. Dritte, völlig überarbeitete und ergänzte Auflage.
Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer, S. 481–533. ISBN 978-3-540-60403-7
169. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2003):
Silage monitoring - Silage aus der Ernte der Jahre 2000 bis 2002,
Thüringen: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (46.08.300).
170. Tisdale, S. L. (1977):
Sulphur in forage quality and ruminant nutrition, Technical bulletin no 22,
1725 K Street, NW, Washington,,: The Sulfur Institute,

171. Tran, T.-D. (1997):
Mit Elektrolyten-Balance gegen Milchfieber?,
In: *Rinderwelt* (Juni), S. 26–28.
172. Tucker, W. B.; Harrison, G. A.; Hemken, R. W. (1988):
Influence of dietary cation-anion balance on milk, blood, urine, and rumen fluid in lactating dairy cattle,
In: *Journal of Dairy Science* 71 (2), S. 346–354.
173. Tucker, W. B.; Hogue, J. F.; Waterman, D. F.; Swenson, T. S.; Xin, Z.; Hemken, R. W. (1991):
Role of sulfur and chloride in the dietary cation-anion balance equation for lactating dairy cattle,
In: *Journal of Animal Science* 69 (3), S. 1205–1213.
174. Ulbrich, M.; Hoffmann, M.; Drochner, W. (2004):
Fütterung und Tiergesundheit,
Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer Verlag, ISBN: 978-3-8001-2805-1
175. Ullrich, K. J. (1973):
„Anatomic" eines Epithels. Analyse des Stofftransports durch den proximalen Nierentubulus,
In: *Naturwissenschaften* (60).
176. Uwituze, S.; Parsons, G. L.; Karges, K. K.; Gibson, M. L.; Hollis, L. C.; Higgins, J. J.; Drouillard, J. S. (2011):
Effects of distillers grains with high sulfur concentration on ruminal fermentation and digestibility of finishing diets,
In: *Journal of Animal Science* 89 (9), S. 2817–2828.
177. van Soest, P. J. (1994):
Nutritional ecology of the ruminant,
Ithaca: Comstock Pub, ISBN: 9781501732355.
178. Walch, K. (1998):
Kationen-Anionen-Bilanz in Rationen trockenstehender Milchkühe und ihre Bedeutung für die Gebärparese,
München, Technische Universität München, Diplomarbeit

179. Wall, K. (2016):
Untersuchungen zur Schwefelversorgung von Milchkühen,
Berlin, Freie Universität Berlin, Dissertation.
180. Wang, K.; Nan, X.; Zhao, P.; Liu, W.; Drackley, J. K.; Liu, S. (2018):
Effects of low dietary cation-anion difference induced by ruminal ammonium
chloride infusion on performance, serum, and urine metabolites of lactating dairy
cows,
In: *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 31 (5), S. 677–685.
181. Waterman, D. F.; Swenson, T. S.; Tucker, W. B.; Hemken, R. W. (1991):
Role of magnesium in the dietary cation-anion balance equation for ruminants,
In: *Journal of Dairy Science* 74 (6), S. 1866–1873.
182. Weeth, H. J.; Capps, D. L. (1972):
Tolerance of Growing Cattle for Sulfate-Water,
In: *Journal of Animal Science* 34 (2), S. 256–260.
183. Weeth, H. J.; Haverland, L. H.; Cassard, D. W. (1960):
Consumption of Sodium Chloride Water by Heifers,
In: *Journal of Animal Science* 19 (3), S. 845–851.
184. Weich, W.; Block, E.; Litherland, N. B. (2013):
Extended negative dietary cation-anion difference feeding does not negatively
affect postpartum performance of multiparous dairy cows,
In: *Journal of Dairy Science* 96 (9), S. 5780–5792.
185. Wessels, A. (2002):
Zum Einfluss einer unterschiedlichen Schwefelversorgung auf Leistungsparameter,
Verdaulichkeit und Spurenelementgehalte in verschiedenen Geweben bei
wachsenden Rindern,
München, Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum
Weihenstephan, Dissertation.
186. Whanger, P. D.; Weswig, P. H.; Oldfield, J. E. (1978):
Selenium, sulfur and nitrogen levels in ovine rumen microorganisms,
In: *Journal of Animal Science* 46 (2), S. 515–519.

187. Williams, Prue H.; Haynes, Richard J. (1993):
Forms of sulphur in sheep excreta and their fate after application on to pasture soil,
In: *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 62 (4), S. 323–329.
188. Zaaijer, D.; Noordhuizen J. P. (2003):
A novel scoring system for monitoring the relationship between nutritional efficiency
and fertility in dairy cows,
In: *Irish Veterinary Journal* (56), S. 145–156.
189. Zimpel, R.; Almeida, K. V.; Marinho, M. Nehme; Ruiz, A. Revilla; Perdomo, M. C.;
Poindexter, M. B (2021):
Prepartum level of dietary cation-anion difference fed to nulliparous cows: Lactation
and reproductive responses
In: *Journal of Dairy Science* 104 (11), S. 11699–11714
190. Zimpel, R.; Poindexter, M. B.; Vieira-Neto, A.; Block, E.; Nelson, C. D.; Staples, C.
R.; Thatcher, W. W (2018):
Effect of dietary cation-anion difference on acid-base status and dry matter intake
in dry pregnant cows
In: *Journal of Dairy Science* 101 (9), S. 8461–8475
191. Zinn, R. A.; Alvarez, E.; Mendez, M.; Montaña, M.; Ramirez, E.; Shen, Y. (1997):
Influence of dietary sulfur level on growth performance and digestive function in
feedlot cattle,
In: *Journal of Animal Science* 75 (7), S. 1723–1728.

