

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

**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**

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

vorgelegt von
Yvonne Jasmin Sophia Prädell, geb. Kind
Tierärztin aus Berlin

Berlin 2021
Journal-Nr.: 4276

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

**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**

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

vorgelegt von

Yvonne Jasmin Sophia Prädel, geb. Kind

Tierärztin aus Berlin

Berlin 2021

Journal-Nr.: 4276

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 cow, holstein-friesian, animal nutrition, cattle feeding, potassium, sodium,
acids, bases, chloride, sulfate, balances, urine, blood, rumen fluid

Tag der Promotion: 16.07.2021

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

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

ISBN: 978-3-96729-127-8

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2021

Dissertation, Freie Universität Berlin

D188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

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

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

This document is protected by copyright law.

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

Alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2021 Choriner Str. 85 - 10119 Berlin
verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	2
2.1 Dietary Cation Anion Balance (DCAB)	2
2.1.1 Begriffsklärung	2
2.1.2 Formel und Berechnung der DCAB	2
2.1.3 DCAB von Futtermitteln.....	7
2.1.3.1 Grobfutter	8
2.1.3.2 Konzentrate	9
2.1.3.3 Supplemente	10
2.1.3.4 Totalmischration.....	10
2.1.3.5 Wasser	10
2.1.3.6 Standort und Düngung	11
2.2 Auswirkungen der DCAB	12
2.2.1 Säure-Basen-Haushalt (SBH)	12
2.2.2 Futteraufnahme und -verwertung.....	19
2.2.3 Milchleistung	21
2.2.4 Gesundheit	23
2.3 Anwendung der DCAB	25
2.3.1 Historie.....	25
2.3.2 Prophylaxe der Gebärparese	26
2.3.3 Anwendung bei laktierenden Kühen.....	30
2.3.4 Andere Anwendungen.....	35
2.3.5 Kontrollmöglichkeiten	37
2.3.6 Grenzen des DCAB-Konzepts	38
2.4 Spezielle Betrachtung zu Natrium und Kalium in der DCAB.....	40
2.4.1 Funktionen von Natrium und Kalium	40

2.4.2 Bedarf, Mangel und Toxizität von Natrium und Kalium.....	41
2.4.3 Auswirkungen von verschiedenen Mengenverhältnissen und Interaktionen zwischen Natrium und Kalium auf die Milchkuh.....	42
2.4.4 Interaktionen zu anderen Mineralien	45
3. Material und Methoden	46
3.1 Betrieb, Fütterung und Tiere	46
3.2 Konzept der Untersuchung	46
3.3 Datenerfassung	50
3.3.1 Futteraufnahme und -bestandteile.....	50
3.3.2 Milchmenge und -inhaltsstoffe	50
3.3.3 Kuhsignale	50
3.3.4 Body Condition Score (BCS), Rückenfettdicke (RFD), Körpermasse (KM).....	51
3.3.5 Kotbonitur	51
3.4 Probenentnahme und laboranalytische Untersuchung.....	51
3.4.1 Blut.....	51
3.4.2 Harn.....	52
3.4.3 Pansensaft	52
3.5 Statistische Methoden.....	53
4. Ergebnisse	55
4.1 Untersuchung DCAB-Absenkung (Chlorid)	55
4.1.1 Ablauf der Untersuchung	55
4.1.2 Body Condition Score, Lebendmasse und Rückenfettdicke.....	57
4.1.3 Futter	60
4.1.4 Blut.....	62
4.1.5 Harn.....	64
4.1.6 Pansensaft	70
4.2 Untersuchung DCAB-Anstieg (Natrium).....	72
4.2.1 Ablauf der Untersuchung	72

4.2.2 Body Condition Score, Lebendmasse und Rückenfettdicke	73
4.2.3 Futter	76
4.2.4 Blut.....	79
4.2.5 Harn.....	80
4.2.6 Pansensaft	87
4.3 Untersuchung DCAB-Absenkung (Sulfat) – Variationen	88
4.3.1 Ablauf der Untersuchung	88
4.3.2 Body Condition Score, Lebendmasse und Rückenfettdicke.....	91
4.3.3 Futter	93
4.3.4 Blut.....	97
4.3.5 Harn.....	100
4.3.6 Pansensaft	105
5. Diskussion	107
5.1 Kritik der Methode	107
5.2 Einfluss einer DCAB-Absenkung (Chlorid) auf den Säure-Basen-Haushalt.....	107
5.2.1 Futter	107
5.2.2 Blut.....	108
5.2.3 Harn.....	110
5.2.4 Pansensaft	112
5.3 Einfluss eines DCAB-Anstiegs (Natrium) auf den Säure-Basen-Haushalt.....	113
5.3.1 Futter	113
5.3.2 Blut.....	114
5.3.3 Harn.....	115
5.3.4 Pansensaft	118
5.4 Einfluss einer DCAB-Absenkung (Sulfat) und Gegenpufferung (Natrium) auf den Säure-Basen-Haushalt	118
5.4.1 Futter	118
5.4.2 Blut.....	119

Inhaltsverzeichnis

5.4.3 Harn.....	122
5.4.4 Pansensaft	125
6. Schlussfolgerungen	126
7. Zusammenfassung.....	128
8. Summary	130
9. Literaturverzeichnis.....	132
10. Tabellenverzeichnis.....	157
11. Abbildungsverzeichnis	160
12. Anhang	162
12.1 Harn	162
12.2 Pansensaft	168
Danksagung.....	172
Selbstständigkeitserklärung.....	173

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ACTH	Adrenocorticotropes Hormon
ADF	acid detergent fiber
a. p.	ante partum (vor der Geburt)
ASAT	Aspartat-Aminotransferase
ATOT	gesamte Plasmakonzentration der nicht flüchtigen schwachen Puffer
ATP	Adenosintriphosphat
BCS	Body Condition Score
BE	Base Excess (Basenüberschuss)
BHB	Beta-Hydroxybutyrat
BSQ	Basen-Säuren-Quotient
Ca	Calcium
CaCl ₂	Calciumchlorid
CaCO ₃	Calciumkarbonat
Cl	Chlorid
d	dies (Tag)
DCAB	dietary cation anion balance
DEB	dietary electrolyte balance
DIM	days in milk
dl	Deziliter
DMI	dry matter intake (Trockenmasseaufnahme)
EB	electrolyte balance
EZR	Extrazellularraum
FCM	Fett-korrigierte Milch
FE	feed efficiency (Futtermittel-effizienz)
FID	fixed ion difference
g	Gramm
GGT	Gamma-Glutamyltransferase
GLDH	Glutamatdehydrogenase
GVO	Gen-veränderter Organismus
h	Stunde
H ⁺	Wasserstoffion bzw. Proton

Abkürzungsverzeichnis

HCl	Salzsäure
HCO ₃	Hydrogenkarbonat
H ₂ CO ₃	Kohlensäure
H ₂ O	Wasser
HPO ₄ ²⁻	Hydrogenphosphat
IZR	Intrazellularraum
K	Kalium
Kap.	Kapitel
KCl	Kaliumchlorid
k. E.	kein Effekt
kg	Kilogramm
KM	Körpermasse
l	Linear bzw. Liter (je nach Zusammenhang)
mEq	Milliäquivalent
mg	Milligramm
Mg	Magnesium
ml	Milliliter
MM	mixed model
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mmol	Millimol
m. o. w.	mehr oder weniger
MY	Milchmenge (milk yield)
Na	Natrium
NaCl	Natriumchlorid
NAE	Netto Säuren Ausscheidung (net acid excretion)
NaHCO ₃	Natriumhydrogenkarbonat
NaOH	Natronlauge
NDF	neutral detergent fiber
NEFA	nichtveresterte Fettsäuren (non esterified fatty acids)
NEL	Netto-Energie-Laktation
NH ₃	Ammoniak
NSBA	Netto-Säure-Basen-Ausscheidung
Opt.	Optimum
P	Phosphor

pH	negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionen
pCO ₂	Partialdruck von Kohlendioxid im Blut
pO ₂	Partialdruck von Sauerstoff im Blut
PTH	Parathormon
q	quadratisch
RFD	Rückenfettdicke
s	Löslichkeit
S	Schwefel
s.	siehe
SAT	Sedimentaktivitätszeit
SBH	Säure-Basen-Haushalt
SCAB	serum cation anion balance
SD	Standardabweichung
SIB	strong ion balance
SID	strong ion difference
s. o.	siehe oben
T	Tendenz
THI	Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index (temperature humidity index)
TM	Trockenmasse
TMA	Trockenmasseaufnahme
TMR	Totalmischration
u. a.	unter anderem
UCAB	urinary cation anion balance
v. a.	vor allem

Bemerkung zum verwendeten Zeichen * im Text bzw. in Tabellen (Literaturübersicht). Um leichter erkennen zu können, auf welcher Grundlage ein DCAB-Wert errechnet wurde, ist diesem ein Stern (*) angefügt worden, wenn die kurze DCAB-Formel (Na+K-Cl) genutzt wurde.

1. Einleitung

Der Säure-Basen-Haushalt (SBH) der Milchkuh ist ein hochkomplexer Mechanismus, der von vielen Faktoren beeinflusst werden kann. Die Futterration ist einer dieser Faktoren und kann zu starken postprandialen Schwankungen im Säure-Basen-Haushalt führen. Insbesondere in der Frühlaktation kann es durch kraftfutterreiche Rationen mit schnell verdaulichen Kohlenhydraten zu azidotischen Stoffwechsellagen kommen (STAUFENBIEL, 2011b). In subklinischer Form können diese zu hohem Schaden in der Fruchtbarkeits- und Gesundheitsleistung der Tiere beitragen (STAUFENBIEL, 2011b). Nicht ausschließlich die organischen Nährstoffe haben eine Wirkung auf den SBH. Die anorganische Ionenzusammensetzung des Futters führt ebenfalls zu Veränderungen in alkalotische bzw. azidotische Richtung. Grassilagen mit unerwartet hohen Chloridgehalten können, wie auch Rapsextraktionsschrot mit hohem Schwefelanteil, durch einen Überschuss an Anionen zu azidotischen Auslenkungen im SBH führen (MAHLKOW-NERGE, 2018). Dennoch werden als Alternative zu GVO-Sojaextraktionsschrot Proteinfuttermittel wie Rapsextraktionsschrot vermehrt gefüttert. Erfahrungen in der Fütterung von Milchkühen zeigen, dass es dabei trotz ausgewogener Ration zu Azidosen kommen kann (MILLER, 2017; GREINER und ENGELHARD, 2018). Um diesen „Ionen“-Effekt von verschiedenen Futtermitteln auf den SBH vorhersagen zu können, wurde das DCAB-Konzept (dietary cation anion balance) entwickelt. Durch die Bilanzierung der Kationen und Anionen einer Totalmischration (TMR) kann eine Aussage über deren Wirkung auf den SBH getroffen werden. Vorrangig erfolgt die Anwendung dieses Prinzips in der Geburtsvorbereitung. Hierbei wird durch die Verfütterung von anionischen Salzen die DCAB so weit gesenkt, dass eine leicht azidogene Auslenkung des SBHs entsteht. Dies führt zu einer vermehrten Mobilisierung von Calcium aus den Knochen und wirkt somit der Hypocalcämie um den Geburtszeitraum entgegen.

In dieser Arbeit wurde der Einfluss der DCAB auf den SBH (Blut, Harn, Pansensaft) von laktierenden Milchkühen untersucht. Hierzu wurden die Probanden in zwei Gruppen aufgeteilt. Die Kontrollgruppe erhielt die betriebsübliche TMR, während die Untersuchungsgruppe zusätzlich ein Mineralsalz (HCl , NaHCO_3 , CaSO_4) erhielt, welches die DCAB beeinflusst. Außerdem wurden durch Literaturrecherche Erkenntnisse zum Einfluss von unterschiedlichen Rationsgehalten von Natrium und Kalium auf Rinder zusammengetragen. In einer weiteren Dissertation basierend auf derselben Untersuchung wurde der Einfluss von Chlorid und Schwefel auf die Milchleistung und Gesundheit von Holstein Friesian Kühen untersucht (HANEBECK 2020).

2. Literaturübersicht

2.1 Dietary Cation Anion Balance (DCAB)

2.1.1 Begriffsklärung

Die Bilanz von Kationen und Anionen in einem Futtermittel wird als dietary cation anion balance, kurz DCAB, bezeichnet. Sie ist unter verschiedenen Bezeichnungen bekannt. BYERS (1994) nannte außerdem Begriffe wie dietary cation anion difference (DCAD), strong ion balance (SIB), fixed ion difference (FID) und dietary electrolyte balance (DEB). Oft wird auch nur der Begriff electrolyte balance (EB) genutzt (WEST et al., 1991). Die in der Formel enthaltenen Ionen werden auch als „strong ions“ bezeichnet (STEWART, 1978). „Strong ions“ sind bei physiologischem pH vollständig dissoziiert und haben dadurch keine Pufferfunktion, sondern wirken direkt auf den SBH (CONSTABLE, 1999).

2.1.2 Formel und Berechnung der DCAB

Zur Berechnung der DCAB werden die Mengenelementgehalte des entsprechenden Futtermittels herangezogen. Die Bilanzierung der Mengenelemente scheint mehr Aussagekraft zu haben, als die einzelnen Elementkonzentrationen zu beurteilen (TUCKER et al., 1988; WEST, 1999; CHAN et al., 2005). Bei diesen Kalkulationen muss beachtet werden, dass nicht alle im Futter vorkommenden Ionen einbezogen werden können. Jedes Futtermittel ist aufgrund der Elektroneutralität ungeladen und hätte eine DCAB von „null“ (BLOCK, 1988; BLOCK, 1994). Aus diesem Grund werden nur die häufig vertretenden „strong ions“ in die Bilanz einbezogen.

Es haben sich über die Jahre einige Formeln zur Berechnung der DCAB entwickelt. Sie unterscheiden sich in ihrem Umfang an enthaltenen Ionen sowie eingefügten Koeffizienten. Die heute genutzte Standardformel enthält die Mengenelemente Natrium, Kalium, Chlor und Schwefel (OETZEL, 2000). Schon ENDER et al. (1971) verwendete diese Formel.

$$DCAB \left(\frac{mEq}{kg TM} \right) = Na^+ + K^+ - (Cl^- + S^{2-})$$

mEq...Milliäquivalent

Es ist aber auch eine gekürzte Form in Gebrauch (MONGIN, 1981 und WILDMAN et al., 2007b).

$$DCAB \left(\frac{mEq}{kg TM} \right) = Na^+ + K^+ - Cl^- \quad 1$$

MONGIN (1981) begründete ihren Nutzen damit, dass er den anderen Ionen (Phosphat, Sulfat, Magnesium und Calcium) eher Versorgungsfunktionen zuspricht als direkte Wirkungen auf das Säure-Basen-Gleichgewicht.

Ein Überhang an Kationen (z.B. Kalium in der Luzerne) führt zu einer positiven DCAB. Bei einem Anionenüberschuss ergibt sich eine negative Bilanz. Schwankungsbreiten der DCAB-Werte innerhalb einer Futtermittelsorte entstehen u.a. durch unterschiedliche Ionenzusammensetzungen der Düngung, welche durch den Standort und die Vegetationsphase der Pflanzen bestimmt wird (s. Kap. 2.1.3.6).

Neben der absoluten Ionenmenge im Futter gibt es zwei weitere Parameter, die die Wirkung der DCAB beeinflussen können. Zum einen die Absorptionsrate und zum anderen der Grad des Einflusses der „strong ions“ Natrium, Kalium und Chlorid auf den SBH (STEWART, 1978). Diese beiden Komponenten werden meist getrennt in der Literatur behandelt, gehen aber auch fließend ineinander über und beeinflussen sich gegenseitig.

Natrium (Na), **Kalium** (K) und **Chlorid** (Cl) werden zu mindestens 80 % über das Verdauungssystem resorbiert (SIMON, 2008; NRC, 2001). Nach HORST et al. (1997) sind es sogar bis zu 100 %. Dies führt zu einem hohen Wirkungsgrad auf den SBH (STEWART, 1978). Hohe DCAB-Werte (+300 mEq/kg TM) senken die scheinbare Absorptionsrate von Natrium und Chlorid (APPER-BOSSARD et al., 2010).

Die Bedeutung von **Schwefel** (S) in der DCAB-Formel wurde verstärkt diskutiert. TUCKER et al. (1991) prüften in ihrer Arbeit den Einfluss von Schwefel im Vergleich zu Chlorid. Sie kamen zu dem Schluss, dass Schwefel ein wichtiger Bestandteil der Formel zur Anwendung bei laktierenden Milchkühen sein muss und in einem DCAB-Bereich von 0 bis +300 mEq/kg TM (Trockenmasse) eine gleiche azidogene Wirkung auf den SBH wie Chlorid entfaltet. Dieser Aussage widersprechen die Einschätzungen von GOFF et al. (2004), die besagen, dass Schwefel nur 60 % der ansäuernden Wirkung von Chlorid auf den SBH besitzt. So sind auch

1 Alle folgenden DCAB-Formeln bzw. -Werte, die mit einem „*“ gekennzeichnet sind, wurden ohne Schwefel als Anion berechnet.

BAKER et al. (1998) davon überzeugt, dass Schwefel als Element der DCAB-Gleichung einen Koeffizienten benötigt. Die Absorptionsrate von Schwefel liegt nach HORST et al. (1997) bei 60% und kann in der späten Trächtigkeit auf 20 % zurückgehen. Es kommen verschiedene Bindungsformen von Schwefel vor, welche auch eine hohe Variabilität in ihrer Absorption und Metabolisierbarkeit mit sich bringen (TUCKER et al., 1991). Elementarer Schwefel ist nicht so potent, den Harn anzusäuern, wie Sulfate (GOFF et al., 2004). Außerdem wird er nicht so gut absorbiert wie Sulfate, da er schwer löslich ist (HORST et al., 1997). Die gut vertragenen Mengen an Schwefel im Futter liegen zwischen 2 bis 4 g/kg TM (NRC, 2001; SPEARS et al., 2011; WALL, 2015).

Phosphor (P) in Form von Phosphat wird von einigen Autoren komplett aus der Formel ausgeschlossen, da es im Vergleich zu dem korrespondierenden Kation weniger bioverfügbar ist (HORST et al., 1997; GASTEINER, 2010) und dadurch nur eine geringe Wirkung auf den SBH hat. Nach RIOND (2001) hat Phosphat eine beeinflussende Wirkung auf den Blut pH-Wert. Da es nicht wie Natrium, Kalium und Chlorid vollständig absorbiert wird, sollte es jedoch mit einem Koeffizienten in der Formel versehen werden. Des Weiteren hängt die Absorption von Phosphor von der Verdaulichkeit der Darreichungsquelle ab. Es können Resorptionsraten zwischen 20 bis 90 % entstehen, dies hängt auch vom jeweiligen Bedarf ab (SIMON, 2008).

Magnesium (Mg) wird von ausgewachsenen Wiederkäuern nur in Mengen zwischen 15 bis 25 % über die Pansenschleimhaut aufgenommen (SIMON, 2008). GASTEINER (2010) schließt aus dieser niedrigen Aufnahmeeffizienz auf einen geringen Einfluss von Magnesium auf den SBH. Diese Aussage unterstützen WATERMAN et al. (1991) mit dem Nachweis, dass Magnesium nur geringe alkalisierende Wirkung auf den SBH im Vergleich zu Natrium und Kalium hat. RIOND (2001) gesteht diesem Element wie dem Phosphor einen gewissen Einfluss auf den Blut-pH-Wert zu, jedoch sollte dieser mit einem Koeffizienten näher beschrieben werden.

Calcium (Ca) wird bis zu 22 % im Verdauungsapparat absorbiert (SIMON, 2008). RIOND (2001) räumt auch diesem Element wie dem Magnesium einen Einfluss auf den Blut-pH-Wert ein, wohingegen GASTEINER (2010) aufgrund der niedrigen Absorptionsraten auf keinen nennenswerten Einfluss schließt.

Nach RIOND (2001) würde die DCAB-Formel durch das Einfügen von **Ammoniumionen** vervollständigt werden. Außerdem vertritt er die Ansicht, dass **Spurenelemente** in der DCAB

eine untergeordnete Rolle spielen, da sie in zu geringen Mengen absorbiert werden, als dass sie eine Auswirkung auf den SBH hätten. **Organische Säuren**, wie z.B. die kurzkettigen Fettsäuren, werden zwar nahezu vollständig in den Kreislauf absorbiert, jedoch wird durch die Verstoffwechselung in der Leber der Einfluss dieser Ionen stark eingeschränkt (GOFF und HORST, 2003). Dies gilt für Laktat nur eingeschränkt, da dieses in den meisten Situationen (z.B. Pansenazidosen) überproduziert wird und die Metabolisierung nicht für einen ausreichenden Abbau ausreicht.

Die Absorptionsraten für die **divalenten Ionen** wie Magnesium, Calcium und Schwefel spielen laut MONGIN (1981) eine wichtige Rolle, da sie über die azidotische bzw. alkalogene Wirkung eines Salzes (als korrespondierendes Kationen mit einem Anion) entscheiden. So wirkt Magnesiumchlorid weniger azidogen als Kalziumchlorid. Dies liegt nach dem Autor daran, dass Magnesium zu ca. 52 % absorbiert wird und Kalzium nur zu 12 % (bei Geflügel gemessen!). Chlorid wird zu 95 bis 100 % absorbiert (NRC, 2001). Bei NaCl und KCl hebt sich sogar die Wirkung der monovalenten Ionen auf, da beide gleichstark absorbiert werden, daher zeigen sie weder eine ansäuernde noch eine alkalisierende Wirkung auf den Organismus. BIGNER et al. (1997) verglichen Natriumhydrogenkarbonat, Natriumpropionat und Natriumchlorid auf deren Wirkung zur Behandlung einer metabolischen Azidose. NaCl zeigte kaum Auswirkungen auf die azidotische Stoffwechsellage der Tiere im Gegensatz zu Natriumhydrogenkarbonat und Natriumpropionat. Die Autoren erklärten die Wirkungslosigkeit durch die oben beschriebene gleichwertige Absorption von Natrium und Chlorid. Kupfer, Eisen, Zink, Cobalt und Mangan haben durch ihre Komplexbildung kaum Auswirkungen auf den SBH (CONSTABLE, 1999) und werden aus diesem Grund auch nicht in die DCAB einbezogen.

Aus diesen Erkenntnissen haben sich unterschiedliche Koeffizienten und DCAB-Formeln entwickelt. Sie können in zwei Kategorien unterteilt werden. Die einen Koeffizienten richten sich nach der Absorptionsrate (1 bis 5 in Tabelle 1) und die anderen nach dem Wirkungsgrad des Elements auf den SBH (6 bis 8 in Tabelle 1). Nummer 9 ist die derzeit zur Anwendung gelangte Formel.

Tabelle 1: Übersicht über verwendeten DCAB-Formeln

Nr	Formel	Autoren
1	$DCAB = Na + K + 0,38Ca + 0,30Mg - (Cl + 0,6S)$	HORST et al. (1997)
2	$DCAB = Na + K + 0,38Ca + 0,30Mg - (Cl + 0,2S)$	HORST et al. (1997)
3	$DCAB = Na + K + 0,38Ca + 0,30Mg - (Cl + 0,6S + 0,6P)$	RIOND (2001)
4	$DCAB = Na + K + 0,38Ca + 0,30Mg - (Cl + 0,6S + 0,5P)$	CHARBONNEAU et al. (2006)
5	$DCAB = Na + K + 0,15Ca + 0,15Mg - (Cl + 0,2S + 0,3P)$	OETZEL (2000)
6	$DCAB = Na + K + 0,15Ca + 0,15Mg - (Cl + 0,25S + 0,5P)$	RIOND (2001); GOFF (2000)
7	$DCAB = Na + K + 0,15Ca + 0,15Mg - (Cl + 0,6S + 0,5P)$	GOFF und HORST (2003)
8	$DCAB = Na + K - (Cl + 0,6S)$	GOFF et al. (2004); TUCKER et al. (1991)
9	$DCAB = Na + K - (Cl + S)$	ENDER et al. (1971); BLOCK (1984); TUCKER et al. (1991)

In der Metaanalyse von CHARBONNEAU et al. (2006) wurden fünf der oben aufgeführten DCAB-Formeln (Tab. 1 – Nr. 4, 5, 7, 8 und 9) auf ihre Korrelation zur Inzidenz von Milchfieber und deren Auswirkungen auf den Harn-pH untersucht. Alle Formeln sind signifikant mit beiden Parametern assoziiert. Eine besonders starke Korrelation wiesen die Formeln 8 und 9 zum Harn pH-Wert auf. Die längeren Formeln mit Magnesium, Calcium und Phosphat zeigten keinerlei engere Beziehung zum Harn-pH oder der Gebärparese-Inzidenz als die kürzeren.

Die **Einheit** der DCAB wird in mEq/kg TM oder in mEq/100g TM angegeben. Um die Bilanz genau errechnen zu können, werden neben der Menge der Ionen im Futter auch ihre relative Atommasse oder die Milliäquivalente pro Gramm benötigt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Chemische Bewertung der wichtigsten Ionen (OETZEL, 2000)

	Ladung	Molekulargewicht	Äquivalentgewicht	Milliäquivalente/g
Natrium	+1	23,0	23,0	43,5
Kalium	+1	39,1	39,1	25,6
Chlorid	-1	35,5	35,5	28,2
Schwefel	-2	32,1	16,0	62,3
Calcium	+2	40,1	20,0	49,9
Magnesium	+2	24,3	12,2	82,3
Phosphor	-1,8	31,0	17,2	58,1

In der folgenden Formel sind die oben genannten Parameter in Beziehung zueinander gesetzt. Die Ionengehalte werden in Gramm pro Kilogramm Trockenmasse eingesetzt (STAUFENBIEL, 2000).

$$DCAB \text{ (mEq/kg TM)} = (\text{Na} \times 43,5 + \text{K} \times 25,6) - \text{Cl} \times 28,2 - \text{S} \times 62,3 \text{ (g/kg TM)}$$

Es gibt aber auch die Möglichkeit mit der relativen Atommasse zu rechnen, dann müssen in der Funktion Quotienten gebildet werden (STAUFENBIEL, 2000). Die Ionengehalte werden hier mit der Einheit Milligramm pro Kilogramm Trockenmasse verwendet.

$$DCAB \text{ (mEq/kg TM)} = \frac{\text{Na}}{23} + \frac{\text{K}}{39} - \frac{\text{Cl}}{35,5} - \frac{\text{S}}{16} \text{ (mg/kgTM)}$$

Tabelle 3: Beispielration

	g/kg TM	mg/kg TM	% TM
Natrium	1,2	1200	0,12
Kalium	14,5	14500	1,45
Chlorid	2,2	2200	0,22
Schwefel	1,8	1800	0,18

Im Folgenden werden aus den Rationsgehalten (Tabelle 3) mit den oben genannten Formeln die DCAB errechnet.

$$DCAB \text{ (mEq/kgTM)} = (1,2 \times 43,5 + 14,5 \times 25,6) - (2,2 \times 28,2 + 1,8 \times 62,3) \\ = 52,2 + 371,2 - 62,0 - 112,1 = \mathbf{249,2 \text{ mEq/kg TM}}$$

$$DCAB \text{ (mEq/kg TM)} = 1200/23 + 14500/39 - (2200/35,5 + 1800/16) \\ = 52,2 + 371,8 - 62,0 - 112,5 = \mathbf{249,5 \text{ mEq/kg TM}}$$

Man erhält die gleichen Ergebnisse. So kann auf beide Formeln zurückgegriffen werden.

2.1.3 DCAB von Futtermitteln

Die folgende Einteilung orientiert sich am ersten Kapitel aus dem Buch „Grundzüge der Wiederkäuer-Ernährung“ von PIATKOWSKI et al. (1990).

2.1.3.1 Grobfutter

Zu den Grobfuttermitteln gehören Grünfutter, Konserven daraus und Stroh (Tabelle 4). In Ländern mit vorwiegender Weidefütterung, wie z.B. Australien, fiel auf, dass die DCAB-Werte des **Grünfutters** im Verlauf des Jahres zwischen 0 und +800 mEq/kg TM schwanken können (ROCHE, JR et al., 2000). Vor allem im Herbst fiel die DCAB auf unter +200 mEq/kg TM. Dies wurde den hohen Temperaturen im Sommer und der fehlenden Bewässerung, welche Mineralien wie Natrium oder Kalium einbringen würde, zugeschrieben. Außerdem kann bei regelmäßigen Schnitten des Graslandes festgestellt werden, dass die Folgeaufwüchse höhere Chlorid-Gehalte haben und dadurch die DCAB absinkt (ENGELHARD und GREINER, 2018). Dieser Effekt verstärkt sich noch auf Standorten wie Moorboden (siehe 2.1.3.6 Standort und Düngung). Bei **Gräsern** liegt ein sehr geringer Natrium- und ein sehr hoher Kalium-Gehalt vor (PIATKOWSKI et al., 1990). Kaliumwerte über 20 g/kg TM sind keine Seltenheit und führen dadurch zu hohen DCAB-Werten. Es gibt aber auch einige natriumreiche Futterpflanzen, wie z.B. Weidelgras, Betarüben, Knaulgras, Löwenzahn, Spitzwegerich, Weißklee (PALLAUF, 1985). Der **Mais** als ebenfalls wichtiges Grundfutter beinhaltet nur halb so viel Kalium wie Gräser und hat daraus folgend eine niedrigere DCAB (SPIEKERS et al., 2009).

Tabelle 4: DCAB einiger Grobfuttermittel

Futtermittel	DCAB mEq/kg TM	Natrium g/kg TM	Kalium g/kg TM	Chlorid g/kg TM	Schwefel g/kg TM	Autor
Feldgras, jung	+569	0,9	33,0	5,6	2,6	SPIEKERS et al. (2009)
Grassilage, 1. Schnitt	+477	1,5	29,0	8,9	3,1	SPIEKERS et al. (2009)
Weide, Frühjahr	+405	1,0	30,0	8,9	2,6	SPIEKERS et al. (2009)
Luzerne (17- 18 % TM)	+266	0,2	22,8	6,0	2,5	SAUVANT und PONTER (2004)
Heu, gut	+188	0,6	20,0	7,8	2,1	SPIEKERS et al. (2009)
Heu, überständig	+136	0,6	18,0	7,8	2,1	SPIEKERS et al. (2009)
Maissilage	+131	0,1	14,0	5,7	1,1	SPIEKERS et al. (2009)
Stroh	+98	0,9	10,5	3,6	1,8	SPIEKERS et al. (2009)

2.1.3.2 Konzentrate

Konzentrate teilen sich auf in Trocken- und Feuchtkonzentrate. Zu den **Trockenkonzentraten** gehören Kraft- und Proteinfutter wie Getreide und deren Verarbeitungsprodukte sowie Extraktionsschrote aus den Ölmühlen. Kraftfuttermittel wie Getreide haben eine niedrige DCAB, die gerade den Nullwert übersteigt. Die Proteinfutter dagegen zeigen große Unterschiede. Sojaextraktionsschrot z.B. liegt mit ca. +300 mEq/kg TM (Tabelle 5) in einem mittleren positiven Bereich. Rapsextraktionsschrot dagegen ist durch den hohen Gehalt an Schwefel mit einer DCAB von -110 mEq/kg TM stark negativ (Tabelle 5). Daher muss bei dessen Einsatz auf die Menge und den jeweilig analysierten DCAB-Wert geachtet werden, sonst senkt sich die Gesamt-DCAB der Ration ab (MAHLKOW-NERGE, 2018).

Feuchtkonzentrate sind z.B. die Melasse, Bierhefe, -treber und Schlempe. Melasse sticht durch eine enorm hohe DCAB wegen des hohen Gehalts an Kalium und Natrium heraus. Sie kann so auch als alkalogenes Futtermittel verwendet werden, ist jedoch sehr energiereich (HERSOM et al., 2010). Bierhefe liegt durch den hohen Kaliumgehalt im positiven DCAB-Bereich und Biertreber dagegen im negativen DCAB-Bereich (Tabelle 5).

Tabelle 5: DCAB einiger Konzentrate

Futtermittel	DCAB	Natrium	Kalium	Chlorid	Schwefel	Autor
	mEq/kg TM	g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM	
Melasse	+1149	8,8	48,3	9,9	3,1	SPIEKERS et al. (2009)
Sojaextraktionsschrot	+324	0,2	24,4	0,4	4,8	SPIEKERS et al. (2009)
Bierhefe (brewers yeast, dried)	+179	1,7	17,7	2,9	4,3	SAUVANT und PONTER (2004)
Roggen	+45	0,1	5,6	1,1	1,1	SPIEKERS et al. (2009)
Weizen	+14	0,1	5,0	0,9	1,5	SPIEKERS et al. (2009)
Gerste	+7	0,2	5,0	1,1	1,6	SPIEKERS et al. (2009)
Biertreber (brewers dried grain)	-102	0,3	3,4	1,0	2,8	SAUVANT und PONTER (2004)
Rapsextraktionsschrot	-110	0,5	15,6	0,3	8,4	SPIEKERS et al. (2009)

2.1.3.3 Supplemente

Supplemente dienen der bedarfsgerechten Endaufwertung der Ration mit z.B. Mineralstoffen (Puffer), Vitaminen, Harnstoff etc. Sie können zur reinen Bedarfsdeckung eingesetzt werden, oder aber auch, um vorbeugend gegen bestimmte Krankheiten zu wirken. Anionische Salze haben eine sehr niedrige DCAB. Dadurch eignen sie sich dazu, den Organismus vor der Kalbung anzusäuern, um die interne Calciumversorgung um den Geburtszeitraum zu verbessern (s. Kap. 2.3.2). Puffer wie Natriumhydrogenkarbonat sind mit einer hohen DCAB ausgestattet und helfen einer Pansenazidose oder auch einer systemischen Azidose entgegenzuwirken.

2.1.3.4 Totalmischung

Die meisten Mischrationen haben einen DCAB-Wert zwischen +200 und +500 mEq/kg TM* (SANCHEZ und BEEDE, 1996). Bei den Trockensteherrationen befindet sich der DCAB-Wert meist zwischen +100 und +250 mEq/kg TM (OETZEL, 2000). RÉRAT und SCHLEGEL (2014) geben sogar Werte zwischen +50 und +250 mEq/kg TM an. Es kommt selten vor, dass diese Werte unter- oder überschritten werden. Jedoch wird an manchen Wachstumsstandorten eine starke Schwankung der DCAB-Werte im Grundfuttermittel festgestellt (GREINER und ENGELHARD, 2018). Dies kann zu sehr niedrigen DCAB-Werten der Gesamtration führen, was daraufhin die gesamte Herde azidotisch auslenken kann. Es sollte sich daher nicht nur auf die Kalkulation mit Futtertabellen verlassen werden, sondern stetig eine Analyse der TMR bzw. der Einzelfuttermittel durchgeführt werden (ALFONSO-AVILA et al., 2017; ENGELHARD und GREINER, 2018; MAHLKOW-NERGE, 2018)

2.1.3.5 Wasser

Ionengehalte im Trinkwasser und dessen aufgenommene Mengen (bei Hitze erhöht) können Einfluss auf die Gesamt-DCAB (Futter und Wasser) haben. So wurde die berechnete Rations-DCAB von -191 mEq/kg TM* durch hohe Natriumgehalte (0,0183 %) im Wasser auf -144 mEq/kg TM* erhöht (ESCOBOSA et al., 1984). SANCHEZ et al. (1994b) betonten die gesundheitsschädigende Wirkung von überhöhten Chlorid- und Schwefel-Ionengehalten im Wasser. Diese sind nicht schmackhaft und können im Fall von erhöhten Schwefelwerten

toxisch wirken. Außerdem senken sie die DCAB und können dadurch – wenn auch nur geringe – azidogene Effekte auf den SBH haben.

2.1.3.6 Standort und Düngung

Das Wachstum und die Gesundheit von Pflanzen wird in der Ackerwirtschaft seit jeher u.a. durch Düngung und den Standort der Anpflanzung beeinflusst. So kann die Düngung mit verschiedenen Mineraldüngern die DCAB der Futterpflanzen verändern (OSTERMANN-PALZ, 2016). Dieser DCAB-Bereich kann bei Gras zwischen -14 und +726 mEq/kg liegen (PEHRSON et al., 1999). Calciumchloriddüngung steigert den Chloridgehalt von Wiesenlieschgras, wodurch der DCAB-Wert wesentlich gesenkt wird (PENNER et al., 2008; CHARBONNEAU et al., 2008; HERON et al., 2009). Diese Wirkung setzt sich bis zu dessen Silierung durch (CHARBONNEAU et al., 2009). Chlorid scheint den größten Effekt auf die DCAB zu haben (PEHRSON et al., 1999). Kaliumdüngung mit KCl und K_2SO_4 zeigte in verschiedenen Grassorten einen Anstieg der DCAB, wobei dieser Effekt bei KCl stärker war als bei K_2SO_4 (SWIFT et al., 2007). Diesen Erkenntnissen widersprechen ROCHE et al. (2002), da sich bei ihrem Düngungsexperiment mit KCl ein Abfall der DCAB zeigte; laut der Autoren wurde dies wohl durch den gleichzeitigen Anstieg vom Chloridgehalt und Abfall von Natrium verursacht. Diese widersprüchlichen Aussagen konnten noch nicht eindeutig geklärt werden. Je höher die Kaliumdüngung für Graspflanzen ist, desto niedriger ist der Calciumgehalt derselben (ROCHE et al., 2002; KAYSER und ISSELSTEIN, 2005). Dies zeigte sich auch für den Magnesiumgehalt von Futterpflanzen in Untersuchungen von KAYSER und ISSELSTEIN (2005). Natriumnitrat erhöht die Menge von Natrium, Magnesium und Calcium und senkt den Kaliumgehalt in der gedüngten Pflanze (CHIY und PHILLIPS, 2000; HOFFMANN, 2014). Die Wechselwirkungen zwischen Düngung und Ionengehalt in der Pflanze haben einen Einfluss auf die DCAB des geernteten Pflanzenguts (HERSOM et al., 2010). Jedoch kann nicht auf Kaliumdüngung verzichtet werden, da es ertragssteigernd wirkt und die Pflanzen widerstandsfähiger gegen Frost, Parasiten, Trockenheit und Wind macht (HOFFMANN, 2014).

Niedermoorgebiete benötigen für gute Erträge hohe Kaliumdüngung. In der Praxis wird dies meist mit KCl durchgeführt. Im ohnehin chloridreichen Moorboden kann dies zu hohen Chloridgehalten führen. Dies senkt im Erntegut die DCAB sehr stark ab. Eine Düngung mit Kaliumoxid würde dem entgegenwirken. Die Senkung der DCAB ist auf Mineralböden nicht in dem Maße zu finden, da diese naturgemäß Kalium nachliefern (GREINER und ENGELHARD, 2018).

2.2 Auswirkungen der DCAB

2.2.1 Säure-Basen-Haushalt (SBH)

Der SBH lässt sich durch verschiedene Parameter beurteilen. Im Blut können pH-Wert, Kohlenstoffdioxid-Partialdruck ($p\text{CO}_2$), Hydrogenkarbonat (HCO_3^-), Base Excess (BE) und verschiedene Ionenkonzentrationen ermittelt werden (GÄBEL, 2010). Im Harn können die Netto-Säure-Basen-Ausscheidung (NSBA), Basen- und Säureausscheidung, Basen-Säuren-Quotient (BSQ), Ammoniumausscheidung, Kreatinin und verschiedene Ionenkonzentrationen untersucht werden (BENDER, 2002).

Der Blut-pH wird von Regulationssystemen in engen Grenzen gehalten, damit Funktionen von Enzymen, Herz-Kreislauf und Sauerstofftransport aufrechterhalten werden können (DIBARTOLA, 2006). Der physiologische Bereich des Blut-pH-Werts liegt zwischen 7,36 bis 7,44 (GÄBEL, 2010).

Dem Organismus stehen drei Möglichkeiten der Blut-pH-Wert-Regulation zur Verfügung (ENGELHARDT et al., 2010).

- 1) Intra- und extrazelluläre Neutralisation von Wasserstoffionen (H^+) (innerhalb von Sekunden)
- 2) Respiratorische Regulation (innerhalb von Minuten)
- 3) Renale Regulation (innerhalb von Tagen)

Die intra- und extrazellulären Puffer-Systeme (HCO_3^- , Hydrogenphosphat (HPO_4^{2-}), Protein und Hämoglobin) greifen bei pH-Wertänderungen sofort ein, sind aber nur begrenzt nutzbar, da das Änderungsausmaß die Pufferkapazität übersteigen kann (LEBEDA, 1988). Die respiratorische Regulation kann über das Abatmen von Kohlendioxid und Wasser Protonen aus dem System entfernen. Dies gelingt über das Gleichgewicht zwischen den Reaktionen $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ und $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ mit dem Zwischenprodukt Kohlensäure (H_2CO_3). Der renale Regulationsprozess setzt zwar später ein, ist aber umso effektiver und langfristiger wirksam (GÄBEL, 2010). Der Einfluss von alkalogen wirkenden Kationen und azidogen wirkenden Anionen aus dem Futter auf den SBH (LEACH, 1979) kann über die Nieren nachhaltig beeinflusst werden (GOFF und HORST, 2003). Hydrogenkarbonat kann durch lokale Produktion in den Tubuluszellen bei systemischer Azidose ins Blut abgegeben werden oder bei Alkalose vermehrt über den Harn ausgeschieden werden. Protonen können über Puffersysteme (Ammonium und Phosphat) im Tubuluslumen gebunden und somit dem Blutkreislauf entzogen werden. Das Skelett kann durchaus als viertes Regulationssystem genannt werden. So werden bei Azidosen ein Teil der

Protonen in die extrazelluläre Flüssigkeit des Knochens aufgenommen, und als Austausch dazu Calcium-, Natrium- und Magnesiumionen ins Blut abgegeben (LEBEDA, 1988). Bei chronischen Azidosen können so osteoporotische Erscheinungen entstehen, da der Knochen durch diese Reaktion demineralisiert wird (GOFF, 2008).

Traditionelle Grundlage zum SBH ist die Henderson-Hasselbalch-Gleichung (CONSTABLE, 2000).

$$\text{pH} = \text{pK}'_1 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{s \cdot \text{pCO}_2}$$

pK'_1 ...negativer Logarithmus der Gleichgewichtskonstante; HCO_3^- ...Hydrogenkarbonat; s ...Löslichkeit;
 pCO_2 ... CO_2 -Partialdruck

SINGER und HASTINGS (1948) zeigten, dass auch die Ionen im Blut - bezeichnet mit der „Strong ion difference“ - Einfluss auf den Blut-pH haben. STEWART (1978) erweiterte die beeinflussenden Faktoren mit Proteinen (A_{TOT}), die als schwache Säuren auf den Blut-pH einwirken, und berechnete die strong ion difference (SID) von arteriellem Blutplasma mit den Kationen Natrium, Kalium und Magnesium und den Anionen Chlorid und Sulfat. Er spricht von „strong ions“, da diese seiner Meinung nach den größten Effekt auf den SBH haben.

CONSTABLE (1999) fasste die drei oben genannten Theorien zusammen und entwickelte folgende Formel:

$$\text{pH} = \text{pK}'_1 + \log \left(\frac{[\text{SID}^+] - K_a[A_{\text{TOT}}]/(K_a + 10^{-\text{pH}})}{s \cdot \text{pCO}_2} \right)$$

pK'_1 ... negativer Logarithmus der Gleichgewichtskonstante; SID^+ ...Serum ion difference;
 K_a ...Gleichgewichtskonstante; A_{TOT} ...gesamte Plasmakonzentration der nicht flüchtigen schwachen Puffer
 (Albumin, Phosphat, Globulin); s ...Löslichkeit; pCO_2 ... CO_2 -Partialdruck

Unabhängige Variablen, die den SBH beeinflussen, sind pCO_2 , SID^+ und die Gesamtkonzentration der schwachen Säuren (A_{TOT}). Die abhängigen Faktoren wie der pH und HCO_3^- ändern sich erst, wenn sich die unabhängigen Variablen ändern (RIOND, 2001).

Nach TUCKER et al. (1988) hat die DCAB ihre größte Wirkung auf die Konzentration von **Hydrogenkarbonat (HCO_3^-)** im Blut. So erhöht sie sich mit steigender DCAB und fällt ab bei sinkender DCAB (DELAQUIS und BLOCK, 1995a; HU und MURPHY, 2004; SHARIF et al., 2010). Transportmechanismen in den Darmschleimhäuten übermitteln diese Wirkung in die Blutbahn. Kationen wie Natrium und Kalium werden absorbiert und im Gegenzug wird ein

Proton in das Darmlumen abgegeben, um die Elektroneutralität zu gewährleisten. Wenn ein Anion wie Chlorid absorbiert wird, wird ein Hydrogenkarbonat im Gegenzug ins Lumen abgegeben. Dieser Austausch von Ionen führt zu einer im ersten Fall alkalogenen und im letzteren Falle zur azidogenen Beeinflussung des SBH (TUCKER et al., 1988; GOFF und HORST, 2003; CHAN et al., 2005; ENGELHARDT et al., 2010). Der **Blut-pH**-Wert ändert sich nur geringfügig, da er durch diverse Puffermechanismen stark reguliert wird (ENGELHARDT et al., 2010). DELAQUIS und BLOCK (1995a) zeigten, dass sich der Blut-pH-Wert nur für ca. zwei Stunden nach der Fütterung verändert. ROCHE et al. (2003) fanden bei Weidefütterung (+210 bis +1270 mEq/kg TM) heraus, dass sich der Blut-pH nur bis zum DCAB-Grenzwert von +520 mEq/kg TM verstärkt anpasst, darüber hinaus finden weniger Veränderungen statt. MONTAG (2005) hingegen beschreibt Blut-pH und BE-Wert-Anstieg bis DCAB-Werte von +200 bis +400 mEq/kg TM. Bei weiterer Erhöhung der DCAB bleiben die Werte gleich. Ein hoher Kraftfutteranteil verstärkt den DCAB-Effekt auf den Blut-pH-Wert (APPER-BOSSARD et al., 2010). Eine weitere Kenngröße im Blut ist die Serum Cation Anion Bilanz (**SCAB**). Sie entspricht der Bilanzierung der Serumelektrolyte Natrium, Kalium und Chlorid und korreliert positiv mit der DCAB, dem Blut-pH und Blut-HCO₃⁻ (TUCKER et al., 1988; SHARIF et al., 2010). Der Anstieg der SCAB wird hauptsächlich durch das Absinken der Serum-Chloridkonzentration verursacht (WILDMAN et al., 2007a). WEST et al. (1991) stellten fest, dass der **pCO₂** linear mit der DCAB anstieg. Jedoch vermuteten sie, dass dies eher durch das Karbonat in der Verbindung Calciumkarbonat (CaCO₃), welches als Ausgleich zum Calciumchlorid (CaCl₂) gefüttert wurde, verursacht wurde. Solche Veränderungen konnten DELAQUIS und BLOCK (1995a) nicht finden. Die Ionengehalte im Blut werden nur geringfügig von der DCAB beeinflusst (TUCKER et al., 1988). Nur der **Chlorid-Gehalt** im Serum scheint direkt durch die DCAB beeinflussbar zu sein, bei sinkender DCAB steigt der Gehalt (TUCKER et al., 1988; SHARIF et al., 2010). Bei hohen DCAB-Werten fällt der Chloridgehalt im Blut ab und die Kationen Natrium und Kalium bleiben unbeeinflusst. Dies liegt darin begründet, dass alle drei Ionen elektroneutral über die Niere ausgeschieden werden, v. a., wenn Kationen im Überfluss vorhanden sind (CHAN et al., 2005; FAROOQ et al., 2014). DELAQUIS und BLOCK (1995b) konnten in einem Futtersuch zeigen, dass bei unterschiedlichen Rationen mit gleicher DCAB kein Einfluss auf den SBH ausgeübt wird. HU und KUNG (2009) konnten über die **Plasma Cation Anion Balance** im Blut nachweisen, dass bei einheitlich gefütterter DCAB keinerlei Veränderungen im Blut zu sehen waren, trotz unterschiedlicher Kationenverhältnisse.

In den Tabellen 6 und 7 wird ein Überblick zum Einfluss der DCAB auf die Blutparameter gegeben.

Tabelle 6: Einfluss einer steigenden DCAB auf den Säure-Basen-Haushalt des Blutes

Autor	Tierart	DCAB (mEq/kg TM)	pH	pCO ₂	HCO ₃ ⁻	BE	SCAB
MONGIN (1981)	Geflügel	-180 bis +130*	↑	↑	↑	-	-
ESCOBOSA et al. (1984)	Milchkühe	-144 bis +350*	↑	↑	↑	↑	-
TUCKER et al. (1988)	Milchkühe	-100 bis +200*	↑	-	↑	-	↑
WEST et al. (1991)	Milchkühe	-111,6 bis +324,4*	↑	↑	↑	↑	↑
TUCKER et al. (1991)	Milchkühe	0 bis +300	↑	k.E.	↑	-	↑
HU und MURPHY (2004)	Milchkühe	-191 bis +634*	↑ (q)	↑ (l)	↑ (q)	-	-
WILDMAN et al. (2007a)	Spätlakt. Milchkühe	+250 bis +500*	k.E.	↑	↑	-	↑
SHAHZAD et al. (2008)	Lakt. Büffel	-110 bis +330	↑	-	↑	-	↑
APPER-BOSSARD et al. (2010)	Milchkühe	0 bis +300	↑(l)	k.E.	↑(l)	↑	-
SHARIF et al. (2010)	Büffelbullen	-110 bis +330	↑(T)	-	↑(T)	-	↑
MARTINS et al. (2016)	Lakt. Milchkühe	-71 bis +290	↑ (l)	↑ (l)	↑ (l)	↑ (l)	-

T...Tendenz; ↑...steigt an; ↓...sinkt ab; k.E.... kein Effekt; -...nicht untersucht; q...quadratisch; l...linear

Tabelle 7: Einfluss einer steigenden DCAB auf die Ionen im Blut

Autor	DCAB (mEq/kg TM)	Na	K	Cl	S	Mg	Ca	P
ESCOBOSA et al. (1984)	-144 bis +350*	k.E.	↓	↓	-	k.E.	k.E.	↑ (q)
TUCKER et al. (1988)	-100 bis +200*	k.E.	k.E.	↓	-	-	-	-
WEST et al. (1991)	-111,6 bis +324,4*	k.E.	↓ (q)	↓ (q)	-	↑ (q)	↓ (q)	k.E.
TUCKER et al. (1991)	0 bis +300	k.E.	k.E.	↓	-	k.E.	↑	k.E.
BORUCKI CASTRO et al. (2004)	+140 bis +450	-	-	-	-	-	-	T↓
HU und MURPHY (2004)	-191 bis +634*	k.E.	↓ (l)	↓ (q)	-	-	k.E.	-
WILDMAN et al. (2007a)	+250 bis +500*	↑	↑	↓	-	↓	k.E.	-
SHAHZAD et al. (2008)	-110 bis +330	k.E.	k.E.	↓	↓	↑	↓	k.E.
APPER- BOSSARD et al. (2010)	0 bis +300	k.E.	k.E.	↓(l)	-	-	k.E.	-
SHARIF et al. (2010)	-110 bis +330	k.E.	k.E.	↓	k.E.	k.E.	↓	k.E.
FAROOQ et al. (2014)	-150 bis +200	↑	k.E.	↓ (l)	-	k.E.	k.E.	↑ (l)
MOHANRAO et al. (2016)	+110 bis +310	↑	k.E.	↓ (q)	-	-	↑ (q)	k.E.

T...Tendenz; ↑...steigt an; ↓...sinkt ab; k.E.... kein Effekt; -...nicht untersucht; q...quadratisch; l...linear

In Tabelle 8 sind die Auswirkungen eines DCAB-Abfalls von +300 auf 0 mEq/kg² TM auf verschiedene Blutparameter dargestellt.

Tabelle 8: Auswirkung eines DCAB-Abfalls von +300 auf 0 mEq/kg TM²
– CHARBONNEAU et al., 2006

Blutparameter	%	Einheiten
pH	-0,25	-0,018 pH Einheiten
pCO ₂	-4,5	-1,9 mmHg
HCO ₃	-8,6	-2,2 mmol
Ionisiertes Ca a. p.	+4,8	+0,22 mg/dl
Ionisiertes Ca bei Kalbung	+12,2	+0,48 mg/dl
Gesamt Ca bei Kalbung	+10,7	+0,78 mg/dl

² Na+K- (Cl+0,6S)

Der Einfluss der DCAB auf die Harnparameter zeigt sich besonders gut, da hier der Regulationsmechanismus der Niere für die Homeostase des SBH greift. Überschüssige Ionen sowie Protonen und Hydrogenkarbonationen werden dort ausgeschieden.

Der **Harn-pH-Wert** korreliert eng mit der DCAB (APPER-BOSSARD et al., 2010; SCHOONMAKER et al., 2013; MELENDEZ und POOCK, 2017; GOFF und KOSZEWSKI, 2018). So sinkt die Protonenausscheidung bei hoher DCAB durch die alkalogene Wirkung ab, und der Harn-pH-Wert steigt. In azidotischen Stoffwechsellagen und/oder bei niedriger DCAB sinkt der Harn-pH-Wert durch vermehrte Protonenausscheidung entsprechend ab (BENDER, 2002). So verhält es sich auch mit HCO_3 (ESCOBOSA et al., 1984; BORUCKI CASTRO et al., 2004). ROCHE, JR et al. (2000) stellten fest, dass sich der Harn-pH-Wert erst bei DCAB-Werten unter +150 mEq/kg verändert. So wie es eine SCAB im Blut gibt, existiert ein Äquivalent im Harn, welches sich UCAB nennt und bei steigender DCAB ansteigt (Urin Cation Anion Balance, TUCKER et al., 1988). Die **NSBA** (Netto-Säure-Basen-Ausscheidung) ist ein weiteres Tool zur Beurteilung des SBH. Sie sinkt bei azidotischen Belastungen ab und steigt, wenn der Organismus alkalotisch beeinflusst wird (BENDER, 2002; GELFERT et al., 2004; KRIKCZIOKAT, 2015). Dies konnte DIDIK (1999) bei einem DCAB-Anstieg von +200 auf +350 meq/kg TM nachweisen, so stieg die NSBA um 15 bis 20 mmol/l an und der BSQ stieg um 0,7 Einheiten.

Harnionengehalte sind abhängig von der Futterzusammensetzung (BENDER, 2002). Ein weiterer Einflussfaktor ist die jeweilige Säure-Basen-Auslenkung. Bei azidotischen Belastungen steigen die Ausscheidung von Calcium, Chlorid und Phosphat, dies kann durch eine niedrige DCAB induziert werden (WANG et al., 2018). DIDIK (1999) zeigte bei dem schon oben erwähnten DCAB-Anstieg eine vermehrte Na-Ausscheidung, jedoch kann dies auch am hohen Natriumgehalt des gefütterten Puffers (NaHCO_3) liegen.

In den Tabellen 9 und 10 wird ein Überblick über die Auswirkung der DCAB auf die Harnparameter gegeben.

Tabelle 9: Einfluss einer steigenden DCAB auf den Säure-Basen-Haushalt des Harns

Autor	DCAB (mEq/kg TM)	pH	NSBA	NAE ³	HCO ₃ ⁻	BSQ	UCAB
ESCOBOSA et al. (1984)	-144 bis +350*	↑	-	-	↑	-	-
TUCKER et al. (1988)	-100 bis +200*	↑	-	-	-	-	↑
WEST et al. (1991)	-111,6 bis +324,4*	↑	-	-	-	-	↑
TUCKER et al. (1991)	0 bis +300	↑	-	-	-	-	↑
DIDIK (1999)	+200 bis +350*	↑	↑	-	-	↑	-
BORUCKI CASTRO et al. (2004)	+140 bis +450	↑	-	-	↑	-	-
HU et al. (2007a)	-30 bis +470	↑	-	↓	-	-	-
WILDMAN et al. (2007a)	+250 bis +500*	-	-	-	↑	-	-
SHAHZAD et al. (2008)	-110 bis +330	↑	-	-	-	-	-
RÉRAT et al. (2009)	+195 bis +514	↑	↑	-	-	↑	-
SCHOONMAKER et al. (2013)	-160 bis +160	↑	-	-	-	-	-

↑...steigt an; ↓...sinkt ab; -...nicht untersucht

Tabelle 10: Einfluss einer steigenden DCAB auf die Ionen im Harn

Autor	DCAB (mEq/kg TM)	Na	K	Cl	S	Mg	Ca	P
WEST et al. (1991)	-111,6 bis +324,4*	k.E.	↑	↓ (q)	-	k.E.	↓ (q)	-
TUCKER et al. (1991)	0 bis +300	↑ (T)	↓ (T)	↓	-	k.E.	↑	k.E.
BORUCKI CASTRO et al. (2004)	+140 bis +450	-	-	-	-	-	↓	k.E.
SHAHZAD et al. (2008)	-110 bis +330	↑	↑	↓	-	↓	↓	↓
WILDMAN et al. (2007a)	+250 bis +500*	↑	↑	↑	-	↓	↓	↑
APPER- BOSSARD et al. (2010)	0 bis +300	↑ (l)	k.E.	↓ (l)	-	-	-	-
MOHANRAO et al. (2016)	+110 bis +310	↑	↓ (T)	↓	-	-	↓	k.E.
WANG et al. (2018)	-257 bis +279	k.E.	↑	↓	-	k.E.	↓	↓

T...Tendenz; ↑...steigt an; ↓...sinkt ab; k.E.... kein Effekt; -...nicht untersucht; q...quadratisch; l...linear

³ NAE...net acid excretion

Der **Pansen-pH** sinkt während der direkten Infusion von anionischen Salzen (hier Ammoniumchlorid) ab (WANG et al., 2018). In diesem Fall wurde die DCAB von +279 auf -257 mEq/kg TM gesenkt. Im Gegenzug steigt der Pansen-pH bei Steigerung der DCAB an (APPER-BOSSARD et al., 2010; CATTERTON und ERDMAN, 2016; MARTINS et al., 2016). ALFONSO-AVILA et al. (2017) konnten jedoch keinen pH-Unterschied im Pansen entdecken, wenn die DCAB von +64 auf +326 mEq/kg TM anstieg. Eine Zusammenfassung von einigen Quellen, in denen ein Anstieg des Pansen-pH festgestellt werden konnte, gibt Tabelle 11.

Tabelle 11: Pansen-pH-Anstieg bei DCAB-Steigerung

Autor	DCAB-Bereich (mEq/kg TM)
APPER-BOSSARD et al. (2010)	+11 bis +327 (T)
CATTERTON und ERDMAN (2016)	+190 bis +540 (0,11 Einheiten pH-Anstieg)
MARTINS et al. (2016)	-71 bis +290

T...Tendenz

CATTERTON und ERDMAN (2016) und MARTINS et al. (2016) fanden Veränderungen in der **Fettsäurezusammensetzung**. Der Acetat-Gehalt stieg bei hoher DCAB an und die Propionatkonzentration blieb gleich. Dies ist auf bessere pH-Bedingungen für die entsprechenden Mikroorganismen zurückzuführen. APPER-BOSSARD et al. (2010) konnten dies nicht nachweisen. Nebenbei entsteht durch den Pansen-pH-Anstieg ein „Aminosäureüberschuss“, da die Passagedauer durch den Pansen verkürzt wird. Dadurch stehen dem Organismus mehr Proteinbausteine zur Verfügung, was zur Entlastung der Pufferkapazität führen kann (WILDMAN et al., 2007a). Erklärt wird dies damit, dass die Niere Ammoniumionen für die Protonenausscheidung benötigt. Diese sind v. a. durch Aminosäurenabbau bzw. -umbau vorhanden. In Rationen mit hohem Kraftfutteranteil hat eine hohe DCAB (+300 mEq/kg TM) den Effekt, dass sich der postprandiale Schwankungsbereich des Pansen-pH's im Vergleich zu einer niedrigeren DCAB (0 mEq/kg TM) verkleinert, dadurch kann ein starker Abfall in azidotische Zonen vermieden werden (APPER-BOSSARD et al., 2010).

2.2.2 Futteraufnahme und -verwertung

Die **Futteraufnahmehöhe** des Rindes kann durch die DCAB beeinflusst werden (Tabelle 12), da sie signifikant mit dem SBH verknüpft ist. Beide Parameter (Futteraufnahme und SBH) beeinflussen sich gegenseitig. So kann die Futteraufnahme mit steigendem Blut-pH-Wert ansteigen (OETZEL, 1993; HU et al., 2007c; FAROOQ et al., 2014), aber auch bei sinkendem Blut-pH-Wert aufgrund einer metabolischen Azidose absinken (HUBER, 1976; OWENS et al.,

1998; APPER-BOSSARD et al., 2010). ESCOBOSA et al. (1984) konnten bei Fütterung einer chloridreichen Ration feststellen, dass die Tiere eine kompensierte metabolische Azidose entwickelten und weniger fraßen. Diese azidosebedingte Reduktion der Futteraufnahme konnte durch eine aktuelle Studie mit chloridreichen anionischen Salzen bestätigt werden (ZIMPEL et al., 2018). Dies sei auch als Schutzmechanismus des Organismus vor einer Progression der Übersäuerung zu werten (IWANIUK und ERDMAN, 2015). Eine Steigerung der DCAB von 0 auf +300 mEq/kg TM hat v. a. bei kraftfutterreichen Rationen einen positiven Effekt auf die Futteraufnahme (APPER-BOSSARD et al., 2010).

Tabelle 12: Einfluss einer steigenden DCAB auf die Futteraufnahme

Autor	DCAB (mEq/kg TM)	Futteraufnahme
TUCKER et al. (1988)	-100 bis +200*	T↑
TUCKER et al. (1991)	0 bis +300	↑
WEST et al. (1991)	-111,6 bis +324,4*	↑ (q)
DIDIK (1999)	+200 bis +350*	k.E.
HU und MURPHY (2004)	-191 bis +636*	↑ (q)
HU et al. (2007c)	-191 bis +727*	↑ (q)
WILDMAN et al. (2007a)	+200 bis +500*	k.E.
MOONEY und ALLEN (2007)	+161 bis +276	k.E.
SHAHZAD et al. (2008)	-110 bis +330	↑ (Büffel)
APPER-BOSSARD et al. (2010)	0 bis +300	↑ (+4 kg TM/d)
MARTINS et al. (2015)	0 bis +400	↑ (q)
WANG et al. (2018)	-257 bis +279	↑(l)

T...Tendenz; ↑...steigt an; k.E.... kein Effekt; q...quadratisch; l...linear; Opt...Optimum

Schlechte **Schmackhaftigkeit** des Futters hemmt die Futteraufnahme von Milchkühen (OETZEL, 1993; VAGNONI und OETZEL, 1998). Gefüttertes Calciumchlorid zur Senkung der DCAB kann durch den bitteren Geschmack die Fresslust der Tiere senken (TUCKER et al., 1988).