10. Anhang

Tabelle 28: Analyalisierte Rationen der Untersuchungsreihe 1 (Prädel 2021)

Analyseparameter	Woche 0	Woche 1-3		Woche 4-11	
		Kontrollgruppe	Untersuchungsgruppe	Kontrollgruppe	Untersuchungsgruppe
g/kg TM					
Rohfaser	188	182	185	206 (194-229)	198 (194-201)
Rohprotein	190	189	183	192 (190-196)	192 (185-202)
Rohasche	77	72	75	83 (81-85)	84 (82-87)
ADF	210	208	214	230 (221-246)	224 (221-226)
NDF	322	376	387	418 (392-454)	411 (396-422)
NEL	7,0	7,0	7,0	6,7 (6,5-6,9)	6,7 (6,6-6,8)
Ca	8,4	8,3	7,3	9,0 (8,5-9,4)	8,2 (7,9-8,5)
P	4,8	5,1	5,0	4,7 (4,6-4,7)	4,8 (4,8)
Mg	1,9	2,0	2,7	2,2 (2,2-2,3)	3,2 (3,1-3,3)
Na	2,2	2,5	2,0	4,6 (4,4-4,7)	4,1 (3,9-4,5)
K	14,7	15,7	15,2	15,8 (14,9-16,7)	14,9 (14,5-15,8)
Cl	4,6	5,0	8,0	7,4 (6,9-8,2)	11,3 (9,1-14,0)
S	2,7	2,7	2,9	2,9 (2,8-3,0)	3,0 (2,9-3,2)
DCAB(mEq/kgTM)	180	200	73	222 (195-239)	55 (-18-131)

Tabelle 29: Rationen mit verwendeten Futtermitteln, Zufütterung Soy-Chlor® in der Untersuchungsgruppe der Untersuchungsreihe 1

Rationszusammensetzung	Woche 1-3				Woche 4-10			
	Kontrollgruppe		Untersuchungsgruppe		Kontrollgruppe		Untersuchungsgruppe	
	FM	TM	FM	TM	FM	TM	FM	TM
je Tier/Tag	FM	TM	FM	TM	FM	TM	FM	TM
Mais in kg	8,46	4,38	8,43	4,36	-	-	-	-
Anwelksilage in kg	21,4	6,73	21,6	6,80	22,3	6,96	21,2	6,58
Anwelksilage 2 in kg	-	-	-	-	16,4	6,80	15,6	6,45
Luzerne in kg	8,38	2,86	7,41	2,53	-	-	-	-
Stroh in kg	0,78	0,68	0,76	0,66	0,87	0,76	0,59	0,51
Mischfutter in kg	6,98	6,16	7,19	6,35	8,09	7,15	7,76	6,86
Raps in kg	4,70	4,17	4,39	3,89	4,12	3,68	3,74	3,31
Silostar in kg	0,16	0,16	0,16	0,15	0,17	0,17	4,89	0,17
K in g/kg TM	14,3		14,3		15,7		15,7	
Ca in g/kg TM	8,35		8,09		8,59		8,01	
P in g/kg TM	4,56		4,60		4,56		4,62	
Na in g/kg TM	2,10		2,13		3,12		2,98	
Mg in g/kg TM	1,82		2,90		1,93		3,10	
Cl in g/kg TM	4,40		9,22		7,08		12,06	
S in g/kg TM	2,59		2,77		2,16		2,97	
DCAB in meq/kg TM	175		29,5		166		5,80	

Tabelle 30: Futtermitteldaten Untersuchungsreihe 1

Woche	Gruppe	Ca in g/d	Mg in g/d	NDF in g/d	NEL in MJ/d	NFC in g/d	nXP in g/d	P in g/d	PNDF in g/d	RNB in g/d
W0	31	215	48,8	8211	179	9750	4072	123	5883	38,0
	32	217	49,2	8276	180	9827	4104	124	5930	38,3
W1	31	217	55,0 ^A	8380 ^A	178	9734	4063	119 ^A	6051	42,5 ^{A1}
	32	209 ^B	55,8 ^B	8312 ^B	178	9646	4073	120 ^B	5839	35,7 ^{B2}
W2	31	218	54,9 ^A	8395 ^A	177	9637	4056	117 ^A	6100	51,1 ^{A1}
	32	211 ^B	55,3 ^B	8526 ^B	179	9714	4114	118 ^B	6050	40,2 ^{B2}
W3	31	207 ^{A1}	49,4 ¹	9400 ^{A1}	176 ¹	8520 ^{A1}	4006,5	115 ^{A1}	7223 ^{A1}	79,6 ^{A1}
	32	185 ^{B2}	71,9 ^{B2}	8917 ^{B2}	168 ^{B2}	8044 ^{B2}	3825 ^B	110 ^{B2}	6764 ^{B2}	71,3 ^{B2}
W4	31	226 ^{A1}	50,2 ^{A1}	9279 ^A	182	8809 ^A	4111	119 ^A	7000 ^{A1}	84,5 ^{A1}
	32	207 ^{B2}	80,2 ^{B2}	8915 ^B	179	8638 ^B	4066	119	6479 ^{B2}	76,9 ^{B2}
W5	31	229 ^{A1}	51,1 ^{A1}	9426 ^A	184 ^A	9003 ^A	4180 ^A	121	7101 ^{A1}	83,7 ^{A1}
	32	210 ^{B2}	81,6 ^{B2}	9134 ^B	180	8627 ^B	4103	121	6678 ^{B2}	79,0 ^{B2}
W6	31	231 ^{A1}	51,2 ^{A1}	9478 ^{A1}	184 ^{A1}	8937 ^{A1}	4175	122	7140 ^{A1}	84,5 ^{A1}
	32	205 ^{B2}	79,7 ^{B2}	8964 ^{B2}	175 ²	8374 ^{B2}	3984 ^B	116 ^B	6583 ^{B2}	75,2 ^{B2}
W7	31	227 ^{A1}	50,4 ^{A1}	9235 ^A	182	8890 ^{A1}	4121	119	6907 ^{A1}	81,7 ^{A1}
	32	206 ^{B2}	80,1 ^{B2}	8801 ^B	175 ^B	8409 ^{B2}	3989 ^B	117 ^B	6378 ^{B2}	76,1 ^{B2}
W8	31	221 ¹	49,1 ¹	9067 ^A	177	8659 ^A	4014	116 ^A	6794 ^{A1}	78,4 ^A
	32	204 ^{B2}	79,3 ^{B2}	8876 ^B	174 ^B	8335 ^B	3974 ^B	117 ^B	6471 ^{B2}	76,6 ^B
W9	31	222 ¹	48,5 ¹	8737 ^A	177	8750 ^A	3999	116 ^A	6381 ^{A1}	75,4 ^A
	32	203 ^{B2}	79,6 ^{B2}	8429	173 ^B	8410 ^B	3979 ^B	119 ^B	5822 ²	76,4 ^B

Anhang

Woche	Gruppe	SW in g/d	XA in g/d	XFA in g/d	XL in g/d	XP in g/d	XS in g/d	XZ in g/d
W0	31	3458		4243	896	4342	5101	978
	32	3486		4277	903	4375	5141	985
W1	31	3588 ^A	1953	4348 ^A	892 ¹	4363	5122 ¹	971
	32	3449 ^B	2014	4310	836 ^{B2}	4412	1012 ^{B2}	1012 ^B
W2	31	3635 ^{A1}	1966	4354	895 ¹	4411	5048 ¹	965 ¹
	32	3580 ^{B2}	2045	4409 ^B	848 ^{B2}	4483 ^B	1024 ^{B2}	1024 ^{B2}
W3	31	4028 ^{A1}	2082	4696 ^{A1}	932 ^{A1}	4521 ^A	3989 ^{A1}	1163 ^{A1}
	32	3774 ^{B2}	2024	4482 ^{B2}	834 ^{B2}	4359	3802 ^{B2}	1136 ^{B2}
W4	31	3922 ^{A1}	2189	4622 ^A	967 ^{A1}	4655 ^A	4116 ^A	1138 ^A
	32	3635 ^{B2}	2173	4444 ^B	882 ²	4655 ^B	4155 ^B	1166 ^B
W5	31	3975 ^{A1}	2216	4688 ^A	983 ^{A1}	4721 ^A	4255 ^A	1174 ^A
	32	3740 ^{B2}	2204	4559 ^B	887 ²	4708 ^B	4117 ^B	1189 ^B
W6	31	3994 ^{A1}	2221	4713 ^{A1}	980 ^{A1}	4721 ^A	4214 ^{A1}	1179 ^A
	32	3683 ^{B2}	2146	4477 ^{B2}	860 ^{B2}	4563 ^B	4012 ^{B2}	1165 ^B
W7	31	3865 ^{A1}	2176	4579 ^A	968 ^{A1}	4649 ^A	4244 ^A	1170 ^A
	32	3573 ²	2140	4381	860 ^{B2}	4575 ^B	4053 ^B	1166 ^B
W8	31	3799 ^A	2120	4496 ^A	941 ^{A1}	4521 ^A	4149 ^A	1145 ^A
	32	3621 ^B	2134	4423 ^B	856 ^{B2}	4559 ^B	3996 ^B	1163 ^B
W9	31	3573 ¹	2094	4296	937 ^{A1}	4488	4314 ^A	1143 ^A
	32	3264 ^{B2}	2082	4132 ^B	847 ^{B2}	4568 ^B	4186 ^B	1180 ^B

1/2 Signifikante Gruppenunterschiede ($p < 0,05$); A/B: Signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,05$)

Tabelle 31: Milchdaten Untersuchungsreihe 1

Woche	Gruppe	FP in %	EP in %	Lact in %	FM in g/d	EM in g/d	FP/EP	LactM in g/d	FCM kg/d	HS in mmol/l	MN in mg/l
W0	31	3,73	3,39	4,78	1393	1274	1,1	1825	36,1	4,88	418
	32	3,69	3,39	4,81	1413	1306	1,09	1863	36,7	4,96	426
W1	31	3,58 ^A	3,50 ^A	4,79	1360	1343 ^A	1,02 ^A	1857 ^A	35,9	4,34 ^A	414
	32	3,61 ^B	3,49 ^B	4,77 ^B	1394	1355 ^B	1,03 ^B	1865	36,5	4,38 ^B	417
W2	31	3,64	3,48 ^A	4,75	1355	1309 ^A	1,05	1809	35,5	4,53 ^A	416
	32	3,60	3,50 ^B	4,74 ^B	1365 ^B	1334	1,03 ^B	1818 ^B	35,8 ^B	4,58 ^B	423
W3	31	3,71	3,58 ^A	4,70 ^A	1339 ^A	1307 ^A	1,03 ^A	1735 ^A	34,8 ^A	4,08 ^A	406 ^A
	32	3,60 ^B	3,57 ^B	4,71 ^B	1287 ^B	1283	1,01 ^B	1703 ^B	33,7 ^B	4,21 ^B	408 ^B
W4	31	3,83	3,62 ^A	4,68 ^A	1387	1320 ^A	1,06 ^A	1724 ^A	35,5	4,63 ^A	430 ^A
	32	3,81 ^B	3,57 ^B	4,66 ^B	1382	1305	1,07	1709 ^B	35,4 ^B	4,69 ^B	429
W5	31	3,77	3,61 ^A	4,68 ^A	1364	1313 ^A	1,04 ^A	1722 ^A	35,1	4,69	431 ^A
	32	3,77	3,59 ^B	4,69 ^B	1369	1308	1,05	1723 ^B	35,2 ^B	4,58 ^B	426
W6	31	3,85	3,65 ^A	4,71 ^A	1380	1318 ^A	1,05 ^A	1716 ^A	35,2	4,32 ^A	422
	32	3,79	3,64 ^B	4,68 ^B	1347 ^B	1301	1,04	1685 ^B	34,6 ^B	4,23 ^B	416
W7	31	3,9 ^A	3,66 ^A	4,67 ^A	1398	1298	1,09	1678 ^A	35,3	4,59 ^A	429 ^A
	32	3,84 ^B	3,61 ^B	4,62 ^B	1332 ^B	1259	1,07	1628 ^B	34,0 ^B	4,72	427
W8	31	3,99 ^A	3,69 ^A	4,70 ^A	1343	1256	1,08	1622 ^A	33,8 ^A	4,69	430 ^A
	32	3,95 ^B	3,70 ^B	4,65 ^B	1320 ^B	1248	1,07	1579 ^B	33,3 ^B	4,77	435

A/B: Signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,05$); FP – prozentualer Fettanteil, EP - prozentualer Eiweißanteil, Lact - Lactulose, FM - Fettanteil in Milch, EM - Eiweißanteil in Milch, FP/EP - Fett-Eiweiß-Quotient, FCM - Fett-Korrigierte-Milch, HS – Harnstoffgehalt, MN - Milchstickstoff