ROCHE et al. (2003) vermuten einen **Grenzwert** der Futteraufnahmesteigerung durch die DCAB. Dieser soll bei +520 mEq/kg TM liegen. Bei einer Steigerung der DCAB von +343 auf +479 mEq/kg TM* konnte nach KHELIL-ARFA et al. (2014) keine positive Wirkung auf die Trockensubstanzaufnahme der Tiere und deren Milchleistung gezeigt werden. HU et al. (2007c) fanden **optimale** Futteraufnahmen bei einer DCAB von +470 meq/kg TM* (Tabelle 13). IWANIUK und ERDMAN (2015) errechneten durch eine Metaanalyse von 43 Studien (DCAB-Werte von 0 bis +300 mEq/kg TM) einen linearen Trockenmasseaufnahmezuwachs von 0,43 kg pro 100 mEq/kg TM-Anstieg in der DCAB. Wenn der beobachtete DCAB-Bereich auf -68

bis +811 mEq/kg TM erweitert wird, zeigt sich nach den Auswertungen von IWANIUK und ERDMAN (2015), dass der lineare Anstieg im höheren DCAB-Bereich abflacht.

Tabelle 13: DCAB-Optimum für die maximale Futteraufnahme

Autor	DCAB-Bereich (mEq/kg TM)	Optimum
HU und MURPHY (2004)	-191 bis +636*	+396
HU et al. (2007c)	-191 bis +727*	+470
MARTINS et al. (2015)	0 bis +400	+116

Ein anderer Maßstab der Leistung einer Milchkuh ist die **Futtereffizienz (FE)**. Diese lässt sich errechnen, indem die 3,5 % Fett-korrigierte Milch in kg durch die Trockenmasseaufnahme (TMA) einer Kuh in Kilogramm geteilt wird. Dieser Wert steigt nach verschiedenen Autoren bei steigender DCAB an, da sich die Verdaulichkeit verbessert. Tabelle 14 fasst einige Quellen zur Futtereffizienz in verschiedenen DCAB-Bereichen zusammen. CATTERTON und ERDMAN (2016) fanden bei DCAB-Variationen von +190 bis +541 mEq/kg TM keine Steigerung der Futtereffizienz.

Tabelle 14: Futtereffizienz-Steigerung (FE) durch DCAB-Anstieg

Autoren	DCAB-Steigerung (mEq/kg TM)	FE-Steigerung (3,5 % FCM/TMA)
ERDMAN et al. (2011)	+255 auf +336	0,14
HARRISON et al. (2012)	+320 auf +530	0,11
IWANIUK et al. (2015)	+164 auf +293	0,06
	+194 auf +514	0,04

2.2.3 Milchleistung

Die Milchleistung ausgedrückt als **Milchmenge** hängt von der Futteraufnahme, dem Laktationsstadium, der Umwelt (z. B. Hitzestress), dem Wasserangebot, den Hormonen und indirekt von der DCAB ab. Diese Faktoren sind teilweise auch voneinander abhängig. So kann durch eine hohe DCAB die Futteraufnahme gesteigert und dadurch ein positiver Effekt auf die Milchleistung erzielt werden (SHAHZAD et al., 2008). Ein anderer Ansatz geht davon aus, dass die DCAB durch ihren positiven Einfluss auf den Blut-pH-Wert wiederum den Hormonhaushalt (Insulin, Wachstumshormone, Parathormon (PTH)) positiv beeinflusst und die Milchleistung dadurch ansteigen kann (ROCHE, JR et al., 2000). Bei einer DCAB von +500 mEq/kg TM sank die Milchleistung in einem Versuch von WILDMAN et al. (2007a) ab. Laut der Studie hängt das wohlmöglich damit zusammen, dass der Zusammenhang zwischen

Milchmenge und DCAB quadratisch ist und das Optimum zwischen +200 und +500 mEq/kg TM liegt (siehe auch SANCHEZ und BEEDE, 1996). MARTINS et al. (2015) beziffert den Optimalwert der DCAB für die höchste Milchmenge mit +171,67 mEq/kg TM.

Der **Milchprotein**gehalt sinkt mit der steigenden DCAB (WILDMAN et al., 2007a; MARTINS et al., 2015; BOUDON et al., 2016; WANG et al., 2018). Dies erklären sich die Autoren durch einen Verdünnungseffekt, der durch die steigende Milchmenge entsteht. Andere Autoren fanden heraus, dass der Proteingehalt bei steigender DCAB positiv beeinflusst wird (HU et al., 2007a; SHAHZAD et al., 2008).

In einer Studie von MARTINS et al. (2015) zeigte eine steigende DCAB von -71 auf +290 mEq/kg TM steigende Werte von **Laktose, Fettgehalt und Calcium** in der Milch. Steigende Calciumgehalte in der Milch fanden BOUDON et al. (2016) bei einer Steigerung von 0 auf +400 mEq/kg TM auch, wobei der Calciumgehalt im Blut sank.

Tabelle 15 gibt einen Überblick zu einigen Quellen, welche Milchleistung, -fett, -protein und -laktose im Zusammenhang mit einem DCAB-Anstieg untersucht haben.

Tabelle 15: Einfluss einer steigenden DCAB auf die Milchleistung, -fett, -protein und -laktose

Autor	DCAB (mEq/kg TM)	Milch- leistung (kg/d)	Milch- fett (%/kg)	Milch- protein (%/kg)	Milch- laktose (%/kg)
TUCKER et al. (1988)	-100 bis +200*	↑ (8,6 %)	k.E.	Bei 0 mEq Maximum	-
WEST et al. (1991)	-111,6 bis +324,4*	↑ (21 %)	k.E.	↑	-
TUCKER et al. (1991)	0 bis +300	↑	↑ (T)	↑ (T)	-
DELAQUIS und BLOCK (1995a)	+56 bis +403	↑	k.E.	↑	↑
DIDIK (1999)	+200 bis +350	k.E.	k.E.	k.E.	-
HU et al. (2007a)	-30 bis +470	↑	↑ (%)	↑ (kg/d)	↑
MOONEY und ALLEN (2007)	+161 bis +276	↑	↑	-	-
WILDMAN et al. (2007a)	+250 bis +500*	↓	↑ (%)	↓ (%)	-
SHAHZAD et al. (2008) – lakt. Büffel	-110 bis +330	↑	↑	↑ (kg/d)	-
APPER- BOSSARD et al. (2010)	0 bis +300	↑ (l)	↑ (kg/d)	k.E.	-
MARTINS et al. (2015)	-71 bis +290	↑ (l)	↑ (kg/d)	k.E.	↑ (kg/d)
IWANIUK et al. (2015)	+164 bis +544	k.E.	↑ (%)	↓ (T)	-
BOUDON et al. (2016)	-25 bis +385	k.E.	↑	↓	↑
ALFONSO- AVILA et al. (2017)	+65 bis +326	↓ (T)	↑	k.E.	↓ (kg/d)
WANG et al. (2018)	-257 bis +279	↑ (l)	↑(l)	↓ (l)	↑ (l)

T...Tendenz; ↑...steigt an; ↓...sinkt ab; k.E.... kein Effekt; -...nicht untersucht; q...quadratisch; l...linear

2.2.4 Gesundheit

Wasseraufnahme

Die Wasseraufnahme und -ausscheidung bei Geflügel wird durch eine erhöhte Kationenaufnahme über das Futter positiv beeinflusst (MONGIN, 1981). Auch bei laktierenden Milchkühen, denen eine Ration mit erhöhtem Natriumgehalt (+320 mEq/kg TM* DCAB) gefüttert wurde, konnten ESCOBOSA et al. (1984) nachweisen, dass die Tiere mehr Wasser aufnahmen als die Kontrollgruppe. Ähnliche Ergebnisse konnten bei laktierenden Wasserbüffeln mit einer gefütterten DCAB von +330 mEq/kg TM festgestellt werden (SHAHZAD et al., 2008). In dieser Studie konnte mit der DCAB-Erhöhung eine

Wasseraufnahmesteigerung von 73 l/d auf 97 l/d erreicht werden. Dass das nicht unbedingt an dem erhöhten Natriumgehalt liegen muss, vermuteten DELAQUIS und BLOCK (1995a), die eher die gesteigerte Kaliumabsorption für eine erhöhte Wasseraufnahme verantwortlich machten. Gegen Ende der Spätlaktation durch die einsetzende Aldosteronresistenz in fortschreitender Trächtigkeit haben die Auswirkungen von Osmoregulation, verursacht durch Natrium oder Kalium, weniger Erfolg, deshalb bleiben in diesem Laktationsstadium die Effekte auf die Wasseraufnahme aus (DELAQUIS und BLOCK, 1995a). DIDIK (1999) konnte eine erhöhte Wasseraufnahme und -ausscheidung bei Milchkühen durch die Fütterung mit Natrium-Puffer zeigen. In einem Düngungsexperiment konnten PHILLIPS et al. (1999) zeigen, dass Natriumdüngung, mehr als Kaliumdüngung, die Wasseraufnahme von weidenen Milchkühen fördert.

Pansen und Verdauung

DIDIK (1999) zeigte, dass beim Einsatz von NaHCO_3 mit einem DCAB-Anstieg von +200 auf +350 mEq/kg TM der Gehalt an **Ammoniak (NH_3) und Harnstoff** in Pansen und Blut um 20 % sinkt. Die Ruminationsdauer wird durch Ionenüberschussfütterung (anionisch oder kationisch) reduziert (MOONEY und ALLEN, 2007). Durch die gesteigerte Durchflussrate kann der Darm mehr Aminosäuren verdauen (HU et al., 2007b). MARTINS et al. (2016) konnten eine um 6,38 % verbesserte NDF-Gesamtverdaulichkeit bei einem DCAB-Anstieg von -71 auf +290 mEq/kg TM feststellen.

Cortisolspiegel

Bei anionischer Fütterung (-88,9 mEq/kg TM) von Schafen konnten ESPINO et al. (2005) eine leichte Erhöhung des Cortisolspiegels feststellen. Der Spiegel des adrenocorticotropen Hormons (ACTH) blieb jedoch unberührt. Dies könnte laut der Autoren eventuell bei Langzeitgabe von sauren Salzen das Stresssignal einer Osteoporose sein.

Euterödeme

Durch eine niedrige DCAB können Euterödeme im Geburtszeitraum reduziert werden. Dies liegt laut BLOCK (1994) daran, dass die Wasseraufnahme vermindert und die Wasserausscheidung erhöht ist. SHAHZAD et al. (2011) konnten in ihren Untersuchungen ebenfalls feststellen, dass niedrige DCAB-Bereiche von -220 und -110 mEq/kg TM geeignet sind, Euterödeme in ihrer Ausprägung zu reduzieren.

Uterus

Wenn in der Vorbereitungszeit eine DCAB von -100 mEq/kg TM statt +200 mEq/kg TM gefüttert wird, sinkt die Inzidenz von Metritis und Nachgeburtsverhalten bei Milchkühen deutlich (LEAN et al., 2019; SANTOS et al., 2019).

Entzündungsparameter

WANG et al. (2020) konnte bei einer Erhöhung der DCAB von +335 auf +508 mEq/kg TM eine Reduzierung der Konzentrationen an Lipopolysacchariden und Serum Amyloid A im Blut von Milchkühen feststellen. Außerdem wurde der Endotoxingehalt im Harn gesteigert. Auf die Funktion von neutrophilen Granulozyten im Blut konnte im DCAB-Vergleich von -100 und +95 mEq/kg TM bei trockenstehenden Vorbereiterkühen kein positiver oder negativer Einfluss gefunden werden (COUTO SERRENHO et al., 2020).

2.3 Anwendung der DCAB

2.3.1 Historie

In den 1960er Jahren wurde in zahlreichen Studien festgestellt, dass die Gebärparese im peri- oder postpartalen Zeitraum nicht hauptsächlich durch hormonelle Störungen entstand, sondern durch prädisponierende Fütterungsfehler. In dieser Zeit fand das DCAB-Konzept seinen Ursprung. ENDER et al. (1971) fanden heraus, dass die Hypocalcämie der Milchkuh v. a. durch die exzessive Fütterung von alkalogen wirkenden („alkali-alkalinity“) Futtermitteln mit hohen Mengen an Natrium und Kalium verursacht wurde. Diese Ionen sind basenbildende Elemente und erhöhen dadurch laut den Autoren den pH-Wert des Magen- bzw. Darminhalts, weshalb die Absorption von Kalzium erschwert wird. In zahlreichen Versuchen konnten sie nachweisen, dass ein Austausch der kationenreichen Futterkomponenten (hier Rüben) durch mit anionenreichen anorganischen Mineralsäuren (wie Salz- oder Schwefelsäure) angesäuerte Grassilage in der Fütterung ab vier Wochen vor der Kalbung zu einer rapiden Senkung des Erkrankungsrisikos des Milchfiebers führte. Die erhöhten Gehalte von Chlorid und Schwefel sollten zu einer Absenkung des pH-Werts im Verdauungssystem führen und dadurch die Kalziumabsorption fördern. So war die grundsätzliche Idee. Dass dies aber wahrscheinlich andere Gründe hat, wird im nächsten Kapitel erläutert.

Die Verwendung von anorganischen Säuren wie Salz- und Schwefelsäure barg ein hohes Gefahrenpotential für den Anwender, daher suchte DISHINGTON (1975) eine Alternative und untersuchte die Nutzung von anionischen Salzen. Als besonders geeignet stellten sich anionische Salze wie Kalziumchlorid, Aluminiumsulfat und Magnesiumsulfat heraus.

Mit ESCOBOSA et al. (1984) und TUCKER et al. (1988) fand die DCAB auch Einzug in die Fütterung laktierender Milchkühe. Sie zeigten, dass eine positive DCAB durch Pufferzugaben in Hitzestress- oder Hochleistungsphasen die Einbrüche der Futteraufnahme und Azidosen vermindern können.

2.3.2 Prophylaxe der Gebärparese

Die Gebärparese ist ein bedeutendes gesundheitliches Problem der hochleistenden Milchkuh, welches durch Calciummangel im Geburtszeitraum durch den hohen Entzug über die Milchproduktion entsteht. Rund 0 bis 10 % der kalbenden Kühe erkranken klinisch an dem durch Hypocalcämie gekennzeichneten Milchfieber im peripartalen Zeitraum (DEGARIS und LEAN, 2009). Es gibt aber auch Werte unter Forschungsbedingungen von 13 bis 20 % und ein **Vorkommen** von subklinischer Hypocalcämie mit Werten zwischen 20 bis 53 % (JOYCE et al., 1997). Neben medikamentösen Anwendungen wie Vitamin D3-Prophylaxe und Calcium-Infusionen kann der Gebärparese durch diätetische Maßnahmen begegnet werden. In den Vordergrund tritt hierbei die Beeinflussung der Ration durch Manipulation der Ionenzusammenstellung (DCAB-Konzept). Dies wird durch die Zugabe von anionischen Salzen realisiert. Dadurch wird die DCAB soweit abgesenkt, dass der SBH in eine leicht metabolische Azidose gerät. Einsetzbare Mineralsalze bestehen aus einem starken Anion und einem schwachen Kation. Die Anionen sind entweder Chlorid oder Sulfat. Die korrespondierenden Kationen sind meistens Magnesium, Calcium oder Ammonium (GELFERT et al., 2007). BLOCK (1984) zeigte in seiner Studie, dass durch eine anionische Fütterung mit einer DCAB von -12,85 mEq/kg TM eine Senkung der Gebärpareseinzidenz von 47,4 % (n=19; Milchfieber durch Fütterung einer kationenreichen - v. a. kaliumreicher - Ration ausgelöst) auf 0 % möglich ist. Der Calciumspiegel im Blutplasma war dabei um den Geburtszeitraum signifikant höher als bei den kationisch gefütterten Tieren. CHARBONNEAU et al. (2006) zeigten in ihrer Metaanalyse bei einer DCAB-Reduktion von +300 mEq/kg TM auf 0 mEq/kg TM⁴ eine Minderung der Gebärpareseinzidenz von 16,4 % auf 3,2 %. Weitere Studien zeigten eine Senkung des Gebärparese-Risikos durch Fütterung einer niedrigen DCAB mittels anionischer Salze (SHAHZAD et al., 2011; LEAN et al., 2014; MELENDEZ und POOCK, 2017; LEAN et al., 2019; SANTOS et al., 2019).

Tabelle 16 gibt einen Überblick zu den üblichen im Gebrauch befindlichen anionischen Mineralsalzen und deren Eigenschaften.

⁴Na+K - (Cl+0,6S)

Tabelle 16: Beispiele für anionische Minerale (mit Beispielquellen über den Einsatz)

Kurzformel	Chemischer Name	Eigenschaften	Autoren
CaSO ₄	Calciumsulfat	Gips, schwer wasserlöslich	OETZEL et al. (1991)
CaCl ₂	Calciumchlorid	sehr bitter, hygroskopisch	TUCKER et al. (1988); OETZEL et al. (1991); SHARIF et al. (2010); MOHANRAO et al. (2016)
NH ₄ Cl	Ammoniumchlorid	gut wasserlöslich	OETZEL et al. (1991); JONES et al. (2009); APPER-BOSSARD et al. (2010); WANG et al. (2018)
(NH ₄) ₂ SO ₄	Ammoniumsulfat	gut wasserlöslich	OETZEL et al. (1991); MARTINS et al. (2016)
MgSO ₄	Magnesiumsulfat	nicht schmackhaft; abführend	OETZEL et al. (1991); MARTÍN-TERESO et al. (2014); MOHANRAO et al. (2016)
MgCl ₂	Magnesiumchlorid	hygroskopisch	OETZEL et al. (1991); ROCHE et al. (2003); MOHANRAO et al. (2016)

Die Ansäuerung durch anionische Salze benötigt bis zur vollständigen **Wirksamkeit** mindestens 48 bis 72 Stunden (GOFF und HORST, 2003; JESSEN, 2010) und sollte mindestens 7 Tage (MONTAG, 2005; GOFF, 2008) aber nicht länger als drei Wochen (PEHRSON et al., 1999; GELFERT et al., 2006; GOFF, 2008; JESSEN, 2010) angewandt werden. In der Praxis werden die Tiere in der Regel drei Wochen vor dem errechneten Geburtszeitpunkt bis zum Zeitpunkt der Kalbung mit der Anionenration gefüttert. Eine Verlängerung dieser Zeit auf sechs Wochen konnte keine positiven Effekte hervorrufen, sondern eine um 2 Tage reduzierte Tragezeit, Milchleistungseinbußen von 2,5 kg/d p.p. und eine niedrigere Kolostrummenge (LOPERA et al., 2018). Bei Rationen mit DCAB-Werten über +250 mEq/kg TM ist eine ausreichende Wirkung von anionischen Salzen nicht mehr zu erwarten, da die einzusetzenden Mengen die Futteraufnahme stark reduzieren würden (HORST et al., 1997; OETZEL, 2000; JESSEN, 2010). Vorher sollte v. a. auf niedrige Kaliumgehalte im Grundfutter geachtet werden, damit die anionischen Salze ihre volle Wirkung entfalten können (SCHMUTZER, 2010). Ein anderes Mittel, um die DCAB zu senken, ist Salzsäure (z. B. NutriChlor – HCl behandeltes Rapsmehl (LAS et al., 2007)). Sie ist ein zuverlässiger Chloridlieferant und hat weniger Akzeptanzprobleme als die anionischen Salze. Die Handhabung bringt aber einige Probleme mit sich, da die Säure hoch korrosiv und ätzend ist. So sei sie besser einsetzbar in vorgemischten Futtermitteln (GOFF und HORST, 1998). Die Senkung der DCAB muss nicht ausschließlich

durch den Einsatz von anionischen Salzen in Futtermitteln erfolgen. Einige Studien belegen, dass durch die Düngung mit Chlorid- oder Schwefeldünger (z.B. CaCl_2) der Gehalt an Anionen im geernteten Heu gesteigert werden kann und dadurch DCAB-Werte bis unter null mEq/kg fallen können (CHARBONNEAU et al., 2008). Durch diese Maßnahme kann das Problem mit unzureichender Schmackhaftigkeit und Futteraufnahme beim Einsatz von „sauren“ Salzen umgangen werden. Im direkten Vergleich mit einer anionischen Fütterung konnte bewiesen werden, dass die Wirkung auf den SBH (Blut- und Harnparameter) vergleichbar ist (CHARBONNEAU et al., 2008). Eine weitere Strategie, die DCAB zu senken, ist die Reduzierung von Kationen v. a. von Kalium im Grundfutter (RÉRAT et al., 2009; RÉRAT und SCHLEGEL, 2014). Dies sollte aber im Rahmen der Bedarfswerte erfolgen (HORST et al., 1997). Dieses Ziel kann auf verschiedenen Wegen erreicht werden. Luzerne kann in reiferen Stadien geerntet werden. Herbsterten enthalten weniger Kalium als Frühjahrsernten. Bei kälteren Temperaturen lagern die Pflanzen weniger Kalium ein als bei warmen Temperaturen. Es gibt auch genetische Varianten der Luzerne, die weniger Kalium benötigen und einlagern. Letztendlich kann auch eine Grundfutterpflanze gewählt werden, die generell einen niedrigeren Kalium-Gehalt hat (HORST et al., 1997).

Die **Wirkungsweise** der anionischen Salze ist noch nicht komplett geklärt. Hierzu gibt es verschiedene Theorien. Frühere Studien waren der Ansicht, dass durch die Fütterung eines Überschusses an Anionen (Chlorid, Sulfat und Phosphat) der pH-Wert im Darm sinkt und dadurch die passive Absorption von Calcium erhöht wird (ENDER et al., 1971; LOMBA et al., 1978). Dagegen sprechen aber die Erkenntnisse von BLOCK (1984). Er fand heraus, dass durch die absorbierten Anionen eine milde Azidose entsteht und dadurch die Calciummobilisation aus dem Knochengewebe angeregt wird. Dies wies er mit erhöhten Hydroxyprolinwerten (Indikator für Calciummobilisation) im Blutplasma bei anionischer Fütterung nach. Außerdem schloß er daraus, dass eine genügende Absorption von Calcium aus dem Darm nicht stattgefunden haben kann, da dies eine Hemmung (negatives Feedback) der Knochenmobilisation zur Folge hätte. OETZEL (1993) wies als Auslösung dieser Knochenmobilisation die Anregung des Parathormons aus (GOFF, 2008). GOFF und HORST (2003) beschrieben die puffernde Gegenregulation von Calcium aus dem Knochen, sobald der Blut-pH-Wert zu sinken droht. Durch diesen Prozess steigt der Blut-Calciumgehalt von 1,86 auf 2,04 mmol/l am Tag der Geburt und das Risiko einer Hypocalcämie sinkt (SANTOS et al., 2019). Einige Autoren empfehlen, dass bei einer anionischen Fütterung unbedingt Calcium supplementiert werden sollte (FREDEEN et al., 1988; ROMO et al., 1991; MONTAG, 2005). Nach MONTAG (2005) wird die Calciumfütterung auf 120-180 g/d beziffert. Gegen eine erhöhte Supplementierung

sprechen sich SANTOS et al. (2019) aus. In ihrer Metaanalyse fanden sie heraus, dass der Ca-Gehalt in Rationen positiv mit dem Milchfieber-Risiko korreliert. Speziell bei einer Erhöhung von 0,6 % auf 1,6 % Ca in einer anionischen Ration (-100 mEq/kg TM) stieg das Risiko an Gebärparese zu erkranken von 2,0 % auf 7,7 %. Bei alkalogenen Rationen (+200 mEq/kg TM) stieg das Risiko von 14,4 auf 17,7 %. GELFERT und STAUFENBIEL (2008) empfehlen in der Fütterungszeit von anionischen Salzen mindestens den Mindestbedarf an Calcium zu füttern. Eine wesentliche Erhöhung des Ca-Gehalts sei jedoch nicht notwendig.

Mit niedrigen DCAB-Werten (+195 mEq/kg TM) in Trockensteherrationen kann die Futteraufnahme nach der Geburt bei DCAB-Werten von +514 mEq/kg TM gesteigert werden (RÉLAT et al., 2010). Dies konnte bei Tieren, die vor und nach der Geburt mit denselben DCAB-Werten gefüttert wurden, nicht nachgewiesen werden. SANTOS et al. (2019) konnten diese Ergebnisse reproduzieren. In ihrer Metaanalyse zeigten sie anhand eines statistischen Modells, dass die Tiere nach der Geburt ca. 1 kg TM am Tag mehr aufnahmen, wenn sie vor der Geburt eine anionische Ration mit einer DCAB von -100 mEq/kg TM vorgelegt bekamen.

Die empfohlenen DCAB-Werte reichen von -200 bis +150 mEq/kg TM und sind in der Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17: Empfohlene DCAB-Werte in der Vorbereiterration

DCAB-Werte der TMR (mEq/kg TM)	Autoren
-200 bis -100	GASTEINER (2010)
unter -75	BLOCK (1994)
-50	GOFF und HORST (2003)
-53	MELLENDEZ und POOCK (2017)
0 bis +50	GOEBBELS (2005); SCHMUTZER (2010)
-50 bis +50	JESSEN (2010); STAUFENBIEL (2011a)
-150 bis +150	DEGARIS und LEAN (2009)

GOFF et al. (2004) empfehlen die in Tabelle 18 aufgeführten relativen Werte an Ionen in der Ration für trächtige Kühe vor der Kalbung. So sollten die Kationen möglichst nach den Bedarfsempfehlungen (NRC, 2001) und Schwefel in dem tolerierten Bereich von 2 bis 4 g/kg TM (SPEARS et al., 2011) gefüttert werden. Da der Fütterungsmenge des Chlorids nicht so enge Grenzen wie dem Schwefel gesetzt sind, kann über einen variablen Gehalt von Calciumchlorid die DCAB der Ration in den optimalen Bereich für trockenstehende Kühe gesenkt werden. Chloridverbindungen sind beliebt, da sie in ihrer Absorbtionsrate uneingeschränkt sind und eine höhere Ansäuerungswirkung auf den SBH haben als Schwefel.

Dieser kann in verschiedenen chemischen Verbindungen vorkommen, deren Aufnahmevermögen durch den Darm stark differieren (s. Kap 2.1.2).

Tabelle 18: Fütterungsempfehlung Mineralgehalt für Vorbereiter (GOFF et al., 2004)

Ionen	Menge in %	DCAB (mEq/kg TM)
Natrium	0,12	+52,2
Kalium	1,00	+256
Calcium	1,00	-
Magnesium	0,40	-
Chlorid	0,20 bis 0,50	-56,4 bis -141
Phosphat	0,35	-
Schwefel	0,35	-218,4
Summe	-	-51,2 bis +33,4

2.3.3 Anwendung bei laktierenden Kühen

Kühe in der Früh-laktation sind aufgrund des hohen Kraftfutteranteils in ihren Rationen und bei Erkrankung an einer Ketose besonders anfällig für metabolische Azidosen. Nach BLOCK (1997) sollte diesen Tieren eine hohe DCAB (+200 bis +300 mEq/kg TM) gefüttert werden. Dies würde die Pufferkapazität verbessern. Die Tiere zeigten als Antwort darauf eine erhöhte Trockenmasseaufnahme und eine gesteigerte Milchleistung. Im weiteren Verlauf der Laktation sollte die DCAB im mittleren Laktationsstadium auf +100 bis +200 mEq/kg TM gesenkt werden (BLOCK, 1997). In der späten Trockenstehphase wird aufgrund der Milchfieberproblematik eine Futtermischung mit möglichst niedriger DCAB empfohlen (Minimum -75 mEq/kg TM). Der positive Effekt der DCAB auf die Milchleistung zeigte sich bei DELAQUIS und BLOCK (1995a) v. a. bei Kühen in der Früh- und Mittellaktation (25-137 Tage in Milch (DIM)).

Bei laktierenden Milchkühen werden statt saurer Salze vorwiegend Puffer als DCAB-Regulatoren (HOFFMANN, 2014) eingesetzt. Diese sollten wasserlöslich sein, aus einer schwachen Säure bzw. Base und deren Salz bestehen und einen pKa-Wert in der Nähe des pH's der zu puffernden Flüssigkeit haben (ERDMAN, 1988). Da diese Minerale ähnlich wie die anionischen Salze für Kühe nicht schmackhaft sind, kann man sie mit Stoffen, wie z. B. freie Fettsäuren, umkapseln (HULTQUIST und CASPER, 2016). Dies verbesserte die Aufnahme, so dass kein Unterschied zur ungepufferten Fütterung besteht. Milchkühe zeigten höhere Futteraufnahmen bei Natriumhydrogenkarbonat als bei Kaliumhydrogenkarbonat (SCHNEIDER et al., 1984).

In Tabelle 19 sind einige eingesetzte Puffer zusammengefasst und deren besondere Eigenschaften beschrieben.

Tabelle 19: Einsetzbare Puffersubstanzen (mit Beispielquellen über den Einsatz)

Kurzformel	Chemischer Name	Eigenschaften	Autoren
K_2CO_3	Kaliumkarbonat (Pottasche)	hygroskopisch	IWANIUK et al. (2015); HULTQUIST und CASPER (2016); ALFONSO-AVILA et al. (2017); MA et al. (2017)
$KHCO_3$	Kaliumhydrogenkarbonat (Backtriebmittel)		TAURIAINEN et al. (2001); HU et al. (2007b); ALFONSO-AVILA et al. (2017);
Na_2CO_3	Natriumkarbonat (Soda)	hygroskopisch	APPER-BOSSARD et al. (2010); ALFONSO-AVILA et al. (2017)
$NaHCO_3$	Natriumhydrogenkarbonat (Natron)	wasserlöslich, geruchlos	WILDMAN et al. (2007b); HU et al. (2007b); CORREA et al. (2014); MOHANRAO et al. (2016)
$Na_3H(CO_3)_2$ (NaSC)	Natriumsesquikarbonat		CASSIDA et al. (1988); IWANIUK et al. (2015)
MgO	Magnesiumoxid (Bittererde, Magnesia)	schwer löslich	TEH et al. (1985); BACH et al. (2018)
$CaCO_3$	Calciumkarbonat (kohlenaurer Kalk)	schwer löslich	APPER-BOSSARD et al. (2010); MOHANRAO et al. (2016)

Bekämpfung und Prophylaxe der Azidose

Zu Beginn einer Laktation wird die Milchkuh mit einer hohen Kraftfutterdichte im Futter gefüttert. Diese ist nötig, um Ketosen zu vermeiden (KAMPHUES, 1993). Jedoch können ein Überschuss an leicht verdaulichen Kohlenhydraten auch zu subklinischen Pansenazidosen führen, welche Einfluss auf den systemischen SBH nehmen können (STAUFENBIEL, 2011b). Eine hohe DCAB kann bei kraftfutterreichen Rationen den postprandialen Pansen-pH-Abfall abmildern (APPER-BOSSARD ET AL., 2010). Allein die hohe Stoffwechselrate führt zu einer azidotischen Belastung der hochleistenden Milchkühen (BLOCK, 1988; CHAN et al., 2005). Neben einer angepassten Rohfaserfütterung sind Puffer eine Möglichkeit, Pansenazidosen zu behandeln bzw. vorzubeugen. In kraftfutterbetonten Rationen haben Puffer eine gute Wirksamkeit. APPER-BOSSARD et al. (2010) konnten zeigen, dass solche Rationen mit zusätzlich niedriger DCAB (0 mEq/kg TM) den Blut-pH und HCO_3^- soweit absenken, dass sich eine subakute metabolische Azidose entwickelt. Bei hohen DCAB-Werten (+300 mEq/kg TM)

steigen im Gegenzug die Hydrogenkarbonat-Konzentration sowie der Base Excess (BE) an. Dadurch werden Mengen an HCO_3^- frei, die im Pansen puffernde Wirkung entfalten können (APPER-BOSSARD et al., 2010). Puffer geben der Ration einen Überschuss an Kationen und können dadurch azidotische Zustände abmildern (BLOCK, 1988; APPER-BOSSARD und PEYRAUD, 2004; HU et al., 2007c; SHAHZAD et al., 2008; FAROOQ et al., 2014). Jedoch sollte von einer laktationsdurchgehenden Pufferfütterung Abstand genommen werden (DIDIK, 1999). Im Laufe der fortschreitenden Laktation sinkt die Anfälligkeit gegenüber von Azidosen. Jedoch steigt die Möglichkeit für eine Alkalose an (ERDMAN et al., 1982).

Milchfettdepression

Ein weiterer positiver Effekt der Pufferfütterung ist die Verhinderung der **Milchfettdepression** (MA et al., 2017). Diese entsteht durch Verschiebungen in der Zusammensetzung der Mikroben im Pansen. Bei kraftfutterreichen Rationen sinkt der Pansen-pH-Wert und fördert damit die Vermehrung von Propionat-bildenden Mikroben verhältnismäßig stark zu der von Acetat-bildenden Mikroben. Dadurch wird ein erniedrigtes Acetat-Propionat-Verhältnis erzeugt. Milchfett wird hauptsächlich aus Acetat gebildet. Wenn dieses in Relation zu Propionat weniger produziert wird, sinkt der Milchfettgehalt (NRC, 2001). Pansenpuffer sollen den pH-Wert im Pansen länger in höheren Bereichen halten, um den Acetat-bildenden Mikroben eine höhere Überlebenschance zu lassen (DIDIK, 1999; FAROOQ et al., 2014).

Hitzestress

Ab Außentemperaturen von über 25/26 °C (BERMAN et al., 1985) bzw. einem THI^5 über 74 (MADER et al., 2006) leiden Rinder unter **Hitzestress**. Nach POLSKY und KEYSERLINGK (2017) werden schon THI-Werte ab 72 als unkomfortabel definiert. Die Körperinnentemperatur steigt bei einer Außentemperatursteigerung von 15 auf 28 °C um 1,05 °C bei laktierenden Kühen an (KHELIL-ARFA et al., 2014). Außerdem beginnen die Tiere durch Steigerung der Atmungsfrequenz zu hecheln (+27 Atemzüge/min KHELIL-ARFA et al., 2014), um ihre Körpertemperatur in einem physiologischen Bereich zu halten. Die steigende Körpertemperatur ist negativ mit der Futteraufnahme korreliert (WEST et al., 2003b; POLSKY und KEYSERLINGK, 2017; SPIERS et al., 2018; AL-QAISI et al., 2019; RIEGER et al., 2020). Der Rückgang der Futteraufnahme ist ein natürlicher Schutzmechanismus, mit dem der Organismus versucht die Abwärme der Pansenfermentation zu reduzieren (SANCHEZ et al.,

⁵ Temperature-humidity index: $\text{THI} = [0.8 \times \text{Außentemperatur}] + [(\% \text{ relative Luftfeuchtigkeit} \div 100) \times (\text{Außentemperatur} - 14.4)] + 46.4$ (MADER et al. (2006).

1994b). Durch die reduzierte Futterraufnahme sinkt die Milchleistung (ESCOBOSA et al., 1984; MALLONÉE et al., 1985; KHELIL-ARFA et al., 2014). Bei der Hyperventilation der Tiere wird vermehrt Kohlenstoffdioxid abgeatmet. Dadurch entsteht eine respiratorische Alkalose (KHELIL-ARFA et al., 2014). Der Blut-pH-Wert steigt. Die Ausscheidung von HCO_3^- über die Nieren dient der Kompensation der Alkalose (LEBEDA, 1988; WEST, 2003a). Durch den hohen Verlust von HCO_3^- werden die Tiere anfälliger gegenüber einer Azidose v. a. beim Abkühlen der Außentemperaturen. Dabei sinkt die Respirationsrate und der pCO_2 im Blut steigt (ESCOBOSA et al., 1984; SCHNEIDER et al., 1988). Diese Veränderungen im systemischen SBH haben auch Einfluss auf den pH-Wert des Pansens (SCHNEIDER et al., 1984). Denn durch die reduzierte Sekretion von Hydrogenkarbonat über den Speichel fällt der Pansen-pH ab und es kann eine Pansenazidose entstehen.

Um diese Mehrbelastung zu senken, können Tierhalter neben dem Einsatz von Ventilatoren, Schatten und der Berieselung mit Wasser auch nutritive Maßnahmen ergreifen (WEST, 2003a). Diese diätetischen Maßnahmen setzen sich aus der Anpassung der Elektrolyt- (SHALIT et al., 1991) und Pufferfütterung zusammen (ESCOBOSA et al., 1984; WEST et al., 1991).

Pufferfütterungen können durch den Kationenüberschuß den Ausgleich des HCO_3^- -Verlustes und Ersatz des fehlenden Speichelpuffers unterstützen (ESCOBOSA et al., 1984; WEST, 2003a). COPPOCK et al. (1982) konnten zeigen, dass die Fütterung von 1,45 % Natriumhydrogenkarbonat zu einer signifikanten Reduzierung der Körpertemperatur um 0,03 °C bei hitzestresssten Rindern führt. KHELIL-ARFA et al. (2014) konnten dies mit dem Einsatz von 1,9 % NaHCO_3 jedoch nicht bestätigen. Eine erhöhte DCAB (+390,8 mEq/kg TM) mittels Puffergaben steigert die Futter- und Wasseraufnahme v. a. nachts (NGUYEN et al., 2019).

Nicht nur der Hydrogenkarbonatverlust führt zu Problemen im SBH, auch der erhöhte **Elektrolytverlust** von Kalium über den Schweiß, Natrium über den Speichel und die Niere, und diverser Elektrolyte über die Milch kann zu Leistungseinbrüchen führen (JOHNSON, 1970; MALLONÉE et al., 1985; SANCHEZ et al., 1994b; SILANIKOVE et al., 1998). Wenn Kalium über den Schweiß vermehrt ausgeschieden wird, sinkt der Aldosteronwert im Blut und Natrium wird vermehrt exkretiert, um Kalium im Blut zurückzuhalten (EL-NOUTY et al., 1980). Studien zeigten unter Hitzestressbedingungen, dass eine erhöhte Kationenfütterung z.B. mit 0,39 % Natrium (COPPOCK et al., 1982) und 1,08 % Kalium in der Ration (MALLONÉE et al., 1985) eine gesteigerte Futterraufnahme der Tiere hervorbrachte. Bei Gehalten von 0,75 % Natrium und 1,45 % Kalium konnten in einer Metaanalyse sogar Höchstwerte der

Futteraufnahme unter Hitzestress beobachtet werden (SANCHEZ et al., 1994b). Das gefütterte NaHCO_3 wirkt durch die erhöhte Natriummenge positiv auf die Speichelproduktion (SANCHEZ et al., 1994b). Chloridmengen von 1,20 % im Futter führten zu Einbrüchen in der Futteraufnahme (SANCHEZ et al., 1994b). SILANIKOVE et al. (1998) zeigten, dass alleine die Anpassung der Ionenmengen an die erhöhte Ausscheidung bei Hitze zu Leistungssteigerungen mit 0,8 kg mehr Trockenmasseaufnahme pro Tag führen können (Tabelle 20).

Tabelle 20: Angepasste Ionenfütterung bei Hitzestress (SILANIKOVE et al., 1998)

	Kontrollration	Versuchsration
Natrium (%)	0,23	0,33
Kalium (%)	1,04	1,20
Chlorid (%)	0,58	0,70
DCAB (mEq/kg TM)	+203*	+253*
TM-Aufnahme (kg/d)	15,4	16,2

WEST et al. (1991) erklärten die Leistungsverbesserung durch die Erhöhung der DCAB in der Ration, da durch die gesteigerte SCAD, den erhöhten Blut-pH-Wert und die gesteigerte HCO_3^- -Konzentration die **Pufferkapazität** im Blut verbessert wird. Proteine übernehmen im Körper einige Pufferfunktionen (s. Kap. 2.2.1). WILDMAN et al. (2007a) konnten einen Proteinspareffekt durch die Fütterung mit einer gesteigerten DCAB bei laktierenden Milchkühen feststellen. Die DCAB erhöht die Pufferkapazität im Blut mit Nicht-Proteinpuffern. Dadurch kann ein hoher Teil der Proteine stattdessen zum Aufbau (Anabolismus) genutzt werden.

Zu Beginn der Laktation sind die Kühe anfälliger gegenüber einer metabolischen Azidose als gegenüber einer Alkalose. Dies ändert sich mit fortschreitender Laktation und gegen Ende dreht sich dieser Zusammenhang sogar um (DELAQUIS und BLOCK, 1995a; FAROOQ et al., 2014). So sind spätlaktierende Kühe und v. a. Trockensteher anfälliger für eine Alkalose und sollten daher eher mit einer niedrigen DCAB gefüttert werden (s. Gebärparese-Prophylaxe). Tabelle 21 fasst einige Empfehlungen der DCAB-Fütterung in unterschiedlichen Laktationsstadien zusammen.

Tabelle 21: Empfohlene DCAB-Werte für laktierende Milchkühe

	Untersuchte Kühe (Studienanzahl)	Zu optimierende Grundlage	Untersuchter DCAB Bereich (mEq/kg TM)	Optimaler Bereich (mEq/kg TM)
BLOCK (1994)	-	Frühlaktation	-	+200 bis +300
		Mittellaktation	-	+100 bis +200
SANCHEZ et al. (1994b)	1444 (15)	Milchleistung, TMA	-122 bis +612*	+250 bis +500*
SANCHEZ und BEEDE (1996)	326 (10)	Milchleistung, TMA, 4 % FCM	+58 bis +612*	+250 bis +500*
ROCHE et al. (2005)	32	Milchleistung	+230 bis +880	>200
WILDMAN et al. (2007a)	32	Spätlaktation	+250 bis +500*	+250*
HU et al. (2007c)	337 (16)	TMA	-191 bis +727*	+470*
IWANIUK et al. (2015)	60	Futtermilcheffizienz (3,5 % FCM/TMA)	+257 bis +603*	+426*

TMA...Trockenmasseaufnahme

2.3.4 Andere Anwendungen

RIOND (2001) fasste allgemein zusammen, dass alkalische Verhältnisse das Wachstum von Jungtieren fördern und azidotische Verhältnisse hemmend wirken. Bei der Fütterung von **Holsteinkälbern** (56 bis 70 Tage alt) wurden von JACKSON et al. (1992) optimale Effekte durch eine DCAB von +225 mEq/kg TM auf die Futteraufnahme und die Gewichtszunahme gefunden. Bei gleichaltrigen Kälbern konnte bei einer DCAB von +130 mEq/kg TM im Vergleich zu einer negativen DCAB von -180 mEq/kg TM die Wachstumsleistung um 0,14 kg pro Tag gesteigert werden, ohne dabei die Futteraufnahme zu erhöhen (JACKSON und HEMKEN, 1994). Jedoch zeigten sich keine signifikanten Effekte auf die TMA und täglichen Zunahmen bei einem DCAB-Unterschied von 0 und +200 mEq/kg TM (JACKSON et al., 2001). SARWAR et al. (2011) konnten die besten Ergebnisse von TMA und täglicher Zunahmen bei Büffelkälbern unter Hitzestress mit 1,2 % NaHCO₃ entsprechend einer DCAB von +191 mEq/kg TM erreichen.

Bei **Jungrindern** (5 bis 9 Monate) konnten SUMAN und KAUR (2015) optimale Futteraufnahmen und Wachstumsleistungen bei DCAB-Werten von +250 mEq/kg TM im Vergleich zu +150 mEq/kg TM feststellen. ROSS et al. (1994) fanden bei der **Bullenmast** (13 Monate alt) beste Zunahmen bei +150 mEq/kg TM*. Auf verschiedene Parameter der **Fleischqualität** (z.B. Zartheit) hat die DCAB keinen Effekt (CHO et al., 2006;

SCHOONMAKER et al., 2013). Bei **Mastbullen** konnte eine hohe DCAB (+258 mEq/kg TM)⁶ zu einer verbesserten Trockenmasseaufnahme führen (HERSOM et al., 2010).

FAUCHON et al. (1995) untersuchte einen DCAB-Bereich von +100 bis +700 mEq/kg TM* auf dessen Einfluss auf die Trockenmasseaufnahme bei **Schafblämmern**. Die TMA zeigte einen quadratischen Zusammenhang mit dem Maximalwert bei +500 mEq/kg TM. LUEBBE et al. (2011) und SARWAR et al. (2007) fanden eine linear ansteigende Wirkung auf die TMA durch DCAB-Anstiege von -110 bzw. -450 auf +330 bzw. +400 mEq/kg TM. Aus der gesteigerten Futteraufnahme folgte eine erhöhte Zunahme. Laut SARWAR et al. (2007) ist dies auf die metabolische Alkalose zurückzuführen, welche zu einer Effektsteigerung von Insulin und Wachstumshormonen führe. Die Urolithiasis von Ziegenböcken kann durch eine DCAB-Absenkung auf 0 mEq/kg TM vorgebeugt und behandelt werden (JONES et al., 2009).

Bei **Geflügel** stellte sich heraus, dass die Calciumeinlagerung bei Eischalen stark mit dem SBH korreliert (LEACH, 1979). Desweiteren kann eine übermäßige Chloridfütterung mit niedriger DCAB zu einer Dyschondroplasie der Tibia bei Hühnern führen. MONGIN (1981) zeigte in seiner Zusammenfassung, dass eine DCAB von +250 mEq/kg* ein optimales Wachstum bei Geflügel hervorriefe. Jede Abweichung über oder unter diesen DCAB-Wert würde eine Azidose bzw. Alkalose zur Folge haben und dadurch das Wachstum hemmen. NURSOY et al. (2011) stellten optimale DCAB-Werte zwischen +311 und +344 mEq/kg TM* für ein optimales Wachstum bei Hühnern fest.

In der **Muttersauenhaltung** gibt es ähnliche hypocalcämische Probleme um den Geburtszeitraum wie bei den Milchkühen. DARRIET et al. (2017) fanden in ihrer Studie heraus, dass eine Fütterung mit anionischen Salzen zur Verbesserung der hypocalcämischen Symptome führt. Sie zeigten einen erhöhten Calciumspiegel im Blut und dadurch eine niedrigere Mortalität um die Geburt. Desweiteren kann der niedrige Harn-pH, welcher bei anionischer Ration entsteht, Harnwegsinfekten vorbeugen, da dieses Milieu für pathogene Keime ungünstig ist (CHENG et al., 2015). Optimale Futteraufnahmen und Gewichtszunahmen werden bei **aufwachsenden Schweinen** in einem DCAB-Bereich von +166 bis +500 mEq/kg TM* erreicht (DI OFFICER et al., 1997; DERSJANT-LI et al., 2001; LEI et al., 2017).

Bei **Pferden** konnten ähnliche Erkenntnisse zum SBH gefunden werden (BAKER et al., 1998). So führten niedrige DCAB-Rationen mit Chlorid- oder Sulfatverbindungen zur Senkungen des pH-Werts in Blut und Harn sowie zur Reduzierung von HCO_3^- im Blut. Bei Absetzern konnte

⁶ Na + K + 0,15Ca + 0,15Mg - Cl - 0,6S - 0,5P

jedoch kein Einfluss der DCAB auf die Wachstumsleistung anhand des Osteocalcingehalts festgestellt werden (COOPER et al., 2000). Ansätze, die azidotische Stoffwechselbelastung bei hochleistenden Rennpferden mittels hoher DCAB-Fütterung zu mildern, schlugen fehl (COOPER et al., 1998).

In der **Kleintierpraxis** wird die DCAB neben der Harndilution und Proteinreduktion als wichtiges Element in der Harnsteintherapie und -prophylaxe eingesetzt. So können Struvitsteine durch Ansäuerung des Harn-pH-Werts mittels einer niedrigen DCAB aufgelöst werden. Bei Oxalatsteinen, Uraten und Zystinen wird die Alkalisierung des Harn-pH mit einer hohen DCAB zur Therapie genutzt (CALABRÒ et al., 2011; RÜCKERT, 2015).

Der Harn-pH-Wert von **Kaninchen** reagierte ähnlich wie bei anderen Spezies auf Veränderungen in der DCAB (KIWULL-SCHÖNE et al., 2005; HEER et al., 2017). Nur scheint die Ausscheidung von Calciumkarbonat über die Harnwege einen wichtigen zusätzlichen Einfluss auf den Harn-pH zu haben. Auch bei dieser Tierart wird die DCAB zur Urolithiasis- und Osteoporoseprophylaxe genutzt (HEER et al., 2017).

2.3.5 Kontrollmöglichkeiten

Um die DCAB-Werte der Ration zu kontrollieren, braucht es regelmäßige **Rationsanalysen** der TMR bzw. der einzelnen Futterkomponenten vor der Berechnung der Rationsanteile (LEACH, 1979; GOEBBELS, 2005; OSTERMANN-PALZ, 2016; GREINER und ENGELHARD, 2018). Diese Kontrolle sollte nicht nur in der Vorbereiterration, sondern auch in allen anderen Laktationssgruppen durchgeführt werden (BANI HASSAN et al., 2018).

Um die Wirkung der DCAB auf den SBH der Tiere beurteilen zu können, können verschiedene Laborparameter erhoben werden. Der früher v. a. verwendete **Blut-pH**-Wert ist nicht sehr aussagekräftig, da er durch diverse Puffermechanismen (s. Kap. 2.2.1) stark reguliert wird und in engen Grenzen schwankt (BLOCK, 1988). Jedoch können hiermit dekompenzierte azidotische oder alkalotische Stoffwechselgeschehen erkannt werden.

Der **Harn-pH**-Wert gilt als schnell erfassbarer und sensitiver Parameter zur Beurteilung des SBH (GOFF et al., 2004; CONSTABLE et al., 2009; APPER-BOSSARD et al., 2010). Die Proben sollten erst 48 h nach dem Fütterungsbeginn entnommen werden, damit man aussagekräftige Ergebnisse erhält (GOFF, 2008). Zur Überwachung von Vorbereiterrationen gibt es Referenzwerte, von denen einige in der Tabelle 22 zusammengefasst sind.

Tabelle 22: Empfehlung Harn-pH in der Gebärpareseprophylaxe

Harn-pH-Empfehlung	Autoren
6,2 bis 6,8 (Holstein Friesian) 5,8 bis 6,3 (Jersey)	GOFF und HORST (2003)
7,3 bis 7,8	GOEBBELS (2005)
7,0 bis 7,8	SCHMUTZER (2010)
6,2 bis 6,8	MELENDEZ und POOCK (2017)

Der Referenzbereich für den physiologischen Wert bei Rindern liegt nach GÄBEL (2010) zwischen 7,8 und 8,4. Aus diesem Grund sollte das Absenken des pH-Wertes nicht länger als zwei bis drei Wochen erfolgen (siehe 2.3.2 und 2.3.6), da sonst gesundheitliche Beeinträchtigungen drohen.

Hinsichtlich der Korrelation gibt es laut BENDER et al. (2001) für die Beurteilung der DCAB-Wirksamkeit besser geeignete Parameter. Einer dieser Parameter ist die **Netto-Säure-Basen-Ausscheidung (NSBA)**. Empfohlene NSBA-Werte für Vorbereiter liegen zwischen 0 und 50 mmol/l (GOEBBELS, 2005). SCHMUTZER (2010) gibt dafür NSBA-Werte von -50 bis 0 mmol/l an. Der physiologische Referenzbereich der Milchkuh liegt je nach Laktationsstand zwischen 80-220 mmol/l (MORITZ et al., 2014a). Andere Parameter sind die **Basenausscheidung** sowie der **Basen-Säuren-Quotient (BSQ)**. Sie sind auch sehr sensitive Parameter zur Beurteilung von durch DCAB-wirksame Rationen ausgelöste Azidosen und Alkalosen (BENDER et al., 2001; MAHLKOW-NERGE, 2001/2002; MAHLKOW-NERGE 2001/2002; STAUFENBIEL, 2002; GOEBBELS, 2005; GASTEINER, 2010).

Der **Kaliumgehalt im Harn** kann zur Alkalosedagnostik herangezogen werden (FÜRL, 2014). Ein Mangel an Kalium kann zu starken Protonenausscheidungen führen und damit eine metabolische Alkalose fördern. Dieses Phänomen entsteht z.B. bei Labmagenverlagerungen oder nach Verabreichung von Diuretika (LEBEDA, 1988). Der **Harncalciumwert** steigt bei azidotischer Stoffwechsellage an und kann damit den Wirkungsgrad einer anionischen Fütterung wiedergeben (GOEBBELS, 2005). Optimale Harncalciumwerte für Vorbereiter liegen zwischen 7 und 15 mmol/l (SCHMUTZER, 2010), während die physiologischen Werte ohne anionische Fütterung bis 2,5 mmol/l liegen dürfen (FÜRL, 2014).

2.3.6 Grenzen des DCAB-Konzepts

MONGIN (1981) und BLOCK (1988) stellten fest, dass es auch Grenzen für das DCAB-Konzept gibt. So können zur Einstellung der DCAB die Mengenelemente nicht ober- oder unterhalb der Bedarfswerte gefüttert werden, da sich sonst **Mangel- oder Überschuss-**

Vergiftungssituationen einstellen. Bei der Gebärpareseprophylaxe von Milchkühen sollte bei der Reduzierung von Kationen z.B. mittels einer kaliumarmen Fütterung darauf geachtet werden, dass die empfohlenen Werte nicht unterschritten werden (HORST et al., 1997). Der beste Weg sei es, sich nach den Bedarfswerten zu richten und kein Überangebot zu erzeugen. Die einsetzbare Menge von DCAB-Regulatoren ist begrenzt. Z. B. können bei einer Fütterung von Luzerne nicht genug anionische Salze gefüttert werden, um die besonders hohen K-Gehalte auszugleichen. Zu hohe Mengen an anionischem Mineral haben schlechte Geschmackseigenschaften, welche die Futteraufnahme senken (HORST et al., 1997). Eine Möglichkeit wäre der Einsatz eines gekapselten Minerals (MAHLKOW-NERGE 2001/2002). WEST et al. (1991) zeigten, dass als Puffer eingesetztes Natriumhydrogenkarbonat die durch Calciumchlorid ausgelöste Futteraufnahmedepression reduzieren kann.

Desweiteren sollte beim Einsatz von Schwefelverbindungen auf deren **Toxizität** geachtet werden. Rationswerte von 0,2 bis 0,4 % Schwefel liegen im tolerierten Bereich (NRC, 2001).

Andere begrenzende Faktoren sind die negativen **Auswirkungen der (chronischen) Azidose** auf den Organismus. Durch die erhöhte Calcium-Ausscheidung kann es zur Entmineralisierung der Knochen kommen (RIOND, 2001). Eine weitere Folge einer einseitig verfütterten azidogenen Ration an Milch- oder Mutterkühe kann die „Silageazidose“ der Kälber sein. Durch die fortwährende metabolische Azidose des Muttertiers sinken die Geburtsgewichte, und die Neonaten erkranken häufiger an Durchfall und Pneumonien, da sie selbst mit einer metabolischen Azidose geboren werden (ROSENBERGER und FRERKING, 1995). Die niedrigeren Geburtsgewichte und leichte azidotische Auslenkung konnten die Studien von COLLAZOS et al. (2017) bestätigen, v. a. wenn die Fütterungsdauer von anionischen Salzen von 21 auf 42 Tage erhöht wird. Die metabolische Azidose der Kälber war nach 3 Tagen vollständig kompensiert und die Gewichtsunterschiede nach 3-6 Monaten nicht mehr erkennbar. DIEHL et al. (2018b) konnte hingegen keine signifikanten Unterschiede zwischen solchen Kälbergruppen feststellen (Fütterung der Kühe a. p. mit -30 oder -210 mEq/kg TM). Die Geburtsgewichte, der SBH im Blut und die IgG-Konzentration im Blut waren gleich. So hat eher die Fütterungsdauer einen Einfluss auf die Kälber als Menge der gefütterten anionischen Salze.

Bei der Bestimmung der NSBA sollte der **Rohfasergehalt der Ration** mit überprüft werden, denn er kann auch einen starken Effekt auf die NSBA entfalten und so DCAB-Einflüsse überdecken (SCHOLZ und ENGELHARD, 2011).

2.4 Spezielle Betrachtung zu Natrium und Kalium in der DCAB

2.4.1 Funktionen von Natrium und Kalium

Natrium und Kalium sind zwei der wichtigsten Mengenelemente in den Körperflüssigkeiten von Säugetieren. Ihre Verteilungsmengen in den unterschiedlichen Kompartimenten sind in Tabelle 23 zusammengefasst. Durch das spezifische Mengenverhältnis zwischen dem intra- und extrazellulären Raum steuern diese beiden Elemente u. a. den Wasserhaushalt, den osmotischen Druck der Zellen und die Impulsweiterleitung der Nervenzellen (SIMON, 2008). Die Na-/K-ATPase hält diesen Gradienten unter Energieverbrauch aufrecht. Dieses Enzym kann durch eine Azidose in seiner Aktivität gehemmt werden. Dabei erhöht sich der Kaliumgehalt im extrazellulären Raum und es entsteht eine hyperkalämische Azidose. Im Gegensatz dazu kann bei einer Alkalose der Kaliumgehalt im Blut sinken (HOFFMANN, 2014).

Tabelle 23: Vergleich Natrium- und Kaliumkonzentrationen in verschiedenen Kompartimenten

Ion	Speichel	Zellen (IZR)	Blut (EZR)
Natrium	150-165 mmol/l	ca. 10 mmol/l	134-145 mmol/l
Kalium	5 mmol/l	ca. 155 mmol/l	3,9-5,3 mmol/l
Quelle	LEONHARD-MAREK et al. (2010)	ENGELHARDT et al. (2010)	MORITZ et al. (2014b)

IZR...Intrazellulärraum; EZR...Extrazellulärraum

Natrium vermittelt Absorptionsprozesse verschiedener Ionen und Nährstoffe im Verdauungstrakt und in der renalen Clearance (ENGELHARDT et al., 2010). Auch der SBH wird durch Natrium als starkes nichtmetabolisierbares Kation (strong ion) beeinflusst (STEWART, 1978). Dies wird durch Kationenaustauschproteine im Magen-Darm-Trakt und der Nieren vermittelt. Hierbei werden überschüssige Protonen aus dem Blut geschleust und Kationen wie Natrium aufgenommen. Dadurch kann der Organismus vor einer metabolischen Azidose bewahrt werden (TUCKER et al., 1988). Auch die HCO_3^- -Ausscheidung über die Nieren wird durch die gleichzeitige Ausscheidung von Kationen vermittelt; dies gewährleistet einen elektroneutralen Transport (SANCHEZ et al., 1994b). Der Speichel der Wiederkäuer besteht aus einem großen Anteil an Natriumhydrogenkarbonat, welches neben Natriumphosphat eine wichtige Rolle in der Pansenpufferung spielt. Ohne diese Pufferung würden die Pansenmikroorganismen innerhalb kürzester Zeit eine saure Umgebung schaffen und in eine Pansenazidose führen (ENGELHARDT et al., 2010).

Kalium ist im Blut im Unterschied zu Natrium in geringeren Mengen vertreten. Durch den Austausch von Kalium gegen Protonen (K/H^+ -Austauscher) können im Falle einer Azidose Protonen aus dem Blut in die Zelle verbracht werden. So dient Kalium als SBH-Regulator (ENGELHARDT et al., 2010). Im Pansen kann Kalium durch die Depolarisation der apikalen Membran die transmurale Potentialdifferenz so verändern, dass dadurch die Intensität von Transportmechanismen negativ beeinflusst wird (LEONHARD-MAREK und MARTENS, 1996). Außerdem wird durch erhöhte Kaliumgehalte im Pansen die Natriumresorption gesteigert (STACY und WARNER, 1966; LANG und MARTENS, 1999). Die endgültige Kalium-Aufnahme hängt von der im Futter enthaltenen Menge und der gesamten Trockenmasseaufnahme ab (PAQUAY et al., 1969; GREENE et al., 1983a; GREENE et al., 1983b).

2.4.2 Bedarf, Mangel und Toxizität von Natrium und Kalium

Im Allgemeinen werden **Natriumgehalte** von 0,1 bis 0,2 % in der Trockenmasse empfohlen (SIMON, 2008). Speziell für Milchkühe werden laut NRC (2001) ein täglicher Trockensubstanzgehalt von Natrium von 0,19 % bis 0,23 % in der Ration angegeben. Minimalwerte von 0,16 % und Maximalwerte von 1,60 % (4 % NaCl) sollten nicht unter- bzw. überschritten werden, da sich sonst Mangel- bzw. Toxizitätssituationen einstellen (Tabelle 24). Da Natrium in den meisten Grundfuttermitteln nicht bedarfsgerecht vorkommt (PALLAUF, 1985), muss dieses Element über Viehsalz oder Natriumpuffer supplementiert werden. Jedoch sollten Werte von über 1 % NaCl nicht überschritten werden, da sonst bei ungenügender Wasseraufnahme Wassereinlagerungen im Körper v. a. im Euter drohen (RANDALL et al., 1974). Optimale Fütterungsmengen nach NRC (2001) sollten eingehalten werden, um Probleme mit dem Wasserhaushalt zu verhindern. Natrium-Mangel kann hingegen zu Problemen in der Fruchtbarkeit führen mit beispielsweise unregelmäßigen Zyklen, Langbrünstigkeit, Ovarialzysten und Güllekatarrh (LOTTHAMMER, 1996). Eine Hypernatriämie kann neben Futtertechnischen Gründen (Überangebot an NaCl in der TMR, Salzwasser) auch durch Wasserverlust bei Hitze (Hecheln, Schwitzen), Diarrhoe oder iatrogen durch hypertone NaCl-Infusionen entstehen (IBRAHIEM EL-ZAHAR, 2015). Symptome sind laut IBRAHIEM EL-ZAHAR (2015) u. a. Schwäche, Ataxie, Tremor, Krämpfe, Depression und Diarrhoe.

Für eine gute Versorgung mit **Kalium** gibt HOFFMANN (2014) 6-12 g Kalium/kg TM an. 15 bis 20 g führen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen, und Gehalte unter 2 bis 5 g führen zu Mangelerscheinungen (Tabelle 24). Leichte Mangelerscheinungen mit Futteraufnahme- und

Milchrückgang treten ab Werten unter 7,0 g/kg TM auf. So kann es hierdurch im geburtsnahen Zeitraum durch verminderte Motilität des Verdauungstrakts zum gehäuften Aufkommen von Labmagenverlagerungen kommen. Starke Mangelerscheinungen mit Pica, struppigem Fell und Gewichtsverlust entstanden bei Kaliumgehalten von 0,5 bis 1,5 g/kg TM (PRADHAN und HEMKEN, 1968). Überschüssiges Kalium wird über den Harn ausgeschieden (gesteuert durch die Nebenniere und die Hypophyse). Tabelle 24 fasst verschiedene Literaturangaben zur Natrium- und Kaliumversorgung zusammen. Die NRC (2001) geben Empfehlungen für laktierende Milchkühe von 10,0 bis 10,7 g/kg TM – bei Frühlaktierenden bis 12,4 g/kg TM an. Um überhöhte Kaliumwerte in den Futterpflanzen zu vermeiden, sollte keine überhöhte Gülledüngung durchgeführt werden, da diese besonders kaliumreich und natriumarm ist (LOTTHAMMER, 1996).