Tabelle 32: Analyisierte Rationen der Untersuchungsreihe 2 (Prädel 2021)

Analyseparameter	Woche 0 (g/kg TM)	Kontrollgruppe (g/kg TM)	Untersuchungsgruppe (g/kg TM)
Rohfaser	186	179 (173-195)	183 (178-189)
Rohprotein	169	170 (162-188)	167 (162-173)
Rohasche	69	71 (69-73)	71 (70-73)
ADF	231	213 (207-225)	218 (206-228)
NDF	368	372 (354-381)	363 (339-392)
NEL	6,9	7,0 (6,8-7,2)	6,9 (6,8-6,9)
Ca	9,4	9,8 (9,5-10,0)	8,6 (8,2-9,5)
P	4,5	4,6 (4,2-5,1)	4,4 (4,3-4,5)
Mg	2,7	2,8 (2,7-2,9)	2,5 (2,4-2,6)
Na	2,2	2,8 (2,5-3,1)	5,4 (4,9-5,8)
K	12,5	12,0 (11,3-12,3)	11,6 (10,6-12,2)
Cl	5,1	5,7 (5,3-5,9)	4,8 (4,4-5,4)
S	2,6	3,0 (2,6-3,7)	2,8 (2,5-3,3)
DCAB (mEq/kg TM)	+107	+80 (+50 bis +127)	+221 (+199 bis +246)

Tabelle 33: Rationen mit verwendeten Futtermitteln, Zufütterung NaHCO₃ in der Untersuchungsgruppe der Untersuchungsreihe 2

Rationszusammensetzung	Kontrollgruppe		Untersuchungsgruppe	
	FM	TM	FM	TM
je Tier/Tag				
Mais in kg	18,8	7,18	19,2	7,31
Anwelksilage in kg	11,6	3,63	11,6	3,64
Luzerne in kg	6,50	2,18	6,42	2,15
Trockenschnitzel in kg	1,77	1,58	1,80	1,61
Stroh in kg	0,79	0,69	0,83	0,72
Mischfutter in kg	6,07	5,32	6,12	5,37
Raps in kg	5,19	4,62	5,23	4,66
K in g/kg TM	10,5		10,4	
Ca in g/kg TM	7,54		7,46	
P in g/kg TM	4,31		4,36	
Na in g/kg TM	1,72		4,40	
Mg in g/kg TM	2,33		2,31	
Cl in g/kg TM	4,12		4,07	
S in g/kg TM	2,67		2,64	
DCAB in meq/kg TM	64,91		176	

Tabelle 34: Futtermitteldaten Untersuchungsreihe 2

Woche	Gruppe	Ca in g/d	Mg in /d	NDF in g/d	NEL in MJ/d	NFC in g/d	nXP in g/d	P in g/d	PNDF in g/d	RNB in g/d
W0	31	248	65,7	8431	181	10798	4147	112	5766	0,33
	32	249	66,4	8489	182	10869	4174	113	5806	0,28
W1	31	188 ^A	60,0 ^A	8455	177 ^A	10455 ^A	4088	111	5786	3,08 ^{A1}
	32	190 ^B	61,3 ^B	8593	181	10696 ^B	4175	113	5892	1,99 ^{B2}
W2	31	192 ^A	58,5 ^A	8464	175 ^A	10290 ^A	4045 ^A	108 ^A	5850	10,73 ^{A1}
	32	192 ^B	58,9 ^B	8504	176 ^B	10379 ^B	4067 ^B	108 ^B	5768	6,48 ^{B2}
W3	31	194 ^A	59,9 ^A	8473	179	10589 ^A	4143	111	5627 ^A	8,26 ^{A1}
	32	193 ^B	59,5 ^B	8530	177 ^B	10509 ^B	4109	109 ^B	5741	5,62 ^{B2}
W4	31	188 ^A	58,0 ^A	8304	174 ^A	10286 ^A	4017 ^A	107 ^A	5585 ^A	5,59 ^{A1}
	32	192 ^B	59,0 ^B	8505	176 ^B	10409 ^B	4069 ^B	108 ^B	5757	4,43 ^{B2}
W5	31	193 ^A	59,4 ^A	8494	176 ^A	10344 ^A	4081	109	5743	9,88 ^{A1}
	32	198 ^B	61,1 ^B	8725 ^B	181	10637 ^B	4200	113 ^B	5926	11,32 ^{B2}
W6	31	188 ^A	58,2 ^A	8292 ^A	173 ^A	10227 ^A	4020 ^A	108 ^A	5665	10,66 ^{A1}
	32	193 ^B	59,7 ^B	8484	178 ^B	10549 ^B	4121	110 ^B	5704	6,23 ^{B2}
W7	31	195 ^A	59,3 ^A	8529	178 ^A	10515 ^A	4110	109 ^A	5796	8,16 ^{A1}
	32	190 ^B	58,8 ^B	8468	175 ^B	10371 ^B	4062 ^B	108 ^B	5780	6,09 ^{B2}
W8	31	192 ^A	59,2 ^A	8496	175 ^A	10264 ^A	4075	110 ^A	5728	12,41 ^{A1}
	32	199 ^B	60,1 ^B	8543	178 ^B	10485 ^B	4130	110 ^B	5820	14,47 ^{B2}
W9	31	187 ^A	57,3 ^A	8116 ^A	169 ^A	9987 ^A	3938 ^A	106 ^A	5539 ^A	13,27 ^A
	32	186	56,9	8062 ^B	168 ^B	9919 ^B	3911 ^B	105 ^B	5502	13,18 ^B

Anhang

Woche	Gruppe	SW in g/d	XA in g/d	XFA in g/d	XL in g/d	XP in g/d	XS in g/d	XZ in g/d
W0	31	3338	1651	4418	817	4155	6058	1143
	32	3361	1658	4448	822	4182	6096	1151
W1	31	3310	1496 ^A	4387	783 ^A	4110	5758 ^A	1170 ^A
	32	3335	1516 ^B	4449	801 ^B	4190	5957 ^B	1184 ^B
W2	31	3358	1470 ^A	4422	769 ^A	4113	5576 ^A	1170 ^A
	32	3299 ^B	1471 ^B	4420	767 ^B	4108 ^B	5603 ^B	1213 ^B
W3	31	3226 ^A	1479 ^A	4387	778 ^A	4195	5783 ^A	1246 ^A
	32	3314	1476 ^B	4421	774 ^B	4144	5720 ^B	1231 ^B
W4	31	3192 ^A	1440 ^A	4302	758 ^A	4052 ^A	5605 ^A	1202 ^A
	32	3287 ^B	1467 ^B	4415	766 ^B	4097 ^B	5634 ^B	1217 ^B
W5	31	3363	1473 ^A	4410	768 ^A	4143	5580 ^A	1216 ^A
	32	3423	1513 ^B	4532	792 ^B	4271 ^B	5780 ^B	1237 ^B
W6	31	3244 ^A	1440 ^A	4308 ^A	763 ^A	4087	5626 ^A	1166 ^{A1}
	32	3261 ^B	1472 ^B	4394	778 ^B	4160	5770 ^B	1227 ^{B2}
W7	31	3291	1484 ^A	4442	777 ^A	4161	5719 ^A	1211 ^A
	32	3250 ^B	1459 ^B	4395	768 ^B	4101	5670 ^B	1193 ^B
W8	31	3276	1476 ^A	4415	763 ^A	4153	5493 ^A	1219 ^A
	32	3355	1498 ^B	4460	782 ^B	4221	5691 ^B	1206 ^B
W9	31	3183 ^A	1417 ^A	4229 ^A	746 ^A	4021 ^A	5461 ^A	1140
	32	3162 ^B	1408 ^B	4201 ^B	741 ^B	3994 ^B	5423 ^B	1133

1/2 Signifikante Gruppenunterschiede ($p < 0,05$); A/B: Signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,05$)

Tabelle 35: Milchdaten Untersuchungsreihe 2

Woche	Gruppe	FP in %	EP in %	Lact in %	FM in g/d	EM in g/d	FP/EP	LactM in g/d	FCM kg/d	HS in mmol/l	MN in mg/l
W1	31	3,79	3,57	4,75	1483	1404	1,06	1878	38,0	3,70 ¹	403 ¹
	32	3,58	3,57	4,80	1419	1422	1,00	1930	37,3	3,20	386 ²
W2	31	3,75	3,62 ^A	4,78	1401 ^A	1358 ^A	1,03	1797 ^A	36,0 ^A	3,47 ^{A1}	394 ^{A1}
	32	3,67	3,58	4,80	1420	1395 ^B	1,02	1885 ^B	37,0	3,03 ^B	377 ^{B2}
W3	31	3,80	3,70 ^A	4,82	1422 ^A	1394	1,03	1822 ^A	36,4 ^A	3,38 ^A	399
	32	3,66 ^B	3,66 ^B	4,83	1439	1447	1,00	1926	37,5	3,15	393
W4	31	3,66	3,69 ^A	4,78 ^A	1346 ^A	1368	0,99 ^A	1778 ^A	35,0 ^A	3,88 ¹	414 ^{A1}
	32	3,57	3,65 ^B	4,79	1371 ^B	1414	0,97 ^B	1873 ^B	36,1 ^B	3,20	391 ²
W5	31	3,81	3,66 ^A	4,76	1380 ^A	1335 ^A	1,04 ^A	1743 ^A	35,3 ^A	3,32 ^A	388 ^A
	32	3,76 ^B	3,67 ^B	4,77	1434	1408	1,02 ^B	1847 ^B	36,9	3,19	391
W6	31	3,80	3,76 ^A	4,78	1376 ^A	1373	1,01	1750 ^A	35,3 ^A	3,83	418 ^A
	32	3,63	3,75 ^B	4,78	1376	1435	0,96 ^B	1844 ^B	36,0 ^B	3,72 ^B	419 ^B
W7	31	3,88	3,73 ^A	4,72	1371 ^A	1336 ^A	1,04	1699 ^A	34,9	4,29 ^A	428 ^A
	32	3,75 ^B	3,70 ^B	4,73 ^B	1409	1402	1,01	1809 ^B	36,4	4,06 ^B	424 ^B
W8	31	3,88	3,75 ^A	4,69	1385	1343	1,03	1686 ^A	35,1 ^A	3,86 ¹	415 ¹
	32	3,73	3,74 ^B	4,74 ^B	1376	1388	1,00	1780 ^B	35,6 ^B	3,13 ²	391 ²

1/2 Signifikante Gruppenunterschiede ($p < 0,05$); A/B: Signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,05$); FP – prozentualer Fettanteil, EP - prozentualer Eiweißanteil, Lact - Lactulose, FM - Fettanteil in Milch, EM - Eiweißanteil in Milch, FP/EP - Fett-Eiweiß-Quotient, FCM - Fett-Korrigierte-Milch, HS – Harnstoffgehalt, MN - Milchstickstoff

Tabelle 36: Analyalisierte Rationen der Untersuchungsreihe 3.1 (Prädel 2021)

Analyseparameter	Woche 0 (g/kg TM)	Kontrollgruppe (g/kg TM)	Untersuchungsgruppe (g/kg TM)
Rohfaser	174	170 (159-179)	164 (158-178)
Rohprotein	166	172 (166-178)	174 (168-180)
Rohasche	58	62 (59-65)	65 (63-70)
ADF	213	208 (200-213)	205 (199-209)
NDF	379	366 (352-381)	363 (346-372)
NEL	6,9	7,0 (6,9-7,1)	7,1 (6,9-7,2)
Ca	8,1	7,9 (7,0-9,0)	8,4 (7,3-9,6)
P	4,7	4,5 (4,2-4,7)	4,5 (4,2-4,8)
Mg	2,1	1,9 (1,8-2,1)	2,0 (1,9-2,1)
Na	1,1	2,2 (1,5-2,8)	1,7 (1,4-1,9)
K	12,1	11,2 (10,5-12,4)	11,0 (10,2-12,7)
Cl	3,6	2,5 (2,2-2,8)	4,1 (3,7-4,3)
S	2,8	2,8 (2,6-2,9)	3,9 (3,6-4,3)
DCAB (mEq/kg TM)	+83	+143 (+82 bis +202)	-6 (-34 bis +43)