Tabelle 24: Zusammenfassung Bedarf, Mangel und Toxizitätswerte Natrium und Kalium

Autor	Mengenelement	Bedarfsempfehlung (g/kg TM)	Mangel (g/kg TM)	Toxizität (g/kg TM)
SIMON (2008)	Natrium	1,0 – 2,0	-	-
NRC (2001)	Natrium	1,9 – 2,3	<1,6	>16,0 (4 % NaCl)
HOFFMANN (2014)	Kalium	6,0 – 12,0	2,0 – 5,0	15,0 – 20,0
NRC (2001)	Kalium	10,0 – 12,4	<7,0 (0,5 – 1,5)	>30,0

2.4.3 Auswirkungen von verschiedenen Mengenverhältnissen und Interaktionen zwischen Natrium und Kalium auf die Milchkuh

Diverse Autoren beschreiben Erfahrungen mit Fruchtbarkeitsstörungen bei niedrigen Natrium- und zu hohen Kalium-Gehalten (Tabelle 25). Hierbei werden Kalium-zu-Natrium-Verhältnisse von über 10-20:1 angegeben. HOFFMANN (2014) gibt als Optimalverhältnis 4 bis 8:1 (K:Na) an. Diese Werte gelten für Vorbereiter wie für laktierende Milchkühe.

Tabelle 25: Fruchtbarkeitsstörungen bei gestörtem K:Na-Verhältnis bzw. Na-Mangel

Autor	Zu hohes K:Na Verhältnis
PALLAUF (1985)	Nichteitrige Genitalentzündungen, gestörte Brunst
LOTTHAMMER (1996)	>10:1 Fruchtbarkeitsstörungen
ULBRICH et al. (2004)	Appetitmangel, Ovarialzysten, unregelmäßige Brunst
JEROCH et al. (2008)	Vaginitiden bei Jungrindern und Kühen

Bei **Geflügel** zeigten sich Na/K-Verhältnisse von 0,3-0,5 als optimal fürs Wachstum (NURSOY et al., 2011).

Um den reinen Kationeneffekt von Natrium und Kalium auf die Leistung von Milchkühen zu untersuchen, muss die DCAB der Versuchsrationen gleich sein (HU und KUNG, 2009). Dies wurde von SANCHEZ et al. (1994a) nicht berücksichtigt, jedoch stellten sie bei umfangreichen Fütterungsexperimenten fest, dass es eine starke Interaktion zwischen Natrium und Kalium gibt. So zeigte sich, dass die Futteraufnahme und Milchleistung dann positiv beeinflusst wurden, wenn eines der beiden Kationen in der Ration in hohen Mengen vertreten ist. Als Beispiel für einen solchen „Spareffekt“ stellten sie folgende Konstellationen fest: Für eine optimale Futteraufnahme müssten 0,6 % Kalium und 1,0 % Natrium bzw. 1,8 % Kalium und 0,2 % Natrium gefüttert werden. Das sind K:Na-Verhältnisse von 0,6:1 bzw. 9:1. WILDMAN et al. (2007b) konnten dies in ihren Versuchen nur für die Milchleistung, nicht aber für die Futteraufnahme bestätigen. HU und KUNG (2009) fanden diesen Effekt dagegen nur bei der Futteraufnahme und nicht für die Milchleistung. So konnten ein weites sowie ein sehr enges K:Na-Verhältnis von 9:1 und 2:1 positive Ergebnisse hervorbringen. Für ein Verhältnis von 4:1 konnte dies nicht gezeigt werden (Tabelle 26). MASTERS et al. (2005) konnten bei guter Wasserversorgung beim Verfüttern von salzliebenden Pflanzen an Schafe, eine optimale Futteraufnahmemenge bei einem Verhältnis Na:K von 4:1 (74 g Na/d und 31 g K/d) zeigen. Außerdem fanden MASTERS et al. (2005) heraus, dass die Futteraufnahme v. a. dann steigt, wenn entweder Natrium hoch und Kalium niedrig in der Ration vertreten ist bzw. umgekehrt. Dadurch ließen sich auch die Körpermassezunahme und die Verdaulichkeit erhöhen. MARTENS und RAYSSIGUIER (1979) konnten unter Laborbedingungen am gewaschenen Pansen bei einem Na:K-Verhältnis von 5:1 die Magnesiumabsorption auf ein Maximum steigern. Weitere Steigerungen des Verhältnisses brachten jedoch keinen Erfolg. Jedoch führen erhöhte Natriumaufnahmen zu vermehrter Harnbildung und -ausscheidung und damit zum Verlust von Magnesium über den Harn, was den positiven Effekt wieder aufhebt. SANCHEZ et al. (1994a) vermuten den Grund hinter dieser Gegensätzlichkeit von Natrium und Kalium in speziellen Pansenabsorptions-/-transportmechanismen, wie sie z. B. von TUCKER et al. (1988) und MARTENS (1987) beschrieben wurden.

TUCKER und HOGUE (1990), WEST et al. (1992) und IWANIUK et al. (2015) stehen diesen Erkenntnissen gegenüber. Sie konnten in ihren Studien keinerlei Anzeichen für eine Beeinflussung durch unterschiedliche Kationengehalte bei gleicher DCAB finden. Bei TUCKER und HOGUE (1990) spielten wohl auch Mechanismen der Schmackhaftigkeit der

gefütterten Minerale (NaCl, KCl) eine Rolle. IWANIUK et al. (2015) konnten keine gravierenden Unterschiede im einseitigen Einsatz von Natrium oder Kalium finden. MOONEY und ALLEN (2007) zeigten in ihrer Studie ebenfalls, dass bei gleicher DCAB kein Unterschied in der Leistung und der Futteraufnahme besteht, wenn entweder Kalium oder Natrium als Mineral gefüttert wurde. Kalium ist als Mineral teurer als Natrium. Außerdem scheint der Natriumgehalt im Futter einen positiven Effekt auf den Milchfettgehalt zu haben (IWANIUK et al., 2015). Tabelle 26 fasst einige Details der besprochenen Studien zusammen.

Tabelle 26: Zusammenstellung einiger Studien zu den Auswirkungen verschiedener Mengenverhältnisse auf Futteraufnahme und Milchleistung

Autor	K:Na	K g/kg TM	Na g/kg TM	DCAB mEq/kg TM	TMA kg/d	MY kg/d	MF %	MP %
TUCKER und HOGUE (1990)	2:1	12,9	6,7	+325	16,5 ^γ	k.E.	3,68	k.E.
	7:1	13,2	2,0	+326	18,5 ^γ		3,55	
	10:1	21,7	2,2	+349	17,4 ^γ		3,46	
WEST et al. (1992)	3:1	8,2	3,1	+220	k.E.	k.E.	3,97	3,40
	3:1	9,0	3,3	+231			3,75 ^γ	3,15 ^γ
	2:1	9,4	5,3	+348	k.E.	k.E.	4,02	3,42
	4:1	13,4	3,1	+353			3,58 ^γ	3,06 ^γ
	1:1	8,9	8,7	+464	k.E.	k.E.	3,92	3,10
	5:1	16,9	3,4	+456			3,68 ^γ	3,19 ^γ
WILDMAN et al. (2007b)	2:1	10,3	5,0	+187	k.E.	27,5 ^γ	k.E.	3,03 ^γ
	3:1	14,2	4,6	+269		26,1 ^γ		3,16 ^γ
	4:1	14,5	3,5	+227		28,8 ^γ		3,01 ^γ
	2:1	13,8	7,4	+388	k.E.	27,9 ^γ	k.E.	3,02
	3:1	17,6	5,7	+406		26,4 ^γ		3,08
	4:1	19,5	4,5	+397		27,4 ^γ		2,95
HU und KUNG (2009)	9:1	22,2	2,4	+368	28,3 ^γ	k.E.	k.E.	k.E.
	4:1	17,3	4,2	+320	27,5 ^γ			
	2:1	12,7	7,0	+334	28,4 ^γ			
IWANIUK et al. (2015)	7:1	17,9	2,6	+360	k.E.	k.E.	3,06 ^γ	k.E.
	4:1	15,7	3,9	+360			3,20 ^γ	
	2,4:1	13,9	5,7	+392			3,20 ^γ	
	1,7:1	11,9	7,1	+402			3,36 ^γ	

T: Tendenz; ↑: steigt an; ↓: sinkt ab; k.E.: kein Effekt; -: nicht untersucht; γ: signifikant

SANCHEZ et al. (1994a) machten mit ihrer umfangreichen Studie aber auch klar, dass es nicht nur eine einseitige Betrachtung der Elemente geben dürfe. Es gibt mehr als nur eine optimale Konzentration der verschiedenen Elemente in ihrer Zusammenstellung im Futter, um die Leistung der Milchkühe zu steigern.

2.4.4 Interaktionen zu anderen Mineralien

Kalium/Natrium zu Magnesium

Die Magnesiumabsorption im Pansen ist abhängig von der gefütterten Natrium- und Kaliummenge sowie von der Speichelkonzentration dieser Kationen. So können Natriummangel und/oder Kaliumüberschuss zu einer gehemmten Magnesiumsorption führen (TAURIAINEN et al., 2001; BHANUGOPAN et al., 2015). Insbesondere der Kaliumüberschuss führt zu einer verminderte Magnesiumsorption (GREENE et al., 1983b; GREENE et al., 1983a; RAM et al., 1998; JITTAKHOT et al., 2004; FAROOQ et al., 2014). In einigen Fällen können Mangelzustände mit Tetanien als Folge entstehen (SCHONEWILLE et al., 1999). Die Konzentration von Natrium und Kalium im Speichel ist sehr variabel. So kann Kalium das Ion Natrium in Natrium-Mangelzuständen zu großen Teilen ersetzen (MARTENS und RAYSSIGUIER, 1979). Dies würde sich aber wiederum negativ auf die Magnesiumsorption auswirken. Bei steigendem Kaliumgehalt im Futter zeigte sich bei Untersuchungen von ROCHE et al. (2002) und HU und KUNG (2009) eine sinkende Magnesiumausscheidung im Harn trotz gleicher Magnesiumwerte im Futter. Eine Maßnahme gegen diesen Antagonismus wäre neben der Verwendung von kaliumärmeren Futterpflanzen (s. Kap.2.3.2) die Düngung mit Natrium (CHIY und PHILLIPS, 2000). Dadurch wird der Magnesiumgehalt der Pflanze gesteigert und die Absorptionsprozesse für Magnesium im Pansen gefördert. ELFRICH (2017) empfiehlt ein K:Mg Verhältnis von 15:1, um Hypomagnesiämien zu vermeiden.

Kalium/Natrium zu Calcium

Bei einem K:Na-Verhältnis von 9:1 zeigte sich im Vergleich zu einem Verhältnis von 2:1 eine sinkende Calciumausscheidung über den Harn (HU und KUNG, 2009). Dieser hypocalciurische Effekt scheint durch die hohen Kaliummengen ausgelöst zu sein, wie schon O'CONNOR et al. (1988) feststellten. Die Calciumabsorption aus dem Pansen und Labmagen wird durch erhöhte Kaliummengen im Futter gesenkt (BHANUGOPAN et al., 2015).

3. Material und Methoden

3.1 Betrieb, Fütterung und Tiere

Die Untersuchungen wurden in der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau in Iden (Sachsen-Anhalt) durchgeführt. Für die Untersuchungen wurden Holstein Friesian-Kühe mit 100 bis 200 Tagen in Milch aufgestallt. Der planbefestigte Laufstall war mit Liegeboxen (Gummimatten) ausgestattet, welche mit Stroh-Feinmehl überstreut wurden. Die Tiere wurden mit einer Totalmischration zweimal täglich um 7:30 Uhr und um 14:30 Uhr nach dem jeweiligen Melken gefüttert. Die Futteraufnahme konnte mit 36 automatischen Futterwiegetrögen gemessen werden (hergestellt von Landtechnik Weihenstephan in Zusammenarbeit mit Fa. Alfa Laval). Durch die Aufzeichnung der Einzeltierfutteraufnahme konnten Kontroll- und Untersuchungsgruppe in ein und demselben Stallabteil gehalten werden, was unterschiedliche ortsspezifische Bedingungen ausschließt.

3.2 Konzept der Untersuchung

Die Probanden wurden in zwei Gruppen – Kontroll- und Untersuchungsgruppe – mit jeweils ca. 39 Tieren aufgeteilt. Die Einteilung der Gruppen wurde so vorgenommen, dass die Tiere gleichmäßig in Bezug auf Kalbedatum und Laktationsnummer verteilt wurden. Die Grundration wurde ausgeglichen für die entsprechende Milchleistung berechnet und gemischt. Als Grundfuttermittel kamen Gras-, Mais- und auch Anteile an Luzernesilage zum Einsatz. Zu Beginn der Untersuchung wurde allen 78 Tieren bis zu zwei Wochen lang die Grundration gefüttert. Dies diente neben der Futteradaptation auch der Eingewöhnung der Kühe an die Nutzung der Futtertröge. Anschließend wurde der Untersuchungsgruppe ein anionisches bzw. kationisches Salz unter die Ration gemischt (Grundration + Salz).

Die Untersuchungen dauerten zwischen acht und 14 Wochen. Die DCAB wurde durch die Menge an zugemischtem Mineralsalz variiert. Die Angaben der gefütterten Salzmengen wurden wie folgt ermittelt:

$$\frac{\text{geladenes Salz im Futtermischwagen (kg)}}{\text{Anzahl der gefütterten Tiere}}$$

Einen Überblick zu den drei Untersuchungsdurchgängen verwendeten Salzen gibt Tabelle 27.

Tabelle 27: Verwendete mineralstoffreiche Ergänzungsfuttermittel

	Untersuchung/ Gruppe	1	2	3.1	3.2	3.3
Name		SoyChlor®	BICAR® Z	CS-Dihydrat QS	CS-Dihydrat QS	CS-Dihydrat QS+ BICAR® Z
Mineral		HCl, CaCO ₃ , MgO	NaHCO ₃	CaSO ₄	CaSO ₄	CaSO ₄ + NaHCO ₃
Hersteller		Dairy Nutrition Plus	Solvay	Casea	Casea	Casea Solvay
Menge (kg/Tier)	Kontrolle	0 (161 g Cl/Tier) ⁷	0 (73 g Na/Tier)	0 (73 g S/Tier)	0,18 (111 g S/Tier)	0,22 (CaSO ₄) (107 g S/Tier) 0,22 (NaHCO ₃) (75 g Na/Tier)
	Untersuchung	1,6 (251 g Cl/Tier)	0,45 (140 g Na/Tier)	0,19 (101 g S/Tier)	0 (78 g S/Tier)	0 (CaSO ₄) (68 g S/Tier) 0,09 (NaHCO ₃) (65 g Na/Tier)
Dauer		11 Wochen	8 Wochen	9 Wochen	5 Wochen	4 Wochen

G...Gruppe; K...Kontrollgruppe; U...Untersuchungsgruppe; Cl...Chlorid; Na...Natrium; S...Sulfat.

⁷ Es wurde eine Trockenmasseaufnahme von durchschnittlich 26 kg pro Tier gemessen. Die Werte entsprechen der jeweiligen Gesamtmenge des Ions in der Futterration.

Die Rationsanalysen zeigen keine durchweg gleichbleibende Zusammensetzung des vorgelegten Futters. Aus diesem Grund variieren z.B. die Werte zwischen den getauschten Gruppen der Abschnitte 3.1 und 3.2. in den nicht supplementierten Gruppen mit 73 und 78 g S/Tier um 5g (Tabelle 27).

Im dritten Durchgang wurde der Untersuchungsgruppe zusätzlich Natriumchlorid gefüttert, um den Natriumgehalt beider Rationen anzugleichen. Dadurch wurde jedoch auch der Chloridgehalt erhöht und eine Ungleichheit zwischen den Rationen erzeugt. Dies ist bei der Auswertung zu berücksichtigen (Kapitel 5.4).

Während der Untersuchungszeit wurde das in Tabelle 28 dargestellte Proben- und Datensatzerfassungsschema verwendet.

Tabelle 28: Proben- und Datensatzerfassungsschema

Probe, Datensatz	Entnahmehäufigkeit
Rationsanalysen	4-5x pro Untersuchung
Blut	2x pro Untersuchung
Harn	Alle 1-2 Wochen
Pansensaft und -parameter	3x pro Untersuchung
Trocken-/Feuchtmassenaufnahme/Kuh	wöchentlich
Kotbonitur	3x pro Untersuchung
Kuhsignale	wöchentlich
Milch, Inhaltsstoffe	wöchentlich
Körpergewicht	2x pro Untersuchung
Body Condition Score (BCS)	2x pro Untersuchung
Rückenfettdicke	2x pro Untersuchung

Eine detaillierte Auflistung aller untersuchten Parameter liefert Tabelle 29. Sie gibt ebenfalls über die Veröffentlichungsquelle Auskunft.

Tabelle 29: Ausgewertete Datensätze sowie deren Veröffentlichungsquelle

Parameter		Dissertation
Blut	pH pCO ₂ HCO ₃ BE Kalium Natrium	PRÄDEL (2021)
	Aspartat-Aminotransferase (AST) Gamma-Glutamyl-Transferase (GGT) Glutamatdehydrogenase (GLDH) Phosphat Calcium Chlorid Magnesium Gesamt-Bilirubin Totalprotein Blutharnstoff (BUN) Non estifies fatty acids (NEFA) Beta-Hydroxybutyrat (BHB) Creatininkinase Glucose	HANEBECK (2020)
Harn	pH NSBA Calcium Magnesium Kalium Natrium Phosphat Chlorid Creatinin	PRÄDEL (2021)
Pansensaft	pH Methylenblautest Sedimentaktivitätszeit (SAT) Sensorik (Farbe, Geruch, Viskosität) Infusorien (Anzahl, Beweglichkeit, Verhältnis)	
Milchparameter	Milchmenge Eiweiß korrigierte Milch Milchharnstoffgehalt	HANEBECK (2020)
Kusignale	Wiederkauen und Position Wiederkauschläge/Bissen Pansenmotilität Kotbonitur	
	Body Condition Score Lebendmasse Rückenfettdicke	PRÄDEL (2021)/ HANEBECK (2020)

Fortsetzung von Tabelle 29: Ausgewertete Datensätze sowie deren Veröffentlichungsquelle

Parameter		Dissertation
Futteraufnahme	DCAB	PRÄDEL (2021)/ HANEBECK (2020)
	Natrium Kalium	PRÄDEL (2021)
	Frischmasse Trockenmasse Chlorid Schwefel ADF ADL	HANEBECK (2020)

3.3 Datenerfassung

3.3.1 Futteraufnahme und -bestandteile

Die Futteraufnahme wurde täglich mit 36 automatischen Futterwiegetrögen aufgezeichnet (hergestellt von Landtechnik Weißenstephan in Zusammenarbeit mit Fa. Alfa Laval). Diese Wiegetröge waren mit einer Tiererkennung mittels Transponder-Ohrmarke ausgerüstet. So konnten die Daten den Gruppen zugeordnet werden. Wenn neue Futtermittel angeliefert oder neue Silos geöffnet wurden, wurden Proben entnommen und im LKV Brandenburg in Waldsiedersdorf untersucht. Auf dieser Basis wurden die Rationen zusammengestellt. Vier bis fünf Mal pro Untersuchungsdurchgang wurden TMR-Analysen durchgeführt. Fünfmal wöchentlich wurde der Ration ein Kilo entnommen und in einen Trockenschrank bei 50°C gelegt. Nach 24 Stunden Trocknung wurde erneut gewogen und so die Trockenmasse bestimmt.

3.3.2 Milchmenge und -inhaltsstoffe

Die tägliche Milchmenge wurde während des Melkvorgangs gemessen. Gemolken wurde um vier Uhr, 12 Uhr und 20 Uhr. Die Inhaltsstoffe (Fett, Protein, Laktose) wurden wöchentlich vom Landeskontrollverband Sachsen-Anhalt untersucht. Einmal im Monat wurde diese Untersuchung im Rahmen der offiziellen Milchleistungskontrolle durchgeführt.

3.3.3 Kuhsignale

Einmal wöchentlich wurden von 6 Uhr bis 7 Uhr die Kuhsignale der Gesamtgruppe differenziert in den Untergruppen bestimmt. Diese Erfassung umfasste den Anteil der liegenden Kühe sowie den Anteil der wiederkauenden Kühe.

Die Kuhsignale bzw. Untersuchungsparameter des Pansens wurden jeweils am Vormittag der Pansensaftentnahme erhoben. Zu diesen Parametern gehörte die Pansenmotilität, gemessen an den Kontraktionen pro Minute und deren Intensität (zwischen + und +++) sowie die Kauschläge pro rukturiertem Bissen.

3.3.4 Body Condition Score (BCS), Rückenfettdicke (RFD), Körpermasse (KM)

Der BCS wurde mittels des Schemas nach EDMONSON et al. (1989) durch den Herdenmanager in 0,25 Abstufungen ermittelt.

Die Tiere wurden mit einer Viehwaage zweimal pro Untersuchung (Beginn und Ende) nach dem Mittagmelken gewogen. Anschließend wurde mit einem Ultraschallgerät die Rückenfettdicke nach SCHRÖDER (2006) bestimmt.

3.3.5 Kotbonitur

Die Kotbonitur nach HULSEN (2015) wurde bei allen Kühen beim spontanen Kotabsatz bzw. mittels Kotentnahme direkt aus dem Rektum bestimmt. Die Bewertung reicht von flüssiger Kotkonsistenz (Score 1) bis fester Kotkonsistenz (Score 5) und wurde in 0,5 Abständen eingeschätzt.

3.4 Probenentnahme und laboranalytische Untersuchung

3.4.1 Blut

Entnommen wurde das Blut aus der Vena coccygea mittels 18 G x 1,5' Kanülen. Blutgas-Monovetten mit 2 ml Fassungsvermögen von SARSTEDT dienten als Auffanggefäße mit Antikoagulanzen Heparin. Diese wurden nach der Entnahme sofort entgast und verschlossen. Mit den 9 ml Serum-Monovetten ohne Antikoagulanzen ebenfalls von SARSTEDT wurde Vollblut für die Serumgewinnung entnommen. Die Blutgasröhrchen wurden unverzüglich nach der Blutprobenentnahme gekühlt und zur Untersuchung auf den pH, pCO₂, HCO₃ und BE in das Labor der Kleintierklinik der Freien Universität Berlin verbracht. Das Vollblut wurde in einer Zentrifuge (ROTOFIX 32A HETTICH) bei 2000 g für 10 Minuten zentrifugiert und das Serum in 5 ml fassende Plastikröhrchen von SARSTEDT überführt und bis zur Untersuchung auf die Ionenkonzentrationen von Natrium und Kalium im Labor der Kleintierklinik bei -20°C eingefroren. Diese Parameter wurden mit dem Cobas mira Plus bestimmt.

3.4.2 Harn

Die Harnproben wurden von 6 bis 7 Uhr vor der Fütterung mittels manueller Stimulation der Kühe gewonnen. Es wurden 30 bis 40 ml des Mittelstrahlurins in 50 ml Plastikbehältern aufgefangen. Anschließend wurde der pH-Wert mit einem elektrischen pH-Meter (WTW MultiCal ® pH 526) und die NSBA mit der Titrationsmethode nach JØRGENSEN (1957) und modifiziert nach KUTAS (1965) im Idener Labor bestimmt.

Bestimmung der NSBA nach KUTAS (1965):

- Schritt 1: Abfüllen von 10 ml Harn in einen 100 ml Erlmeier Kolben
- Schritt 2: Titration mit Salzsäure (HCl - 1N) auf pH 3,6
- Schritt 3: Gemisch auf Heizplatte aufkochen lassen
- Schritt 4: Gegentitration mit Natronlauge (NaOH - 0,1N) auf pH 7,4
- Schritt 5: Zugabe von 10 ml 20 %igem Formaldehyd
- Schritt 6: Gegentitration mit Natronlauge (NaOH - 0,1N) auf pH 7,4
- Schritt 7: Berechnung der fraktionierten NSBA mittels Formel⁸ (BENDER, 2002)

Zeitgleich wurden zwei bis drei Milliliter Harn für die Mineralbestimmung in 5 ml fassende Plastikröhrchen abgefüllt und bei minus 20 Grad Celsius bis zur Untersuchung tiefgefroren. Im Labor der Klautierklinik der Freien Universität Berlin folgte die Untersuchung auf Kreatinin und die Minerale Calcium, Phosphor, Natrium, Kalium, Magnesium und Chlor (Tabelle 30).

Tabelle 30: Genutzte Laborgeräte für Mineralbestimmung im Harn

Parameter	Analysegerät	Analysemethode
Na, K, Mg, Ca	Solar M Series AA 6	Atomabsorptions-spektrometrie
Kreatinin und Phosphor	Roche Cobas Mira Plus	Fotometrisch
Chlorid	Chloridmeter 50 von Kreienbaum	Coulometrisch

3.4.3 Pansensaft

Pansensaft wurde nach der Mittagsmelkzeit von 12 bis 14 Uhr von 12 Tieren je Gruppe entnommen. Hierfür wurde die Pansensonde „Ruminator nach Geishauer“ genutzt. Die ersten 200 ml Pansensaft wurden verworfen, um die Probe ohne Speichel zu gewinnen. Die folgenden 50 ml wurden in einem Plastikbehälter aufgefangen. Der gewonnene Pansensaft wurde direkt

⁸ NSBA (mmol/l) = $[(V_{HCl} \times 10) - (V_{NaOH1} + V_{NaOH2})] \times 10$

im Anschluss auf die sensorischen Parameter Farbe, Geruch, Konsistenz, Infusorienanzahl, -beweglichkeit und -verhältnis (kleine, mittlere, große Infusorien) untersucht (Scoringsystem siehe Anhang Kapitel 12.2). Als chemische Parameter wurden der pH-Wert mittels pH-Papierstreifen (PEHANON von Machery-Nagel GmbH & Co. KG) und elektrischem pH-Meter (WTW MultiCal® pH 526) erhoben sowie die Sedimentaktivitätszeit (SAT) bestimmt und die Methylenblauprobe durchgeführt.

3.5 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung sowie die grafischen Darstellungen wurden mithilfe des Programms IBM SPSS Statistics 26® erstellt. Nach Sichtung der Daten wurden diese in zwei Kategorien eingeordnet: die ordinalen und die metrischen Werte. Die ordinalen Datensätze (Pansensaftkondition) wurden mittels des Chi-Quadrat-Tests untersucht. Die metrischen Daten (Futter-, Blut- und Harnparameter) wurden zunächst auf Normalverteilung getestet (optische Beurteilung der grafischen Darstellung und mathematisch-statistische Beurteilung des Kolmogorov-Smirnov-Tests). Bei der weiteren Auswertung wurden die metrischen Daten in zwei Gruppen geteilt. Die Daten mit ausschließlich zwei Messzeitwerten wurden bei Normalverteilung mit dem t-Test untersucht und deren p-Werte bestimmt (Blut). Die Parameter mit mehr als zwei Messzeitpunkten (Harn und Pansensaft) wurden mit mixed models (MM) auf signifikante Unterschiede über die Zeit sowie auf Interaktionen (Zeit/Gruppe) getestet.

In Woche 0 erhielten beide Gruppen dieselbe Ration, welche entsprechend vor der Differenzierung der Gruppen beprobt wurde. Anschließend wurde der Untersuchungsration ein DCAB-Regulator beigemischt und circa eine Woche später wurde die erste Harnprobe genommen. Die zeitlichen Abschnitte definieren sich in den drei Durchgängen wie folgt. Die erste Untersuchung wurde über 11 Wochen und die zweite über 9 Wochen durchgeführt. Der dritte Durchgang teilt sich in drei Abschnitte, wovon der erste Abschnitt von Woche 0 bis 9, der zweite Abschnitt von Woche 9 bis 14 und der dritte von Woche 14 bis 18 auf Effekte über die Zeit untersucht wurden. Zum dritten Abschnitt muss noch ergänzt werden, dass die Beprobung, welche aufgrund der Supplementierung in Woche 14 vorgenommen wurde, eine Besonderheit aufweist. Die Futterprobenentnahme in dieser Woche fand vor dem Rationswechsel statt. Die entsprechende Harnprobe wurde aus technischen Gründen jedoch zwei Tage nach dem Rationswechsel entnommen. Dieser Umstand muss bei der Interpretation der Futter- (Abb. 39 bis 41) und Harngrafiken (Abb. 42 bis 46 sowie Abb. 52 bis 55) bedacht werden. Es kommt dadurch zu einer leichten Verschiebung im graphischen Verlauf (hierzu

mehr in Kapitel 5.1). Auf Signifikanz wurden diese Gruppen mittels des post-hoc-Tests untersucht. Der p-Wert wird als signifikant angesehen, wenn er unter 0,05 liegt. Von einer Tendenz wird bei Werten unter 0,10 gesprochen.

Im Folgenden werden allgemeine Erläuterungen zu den graphischen Darstellungen gegeben. Die Futter-, Harn- und Pansensaftparameter wurden in Liniendiagrammen über die Zeit dargestellt. Die Zeitachseneinteilung ist nicht immer proportional. Die Harnproben wurden nicht wöchentlich entnommen, daher ist die Zeitangabe hier z.B. in der ersten Untersuchung 0, 1, 2, 3, 5, 7, 10. Das führt zu einer Verzerrung des Graphen und muss bei der Betrachtung beachtet werden. Die Fehlerbalken geben Auskunft über den jeweiligen Standardfehler. Das Symbol „1“ über einem Messpunkt bedeutet, dass es einen signifikanten Effekt über die Zeit im Vergleich zum ersten Messpunkt gibt (errechnet mittels MM). Ein „*“ bedeutet, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen zu dem bestimmten Zeitpunkt gibt (post hoc-Test). Signifikanz entspricht hier einem p-Wert von $< 0,05$. Mit „°“ gekennzeichnete Werte in den Boxplotabbildungen sind Ausreißerwerte. Die Futterparameter wurden in den Graphen mit absoluten Werten dargestellt. Diese errechnen sich aus dem Produkt der individuell am Tag gefressenen Trockenmasse eines Probanden und dem im Labor analysierten Gehalt pro kg TM der TMR. Die aufgenommenen Nährstoffmengen wurden aus den täglich gemessenen Futteraufnahmen der Probanden und den Ergebnissen der TMR-Analysen kalkuliert. Dabei betrug die Futteraufnahme im Mittel 26 kg/Tier/Tag.

4. Ergebnisse

4.1 Untersuchung DCAB-Absenkung (Chlorid)

4.1.1 Ablauf der Untersuchung

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von Juli bis Oktober 2017 über 11 Wochen. Das Konzept der ersten Untersuchung war es, durch den Einsatz eines Minerals mit einem hohen Gehalt an Chlorid (SoyChlor®) eine Absenkung der DCAB im Futter zu bewirken. Nach der Anfütterungsphase in Woche 0 mit der Grundration für beide Gruppen erhielt die Kontrollgruppe diese weiterhin gefüttert, während der Untersuchungsgruppe ab Woche 1 pro Tier 1,6 kg SoyChlor® unter die Ration gemischt wurde. Um den Einfluss auf die Tiere zu messen, wurde täglich die Futteraufnahme gemessen und wöchentlich gemittelt. Die TMR wurde alle 2 bis 4 Wochen auf ihre Inhaltsstoffe und die DCAB untersucht (Woche 0, 2, 5, 6, 10). In dieser ersten Untersuchung musste aufgrund von Futterknappheit die Zusammensetzung der TMR 4 Wochen nach Beginn der Untersuchung durch einen Komponentenwechsel verändert werden. Im Unterschied zu der in den Wochen 0 bis 3 gefütterten TMR (39 % Anwelksilage, 12 % Luzerne, 16 % Mais) wurde ab Woche 4 grasbetont gefüttert (66 % Anwelksilage), was sich v. a. auf den Natriumgehalt auswirkte (Tabelle 31). Da sich so der Natriumgehalt verdoppelte, musste zusätzlich der Chloridgehalt über das Mineral angepasst werden, um den DCAB-Wert auf gleichem Niveau halten zu können.

Tabelle 31: Analysierte Ration (Juli bis Oktober 2017) – Fütterungsergänzung von SoyChlor®

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/kg TM)	180	200	73	222 (195-239)	55 (-18-131)

An zwei Zeitpunkten wurden den Tieren Blutproben (Woche 0 und Woche 9) und an sieben Tagen Harnproben (Woche 0, 1, 2, 3, 5, 7 und 10) entnommen. Die Pansensaftentnahme erfolgte an drei Zeitpunkten (Woche 0, 5, 10). Das Körpergewicht (KM), die Rückenfettdicke (RFD) und der Body Condition Score (BCS) wurden zu Beginn und Ende der Untersuchung erhoben (Woche 0 und 9). Eine zusammenfassende Darstellung der Probenentnahmen findet sich in Tabelle 32.

Tabelle 32: Probenentnahmeschema der ersten Untersuchung

Woche	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Futteranalyse	x		x			x	x				x
Futteraufnahme	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Blut	x									x	
Harn	x	x	x	x		x		x			x
Pansensaft	x					x					x
RFD, BW, BCS	x									x	

Die Altersverteilung der Tiere (in Laktationsnummern angegeben) wurde gleichmäßig ausgeführt (Abb. 1). Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($p=0,823$).

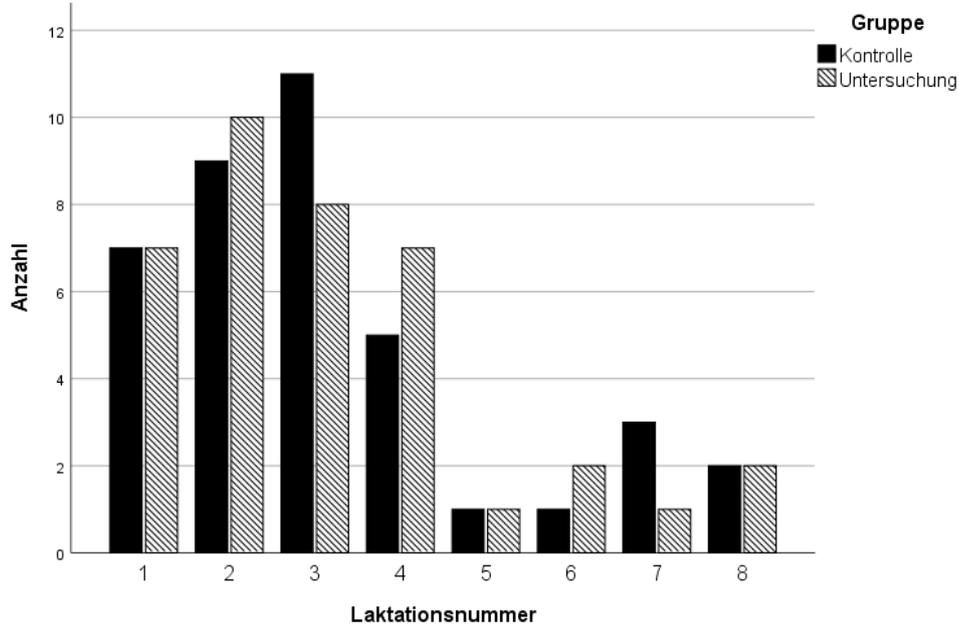


Abbildung 1: Verteilung der Laktationsnummern

4.1.2 Body Condition Score, Lebendmasse und Rückenfettdicke

Der jeweilige Gruppen- und Zeitvergleich von Body Condition Score, der Lebendmasse und der Rückenfettdicke in Form eines Box Plots sind in den Abbildungen 2 bis 4 dargestellt.

Der **Body Condition Score** (Abb. 2) in der ersten Untersuchung zeigt im Vergleich keinerlei signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Der Interquartilsbereich gleicht sich unter den Gruppen. Im Zeitvergleich zwischen Woche 0 und 9 zeigt sich ein signifikanter Unterschied ($p=0,004$). Der Median in Woche 0 von 2,25 steigt auf 2,50 in Woche 9.

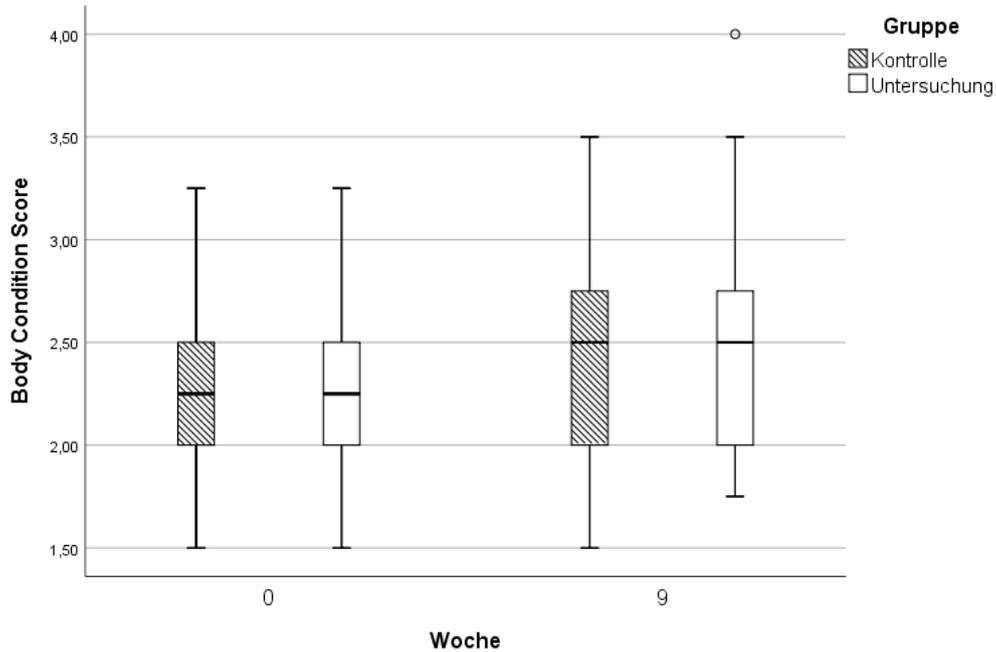


Abbildung 2: Body Condition Score
T-Test: Zeit $p=0,004$; Gruppe (Woche 0) $p=0,779$; (Woche 9) $p=0,512$

Die **Lebendmasse** (Abb. 3) zeigt ähnlich wie der Body Condition Score keinerlei signifikante Gruppenunterschiede in den Wochen 0 und 9. Jedoch zeichnet sich ein hoch signifikanter Unterschied in der zeitlichen Entwicklung ab ($p<0,001$). Dies äußert sich durch eine Steigerung des Medians in Woche 0 von 654 kg auf 702 kg in Woche 9.

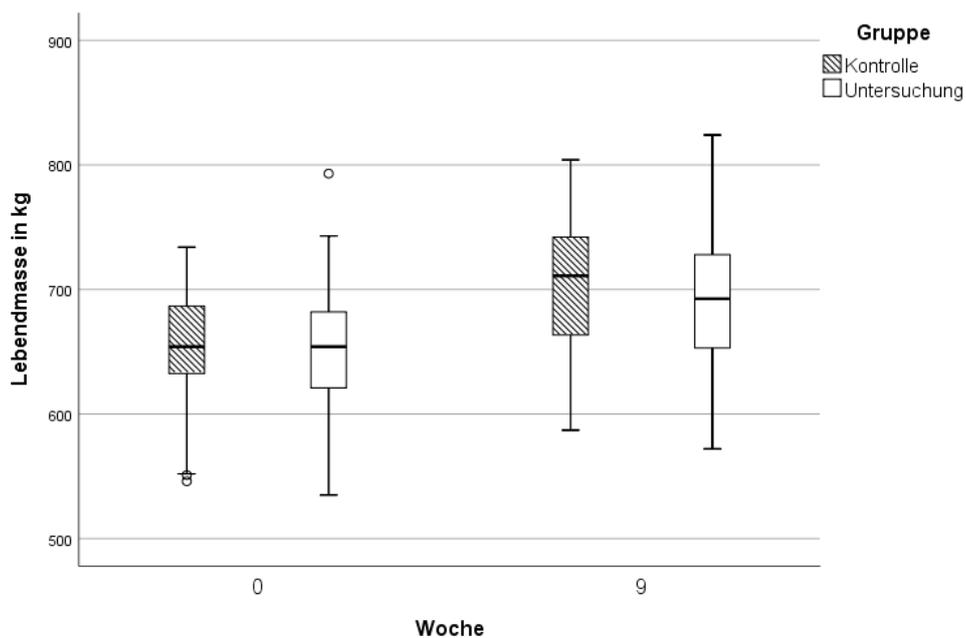


Abbildung 3: Lebendmasseentwicklung
T-Test: Zeit $p<0,001$; Gruppe (Woche 0) $p=0,886$; (Woche 9) $p=0,492$

Die **Rückenfettdicke** (Abb. 4) zeigt wie der Body Condition Score und die Lebendmasse keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Woche 0 und 9. Über die Zeit steigert sich der Median sehr signifikant ($p=0,01$) von 9 mm in Woche 0 auf 11 mm in Woche 9.

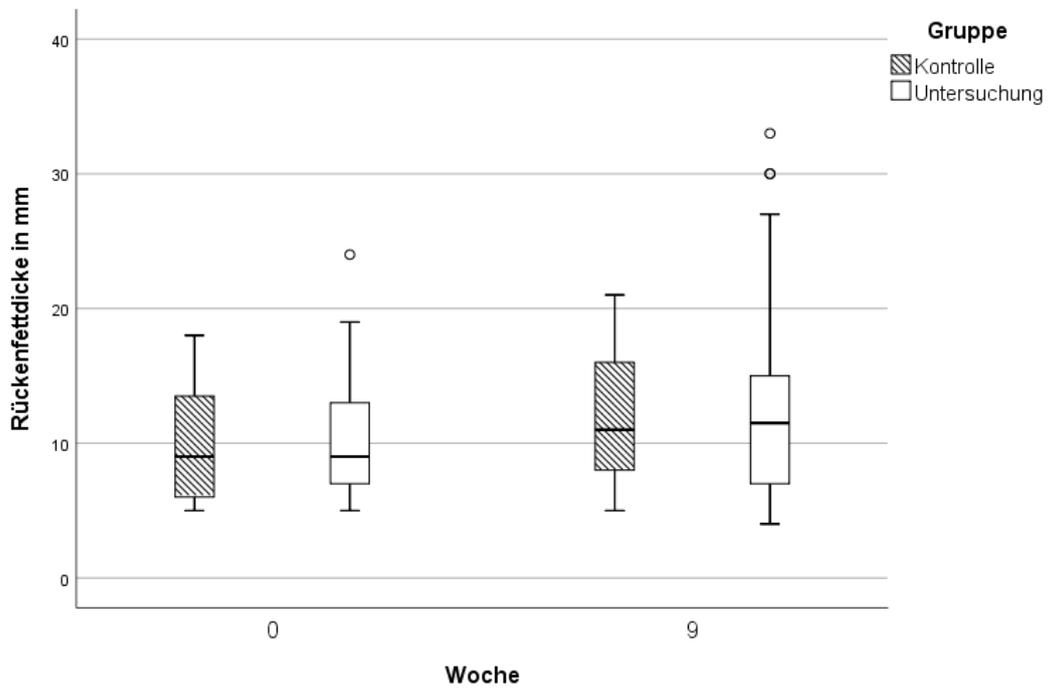


Abbildung 4: Rückenfett dicke

T-Test: Zeit $p=0,010$; Gruppe (Woche 0) $p=0,658$; (Woche 9) $p=0,289$

4.1.3 Futter

In Woche 0 (Abb. 5) erhielten alle Tiere dieselbe Ration mit gleicher **DCAB**, was in der Abbildung mit einem gleichen Startpunkt des Graphen ersichtlich ist (+4646 mEq/Tier/Tag). Dies entspricht bei einer durchschnittlichen Trockenmasseaufnahme (TMA) von 26 kg/Tier einem relativen Wert von ca. +179 mEq/kg TM. Ab Woche 2 zeigt sich eine hoch signifikante Differenzierung der Gruppen. Die Kontrollgruppe nahm über die Ration im Mittel eine DCAB von +4402 mEq/Tier/Tag auf (bei 26 kg TMA ca. +169 mEq/kg TM). Die Untersuchungsgruppe, welche mit dem Mineralzusatz gefüttert wurde, nahm über das Futter im Schnitt +264 mEq/Tier/Tag auf (bei 26 kg TMA ca. +10 mEq/kg TM).

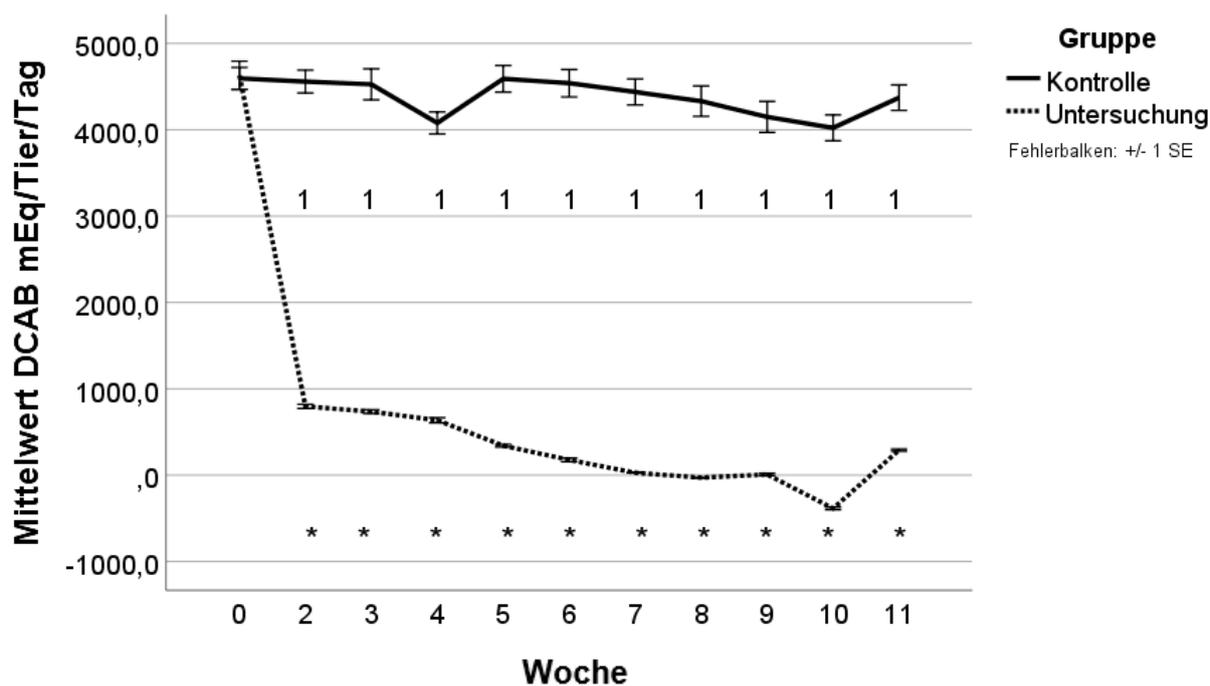


Abbildung 5: Tägliche DCAB-Aufnahme (wöchentliches Mittel)
 Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$

Die aufgenommene **Kaliummenge** zeigte in Woche 0 (Abb. 6) einen einheitlichen Startpunkt (Mittelwert: 378 g/Tier/Tag - bei 26 kg TMA entspricht das 14,5 g/kg TM). Der Anstieg der Werte ab Woche 4 ist dem in Kapitel 4.1.1 erwähnten Futterwechsel zuzuschreiben. Diese zeitliche Entwicklung ist hoch signifikant ($p < 0,001$). Das Maximum erreicht diese Entwicklung in Woche 6 in der Kontrollgruppe mit einem Wert von 425 g/Tier/Tag (bei 26 kg TMA entspricht das 16,4 g/kg TM). Über die gesamte Untersuchungszeit konnte mit mixed models jedoch ein hoch signifikanter Unterschied ($p < 0,007$) festgestellt werden. Dies ist grafisch zu erkennen, da die Untersuchungsgruppe ab Woche 4 niedrigere Werte zeigt als die Kontrollgruppe. Im post hoc-Test konnte jedoch nur in Woche 7 ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden.

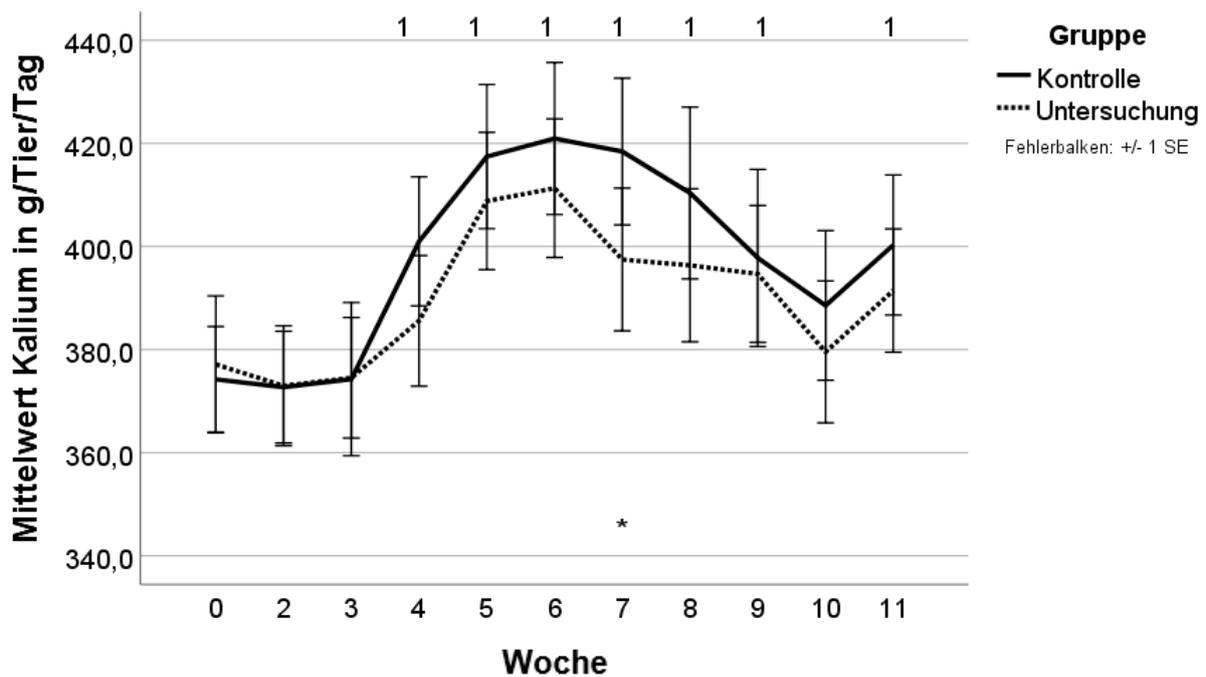


Abbildung 6: Tägliche Kaliumaufnahme

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,007$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p = 0,822$

Der Ausgangswert der aufgenommenen **Natriumm**enge (Abb. 7) liegt bei ca. 57 g/Tier/Tag (bei 26 kg TMA entspricht das 2,2 g/kg TM). Es zeigt sich ein der Kaliumaufnahme ähnlicher Zeitverlauf. Ab Woche 4 steigen die Werte futterbedingt an und erreichen ihren Höhepunkt in Woche 7 bei 85 g/Tier/Tag (bei 26 kg TMA entspricht das 3,3 g/kg TM). Dieser Verlauf der Werte zeigt über die Zeit eine hohe Signifikanz. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen treten ab Woche 4 auf.

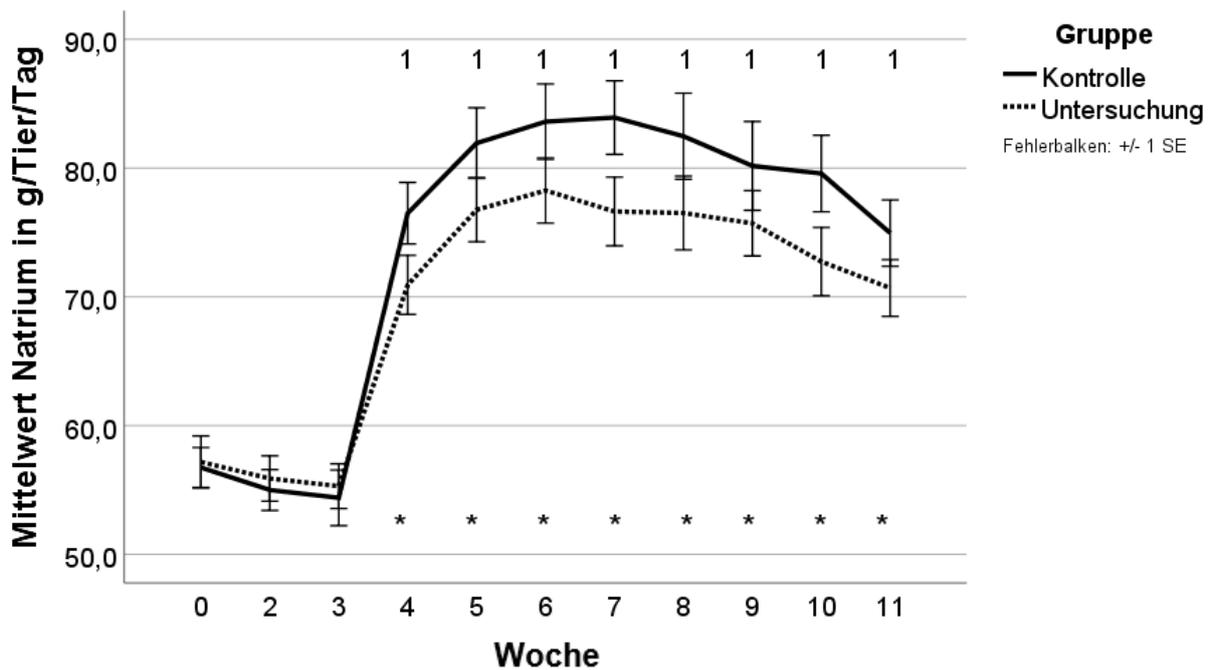


Abbildung 7: Tägliche Natriumaufnahme

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

4.1.4 Blut

Im Blut wurden die Parameter pH, pCO_2 , HCO_3 , BE, Natrium und Kalium zu zwei Zeitpunkten bestimmt und verglichen (Tabelle 33). In der Woche 0 gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen den Kaliumwerten in beiden Gruppen trotz der gleichen Fütterung. Kalium liegt in der Kontrollgruppe 0,1 mmol/l höher als in der Untersuchungsgruppe. In Woche 9 gibt es keine signifikanten Gruppenunterschiede.

Tabelle 33: Blutwerte in der ersten Untersuchung

Woche 0	Kontrolle			Untersuchung		
	n	MW	s	n	MW	s
pH	39	7,37	0,031	38	7,37a	0,031
pCO ₂ (mmHg)	39	50,3	5,068	38	50,3	4,355
HCO ₃ (mmol/l)	39	27,5	1,652	38	27,9	1,937
BE (mmol/l)	39	2,3	1,490	38	2,8a	1,711
Na (mmol/l)	39	139a	1,538	38	140a	2,037
K (mmol/l)	39	5,1*a	0,287	38	5,0*	0,312

Woche 9	Kontrolle			Untersuchung		
	n	MW	s	n	MW	s
pH	39	7,37	0,027	34	7,36b	0,025
pCO ₂ (mmHg)	39	50,2	5,003	34	50,4	3,162
HCO ₃ (mmol/l)	39	27,5	1,904	34	27,1	1,938
BE (mmol/l)	39	2,3	1,542	34	1,8b	1,789
Na (mmol/l)	39	141b	1,476	36	142b	1,444
K (mmol/l)	39	4,9b	0,379	36	5,0	0,333

*...signifikanter Gruppenunterschied ($p < 0,05$); a+b...signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,05$)

Über die Zeit zeigen die Kontroll- und Untersuchungsgruppen in Woche 0 und 9 v. a. zwischen den pH-, BE- und Natriumwerten signifikante Unterschiede. Der pH-Wert der Untersuchungsgruppe sinkt um 0,01 Einheiten von Woche 0 zu Woche 9. In der Untersuchungsgruppe sinkt der BE-Wert signifikant ($p=0,018$) um 1 mmol/l (Abb. 8) und der Natriumwert steigt um 2 mmol/l ($p < 0,001$). In der Kontrollgruppe steigt der Natriumwert ebenfalls um 2 mmol/l signifikant an. Der Kaliumwert sinkt signifikant um 0,2 mmol/l von Woche 0 zu Woche 9 in der Kontrollgruppe.

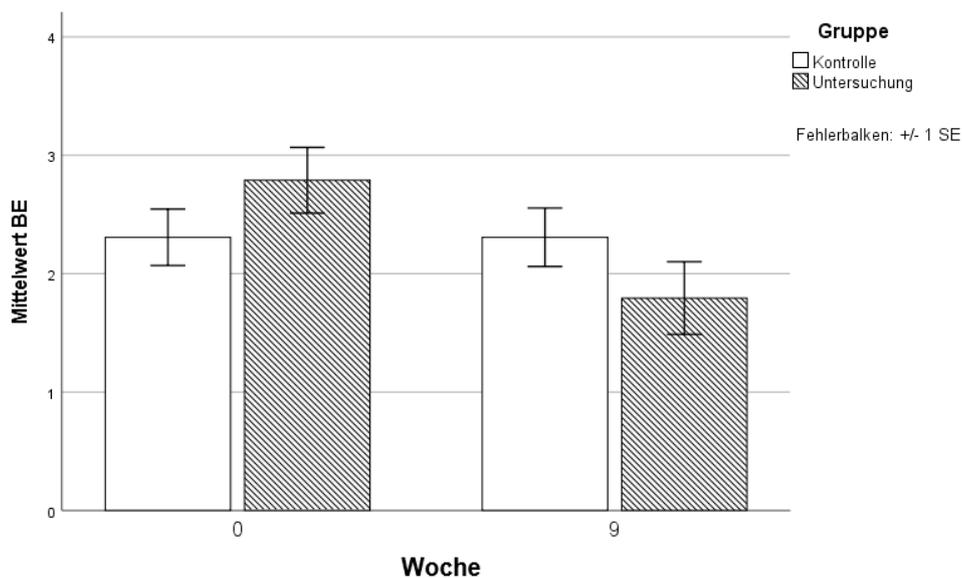


Abbildung 8: Blut-BE

4.1.5 Harn

Der **Harn-pH** und die **NSBA** (Abb. 9 und 10) haben einen signifikant unterschiedlichen Verlauf zwischen den Gruppen. Nach einem ähnlichen Startpunkt (pH: Kontrolle 8,3; Untersuchung 8,2/ NSBA: Kontrolle 233 mmol/l; Untersuchung 232 mmol/l) fallen die Werte der Gruppen gemeinsam ab, um sich ab Woche 2 in unterschiedliche Richtungen zu differenzieren. Hierbei weist die Kontrollgruppe bis Woche 7 einen nahezu konstanten Graphenverlauf auf, während die Mittelwerte der Untersuchungsgruppe nach und nach bis Woche 7 abfallen. Die minimalen mittleren Harn-pH-Werte in der Untersuchungsgruppe erreichen in Woche 7 Werte von 7,7 und die der NSBA in Woche 5 Werte von 27 mmol/l. In Woche 10 steigt der pH-Wert in beiden Gruppen stark an (Kontrolle: 8,4; Untersuchung: 7,9). Eine ähnliche Bewegung zeigt die NSBA jedoch nur mit einem schwachen Anstieg.