Tabelle 37: Analyalisierte Rationen der Untersuchungsreihe 3.2 (Prädel 2021)

Analyseparameter	Kontrollgruppe (g/kg TM)	Untersuchungsgruppe (g/kg TM)
Rohfaser	167 (159-175)	171 (168-174)
Rohprotein	168 (167-168)	162 (158-166)
Rohasche	64 (62-65)	61 (61)
ADF	206 (199-212)	209 (206-213)
NDF	366 (352-380)	367 (359-376)
NEL	7,1 (7,0-7,2)	7,1 (7,0-7,1)
Ca	8,5 (8,3-8,7)	7,8 (7,6-8,0)
P	4,7 (4,4-4,9)	4,6 (4,3-4,9)

Mg	2,1 (2,0-2,1)	1,8 (1,4-2,2)
Na	1,6 (1,5-1,7)	2,4 (2,4-2,4)
K	11,8 (11,5-12,0)	11,8 (11,7-11,8)
Cl	3,7 (3,5-3,9)	2,7 (2,6-2,8)
S	4,3 (4,2-4,3)	3,0 (2,9-3,0)
DCAB (mEq/kg TM)	+1 (-7 bis +8)	+145 (+143 bis +146)

Tabelle 38: Analyalisierte Rationen der Untersuchungsreihe 3.3 (Prädel 2021)

Analyseparameter	Kontrollgruppe (g/kg TM)	Untersuchungsgruppe (g/kg TM)
Rohfaser	180 (174-190)	188 (186-189)
Rohprotein	166 (165-169)	164 (153-170)
Rohasche	66 (63-69)	64 (63-64)
ADF	214 (200-234)	218 (215-220)
NDF	377 (370-389)	389 (380-395)
NEL	7,0 (6,9-7,1)	7,0 (6,8-7,0)
Ca	8,2 (7,7-9,0)	7,9 (7,4-8,5)
P	4,8 (4,5-5,1)	4,7 (4,5-4,9)
Mg	2,1 (2,1-2,2)	2,1 (2,0-2,1)
Na	2,9 (1,9-3,8)	2,5 (2,1-3,1)
K	12,0 (11,2-12,9)	12,1 (11,5-12,6)
Cl	3,4 (2,8-4,5)	3,9 (3,9-3,9)
S	4,1 (3,8-4,4)	2,6 (2,4-2,9)
DCAB (mEq/kg TM)	+77 (+63 bis +103)	+150 (+122 bis +173)

Tabelle 39: Rationen mit verwendeten Futtermitteln, Zufütterung CaSO₄ in der Untersuchungsgruppe der Untersuchungsreihe 3.1

Rationszusammensetzung	Kontrollgruppe		Untersuchungsgruppe	
	FM	TM	FM	TM
Mais in kg	20,56	8,40	19,84	8,11
Anwelksilage in kg	6,40	2,56	6,25	2,50
Luzerne in kg	9,22	3,07	9,03	3,00
Feucht konserviertes Maisschrot in kg	3,28	2,29	3,47	2,42
Schnitzel in kg	9,19	2,06	9,29	2,08
Stroh in kg	0,56	0,48	0,58	0,59
Mischfutter in kg	2,28	2,00	2,41	2,12
Raps in kg	4,89	4,33	4,76	4,22
K in g/kg TM	11,3		11,2	
Ca in g/kg TM	7,63		8,19	
P in g/kg TM	4,41		4,37	
Na in g/kg TM	2,18		1,81	
Mg in g/kg TM	1,88		1,87	
Cl in g/kg TM	2,35		4,05	
S in g/kg TM	2,73		3,94	
DCAB in meq/kg TM	138		-4,75	

Tabelle 40: Rationen mit verwendeten Futtermitteln, Zufütterung CaSO₄ in der Untersuchungsgruppe der Untersuchungsreihe 3.2

Rationszusammensetzung	Kontrollgruppe		Untersuchungsgruppe	
	FM	TM	FM	TM
Mais in kg	20,17	8,06	19,0	7,58
Anwelksilage in kg	6,31	1,95	5,93	1,83
Luzerne in kg	9,16	2,90	8,65	2,74
Feucht konserviertes Maisschrot in kg	3,45	2,36	3,02	2,06
Schnitzel in kg	9,12	2,14	8,82	2,07
Stroh in kg	0,54	0,46	0,49	0,42
Mischfutter in kg	2,14	1,88	2,33	2,05
Raps in kg	4,91	4,36	4,60	4,07
K in g/kg TM	11,0		11,0	
Ca in g/kg TM	7,85		8,43	
P in g/kg TM	4,46		4,43	
Na in g/kg TM	2,26		1,91	
Mg in g/kg TM	1,94		1,93	
Cl in g/kg TM	2,26		4,07	
S in g/kg TM	2,80		4,06	
DCAB in meq/kg TM	134		-14	

Tabelle 41: Rationen mit verwendeten Futtermitteln, Zufütterung CaSO₄ und NaHCO₃ in der Untersuchungsgruppe der Untersuchungsreihe**3.3**

Rationszusammensetzung	Kontrollgruppe		Untersuchungsgruppe	
	FM	TM	FM	TM
Mais in kg	19,58	7,85	18,55	7,44
Anweilksilage in kg	6,85	2,04	6,56	1,96
Luzerne in kg	6,63	3,51	6,56	3,49
Feucht konserviertes Maisschrot in kg	3,41	2,32	2,68	1,82
Schnitzel in kg	3,38	1,77	3,36	1,71
Stroh in kg	0,57	0,49	0,52	0,44
Mischfutter in kg	1,64	1,44	1,77	1,55
Raps in kg	4,74	4,20	4,44	3,94
K in g/kg TM	11,10		11,11	
Ca in g/kg TM	7,53		8,17	
P in g/kg TM	4,45		4,40	
Na in g/kg TM	2,22		3,35	
Mg in g/kg TM	1,90		1,89	
Cl in g/kg TM	3,44		2,29	
S in g/kg TM	2,54		3,96	
DCAB in meq/kg TM	114		106	

Tabelle 42: Futtermitteldaten Untersuchungsreihe 3

Woche	Gruppe	Ca in g/d	Mg in g/d	NDF in g/d	NEL in MJ/d	NFC in g/d	nXP in g/d	P in g/d	PNDF in g/d	RNB in g/d
W0	31	200	49,4	8882	179	10627	4128	116	5753	18,0
	32	195	48,1	8641	174	10338	4016	113	5598	17,6
W1	31	210 ¹	48,2	8666	177	10603	4073	112	5596	14,7
	32	194 ²	48,2	8663	176	10452	4054	113	5682	20,3
W2	31	214 ¹	48,4	8862	177	10465	4075	113	5951	21,8
	32	195 ²	48,3	8803	175	10378	4053	113	5907	22,6
W3	31	209 ¹	47,7	8666	175	10435	4031	111	5768	18,3 ¹
	32	195 ²	48,1	8779	175	10346	4039	112	5876	22,1 ²
W4	31	212 ¹	48,0	8704	175	10367	4033	112	5778	21,1
	32	197 ²	48,7	8859	177	10519	4094	114	5927	21,5
W5	31	214 ¹	48,5	8848	176	10381	4064	113	5870	22,2
	32	199 ²	49,0	8950	178	10505	4109	114	5987	23,1
W6	31	206 ¹	47,0	8519	171	10185	3959	110	5689	20,8 ¹
	32	193 ²	47,6	8628	171	10094	3972	111	5814	26,7 ²
W7	31	203 ¹	46,4	8324	169	10115	3906	109	5431	17,0 ¹
	32	191 ²	47,3	8524	170	9985	3935	111	5640	25,2 ²
W8	31	198	45,4 ¹	8234 ¹	166	9913	3825	105	5341 ¹	-5,8 ¹
	32	198	47,8 ²	8684 ²	172	10102	3978	112	5765	3,4 ²
W9	31	195 ¹	44,6	8075	163	9737	3758	105	5316	-7,6 ¹

Anhang

	32	186 ²	45,8	8254	166	9880	3839	108	5419	-5,99 ²
W10	31	199	48,4 ¹	8664 ¹	174 ¹	1032 ¹	4035 ¹	113 ¹	5622 ¹	-2,93 ¹
	32	202	45,6 ²	8132 ²	162 ²	9546 ²	3772 ²	107 ²	5261 ²	1,53 ²
W11	31	193	47,9 ¹	8196 ¹	171 ¹	10087 ¹	3915 ¹	109 ¹	5222 ¹	-16,6
	32	191	44,1 ²	7571 ²	158 ²	9365 ²	3614 ²	100 ²	4837 ²	-16,6
W12	31	190	47,1	8092	167 ¹	9819	3829	106	5196	-14,5 ¹
	32	199	45,4	7783	163 ²	9722	3732	103	4933	-20,2 ²
W13	31	184	46,3	7835 ¹	164	9695 ¹	3773 ¹	106 ¹	4971 ¹	-14,1 ¹
	32	188	43,7	7457 ²	156	9210 ²	3571 ²	99 ²	4709 ²	-15,7 ²
W14	31	187	46,8 ¹	7895	164	9632	3781	106 ¹	5010 ¹	-10,9 ¹
	32	185	43,5 ²	7424	159	9532	3610	99,0 ²	4583 ²	-25,3 ²
W15	31	185	46,6 ¹	8136 ¹	165	9721 ¹	3802 ¹	106 ¹	5310 ¹	-13,9 ¹
	32	185	44,3 ²	7745 ²	158	9273 ²	3618 ²	100 ²	5016 ²	-15,1 ²
W16	31	186	45,4 ¹	8403 ¹	162 ¹	9520 ¹	3761 ¹	106 ¹	5937 ¹	-13,2 ¹
	32	189	42,4 ²	7893 ²	151 ²	8796 ²	3499 ²	99,3 ²	5659 ²	-8,39 ²
W17	31	177	44,7	8215	163 ¹	9685 ¹	3755	105	5788	-20,0 ¹
	32	190	43,1	8066	156 ²	9212 ²	3607	101	5718	-15,6 ²
W18	31	174	45,6 ¹	8105 ¹	162 ¹	9544 ¹	3754 ¹	108 ¹	5601 ¹	-16,7 ¹
	32	181	42,8 ²	7647 ²	151 ²	8800 ²	3496 ²	101 ²	5319 ²	-12,9 ²

Anhang

Woche	Gruppe	SW in g/d	XA in g/d	XFA in g/d	XL in g/d	XP in g/d	XS in g/d	XZ in g/d
W0	31	3395	1492	4489	751	4257	5904	889
	32	3303	1452	4367	731	4142	5744	865
W1	31	3311	1462	4367	759	4178	6014	865
	32	3357	1471	4390	752	4196	5854	862
W2	31	3516	1503	4527	757	4226	5771	854
	32	3486	1493	4493	752	4209	5724	846
W3	31	3407	1470	4409	753	4159	5852	842
	32	3468	1488	4479	748	4192	5693	847
W4	31	3412	1483	4429	747	4180	5713	854
	32	3496	1505	4516	759	4244	5816	857
W5	31	3465	1497	4503	749	4217	5676	866
	32	3534	1519	4566	760	4268	5750	863
W6	31	3361	1444	4341	738	4103	5708	826
	32	3435	1470	4417	735	4154	5530	829
W7	31	3209	1410	4211	723	4025	5697	830
	32	3328	1447	4338	721	4108	5462	840
W8	31	3142 ¹	1386 ¹	4146 ¹	704	3802 ¹	5503	827
	32	3401 ²	1466 ²	4423 ²	728	4014	5507	836
W9	31	3128	1355	4086	694	3723	5491	796
	32	3182	1386	4170	706	3816	5541	814
W10	31	3318 ¹	1463 ¹	4378 ¹	739 ¹	4031 ¹	5726 ¹	863 ¹
	32	3106 ²	1377 ²	4115 ²	684 ²	3797 ²	5208 ²	822 ²