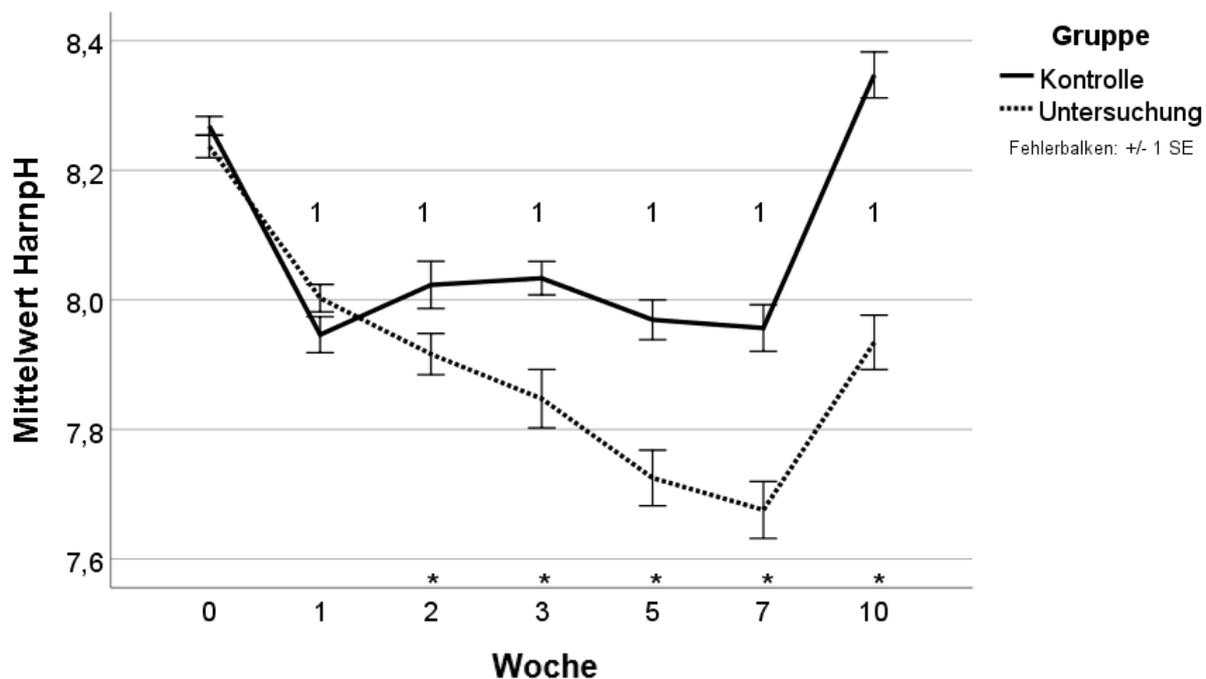


Abbildung 9: Harn-pH

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

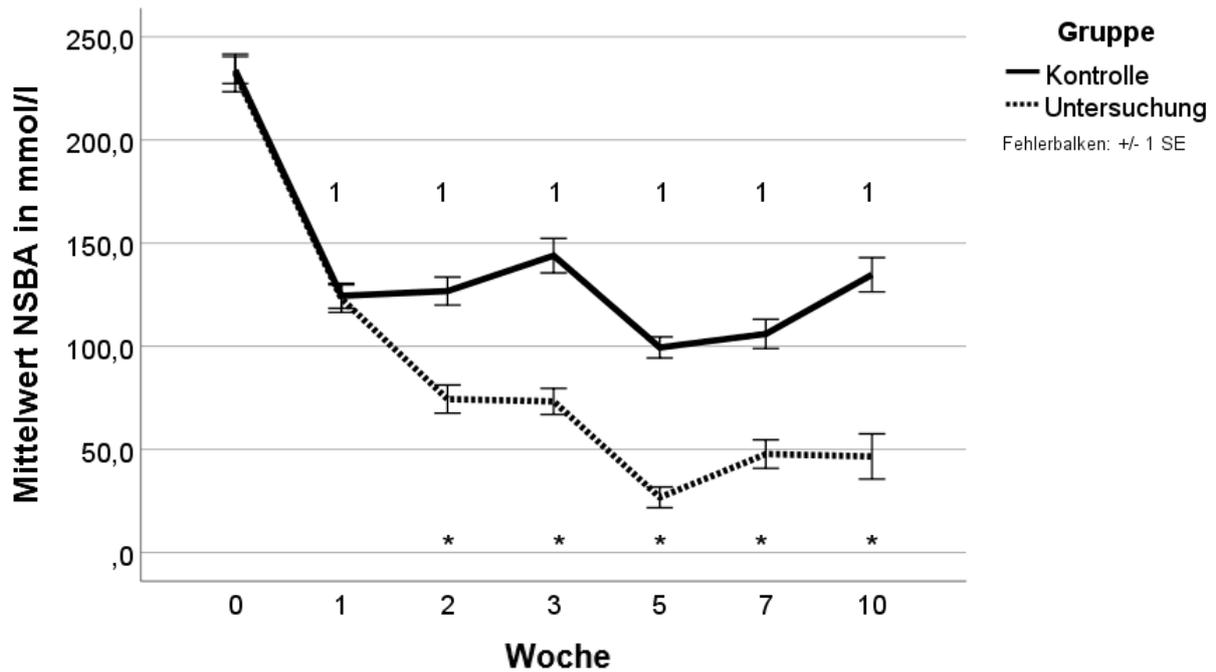


Abbildung 10: Harn-NSBA

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

Die Ausscheidung von **Calcium** und **Magnesium** (Abb. 11 und 12) zeigen ebenfalls einen ähnlichen Verlauf. Nach einem gemeinsamen Startpunkt in Woche 1 (Calcium: Kontrolle 1,0 mmol/l; Untersuchung 1,1 mmol/l / Magnesium: Kontrolle 9,1 mmol/l; Untersuchung 8,9 mmol/l) steigen die Werte der Untersuchungsgruppe an und erreichen in Woche 10 den maximalen Mittelwert (Calcium: 7,0 mmol/l und Magnesium: 15,1 mmol/l). Die Kontrollgruppe weist in der Ausscheidung von Calcium einen nahezu konstanten Verlauf auf, während bei der Magnesiumausscheidung der Verlauf der Untersuchungsgruppe Parallelitäten zur Kontrollgruppe zeigt.

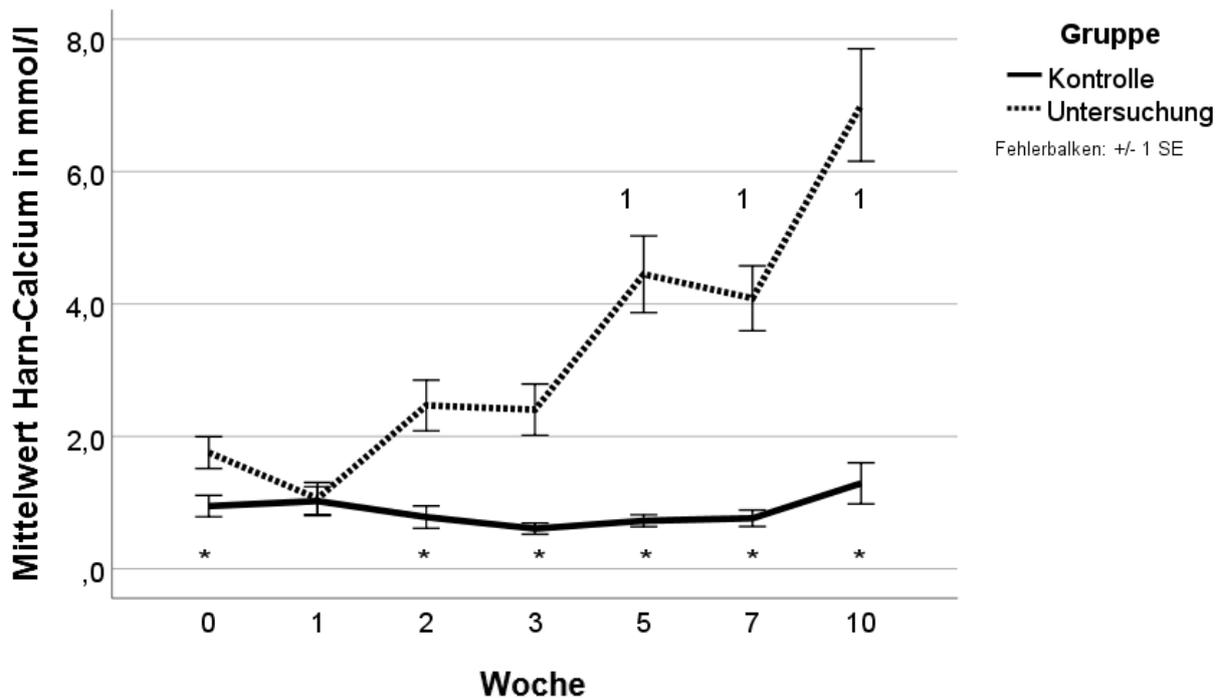


Abbildung 11: Harn-Calcium

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

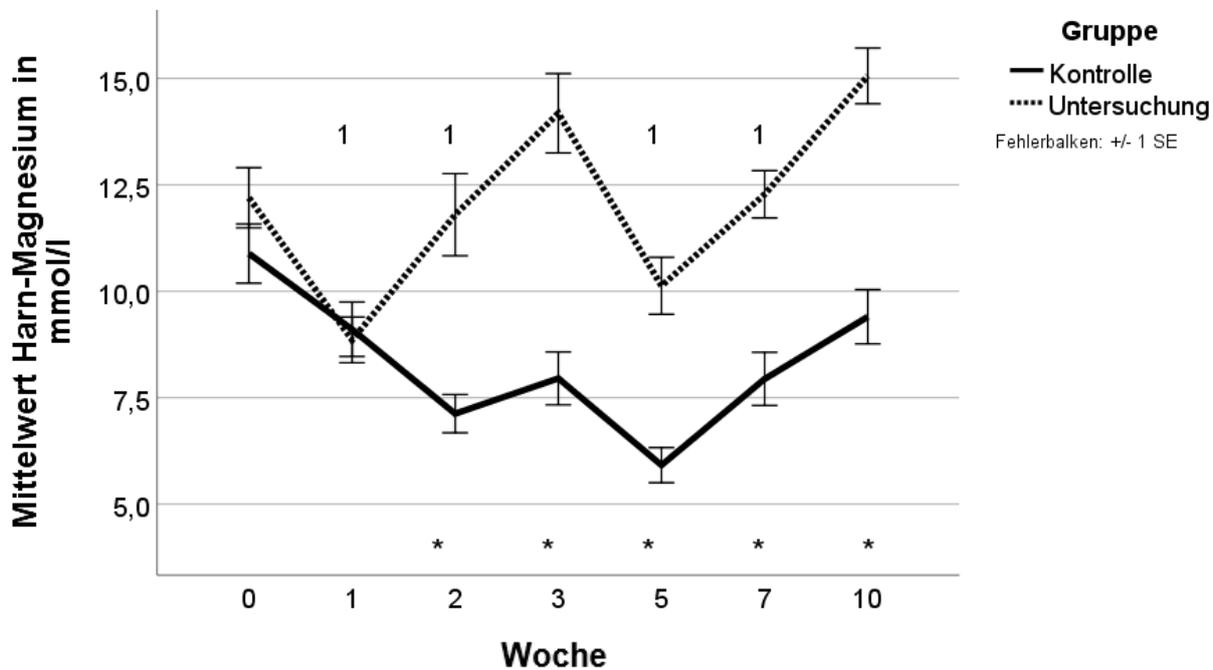


Abbildung 12: Harn-Magnesium

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

Die Konzentrationen von **Natrium** und **Kalium** im Harn zeigen nur wenige signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen auf (Abb. 13 und 14). Bei Kalium sind dies die Wochen 1 und 5 und bei Natrium die Wochen 2, 3 und 10. Der mittlere Kaliumgehalt fällt im Verlauf der Untersuchung von Werten um 270 mmol/l in Woche 0 auf Werte von 220 mmol/l in Woche 10 ab. Natrium hingegen steigt in seinem Gehalt während der Untersuchungen an: von ca. 55 mmol/l auf 115 mmol/l (Mittelwerte aus Kontroll- und Untersuchungsgruppe). Diese Verläufe sind über die Zeit signifikant.

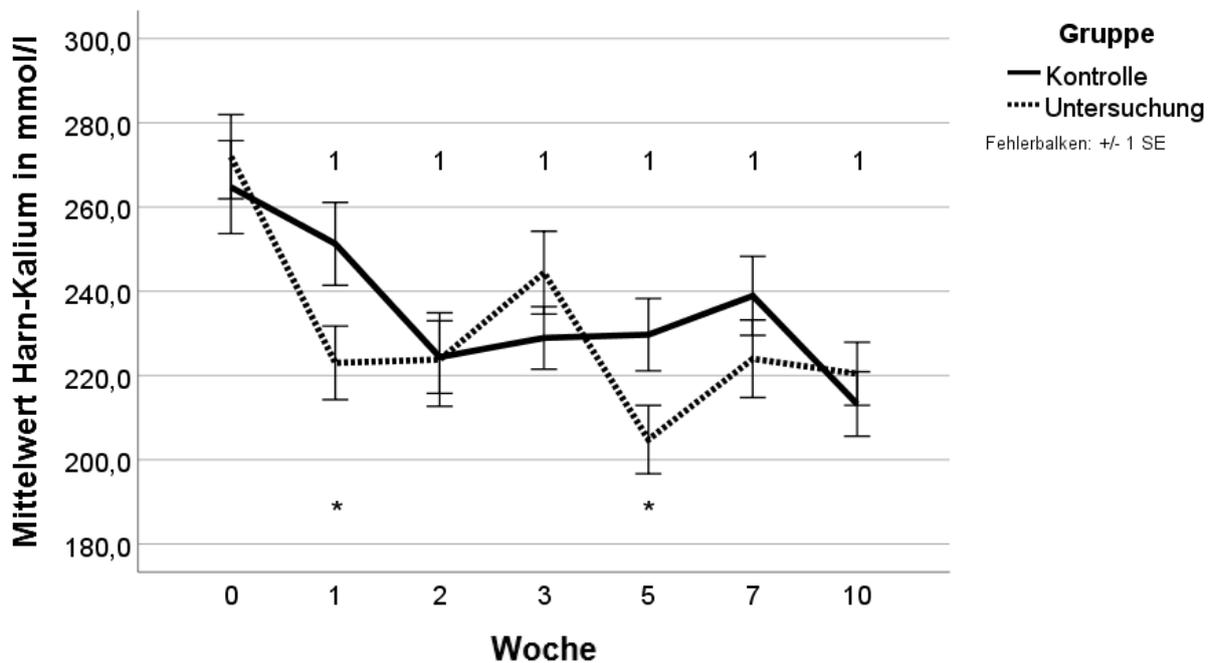


Abbildung 13: Harn-Kalium

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,259$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,104$

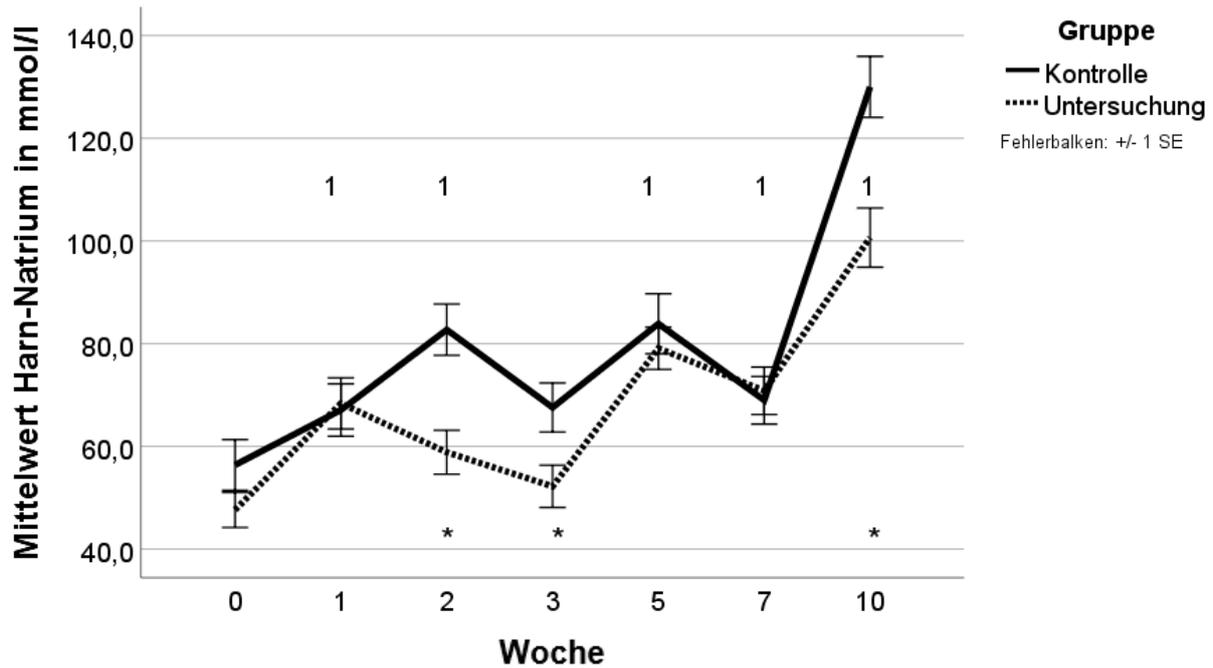


Abbildung 14: Harn-Natrium

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,006$

Die **Chloridausscheidung** (Abb. 15) über den Harn zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die Ausscheidung von Calcium und Magnesium. In der Woche 0 liegen die Mittelwerte bei 79 mmol/l (Kontrolle) und 80 mmol/l (Untersuchung). Ab Woche 2 differieren die Gruppen, wobei die Kontrollgruppe auf einem Wertenniveau verbleibt und die Werte der Untersuchungsgruppe signifikant ansteigen. In Woche 10 erreichen die Werte durch einen über die Zeit signifikanten Anstieg in der Untersuchungsgruppe 199 mmol/l, während die Kontrollgruppe auf niedrigeren Werten verbleibt (109 mmol/l).

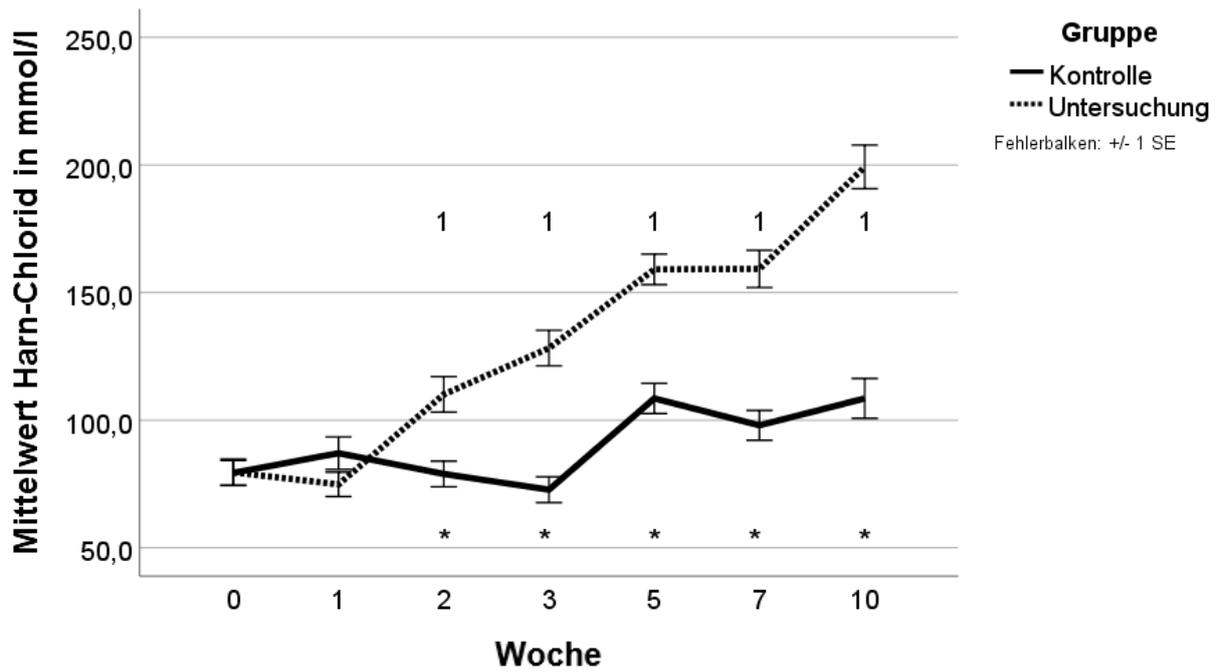


Abbildung 15: Harn-Chlorid

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

Die Graphenverläufe von **Phosphor-** und **Creatinin** im Harn zeigen wenig bis keine signifikante Beeinflussung durch die Mineralfütterung und sind im Anhang hinterlegt (Abb. 49 bis 50).

4.1.6 Pansensaft

Der Pansensaft-pH lag in der Woche 0 zwischen 6,3 (Kontrolle) und 6,4 (Untersuchung) (Abb. 16). In Woche 5 sank der pH-Wert in der Untersuchungsgruppe auf 6,1 und unterschied sich damit signifikant von der Kontrollgruppe mit deren Wert von 6,3 ($p=0,041$). In Woche 10 glichen sich die Werte an und stiegen auf einen Mittelwert von 6,6. Dieser Anstieg ist über die Zeit vom Ausgangspunkt in Woche 0 signifikant.

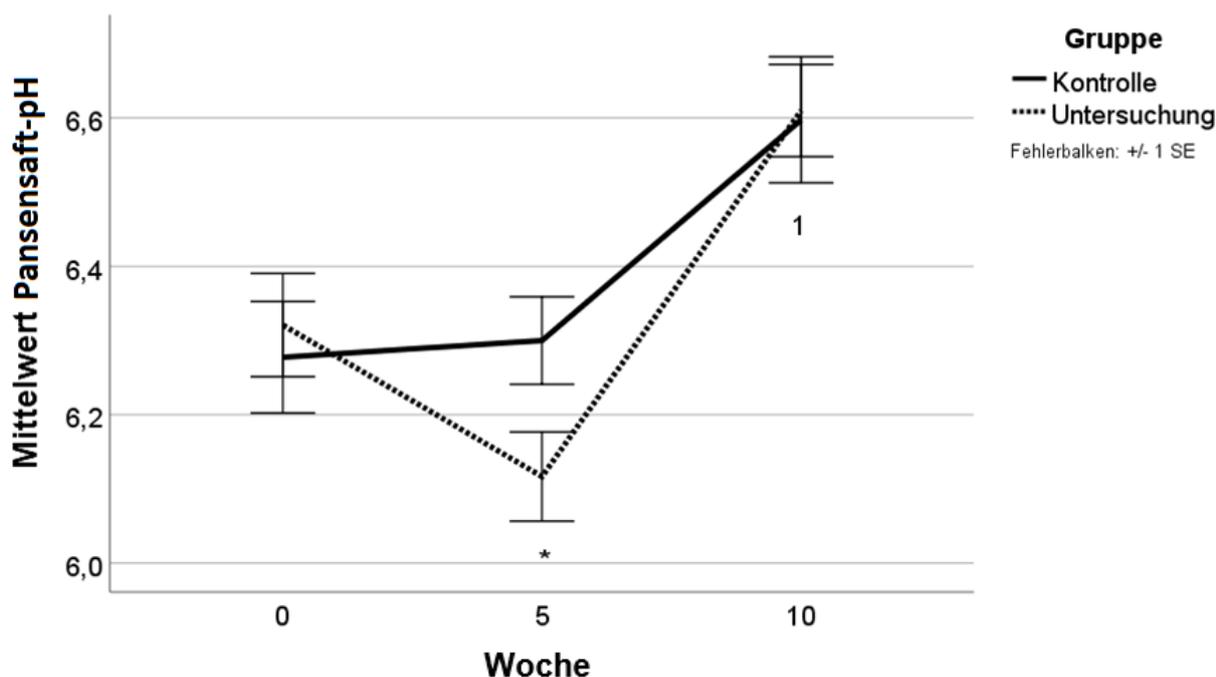


Abbildung 16: Pansensaft-pH

Die statistische Untersuchung der sensorischen Parameter des Pansensafts zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Tabelle 34). Lediglich gab es in Woche 5 beim Parameter Geruch und bei der Infusorienbeweglichkeit eine Tendenz zum Unterschied. Die Probenwerte sind im Anhang dargestellt (Tabellen 58 bis 60).

Tabelle 34: p-Werte des Gruppenvergleichs von Kontrolle und Untersuchung des Pansensaftscoring (chi-Quadrat-Test)

	Woche 0	Woche 5	Woche 10
Farbe	1,000	1,000	1,000
Geruch	0,572	0,083	0,549
Viskosität	1,000	0,819	0,949
Methylenblau	1,000	1,000	0,286
SAT	0,370	0,140	0,486
Infusorienanzahl	0,587	0,565	0,811
Infusorienbeweglichkeit	1,000	0,057	0,111
Infusorienverhältnis	0,219	0,683	0,743

Diese Tendenzen sind in der Abbildung 17 für den Geruch und in Abbildung 18 für die Infusorienbeweglichkeit dargestellt. In Abbildung 17 zeigt sich, dass der Pansensaft der Untersuchungsgruppe v. a. „fade bis säuerlich“ riecht, im Unterschied dazu in der Kontrollgruppe einen v. a. „aromatisch bis faden“ Pansensaftgeruch aufweist.

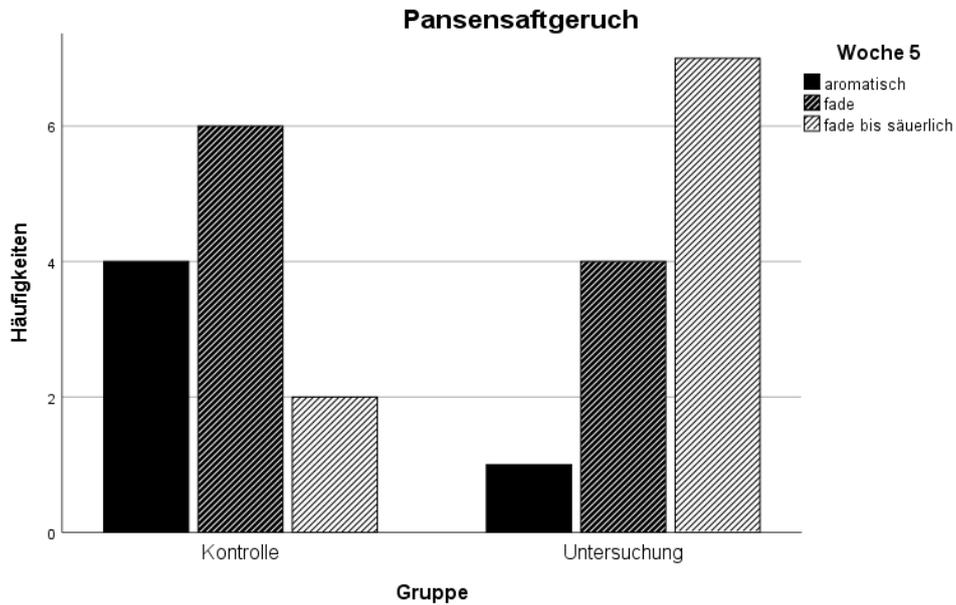


Abbildung 17: Scoring des Pansensaftparameters „Geruch“ in Woche 5 (Tendenz: $p=0,083$)

Die Infusorienbeweglichkeit unterschied sich zwischen den Gruppen mit „lebhaft und gut“ in der Kontrollgruppe und „gut bis träge“ in der Untersuchungsgruppe (Abb. 18).

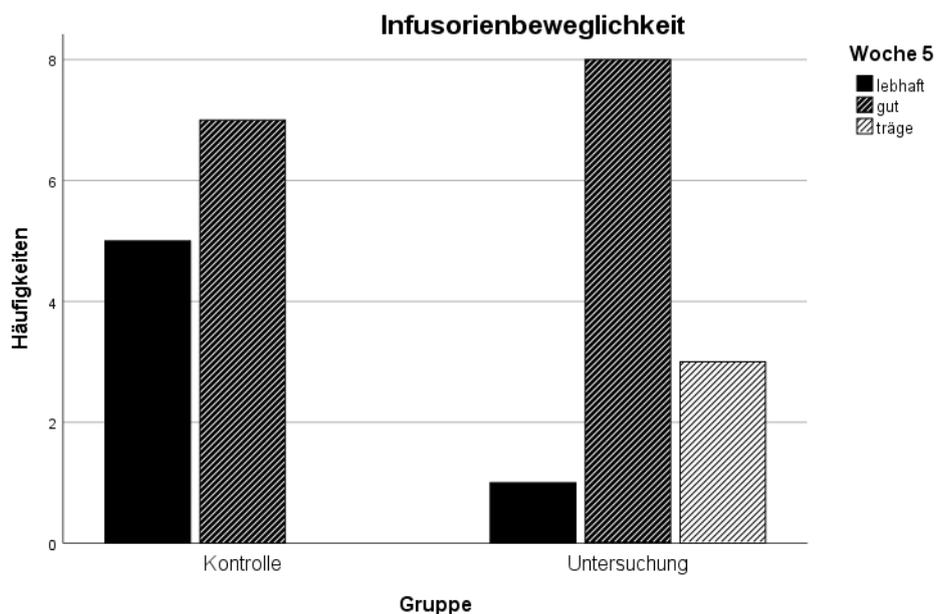


Abbildung 18: Scoring der Infusorienbeweglichkeit in Woche 5 (Tendenz: $p=0,057$)

4.2 Untersuchung DCAB-Anstieg (Natrium)

4.2.1 Ablauf der Untersuchung

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von Oktober bis Dezember 2017 über 9 Wochen. Das Konzept der zweiten Untersuchung war es, durch den Einsatz des Minerals Natriumhydrogenkarbonat (BICAR® Z) einen Anstieg der DCAB im Futter zu bewirken. Nach der einwöchigen Anfütterungsphase erhielt die Kontrollgruppe das gleiche Futter über den Rest der Untersuchung, während die Untersuchungsgruppe 450 g BICAR® Z pro Tier zusätzlich unter die TMR gemischt bekam. Um den Einfluss auf die Tiere zu messen, wurde täglich die Futteraufnahme gemessen und wöchentlich gemittelt. Die TMR wurde alle 2-4 Wochen auf ihre Inhaltsstoffe und die DCAB untersucht (Woche 0, 2, 3, 5, 7) (Tabelle 35). Die Grundfutterkomponenten waren wie folgt zusammengestellt: 20 % Anwelksilage, 11 % Luzernesilage und 35 % Maissilage.

Tabelle 35: Analytierte Ration (Oktober bis Dezember 2017) – Fütterungsergänzung von NaHCO_3

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)

An zwei Zeitpunkten wurden den Tieren Blutproben (Woche 0 und Woche 7) und an sechs Tagen Harnproben entnommen (Woche 0, 1, 3, 5, 7 und 8). Die Pansensaftentnahme und -untersuchung erfolgte an drei Zeitpunkten (Woche 0, 3, 8). Das Körpergewicht (KM), die Rückenfettdicke (RFD) und der Body Condition Score (BCS) wurden zu Beginn und Ende der Untersuchung erhoben (Woche 0 und 7). Eine zusammenfassende Darstellung der Probenentnahmen findet sich in Tabelle 36.

Tabelle 36: Probenentnahmeschema der zweiten Untersuchung

Woche	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Futteranalyse	x		x	x		x		x		
Futteraufnahme	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Blut	x							x		
Harn	x	x		x		x		x	x	
Pansensaft	x			x					x	
RFD, BW, BCS	x							x		

Die Altersverteilung im zweiten Durchgang gestaltete sich als etwas schwierig mangels Auswahlmöglichkeiten unter den Probanden (Abb. 19). So erkennt man einen hoch signifikanten ($p < 0,001$) Unterschied zwischen Untersuchungs- und Kontrollgruppe. In der Kontrollgruppe konnten aus allen Laktationsstadien Tiere verteilt werden, während in der Untersuchungsgruppe v. a. Tiere aus der ersten, zweiten und vierten Laktation eingestallt werden konnten.

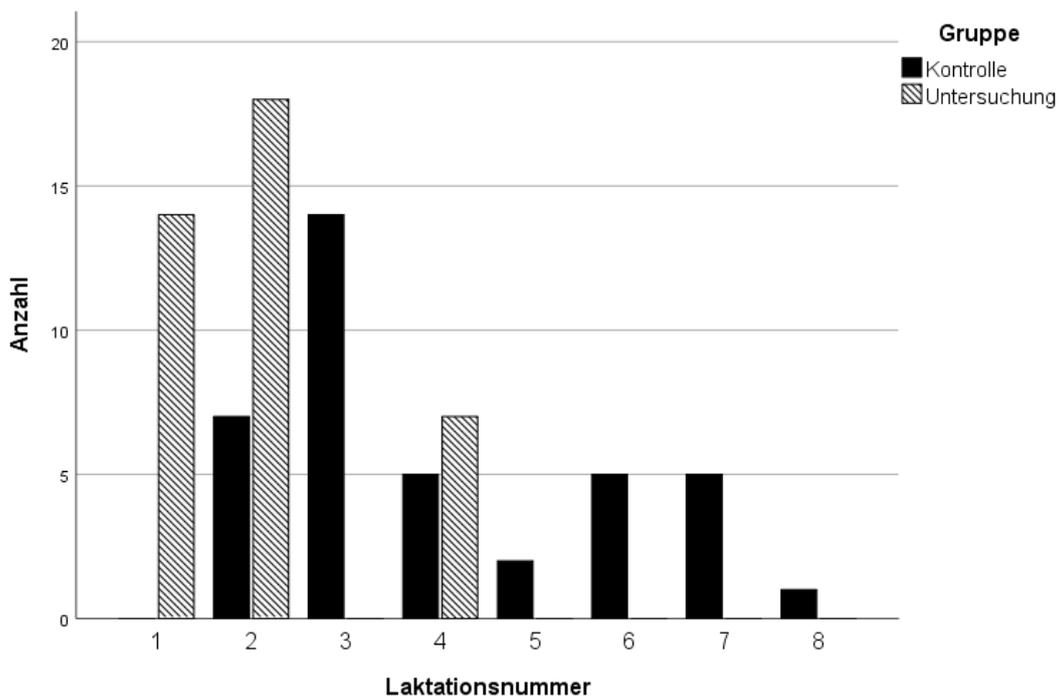


Abbildung 19: Verteilung der Laktationsnummern in den Untersuchungsgruppen ($p < 0,001$)

4.2.2 Body Condition Score, Lebendmasse und Rückenfettdicke

Der jeweilige Gruppen- und Zeitvergleich von Body Condition Score, Lebendmasse und Rückenfettdicke der zweiten Untersuchung in Form eines Box Plots sind in den Abbildungen 20 bis 22 dargestellt.

Der **Body Condition Score** (Abb. 20) zeigt im Gruppen- sowie im Zeitvergleich keinerlei signifikante Unterschiede. Der Interquartilsbereich ist in der Untersuchungsgruppe in Woche 0 und in Woche 7 um 0,25 Einheiten größer als in der Kontrollgruppe. Dies wird v. a. durch das 75 % Perzentil hervorgerufen. Der Median liegt bei drei Datensätzen (Kontrolle Woche 0 und Woche 7 und Untersuchung Woche 7) bei 2,25. Die Untersuchungsgruppe der Woche 0 hat einen Median von 2,00.

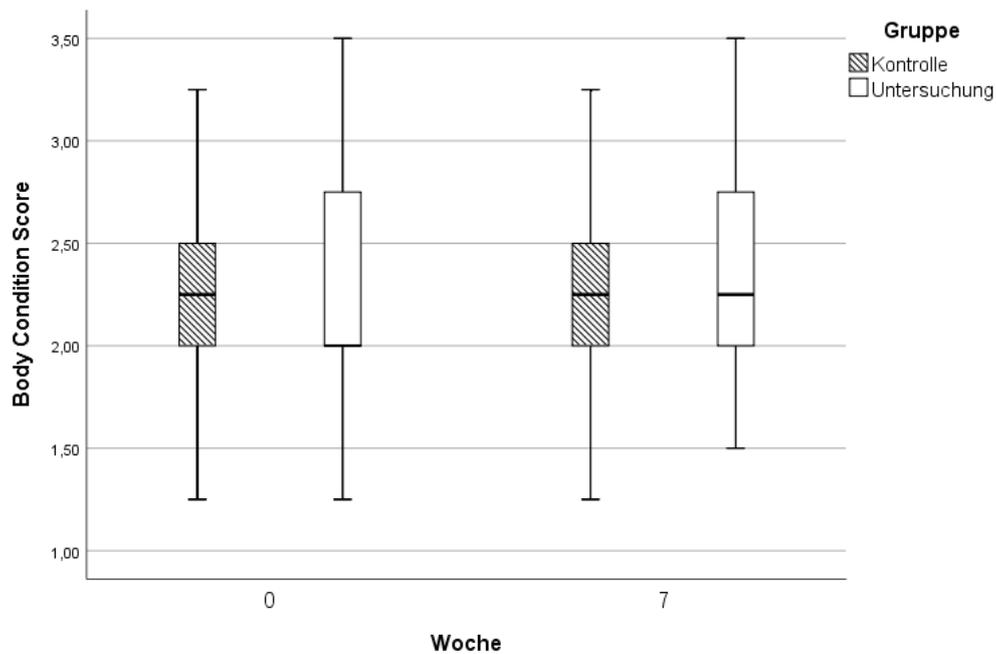


Abbildung 20: Body Condition Score
 T-Test: Zeit $p=0,521$; Gruppe (Woche 0) $p=0,329$; (Woche 7) $p=0,134$

Die **Lebendmasse** (Abb. 21) zeigt, ähnlich wie der Body Condition Score, keinerlei signifikante Gruppenunterschiede in den Wochen 0 und 7. Eine über die Zeit signifikante Steigerung wie in der ersten Untersuchung sind in der Steigerung des Medians von 684 kg in Woche 0 auf 690 kg in Woche 7 zu finden.

Ergebnisse

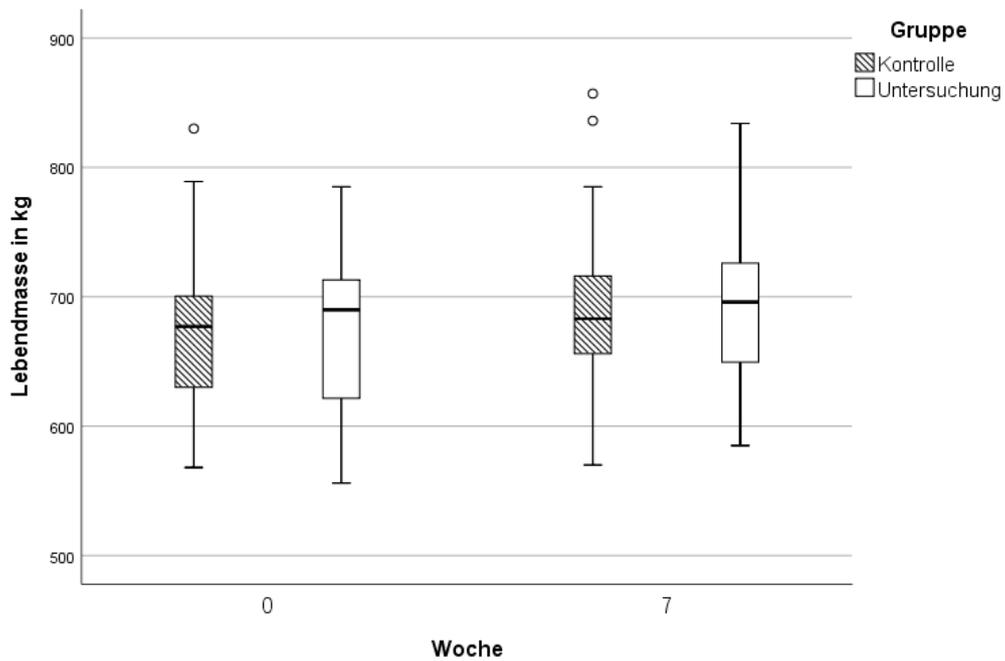


Abbildung 21: Lebendmasse

T-Test: Zeit $p=0,043$; Gruppe (Woche 0) $p=0,766$; (Woche 7) $p=0,639$

Die **Rückenfettdicke** (Abb. 22) zeigt wie der Body Condition Score und die Lebendmasse keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Woche 0 und 7. Über die Zeit steigt der Median signifikant ($p=0,021$) von 10 mm in Woche 0 auf 11 mm in Woche 9.

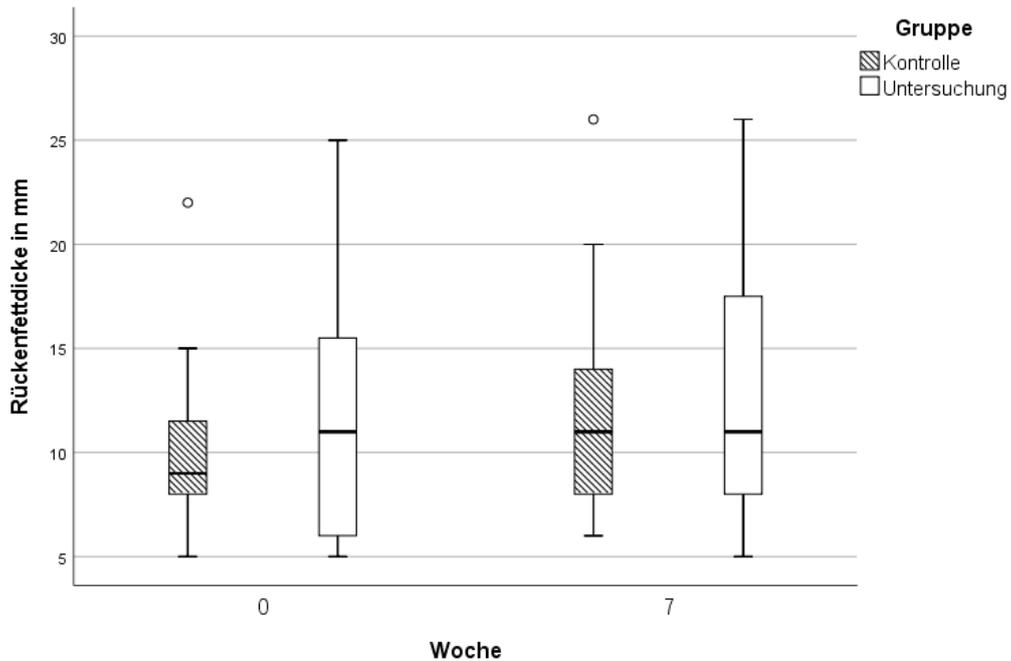


Abbildung 22: Rückenfettdicke

T-Test: Zeit $p=0,021$; Gruppe (Woche 0) $p=0,224$; (Woche 7) $p=0,285$

4.2.3 Futter

In Woche 0 (Abb. 23) erhielten alle Tiere dieselbe Ration mit gleicher **DCAB**, was in der Abbildung mit einem gleichen Startpunkt des Graphen ersichtlich ist (+1711 mEq/Tier/Tag). Dies entspricht bei einer durchschnittlichen Trockenmasseaufnahme (TMA) von 26 kg/Tier einem relativen Wert von ca. +66 mEq/kg TM. Ab Woche 1 zeigt sich eine hoch signifikante Differenzierung der Gruppen. Die Kontrollgruppe nahm von Woche 1 bis 9 über die Ration im Mittel eine DCAB von +1647 mEq/Tier/Tag auf (bei 26 kg TMA ca. +63 mEq/kg TM). Die Untersuchungsgruppe, welche ab Woche 1 mit dem Puffer gefüttert wurde, nahm über die Ration im Schnitt bis Woche 8 +4584 mEq/Tier/Tag auf (bei 26 kg TMA ca. +176 mEq/kg TM). Zum Ende der Untersuchung in Woche 9 in der beide Gruppen wieder das Ausgangsfutter erhielten, sinkt die über das Futter aufgenommene DCAB auf den Ausgangswert von +1617 mEq/Tier/Tag.

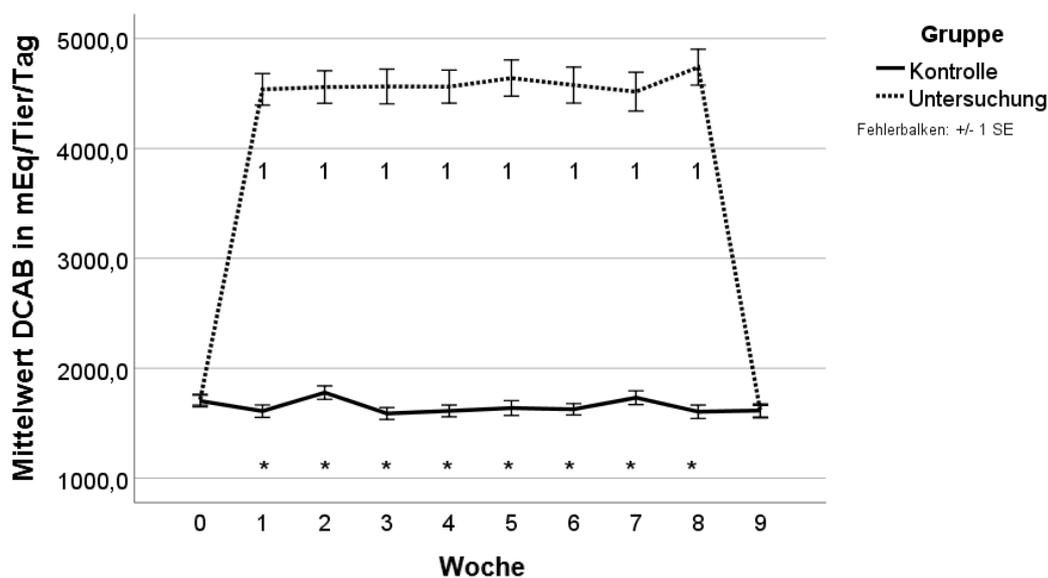


Abbildung 23: Tägliche DCAB-Aufnahme (wöchentliches Mittel)
 Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,001$

Die aufgenommene **Kaliummenge** (Abb. 24) zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen der Kontroll- und Untersuchungsgruppe). Im Mittel wurden 272 g/Tier/Tag aufgenommen (bei 26 kg TMA entspricht das 10,5 g/kg TM). Die wöchentlichen Mittelwerte schwanken in der Kontrollgruppe zwischen dem minimalen Mittelwert von 262 g/Tier/Tag in Woche 9 (bei 26 kg TMA entspricht das 10,1 g/kg TM) und dem maximalen Mittelwert von 274 g/Tier/Tag in Woche 7 (bei 26 kg TMA entspricht das 10,5 g/kg TM). In der Untersuchungsgruppe liegen die Werte zwischen 262 g/Tier/Tag in Woche 9 (bei 26 kg TMA entspricht das 10,1 g/kg TM) und 277 g/Tier/Tag in Woche 5 (bei 26 kg TMA entspricht das 10,7 g/kg TM). In Woche 9 zeigt sich der einzige signifikante Unterschied zu Woche 0.

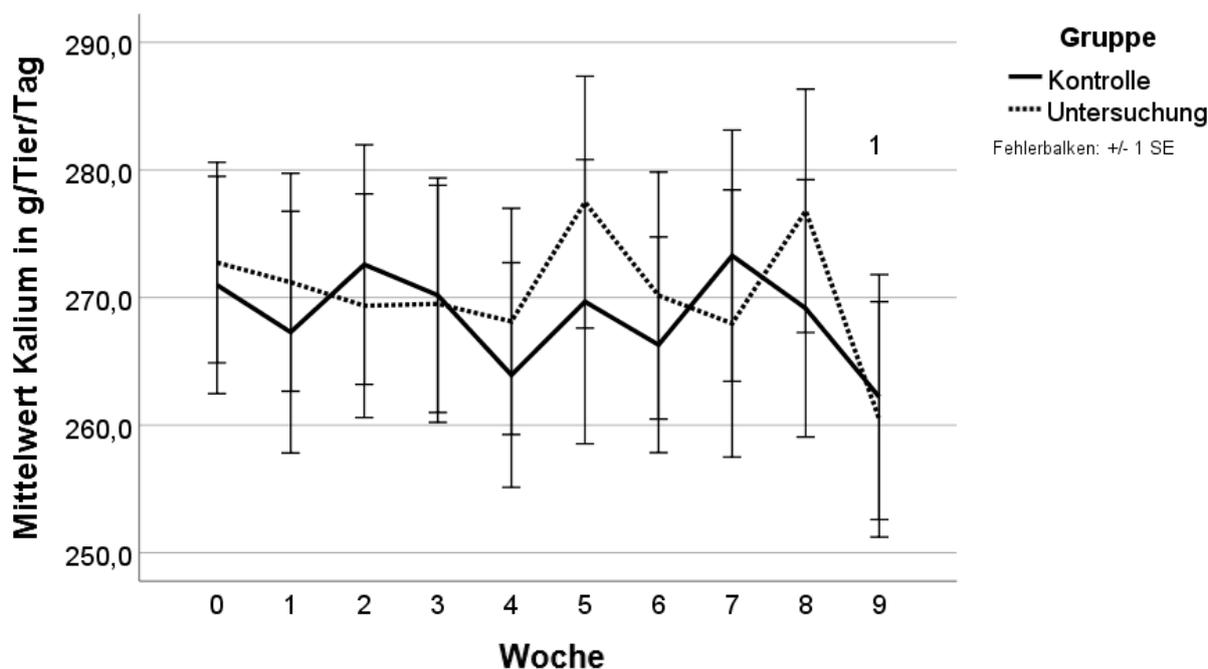


Abbildung 24: Tägliche Kaliumaufnahme

Test auf feste Effekte: Gruppe $p=0,383$; Zeit $p=0,298$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p=0,908$

In Woche 0 wurden 62 g **Natrium**/Tier/Tag (bei 26 kg TMA entspricht das 2,4 g/kg TM) aufgenommen (Abb. 25). Der Graphenverlauf ähnelt sehr dem der DCAB. Ab Woche 1 steigen die Werte der Untersuchungsgruppe auf durchschnittlich 114 g/Tier/Tag (bei 26 kg TMA entspricht das 4,4 g/kg TM), um dann in Woche 9 auf den Mittelwert 42 g/Tier/Tag (bei 26 kg TMA entspricht das 1,6 g/kg TM) abzufallen und sich damit dem Wert der Kontrollgruppe anzugleichen. Die Kontrollgruppe nahm in Woche 1 44 g Natrium pro Tier und Tag auf (bei 26 kg TMA entspricht das 1,7 g/kg TM). Diesen Wert hielt sie konstant bis Woche 9.

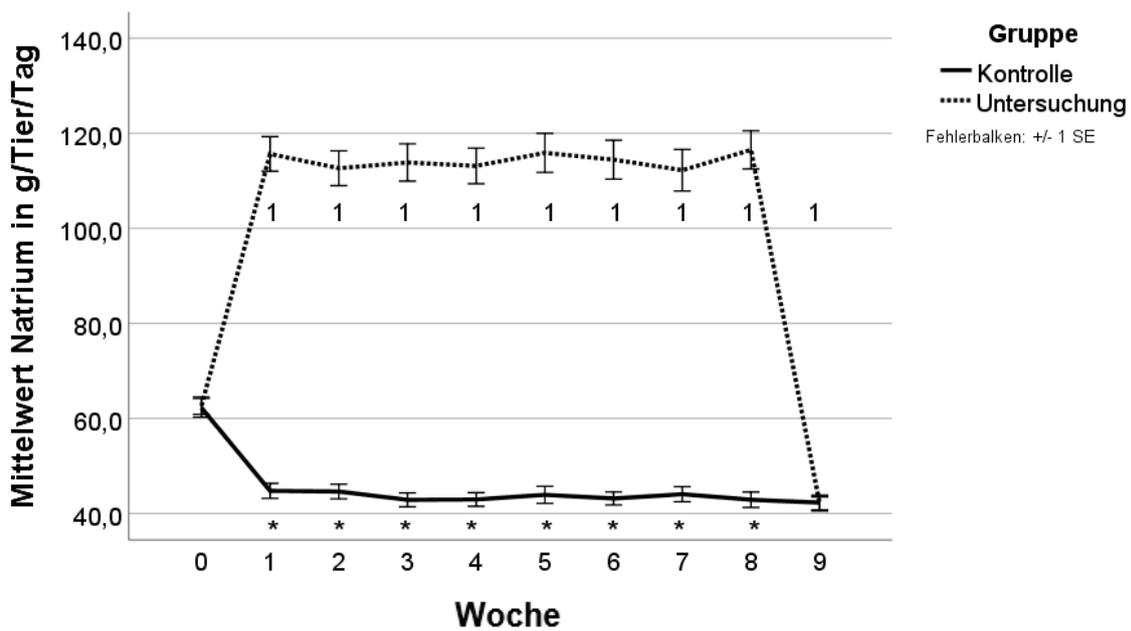


Abbildung 25: Tägliche Natriumaufnahme

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

4.2.4 Blut

Im Blut wurden die Parameter pH, pCO₂, HCO₃⁻, BE, Natrium und Kalium zu zwei Zeitpunkten bestimmt und verglichen (Tabelle 37). In der Woche 0 und 7 gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe. Über die Zeit zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Parametern HCO₃⁻, BE- und Natrium der Kontrollgruppe in Woche 0 und Woche 7. Der HCO₃⁻-Wert sinkt um 1 mmol/l und der BE-Wert sinkt um 0,8 mmol/l. In beiden Gruppen fällt die Natriumkonzentration um 2 mmol/l von Woche 0 zu Woche 7.

Tabelle 37: Blutwerte in der zweiten Untersuchung

Woche 0	Kontrolle			Untersuchung		
	n	MW	s	n	MW	s
pH	39	7,36	0,030	39	7,37	0,044
pCO ₂ (mmHg)	39	51,9	5,320	39	50,4	6,784
HCO ₃ ⁻ (mmol/l)	39	28,3a	1,863	39	27,6	1,566
BE (mmol/l)	39	2,9a	1,531	39	2,5	1,449
Na (mmol/l)	39	141a	1,904	39	140a	2,187
K (mmol/l)	39	4,9	0,374	39	4,9	0,267
Woche 7	Kontrolle			Untersuchung		
	n	MW	s	n	MW	s
pH	38	7,36	0,022	37	7,36	0,023
pCO ₂ (mmHg)	38	50,1	4,086	37	51,5	3,648
HCO ₃ ⁻ (mmol/l)	38	27,3b	1,605	37	27,7	1,701
BE (mmol/l)	38	2,1b	1,302	37	2,2	1,535
Na (mmol/l)	37	139b	2,165	37	138b	3,752
K (mmol/l)	37	4,9	0,380	37	4,8	0,368

a+b...signifikanter Zeitunterschied (p<0,05)

4.2.5 Harn

Der **Harn-pH** (Abb. 26) in Woche 0 liegt in beiden Gruppen bei einem Mittelwert von 8,2. In Woche 1, 3, 5, 7 und 8 steigen die Mittelwerte der Untersuchungsgruppe signifikant über die der Kontrollgruppe. In Woche 1 erreichen beide Gruppen ihre maximalen Mittelwerte (Kontrolle: 8,2; Untersuchung: 8,4). Die Kontrollgruppe weist in Woche 5 ihren minimalen Mittelwert von 7,9 und die Untersuchungsgruppe in Woche 7 mit 8,1 auf.

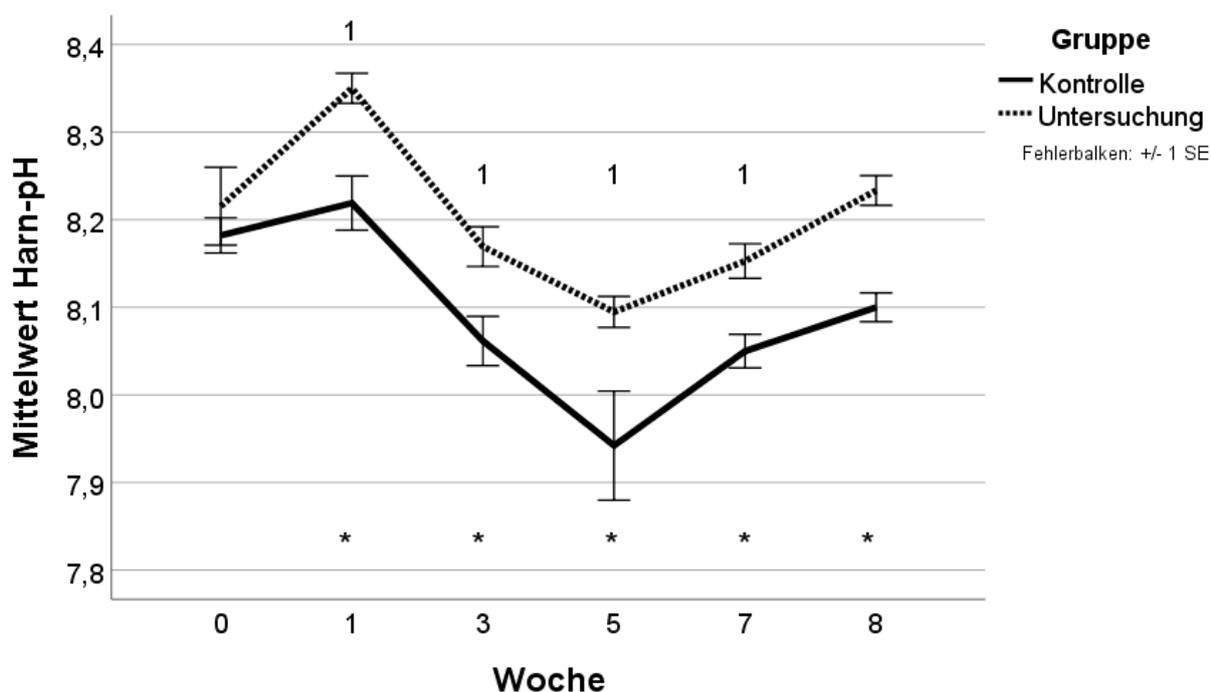


Abbildung 26: Harn-pH

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p = 0,413$

Die Startwerte der **NSBA** beider Gruppen (Abb. 27) liegen bei 99 mmol/l. Ab Woche 1 unterscheiden sich beide Gruppen signifikant. Die Untersuchungsgruppe liegt mit ihren Mittelwerten im Mittel 49 mmol/l über den Mittelwerten der Kontrollgruppe. Im Laufe der Untersuchung steigt die NSBA beider Gruppen parallel an. Die maximalen Mittelwerte wurden in Woche 8 erreicht (Kontrolle: 163 mmol/l / Untersuchung: 232 mmol/l).

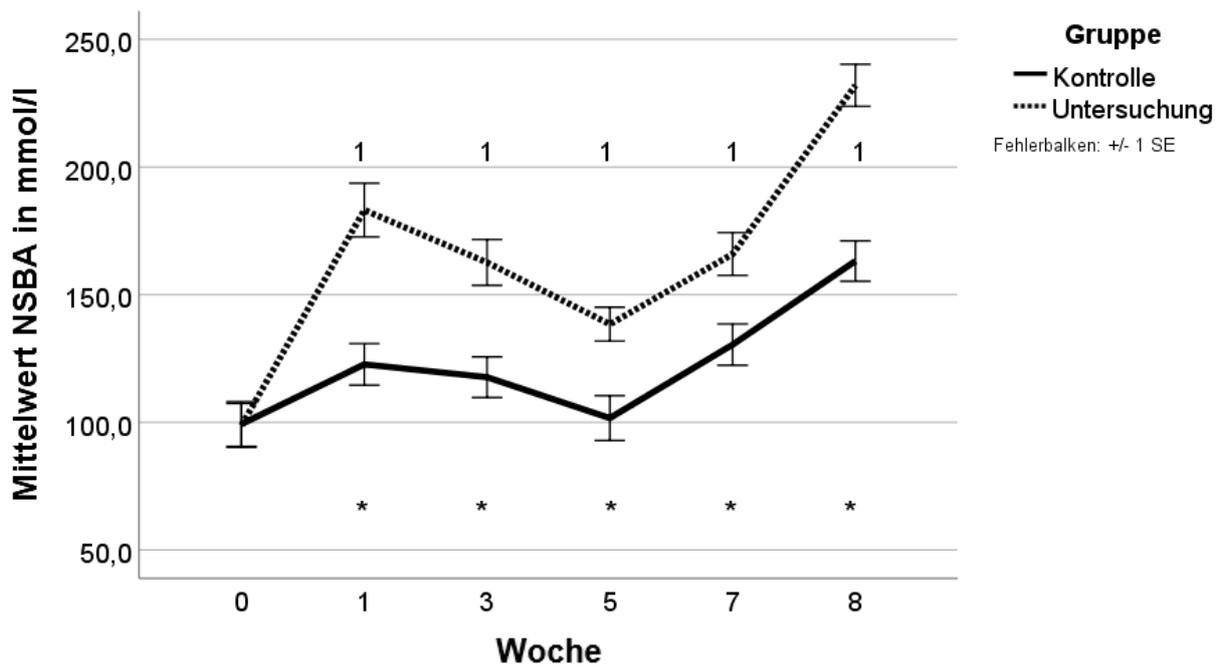


Abbildung 27: Harn-NSBA

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

Die **Calcium**ausscheidung (Abb. 28) zeigt in allen Wochen signifikante Gruppenunterschiede. Die Untersuchungsgruppe liegt mit ihren Mittelwerten im Mittel 1,1 mmol/l unter den Werten der Kontrollgruppe. Über die Zeit fallen die Werte signifikant in beiden Gruppen ab und erreichen in Woche 8 in der Kontrollgruppe den minimalen Mittelwert von 1,2 mmol/l und in der Untersuchungsgruppe den Mittelwert von 0,7 mmol/l. Der minimale Mittelwert der Untersuchungsgruppe liegt in Woche 3 bei 0,6 mmol/l.

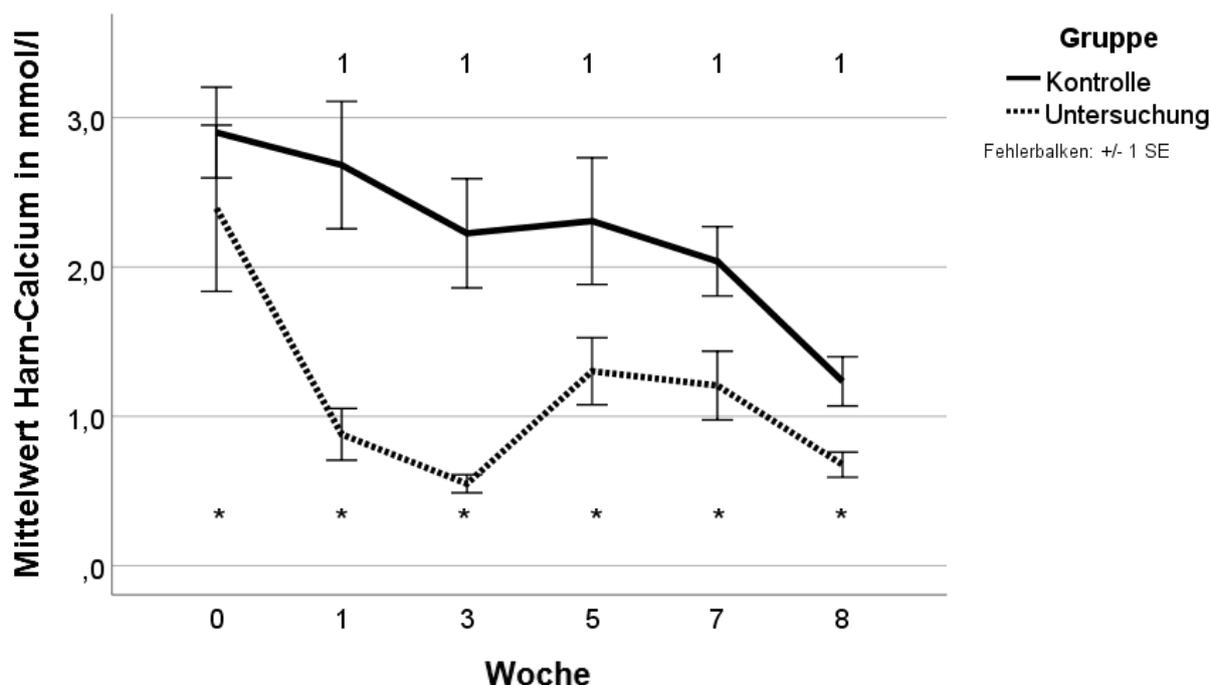


Abbildung 28: Harn-Calcium

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,153$

Die mittlere **Magnesium**konzentration beträgt in Woche 0 in der Kontrollgruppe 21,5 mmol/l und in der Untersuchungsgruppe 20,6 mmol/l (Abb. 29). Der minimale Mittelwert der Kontrollgruppe liegt in Woche 5 bei 17,8 mmol/l. In der Untersuchungsgruppe ist dieser Wert in Woche 8 mit 14,1 mmol/l zu finden. Der maximale Mittelwert der Untersuchungsgruppe liegt in Woche 0 und wird bei der Kontrollgruppe in Woche 7 mit 22,1 mmol/l erreicht (s. o.). Die Magnesiumausscheidung sowie die Kaliumausscheidung (Abb. 30) haben einen ähnlichen Verlauf. Es besteht ein signifikanter Unterschied bei der Magnesiumausscheidung in Woche 3 und 8 und bei der Kaliumkonzentration des Harns in Woche 1, 3, 7 und 8.

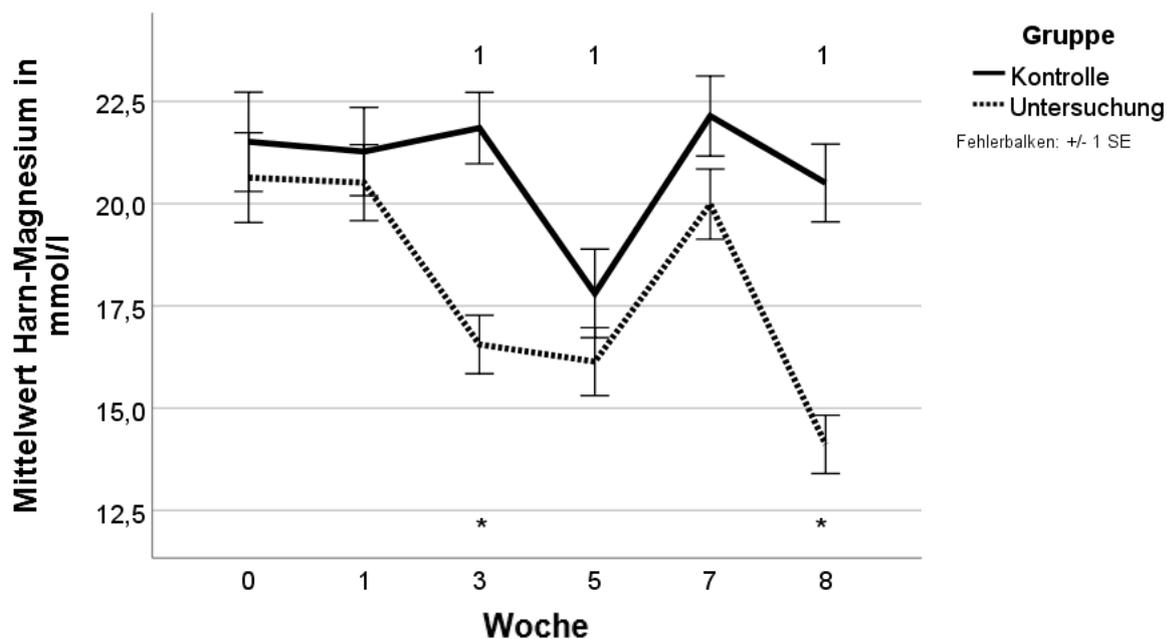


Abbildung 29: Harn-Magnesium

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p < 0,009$

Die **Kalium**ausscheidung in Woche 0 startet mit Mittelwerten von 256 mmol/l in der Kontroll- und 254 mmol/l in der Untersuchungsgruppe (Abb. 30). Die minimalen Mittelwerte der Gruppen liegen in Woche 8 bei 227 mmol/l (Kontrolle) bzw. 129 mmol/l (Untersuchung). Die maximalen Mittelwerte liegen bei der Kontrollgruppe in Woche 3 bei 299 mmol/l und bei der Untersuchungsgruppe entspricht der Maximalwert dem Mittelwert der Woche 0 (s. o.).

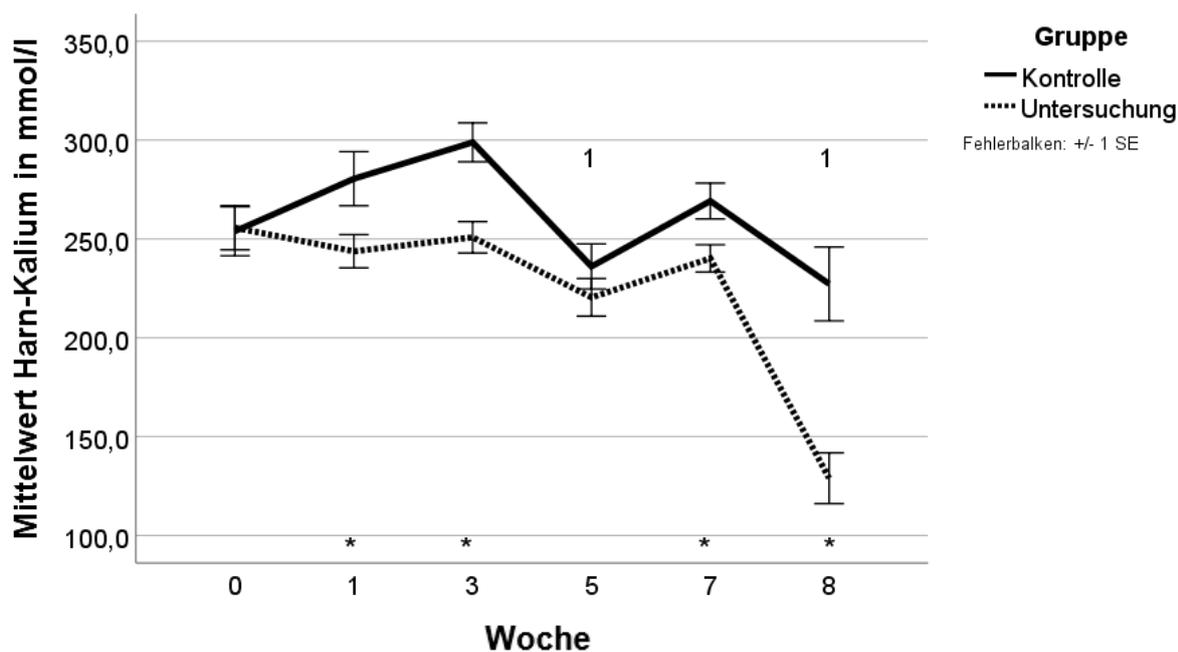


Abbildung 30: Harn-Kalium

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

Die **Natrium**ausscheidung (Abb. 31) weist einen Startwert in Woche 0 von 61,8 mmol/l in der Kontrollgruppe und 67,4 mmol/l in der Untersuchungsgruppe auf. Ab Woche 1 differieren sich die Gruppen signifikant voneinander ($p < 0,001$), sodass die Mittelwerte der Untersuchungsgruppe in allen 5 aufeinanderfolgenden Zeitpunkten über den Mittelwerten der Kontrollgruppe liegen (Mittel: 51,96 mmol/l). Beide Gruppen erreichen in Woche 8 ihre maximalen Mittelwerte (Kontrolle: 70,7 mmol/l; Untersuchung: 137,2 mmol/l).

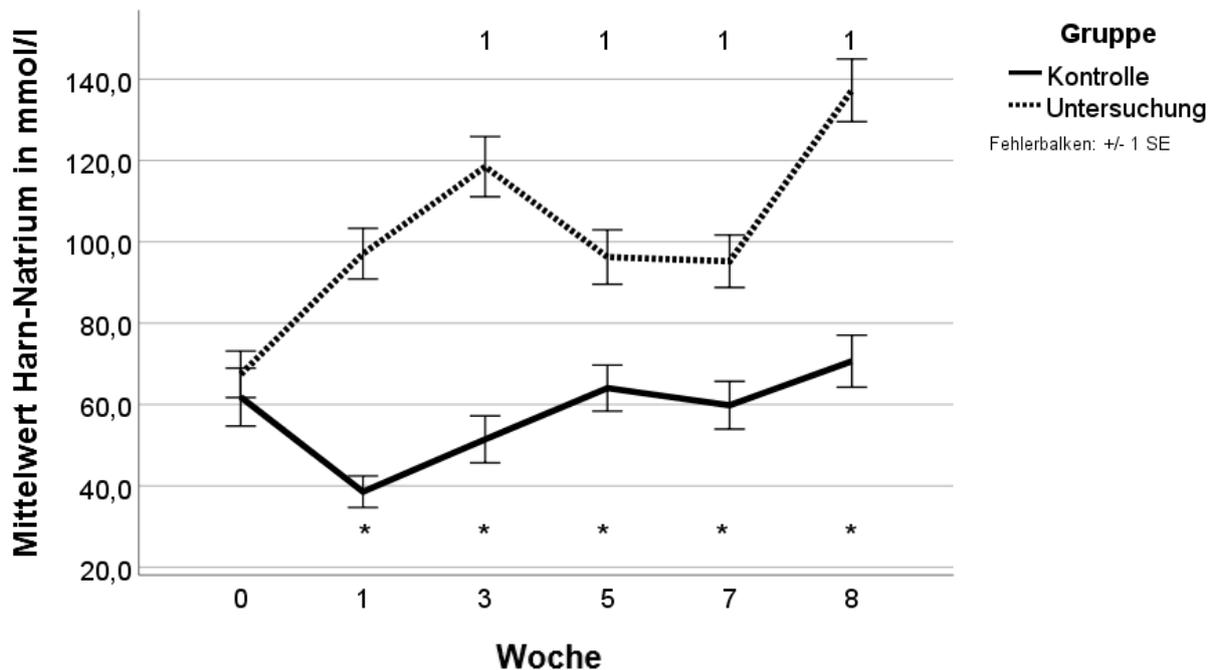


Abbildung 31: Harn-Natrium

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

Bei der **Creatininausscheidung** über den Harn (Abb. 32) besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen und über die Zeit nach mixed models. Der post hoc-Test weist Woche 3 und 8 mit signifikanten Gruppenunterschieden aus und Woche 5 und 8 mit signifikantem Unterschied über die Zeit zu Woche 0. Die Untersuchungsgruppe liegt in der gesamten Untersuchungszeit mit ihren mittleren Werten unter denen der Kontrollgruppe. Höchstwerte werden in der Kontrollgruppe in der Woche 3 mit 9406 $\mu\text{mol/l}$ erreicht. Die Untersuchungsgruppe erreicht ihren Höchstwert in Woche 7 mit 8811 $\mu\text{mol/l}$.

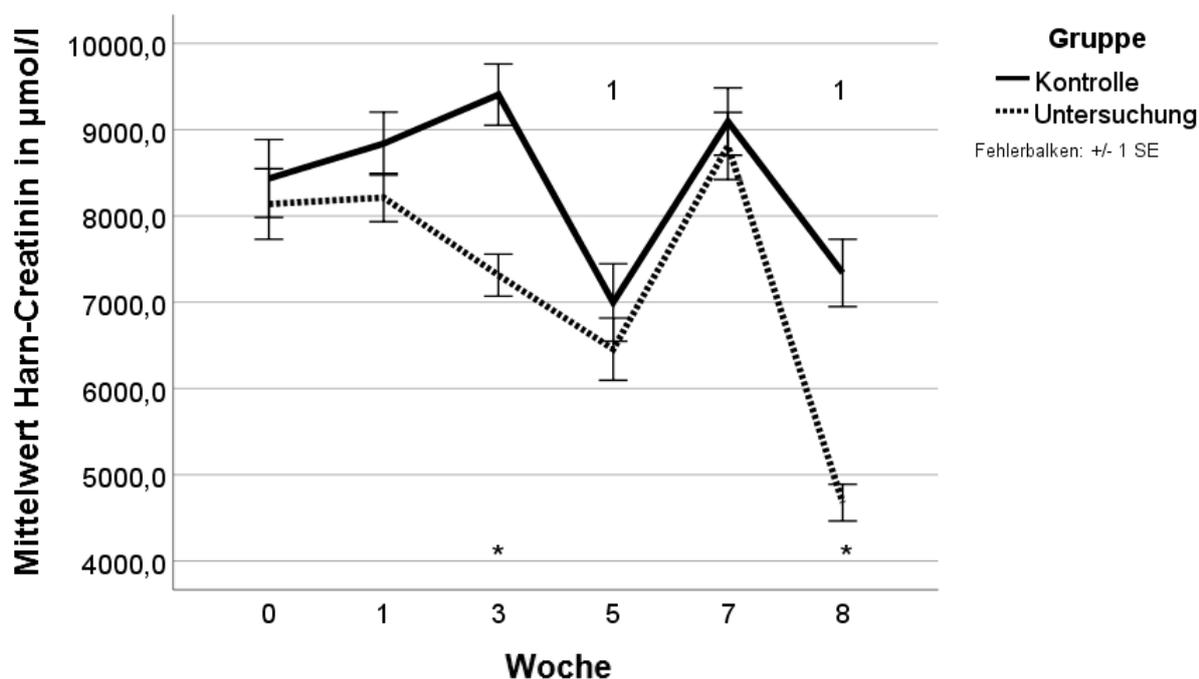


Abbildung 32: Harn-Creatinin

Test auf feste Effekte: Gruppe $p < 0,001$; Zeit $p < 0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p = 0,002$

Die **Chlorid**konzentration im Harn (Abb. 33) zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die Creatininausscheidung. Die mittleren Werte der Untersuchungsgruppe liegen nach mixed models berechnet signifikant unter denen der Kontrollgruppe. Der post-hoc Test zeigt nur in Woche 1 und 8 einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. In Woche 7 zeigen beide Gruppen ihre Maximalwerte (Kontrolle: 93 mmol/l; Untersuchung: 82 mmol/l). Minimalwerte wurden in Woche 8 erreicht (Kontrolle: 73 mmol/l; Untersuchung: 53 mmol/l).

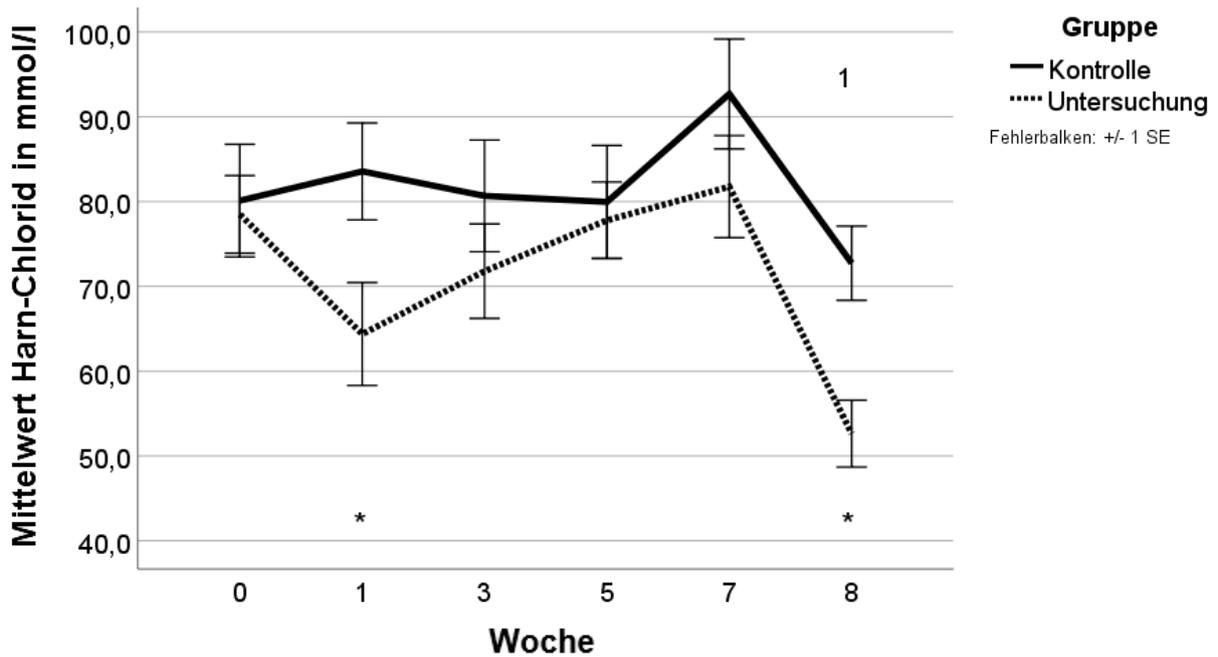


Abbildung 33: Harn-Chlorid

Test auf feste Effekte: Gruppe $p=0,002$; Zeit $p=0,002$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p=0,435$

Der Graphenverlauf der **Phosphor**ausscheidung im Harn zeigt wenig bis keine signifikante Beeinflussung durch die Mineralfütterung und ist im Anhang hinterlegt (Abb. 51).

4.2.6 Pansensaft

Der Pansensaft zeigt während der zweiten Untersuchung keinerlei signifikante Unterschiede zwischen der Kontroll- und der Untersuchungsgruppe (Abb. 34). In Woche 8 gab es eine Tendenz ($p=0,074$) zum Unterschied zwischen den Gruppen. In der Kontrollgruppe lag der pH-Wert mit einem Mittelwert von 6,4 mit 0,2 Einheiten unter dem Mittelwert von 6,6 der Untersuchungsgruppe.

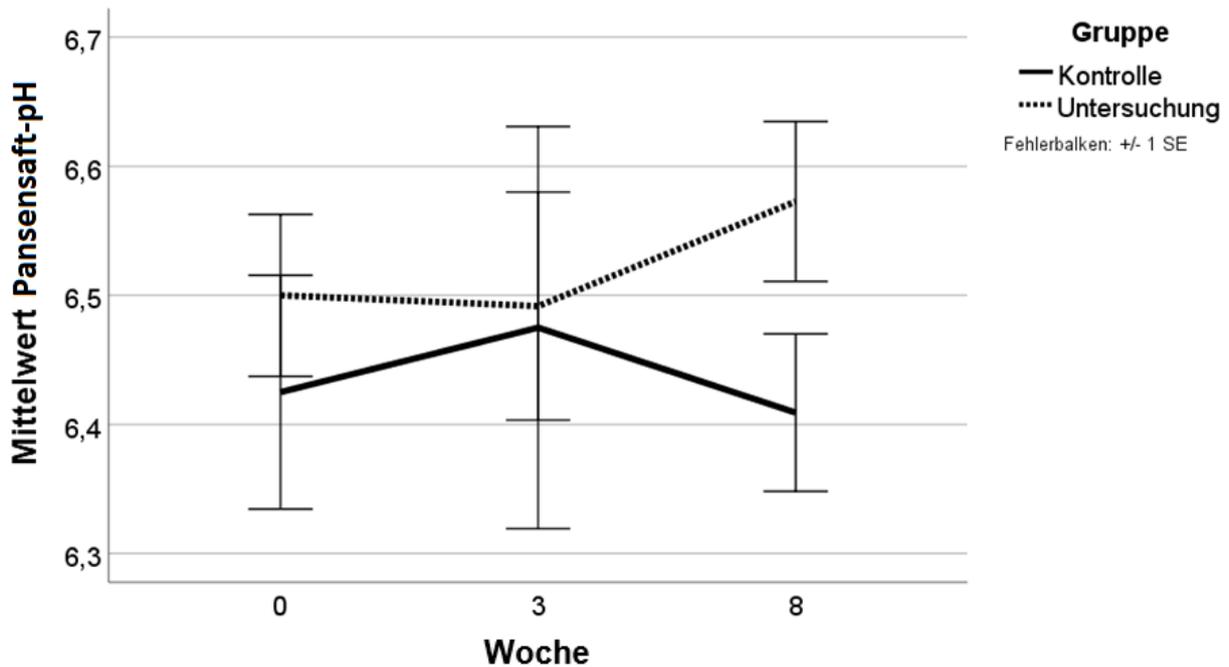


Abbildung 34: Pansensaft-pH

Im Pansensaftscoring wurden keine Unterschiede festgestellt (Tabelle 38). Die Probenwerte in Tabellenform sind im Anhang dargestellt (Tabellen 61 bis 63).

Tabelle 38: p-Werte des Gruppenvergleichs von Kontrolle und Untersuchung des Pansensaftscoring (chi-Quadrat-Test)

	Woche 0	Woche 3	Woche 8
Farbe	0,400	1,000	1,000
Geruch	0,497	0,191	0,347
Viskosität	0,667	1,000	1,000
Methylenblau	1,000	1,000	1,000
SAT	1,000	0,155	0,586
Infusorienanzahl	1,000	0,613	0,725
Infusorienbeweglichkeit	0,193	0,772	0,659
Infusorienverhältnis	0,888	0,659	1,000

4.3 Untersuchung DCAB-Absenkung (Sulfat) – Variationen

4.3.1 Ablauf der Untersuchung

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von Januar bis Mai 2018 über 19 Wochen. Das Ziel der dritten Untersuchung war es, durch den Einsatz des Minerals Calciumsulfat (CS-Dihydrat QS) die DCAB im Futter zu senken und in einem weiteren Abschnitt mit Natriumhydrogenkarbonat (BICAR® Z) die DCAB zwischen den Gruppen wieder auszugleichen.

In der Woche 0 erhielten beide Gruppen die gleiche Ration (Tabelle 39). Anschließend wurde im Abschnitt 3.1 der Untersuchungsgruppe 190 g Calciumsulfat pro Tier der Ration zugefügt. Dadurch wurde die DCAB auf -6 mEq/kg TM gesenkt.

Tabelle 39: Analytierte Ration Untersuchung 3.1 (Januar bis März 2018)
– Fütterungsergänzung von Casea

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)

In Abschnitt 3.2 fand ein Futtertausch zwischen den Gruppen statt, sodass die Kontrollgruppe nun 180 g Calciumsulfat zusätzlich erhielt und die Untersuchungsgruppe nur die Grundration gefüttert bekam (Tabelle 40). Die Bezeichnung der Gruppen in Abschnitt 3.2 und 3.3 wurde aus Abschnitt 3.1 fortgeführt. Aus diesem Grund erhielt die Kontrollgruppe in 3.2 trotz des Namens die supplementierte Ration, und die Untersuchungsgruppe erhielt die Grundration ohne anionisches Salz.

Tabelle 40: Analysierte Ration Untersuchung 3.2 (März bis April 2018)
– Tausch der Gruppen

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)

Anschließend wurde der Kontrollgruppe zusätzlich zum Sulfatsalz (hier 220 g gefüttert) 220 g BICAR® Z als Ausgleichsmineral für die DCAB-Differenz zugesetzt. Hierdurch sollte die DCAB beider Gruppen angeglichen werden (Tabelle 41).

Tabelle 41: Analysierte Ration Untersuchung 3.3 (April bis Mai 2018)
– Pufferung der anionischen Ration

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)

Um den Einfluss auf die Tiere zu messen, wurde täglich die Futteraufnahme gemessen und wöchentlich gemittelt. Die TMR wurde alle 1-2 Wochen auf ihre Inhaltsstoffe und die DCAB untersucht (Woche 0, 1, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16). Die Futterzusammensetzung war wie

folgt: 11 % Anwelksilage, 16 % Luzernesilage, 36 % Maissilage, 16 % Press-Schnitzel und 8 % Rapsextraktionsschrot.

An fünf Zeitpunkten wurden den Tieren Blutproben (Woche 0, 3, 8, 13, 16) und an elf Tagen Harnproben entnommen (Woche 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 14, 15, 16). Die Pansensaftentnahme und -untersuchung erfolgte an drei Zeitpunkten (Woche 0, 4, 9) nur in Abschnitt 3.1. Das Körpergewicht (KM), die Rückenfettdicke (RFD) und der Body Condition Score (BCS) wurden zu Beginn und Ende von Abschnitt 3.1 erhoben (Woche 0 und 8). Eine zusammenfassende Darstellung der Probenentnahmen findet sich in Tabelle 42.

Tabelle 42: Probenschema der dritten Untersuchung

Abschnitt	3.1									3.2					3.3				
Woche	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Futter-analyse	x	x		x		x		x	x	x		x		x	x	x	x		
Futter-aufnahme	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Blut	x			x					x					x			x		
Harn	x	x		x		x		x		x		x		x	x ⁹	x	x		
Pansensaft	x				x					x									
RFD, BW, BCS	x								x										

Die Verteilung der Kühe nach der Laktationsnummer über die Kontroll- und Untersuchungsgruppe erfolgte gleichmäßig (Abb. 35). Es gab keinen signifikanten Unterschied ($p=0,954$) zwischen den Gruppen.

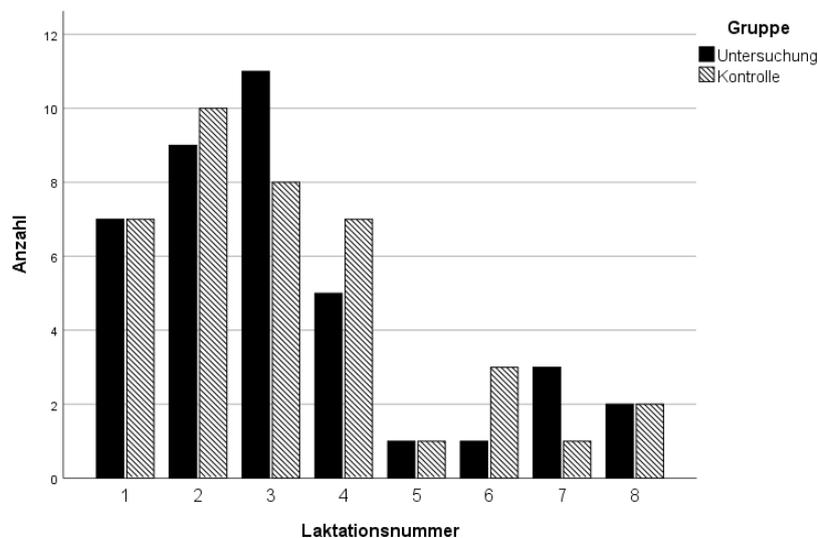


Abbildung 35: Verteilung der Laktationsnummern in den Untersuchungsgruppen ($p=0,954$)

⁹ Probenentnahme zwei Tage nach Rationswechsel

4.3.2 Body Condition Score, Lebendmasse und Rückenfettdicke

Zur Beurteilung des jeweiligen Gruppen- und Zeitvergleichs wurden der Body Condition Score, die Lebendmasse und die Rückenfettdicke der dritten Untersuchung in Form von Box Plots in den Abbildungen 36 bis 38 dargestellt.

Der **Body Condition Score** (Abb. 36) zeigt im Gruppen- und Zeitvergleich der ersten Untersuchung keinerlei signifikante Unterschiede. Der durchschnittliche Median liegt bei 2,5 Einheiten. Es fällt auf, dass in der Untersuchungsgruppe Maximalwerte (ohne Ausreißer) von 4,25 erreicht wurden. In der Kontrollgruppe konnten nur Maximalwerte (ohne Ausreißer) von 3,00 (Woche 0) bzw. 3,25 (Woche 8) gemessen werden. Der Interquartilsbereich ist, zeitlich unabhängig, bei dieser Gruppe im Schnitt um 0,5 Einheiten größer als bei der Kontrollgruppe.

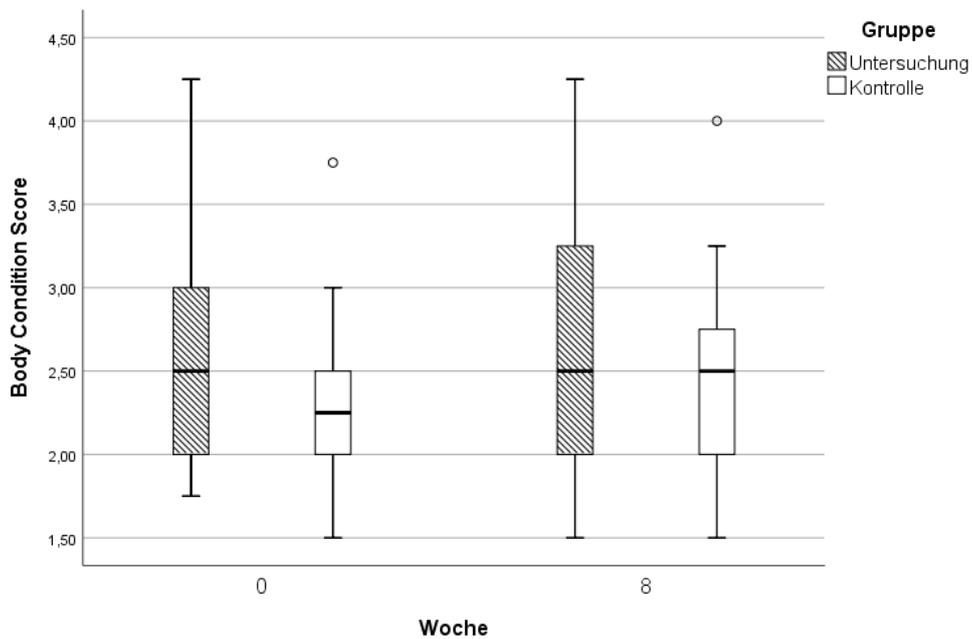


Abbildung 36: Body Condition Score

T-Test: Zeit $p=0,268$; Gruppe (Woche 0) $p=0,086$; (Woche 8) $p=0,236$

Die **Lebendmasse** (Abb. 37) zeigt keinerlei signifikante Gruppen- und Zeitunterschiede in den Wochen 0 und 8. Der Median der Untersuchungsgruppe liegt etwas höher als bei der Kontrollgruppe. Der Mittelwert der Mediane beträgt 688 kg.

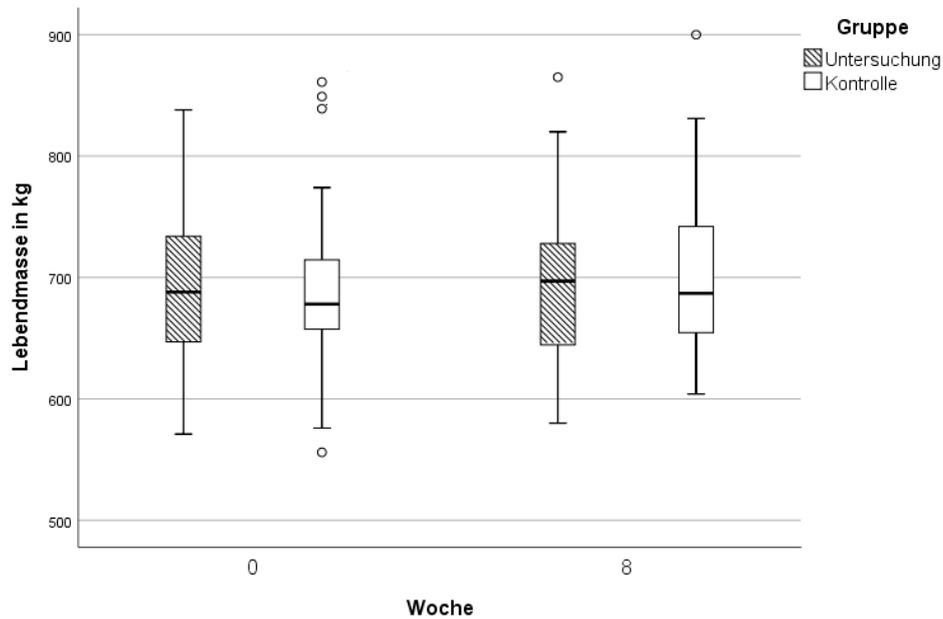


Abbildung 37: Lebendmasse
T-Test: Zeit $p=0,467$; Gruppe (Woche 0) $p=0,863$; (Woche 8) $p=0,676$

Die **Rückenfetttdicke** (Abb. 38) zeigt, wie die Lebendmasse, keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen und den Wochen 0 und 8. Der Mittelwert der Mediane liegt bei 12 mm.

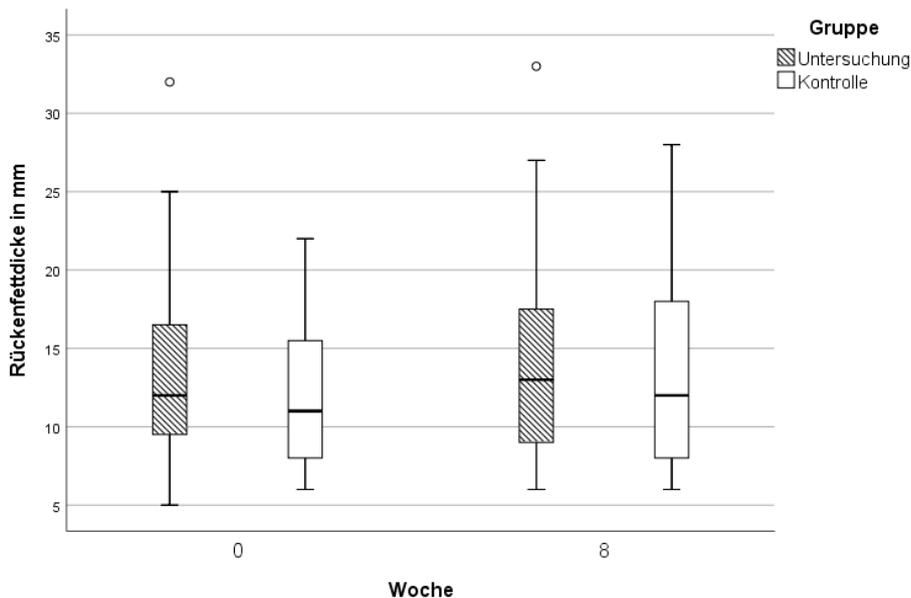


Abbildung 38: Rückenfetttdicke
T-Test: Zeit $p=0,192$; Gruppe (Woche 0) $p=0,257$; (Woche 8) $p=0,397$

4.3.3 Futter

In Woche 0 erhielten alle Tiere dieselbe Ration mit gleicher **DCAB**, was in Abbildung 39 mit einem gleichen Startpunkt des Graphen ersichtlich ist (+1631 mEq/Tier/Tag). Dies entspricht bei einer durchschnittlichen Trockenmasseaufnahme (TMA) von 26 kg/Tier einem relativen Wert von ca. +63 mEq/kg TM. Ab Woche 1 beginnt der erste Abschnitt der Untersuchung (Abschnitt 3.1). Hier zeigt sich ein hoch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Die Kontrollgruppe nahm über die Ration von Woche 1 bis 9 im Mittel eine DCAB von +3526 mEq/Tier/Tag auf (bei 25 kg TMA ca. +141 mEq/kg TM). Die Untersuchungsgruppe, welche ab Woche 1 mit dem Mineralzusatz gefüttert wurde, nahm über das Futter im Schnitt bis Woche 9 -138 mEq/Tier/Tag auf (bei 26 kg TMA ca. -5 mEq/kg TM). Von Woche 10 bis 14 (Abschnitt 3.2) wurden die Gruppen getauscht, was eine signifikante Umkehr des Graphenverlaufs zur Folge hatte. Nun erhielt die Kontrollgruppe das mineralsupplementierte Futter und nahm über die Ration eine durchschnittliche DCAB von -318 mEq/Tier/Tag auf, was bei einer durchschnittlichen Futteraufnahme von 23 kg TM einem DCAB-Wert von -14 mEq/kg TM entspricht. Die Untersuchungsgruppe nahm über die Ration im Schnitt täglich eine DCAB von +3264 mEq/Tier auf (bei 24 kg TMA entspricht dies +136 mEq/kg TM). In Woche 14 – nach der Futterprobenentnahme – wurde durch Natriumhydrogenkarbonatzufütterung in der mineralsupplementierten Gruppe ein Ausgleich der DCAB durch Erhöhung derselben herbeigeführt. Diese zeigt sich erst in Woche 15, da dort die nächste Futterprobe entnommen wurde und die Veränderung gemessen werden konnte. Der Mittelwert der über die Ration aufgenommenen DCAB der Kontrollgruppe (Mineral+Natriumhydrogenkarbonat) betrug nun +2423 mEq/Tier/Tag (bei 23 kg TMA entsprechend +105 mEq/kg TM) und bei der Untersuchungsgruppe (nur Grundration) +2718 mEq/Tier/Tag (bei 24 kg TMA entsprechend +113 mEq/kg TM). Trotz Ausgleich der DCAB besteht im letzten Abschnitt ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

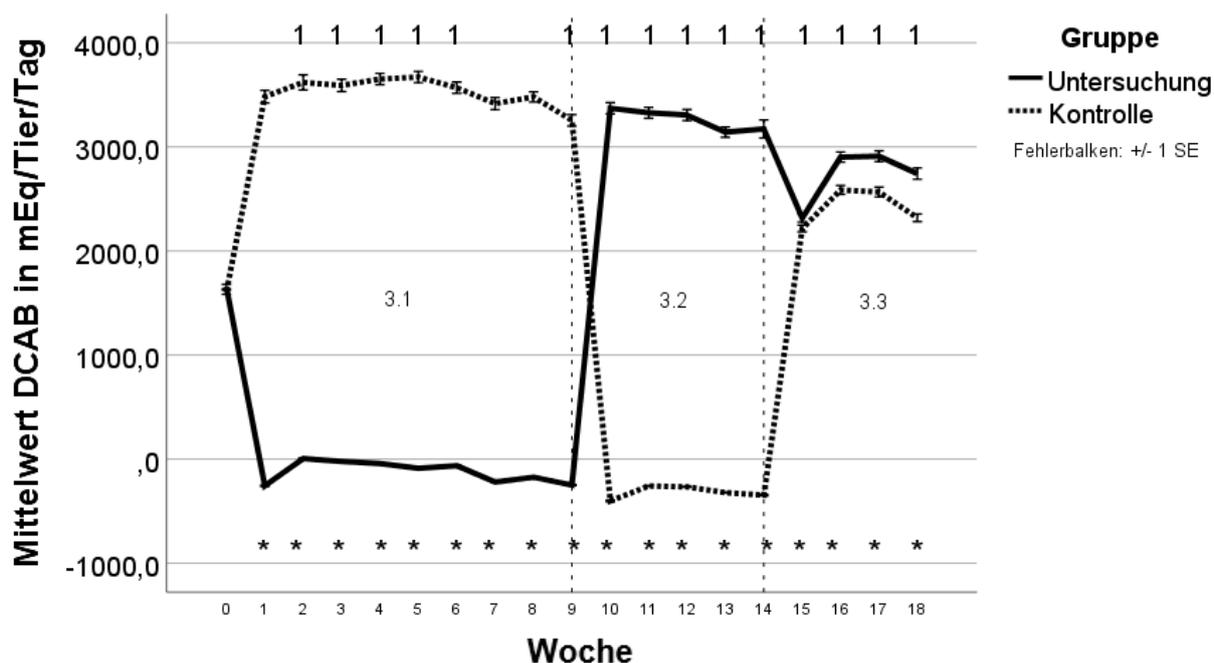


Abbildung 39: Tägliche DCAB-Aufnahme (wöchentliches Mittel)

Die errechneten p-Werte der festen Effekte zu den Gruppen, der Zeit und Interaktionen sind zu den einzelnen Untersuchungsabschnitten in Tabelle 43 dargestellt.

Tabelle 43: Test auf feste Effekte in den Untersuchungsabschnitten – DCAB

	Gruppe	Zeit	Interaktion (Gruppe/Zeit)
3.1	<0,001	<0,001	<0,001
3.2	<0,001	0,005	0,005
3.3	<0,001	<0,001	0,002

Die aufgenommene **Kaliummenge** (Abb. 40) unterscheidet sich in Woche 0 nicht signifikant (Kontrolle: 278,5 g/Tier/Tag (bei 26 kg TMA entspricht das 10,71 g/kg TM); Untersuchung: 286,2 g/Tier/Tag (bei 26 kg TMA entspricht das 11,0 g/kg TM)). Es ist in der Kontrollgruppe ein Anstieg der Werte bis in Woche 5 (Mittelwert: 297,8 g/Tier/Tag bei 25 kg TMA entspricht das 11,9 g/kg TM) zu verzeichnen. Danach fallen die Werte bis Woche 14 auf ein Minimum von 242,4 g/Tier/Tag ab (bei 25 kg TMA entspricht das 9,7 g/kg TM), um anschließend wieder leicht anzusteigen. Die Werte der Untersuchungsgruppe folgen denen der Kontrollgruppe mit einem ähnlichen Verlauf. Bis Woche 2 steigen die Kaliumwerte auf den Maximalwert von 295,4 g/Tier/Tag (bei 26 kg TMA entspricht das 11,4 g/kg TM) an und fallen anschließend bis Woche 9 ab (Mittelwert: 263,0 g/Tier/Tag bei 26 kg TMA entspricht das 10,1 g/kg TM). Nach dem Futtertausch steigen die Werte in der Untersuchungsgruppe in der Woche 10 rapide an auf

Werte von 282,3 g/Tier/Tag (bei 24 kg TMA entspricht das 11,8 g/kg TM). Anschließend fallen die Werte bis Woche 13 auf ein Minimum von 259,4 g/Tier/Tag (bei 24 kg TMA entspricht das 10,8 g/kg TM), um dann parallel zur Kontrollgruppe wieder anzusteigen. Die signifikanten Gruppenunterschiede nach post-hoc Test begrenzen sich auf Woche 8, 10, 11, 13, 14, 15, 16 und 18. Es fällt auf, dass nach dem Gruppentausch in Woche 9 eine gegensätzliche Bewegung der Kaliumwerte zu finden ist. Die Gruppe, welche das Mineral neu erhält, fällt stark im Kaliumwert ab, während die Werte der Gruppe ohne Mineral steil ansteigen.

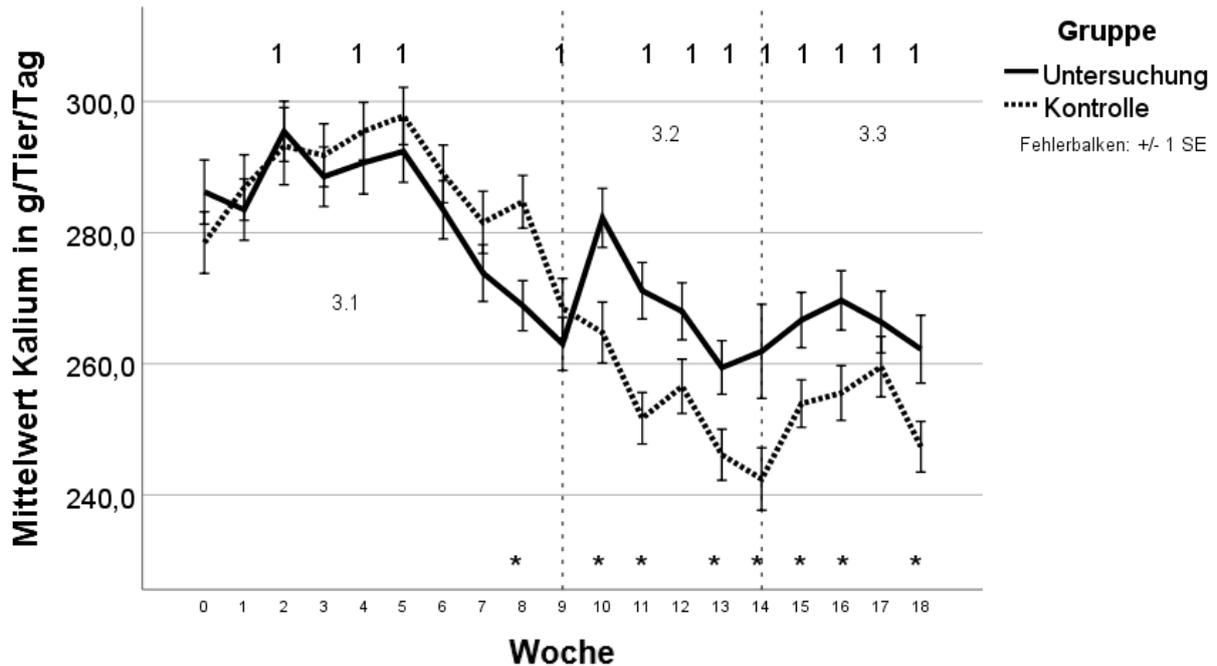


Abbildung 40: Tägliche Kalium-Aufnahme (wöchentliches Mittel)

Die errechneten p-Werte der festen Effekte zu den Gruppen, der Zeit und Interaktionen sind zu den einzelnen Untersuchungsabschnitte in Tabelle 44 dargestellt.

Tabelle 44: Test auf feste Effekte in den Untersuchungsabschnitten – Kaliumaufnahme

	Gruppe	Zeit	Interaktion (Gruppe/Zeit)
3.1	0,045	<0,001	0,539
3.2	<0,001	<0,001	0,870
3.3	<0,001	0,220	0,790

Die aufgenommene **Natriummenge** (Abb. 41) in Woche 0 hat in beiden Gruppen ähnliche Startpunkte (Kontrolle: 47,6 g/Tier/Tag (bei 23 kg TMA entspricht das 2,1 g/kg TM) / Untersuchung: 48,9 g/Tier/Tag (bei 24 kg TMA entspricht das 2,0 g/kg TM)). Ab Woche 1 unterscheiden sich die Gruppen signifikant. Die Kontrollgruppe nimmt im Schnitt bis Woche 9 55,5 g/Tier/Tag (bei 23 kg TMA entspricht das 2,4 g/kg TM) auf, während die

Untersuchungsgruppe nur 45,9 g/Tier/Tag zu sich nimmt (bei 24 kg TMA entspricht das 1,9 g/kg TM). Dieses Verhältnis wird durch den Futtertausch nach Woche 9 umgekehrt (bis Woche 14). Hier erhält die ehemalige Kontrollgruppe nur noch 43,8 g/Tier/Tag (bei 23 kg TMA entspricht das 1,9 g/kg TM) und die ehemalige Untersuchungsgruppe 55,1 g/Tier/Tag (bei 24 kg TMA entspricht das 2,3 g/kg TM). Durch die Natriumhydrogenkarbonatzufütterung ab Woche 15 steigen die Werte der ehemaligen Kontrollgruppe drastisch an auf 73,2 g/Tier/Tag (bei 23 kg TMA entspricht das 3,2 g/kg TM), um die restliche Zeit der Untersuchung auf diesem Niveau zu verbleiben.

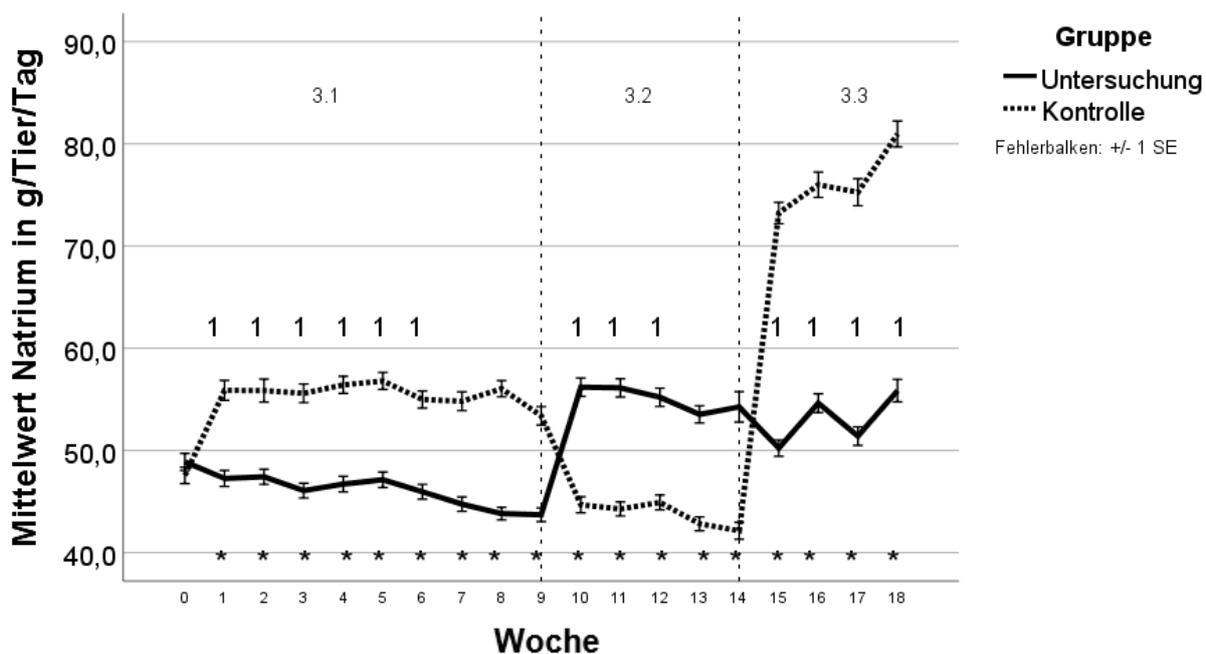


Abbildung 41: Tägliche Natriumaufnahme (wöchentliches Mittel)

Die errechneten p-Werte der festen Effekte zu den Gruppen, der Zeit und Interaktionen sind zu den einzelnen Untersuchungsabschnitten in Tabelle 45 dargestellt.

Tabelle 45: Test auf feste Effekte in den Untersuchungsabschnitten – Natriumaufnahme

	Gruppe	Zeit	Interaktion (Gruppe/Zeit)
3.1	<0,001	<0,001	<0,001
3.2	<0,001	0,014	0,826
3.3	<0,001	<0,001	0,382

4.3.4 Blut

Im Blut wurden die Parameter pH, $p\text{CO}_2$, HCO_3 , BE an vier Zeitpunkten (Tabelle 46) und Natrium und Kalium an fünf Zeitpunkten bestimmt und verglichen (Tabelle 47). Die Wochen 0, 3 und 8 fallen in den ersten Abschnitt. In beiden Folgeabschnitten wurde jeweils eine Blutentnahme vorgenommen.

In Woche 0 zeigen sich keine signifikanten Gruppenunterschiede (Tabelle 46). Es bestehen bei den Parametern pH, HCO_3 und BE in Woche 8 signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Dabei liegt der pH-Wert in der Kontrollgruppe um 0,02 Einheiten höher als in der Untersuchungsgruppe. Der HCO_3 -Wert und der BE liegen in der Kontrollgruppe um 2,2 mmol/l bzw. 2,4 mmol/l höher als in der Untersuchungsgruppe. Über die Zeit zeigen sich von Woche 0 zu Woche 8 signifikante Unterschiede bei den Parametern pH, HCO_3 und BE der Kontrollgruppe. Der pH-Wert steigt um 0,02 Einheiten. Der HCO_3 -Wert steigt um 2,4 mmol/l und der BE-Wert steigt von 2,6 Einheiten auf 4,4 (Mittelwerte). In der Untersuchungsgruppe kann nur ein signifikanter Abfall des BE-Werts über die Zeit festgestellt werden. In Woche 13 besteht nur beim BE ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. In der Sulfat-ergänzten Gruppe liegt der BE niedriger als in der Gruppe, welche die Grundration erhielt. Im zeitlichen Vergleich von Woche 8 (Abschnitt 3.1) zu Woche 13 (Abschnitt 3.2) kehren sich die Verhältnisse in der Kontrollgruppe komplett um. Alle vier Parameter des Säure-Basen-Haushalts fallen ab. In der Untersuchungsgruppe zeigen sich nach Absetzen des anionischen Salzes in Woche 9 keine signifikanten Unterschiede. In Woche 16 liegen die BE-Werte in beiden Gruppen nah beieinander, aber auf niedrigem Niveau zwischen 0,1 und 0,6 mmol/l. Es liegen für alle vier SBH-Parameter keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen vor. Im Vergleich zwischen Woche 13 und 16 kann nur ein signifikanter Unterschied zwischen den $p\text{CO}_2$ -Werten festgestellt werden. Dieser zeigt einen Anstieg in der Kontrollgruppe bei zusätzlicher Pufferung der Schwefel-supplementierten Ration mit Natriumhydrogenkarbonat.

Tabelle 46: Blutwerte zum Säure-Basen-Haushalt

Woche 0	Untersuchung			Kontrolle		
	n	MW	s	n	MW	s
pH	39	7,37	0,025	39	7,36a	0,025
pCO ₂ (mmHg)	39	51,2	4,658	39	51,2	4,607
HCO ₃ (mmol/l)	39	28,3	1,852	39	27,2a	4,637
BE (mmol/l)	39	3,1a	1,555	39	2,6a	1,847
Woche 8	Untersuchung (S)			Kontrolle		
	n	MW	s	n	MW	s
pH	38	7,36*	0,293	39	7,38*ba	0,284
pCO ₂ (mmHg)	38	51,0	4,915	39	51,8a	3,890
HCO ₃ (mmol/l)	38	27,4*	2,531	39	29,6*ba	2,021
BE (mmol/l)	38	2,0*b	2,212	39	4,4*ba	1,941
Woche 13	Untersuchung			Kontrolle (S)		
	n	MW	s	n	MW	s
pH	38	7,37	0,020	38	7,36b	0,029
pCO ₂ (mmHg)	38	49,3	3,269	38	48,8ba	4,891
HCO ₃ (mmol/l)	38	27,0	1,469	38	26,2b	1,984
BE (mmol/l)	38	2,1*	1,314	38	1,1*b	1,758
Woche 16	Untersuchung			Kontrolle (S+Na)		
	n	MW	s	n	MW	s
pH	36	7,34	0,065	37	7,33	0,110
pCO ₂ (mmHg)	36	50,1	5,662	37	52,2b	7,445
HCO ₃ (mmol/l)	36	26,2	3,791	37	26,2	4,738
BE (mmol/l)	36	0,6	4,562	37	0,1	5,518

*...signifikanter Gruppenunterschied ($p < 0,05$); a+b...signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,05$); S...schwefelhaltiges Mineral; Na...Natriumhydrogenkarbonat

Zu Beginn der Untersuchung zeigen sich in Woche 0 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ionenkonzentrationen der Gruppen. In Woche 3 liegt die Kaliumkonzentration der Untersuchungsgruppe 0,2 mmol/l signifikant über dem Wert der Kontrollgruppe. Nach dem Futtertausch nehmen die Ionenkonzentrationen von Natrium und Kalium in der Kontrollgruppe signifikant von Woche 8 bis 13 zu. Die Natriumkonzentration zeigt über den kompletten Verlauf der Untersuchung signifikante Unterschiede über die Zeit. So steigen die Werte beider Gruppen von Woche 0 zu 3 parallel an. Im nächsten Zeitvergleich zwischen Woche 3 und 8 fallen beide Gruppenwerte gleich ab, um zum nächsten Messzeitpunkt in Woche 13 wieder anzusteigen. Für die Kaliumkonzentration ist nur in der Kontrollgruppe ein signifikanter Effekt über die Zeit zu verzeichnen. Dieser zeigt sich mit einem Abfall um 0,2 mmol/l von Woche 0

zu 3 und einem signifikanten Anstieg von Woche 8 bis 13. In Woche 16 nach Ausgleich der DCAB zwischen den Gruppen gibt es keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 47: Ionenkonzentrationen von Natrium und Kalium im Blut

Woche 0	Untersuchung			Kontrolle		
	n	MW	s	n	MW	s
Na (mmol/l)	39	141a	3,445	39	142a	3,738
K (mmol/l)	39	4,9	0,314	39	4,9a	0,434
Woche 3	Untersuchung (S)			Kontrolle		
	n	MW	s	n	MW	s
Na (mmol/l)	39	143ba	2,637	39	143ba	2,477
K (mmol/l)	39	4,9*	0,382	39	4,7*b	0,278
Woche 8	Untersuchung (S)			Kontrolle		
	n	MW	s	n	MW	s
Na (mmol/l)	38	140ba	2,230	39	141ba	1,854
K (mmol/l)	38	4,9	0,373	39	4,8a	0,431
Woche 13	Untersuchung			Kontrolle (S)		
	n	MW	s	n	MW	s
Na (mmol/l)	38	142b	2,845	38	143b	2,236
K (mmol/l)	38	4,9	0,393	38	5,0b	0,392
Woche 16	Untersuchung			Kontrolle (S+Na)		
	n	MW	s	n	MW	s
Na (mmol/l)	36	143	1,495	37	143	1,686
K (mmol/l)	36	4,8	0,296	37	4,9	0,327

*...signifikanter Gruppenunterschied ($p < 0,05$); a+b...signifikanter Zeitunterschied ($p < 0,05$); S...schwefelhaltiges Mineral; Na...Natriumhydrogenkarbonat

4.3.5 Harn

Der **Harn-pH** (Abb. 42) zeigt während der Untersuchung einen sehr ähnlichen Verlauf wie die **NSBA** (Abb. 43). Im ersten Abschnitt starten beide Parameter in Woche 0 mit jeweils nah beieinanderliegenden Werten (pH: Kontrolle 7,85; Untersuchung 7,75 / NSBA: Kontrolle 96 mmol/l; Untersuchung 84 mmol/l). Ab Woche 1 bewegen sich die Werte der Gruppen auseinander. Die Kontrollwerte steigen im Vergleich zu den Untersuchungswerten an. Die Werte der Untersuchungsgruppe bleiben m. o. w. konstant bis Woche 9 (im Schnitt: pH: Kontrolle 8,21; Untersuchung 7,43 / NSBA: Kontrolle 173 mmol/l; Untersuchung 26 mmol/l). In Abschnitt 3.2 kehren sich die Werte nach dem Futtertausch der Gruppen um. Bei der Kontrollgruppe fallen die Werte auf ein ähnliches Maß, welches die Untersuchungsgruppe in Woche 9 in Abschnitt 3.1 hat. Die Untersuchungsgruppe erreicht durch den Anstieg der Werte in Woche 11 die Kontrollgruppenwerte aus 3.1 (Woche 9). Diese Situation hält sich in der Kontrollgruppe bis Woche 13 (im Schnitt: pH: Kontrolle 7,53; Untersuchung 8,4/ NSBA: Kontrolle 19 mmol/l; Untersuchung 170 mmol/l). Die Untersuchungsgruppe hält die Werte aus Abschnitt 3.2 bis zum Ende der Untersuchung weitestgehend konstant (Abschnitt 3.3). Ab Woche 14 steigen die Werte der Kontrollgruppe soweit an, dass sie sich denen der Untersuchungsgruppe angleichen (im Schnitt: pH: Kontrolle 8,28; Untersuchung 8,34/ NSBA: Kontrolle 121 mmol/l; Untersuchung 148 mmol/l). Jedoch besteht weiterhin ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. In Tabelle 48 und 49 sind die festen Effekte auf die Gruppe, Zeit und Interaktionen zwischen Gruppe und Zeit für den Harn-pH und NSBA dargestellt.

Tabelle 48: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – Harn-pH

	Gruppe	Zeit	Interaktion (Gruppe/Zeit)
3.1	<0,001	<0,001	<0,001
3.2	<0,001	<0,001	<0,001
3.3	0,007	0,001	0,076

Ergebnisse

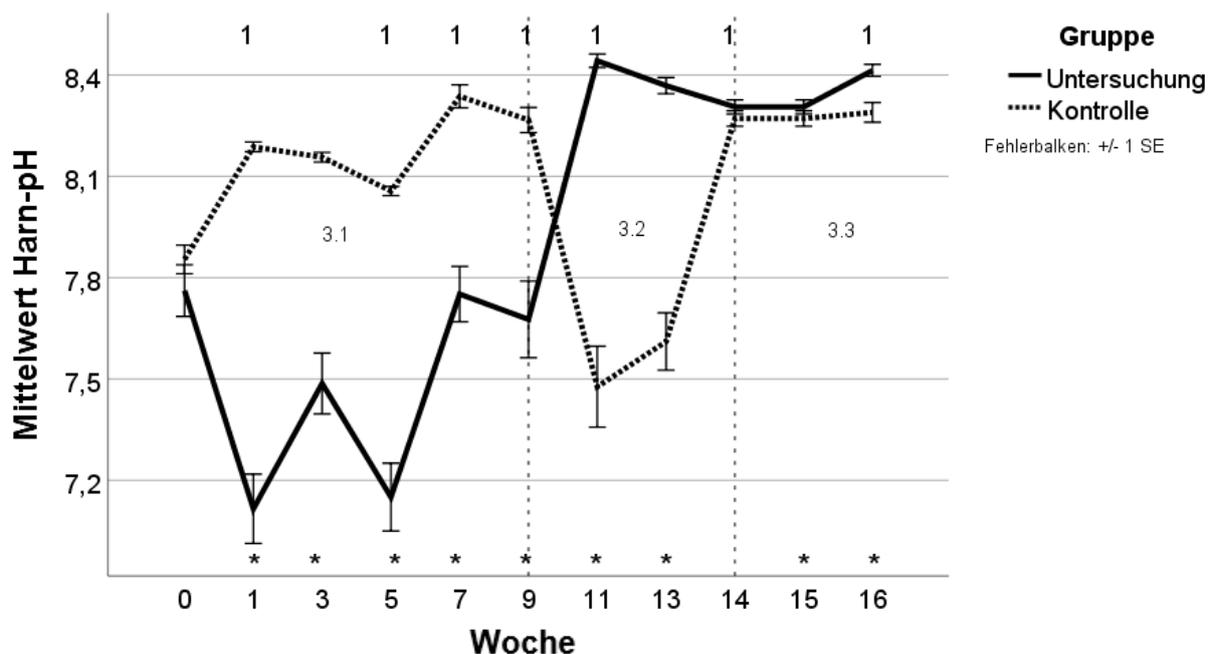


Abbildung 42: Harn-pH in den drei Abschnitten (3.1/ 3.2/ 3.3)

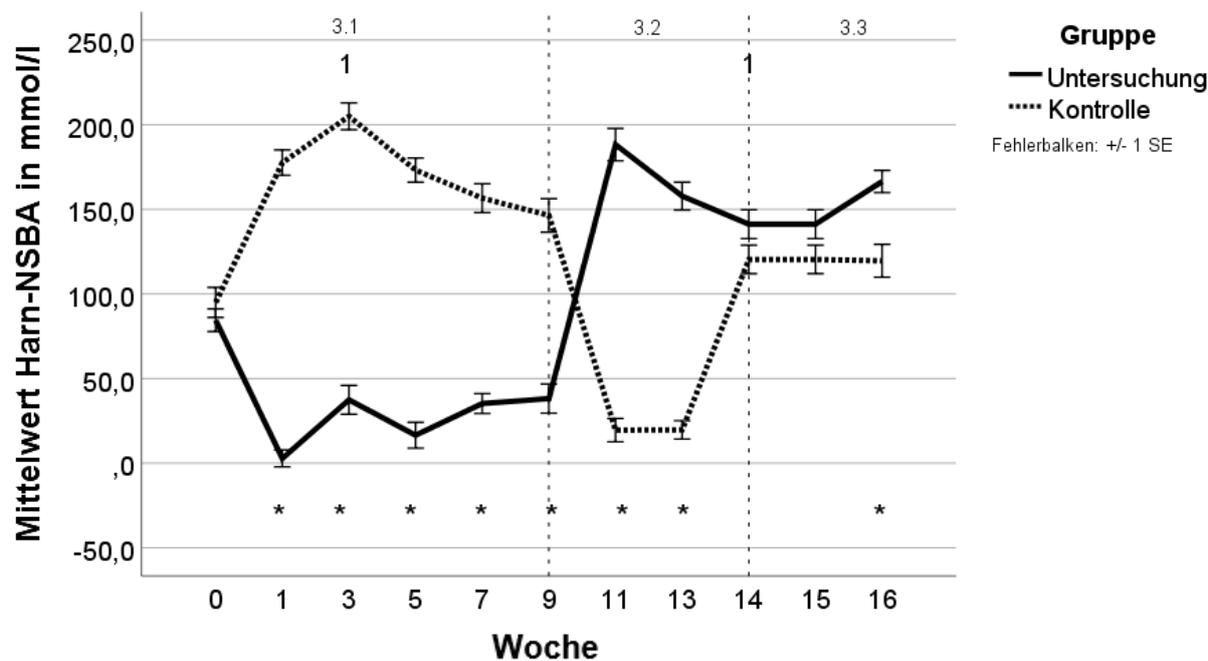


Abbildung 43: Harn-NSBA in den drei Abschnitten (3.1/ 3.2/ 3.3)

Tabelle 49: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – NSBA

	Gruppe	Zeit	Interaktion (Gruppe/Zeit)
3.1	<0,001	<0,001	<0,001
3.2	<0,001	<0,001	<0,001
3.3	<0,001	0,249	0,208

Die **Calcium**ausscheidung über den Harn (Abb. 44) weist im Verlauf eine umgekehrte Proportionalität zum Graphenverlauf vom Harn-pH und der NSBA auf. Auf Woche 0 (Kontrolle: 6,03 mmol/l und Untersuchung: 4,29 mmol/l) folgend, steigt die Calciumkonzentration im Harn der Untersuchungsgruppe in Woche 1 auf einen Mittelwert von 11,02 mmol/l an (Abschnitt 3.1) Dieses Niveau hält sich bis Woche 9 (Schnitt: 11,07 mmol/l). Die Kontrollgruppe dagegen fällt in Woche 1 auf einen Mittelwerte von 0,98 mmol/l ab und hält diese ebenfalls bis Woche 9 (Schnitt: 1,28 mmol/l). Nach dem Futtertausch in Woche 9 zeigt sich eine Umkehr der Werte zwischen den Gruppen. Dabei fallen die Mittelwerte der Untersuchungsgruppe im Schnitt auf 2,46 mmol/l ab und die Mittelwerte der Kontrollgruppe steigen im Mittel auf 10,39 mmol/l an (Abschnitt 3.2). Während die Untersuchungsgruppe die Werte bis zum Ende der Untersuchung hält, nähern sich die Mittelwerte der Kontrollgruppe ab Woche 14 (Abschnitt 3.3) denen der Untersuchungsgruppe an (Kontrolle: 4,19 mmol/l; Untersuchung: 2,05 mmol/l). In Tabelle 50 sind die festen Effekte von Harn-Calcium über die drei Abschnitte dargestellt.