Anhang

W11	31	3040 ¹	1400 ¹	4074 ¹	771 ¹	3820 ¹	5801 ¹	876 ¹
	32	2821 ²	1296	3771 ²	713 ²	3518 ²	5377 ²	811 ²
W12	31	3028 ¹	1383	4039	752 ¹	3747	5574	857
	32	2872 ²	1327	3861	735 ²	3614	5631	843
W13	31	2893 ¹	1341 ¹	3889 ¹	744	3693 ¹	5623 ¹	844
	32	2741 ²	1275 ²	3699 ²	699	3480 ²	5278 ²	815
W14	31	2918 ¹	1357 ¹	3928 ¹	740	3722 ¹	5492	854
	32	2666 ²	1262 ²	3647 ²	711	3459 ²	5599	831
W15	31	3120 ¹	1378 ¹	4106 ¹	745 ¹	3722 ¹	5490 ¹	838 ¹
	32	2942 ²	1313 ²	3895 ²	706 ²	3530 ²	5201 ²	806 ²
W16	31	3515	1392 ¹	4469 ¹	753 ¹	3684 ¹	5147 ¹	888 ¹
	32	3368	1314 ²	4235 ²	698 ²	3453 ²	4675 ²	817 ²
W17	31	3400	1362	4323	763 ¹	3634	5453 ¹	873
	32	3384	1335	4291	724 ²	3515	4999 ²	857
W18	31	3248 ¹	1346 ¹	4205 ¹	758 ¹	3672 ¹	5396 ¹	898 ¹
	32	3085 ²	1272 ²	3987 ²	699 ²	3438 ²	4850 ²	851 ²

1/2 Signifikante Gruppenunterschiede ($p < 0,05$)

Tabelle 43: Milchdaten Untersuchungsreihe 3

Woche	Gruppe	FP in %	EP in %	Lact in %	FM in g/d	EM in g/d	FP/EP	LactM in g/d	FCM in kg/d	HS in mmol/l
W0	31	3,81	3,65	4,81	1477	1432	1,04	1903	37,9	3,61
	32	3,75	3,60	4,77	1462	1419	1,03	1897	37,8	3,64
W2	31	3,73	3,59	4,75	1371 ¹	1332	1,03	1779	35,5	3,64 ¹
	32	3,83	3,57	4,76	1460 ²	1370	1,07	1842	37,3	4,00 ²
W3	31	3,82	3,69	4,79	1397	1360	1,03	1779	35,8	3,79 ¹
	32	3,86	3,65	4,73	1449	1378	1,05	1802	36,9	4,14 ²
W4	31	3,76	3,68	4,71	1360	1341	1,01	1733	35,1	3,63
	32	3,83	3,64	4,70	1429	1370	1,04	1782	36,6	3,79
W5	31	3,88	3,78	4,74	1364	1339	1,02	1691	34,7	4,03
	32	3,80	3,74	4,72	1367	1366	1,01	1736	35,2	4,04
W6	31	3,88	3,78	4,69	1345	1316	1,02	1647	34,2	3,66
	32	3,80	3,76	4,68	1352	1348	1,00	1694	34,7	3,83
W7	31	3,77	3,68	4,68	1300	1274	1,02	1635	33,4	3,75 ¹
	32	3,91	3,68	4,68	1369	1299	1,06	1665	34,7	4,19 ²
W8	31	3,75	3,77	4,72	1267 ¹	1279	0,99	1614	32,6	3,97
	32	3,88	3,76	4,70	1343 ²	1315	1,03	1658	34,2	3,96
W9	31	3,75	3,74	4,70	1241 ¹	1247	1,00	1576	32,0	3,68 ¹
	32	3,84	3,75	4,68	1318 ²	1304	1,02	1637	33,7	3,94 ²
W10	31	3,73	3,71	4,71	1296	1294	1,00	1656	33,5	3,46
	32	3,77	3,71	4,69	1255	1248	1,01	1585	32,3	3,64
W11	31	3,75	3,64	4,72	1277	1254	1,02	1637	33,0	3,64

Anhang

	32	3,76	3,64	4,67	1265	1233	1,02	1597	32,6	3,72
W12	31	3,69	3,63	4,75	1251	1236	1,01	1629	32,4	3,26
	32	3,76	3,63	4,70	1278	1246	1,03	1626	33,0	3,49
W13	31	3,69	3,69	4,80	1261	1269	1,00	1668	32,7	3,29
	32	3,72	3,64	4,73	1245	1231	1,01	1614	32,3	3,25
W14	31	3,78	3,70	4,76 ¹	1253	1233	1,02	1598	32,2	3,55
	32	3,92	3,65	4,70 ²	1248	1164	1,07	1514	31,5	3,88
W15	31	3,68	3,61	4,75	1166	1154	1,01 ¹	1530	30,3	3,25 ¹
	32	3,67	3,58	4,71	1179	1156	1,02 ²	1530	30,7	3,64 ²
W16	31	3,77	3,69	4,71	1183	1162	1,02	1495	30,4	3,04 ¹
	32	3,78	3,64	4,66	1179	1143	1,03	1475	30,3	3,16 ²

1/2 Signifikante Gruppenunterschiede ($p < 0,05$); A/B: Signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,05$); FP – prozentualer Fettanteil, EP - prozentualer Eiweißanteil, Lact - Lactulose, FM - Fettanteil in Milch, EM - Eiweißanteil in Milch, FP/EP - Fett-Eiweiß-Quotient, FCM - Fett-Korrigierte-Milch, HS – Harnstoffgehalt

11. Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. Staufenbiel für die freundliche Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit und auch für die guten Ratschläge und Gespräche.

Mein Dank gilt allen unterstützenden Mitarbeitern der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt in Iden. Besonderer Dank gilt Frau Andert, Frau Riemann und Herrn Engelhard für die Mithilfe bei der praktischen Durchführung.

Meiner gesamten Familie danke ich für den nie endenden Antrieb diese Arbeit zu vollenden und die Unterstützung bei der Umsetzung. Insbesondere danke ich meinen Eltern für die Ermöglichung meines Studiums.

12. Selbstständigkeitserklärung

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

Zarrentin, den 06.04.2023

Laura Marie Hanebeck



9 783967 292107

mbvberlin mensch und buch verlag

49,90 Euro | ISBN: 978-3-96729-210-7