Tabelle 50: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – Harn-Calcium

	Gruppe	Zeit	Interaktion (Gruppe/Zeit)
3.1	<0,001	0,045	<0,001
3.2	<0,001	0,001	<0,001
3.3	<0,001	0,321	0,632

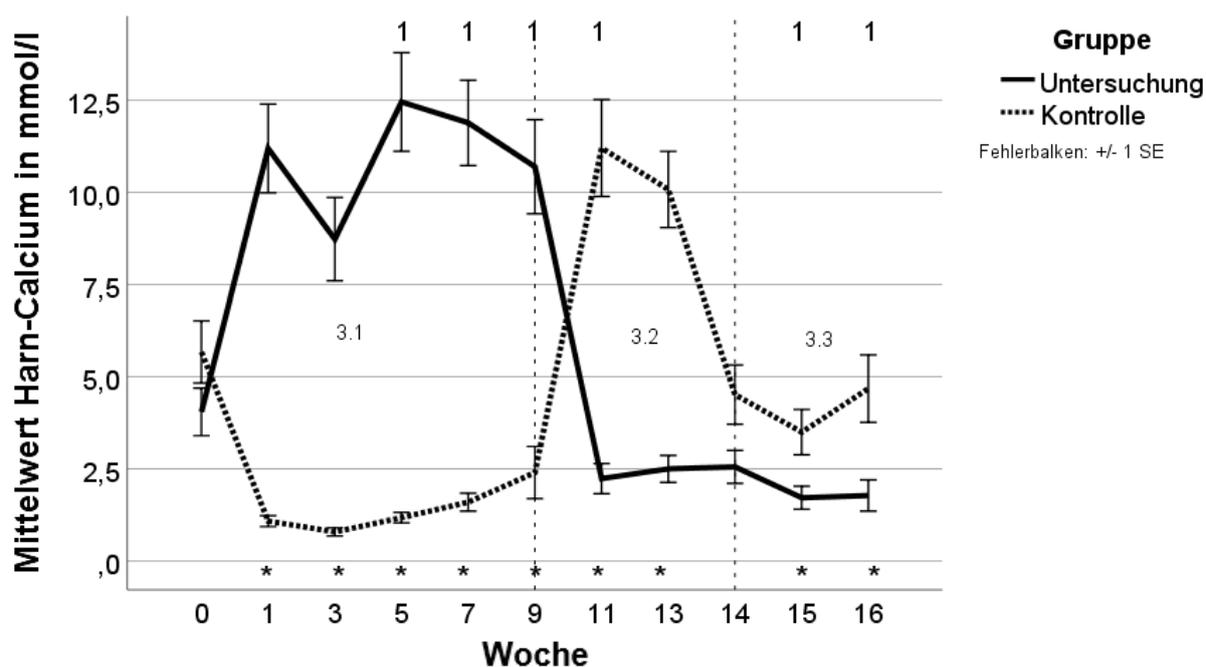


Abbildung 44: Harn-Calcium in den drei Abschnitten (3.1/ 3.2/ 3.3)

Die **Natrium**ausscheidung (Abb. 45) startet in Woche 0 in der Kontrollgruppe mit dem Mittelwert 30,73 mmol/l und in der Untersuchungsgruppe mit 34,89 mmol/l. In der Kontrollgruppe steigen die Mittelwerte bis Woche 3 auf 93,27 mmol/l an, um danach bis Woche 7 auf 44,97 mmol/l abzufallen. Im zweiten Abschnitt steigen die Mittelwerte nochmals an auf den maximalen Mittelwert der Untersuchung 121,98 mmol/l. Bis zum Ende fallen die Werte auf 58,92 mmol/l ab. Die Untersuchungsgruppe steigt ab Woche 3 mit mäßiger Steigung bis Woche 13 von 55,97 mmol/l auf 104,93 mmol/l und fällt anschließend bis zum Ende der Untersuchung auf 58,52 mmol/l ab. Signifikante Gruppenunterschiede zeigen sich nur in den Wochen 3, 5, 11, 13 und 14. Die langsam erfolgende Steigerung aller Werte ab Beginn der Untersuchung ist über die Zeit signifikant. In Tabelle 51 werden die festen Effekte der Harn-Natriumausscheidung über die drei Abschnitte dargestellt.

Tabelle 51: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – Harn-Natrium

	Gruppe	Zeit	Interaktion (Gruppe/Zeit)
3.1	<0,001	<0,001	<0,001
3.2	0,703	<0,001	<0,001
3.3	0,005	<0,001	0,167

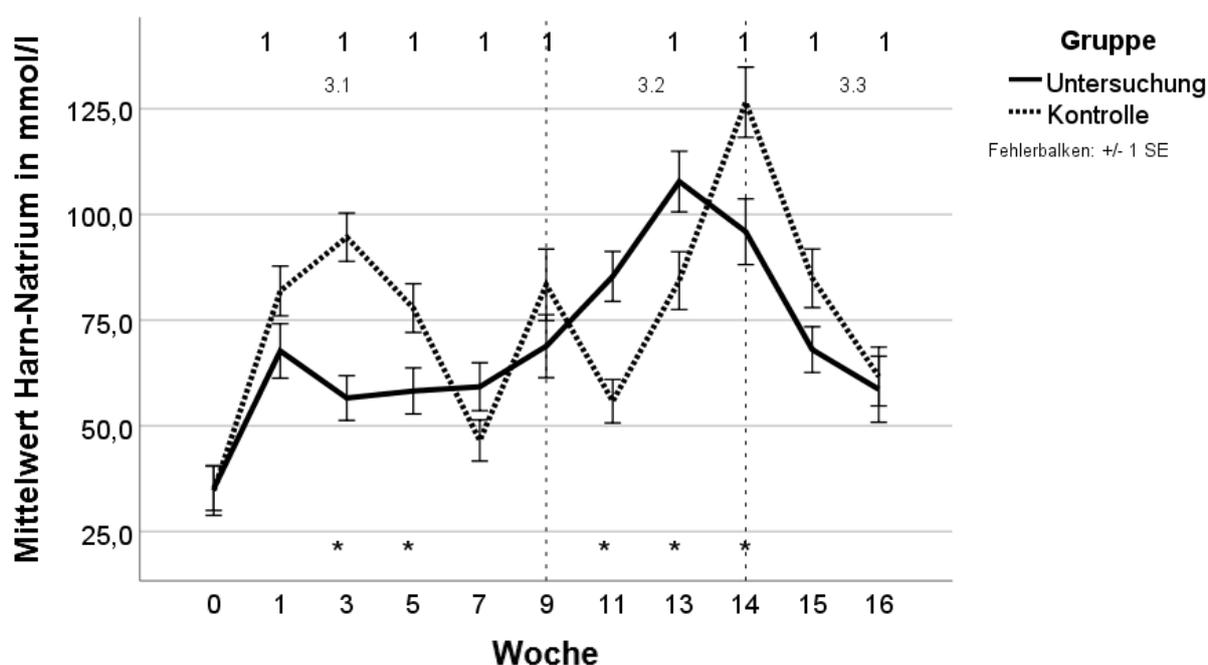


Abbildung 45: Harn-Natrium in den drei Abschnitten (3.1/ 3.2/ 3.3)

Die **Chloridausscheidung** über den Harn (Abb. 46) weist zu Beginn in Woche 0 nahe beieinander liegende Werte der beiden Gruppen auf (Kontrolle: 61,15 mmol/l; Untersuchung: 58,88 mmol/l). Ab Woche 1 zeigt sich ein ähnlicher Verlauf wie zur selben Zeit bei der Calciumausscheidung (s. o.). Die Untersuchungsgruppe hat im Schnitt um 55,10 mmol/l höhere Mittelwerte als die Kontrollgruppe. Von Woche 1 bis 9 liegen die Werte der Kontrollgruppe im Mittel bei 31,65 mmol/l und in der Untersuchungsgruppe bei 86,75 mmol/l. Nach dem Futtertausch in Woche 9 zeigt sich ebenfalls ein Tausch in der Chloridkonzentration des Harns, sodass die Untersuchungsgruppe nun einen Mittelwert von 41,93 mmol/l und die Kontrollgruppe 105,38 mmol/l erreicht. Im Unterschied zur Calciumausscheidung steigt in Woche 13 der Chloridgehalt im Harn auf 85,25 mmol/l und hält dieses Niveau bis zum Ende der Untersuchung, während in der Kontrollgruppe ab Woche 15 ein starker Abfall der Werte von 118,91 mmol/l auf 38,99 mmol/l in Woche 16 zu verzeichnen ist. In Tabelle 52 sind die festen Effekte der Chloridausscheidung über den Harn auf Zeit, Gruppe und Interaktionen zwischen beiden dargestellt.

Tabelle 52: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – Harn-Chlorid

	Gruppe	Zeit	Interaktion (Gruppe/Zeit)
3.1	<0,001	0,002	<0,001
3.2	<0,001	<0,001	<0,001
3.3	0,531	<0,001	<0,001

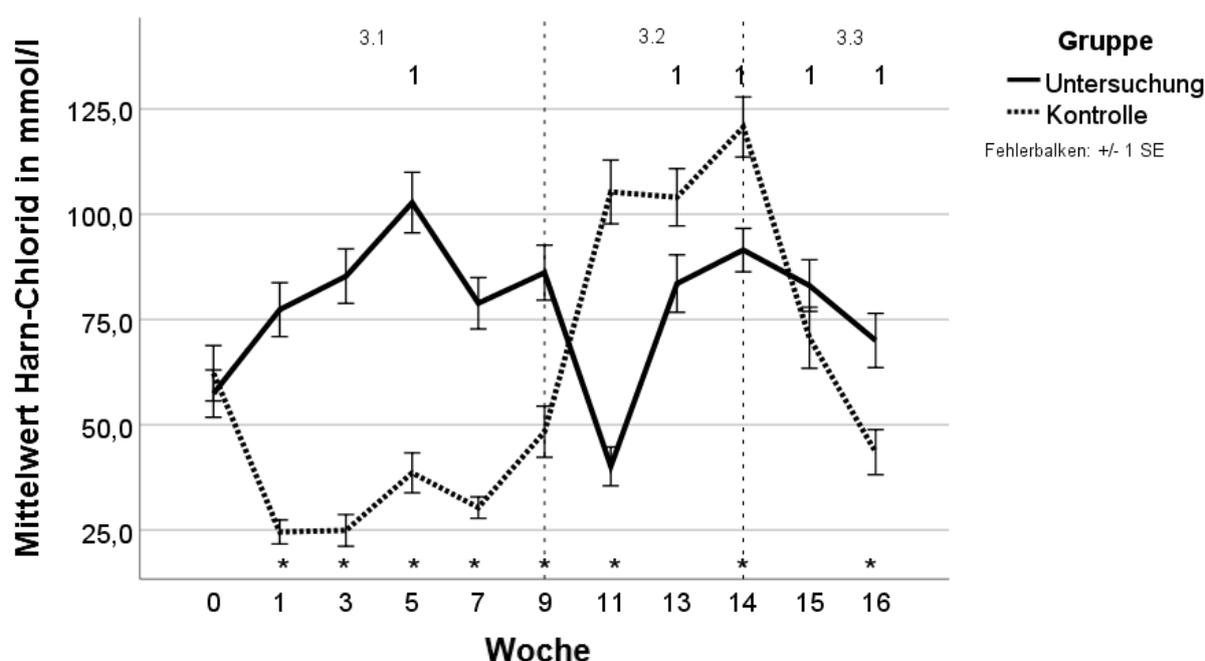


Abbildung 46: Harn-Chlorid in den drei Abschnitten (3.1/ 3.2/ 3.3)

Die Harnkonzentrationen von Kalium, Magnesium, Phosphor und Creatinin weisen kaum signifikante Gruppen- und Zeiteffekte auf und sind im Anhang hinterlegt (Abb. 52 bis 55 bzw. Tabellen 54 bis 57).

4.3.6 Pansensaft

In der dritten Untersuchung wurde die Parametergruppe Pansensaft nur im ersten Abschnitt (3.1) gemessen. Die Gruppen starten mit ähnlichem Pansensaft-pH von 6,32 (Untersuchung) bzw. 6,33 (Kontrolle) und unterscheiden sich signifikant in der 4. Woche (Abb. 47). Hier sinkt der Mittelwert des pH-Werts der Untersuchungsgruppe auf 6,01. Die Kontrollgruppe bleibt bei einem Wert von 6,36. In Woche 9 steigt der pH-Wert der Untersuchungsgruppe auf 6,43 an. Dabei liegt der Wert höher als der der Kontrollgruppe (Mittelwert 6,32). Es liegt kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen vor.

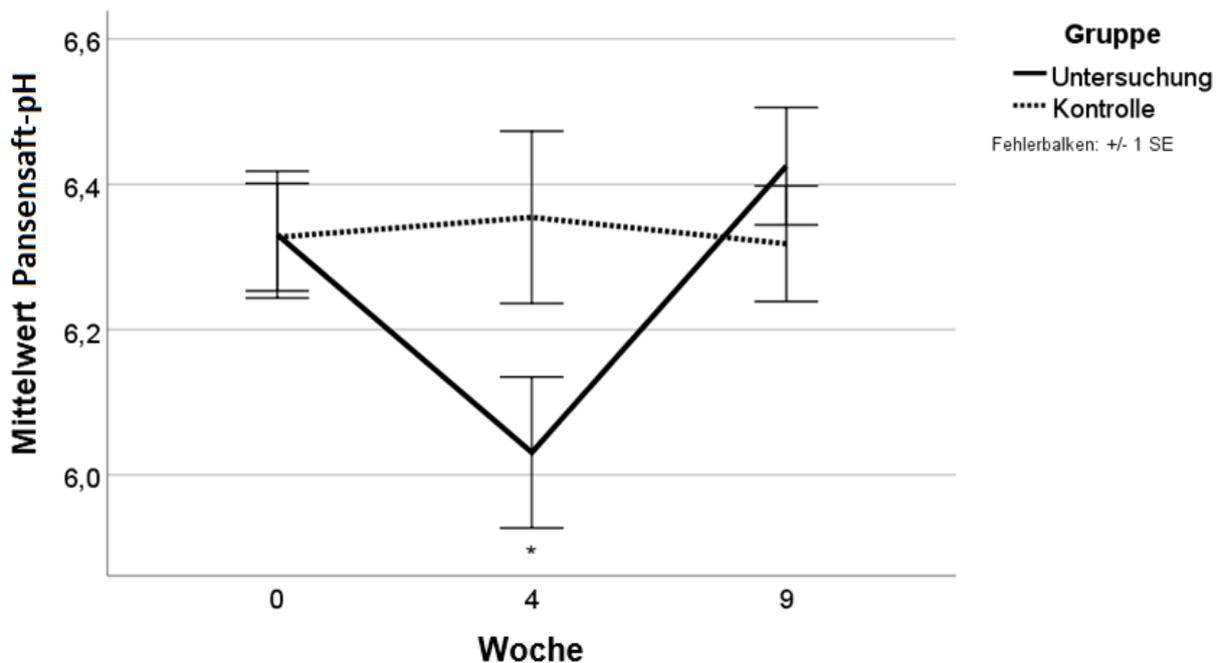


Abbildung 47: Pansensaft-pH in Abschnitt 3.1

Im sensorischen Scoring des Pansensafts gibt es keine signifikanten Effekte (Tabelle 53).

Tabelle 53: p-Werte des Gruppenvergleichs von Kontrolle und Untersuchung des Pansensaftscoring (chi-Quadrat-Test)

Parameter	Woche 0	Woche 4	Woche 9
Farbe	1,000	1,000	1,000
Geruch	0,721	0,520	0,271
Viskosität	1,000	1,000	1,000
Methylenblau	0,347	1,000	1,000
SAT	0,347	0,397	0,560
Infusorienanzahl	0,108	0,959	0,091
Infusorienbeweglichkeit	0,397	0,217	0,265
Infusorienverhältnis	0,232	0,404	0,992

In Woche 9 zeigt sich eine Tendenz ($p=0,091$), dass sich die Infusorienanzahl von v. a. „vielen“ in der Kontrollgruppe zu v. a. „mäßig viele“ und „wenig“ in der Untersuchungsgruppe unterscheidet (Abb. 48).

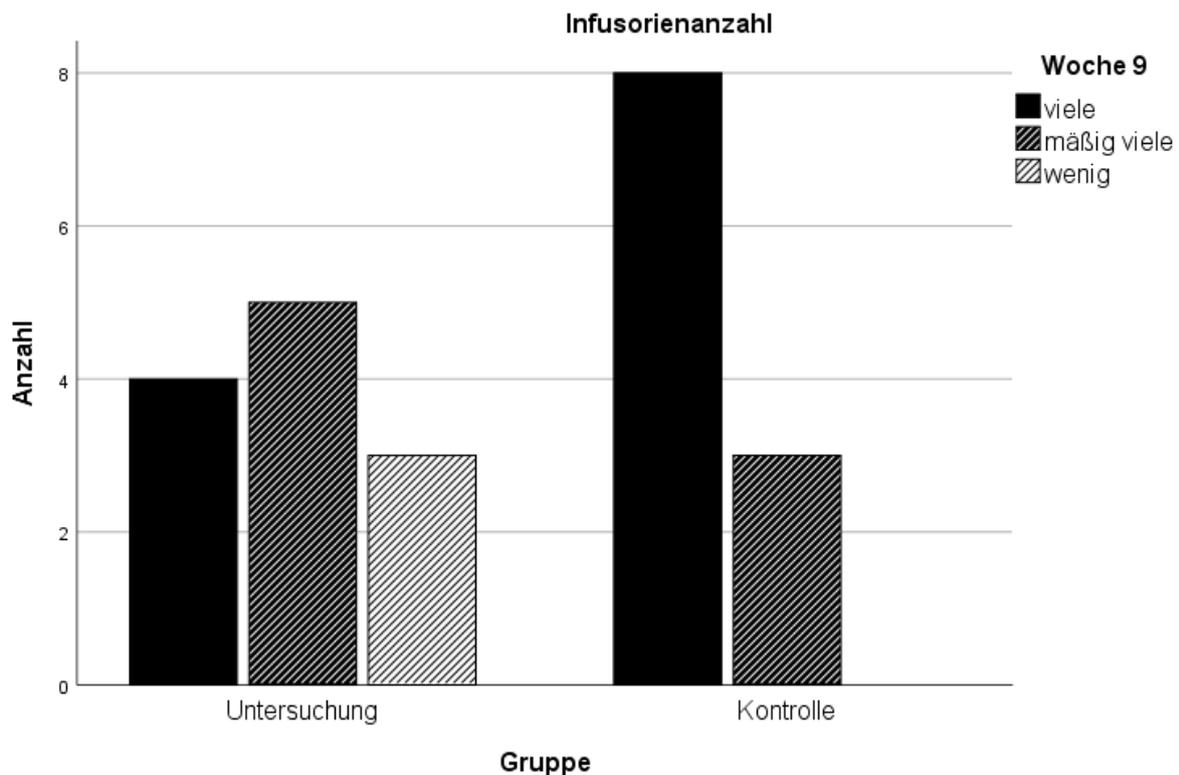


Abbildung 48: Infusorienanzahl in Woche 9 (Tendenz: $p=0,091$)

Die gesamten Probenwerte in Tabellenform sind im Anhang dargestellt (Tabellen 64 bis 66).

5. Diskussion

5.1 Kritik der Methode

Die Gleichheit der Tiere für die Untersuchung konnte gut durch die Selektion über die Laktationsnummer gewährleistet werden (siehe jeweiliges Kapitel über „Ablauf der Untersuchung“). Während der Durchgänge wurde eine einheitliche Entwicklung der Probanden beider Gruppen durch die Messung der Lebendmasse, der Rückenfettdicke und des Body Condition Scores sichergestellt. Dabei gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (siehe Kapitel 4.1.2, 4.2.2 und 4.3.2).

Durch die Messung der Blut-, Harn- und Pansensaftwerte in Woche 0 konnte bei fehlendem signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ein gleicher Startpunkt der Tiere gewährleistet werden. Nur bei der Harnkonzentration von Calcium in der ersten und zweiten Untersuchung sowie bei der Kaliumkonzentration im Blut in der ersten Untersuchung wurde eine signifikante Ungleichheit der Startwerte gefunden. Ein Grund hierfür konnte nicht gefunden werden und basiert auf unbekanntem Störgrößen. Diese Abweichungen haben jedoch keinen relevanten Einfluss auf die Auswertung der Ergebnisse.

Zur Auswertung der Pansensaftparameter ist zu ergänzen, dass die Stichprobe der pro Durchgang untersuchten Tiere mit 11 bis 12 Probanden pro Gruppe für die Gesamtzahl von rund 39 Tieren angelegt wurde. Jedoch würden für eine gute statistische Beurteilung größere Datensätze benötigt. In dieser Studie war die Tierzahl betriebsspezifisch begrenzt.

In der dritten Untersuchung kam es aufgrund von unterschiedlichen Probenentnahmetagen zu einer Verschiebung in der graphischen Darstellung von Futter und Harnparametern. So wurden diese nicht am selben Tag entnommen. Zwischen den beiden Tagen fand jedoch die Futterumstellung für den Abschnitt 3.3 statt. Die Futterprobe wurde vor der Puffergabe und die Harnprobe danach entnommen, beides aber in derselben Woche. Aus diesem Grund zeigen die Harnproben einen Effekt auf die Futterumstellung, die Futterproben jedoch nicht. Dies muss bei der Auswertung beachtet werden, wenn die „Woche 14“ Erwähnung findet.

5.2 Einfluss einer DCAB-Absenkung (Chlorid) auf den Säure-Basen-Haushalt

5.2.1 Futter

Die aufgenommene **DCAB** unterschied sich ab Woche 2 signifikant zwischen den Gruppen (Abb. 5). So erhielt die Untersuchungsgruppe eine konstant niedrige und unter dem

Referenzbereich liegende DCAB über den Untersuchungszeitraum (BLOCK, 1994). In Abb. 6 und 7 zeigte die aufgenommene **Kaliummenge** einen eher dem Zufall geschuldeten signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen in Woche 7. Die aufgenommene **Natriummenge** unterschied sich ab Woche 4 signifikant. Die Kontrollgruppe nahm mehr Natrium auf als die Untersuchungsgruppe. Dies entspricht auch den TMR-Analysewerten (Tabelle 31) und kann an unterschiedlich stark eingesetzten Natriumchloridmengen liegen. Über die Zeit ist ein schwankender Verlauf bei beiden Ionenmengen zu erkennen, welcher wohl mit der zum Teil unbeständigen Konzentration an Inhaltsstoffen der Grundfüttermittel erklärt werden kann. Beide aufgenommenen Mengen liegen deutlich über der Bedarfsempfehlung (NRC, 2001).

5.2.2 Blut

Der Einsatz eines anionischen Minerals mit hohem Anteil an Chlorid (SoyChlor®) führte in dieser Untersuchung zu einer Beeinflussung der Parameter des Säure-Basen-Haushalts. Im Blut wurden nur geringe Veränderungen gefunden (Tabelle 33), da es starken Regulationsmechanismen unterworfen ist (ENGELHARDT et al., 2010). In der ersten Untersuchung sank der **Blut-pH** um 0,01 Einheit bei einem DCAB-Abfall von +180 auf +55 mEq/kg TM (Werte der Rationsanalysen – Tabelle 31). Diese Veränderung war in der Untersuchungsgruppe von Woche 0 zu Woche 9 signifikant. CHARBONNEAU et al. (2006) erhielten in ihren Untersuchungen ähnliche Resultate. Bei der Reduzierung der DCAB von +300 auf 0 mEq/kg TM sank der Blut-pH um 0,018 Einheiten (Tabelle 8). Andere Autoren hatten eine positive Beeinflussung der steigenden DCAB auf den Blut-pH-Wert gefunden (ESCOBOSA et al., 1984; ROCHE et al., 2003; APPER-BOSSARD et al., 2010; BORUCKI CASTRO et al., 2004; WEST et al., 1991; TUCKER et al., 1988; SHAHZAD et al., 2008; SHARIF et al., 2010; MOHANRAO et al., 2016; MARTINS et al., 2016; FAROOQ et al., 2014). TUCKER et al. (1991) konnten diese Veränderung nicht signifikant nachweisen, dies kann an der niedrigen Probandenzahl von 2 x 5 Probanden gelegen haben. WILDMAN et al. (2007a) konnten ebenfalls keinen Effekt der DCAB auf den Blut-pH-Wert finden. Jedoch zeigten sich bei den beiden letztgenannten Quellen signifikant steigende Werte des **Blut-HCO₃**-Gehalts durch eine höhere DCAB. In der hier durchgeführten Untersuchung konnte keine Signifikanz für den Bikarbonatgehalt im Blut festgestellt werden, obwohl der Wert der Untersuchungsgruppe, welcher das anionische Mineral gefüttert wurde, einen niedrigeren Wert als die Kontrollgruppe besaß. In einigen Studien konnten die Zusammenhänge des Blut-pH und -HCO₃ zur DCAB als quadratische Funktion konkretisiert werden (WEST et al., 1991; ROCHE

et al., 2003). Dies ist mit den vorliegenden Ergebnissen nicht möglich, da es nur zwei Messzeitpunkte bzw. zwei untersuchte DCAB-Werte gab. Der **pCO₂** im Blut zeigte bei der durchgeführten Studie keine Veränderung durch die Fütterung einer niedrigen DCAB. Diese Aussage stimmt mit denen von TUCKER et al. (1991), ROCHE et al. (2003), BORUCKI CASTRO et al. (2004), APPER-BOSSARD et al. (2010) und ALFONSO-AVILA et al. (2017) überein. Jedoch gibt es diverse Studien, die zeigen konnten, dass mit sinkender DCAB auch der pCO₂ signifikant sinkt (WILDMAN et al., 2007a; WEST et al., 1991; TUCKER et al., 1988; MARTINS et al., 2016). Diese Beziehung wurde mit einer vermehrten Respirationsrate begründet, weshalb auch mehr Kohlendioxid abgeatmet würde. Gründe für eine erhöhte Respirationsrate sind einerseits Hitze und kompensatorische Reaktionen auf eine Azidose. Der **Base Excess (BE)** sank in der Untersuchungsgruppe signifikant von 2,8 in Woche 0 auf 1,8 in Woche 9. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Kontroll- und der Untersuchungsgruppe in Woche 9 festgestellt werden, obwohl sich die Werte ähnlich unterschieden (Kontrolle: 2,3/ Untersuchung: 1,8). Eine niedrige DCAB bewirkt durch ihre azidogene Wirkung niedrigere Werte des BE. Diverse Quellen konnten dies bestätigen (ESCOBOSA et al., 1984; WEST et al., 1991; BORUCKI CASTRO et al., 2004; APPER-BOSSARD et al., 2010; MARTINS et al., 2016). Alle Blutparameter dieser Untersuchung lagen in ihrem Referenzbereich (MORITZ et al., 2014b).

Die Konzentration von **Natrium** im Blut verlief in den Gruppen nahezu parallel und stieg von Woche 0 zu Woche 9 an. Die Werte befanden sich im Referenzbereich (MORITZ et al., 2014b). Dieser Verlauf kann durch das Natriumangebot im Futter bedingt sein. Aufgrund von fehlenden Zwischenwerten ist eine genaue Beurteilung nicht möglich. Das Futter wurde nach der dritten Untersuchungswoche gewechselt, woraufhin der Natriumgehalt auf das Doppelte anstieg (von 2,0-2,5 g auf 4,1-4,6 g Natrium /kg TM). Da Natrium bis zu 100 % resorbiert wird (HORST et al., 1997), wird der Überschuss über den Harn ausgeschieden (Tabelle 14) und der Natriumgehalt im Blut steigt nur geringfügig an, da er stark über die Nierenausscheidung reguliert wird (WILDMAN et al., 2007a; FAROOQ et al., 2014; MOHANRAO et al., 2016).

Die im Referenzbereich nach MORITZ et al. (2014b) liegenden **Kaliumkonzentrationen** im Blut zeigten im Verlauf der Untersuchung keine signifikanten Effekte zwischen Kontroll- und Untersuchungsgruppe in Woche 9. Hier lag der DCAB-Unterschied bei 167 mEq/kg TM (Kontrolle: +222 mEq/kg TM / Untersuchung: +55 mEq/kg TM). Die DCAB stieg von Woche 0 (+180 mEq/kg TM) um 42 mEq/kg TM (+222 mEq/kg TM) zu Woche 4 (Tabelle 31). Der Kaliumwert sank um 0,2 mmol/l. Der Anstieg der DCAB kann zu einem Abfall der

Kaliumkonzentration führen, wie einige Studien feststellten (ESCOBOSA et al., 1984; HU und MURPHY, 2004). Dies wird damit begründet, dass die Alkalose, welche bei hoher DCAB entsteht, durch Protonen aus den Zellen reguliert wird. Dieser Protonenaustausch kann nur durch den entsprechend gegensätzlichen Kaliumstrom in die Zelle elektroneutral gewährleistet werden. Dies führt zu einem Abfall der Kaliumkonzentration im Blut. Das Ausbleiben eines Kaliumanstiegs in der Untersuchungsgruppe (Woche 0 zu 9 und Kontrolle zu Untersuchung) kann außerdem anzeigen, dass es zu keiner kompensierten Azidose im Blut kam (DIDIK, 1999; ENGELHARDT et al., 2010). Der signifikante Unterschied zwischen den Kaliumwerten der beiden Gruppen in Woche 0 kann nicht durch das Futter bzw. die DCAB erklärt werden, da beide Gruppen dieselbe Ration erhielten.

5.2.3 Harn

Zwischen den Gruppen bestanden bei den Parametern **Harn-pH** und **NSBA** signifikante Unterschiede (Abb. 9 und 10). Ab Woche 2 bewegten sich die Mittelwerte auseinander, wobei die Werte der Untersuchungsgruppe abfielen und die der Kontrollgruppe ungefähr auf deren Niveau verblieben. Der post-hoc Test zeigte, dass der Gruppeneffekt von Woche 2 bis 10 signifikant ist (Abb. 9 und 10). Der Abfall der Werte der Untersuchungsgruppe wurde durch die erhöhte Aufnahme vom Anion Chlorid (niedrige DCAB) verursacht. Um den Säure-Basen-Haushalt im Blut aufrechtzuerhalten, müssen vermehrt Wasserstoffionen und Säuren über den Harn ausgeschieden werden, wodurch der pH-Wert und die NSBA absinken. Der Abfall der beiden Parameter ist in diversen Studien für den Harn-pH-Wert beschrieben worden (ESCOBOSA et al., 1984; TUCKER et al., 1988; WEST et al., 1991; TUCKER et al., 1991; BORUCKI CASTRO et al., 2004; SHAHZAD et al., 2008; RÉRAT et al., 2009; SCHOONMAKER et al., 2013). Die NSBA sinkt ab der 5. Woche in der Untersuchungsgruppe weit unter die physiologische Referenzgrenze von laktierenden Milchkühen (83 mmol/l (MORITZ et al., 2014b)). Die NSBA wird in der ausländischen Literatur eher selten genutzt und dann eher als NAE (Netto-Acid-Excretion) gebraucht (HU et al., 2007a). In der deutschen Literatur wird ebenfalls ein negativer Einfluss auf den Harn-pH und die NSBA durch eine sinkende DCAB beschrieben (DIDIK, 1999; BENDER, 2002; RÉRAT et al., 2009; KRIKCZIOKAT, 2015).

Die **Calcium-** und **Magnesiumkonzentrationen** im Harn zeigten ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Abb. 11 und 12). Ab Woche 2 stiegen die Mittelwerte von Calcium- bzw. Magnesium der Untersuchungsgruppe bis zur Woche 10 stark an, während die Mittelwerte der Kontrollgruppe auf dem Ausgangsniveau verblieben. DIEHL et al. (2018a)

konnten ebenfalls einen Anstieg der Ausscheidung von Calcium und Magnesium über den Harn bei anionischer Fütterung zeigen. Diese vermehrte Ausscheidung von divalenten Kationen über den Harn weist auf eine Mobilisierung des Knochens hin (LEBEDA, 1988). Der Organismus versucht mit der Freisetzung von Kationen, welche wie Anionen einen Einfluss auf den pH-Wert haben (STEWART, 1978 und LAS et al., 2007), die azidogene Wirkung von Chlorid auszugleichen. Die Calciumkonzentration im Harn stieg ab der fünften Woche über die obere Grenze des Referenzwerts von 2,5 mmol/l (MORITZ et al., 2014b), wobei die Konzentration von Magnesium innerhalb der physiologischen Grenzen verblieb.

Die Ausscheidung der Harnionen ist eng mit dem Ionenangebot im Futter korreliert (BENDER, 2002). Dies ist v. a. in der erhöhten Harnausscheidung von **Chlorid** zu erkennen (Abb. 15). Bei diesem Parameter bestand in der vorliegenden Untersuchung ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Ab Woche 2 stieg die Chloridkonzentration im Harn signifikant bis in Woche 10 an. Dieser Anstieg spiegelt die erhöhte Chloridgabe über das Futter wider. Ähnlich der NSBA und der Calciumkonzentration im Harn stieg die Chloridkonzentration ab der fünften Woche über den Referenzbereich von 160 mmol/l an (MORITZ et al., 2014b).

Die Konzentrationswerte von **Natrium** und **Kalium** im Urin blieben während der gesamten Untersuchungszeit im physiologischen Bereich (MORITZ et al., 2014b). Hierbei zeigte sich bei beiden Parametern eine signifikante Veränderung über die Zeit. Der Mittelwert der Kaliumkonzentration sank, während Natrium über den Untersuchungszeitraum anstieg (Abb. 13 und 14). Bei der Natriumkonzentration konnte sogar eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Zeit festgestellt werden ($p < 0,006$). Dabei lag der Natriummittelwert der Kontrollgruppe an den meisten Zeitpunkten (Woche 0, 2, 3, 5 und 10) über dem Wert der Untersuchungsgruppe. Mittels des post hoc-Test konnten aber nur die Zeitpunkte Woche 2, 3 und 10 mit einem signifikanten Gruppenunterschied bestätigt werden. Dieser Zusammenhang kann durch die leicht erhöhten Natriumgehalte in der Kontrollration erklärt werden (TUCKER et al., 1993; DIDIK, 1999; BENDER, 2002; HU und MURPHY, 2004; SHAHZAD et al., 2008; APPER-BOSSARD et al., 2010; MOHANRAO et al., 2016). So lagen die durchschnittlichen Natriumwerte in der Kontrollgruppe 0,5 g/kg TM höher als in der Untersuchungsgruppe (Tabelle 31). Der Einfluss von Kalium im Futter auf die Kaliumkonzentration im Harn hat laut HU und MURPHY (2004) eine positiv lineare Tendenz ($p = 0,063$). Die Kontrollgruppe in dieser Untersuchung zeigte höhere Kaliummittelwerte in ihrem analysierten Futter als die

Untersuchungsgruppe. Dies konnte aber nicht mit einem signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen bestätigt werden.

Die **Creatininkonzentration** im Harn gibt Auskunft über die Konzentrierung des Harns und dadurch indirekt über das Tränkeverhalten der Tiere. In dieser Untersuchung gab es keine signifikanten Gruppenunterschiede (Abb. 48). Über die Zeitpunkte konnte aber v. a. in den Wochen 2, 3, 5 und 7 ein signifikanter Einfluss gefunden werden. In Woche 3 gab es einen starken Anstieg in beiden Gruppen. Die Untersuchungsgruppe stieg auf einen Mittelwert von 6.375 $\mu\text{mol/l}$ an. Dieser lag aber noch im physiologischen Bereich bis 7.100 $\mu\text{mol/l}$ (MORITZ et al., 2014b). Die Woche 3 befand sich im Hochsommer (August 2017). Unter Hitzestress kann es zu zeitweiligem Wassermangel kommen und dadurch zu einer Aufkonzentrierung des Harns (WEST, 2003a). Die Wetterdaten wurden in dieser Untersuchung nicht miterfasst und können daher nicht ausgewertet werden. BENDER (2002) fand beim Einsatz von sauren Salzen in verschiedenen Betrieben eine stark erhöhte Konzentration von Creatinin im Harn der gefütterten Kühe (10.684 $\mu\text{mol/l}$). In der vorliegenden Untersuchung wurden in der Untersuchungsgruppe lediglich Creatininwerte von 6.375 $\mu\text{mol/l}$ erreicht.

Die **Phosphatkonzentration** im Harn zeigt ähnlich wie Calcium akute und chronische Azidosen über einen erhöhten Wert an (MORITZ et al., 2014b). Die Grenzwerte von 3,3 mmol/l wurden aber in beiden Gruppen nicht überschritten (Abb. 47). Es zeigte sich jedoch ein über die Zeit signifikanter Einfluss durch ein stetiges Sinken der Werte beider Gruppen. Dies zeigte sich nach dem post hoc-Test nur für die Wochen 5, 7 und 10 als signifikant. In der Studie von WANG et al. (2018) führten DCAB-Absenkungen von +279 auf -257 mEq/kg TM zur Steigerung der Harnphosphatkonzentrationen. In den vorliegenden Untersuchungen konnte diese Auswirkung der DCAB auf die beiden Gruppen zumindest für die Phosphatkonzentration nicht nachgewiesen werden, was auch an der eher moderaten DCAB-Reduzierung von +222 auf +55 mEq/kg TM im Vergleich zur vorher genannten Studie liegen kann.

5.2.4 Pansensaft

Der Referenzbereich für den **Pansensaft-pH-Wert** liegt zwischen 5,8 und 7,2 und wurde im Verlauf der Untersuchung weder über- noch unterschritten. Der niedrigste Mittelwert der Untersuchung betrug 6,12, welcher in Woche 5 gemessen wurde. Der Maximalwert wurde in Woche 10 durch die Untersuchungsgruppe mit 6,61 erreicht (Abb. 16). Über die Zeit konnte in Woche 10 ein signifikanter Anstieg beider Gruppen festgestellt werden. In Woche 5 ließ sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen feststellen, wobei der pH der Untersuchungsgruppe um 0,18 Einheiten niedriger lag als der der Kontrollgruppe. Diese

Differenz zwischen den Gruppen kann einen Hinweis darauf liefern, dass die niedrige DCAB, die der Untersuchungsgruppe gefüttert wurde, einen senkenden Einfluss auf den Pansen-pH hat. In der Literatur finden sich hierzu gegensätzliche Aussagen. APPER-BOSSARD et al. (2010) und ALFONSO-AVILA et al. (2017) konnten in ihren Studien keinen Einfluss der DCAB auf den pH des Pansensafts finden. Die untersuchten DCAB-Variationen befanden sich in ähnlichem Abstand wie in der vorliegenden Untersuchung (0 zu +300 mEq/kg TM (APPER-BOSSARD et al., 2010); +100 zu +320 mEq/kg TM (ALFONSO-AVILA et al., 2017)). Andere Autoren fanden Tendenzen (TUCKER et al., 1988) oder sogar signifikante steigernde Einflüsse einer steigenden DCAB bzw. senkende Einflüsse einer sinkenden DCAB auf den Pansensaft-pH (SHARIF et al., 2010; CATTERTON und ERDMAN, 2016).

Der **Methylenblautest** und die **Sedimentationsaktivitätszeit (SAT)** geben Informationen über die mikrobielle Aktivität im Pansensaft und sind objektive Größen zur Beurteilung. In dieser Untersuchung gab es keine Auswirkungen durch die Fütterung einer niedrigen DCAB. KRIKCZIOKAT (2015) untersuchte in ihren Studien physiologische Pansensafteigenschaften bei Milchkühen in der Mittellaktation (90.-150. Tag). Bei einem Pansensaft-pH von 6,51 wurde für den Methylenblautest 3 Minuten und 1 Sekunde und für die SAT 3 Minuten und 58 Sekunden gemessen. Diese Werte stimmen mit denen dieser Untersuchung weitestgehend überein (Tabelle 59).

Die eher subjektiven Parameter **Farbe, Geruch, Konsistenz, Infusorienmenge, -beweglichkeit und -verhältnis** werden in der Literatur kaum genutzt. Sie geben aber Aussage über den Einfluss des Futters auf die Pansenmikroben. In Woche 5 gab es zwei Parameter, welche eine Tendenz zeigten, dass die niedrige DCAB die Mikrobenaktivität negativ beeinflusst (Tab. 33 sowie Abb. 17 und 18). So konnten beim Geruch eher „fade bis säuerlich“ riechende Proben in der Untersuchungsgruppe gefunden werden ($p=0,083$). Dem gegenüber hatte die Kontrollgruppe eher einen „aromatischen/faden“ Geruch. Die Infusorienbeweglichkeit wurde als „träger“ in der Untersuchungsgruppe befunden. Die Kontrollgruppe hingegen hatte wesentlich mehr „lebhaft“ Infusorien ($p=0,057$).

5.3 Einfluss eines DCAB-Anstiegs (Natrium) auf den Säure-Basen-Haushalt

5.3.1 Futter

Die **DCAB** der Untersuchungsgruppe wurde auf ein konstantes Level angehoben (Abb. 23). Die aufgenommenen Mengen der Kontrollgruppe liegen mit +66 mEq/kg TM unter dem empfohlenen Referenzbereich (+100 bis +200 mEq/kg TM - Mittellaktation), wohingegen die

DCAB der Untersuchungsgruppe im oberen Referenzbereich mit +176 mEq/kg TM liegt (BLOCK, 1994). Die Menge an aufgenommenem **Kalium** (Abb. 24) liegt im empfohlenen Bereich und unterscheidet sich nicht im Untersuchungsverlauf zwischen den Gruppen (Tab. 24). Die Kontrollgruppe erhielt eine angemessene **Natriummenge**, wobei die Untersuchungsgruppe mit dem zugegebenem Natriumhydrogenkarbonat die empfohlene Natriumdosis überschreitet (NRC, 2001). Bei freiem und ausreichendem Zugang zu Wasser ist dies aber kein Problem, da das übermäßig aufgenommene Natrium über den Harn ausgeschieden wird (s. Kap. 5.3.3). Der Linienverlauf der Natriumaufnahme (Abb. 25) zeigt eine konstante Zuführung des Minerals über den Untersuchungszeitraum.

5.3.2 Blut

Die Erhöhung der DCAB durch Natriumhydrogenkarbonat zeigte kaum Veränderungen auf die Blutparameter des Säure-Basen-Haushalts (**pH, pCO₂, HCO₃, BE** - Tabelle 37). In Woche 0 gab es keine signifikanten Unterschiede, sodass die Gruppen mit ähnlichen Ausgangswerten starten konnten. Ebenfalls konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Woche 7 festgestellt werden. Ein signifikanter Unterschied über die Zeit von Woche 0 zu Woche 7 in der Kontrollgruppe zeigte jedoch einen signifikanten Abfall der Parameter Hydrogenkarbonat und BE. Dies spricht für eine leicht azidotische Belastung. Da die Werte aber in ihren physiologischen Referenzbereichen lagen, gilt diese Veränderung als kompensiert (MORITZ et al., 2014b). Diese Veränderung kann durch die Differenz in der DCAB von 27 mEq/kg TM zwischen der Ration in Woche 0 (+107 mEq/kg TM) und der Kontrollration in Woche 7 (+80 mEq/kg TM) entstanden sein. Andererseits konnte in der Untersuchungsgruppe kein solcher Effekt gefunden werden, obwohl die DCAB-Differenz mit 114 mEq/Kg TM (Woche 0 +107 mEq/kg TM / Woche 7 +222 mEq/kg TM) größer war. DIDIK (1999) fand keine Effekte durch eine erhöhte Natriumhydrogenkarbonatfütterung auf die Säure-Basen-Parameter im Blut. ERDMANN (1998) konnte in der Auswertung von 13 Studien nur einen gering steigernden Effekt von Natriumhydrogenkarbonat auf die SBH-Parameter im Blut finden (pH, pCO₂, HCO₃).

Die **Natriumkonzentration** sank in beiden Gruppen von Woche 0 zu Woche 7 über die Zeit signifikant um ca. 2 mmol/l (Tabelle 37). Im Unterschied zu diesen Ergebnissen wurden in einigen Studien positive Einflüsse von erhöhten Natriumgehalten in der Ration (erhöhte DCAB) auf den Blutnatriumwert gefunden (WILDMAN et al., 2007a; FAROOQ et al., 2014; MOHANRAO et al., 2016). Andere Studien fanden jedoch keinen Zusammenhang zwischen der DCAB und einem Einfluss auf die Konzentration von Natrium im Blut (ESCOBOSA et al.,

1984; TUCKER et al., 1988; WEST et al., 1991; TUCKER et al., 1991; DIDIK, 1999 HU und MURPHY, 2004; SHAHZAD et al., 2008; APPER-BOSSARD et al., 2010; SHARIF et al., 2010). Trotz des unterschiedlichen Natriumgehalts der Rationen fiel in der vorliegenden Untersuchung die Natriumkonzentration im Blut in beiden Gruppen gleichmäßig ab. Aus diesem Grund kann man davon ausgehen, dass neben der DCAB eine weitere - jedoch unbekannte - Störgröße existiert (Umwelt, etc.).

Die **Kaliumkonzentration** im Blut zeigte keinerlei Veränderungen. Dies konnten auch RÉRAT et al. (2009), APPER-BOSSARD et al. (2010) und WANG et al. (2018) in ihren Studien so herausfinden. Andere Untersuchungen haben jedoch einen positiven (WILDMAN et al., 2007a; SHAHZAD et al., 2008; MARTINS et al., 2016), negativen (MOHANRAO et al., 2016) bzw. quadratischen Einfluss der steigende DCAB auf den Kaliumgehalt entdeckt (WEST et al., 1991; FAROOQ et al., 2014).

5.3.3 Harn

Der **Harn-pH**-Wert zeigte ab Woche 1 zu allen Zeitpunkten einen signifikanten Gruppenunterschied, wobei die Werte der Untersuchungsgruppe über denen der Kontrollgruppe liegen (Abb. 26). Die **NSBA** zeigt einen ähnlichen Verlauf wie der Harn-pH-Wert. Schwankungen im SBH werden von ihr zuverlässiger angezeigt als durch den Harn-pH (GELFERT et al., 2004). Beide Werte liegen im physiologischen Referenzbereich (MORITZ et al., 2014b), wobei die höheren Werte der Untersuchungsgruppe auf eine leicht alkalogene Auslenkung hinwiesen. Dies fällt jedoch nicht so stark aus wie die azidogene Belastung aus der ersten Untersuchung, da Wiederkäuer als Pflanzenfresser durch ihre von Natur aus kationenreichen Rationen einen Basenüberschuss leichter kompensieren können als einen Säureüberschuss.

Die Harnkonzentration an **Natrium** stieg ab Woche 1 in der Untersuchungsgruppe signifikant über die Werte der Kontrollgruppe (Abb. 31). Dies ist durch die ernährungsbedingt erhöhte Natriumzufuhr zu erklären (TUCKER et al., 1993; DIDIK, 1999; BENDER, 2002; SHAHZAD et al., 2008; APPER-BOSSARD et al., 2010; MOHANRAO et al., 2016).

Die Ausscheidung von **Kalium** über den Harn zeigte eine ähnliche Verlaufskurve wie Magnesium. Die mittleren Werte der Untersuchungsgruppe lagen signifikant unter denen der Kontrollgruppe (Abb. 30). DIDIK (1999) konnte in seinem Vorversuch mit Natriumhydrogenkarbonat auch einen Abfall der Kaliumwerte feststellen und erklärte dies mit der verminderten Ausscheidung von Kalium, wenn viel Natrium ausgeschieden wird. Dies liegt

in den aldosterongesteuerten Transportmechanismen begründet, wodurch Natrium sezerniert und Kalium resorbiert wird. Ähnliche Ergebnisse erhielt BENDER (2002). TUCKER et al. (1991) und MOHANRAO et al. (2016) fanden in ihren Studien nur einen tendenziellen Abfall der Kaliumausscheidung. Im Unterschied dazu konnten WEST et al. (1991), WILDMAN et al. (2007a), SHAHZAD et al. (2008) und WANG et al. (2018) einen Anstieg der Kaliumausscheidung feststellen, wobei WILDMAN et al. (2007a) den Anstieg mit dem Mehrangebot an Kalium über die Ration (Kalium- und Natriumsalz zur DCAB-Erhöhung eingesetzt) begründet. APPER-BOSSARD et al. (2010) konnten keinen Einfluss durch eine erhöhte DCAB bzw. Natriumhydrogenkarbonatfütterung auf die Kaliumausscheidung über den Urin feststellen.

Die mittleren Konzentrationen an **Magnesium** im Harn sanken signifikant in der Untersuchungsgruppe ab und lagen die gesamte Untersuchungszeit unter denen der Kontrollgruppe (Abb. 29). WILDMAN et al. (2007a) erhielten ähnliche Ergebnisse bei der Fütterung einer erhöhter DCAB. Jedoch begründeten sie diesen Abfall der Magnesiumkonzentration mit der erhöhten Kaliumfütterung (sie nutzten neben Natriumhydrogenkarbonat noch Kaliumkarbonat als DCAB-Regulator). Diese hohen Kaliumgehalte hemmten nachweislich die Magnesiumresorption im Pansen und führten dadurch zu sinkenden Magnesiumgehalten im Harn. Die in dieser Untersuchung gefütterten Rationen unterschieden sich jedoch nicht im Kaliumgehalt der Gruppen, sodass eine erhöhte Kaliumzufuhr als Grund für die niedrige Magnesiumausscheidung ausgeschlossen werden kann. DIDIK (1999) und BENDER (2002) konnten keinen Einfluss von Natriumhydrogenkarbonat auf die Magnesiumausscheidung feststellen.

Die **Calciumkonzentration** im Harn sank durch Zufütterung von Natriumhydrogenkarbonat in der Untersuchungsgruppe signifikant ab (Abb. 28). Diese Reduzierung konnte in einigen Studien ebenfalls gefunden werden und wurde v. a. auf die alkalogene Situation des Säure-Basen-Haushalts zurückgeführt, durch welche weniger Calcium aus den Knochen mobilisiert wird (TUCKER et al., 1993; DIDIK, 1999; BORUCKI CASTRO et al., 2004; SHAHZAD et al., 2008; WILDMAN et al., 2007a; MOHANRAO et al., 2016; WANG et al., 2018). Der zeitweilige Anstieg des Harncalciumgehalts von Woche 3 zu Woche 5 kann fütterungsbedingt oder durch den SBH beeinflusst sein, wobei es für letzteres keine Hinweise gibt.

Die Konzentration an **Chlorid** im Harn nahm in der Untersuchungsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant ab (Abb. 33). Dass diese Konzentration bei erhöhter DCAB abfiel, wurde in einigen Studien gefunden (TUCKER et al., 1991; BENDER, 2002; SHAHZAD et al.,

2008; APPER-BOSSARD et al., 2010; MOHANRAO et al., 2016; WANG et al., 2018). Der Grund für die Reduzierung der Chloridausscheidung kann mit dem Transportmechanismus von HCO_3^- begründet werden. Bei alkalogener Belastung des Organismus werden HCO_3^- -Ionen vermehrt ausgeschieden, um den SBH zu regulieren. Um ein HCO_3^- elektroneutral auszuscheiden, muss ein Chloridion resorbiert werden und führt dadurch zu einer niedrigeren Harnkonzentration von Chlorid (TUCKER et al., 1988). WILDMAN et al. (2007a) stellten hingegen einen Anstieg der Chloridausscheidung bei erhöhter DCAB fest, konnten dies aber nicht begründen.

Die **Creatininkonzentration** im Harn ist stark diureseabhängig, so sinkt er bei vermehrter Wasseraufnahme ab und steigt bei Harnkonzentrierung durch verminderte Tränkeaufnahme an (BENDER, 2002). DIDIK (1999) konnte einen starken Verdünnungseffekt im Harn durch die erhöhte Natriumaufnahme über das Futter feststellen, welcher zu Beurteilungsschwierigkeiten der Elektrolytausscheidung führen kann. SPEK et al. (2012) konnten ebenfalls eine lineare Steigerung der Wasseraufnahme sowie des Harnvolumens durch erhöhte Natriumaufnahme feststellen. In der vorliegenden Untersuchung gab es einen signifikanten Unterschied der mittleren Creatiningehalte zwischen der Untersuchungs- und Kontrollgruppe (Abb. 32). Die Werte der Untersuchungsgruppe lagen im gesamten Untersuchungszeitraum unterhalb denen der Kontrollgruppe. Die erhöhte Aufnahme von Natrium führte wahrscheinlich zu einer vermehrten Wasseraufnahme und kann dadurch eine reduzierte Harnkonzentration und daraus folgend niedrigere Creatininwerte im Harn verursachen. Da die Wasseraufnahme in dieser Untersuchung nicht gemessen wurde, kann dies nicht bestätigt werden. Diesen Abfall der Creatininwerte bei erhöhter DCAB, welche hauptsächlich durch Natrium als Kation erreicht wurde, konnten auch einige Autoren zeigen (ESCOBOSA et al., 1984; SHAHZAD et al., 2008). Im Untersuchungszeitraum kam es zu zeitlichen Schwankungen des Creatiningehalts, diese Schwankungen sind in beiden Gruppen synchron und lassen sich wahrscheinlich auf äußere unbekannte Störfaktoren zurückführen.

Die Konzentration an **Phosphor** (Abb. 51) unterschied sich nicht signifikant in den beiden Gruppen durch die Erhöhung der DCAB. Damit wurden die Ergebnisse einiger Studien bestätigt (TUCKER et al., 1991; BORUCKI CASTRO et al., 2004; MOHANRAO et al., 2016). WILDMAN et al. (2007a) fanden einen signifikanten Anstieg der Phosphatausscheidung bei Erhöhung der DCAB, konnten diesen aber nicht begründen. SHAHZAD et al. (2008) und WANG et al. (2018) konnten einen Abfall des Phosphatgehalts im Harn feststellen. SHAHZAD et al. (2008) begründete diesen Umstand mit Differenzen im gefütterten Mineralstoffgehalt,

wohingegen WANG et al. (2018) dies der steigenden DCAB zurechnete. Wenn die Gehalte bei sinkender azidogener DCAB steigen, müssten sie im Gegenzug bei steigender DCAB abfallen, da der Knochenmobilisationsprozess, welcher das Phosphat freigibt, durch die alkalogene Belastung eingeschränkt wird – ähnlich der Calciumausscheidung über den Harn.

5.3.4 Pansensaft

Der **Pansensaft-pH** zeigte keine signifikanten Einflüsse durch den DCAB-Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Abb. 34). Einige Studien konnten bei DCAB-Anstieg einen pH-Wert-Anstieg zeigen (APPER-BOSSARD et al., 2010; CATTERTON und ERDMAN, 2016; MARTINS et al., 2016). Deren genutzte DCAB-Spannweiten waren jedoch breiter als die in dieser Untersuchung (Tab. 11). BACH et al. (2018) konnten in ihrer Studie zeigen, dass Magnesiumoxid einen stärkeren Einfluss auf den Pansen-pH hat als Natriumhydrogenkarbonat und dass obwohl Magnesium in der DCAB-Formel eine eher untergeordnete Rolle zu spielen scheint (s. Kap. 2.1.2). Dies könnte ein Hinweis dafür sein, dass weniger die DCAB als das Ion bzw. die Mineralzusammensetzung selbst einen entscheidenden Einfluss auf den Pansen-pH hat. Im **Pansensaft-Scoring** wurden ebenfalls keine Signifikanzen oder Tendenzen festgestellt (Tab. 38). Es gibt kaum Studien zum Vergleich dieser Ergebnisse. Jedoch ist es logisch geschlussfolgert, dass durch einen konstanten pH-Wert im Pansen auch keine veränderten mikrobiellen Prozesse zu erwarten sind.

5.4 Einfluss einer DCAB-Absenkung (Sulfat) und Gegenpufferung (Natrium) auf den Säure-Basen-Haushalt

5.4.1 Futter

Die **DCAB** (Abb. 39) unterscheidet sich signifikant zwischen den Gruppen aller Abschnitte der dritten Untersuchung. Der empfohlene Referenzbereich nach BLOCK (1994) von +100 bis +200 mEq/kg TM (bei 26 kg TMA sind das +2600 bis +5200 mEq/Tier/Tag) wird in der jeweils anionisch supplementierten Gruppe unterschritten. Die DCAB der un-supplementierten Gruppe liegt im Referenzbereich.

Die aufgenommene **Natriummenge** (Abb. 41) schwankt signifikant gruppenabhängig in der Untersuchung. Hierzu ist zu bemerken, dass Natriumchlorid genutzt wurde, um den Natriumgehalt der Gruppen anzugleichen. Jedoch führt NaCl-Zusatz auch zu einer Erhöhung des Chloridgehalts, welcher zwischen den Rationen ungleich ist (Tabellen 39 bis 41). Die empfohlenen Natriumgehalte nach NRC (2001) wurden nur in Abschnitt 3.3 von der gepufferten Ration überschritten.

Der **Kalium**gehalt der Rationen in allen drei Abschnitten der dritten Untersuchung ist ausgeglichen (Tabellen 39 bis 41). Jedoch wurde v. a. im zweiten und dritten Abschnitt ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen gefunden. So nahm die schwefelsupplementierte Gruppe signifikant weniger Kalium auf als die Gruppe, welche die Grundration erhielt. Da die Abbildung eine Beziehung zwischen Futteraufnahme und Kaliumgehalt der Ration darstellt, kann dieser signifikante Unterschied durch eine niedrigere Futteraufnahme der supplementierten Gruppe entstanden sein. Weitere Auswertungen der Untersuchung z. B. zur Futteraufnahme der Tiere werden in der Dissertation von HANEBECK (2020) veröffentlicht.

5.4.2 Blut

Der **pH-Wert** der Kontrollgruppe stieg von Woche 0 zu Woche 8 signifikant an. Dies kann durch die Steigerung der DCAB um 60 mEq/kg TM verursacht worden sein. Zwischen den Gruppen gab es in der Woche 8 einen signifikanten Unterschied. Die Kontrollgruppe hatte mit 7,38 einen signifikant höheren pH-Wert als die Untersuchungsgruppe mit 7,36. Der Tausch des Futters zwischen den Gruppen in Woche 9 führte zum Abfall des Blut-pHs in der anionisch gefütterten Kontrollgruppe auf 7,36, während in der Untersuchungsgruppe mit der Grundration ohne anionische Supplementierung der pH-Wert auf 7,37 anstieg. Dies war von Woche 8 zu 13 in der Kontrollgruppe signifikant. In der Untersuchungsgruppe zeigte sich ebenfalls ein Anstieg des pH-Werts – hier um 0,01 Einheiten – jedoch ohne Signifikanz. In Woche 16 glichen sich die pH-Werte aneinander an und befanden sich auf einem niedrigeren Niveau als in den vorherigen Abschnitten. Dies wurde durch den DCAB-Ausgleich mit Natriumhydrogenkarbonat in der anionisch gefütterten Gruppe ausgelöst. Dass der pH-Wert niedriger als in den Abschnitten davor ist, kann ein Zeichen für eine verringerte Pufferkapazität sein (WEST et al., 1991). In der ersten Untersuchung wurde diese DCAB-abhängige signifikante Schwankung im Blut-pH mittels des chloridhaltigen anionischen Minerals nicht erreicht. Ein Grund hierfür könnte der um 61 mEq/kg TM niedriger liegende DCAB-Wert der schwefelgefütterten Gruppe sein (Cl: +55 mEq/kg TM; S: -6 mEq/kg TM; siehe Tabellen 31 und 39). Je niedriger die DCAB, desto stärker sind die Auswirkungen auf den SBH. MARTINS et al. (2016) konnten mit Ammoniumsulfat einen Abfall des Blut pH-Werts von 7,49 auf 7,40 erreichen (DCAB: von +290 auf -71 mEq/kg TM). TUCKER et al. (1991) fanden nur eine Tendenz zu pH-Wert-Veränderung durch die DCAB. GOFF et al. (2004) konnten im Unterschied zu dieser Studie zeigen, dass schwefel-basierende anionische Minerale eine geringere ansäuernde Kraft auf den pH-Wert haben als chlorid-basierende Minerale. Wahrscheinlich wurden aufgrund dieser

Aussage und wegen der niedrigeren und futter-abhängigen Absorptionsrate von Schwefel in der Vergangenheit v. a. chloridhaltige anionische Minerale zum Einsatz gebracht, um die DCAB abzusenken (TUCKER et al., 1988; WEST et al., 1991; APPER-BOSSARD et al., 2010; SHARIF et al., 2010; SCHOONMAKER et al., 2013; MELENDEZ und POOCK, 2017; WANG et al., 2018).

Der **Partialdruck von Kohlendioxid** steigt bei einer respiratorischen Azidose an und sinkt bei einer respiratorischen Alkalose (MORITZ et al., 2014b). Auf die azidogen wirkende DCAB im ersten und zweiten Abschnitt der Studie scheint dieser Wert kaum zu reagieren, wie schon einige Autoren festgestellt hatten (TUCKER et al., 1991; ROCHE et al., 2003; BORUCKI CASTRO et al., 2004; APPER-BOSSARD et al., 2010; ALFONSO-AVILA et al., 2017). Andere Studien konnten jedoch einen Anstieg der pCO₂-Werte bei Steigerung der DCAB und im Gegenzug dazu einen Abfall der Werte bei sinkender DCAB nachweisen (WEST et al., 1991; MARTINS et al., 2016). Eine pCO₂-Reduzierung in der Gruppe mit der niedrigeren DCAB konnte in der vorliegenden Untersuchung erst nach Tausch der Fütterungsgruppe von Woche 8 zu Woche 13 mit einem signifikanten Unterschied in der Kontrollgruppe nachgewiesen werden. Hier fielen die Werte von 51,8 auf 48,8 mmHg. Dies wurde in der Literatur mit der respiratorischen Kompensation der metabolischen Azidose durch eine erhöhte Respirationsrate und dadurch vermehrtes Abatmen von CO₂ begründet (WEST et al., 1991; BLOCK, 1994; MARTINS et al., 2016). WILDMAN et al. (2007a) konnten sogar durch Auswerten der Anzahl der Atemzüge zeigen, dass bei hoher DCAB (+500 mEq/kg TM*) die Respirationsrate niedriger und der pCO₂ höher ist als in der Gruppe mit der niedrigeren DCAB (+250 mEq/kg TM*). In der durchgeführten Untersuchung stieg der pCO₂-Wert der Kontrollgruppe nach dem DCAB-Anstieg (anionisches Mineral plus Natriumbikarbonat) signifikant auf 52,2 mmHg an und zeigte keinen signifikanten Unterschied zur Untersuchungsgruppe mehr. Die Untersuchungsgruppe zeigte trotz der DCAB-Variationen im Vergleich zur Kontrollgruppe über die gesamte Zeit keine signifikanten Unterschiede.

Der **Hydrogenkarbonatspiegel** im Blut steigt bei einer Alkalose und sinkt bei einer Azidose (MORITZ et al., 2014b). In der Kontrollgruppe stieg der HCO₃-Gehalt von Woche 0 zu Woche 8 signifikant an und lag signifikant über den Wert der Untersuchungsgruppe in Woche 8 (Tabelle 46). Mit dem Tausch der Fütterungsgruppen in Woche 13 sank die HCO₃-Konzentration in der Kontrollgruppe, welche nun das anionische Mineral erhielt, ab. Der Gehalt der Untersuchungsgruppe sank nicht signifikant ab, obwohl diese Gruppe nun die Grundration ohne Mineral erhielt. Es zeigt sich hierfür eine Tendenz (p=0,061). In Woche 16 mit dem

DCAB-Ausgleich blieben die Werte konstant. Dieser Parameterverlauf durch die DCAB-Schwankungen spiegelt das Auf und Ab im SBH deutlich wider und konnte so auch in diversen Studien gezeigt werden (ROCHE et al., 2003; BORUCKI CASTRO et al., 2004; APPER-BOSSARD et al., 2010; FAROOQ et al., 2014; MARTINS et al., 2016; ALFONSO-AVILA et al., 2017). Der Hydrogenkarbonat Spiegel von Woche 16 ist in beiden Gruppen niedriger als in Woche 0. In den Wochen vorher wurden beide Gruppen über einen definierten Zeitraum azidotisch belastet, was mit einem Verlust der Hydrogenkarbonationen und Anstieg der Protonen einherging. Das kann ein Zeichen für eine verringerte Pufferkapazität sein (WEST et al., 1991).

Der **Base Excess** (BE) reagierte sehr deutlich auf die DCAB-Veränderungen in dieser Untersuchung. So sank der Wert von Woche 0 zu Woche 8 in der anionisch gefütterten Gruppe von 3,1 auf 2,0 und in der Kontrollgruppe stieg der Wert von 2,6 auf 4,4. Die rapide Steigerung der Werte in der Kontrollgruppe wurden wohlmöglich durch den DCAB-Anstieg um 60 mEq/kg TM verursacht. Dieser Effekt ist aber auch im pH-Wert und der HCO_3^- -Konzentration erkennbar und deutet auf eine alkalogene Beeinflussung des SBH hin (MORITZ et al., 2014b). Nach dem Futtertausch sank der BE in der Kontrollgruppe, die nun das anionische Mineral erhielt, signifikant ab. Der BE der Untersuchungsgruppe stieg ohne Signifikanz an. Vor und nach dem Futtertausch hatte jeweils die schwefelgefütterte Gruppe den niedrigeren BE. Mit Ausgleich der DCAB in Woche 16 konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Die Werte lagen beide nahe 0 und damit niedriger als in den vorherigen Untersuchungsabschnitten. Die Studien, welche den BE bestimmt hatten, konnten auch durchweg steigende bzw. sinkende Werte bei steigender bzw. sinkender DCAB nachweisen und damit den Zusammenhang zwischen SBH und Futter darlegen (ESCOBOSA et al., 1984; BORUCKI CASTRO et al., 2004; APPER-BOSSARD et al., 2010; MARTINS et al., 2016). Dies liegt auch u. a. darin begründet, dass sich die DCAB und der Base Excess durch dasselbe Prinzip der Bilanzierung von Säuren und Basen errechnen lassen.

Die **Natriumkonzentration** im Blut zeigte die gesamte Untersuchung über keine gruppenspezifischen Unterschiede. Die Werte der Gruppen stiegen über die Zeit parallel von Woche 0 zu Woche 3 signifikant an und fielen zu Woche 8 signifikant wieder ab, um dann zu Woche 13 wieder anzusteigen. Von Woche 13 zu Woche 16 zeigte sich kein Effekt über die Zeit. Dieses Ergebnis spricht gegen einen Einfluss der DCAB auf die Natriumkonzentration im Blut. Da sich beide Gruppen gleich entwickelten, könnten unbekannte Faktoren Einfluss auf die Natriumkonzentration gehabt haben. Einige Autoren konnten ebenfalls keinen Einfluss

durch die DCAB finden (WEST et al., 1991; HU und MURPHY, 2004; APPER-BOSSARD et al., 2010; SHARIF et al., 2010; ALFONSO-AVILA et al., 2017; WANG et al., 2018). MARTINS et al. (2016) fanden steigende Natriumgehalte im Blut bei niedriger DCAB und begründeten dies mit dem Kompensationsversuch des Körpers, der Azidose mit mehr Kationen (Kalium und Natrium) zu begegnen. ROCHE et al. (2005) und MOHANRAO et al. (2016) konnten steigende Natriumgehalte im Blut bei steigender DCAB zeigen. Als Gründe für diese unterschiedlichen Ergebnisse nannten MARTINS et al. (2016) die ungleiche Methodik in vielen Studien, weshalb sie wenig vergleichbar sind (unterschiedliche DCAB-Bereiche, Grundfutterarten und anionische Minerale).

Die Höhe der **Kaliumkonzentration** im Blut kann Hinweise für eine azidogene bzw. alkalogene Belastung des Organismus geben. Bei einer Azidose äußert sich dies durch einen Anstieg des Kaliumgehalts im Blut, da die überschüssigen Protonen intrazellulär geschleust werden und im Austausch dazu Kalium extrazellulär transportiert wird (ROSSOW und HORVATH, 1988; FÜRLI, 2014; HOFFMANN, 2014). So veränderte sich der Kaliumwert der Untersuchungsgruppe, welche mit dem anionischen Mineral gefüttert wurde, von Woche 0 zu Woche 3 nicht, während der Wert der Kontrollgruppe um 0,02 mmol/l abfiel. In Woche 3 unterschieden sich die Gruppen signifikant voneinander. Die Untersuchungsgruppe lag 0,2 mmol/l über dem Wert der Kontrollgruppe, was für eine azidogene Beeinflussung des SBHs spricht. Bis Woche 8 zeigten sich keine weiteren Veränderungen. Nach dem Futtertausch konnte in Woche 13 ein signifikanter Anstieg der Kaliumkonzentration der Kontrollgruppe (mit anionischem Mineral) verzeichnet werden, was die azidogene Wirkung des Futters bzw. der DCAB zeigt (IBRAHIEM EL-ZAHAR, 2015). Ähnliche Ergebnisse erhielten auch MARTINS et al. (2016), welche die niedrigsten Kaliumwerte bei einer DCAB von +290 mEq/kg TM und die höchsten bei -71 mEq/kg TM fanden. HU und MURPHY (2004) fanden durch den Vergleich diverser Studien ebenfalls einen Anstieg der Kaliumkonzentration im Blut bei sinkender DCAB. Andere Autoren konnten keinen Einfluss der DCAB auf den Kaliumgehalt im Blut nachweisen (TUCKER et al., 1988; APPER-BOSSARD et al., 2010; SHARIF et al., 2010; MOHANRAO et al., 2016; ALFONSO-AVILA et al., 2017; WANG et al., 2018).

5.4.3 Harn

Der **Harn-pH-Wert** und die **NSBA** haben einen sehr ähnlichen Graphenverlauf (Abb. 42 und 43). In Abschnitt 3.1 sanken die Werte der Untersuchungsgruppe signifikant. Nachdem die Untersuchungsgruppe auf die Grundration umgestellt wurde, stiegen die Werte über die der Kontrollgruppe an, während diese in ihren pH- und NSBA-Werten abfiel. Im dritten Abschnitt

der Untersuchung glichen sich die Werte der Kontrollgruppe an die der Untersuchungsgruppe an. Diese Ergebnisse stellen eine gute Wirkungsübersicht der DCAB auf den SBH dar. So bewirkt die Fütterung von anionischen Salzen (Sulfat) einen negativen bzw. azidogenen Effekt auf den SBH, woraufhin die überschüssigen Säuren (in Form von Protonen) mit dem Harn ausgeschieden werden. Durch die zusätzliche Gabe eines Puffers (hier Natriumhydrogenkarbonat) kann dieser Effekt aufgehoben werden. Die Ergebnisse in Bezug auf den pH-Wert von Abschnitt 3.1 und 3.2 bestätigen die Resultate von MARTINS et al. (2016). In Bezug auf beide Parameter konnten BENDER (2002), GELFERT et al. (2004), RÉRAT et al. (2009) und RÉRAT und SCHLEGEL (2014) ebenfalls diese Ergebnisse zeigen.

Die **Natriumkonzentration** im Harn zeigte im ersten und dritten Abschnitt signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Woche 3, 5, 11, 13 und 14). Dabei lagen die Werte der Kontrollgruppe im ersten Abschnitt über denen der Untersuchungsgruppe. Dieses Verhältnis kehrte sich nach dem Futtertausch im zweiten Abschnitt um, war dort jedoch nicht statistisch signifikant (Abb. 45). Der nichtsupplementierten Gruppe wurde NaCl zum Ausgleich der Natrium- bzw. Chloridgehalte zwischen den Rationen gefüttert. Dadurch wurde in der jeweiligen Gruppe mehr Natrium über den Harn ausgeschieden. Der rapide Abfall der Kontrollgruppenwerte in Woche 7 und der signifikante Abfall der Natriumkonzentration im dritten Untersuchungsabschnitt von Woche 14 bis 16 kann nicht mit der Fütterung erklärt werden. In diesem Abschnitt wurde sogar von Woche zu Woche mehr Natrium durch die Kühe aufgenommen (Abb. 41). Eventuell sind dort Anpassungsmechanismen in der Absorption im Magen-Darm-Trakt dafür verantwortlich. Die jeweils höheren Werte der Gruppen lassen sich auf einen Natriumüberschuss zurückführen, welcher zu erhöhter Natriumausscheidung führt (TUCKER et al., 1993; DIDIK, 1999; BENDER, 2002; SHAHZAD et al., 2008; APPERBOSSARD et al., 2010; MOHANRAO et al., 2016). Im letzten Abschnitt ist dies v. a. bei der natriumsupplementierten Kontrollgruppe durch die höheren Natriumgehalte zu erkennen (Abb. 45).

Die **Harncalciumkonzentration** zeigte deutliche Einflüsse durch die DCAB-Variationen (Abb. 44). So stieg der Calciumgehalt der Untersuchungsgruppe im Abschnitt 3.1 signifikant an, während der Wert der Kontrollgruppe signifikant abfiel. Im zweiten Abschnitt tauschten sich die Verhältnisse durch den Futtertausch aus. Im Abschnitt 3.3 glichen sich die Werte der Kontrollgruppe (Sulfat und Natrium) auf das niedrige Niveau der Untersuchungsgruppe an. Der Gehalt an Calcium im Harn spiegelt sehr deutlich die Situation des SBHs wider (ENGELHARDT et al., 2010). Hohe Werte zeigen eine azidotische Belastung an, welche für

eine vermehrte Calciummobilisation aus dem Knochen spräche, während niedrige Werte auf eine normale bis alkalogene Situation hindeuten. Diese Ergebnisse bestätigen die Erkenntnisse diverser Studien (TUCKER et al., 1991; BENDER, 2002; ROCHE et al., 2003; BORUCKI CASTRO et al., 2004; GELFERT et al., 2004; WILDMAN et al., 2007a; FAROOQ et al., 2014; MOHANRAO et al., 2016; WANG et al., 2018).

In den ersten beiden Abschnitten bestehen signifikante Unterschiede in der **Chlorid**konzentration im Harn zwischen den Gruppen (Abb. 46). Im ersten Abschnitt lagen die Werte der Untersuchungsgruppe signifikant höher als die Werte der Kontrollgruppe. Dieses Verhältnis kehrte sich mit dem Futtertausch im zweiten Abschnitt auch signifikant um. Zurückzuführen sind die unterschiedlichen Ausscheidungsmengen auf den Chloridgehalt der dargereichten Rationen (Tabellen 39 bis 41). Die nichtsupplementierte Gruppe erhielt mit der Grundration NaCl, um die Natrium- und Chloridgehalte beider Rationen anzugleichen. Die Untersuchungsgruppe erhielt somit im ersten Abschnitt 1,6 g/kg TM mehr Chlorid als die Kontrollgruppe. Im zweiten Abschnitt war der Unterschied nur 0,8 g/kg TM, weshalb die ausgeschiedenen Chloridmittelwerte der Gruppen auch etwas enger beieinanderlagen. Im dritten Abschnitt kam es wieder zu einem Wechsel der Mittelwerte der Chloridkonzentration. Dieser zeigt jedoch keine belastbare Signifikanz ($p=0,531$) bei den Harnchloridkonzentrationen. Den Zusammenhang zwischen der alimentären Zufuhr an Chlorid und der Chloridkonzentration im Harn konnten HU und MURPHY (2004) in ihrer Meta-Analyse als signifikant bestätigen. Durch die Angleichung des Natrium-/ Chloridgehalts ist es in dieser Studie schwierig zu erkennen, ob der Einfluss durch die Futterionen oder die DCAB entstanden ist. Andererseits hängen beide Komponenten eng zusammen und bedingen einander, denn eine niedrige DCAB wird meist durch chloridhaltige Salze erreicht. Ähnliche Überlegungen stellten auch TUCKER et al. (1991) an. In der Literatur wurden im Zusammenhang mit einer niedrigen DCAB-Fütterung Chloridanstiege im Harn gefunden (siehe Kap. 5.2). Da in der Forschung nur selten mit schwefelhaltigen Mineralen gearbeitet bzw. die Futtergehalte an Schwefel in manchen Studien nicht ausgewiesen wurden, kann hier kein Vergleich unternommen werden.

Bei den Harnparametern **Kalium**, **Magnesium** und **Phosphor** konnten signifikante Einflüsse gefunden werden (Abb. 52 bis 54), welche aber nicht im Zusammenhang mit der DCAB zu stehen scheinen.

Die Konzentration von **Harncreatinin** zeigte ebenfalls keine bzw. nur eine teilweise Beeinflussung durch die Fütterung unterschiedlicher DCAB (Abb. 55). Nach BENDER (2002)

sollten sich die Gehalte im Harn bei Fütterung von anionischen Mineralen erhöhen, dies konnte in der vorliegenden Untersuchung, v. a. Abschnitt 3.1, in den Wochen 1, 3, 5 und 13 mit Signifikanz gezeigt werden. Nach dem Futtertausch konnte in der supplementierten Gruppe (Kontrolle) jedoch kein signifikanter Anstieg der Creatininkonzentration im Harn gefunden werden.

5.4.4 Pansensaft

Die Pansensaftparameter wurden nur im Abschnitt 3.1 bestimmt. Hierbei zeigte sich ein signifikanter Abfall des **Pansen-pH** in der anionengefütterten Untersuchungsgruppe von Woche 0 zu 4, welcher sich aber zu Woche 9 wieder dem Wert der Kontrollgruppe bzw. der 0-Woche angleich (Abb. 47). Dieser Verlauf spricht dafür, dass die durch sulfathaltige anionische Minerale reduzierte DCAB einen signifikanten Effekt auf den Säuren-Basen-Haushalt des Pansen hat – zumindest in Woche 4. Der Pansen hat ein gewisses Maß an Anpassungsvermögen gegenüber dem Futter. So kann der Anstieg in Woche 9 darauf zurückzuführen sein (STAUFENBIEL, R., 2011b). In der Literatur sind unterschiedliche Ergebnisse zum Einfluss der DCAB auf den Pansen-pH-Wert zu finden. Keinen Einfluss konnten APPER-BOSSARD et al. (2010) und ALFONSO-AVILA et al. (2017) feststellen. SHARIF et al. (2010) und CATTERTON und ERDMAN (2016) konnten einen signifikant steigenden Einfluss einer steigenden DCAB auf den pH-Wert zeigen, während TUCKER et al. (1988) nur eine Tendenz dazu feststellen konnten.

Das **Scoring des Pansensafts** konnte nur eine Tendenz ($p=0,091$) zur verbesserten Infusorienbeweglichkeit der Kontrollgruppe in der 9. Woche feststellen (Tab. 51 und Abb. 48). Alle anderen Parameter zeigten keine Veränderung durch die DCAB, was bei einem pH-Unterschied von 6,3 zu 6,1 (Woche 4) auch nicht zu erwarten wäre, da die Werte noch im physiologischen Bereich liegen (MORITZ et al., 2014b). CHAWANIT (2003) untersuchte mittels eines Pansenmodells den Einfluss von chlorid- und sulfathaltigen Mineralstoffen u. a. auf die Protozoenaktivität. Die DCAB wurde in diesem Versuch von -100 auf -300 mEq/kg TM gesenkt. Es konnte nur ein geringer negativer Effekt auf die Thiaminproduktion der Pansenmikroben gefunden werden, aber keine physiologischen Entgleisungen.

6. Schlussfolgerungen

Die DCAB hat einen deutlichen Einfluss auf den Säure-Basen-Haushalt (SBH) der Milchkuh. Im Blut zeigen sich diese Auswirkungen aufgrund der guten Regulierung weniger stark als im Harn. Durch die Erhöhung der DCAB mit BICAR®Z (NaHCO_3) werden die Säure-Basen-Parameter pH, pCO_2 , HCO_3 und BE im Blut nicht signifikant beeinflusst (Untersuchung 2 und 3.3). Beim Reduzieren der DCAB durch den Einsatz von SoyChlor® (chloridangereichertes Sojaschrot (HCl)) oder CS-Dihydrat QS (CaSO_4) fallen die Blutparameter pH, HCO_3 und BE signifikant ab (Untersuchung 1, 3.1 und 3.2). Es zeigt sich ein stärkerer Einfluss durch eine azidogene Ration (niedrige DCAB) auf die Blutparameter als durch eine alkalogene Ration (hohe DCAB).

Die Natriumkonzentration im Blut zeigt über die Zeit Schwankungen in allen drei Untersuchungen. Diese Veränderungen konnten nicht auf die DCAB zurückgeführt werden, da sie in der Kontroll- wie auch in der Untersuchungsgruppe gleichermaßen vorkommen. Die Kaliumkonzentration im Blut zeigt in Untersuchung 3.2 eine signifikante Erhöhung bei der anionisch gefütterten Gruppe (niedrige DCAB), was wahrscheinlich durch die azidogene Wirkung der DCAB verursacht wurde.

Im Harn konnten deutlichere Auswirkungen durch die DCAB als im Blut gefunden werden. So fallen der Harn-pH und die NSBA signifikant ab, wenn die DCAB gesenkt wird (Untersuchung 1, 3.1 und 3.2), und steigen signifikant an, wenn die DCAB erhöht wird (Untersuchung 2 und 3.3). Sekundär konnten auch Einflüsse auf die Calcium-, Magnesium- und Creatininkonzentrationen gezeigt werden. So steigt die Calciumkonzentration im Harn an, wenn die DCAB reduziert wird (Untersuchung 1, 3.1 und 3.2), und fällt ab, wenn die DCAB erhöht wird (Untersuchung 2 und 3.3). Die Magnesiumkonzentration im Harn zeigt eine ähnliche Reaktion wie die des Calciums, dies jedoch nur in den Untersuchungen 1 und 2 (Einsatz von Natrium und Chlorid). Die Phosphor- und Kaliumkonzentrationen im Harn werden nicht durch die DCAB beeinflusst. Nur in Untersuchung 2 kann ein signifikanter Abfall der Kaliumkonzentration festgestellt werden. Die Chlorid- und Natriumkonzentrationen werden von den jeweiligen Mengen im Futter beeinflusst. So steigen die Konzentrationen bei erhöhtem Vorkommen in der Ration an (Untersuchung 1 und 2). In der dritten Untersuchung kann der Einsatz von NaCl gut anhand der gesteigerten Harnausscheidung von Natrium und Chlorid nachvollzogen werden. Bemerkenswert bei diesem Ergebnis ist, dass die

Chloridkonzentration in Untersuchung 1 bei gleichbleibender Menge im Futter trotzdem im Verlauf der Untersuchung konstant ansteigt. Ähnliches zeigt sich in der Calciumkonzentration, welche konstant bei gleichbleibend niedriger DCAB über die Zeit ansteigt. Dieser Langzeiteffekt müsste in weitere Studien untersucht werden.

Der Pansen-pH fällt bei reduzierter DCAB ab (Untersuchung 1 und 3.1). Dies ist nur bei den Messungen in der 4. bzw. 5. Woche feststellbar. In der letzten Woche der Untersuchungen steigt der pH wieder auf das Niveau der Kontrollgruppe an. Beim Erhöhen der DCAB mit Natrium zeigen sich keine Effekte (Untersuchung 2). Diese Ergebnisse ähneln sehr denen der Blutparameter. Das Pansenscoring (Methylenblautest, Sedimentaktivitätszeit, Infusorien und Sensorik) zeigt keinen Einfluss durch die DCAB.

Die Vorbereitungen werden aufgrund der Gebärpareseprophylaxe im Hinblick auf die DCAB weitestgehend gut kalkuliert und angepasst. Bei Rationen für laktierende Milchkühe ist dies keine gängige Praxis. Wie diese Untersuchungen aber zeigen, sollten auch diese Futterrationen überprüft werden, da v. a. niedrige DCAB-Werte eine azidogene Wirkung auf den SBH hatten, während hohe DCAB-Werte wenig bis keinen Einfluss zeigten. Es gibt hohe Schwankungsbreiten an Mineralstoffgehalten (v. a. Natrium, Kalium, Chlor und Schwefel) im Grundfutter, wie die betriebsüblichen Grundrationen (+80 bis +220 mEq/kg TM) in dieser Untersuchung zeigen.

Als Methode der Wahl zur Überprüfung der DCAB-Wirkung auf die Kühe ist die Harnuntersuchung (auf pH oder besser NSBA) der Blutuntersuchung (auf pH) vorzuziehen. Diese ist praktikabler in der Durchführung und schneller in der Ergebnisstellung. Wenn Blutuntersuchungen unternommen werden, ist eine Diagnostik des BEs am aussagekräftigsten.

7. Zusammenfassung

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

Das Konzept der Dietary Cation Anion Balance (DCAB) wird vorrangig in der Geburtsvorbereitungsphase bei Milchkühen genutzt. Diese Arbeit befasst sich mit den Auswirkungen der DCAB auf den Säure-Basen-Haushalt (SBH) bei laktierenden Milchkühen. Außerdem wurde in der Literaturrecherche der Einfluss verschiedener Konzentrationen der beiden Hauptkationen der DCAB (Natrium und Kalium) auf die Leistung von Milchkühen beleuchtet.

Für die Untersuchungen wurden 78 laktierende Holstein-Friesian Milchkühe (100-200 Tage in Milch) über Futterwiegetröge gefüttert. So konnten in drei Durchgängen verschiedene DCAB-Variationen den Tieren vorgelegt und deren Einfluss auf den SBH mittels Blut-, Harn- und Pansensaftproben gemessen werden. Vor der jeweiligen Untersuchung erhielten alle Tiere die betriebsübliche Ration (+80 bis +220 mEq/kg Trockenmasse (TM)). Anschließend wurden die Tiere zufällig, aber ausgewogen nach der Laktationsnummer, in zwei Gruppen eingeteilt. Die Kontrollgruppe bekam weiterhin die betriebsübliche Ration, während der Untersuchungsgruppe ein DCAB-regulierendes Ergänzungsfuttermittel zusätzlich unter die Ration gemischt wurde. In Untersuchung 1 erhielt die Untersuchungsgruppe SoyChlor®, ein anionisches Ergänzungsfuttermittel mit hohem Anteil an Chlorid (Kontrolle: +200 bis +220 mEq/kg TM/ Untersuchung: +55 bis +73 mEq/kg TM). In Untersuchung 2 wurde der Untersuchungsgruppe zusätzlich BICAR®Z (Natriumhydrogenkarbonat) als natriumhaltiges kationisches Ergänzungsfuttermittel gefüttert (Kontrolle: +80 mEq/kg TM / Untersuchung: +221 mEq/kg TM). Die dritte Untersuchung unterteilt sich in drei Abschnitte: In Abschnitt 1 bekam die Untersuchungsgruppe CS-Dihydrat QS – ein anionisches Calciumsulfatgemisch – gefüttert (Kontrolle: +143 mEq/kg TM/ Untersuchung: -6 mEq/kg TM), in Abschnitt 2 wurden die Rationen getauscht (Kontrollgruppe erhielt nun das Mineral – Kontrolle: +1 mEq/kg TM / Untersuchung: +145 mEq/kg TM) und in Abschnitt 3 wurde der supplementierten Gruppe BICAR®Z als Puffer zugeführt, um die DCAB auf den Wert der Untersuchungsgruppe anzuheben (Kontrolle: +77 mEq/kg TM/ Untersuchung: +150 mEq/kg TM). Die Rationen wurden alle 2-3 Wochen analytisch geprüft. Über den Zeitraum der Untersuchungen wurden zu Beginn und Ende die Lebendmasse, die Rückenfettdicke, der Body Condition Score und

Blutparameter (pH, pCO₂, HCO₃, BE, Natrium, Kalium) gemessen. Alle 1-2 Wochen erfolgte eine Harnprobenentnahme (pH, Netto-Säure-Basen-Ausscheidung (NSBA), Na, K, Ca, Mg, P, Cl, Crea) und an drei Zeitpunkten (Beginn, Mitte und Ende) der Untersuchung wurden Pansensaftproben (pH, Methylenblautest (MBT), Sedimentaktivitätszeit (SAT), Sensorik) entnommen. Die Lebendmasse, die Rückenfettdicke und der Body Condition Score zeigten in allen drei Durchgängen keine signifikanten Veränderungen durch die DCAB und bestätigen somit einheitliche Gruppen.

Es zeigten sich bei azidogen wirkender DCAB (Anreicherung mit Chlorid, Schwefel) signifikante Effekte auf die Blut- (pH, HCO₃, BE) und Pansensaftparameter (pH) des SBH, welche quantitativ aber nur gering ausgeprägt waren. Bei erhöhter DCAB konnten im Blut und Pansensaft keine signifikanten Effekte festgestellt werden. Es konnten keine Auswirkungen auf die Werte des Pansensaftscorings (MBT, SAT, Sensorik) festgestellt werden. Die Kaliumkonzentration im Blut zeigt nur in Abschnitt 3.2 einen Anstieg bei niedriger DCAB, was auf eine azidotische Belastung hindeuten kann. Auf die Harnparameter pH, NSBA und Calcium hat die DCAB einen deutlichen Einfluss. NSBA und pH sinken bei niedriger DCAB und die Calciumausscheidung steigt. Bei erhöhter DCAB steigen der pH und die NSBA während die Calciumkonzentration sinkt. Die Magnesiumkonzentration zeigt in den ersten beiden Untersuchungen einen ähnlichen Verlauf wie die Calciumkonzentration. In Untersuchung 3 kann kein Einfluss gefunden werden. Die Konzentrationen von Natrium und Chlorid sind vom jeweiligen Gehalt im Futter abhängig. Die Kalium- und Phosphorkonzentration im Harn werden nicht durch die DCAB beeinflusst. Die Creatininkonzentration über den Harn sinkt bei hoher DCAB und steigt bei niedriger DCAB.

Schlussfolgernd kann festgehalten werden, dass es bei laktierenden Milchkühen einen signifikanten Einfluss der DCAB auf den SBH gibt. Aus diesem Grund sollte die Ration der Milchkühe nicht nur in der Vorbereitung auf die Geburt zur Beurteilung der Wirkung der Gebärpäresese prophylaxe überprüft werden, sondern auch in den Rationen aller Laktationsstadien. Dies sei vor dem Hintergrund gesagt, dass v. a. azidogene Rationen (Untersuchung 1 und 2) zu Auswirkungen im SBH (Blut, Harn und Pansensaft) führen, während eine alkalogene Ration weniger starke Einflüsse hat. Als Mittel der Wahl zur Beurteilung der Wirkung der DCAB auf den SBH ist die Harnprobe gegenüber der Blutprobe im Stall am besten geeignet, da sie in beiden Richtungen (azidotisch und alkalogen) wertvolle Hinweise und schnellere Ergebnisse liefert.

8. Summary

The influence of DCAB in feed rations on the acid-base balance in Holstein-Friesian dairy cows, taking into consideration concentrations of potassium and sodium

The concept of the Dietary Cation Anion Balance (DCAB) is mainly used in the feed rations of dry cows. The thesis investigates the impact of DCAB on the acid-base-status of lactating cows. Furthermore, the influence of different concentrations of sodium and potassium as the main cations of the DCAB on the performance of lactating cows was examined through literature research.

For this study, 78 lactating cows (lactating for 100-200 days) were fed by special feeding troughs, which were able to record the dry matter intake. Different variations of DCAB were tested in three trial periods by the measurement of blood-, urine- and rumen parameters. At the start of each trial period the animals were fed with the usual feed rations (+80 to +220 mEq/kg dry matter (DM)). Afterwards the cows were randomly divided into two groups (the control group and investigation group), balanced by the number of lactations. The control group received the control feed ration and the investigation group received the control feed ration which had been supplemented with an anionic salt. During the first trial period, SoyChlor® - with high fraction of chloride (control: +200 to +220 mEq/kg DM/ investigation: +55 to +73 mEq/kg DM) - was used as the supplement. During the second trial period, BICAR®Z (sodium hydrogen carbonate) was added to the control ration (control: 80 mEq/kg DM/ investigation: 221 mEq/kg DM). The third trial period was divided into three segments. In the first segment CS-Dihydrat QS (anionic salt with calcium sulphate) was supplemented to the control ration (control: +143 mEq/kg DM/ investigation: -6 mEq/kg DM). During the second segment, feed rations were switched between the two groups (control: +1 mEq/kg DM/ investigation: +145 mEq/kg DM). In the third segment, BICAR®Z was additionally fed to the supplemented group from the second segment, in order to align the DCAB level (control: +77 mEq/kg DM/ investigation: +150 mEq/kg DM).

At the beginning and at the end of each trial period, the body weight, back fat thickness, the overall body condition score and the blood parameters (pH, pCO₂, HCO₃, BE, Na, K) were measured. The TMR (Total Mixed Rations) were checked and analysed every two or three weeks. The urine parameters (pH, Netto Acid Base Excretion (NABE), Na, K, Ca, Mg, P, Cl,

Crea) were measured every week or every other week. Rumen fluid samples (for methylene blue test, determinant of pH, sediment activity time and sensory properties) were taken at the beginning, in the middle and at the end of each trial period. There were no significant differences in the parameters in body weight, back fat thickness and the overall body condition score in all of the trial periods. Thus the uniformity of the groups was guaranteed.

It was shown that especially the lower acidogenic DCAB (with chloride or sulphur) had an effect on the blood (pH, HCO_3 , BE) and rumen parameters (pH) of the acid-base-balance. With increased amounts of DCAB, no significant effects were detected, neither in the blood nor in the rumen fluid of the cows. There was no significant impact on the rumen parameters' methylene blue test, sediment activity time and sensory properties. The concentration of potassium in the blood increased - with decreased DCAB only in the second segment of the third trial. This indicates an acidosis, evoked by the low level of DCAB. DCAB has a clear influence on the urine parameters pH, NABE and the concentration of calcium. With decreased DCAB, both pH and NABE decreased and the calcium concentration increased. With increased DCAB, the pH and NABE increased and the calcium concentration decreased. During the 1st and 2nd trial periods, the magnesium concentration showed a similar level as the calcium concentration. This effect could not be observed in 3rd trial period: there was no significant impact on the magnesium concentration. The excretion of sodium and chloride depends on the content of the respective ion in the feed ration. There were no significant effects on the urine concentration of potassium or phosphate by the DCAB. The excretion of urine creatinine decreased when the DCAB was high and increased when the DCAB was low.

In conclusion, an explicit impact of the DCAB on the acid-base-status of lactating cows was determined. For this reason, DCAB is recommended to also be used – in addition to the feeding of dry cows – in the analysis and calculation of feed rations for lactating dairy cows in all stages of lactation. This is especially important, because the greatest effect on the acid-base-balance in blood, urine and rumen is caused by acidogenic DCAB (1st and 2nd trial periods) whereas alkalogenic feed rations do not have such a great influence. The DCAB of customary feed rations varies from +80 to +220 mEq/kg dry matter. The lower value is not recommended any more for lactating dairy cows. For verification measurement in the barn, urine sampling is the most suitable method to obtain valuable information in both directions (about alkalosis or acidosis) as well as to obtain prompt results.

9. Literaturverzeichnis

- 1 ALFONSO-AVILA, A. R.; CHARBONNEAU, É.; CHOUINARD, P. Y.; TREMBLAY, G. F.; GERVAIS, R. (2017)
Potassium carbonate as a cation source for early-lactation dairy cows fed high-concentrate diets.
Journal of dairy science. 100 (3): 1751–1765
- 2 AL-QAISI, M.; HORST, E. A.; KVIDERA, S. K.; MAYORGA, E. J.; TIMMS, L. L.; BAUMGARD, L. H. (2019)
Technical note: Developing a heat stress model in dairy cows using an electric heat blanket.
Journal of dairy science. 102 (1): 684–689
- 3 APPER-BOSSARD, E.; FAVERDIN, P.; MESCHY, F.; PEYRAUD, J. L. (2010)
Effects of dietary cation-anion difference on ruminal metabolism and blood acid-base regulation in dairy cows receiving 2 contrasting levels of concentrate in diets.
Journal of dairy science. 93 (9): 4196–4210
- 4 APPER-BOSSARD, E. und PEYRAUD, J. L. (2004)
Dietary cation-anion difference could enhance acid-base status of lactating dairy cows submit to a subacidosis.
Journal of animal and feed sciences. 13: 27–30
- 5 BACH, A.; GUASCH, I.; ELCOSO, G.; DUCLOS, J.; KHELIL-ARFA, H. (2018)
Modulation of rumen pH by sodium bicarbonate and a blend of different sources of magnesium oxide in lactating dairy cows submitted to a concentrate challenge.
Journal of dairy science. 101 (11): 9777–9788
- 6 BAKER, L. A.; TOPLIFF; FREEMAN, 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.
Journal of equine veterinary science. 18 (6): 389–395
- 7 BANI HASSAN, E.; NOURI, M.; VOGRIN, S.; PYMAN, M. (2018)
Can neutral dietary cation-anion difference (DCAD) decrease occurrence of clinical periparturient hypocalcaemia in dairy cattle?
Australian veterinary journal. 96 (7): 269–273
- 8 BENDER, S. (2002)
Einsatz der Harnuntersuchung zur Beurteilung des Säure-Base- und Mineralstoffhaushaltes im Rahmen der prophylaktischen Bestandsbetreuung von Milchviehherden
Freie Universität Berlin - FB Veterinärmedizin, Dissertation

- 9 BENDER, S.; GELFERT, C. C.; STAUFENBIEL, R. (2001)
Einflüsse bestimmter Futterkomponenten in Milchkuhrationen auf diagnostische Parameter in Harnproben.
Tierärztliche Umschau. 56 (12): 639–644

- 10 BERMAN, A.; FOLMAN, Y.; KAIM, M.; MAMEN, M.; HERZ, Z.; WOLFENSON, D.; ARIELI, A.; GRABER, Y. (1985)
Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate.
Journal of dairy science. 68 (6): 1488–1495

- 11 BHANUGOPAN, M. S.; FULKERSON, W. J.; HYDE, M.; FRASER, D. R. (2015)
Effect of dietary potassium supplementation on the calcium absorption capacity in the rumen and abomasum and fractional excretion of urinary minerals in sheep.
Animal production science. 55 (4): 508–514

- 12 BIGNER, D. R.; GOFF, J. P.; FAUST, M. A.; TYLER, H. D.; HORST, R. L. (1997)
Comparison of oral sodium compounds for the correction of acidosis.
Journal of dairy science. 80 (9): 2162–2166

- 13 BLOCK, E. (1984)
Manipulating dietary anions and cations for prepartum dairy cows to reduce incidence of milk fever.
Journal of dairy science. 67 (12): 2939–2948

- 14 BLOCK, E. (1988)
The response to the balance of major minerals by the dairy cow.
Elsevier Science; ISBN: 9780408007177; 119–134

- 15 BLOCK, E. (1994)
Manipulation of dietary cation-anion difference on nutritionally related production diseases, productivity, and metabolic responses of dairy cows.
Journal of dairy science. 77 (5): 1437–1450

- 16 BLOCK, E. (1997)
Dietary cation-anion balance in dairy cow nutrition
URL: <http://www.wcds.ca/proc/1997/ch17-97.htm>

- 17 BORUCKI CASTRO, S. I.; PHILLIP, L. E.; GIRARD, V.; TREMBLAY, A. (2004)
Altering dietary cation-anion difference in lactating dairy cows to reduce phosphorus excretion to the environment.
Journal of dairy science. 87 (6): 1751–1757

- 18 BOUDON, A.; JOHAN, M.; NARCY, A.; BOUTINAUD, M.; LAMBERTON, P.; HURTAUD, C. (2016)
Dietary cation-anion difference and day length have an effect on milk calcium content and bone accretion of dairy cows.
Journal of dairy science. 99 (2): 1527–1538

- 19 BYERS, DAVID I. (1994)
Management considerations for the successful use of anionic salts in dry cow diets: 52–60; Minnesota dairy health conference; 24. bis 26. Mai 1994
- 20 CALABRÒ, S.; TUDISCO, R.; BIANCHI, S.; GROSSI, M.; BONIS, A.; CUTRIGNELLI, M. (2011)
Management of struvite uroliths in dogs.
The british journal of nutrition. 106 Suppl (1): S191-3
- 21 CASSIDA, K.A.; MULLER, L.D.; SWEENEY, T.F. (1988)
Sodium sesquicarbonate for early lactation dairy cows fed corn silage-based diets.
Journal of dairy science. 71 (2): 381–387
- 22 CATTERTON, T. L. und ERDMAN, R. A. (2016)
The effect of cation source and dietary cation-anion difference on rumen ion concentrations in lactating dairy cows.
Journal of dairy science. 99 (8): 6274–6284
- 23 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.
Journal of dairy science. 88 (12): 4384–4392
- 24 CHARBONNEAU, E.; CHOUINARD, P. Y.; TREMBLAY, G. F.; ALLARD, G.; PELLERIN, D. (2008)
Hay to reduce dietary cation-anion difference for dry dairy cows.
Journal of dairy science. 91 (4): 1585–1596
- 25 CHARBONNEAU, E.; CHOUINARD, P. Y.; TREMBLAY, G. F.; ALLARD, G.; PELLERIN, D. (2009)
Timothy silage with low dietary cation-anion difference fed to nonlactating cows.
Journal of dairy science. 92 (5): 2067–2077
- 26 CHARBONNEAU, E.; PELLERIN, D.; OETZEL, G. R. (2006)
Impact of lowering dietary cation-anion difference in nonlactating dairy cows.
Journal of dairy science. 89 (2): 537–548
- 27 CHAWANIT, M. (2003)
Wirkung anionischer Futterzusätze auf Protein-, Lipid- und Thiaminstoffwechsel im Pansensaft des Rindes (in vitro)
Tierärztliche Hochschule Hannover, Klinik für Rinder, Dissertation
- 28 CHENG, S. Y.; WANG, L.; CHEN, X. L.; SHI, B. M.; SHAN, A. S. (2015)
Effects of dietary electrolyte balance on the performance, plasma biochemistry parameters and immunoglobulin of sows during late gestation and lactation.
Animal feed science and technology. 200: 93–101

- 29 CHIY, P. C. und PHILLIPS, C. J.C. (2000)
Sodium fertilizer application to pasture. 10. A comparison of the responses of dairy cows with high and low milk yield potential.
Grass and forage science. 55 (4): 343–350
- 30 CHO, Y. M.; CHOI, H.; HWANG, I. H.; KIM, Y. K.; MYUNG, K. H. (2006)
Effects of 25-hydroxyvitamin D3 and manipulated dietary cation-anion difference on the tenderness of beef from cull native Korean cows.
Journal of animal science. 84 (6): 1481–1488
- 31 COLLAZOS, C.; LOPERA, C.; SANTOS, J. E. P.; LAPORTA, J. (2017)
Effects of the level and duration of maternal diets with negative dietary cation-anion differences prepartum on calf growth, immunity, and mineral and energy metabolism.
Journal of dairy science. 100 (12): 9835–9850
- 32 CONSTABLE, P. D. (1999)
Clinical assessment of acid-base status - Strong ion difference theory.
The veterinary clinics of north america. Food animal practice. 15 (3): 447–471
- 33 CONSTABLE, P. D. (2000)
Clinical assessment of acid-base status: comparison of the Henderson-Hasselbalch and strong ion approaches.
Veterinary clinical pathology. 29 (4): 115–128
- 34 CONSTABLE, P. D.; GELFERT, C.-C.; FUERLL, M.; STAUFENBIEL, R.; STAEMPFLI, H. R. (2009)
Application of strong ion difference theory to urine and the relationship between urine pH and net acid excretion in cattle.
American journal of veterinary research. 70 (7): 915–925
- 35 COOPER, SR; KLINE, K. H.; FOREMAN, J. H.; BRADY, H. A.; FREY, L. P. (1998)
Effects of dietary cation-anion balance on pH, electrolytes, and lactate in standardbred horses.
Journal of equine veterinary science. 18 (10): 662–666
- 36 COOPER, SR; TOPLIFF; FREEMAN, D. W.; BREAZILE, J. E.; GEISERT, R. D. (2000)
Effect of dietary cation-anion difference on mineral balance, serum osteocalcin concentration and growth in weanling horses.
Journal of equine veterinary science. 20 (1): 39–44
- 37 COPPOCK, C. E.; GRANT, P. A.; PORTZER, S. J.; ESCOBOSA, A.; WEHRLY, T. E. (1982)
Effect of varying dietary ratio of sodium and chloride on the responses of lactating dairy cows in hot weather.
Journal of dairy science. 65 (4): 552–565

- 38 CORREA, L. B.; ZANETTI, M. A.; NETTO, A. SARAN; DEL CLARO, G. R.; PAIVA, F. A.; MARTINS, P. G. M. A. (2014)
Effects of supplemental dietary sodium bicarbonate on performance of lactating Holstein cows during the summer season in Brazil.
Livestock science. 169: 78–82
- 39 COUTO SERRENHO, R.; MORRISON, E. I.; BOGADO PASCOTTINI, O.; DEVRIES, T. J.; DUFFIELD, T. F.; LEBLANC, S. J. (2020)
The effect of prepartum negative dietary cation-anion difference and serum calcium concentration on blood neutrophil function in the transition period of healthy dairy cows.
Journal of dairy science. 103 (7): 6200–6208
- 40 DARRIET, C.; AXE, D. E.; CRENSHAW, T. D. (2017)
Acidogenic mineral additions increased Ca mobilization in prepartum sows.
Journal of animal science. 95 (1): 212–225
- 41 DEGARIS, P. J. und LEAN, I. J. (2009)
Milk fever in dairy cows.
Veterinary journal. 176 (1): 58–69
- 42 DELAQUIS, A. M. und BLOCK, E. (1995a)
Dietary cation-anion difference, acid-base status, mineral metabolism, renal function, and milk production of lactating cows.
Journal of dairy science. 78 (10): 2259–2284
- 43 DELAQUIS, A. M. und BLOCK, E. (1995b)
The effects of changing ration ingredients on acid-base status, renal function, and macromineral metabolism.
Journal of dairy science. 78 (9): 2024–2039
- 44 DERSJANT-LI, Y.; SCHULZE, H.; SCHRAMA, J. W.; VERRETH, J. A.; VERSTEGEN, M. W. (2001)
Feed intake, growth, digestibility of dry matter and nitrogen in young pigs as affected by dietary cation-anion difference and supplementation of xylanase.
Journal of animal physiology and animal nutrition. 85 (3-4): 101–109
- 45 DI OFFICER; BATTERHAM, E. S.; FARRELL, D. J. (1997)
Comparison of growth performance and nutrient retention of weaner pigs given diets based on casein, free amino acids or conventional proteins.
The british journal of nutrition. 77 (5): 731–744
- 46 DIBARTOLA, S. P. (2006)
Fluid, electrolyte, and acid-base disorders in small animal practice.
Saunders Elsevier; 3. Auflage; ISBN: 9780721639499; Seite: 702

- 47 DIDIK, T. (1999)
Untersuchungen zu metabolischen Effekten von Natriumbikarbonat (NaHCO₃) in
Milchkuhrationen
Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Dissertation
- 48 DIEHL, A. L.; BERNARD, J. K.; TAO, S.; SMITH, T. N.; KIRK, D. J.; MCLEAN, D.
J.; CHAPMAN, J. D. (2018a)
Effect of varying prepartum dietary cation-anion difference and calcium concentration
on postpartum mineral and metabolite status and milk production of multiparous cows.
Journal of dairy science. 101 (11): 9915–9925
- 49 DIEHL, A. L.; BERNARD, J. K.; TAO, S.; SMITH, T. N.; MARINS, T.; KIRK, D. J.;
MCLEAN, D. J.; CHAPMAN, J. D. (2018b)
Short communication: Blood mineral and gas concentrations of calves born to cows fed
prepartum diets differing in dietary cation-anion difference and calcium concentration.
Journal of dairy science. 101 (10): 9048–9051
- 50 DISHINGTON, I. W. (1975)
Prevention of milk fever (hypocalcemic paresis puerperalis) by dietary salt supplements.
Acta veterinaria Scandinavica. 16 (4): 503–512
- 51 EDMONSON, A. J.; LEAN, I. J.; WEAVER, L. D.; FARVER, T.; WEBSTER, G.
(1989)
A body condition scoring chart for Holstein dairy cows.
Journal of dairy science. 72 (1): 68–78
- 52 ELFRICH, R. (2017)
Die Tiergesundheit fängt bei der Düngung an.
Innovation (2): 20–21
- 53 EL-NOUTY, F. D.; ELBANNA, I. M.; DAVIS, T. P.; JOHNSON, H. D. (1980)
Aldosterone and ADH response to heat and dehydration in cattle.
Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology.
48 (2): 249–255
- 54 ENDER, F.; DISHINGTON, I. W.; HELGEBOSTAD, A. (1971)
Calcium balance studies in dairy cows under experimental induction and prevention of
hypocalcaemic paresis puerperalis.
Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde. 28 (5): 233–256
- 55 ENGELHARD, T. und GREINER, B. (2018)
Bedeutung der DCAB in der Milchkuhfütterung und Erfahrungen aus dem DCAB-
Monitoring in Sachsen-Anhalt im Jahr 2017.
11. Mitteldeutsche Rinder-Workshop in Bernburg (27.-28.04.2018): 37–41
- 56 ENGELHARDT, W. VON; BREVES, G.; AURICH, C. (2010)
Physiologie der Haustiere.
Enke; 3. überarbeitete Auflage; ISBN: 9783830410782; 712 Seiten

- 57 ERDMAN, R. A.; HEMKEN, R. W.; BULL, L. S. (1982)
Dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide for early postpartum lactating dairy cows.
Journal of dairy science. 65 (5): 712–731
- 58 ERDMAN, R. A.; PIPEROVA, L. S.; KOHN, R. A. (2011)
Corn silage versus corn silage.
Journal of dairy science. 94 (10): 5105–5110
- 59 ERDMAN, R. A. (1988)
Dietary buffering requirements of the lactating dairy cow.
Journal of dairy science. 71 (12): 3246–3266
- 60 ESCOBOSA, A.; COPPOCK, C. E.; ROWE, L. D.; JENKINS, W. L.; GATES, C. E. (1984)
Effects of dietary sodium bicarbonate and calcium-chlorid on physiological-responses of lactating dairy-cows in hot weather.
Journal of dairy science. 67 (3): 574–584
- 61 ESPINO, L.; SUAREZ, M. L.; SANTAMARINA, G.; GOICOA, A.; FIDALGO, L. E. (2005)
Effects of dietary cation-anion difference on blood cortisol and ACTH levels in reproducing ewes.
Journal of veterinary medicine. Physiology, pathology, clinical medicine. 52 (1): 8–12
- 62 FAROOQ, U.; PASHA, T. N.; JABBAR, M. A.; ABDULLAH, M. (2014)
Effects of varying levels of DCAD with two levels of Mg and K on acid base status, Mg metabolism and productive performance of beetal goats.
Journal of animal and plant sciences. 24 (6): 1592–1601
- 63 FAUCHON, C.; SEOANE, JR; BERNIER, J. F. (1995)
Effects of dietary cation-anion concentrations on performance and acid-base-balance in growing lambs.
Canadian journal of animal science. 75 (1): 145–151
- 64 FREDEEN, A. H.; DEPETERS, E. J.; BALDWIN, R. L. (1988)
Characterization of acid-base disturbances and effects on calcium and phosphorus balances of dietary fixed ions in pregnant or lactating does.
Journal of animal science. 66 (1): 159–173
- 65 FÜRLI, M. (2014)
34 Spezielle Untersuchungen beim Wiederkäuer - In: Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin.
Schattauer; 7. überarbeitete Auflage; ISBN: 978-3-7945-2737-3; Seiten: 748–767
- 66 GÄBEL, G. (2010)
12 Säure-Basen-Haushalt - In: Physiologie der Haustiere
Enke; 3. überarbeitete Auflage; ISBN: 978-3-8304-1078-2; Seiten: 281-291

- 67 GASTEINER, J. (2010)
Tiergesundheitliche Aspekte des Übergangs von der Trockenstehzeit in den Laktationsstart; Tierärztetagung in Raumberg-Gumpenstein am 28. bis 30. Mai 2010 ISBN: 9783902559463 (Österreich)
- 68 GELFERT, C. C.; ZARRATH, M.; EUSTERMANN, S.; STAUFENBIEL, R. (2004)
Überwachung des Einsatzes saurer Salze in Milchviehherden durch Futter- und Harnuntersuchungen.
Der praktische Tierarzt. 85: 422–430
- 69 GELFERT, C.-C.; LOEPTIEN, A.; MONTAG, N.; BAUMGARTNER, W.; STAUFENBIEL, R. (2006)
Impact of a prolonged period of feeding anionic salts on the acid-base-balance and calcium metabolism of dairy cows.
Wiener tierärztliche Monatsschrift. 93 (11-12): 304–310
- 70 GELFERT, C.-C.; LOEFFLER, L.; FRÖMER, S.; ENGEL, M.; HARTMANN, H.; MÄNNER, K.; BAUMGARTNER, W.; STAUFENBIEL, R. (2007)
The impact of dietary cation anion difference (DCAD) on the acid-base balance and calcium metabolism of non-lactating, non-pregnant dairy cows fed equal amounts of different anionic salts.
The Journal of dairy research. 74 (3): 311–322
- 71 GELFERT, C.-C. und STAUFENBIEL, R. (2008)
The role of dietary calcium concentration in the use of anionic salts to prevent parturient paresis in dairy cows.
Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift. 121 (7-8): 256–262
- 72 GOEBBELS, M. (2005)
Untersuchungen zum praktischen Einsatz von Anionenrationen zur Prophylaxe der Hypokalzämie in Milchkuhbeständen
Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Dissertation
- 73 GOFF, J. P. (2000)
Pathophysiology of calcium and phosphorus disorders.
The veterinary clinics of north america. Food animal practice. 16 (2): 319-37
- 74 GOFF, J. P. und HORST, R. L. (1998)
Use of hydrochloric acid as a source of anions for prevention of milk fever.
Journal of dairy science. 81 (11): 2874–2880
- 75 GOFF, J. P. und HORST, R. L. (2003)
Role of acid-base physiology on the pathogenesis of parturient hypocalcaemia (milk fever)-the DCAD theory in principal and practice.
Acta veterinaria Scandinavica. Supplementum. 97: 51–56

- 76 GOFF, J. P.; RUIZ, R.; HORST, R. L. (2004)
Relative acidifying activity of anionic salts commonly used to prevent milk fever.
Journal of dairy science. 87 (5): 1245–1255
- 77 GOFF, J. P. (2008)
The monitoring, prevention, and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia
in dairy cows.
Veterinary journal. 176 (1): 50–57
- 78 GOFF, J. P. und KOSZEWSKI, N. J. (2018)
Comparison of 0.46% calcium diets with and without added anions with a 0.7% calcium
anionic diet as a means to reduce periparturient hypocalcemia.
Journal of dairy science. 101 (6): 5033–5045
- 79 GREENE, L. W.; FONTENOT, J. P.; WEBB, K. E. (1983a)
Site of magnesium and other macromineral absorption in steers fed high levels of
potassium.
Journal of animal science. 57 (2): 503–510
- 80 GREENE, L. W.; WEBB, K. E.; FONTENOT, J. P. (1983b)
Effect of potassium level on site of absorption of magnesium and other macroelements
in sheep.
Journal of animal science. 56 (5): 1214–1221
- 81 GREINER, B. und ENGELHARD, T. (2018)
Kali-Düngung: Wichtig, aber riskant.
top agrar (3): R10-R13
- 82 HANEBECK, L. M. (2020)
persönliche Kommunikation.
- 83 HARRISON, J.; WHITE, R.; KINCAID, R.; BLOCK, E.; JENKINS, T.; ST-PIERRE,
N. (2012)
Effectiveness of potassium carbonate sesquihydrate to increase dietary cation-anion
difference in early lactation cows.
Journal of dairy science. 95 (7): 3919–3925
- 84 HEER, F.; DOBENECKER, B.; KIENZLE, E. (2017)
Effect of cation-anion balance in feed on urine pH in rabbits in comparison with other
species.
Journal of animal physiology and animal nutrition. 101 (6): 1324-1330
- 85 HERON, V. S.; TREMBLAY, G. F.; OBA, M. (2009)
Timothy hays differing in dietary cation-anion difference affect the capability of dairy
cows to maintain their calcium homeostasis.
Journal of dairy science. 92 (1): 238–246

- 86 HERSOM, M. J.; HANSEN, G. R.; ARTHINGTON, J. D. (2010)
Effect of dietary cation-anion difference on measures of acid-base physiology and performance in beef cattle.
Journal of animal science. 88 (1): 374–382
- 87 HOFFMANN, M. (2014)
Kalium - Ein wichtiges, aber mitunter ein hinterhältiges Element.
Nutztierpraxis aktuell. 49: 58–62
- 88 HORST, R. L.; GOFF, J. P.; REINHARDT, T. A.; BUXTON, D. R. (1997)
Strategies for preventing milk fever in dairy cattle.
Journal of dairy science. 80 (7): 1269–1280
- 89 HU, W. und KUNG, L. (2009)
Effect of dietary ratio of Na:K on feed intake, milk production, and mineral metabolism in mid-lactation dairy cows.
Journal of dairy science. 92 (6): 2711–2718
- 90 HU, W. und MURPHY, M. R. (2004)
Dietary cation-anion difference effects on performance and acid-base status of lactating dairy cows.
Journal of dairy science. 87 (7): 2222–2229
- 91 HU, W.; MURPHY, M. R.; CONSTABLE, P. D.; BLOCK, E. (2007a)
Dietary cation-anion difference and dietary protein effects on performance and acid-base status of dairy cows in early lactation.
Journal of dairy science. 90 (7): 3355–3366
- 92 HU, W.; MURPHY, M. R.; CONSTABLE, P. D.; BLOCK, E. (2007b)
Dietary cation-anion difference effects on performance and acid-base status of dairy cows postpartum.
Journal of dairy science. 90 (7): 3367–3375
- 93 HU, W.; KUNG, JR.; MURPHY, M. R. (2007c)
Relationships between dry matter intake and acid-base status of lactating dairy cows as manipulated by dietary cation-anion difference.
Animal feed science and technology. 136 (3-4): 216–225
- 94 HUBER, T. L. (1976)
Physiological effects of acidosis on feedlot cattle.
Journal of animal science. 43 (4): 902–909
- 95 HULSEN, J. (2015)
Kuhsignale
Landwirtschaftsverlag; Münster; ISBN: 978-3-7843-3342-7; Seite 55

- 96 HULTQUIST, K. M. und CASPER, D. P. (2016)
Palatability evaluation of free fatty acid encapsulated potassium carbonate as a feed ingredient for lactating dairy cows fed a total mixed ration.
The Professional Animal Scientist. 32 (3): 328–332
- 97 IBRAHIEM EL-ZAHAR, H. (2015)
Laboratory analysis of disorders in sodium and potassium homeostasis in cattle.
Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Dissertation
- 98 IWANIUK, M. E. und ERDMAN, R. A. (2015)
Intake, milk production, ruminal, and feed efficiency responses to dietary cation-anion difference by lactating dairy cows.
Journal of dairy science. 98 (12): 8973–8985
- 99 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.
Journal of dairy science. 98 (3): 1950–1960
- 100 JACKSON, J. A.; AKAY, V.; FRANKLIN, S. T.; AARON, D. K. (2001)
The effect of cation-anion difference on calcium requirement, feed intake, body weight gain, and blood gasses and mineral concentrations of dairy calves.
Journal of dairy science. 84 (1): 147–153
- 101 JACKSON, J. A. und HEMKEN, R. W. (1994)
Calcium and cation-anion balance effects on feed intake, body weight gain, and humoral response of dairy calves.
Journal of dairy science. 77 (5): 1430–1436
- 102 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.
Journal of dairy science. 75 (5): 1281–1286
- 103 JEROCH, H.; DROCHNER, W.; SIMON, O.; DÄNICKE, S. (2008)
Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere.
Ulmer; 2. überarbeitete Auflage; ISBN: 9783800128662; Seite: 555
- 104 JESSEN, A. (2010)
Untersuchungen zur Verbesserung des praktischen Einsatzes von Anionenrationen zur sicheren und wirkungsvollen Prophylaxe der Hypokalzämie auf Herdenebene
Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Dissertation
- 105 JITTAKHOT, S.; SCHONEWILLE, J. T.; WOUTERSE, H.; YUANGKLANG, C.; BEYNEN, A. C. (2004)
Apparent magnesium absorption in dry cows fed at 3 levels of potassium and 2 levels of magnesium intake.
Journal of dairy science. 87 (2): 379–385

- 106 JOHNSON, K. J. (1970)
Sweating rate and electrolyte content of skin secretions of *Bos taurus* and *Bos indicus* cross-bred cows.
Journal of agricultural science. 75 (3): 397–402
- 107 JONES, M. L.; STREETER, R. N.; GOAD, C. L. (2009)
Use of dietary cation anion difference for control of urolithiasis risk factors in goats.
American journal of veterinary research. 70 (1): 149–155
- 108 JØRGENSEN, K. (1957)
Titrimetric determination of the net excretion of acid/base in urine.
Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation: 287–291
- 109 JOYCE, P. W.; SANCHEZ, W. K.; GOFF, J. P. (1997)
Effect of anionic salts in prepartum diets based on alfalfa.
Journal of dairy science. 80 (11): 2866–2875
- 110 KAMPHUES, J. (1993)
Recent developments in ruminant nutrition.
Wiener tierärztliche Monatsschrift. 80 (1): 15–21
- 111 KAYSER, M. und ISSELSTEIN, J. (2005)
Potassium cycling and losses in grassland systems.
Grass and forage science. 60 (3): 213–224
- 112 KHELIL-ARFA, H.; FAVERDIN, P.; BOUDON, A. (2014)
Effect of ambient temperature and sodium bicarbonate supplementation on water and electrolyte balances in dry and lactating Holstein cows.
Journal of dairy science. 97 (4): 2305–2318
- 113 KIWULL-SCHÖNE, H.; KALHOFF, H.; MANZ, F.; KIWULL, P. (2005)
Food mineral composition and acid-base balance in rabbits.
European journal of nutrition. 44 (8): 499–508
- 114 KRIKCZIOKAT, J. U. (2015)
Peripartaler Säure-Basen-Status bei niedersächsischen Holstein Friesian - Milchkühen
Universität Leipzig, Veterinärmedizinische Fakultät, Dissertation
- 115 KUTAS, F. (1965)
Determination of net acid-base excretion in the urine of cattle.
Acta veterinaria hungaria. 15: 147–153
- 116 LANG, I. und MARTENS, H. (1999)
Na transport in sheep rumen is modulated by voltage-dependent cation conductance in apical membrane.
American journal of physiology. Gastrointestinal and liver physiology. 277 (3): G609-G618

- 117 LAS, J. E.; ODONGO, N. E.; LINDINGER, M. I.; ALZAHAL, O.; SHOVELLER, A. K.; MATTHEWS, J. C.; MCBRIDE, B. W. (2007)
Effects of dietary strong acid anion challenge on regulation of acid-base balance in sheep.
Journal of animal science. 85 (9): 2222–2229
- 118 LEACH, R. M. (1979)
Dietary Electrolytes: Story with Many Facets.
Feedstuffs. 51: 27–28
- 119 LEAN, I. J.; SANTOS, J. E. P.; BLOCK, E.; GOLDBERGER, H. M. (2019)
Effects of prepartum dietary cation-anion difference intake on production and health of dairy cows: A meta-analysis.
Journal of dairy science. 102 (3): 2103–2133
- 120 LEAN, I. J.; DEGARIS, P. J.; CELI, P.; MCNEILL, D. M.; RODNEY, R. M.; FRASER, D. R. (2014)
Influencing the future.
Animal production science. 54 (9): 1177–1189
- 121 LEBEDA, M. (1988)
13. Störungen des Säure-Basen-Haushaltes.
VEB Gustav Fischer Verlag; 1. Auflage; ISBN: 3-334-00112-1; Seiten: 494–515
- 122 LEI, X. J.; CHUNG, J. Y.; PARK, J. H.; KIM, I. H. (2017)
Evaluation of different dietary electrolyte balance in weanling pigs diets.
Animal feed science and technology 226: 98–102
- 123 LEONHARD-MAREK, S. und MARTENS, H. (1996)
Effects of potassium on magnesium transport across rumen epithelium.
The american journal of physiology. 271 (6 Pt 1): G1034-8
- 124 LEONHARD-MAREK, S.; STUMPF, F.; MARTENS, H. (2010)
Transport of cations and anions across forestomach epithelia.
Animal : an international journal of animal bioscience. 4 (7): 1037–1056
- 125 LOMBA, F.; CHAUVAUX, G.; TELLER, E.; LENGELE, L.; BIENFET, V. (1978)
Calcium digestibility in cows as influenced by the excess of alkaline ions over stable acid ions in their diets.
The british journal of nutrition. 39 (3): 425–429
- 126 LOPERA, C.; ZIMPEL, R.; VIEIRA-NETO, A.; LOPES, F. R.; ORTIZ, W.; POINDEXTER, M.; FARIA, B. N.; GAMBARINI, M. L.; BLOCK, E.; NELSON, C. D.; SANTOS, J. E. P. (2018)
Effects of level of dietary cation-anion difference and duration of prepartum feeding on performance and metabolism of dairy cows.
Journal of dairy science. 101 (9): 7907–7929

- 127 LOTTHAMMER, K. H. (1996)
Diagnostik und Maßnahmen bei Fruchtbarkeitsstörungen als Bestandsproblem
Buiatrik Band 1; Schaper; 5. Auflage; ISBN: 3794401816; Seiten: 243–281
- 128 LUEBBE, M. K.; ERICKSON, G. E.; KLOPFENSTEIN, T. J.; GREENQUIST, M. A.; BENTON, J. R. (2011)
Effect of dietary cation-anion difference on urinary pH, feedlot performance, nitrogen mass balance, and manure pH in open feedlot pens.
Journal of animal science. 89 (2): 489–500
- 129 MA, G.; HARRISON, J. H.; BLOCK, E.; JENKINS, T. C.; VANWIERINGEN, L. (2017)
Short communication.
Journal of dairy science. 100 (1): 371–378
- 130 MADER, T. L.; DAVIS, M. S.; BROWN-BRANDL, T. (2006)
Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle.
Journal of animal science. 84: 712–719
- 131 MAHLKOW-NERGE, K. (2001/2002a)
Gesunderhaltung der Hochleistungskuh durch gezielte Fütterungsmaßnahmen.
Fachtagung 2001/2002 Deutsche Vilomix Tierernährung GmbH: 1–17
- 132 MAHLKOW-NERGE, K. (2018)
DCAB - Auch bei laktierenden Kühen bedeutsam.
18. Haupttagung der Agrar- und Veterinär-Akademie (AVA) 2018: 136–140
- 133 MALLONÉE, P.G.; BEEDE, D.K.; COLLIER, R.J.; WILCOX, C.J. (1985)
Production and physiological responses of dairy cows to varying dietary potassium during heat stress.
Journal of dairy science. 68 (6): 1479–1487
- 134 MARTENS, H und RAYSSIGUIER, Y. (1979)
Magnesium metabolism and hypomagnesaemia.
MTP Press Limited; ISBN: 0-85200-315-3; Seiten: 447–466
- 135 MARTENS, H. (1987)
Studies on the absorption of sodium and chloride from the rumen of sheep.
Comp. Biochem. Physiol. 86: 653-
- 136 MARTINS, C. M. M. R.; ARCARI, M. A.; WELTER, K. C.; GONÇALVES, J. L.; SANTOS, M. V. (2016)
Effect of dietary cation-anion difference on ruminal metabolism, total apparent digestibility, blood and renal acid-base regulation in lactating dairy cows.
Animal : an international journal of animal bioscience. 10 (1): 64–74

- 137 MARTINS, C. M. M. R.; ARCARI, M. A.; WELTER, K. C.; NETTO, A. S.; OLIVEIRA, C. A. F.; SANTOS, M. V. (2015)
Effect of dietary cation-anion difference on performance of lactating dairy cows and stability of milk proteins.
Journal of dairy science. 98 (4): 2650–2661
- 138 MARTÍN-TERESO, J.; TER WIJLEN, H.; VAN LAAR, H.; VERSTEGEN, M. W. A. (2014)
Peripartal calcium homeostasis of multiparous dairy cows fed rumen-protected rice bran or a lowered dietary cation/anion balance diet before calving.
Journal of animal physiology and animal nutrition. 98 (4): 775–784
- 139 MASTERS, D. G.; RINTOUL, A. J.; DYNES, R. A.; PEARCE, K. L.; NORMAN, H. C. (2005)
Feed intake and production in sheep fed diets high in sodium and potassium.
Australian journal of agricultural research. 56 (5): 427–434
- 140 MELENDEZ, P. und POOCK, S. (2017)
A dairy herd case investigation with very low dietary cation-anion difference in prepartum dairy cows.
Frontiers in nutrition. 4: 26
- 141 MILLER, A. M. (2017)
Raps wirft die Laktierenden aus der Bahn.
top agrar. 45 (10): R25-R27
- 142 MOHANRAO, B. A.; KUMAR, V.; ROY, D.; KUMAR, M.; SRIVASTAVA, M.; GUPTA, V. P. (2016)
Influence of dietary cation-anionic difference on hemato-biochemical profile, mineral metabolism, post-partum reproductive and productive performance of Haryana cows.
Indian journal of animal research. 50 (4): 497–504
- 143 MONGIN, P. (1981)
Recent advances in dietary anion-cation balance.
The proceedings of the nutrition society. 40 (3): 285–294
- 144 MONTAG, N. (2005)
Experimentelle Untersuchungen der Effekte verschiedener Salze auf den Säuren-Basen-Haushalt bei Milchkühen
Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Dissertation
- 145 MOONEY, C. S. und ALLEN, M. S. (2007)
Effect of dietary strong ions on chewing activity and milk production in lactating dairy cows.
Journal of dairy science. 90 (12): 5610–5618

- 146 MORITZ, A.; SCHWENDENWEIN, I.; KRAFT, W. (2014a)
25 Harnapparat.
Schattauer; Stuttgart; 7. überarbeitete Auflage; ISBN: 9783794527373; Seiten: 420–487
- 147 MORITZ, A.; KRAFT, W.; DÜRR, U. M. (2014b)
Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin.
Schattauer; Stuttgart; 7. überarbeitete Auflage; ISBN: 9783794527373; Seite: 934
- 148 NGUYEN, T.; CHANPONGSANG, S.; CHAIYABUTR, N.; THAMMACHAROEN, S. (2019)
The effect of dietary ions difference on drinking and eating patterns in dairy goats under high ambient temperature.
Asian-Australasian journal of animal sciences. 32 (4): 599–606
- 149 NRC (2001)
Nutrient requirements of dairy cattle.
Washington D.C. - ISBN: 0-309-06997-1
- 150 NURSOY, H.; SOGUT, B.; TASAL, T.; ALDEMIR, R.; KAPLAN, O.; ALTACLI, S. (2011)
The effects of varying dietary Na/K ratio and electrolyte balance of diets on growth, blood gases, hematological variables, ionized calcium and carcass traits in broiler chickens.
Kafkas universitesi veteriner fakultesi dergisi. 17 (6): 979–986
- 151 O'CONNOR, A. M.; BEEDE, D. K.; WILCOX, C. J. (1988)
Lactational responses to dietary magnesium, potassium, and sodium during winter in Florida.
Journal of dairy science. 71 (4): 971–981
- 152 OETZEL, G. R. (1993)
Use of anionic salts for prevention of milk fever in dairy-cattle.
Compendium on continuing education for the practicing veterinarian. 15 (8): 1138-
- 153 OETZEL, G. R. (2000)
Management of dry cows for the prevention of milk fever and other mineral disorders.
The Veterinary clinics of North America. Food animal practice. 16 (2): 369-
- 154 OETZEL, G. R.; FETTMAN, M. J.; HAMAR, D. W.; OLSON, J. D. (1991)
Screening of anionic salts for palatability, effects on acid-base status, and urinary calcium excretion in dairy-cows.
Journal of dairy science. 74 (3): 965–971
- 155 OSTERMANN-PALZ, B. (2016)
Kationen und Anionen unter Kontrolle.
Elite (6): 46–47

- 156 OWENS, F. N.; SECRIST, D. S.; HILL, W. J.; GILL, D. R. (1998)
Acidosis in cattle.
Journal of animal science. 76 (1): 275–286
- 157 PALLAUF, J. (1985)
Auch im Sommer an die Mineralstoffe denken.
DLG-Mitteilungen (10): 582–586
- 158 PAQUAY, R.; LOMBA, F.; LOUSSE, A.; BIENFET, V. (1969)
Statistical research on the fate of dietary mineral elements in dry and lactating cows. V.
Potassium.
Journal of Agricultural Science. 73 (3): 445–452
- 159 PEHRSON, B.; SVENSSON, C.; GRUVAEUS, I.; VIRKKI, M. (1999)
The influence of acidic diets on the acid-base balance of dry cows and the effect of
fertilization on the mineral content of grass.
Journal of dairy science. 82 (6): 1310–1316
- 160 PENNER, G. B.; TREMBLAY, G. F.; DOW, T.; OBA, M. (2008)
Timothy hay with a low dietary cation-anion difference improves calcium homeostasis
in periparturient Holstein cows.
Journal of dairy science. 91 (5): 1959–1968
- 161 PHILLIPS, C.J.C; WAITA, J.M; ARNEY, D.R; CHIY, P.C (1999)
The effects of sodium and potassium fertilizers on the grazing behaviour of dairy cows.
Applied animal behaviour science. 61 (3): 201–213
- 162 PIATKOWSKI, B.; GÜRTLER, H.; VOIGT, J. (1990)
Grundzüge der Wiederkäuer-Ernährung
Gustav Fischer Verlag Jena; 1. Auflage; ISBN: 3334003558; Seiten 9-34
- 163 POLSKY, L. und KEYSERLINGK, M. A. G. von (2017)
Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare.
Journal of dairy science. 100 (11): 8645–8657
- 164 PRADHAN, K. und HEMKEN, R.W. (1968)
Potassium depletion in lactating dairy cows.
Journal of dairy science. 51 (9): 1377–1381
- 165 RAM, L.; SCHONEWILLE, J.T.; MARTENS, H.; VAN'T KLOOSTER, A.T.;
BEYNEN, A.C. (1998)
Magnesium absorption by wethers fed potassium bicarbonate in combination with
different dietary magnesium concentrations.
Journal of dairy science. 81 (9): 2485–2492
- 166 RANDALL, W. E.; HEMKEN, R. W.; BULL, L. S.; DOUGLAS, L. W. (1974)
Effect of dietary sodium and potassium on udder edema in Holstein heifers.
Journal of dairy science. 57 (4): 472–475

- 167 RÉRAT, M.; PHILIPP, A.; HESS, H. D.; LIESEGANG, A. (2009)
Effect of different potassium levels in hay on acid-base status and mineral balance in periparturient dairy cows.
Journal of dairy science. 92 (12): 6123–6133
- 168 RÉRAT, M.; PHILIPP, A.; HESS, H. D.; LIESEGANG, A. (2010)
Das Dietary Cation-Anion Difference (DCAD)-Konzept bei der Milchkuh.
In: Kreuzer, M.; Lanzini, T.; Wanner, M.; Bruckmaier, R.; Bee, G. *Landwirtschaftliche und veterinärmedizinische Tierernährungsforschung im Verbund*; Zürich; Seiten: 42-47
- 169 RÉRAT, M. und SCHLEGEL, P. (2014)
Effect of dietary potassium and anionic salts on acid-base and mineral status in periparturient cows.
Journal of animal physiology and animal nutrition. 98 (3): 458–466
- 170 RIEGER, H.; KÖLLN, M.; SÜRIE, C.; MOHWINKEL, H.; VISSCHER, C. (2020)
Auswirkungen hoher Umgebungstemperaturen auf laktierende Milchkühe - unter praxisüblichen Bedingungen in Norddeutschland von Bedeutung?
Tierärztliche Praxis. Ausgabe G, Grosstiere/Nutztiere. 48 (1): 15–23
- 171 RIOND, J. L. (2001)
Animal nutrition and acid-base balance.
European journal of nutrition. 40 (5): 245–254
- 172 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.
Journal of dairy science. 86 (3): 970–978
- 173 ROCHE, J. R.; MORTON, J.; KOLVER, E. S. (2002)
Sulfur and chlorine play a non-acid base role in periparturient calcium homeostasis.
Journal of dairy science. 85 (12): 3444–3453
- 174 ROCHE, J. R.; PETCH, S.; KAY, J. K. (2005)
Manipulating the dietary cation-anion difference via drenching to early-lactation dairy cows grazing pasture.
Journal of dairy science. 88 (1): 264–276
- 175 ROCHE, JR; DALLEY, D.; MOATE, P.; GRAINGER, C.; HANNAH, M.; O'MARA, F.; RATH, M. (2000)
Variations in the dietary cation-anion difference and the acid-base balance of dairy cows on a pasture-based diet in south-eastern Australia.
Grass and forage science. 55 (1): 26–36

- 176 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.
Journal of dairy science. 74 (9): 3068–3077
- 177 ROSENBERGER, G. und FRERKING, H. (1995)
Kälberkrankheiten In: *Buiatrik Rinderkrankheiten Band 2*.
Schaper; 5. überarbeitete Auflage; ISBN: 3794401794; Seiten: 15–52
- 178 ROSS, J. G.; SPEARS, J. W.; GARLICH, J. D. (1994)
Dietary electrolyte balance effects on performance and metabolic characteristics in finishing steers.
Journal of animal science. 72 (6): 1600–1607
- 179 ROSSOW, N. und HORVATH, Z. (1988)
Innere Krankheiten der Haustiere.
Gustav Fischer Verlag Jena; 1. Auflage; ISBN: 3-334-00112-1; Seite: 492
- 180 RÜCKERT, C. (2015)
Harnsteinerkrankungen bei Hund und Katze – Welche diätetischen Maßnahmen sind sinnvoll?
kleintier konkret. 18 (06): 10–16
- 181 SANCHEZ, W. K. und BEEDE, D. K. (1996)
Is there an optimal cation-anion difference for lactation diets?
Animal feed science and technology. 59 (1-3): 3–12
- 182 SANCHEZ, W. K.; BEEDE, D. K.; DELORENZO, M. A. (1994a)
Macromineral element interrelationships and lactational performance.
Journal of dairy science. 77 (10): 3096–3110
- 183 SANCHEZ, W. K.; MCGUIRE, M. A.; BEEDE, D. K. (1994b)
Macromineral nutrition by heat stress interactions in dairy cattle.
Journal of dairy science. 77 (7): 2051–2079
- 184 SANTOS, J. E. P.; LEAN, I. J.; GOLDBERGER, H.; BLOCK, E. (2019)
Meta-analysis of the effects of prepartum dietary cation-anion difference on performance and health of dairy cows.
Journal of dairy science. 102 (3): 2134–2154
- 185 SARWAR, M.; SHAHZAD, M. A.; NISA, M.; AMJAD, S. (2011)
Nutrient intake, acid base status and weight gain in water buffalo calves fed different dietary levels of sodium bicarbonate.
South african journal of animal science. 41 (2): 94–103

- 186 SARWAR, M.; SHAHZAD, M. AASIF; NISA, M. U. (2007)
Nutrient intake, acid base status and growth performance of Thalli lambs fed varying level of dietary cation-anion difference.
Asian-Australasian journal of animal sciences. 20 (11): 1713–1720
- 187 SAUVANT, D. und PONTER, A. (2004)
Tables of composition and nutritional value of feed materials.
Wageningen Academic Publishers; ISBN: 2738011705; Seiten: 136, 220 und 254
- 188 SCHMUTZER, S. (2010)
Untersuchungen zum moderaten Einsatz von Anionenrationen zur Gebärpareseprophylaxe in der antepartalen Transitperiode
Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Dissertation
- 189 SCHNEIDER, P. L.; BEEDE, D. K.; WILCOX, C. J. (1988)
Effects of supplemental potassium and sodium chloride salts on ruminal turnover rates, acid-base and mineral status of lactating dairy cows during heat stress.
Journal of animal science. 66 (1): 126–135
- 190 SCHNEIDER, P. L.; BEEDE, D. K.; WILCOX, C. J.; COLLIER, R. J. (1984)
Influence of dietary sodium and potassium bicarbonate and total potassium on heat-stressed lactating dairy cows.
Journal of dairy science. 67 (11): 2546–2553
- 191 SCHOLZ, H. und ENGELHARD, T. (2011)
Einfluss der Zusammensetzung und unterschiedlicher Gehaltswerte von Futterrationalen auf die NSBA im Harn laktierender Milchkühe.
Internationale Konferenz Prophylaxe von Herden- bzw. Produktionskrankheiten - Abstracts - Herausgeber: M. Füll: 65–67; Leipzig; 7. und 8. Oktober 2011
- 192 SCHONEWILLE, J.T.; VAN'T KLOOSTER, A.T.; WOUTERSE, H.; BEYNEN, A.C. (1999)
Effects of intrinsic potassium in artificially dried grass and supplemental potassium bicarbonate on apparent magnesium absorption in dry cows.
Journal of dairy science. 82 (8): 1824–1830
- 193 SCHOONMAKER, J. P.; KORN, K. T.; CONDRON, K. N.; SHEE, C. N.; CLAEYS, M. C.; NENNICH, T. D.; LEMENAGER, R. P. (2013)
Effect of decreasing dietary cation anion difference on feedlot performance, carcass characteristics, and beef tenderness.
Journal of animal science. 91 (12): 5762–5768
- 194 SCHRÖDER, U. J.; STAUFENBIEL, R. (2006)
Methods to determine body fat reserves in the dairy cow wiith special regard to ultrasonographic measurement of backfat thickness.
Journal of dairy science. 89: 1-14

- 195 SHAHZAD, M. AASIF; SARWAR, M.; NISA, M. U. (2008)
Influence of altering dietary cation anion difference on milk yield and its composition by early lactating Nili Ravi buffaloes in summer.
Livestock science. 113 (2-3): 133–143
- 196 SHAHZAD, M. A.; SHARIF, M.; NISA, M. U.; SARWAR, M.; KHALID, M.; SADDIQI, H. A. (2011)
Changing certain dietary cationic and anionic minerals.
African journal of biotechnology. 10 (62): 13651–13663
- 197 SHALIT, U.; MALTZ, E.; SILANIKOVE, N.; BERMAN, A. (1991)
Water, Sodium, Potassium, and Chlorine Metabolism of Dairy Cows at the Onset of Lactation in Hot Weather.
Journal of dairy science. 74 (6): 1874–1883
- 198 SHARIF, M.; SHAHZAD, M. A.; NISA, M. U.; SARWAR, M. (2010)
Influence of varying levels of dietary cation anion difference on ruminal characteristics, nitrogen metabolism and in situ digestion kinetics in buffalo bulls.
Animal science journal. 81 (6): 657–665
- 199 SILANIKOVE, N.; MALTZ, E.; SHINDER, D.; BOGIN, E.; BASTHOLM, T.; CHRISTENSEN, N. J.; NORGGARRD, P. (1998)
Metabolic and productive responses of dairy cows to increased ion supplementation at early lactation in warm weather.
The Journal of dairy research. 65 (4): 529–543
- 200 SIMON, A. (2008)
2 Mineralstoffe und Wasser - In: Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere
Ulmer; 2. überarbeitete Auflage; ISBN: 9783800128662; Seiten: 64–86
- 201 SINGER, R. B. und HASTINGS, A. B. (1948)
An improved clinical method for the estimation of disturbances of the acid-base balance of human blood.
Medicine. 27 (2): 223–242
- 202 SPEARS, J. W.; LLOYD, K. E.; FRY, R. S. (2011)
Tolerance of cattle to increased dietary sulfur and effect of dietary cation-anion balance.
Journal of animal science. 89 (8): 2502–2509
- 203 SPEK, J.W.; BANNINK, A.; GORT, G.; HENDRIKS, W.H.; DIJKSTRA, J. (2012)
Effect of sodium chloride intake on urine volume, urinary urea excretion, and milk urea concentration in lactating dairy cattle.
Journal of dairy science. 95 (12): 7288–7298
- 204 SPIEKERS, H.; NUSSBAUM, H.; POTTHAST, V. (2009)
Erfolgreiche Milchviehfütterung.
DLG-Verlag; ISBN: 9783769007305; Seiten: 555-563

- 205 SPIERS, D. E.; SPAIN, J. N.; ELLERSIECK, M. R.; LUCY, M. C. (2018)
Strategic application of convective cooling to maximize the thermal gradient and reduce heat stress response in dairy cows.
Journal of dairy science. 101 (9): 8269–8283
- 206 STACY, B. D. und WARNER, A. C. (1966)
Balances of water and sodium in the rumen during feeding.
Quarterly journal of experimental physiology and cognate medical sciences. 51 (2): 79–93
- 207 STAUFENBIEL, R. (2000)
Prophylaxe der Gebärparese, Teil 2.
Nutztier Spiegel (1): 58–61
- 208 STAUFENBIEL, R. (2002)
Stoffwechselüberwachung der Milchkuhherde.
Großtierpraxis 3 (1): 5–13
- 209 STAUFENBIEL, R. (2011a)
Gebärpareseverhütung - Strategische Konzepte der Gebärpareseprophylaxe.
Prophylaxe von Herden- bzw. Produktionskrankheiten - Abstracts - Herausgeber: M. Fürll: 75–77
- 210 STAUFENBIEL, R. (2011b)
Pansenalkalose, Pansenazidose, Pansenfermentationsstörungen - grundlegende Tiergesundheitsprobleme in der Milchkuhhaltung.
11. Symposium zu Fragen der Fütterung und des Managements von Hochleistungskühen, Tagungsbericht
Neuruppin: 33-101
- 211 STEWART, P. A. (1978)
Independent and dependent variables of acid-base control.
Respiration physiology. 33 (1): 9–26
- 212 SUMAN, M. und KAUR, H. (2015)
Effect of positive dietary cation anion difference (DCAD) diet on blood biochemical and immunological parameters in crossbred calves in winter.
Indian journal of animal sciences. 85 (5): 462–468
- 213 SWIFT, M. L.; BITTMAN, S.; HUNT, D. E.; KOWALENKO, C. G. (2007)
The effect of formulation and amount of potassium fertilizer on macromineral concentration and cation-anion difference in tall fescue.
Journal of dairy science. 90 (2): 1063–1072
- 214 TAURIAINEN, S.; SANKARI, S.; PYORALA, S.; SYRJALA-QVIST, L. (2001)
Effect of anionic salts and potassium intake on some blood and urine minerals and acid-base balance of dry pregnant cows on grass silage based feeding.
Journal of animal and feed sciences. 10 (1): 57–71

- 215 TEH, T.H.; HEMKEN, R.W.; HARMON, R.J. (1985)
Dietary magnesium oxide interactions with sodium bicarbonate on cows in early Lactation.
Journal of dairy science. 68 (4): 881–890
- 216 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.
Journal of dairy science. 71 (2): 346–354
- 217 TUCKER, W. B. und HOGUE, J. F. (1990)
Influence of sodium chloride or potassium chloride on systemic acid-base status, milk yield, and mineral metabolism in lactating dairy cows.
Journal of dairy science. 73 (12): 3485–3493
- 218 TUCKER, W. B.; HOGUE, J. F.; WATERMAN, D. F.; SWENSON, T. S.; XIN, Z.; HEMKEN, R. W.; JACKSON, J. A.; ADAMS, G. D.; SPICER, L. J. (1991)
Role of sulfur and chloride in the dietary cation-anion balance equation for lactating dairy cattle.
Journal of animal science. 69 (3): 1205–1213
- 219 TUCKER, W.B.; HOGUE, J.F.; ASLAM, M.; LEMA, M.; LE RUYET, P.; SHIN, I.S.; VAN KOEVERING, M.T.; VERNON, R.K.; ADAMS, G.D. (1993)
Controlled ruminal infusion of sodium bicarbonate. 3. Influence of infusion dose on systemic acid-base status, minerals, and ruminal milieu.
Journal of dairy science. 76 (8): 2222–2234
- 220 ULBRICH, M.; HOFFMANN, M.; DROCHNER, W. (2004)
Fütterung und Tiergesundheit
Ulmer; 1. Auflage; ISBN: 978-3-8252-8284-4
- 221 VAGNONI, D. B. und OETZEL, G. R. (1998)
Effects of dietary cation-anion difference on the acid-base status of dry cows.
Journal of dairy science. 81 (6): 1643–1652
- 222 WALL, K. (2015)
Untersuchungen zur Schwefelversorgung von Milchkühen
Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Dissertation
- 223 WANG, K.; NAN, X.; ZHAO, P.; LIU, W.; DRACKLEY, J. K.; LIU, S.; ZHANG, K.; BU, D. (2018)
Effects of low dietary cation-anion difference induced by ruminal ammonium chloride infusion on performance, serum, and urine metabolites of lactating dairy cows.
Asian-Australasian journal of animal sciences. 31 (5): 677–685

- 224 WANG, Z.; LI, X. Y.; YU, Y. N.; YANG, L. Y.; ZHANG, P. H.; HE, J. H.; SHEN, W. J.; TAN, Z. L.; FENG, B. L.; TANG, S. X. (2020)
Enhancing dietary cation-anion difference reshaped the distribution of endotoxin across different biofluids and influenced inflammatory response in dairy cows exposed to heat stress.
Animal feed science and technology 262: 114444
- 225 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.
Journal of dairy science. 74 (6): 1866–1873
- 226 WEST, A. (2017)
persönliche Kommunikation
- 227 WEST, J. W. (1999)
Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow.
Journal of animal science. 77: 21–35
- 228 WEST, J. W. (2003a)
Effects of heat-stress on production in dairy cattle.
Journal of dairy science. 86 (6): 2131–2144
- 229 WEST, J. W.; HAYDON, K. D.; MULLINIX, B. G.; SANDIFER, T. G. (1992)
Dietary cation-anion balance and cation source effects on production and acid-base status of heat-stressed cows.
Journal of dairy science. 75 (10): 2776–2786
- 230 WEST, J. W.; MULLINIX, B. G.; SANDIFER, T. G. (1991)
Changing dietary electrolyte balance for dairy-cows in cool and hot environments.
Journal of dairy science. 74 (5): 1662–1674
- 231 WEST, J.W.; MULLINIX, B.G.; BERNARD, J.K. (2003b)
Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows.
Journal of dairy science. 86 (1): 232–242
- 232 WILDMAN, C. D.; WEST, J. W.; BERNARD, J. K. (2007a)
Effect of dietary cation-anion difference and dietary crude protein on performance of lactating dairy cows during hot weather.
Journal of dairy science. 90 (4): 1842–1850
- 233 WILDMAN, C. D.; WEST, J. W.; BERNARD, J. K. (2007b)
Effects of dietary cation-anion difference and potassium to sodium ratio on lactating dairy cows in hot weather.
Journal of dairy science. 90 (2): 970–977

- 234 ZIMPEL, R.; POINDEXTER, M. B.; VIEIRA-NETO, A.; BLOCK, E.; NELSON, C. D.; STAPLES, C. R.; THATCHER, W. W.; SANTOS, J. E. P. (2018)
Effect of dietary cation-anion difference on acid-base status and dry matter intake in dry pregnant cows.
Journal of dairy science. 101 (9): 8461–8475

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über verwendeten DCAB-Formeln.....	6
Tabelle 2: Chemische Bewertung der wichtigsten Ionen (OETZEL, 2000)	6
Tabelle 3: Beispielration	7
Tabelle 4: DCAB einiger Grobfuttermittel	8
Tabelle 5: DCAB einiger Konzentrate	9
Tabelle 6: Einfluss einer steigenden DCAB auf den Säure-Basen-Haushalt des Blutes	15
Tabelle 7: Einfluss einer steigenden DCAB auf die Ionen im Blut	16
Tabelle 8: Auswirkung eines DCAB-Abfalls von +300 auf 0 mEq/kg TM – CHARBONNEAU et al., 2006	16
Tabelle 9: Einfluss einer steigenden DCAB auf den Säure-Basen-Haushalt des Harns	18
Tabelle 10: Einfluss einer steigenden DCAB auf die Ionen im Harn	18
Tabelle 11: Pansen-pH-Anstieg bei DCAB-Steigerung.....	19
Tabelle 12: Einfluss einer steigenden DCAB auf die Futteraufnahme	20
Tabelle 13: DCAB-Optimum für die maximale Futteraufnahme	21
Tabelle 14: Futtereffizienz-Steigerung (FE) durch DCAB-Anstieg	21
Tabelle 15: Einfluss einer steigenden DCAB auf die Milchleistung, -fett, -protein und -laktose	23
Tabelle 16: Beispiele für anionische Minerale (mit Beispielquellen über den Einsatz)	27
Tabelle 17: Empfohlene DCAB-Werte in der Vorbereitration	29
Tabelle 18: Fütterungsempfehlung Mineralgehalt für Vorbereiter (GOFF et al., 2004)	30
Tabelle 19: Einsetzbare Puffersubstanzen (mit Beispielquellen über den Einsatz)	31
Tabelle 20: Angepasste Ionenfütterung bei Hitzestress (SILANIKOVE et al., 1998).....	34
Tabelle 21: Empfohlene DCAB-Werte für laktierende Milchkühe	35
Tabelle 22: Empfehlung Harn-pH in der Gebärdpareseprophylaxe.....	38
Tabelle 23: Vergleich Natrium- und Kaliumkonzentrationen in verschiedenen Kompartimenten	40
Tabelle 24: Zusammenfassung Bedarf, Mangel und Toxizitätswerte Natrium und Kalium ...	42
Tabelle 25: Fruchtbarkeitsstörungen bei gestörtem K:Na-Verhältnis bzw. Na-Mangel.....	42
Tabelle 26: Zusammenstellung einiger Studien zu den Auswirkungen verschiedener Mengenverhältnisse auf Futteraufnahme und Milchleistung	44
Tabelle 27: Verwendete mineralstoffreiche Ergänzungsfuttermittel	47
Tabelle 28: Proben- und Datensatzerfassungsschema.....	48

Tabelle 29: Ausgewertete Datensätze sowie deren Veröffentlichungsquelle	49
Tabelle 30: Genutzte Laborgeräte für Mineralbestimmung im Harn.....	52
Tabelle 31: Analyisierte Ration (Juli bis Oktober 2017) – Fütterungsergänzung von SoyChlor®	56
Tabelle 32: Probenentnahmeschema der ersten Untersuchung.....	56
Tabelle 33: Blutwerte in der ersten Untersuchung.....	63
Tabelle 34: p-Werte des Gruppenvergleichs von Kontrolle und Untersuchung des Pansensaftscoring (chi-Quadrat-Test).....	70
Tabelle 35: Analyisierte Ration (Oktober bis Dezember 2017) – Fütterungsergänzung von NaHCO ₃	72
Tabelle 36: Probenentnahmeschema der zweiten Untersuchung.....	73
Tabelle 37: Blutwerte in der zweiten Untersuchung.....	79
Tabelle 38: p-Werte des Gruppenvergleichs von Kontrolle und Untersuchung des Pansensaftscoring (chi-Quadrat-Test).....	87
Tabelle 39: Analyisierte Ration Untersuchung 3.1 (Januar bis März 2018).....	88
Tabelle 40: Analyisierte Ration Untersuchung 3.2 (März bis April 2018) – Tausch der Gruppen	89
Tabelle 41: Analyisierte Ration Untersuchung 3.3 (April bis Mai 2018).....	89
Tabelle 42: Probenschema der dritten Untersuchung.....	90
Tabelle 43: Test auf feste Effekte in den Untersuchungsabschnitten – DCAB	94
Tabelle 44: Test auf feste Effekte in den Untersuchungsabschnitten – Kaliumaufnahme.....	95
Tabelle 45: Test auf feste Effekte in den Untersuchungsabschnitten – Natriumaufnahme	96
Tabelle 46: Blutwerte zum Säure-Basen-Haushalt	98
Tabelle 47: Ionenkonzentrationen von Natrium und Kalium im Blut	99
Tabelle 48: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – Harn-pH.....	100
Tabelle 49: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – NSBA.....	101
Tabelle 50: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – Harn-Calcium ..	102
Tabelle 51: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – Harn-Natrium...	103
Tabelle 52: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – Harn-Chlorid....	104
Tabelle 53: p-Werte des Gruppenvergleichs von Kontrolle und Untersuchung des Pansensaftscoring (chi-Quadrat-Test).....	106
Tabelle 54: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – Harn-Kalium....	164
Tabelle 55: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – Harn-Magnesium	165

Tabelle 56: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten - Harn-Phosphor .	166
Tabelle 57: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten - Harn-Creatinin..	167
Tabelle 58: Pansensaft - Farbe, Geruch und Viskosität	169
Tabelle 59: Pansensaft - Methylenblau und Sedimentaktivitätszeit.....	169
Tabelle 60: Pansensaft - Infusorienanzahl, -beweglichkeit und -verhältnis.....	169
Tabelle 61: Pansensaft - Farbe, Geruch und Viskosität	170
Tabelle 62: Pansensaft - Methylenblau und Sedimentaktivitätszeit.....	170
Tabelle 63: Pansensaft - Infusorienanzahl, -beweglichkeit und -verhältnis.....	170
Tabelle 64: Pansensaft - Farbe, Geruch und Viskosität	171
Tabelle 65: Pansensaft - Methylenblau und Sedimentaktivitätszeit.....	171
Tabelle 66: Pansensaft - Infusorienanzahl, -beweglichkeit und -verhältnis.....	171

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung der Laktationsnummern	57
Abbildung 2: Body Condition Score	58
Abbildung 3: Lebendmasseentwicklung	58
Abbildung 4: Rückenfettdicke	59
Abbildung 5: Tägliche DCAB-Aufnahme (wöchentliches Mittel)	60
Abbildung 6: Tägliche Kaliumaufnahme	61
Abbildung 7: Tägliche Natriumaufnahme.....	62
Abbildung 8: Blut-BE	63
Abbildung 9: Harn-pH	64
Abbildung 10: Harn-NSBA.....	65
Abbildung 11: Harn-Calcium.....	66
Abbildung 12: Harn-Magnesium	66
Abbildung 13: Harn-Kalium	67
Abbildung 14: Harn-Natrium	68
Abbildung 15: Harn-Chlorid	69
Abbildung 16: Pansensaft-pH	70
Abbildung 17: Scoring des Pansensaftparameters „Geruch“ in Woche 5 (Tendenz: $p=0,083$)	71
Abbildung 18: Scoring der Infusorienbeweglichkeit in Woche 5 (Tendenz: $p=0,057$)	71
Abbildung 19: Verteilung der Laktationsnummern in den Untersuchungsgruppen ($p<0,001$)	73
Abbildung 20: Body Condition Score	74
Abbildung 21: Lebendmasse	75
Abbildung 22: Rückenfettdicke	75
Abbildung 23: Tägliche DCAB-Aufnahme (wöchentliches Mittel)	76
Abbildung 24: Tägliche Kaliumaufnahme	77
Abbildung 25: Tägliche Natriumaufnahme.....	78
Abbildung 26: Harn-pH	80
Abbildung 27: Harn-NSBA.....	81
Abbildung 28: Harn-Calcium.....	82
Abbildung 29: Harn-Magnesium	83
Abbildung 30: Harn-Kalium	83
Abbildung 31: Harn-Natrium	84

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 32: Harn-Creatinin	85
Abbildung 33: Harn-Chlorid	86
Abbildung 34: Pansensaft-pH	87
Abbildung 35: Verteilung der Laktationsnummern in den Untersuchungsgruppen (p=0,954)	90
Abbildung 36: Body Condition Score	91
Abbildung 37: Lebendmasse	92
Abbildung 38: Rückenfettdicke	92
Abbildung 39: Tägliche DCAB-Aufnahme (wöchentliches Mittel)	94
Abbildung 40: Tägliche Kalium-Aufnahme (wöchentliches Mittel)	95
Abbildung 41: Tägliche Natriumaufnahme (wöchentliches Mittel)	96
Abbildung 42: Harn-pH in den drei Abschnitten (3.1/ 3.2/ 3.3)	101
Abbildung 43: Harn-NSBA in den drei Abschnitten (3.1/ 3.2/ 3.3)	101
Abbildung 44: Harn-Calcium in den drei Abschnitten (3.1/ 3.2/ 3.3)	102
Abbildung 45: Harn-Natrium in den drei Abschnitten (3.1/ 3.2/ 3.3).....	103
Abbildung 46: Harn-Chlorid in den drei Abschnitten (3.1/ 3.2/ 3.3).....	104
Abbildung 47: Pansensaft-pH in Abschnitt 3.1	105
Abbildung 48: Infusorienanzahl in Woche 9 (Tendenz: p=0,091).....	106
Abbildung 49: Harn-Phosphor im Vergleich - Untersuchung 1.....	162
Abbildung 50: Harn-Creatinin im Vergleich - Untersuchung 1.....	162
Abbildung 51: Harn-Phosphor im Vergleich - Untersuchung 2.....	163
Abbildung 52: Harn-Kalium im Vergleich - Untersuchung 3.....	164
Abbildung 53: Harn-Magnesium im Vergleich - Untersuchung 3.....	165
Abbildung 54: Harn-Phosphor im Vergleich - Untersuchung 3	166
Abbildung 55: Harn-Creatinin im Vergleich - Untersuchung 3.....	167

12. Anhang

12.1 Harn

Untersuchung 1

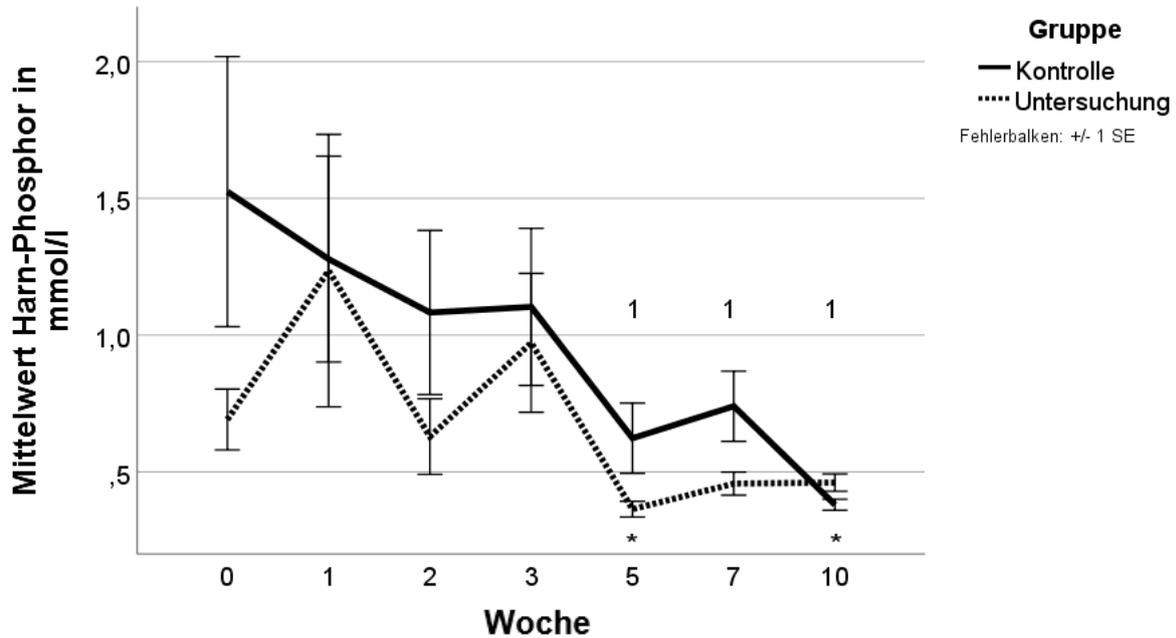


Abbildung 49: Harn-Phosphor im Vergleich - Untersuchung 1
 Test auf feste Effekte: Gruppe $p=0,051$; Zeit $p=0,006$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p=0,688$

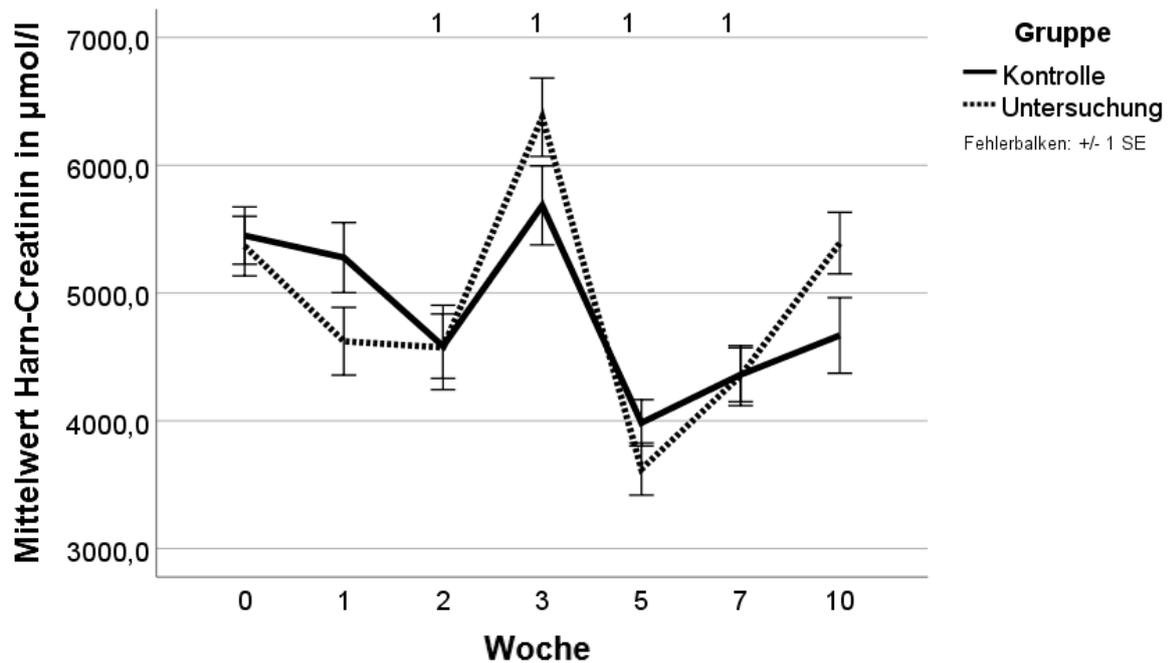


Abbildung 50: Harn-Creatinin im Vergleich - Untersuchung 1
 Test auf feste Effekte: Gruppe $p=0,759$; Zeit $p<0,001$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p=0,074$

Untersuchung 2

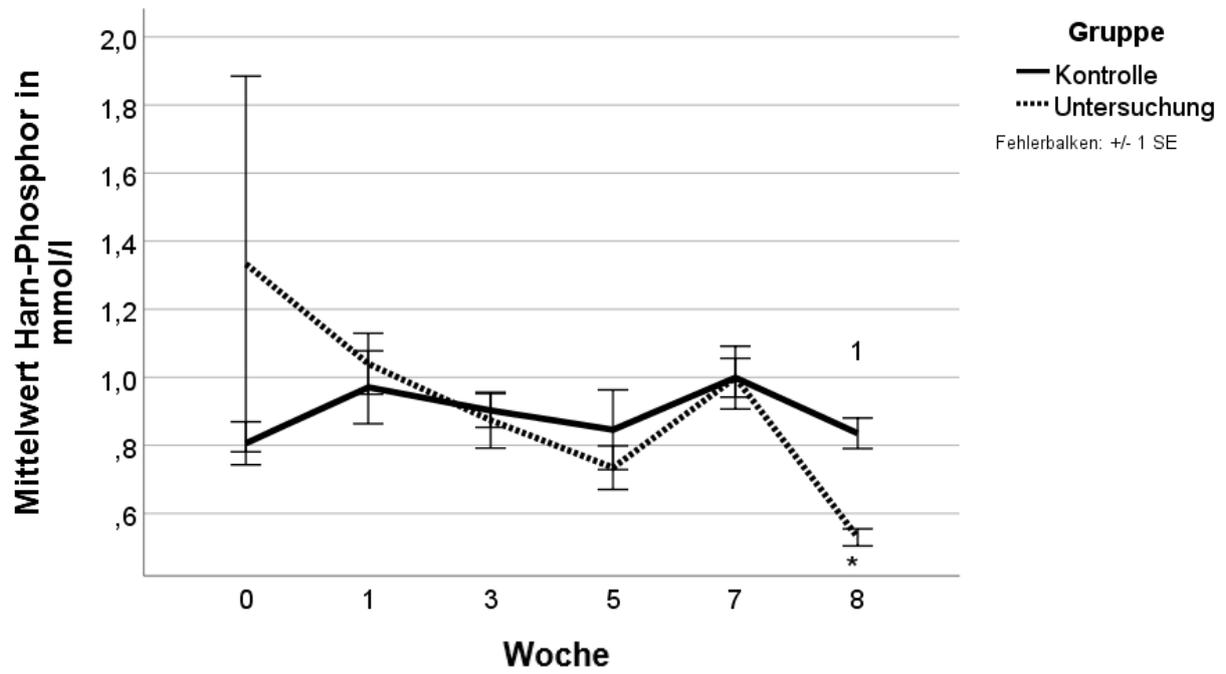


Abbildung 51: Harn-Phosphor im Vergleich - Untersuchung 2
Test auf feste Effekte: Gruppe $p=0,810$; Zeit $p=0,253$; Interaktion (Zeit/Gruppe) $p=0,310$

Untersuchung 3

Tabelle 54: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – Harn-Kalium

	Gruppe	Zeit	Interaktion (Gruppe/Zeit)
3.1	<0,001	<0,001	0,185
3.2	0,103	0,019	0,074
3.3	0,211	<0,001	0,735

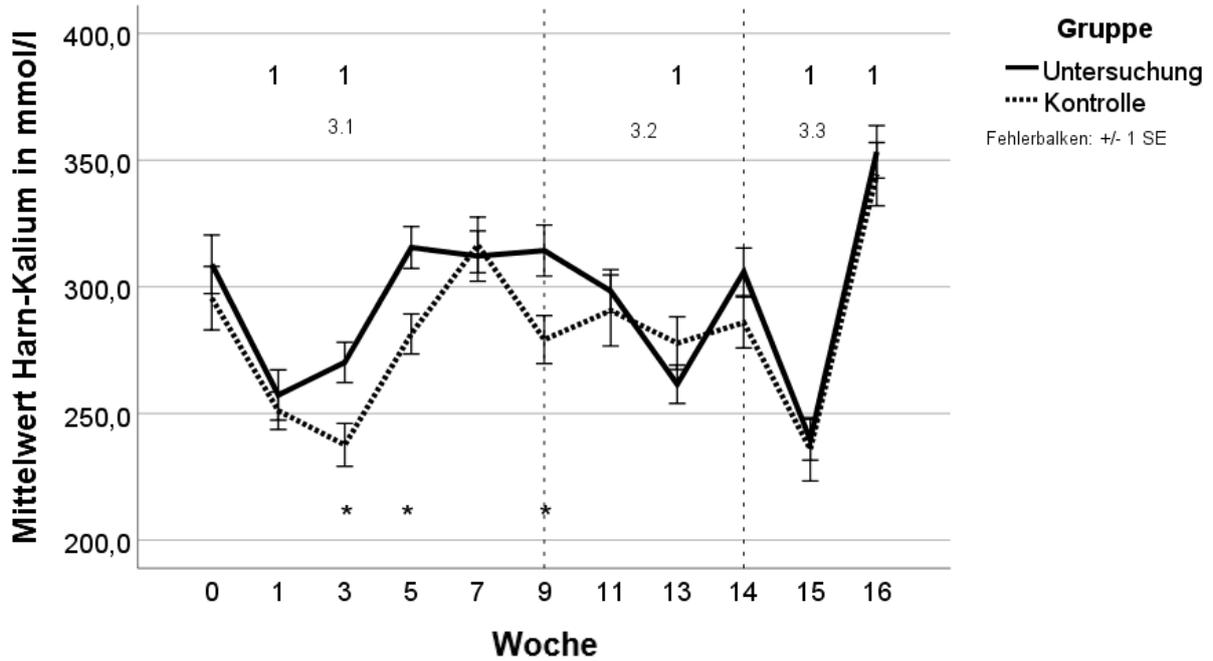


Abbildung 52: Harn-Kalium im Vergleich - Untersuchung 3

Tabelle 55: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten – Harn-Magnesium

	Gruppe	Zeit	Interaktion (Gruppe/Zeit)
3.1	0,330	0,314	0,528
3.2	0,331	0,395	0,506
3.3	0,015	<0,001	0,137

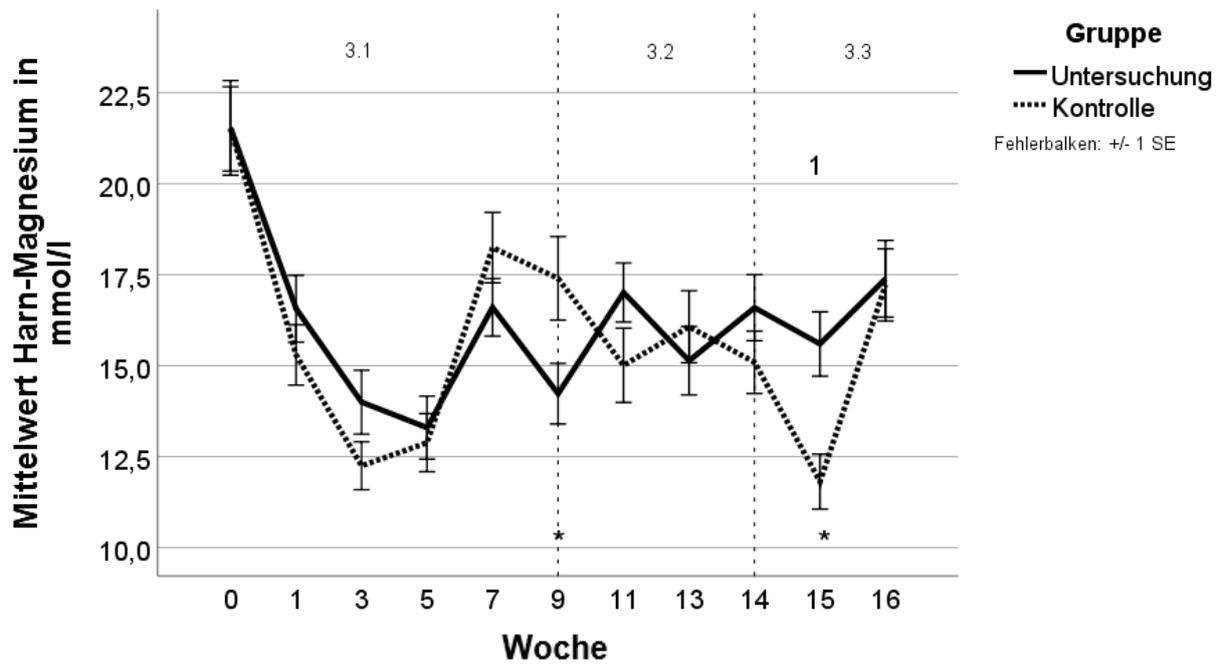


Abbildung 53: Harn-Magnesium im Vergleich - Untersuchung 3

Tabelle 56: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten - Harn-Phosphor

	Gruppe	Zeit	Interaktion (Gruppe/Zeit)
3.1	0,064	<0,001	0,674
3.2	0,319	0,690	0,622
3.3	0,028	0,172	0,846

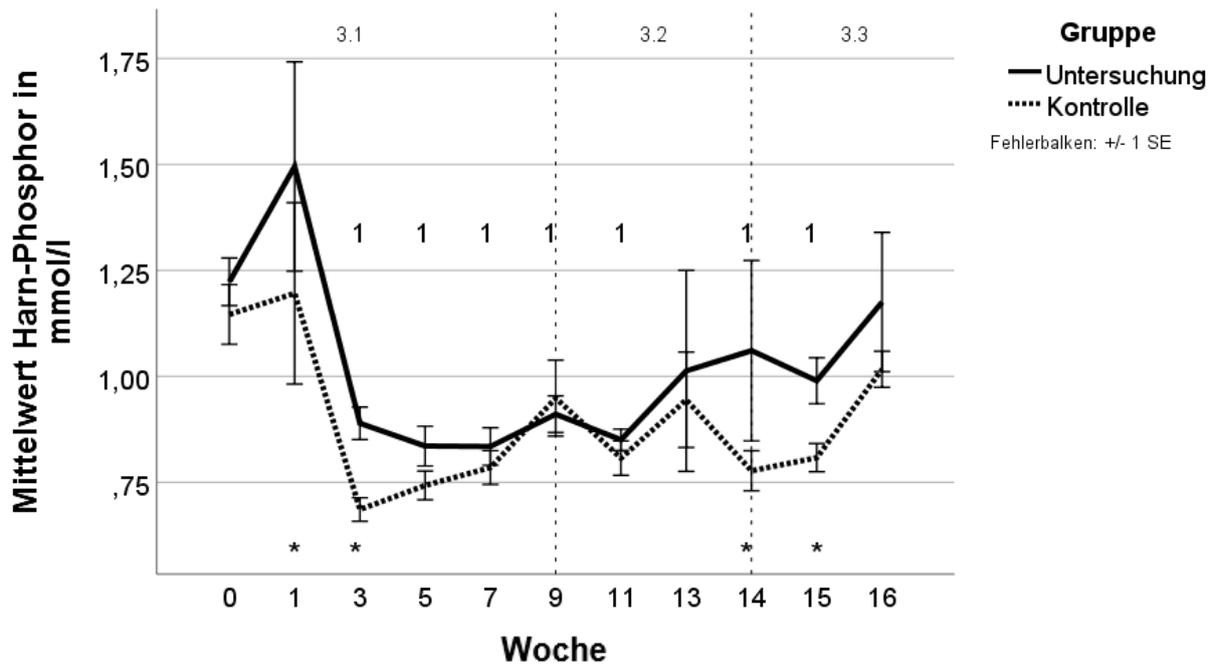


Abbildung 54: Harn-Phosphor im Vergleich - Untersuchung 3

Tabelle 57: Test auf feste Effekte in den drei Untersuchungsabschnitten - Harn-Creatinin

	Gruppe	Zeit	Interaktion (Gruppe/Zeit)
3.1	<0,001	<0,001	0,163
3.2	0,614	<0,001	0,007
3.3	0,096	0,001	0,125

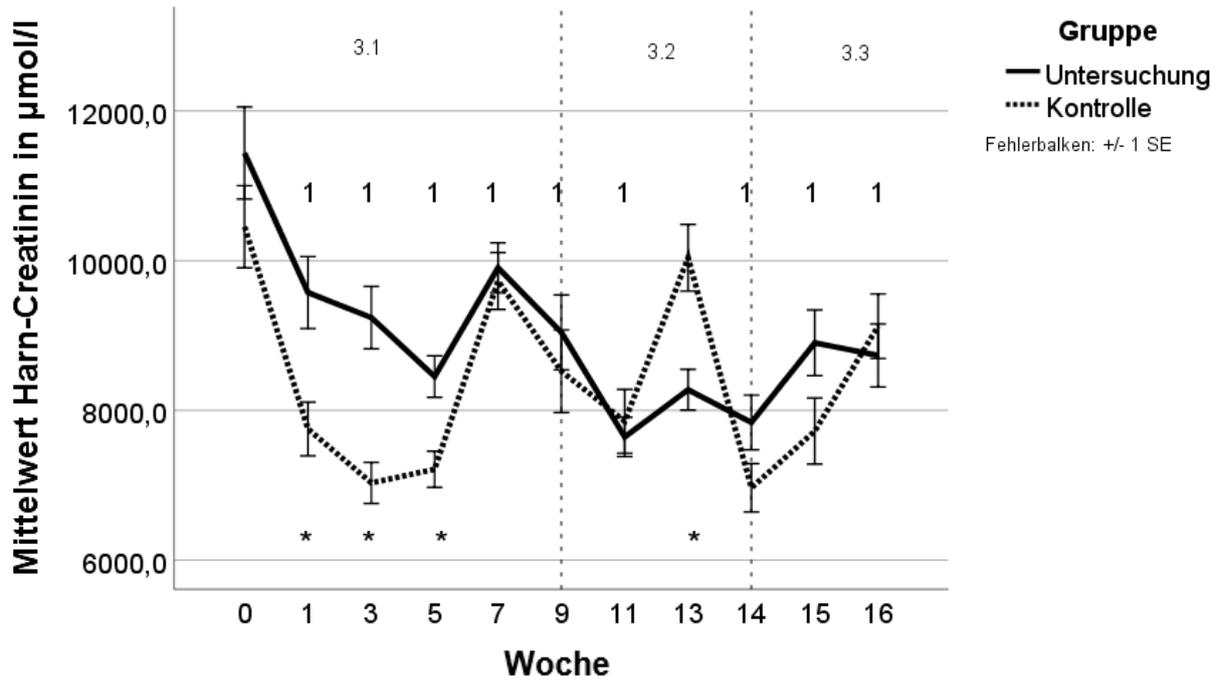


Abbildung 55: Harn-Creatinin im Vergleich - Untersuchung 3

12.2 Pansensaft

Scoring-System für die Pansensaftparameter (WEST, 2017)

Farbe:	1...braunoliv bis grün 2...dunkelbraun bis grün 3...schwarzbraun bis grün 4...milchigbraun 5...milchiggrau
Geruch:	1...aromatisch 2...fade 3...fade bis säuerlich 4...säuerlich 5...stechend sauer 6...ammoniakalisch-jauchig
Viskosität:	1...sämig 2...sämig bis wässrig 3...wässrig 4...wässrig bis schaumig
Methylenblau:	1...<3 min 2...>6 min 3...nicht möglich
SAT:	1...3-9 min 2...10-15 min 3...15-30 min 4...keine Dreischichtung 5...schnelle Sedimentation ohne Flotation
Infusorienmenge:	1...massenhaft (Ameisenhaufen) 2...viele 3...mäßig viele 4...wenig 5...keine oder vereinzelt
I.beweglichkeit:	1...lebhaft 2...gut 3...träge 4...schwach 5...keine
I.verhältnis:	1...3:4:3 (Groß:Mittel:Klein) 2...6:3:1 3...7:2:1 4...überwiegend kleine 5...überwiegend kleine und einige Tote 6...überwiegend Tote und Mazerierte

Untersuchung 1

Tabelle 58: Pansensaft - Farbe, Geruch und Viskosität

Zeitpunkt	Gruppe	n	Farbe					Geruch						Viskosität			
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
0. Woche	31	12	12	-	-	-	-	-	-	5	6	1	-	-	2	9	1
	32	12	12	-	-	-	-	-	-	1	5	6	-	-	2	9	1
5. Woche	31	12	12	-	-	-	-	4	6	2	-	-	-***	3	7	2	-
	32	12	12	-	-	-	-	1	4	7	-	-	-***	2	7	3	-
10. Woche	31	12	12	-	-	-	-	-	7	4	1	-	-	-	1	11	-
	32	11	11	-	-	-	-	1	4	4	2	-	-	-	1	10	-

*<0,001 **<0,05 ***<0,01 // 31...Kontrolle, 32...Untersuchung

Tabelle 59: Pansensaft - Methylenblau und Sedimentationsaktivitätszeit

Zeitpunkt	Gruppe	n	Methylenblau-Test			Sedimentationsaktivitätszeit				
			1	2	3	1	2	3	4	5
0. Woche	31	12	11	1	-	7	3	-	2	-
	32	12	11	1	-	7	4	1	-	-
5. Woche	31	12	12	-	-	12	-	-	-	-
	32	12	12	-	-	10	2	-	-	-
10. Woche	31	12	12	-	-	7	2	-	-	3
	32	11	10	1	-	4	4	-	-	3

*<0,001 **<0,05 ***<0,01 // 31...Kontrolle, 32...Untersuchung

Tabelle 60: Pansensaft - Infusorienanzahl, -beweglichkeit und -verhältnis

Zeitpunkt	Gruppe	n	Anzahl					Beweglichkeit					Verhältnis					
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
0. Woche	31	12	4	7	1	-	-	10	2	-	-	-	4	-	-	8	-	-
	32	12	2	8	2	-	-	10	2	-	-	-	7	-	-	5	-	-
5. Woche	31	12	1	8	3	-	-	5	7	-	-	-***	8	1	1	2	-	-
	32	12	-	8	4	-	-	1	8	3	-	-***	6	2	2	1	1	-
10. Woche	31	12	1	7	3	1	-	5	5	2	-	-	5	2	1	3	1	-
	32	11	-	7	3	1	-	2	9	-	-	-	3	2	1	5	-	-

*<0,001 **<0,05 ***<0,01 // 31...Kontrolle, 32...Untersuchung

Untersuchung 2

Tabelle 61: Pansensaft - Farbe, Geruch und Viskosität

Zeitpunkt	Gruppe	n	Farbe					Geruch						Viskosität			
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
0. Woche	31	12	8	3	-	-	1	-	5	2	3	1	1	-	3	9	-
	32	12	6	6	-	-	-	1	2	5	2	2	-	-	5	7	-
3. Woche	31	12	12	-	-	-	-	-	6	2	4	-	-	-	-	12	-
	32	12	11	1	-	-	-	-	2	6	4	-	-	-	-	12	-
8. Woche	31	11	11	-	-	-	-	-	4	3	4	-	-	-	-	11	-
	32	11	11	-	-	-	-	1	3	3	1	2	1	-	1	10	-

*<0,001 **<0,05 ***<0,01 // 31...Kontrolle, 32...Untersuchung

Tabelle 62: Pansensaft - Methylenblau und Sedimentaktivitätszeit

Zeitpunkt	Gruppe	n	MB			SAT				
			1	2	3	1	2	3	4	5
0. Woche	31	12	12	-	-	12	-	-	-	-
	32	12	12	-	-	12	-	-	-	-
3. Woche	31	12	12	-	-	7	5	-	-	-
	32	12	12	-	-	10	1	-	-	1
8. Woche	31	12	11	-	-	10	1	-	-	-
	32	11	11	-	-	8	2	-	-	1

*<0,001 **<0,05 ***<0,01 // 31...Kontrolle, 32...Untersuchung

Tabelle 63: Pansensaft - Infusorienanzahl, -beweglichkeit und -verhältnis

Zeitpunkt	Gruppe	n	Anzahl					Beweglichkeit					Verhältnis					
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
0. Woche	31	12	1	5	5	1	-	-	8	4	-	-	2	2	3	5	-	-
	32	12	2	5	5	-	-	3	7	2	-	-	2	4	1	4	1	-
3. Woche	31	12	2	4	5	1	-	3	6	2	-	1	3	2	3	4	-	-
	32	12	1	7	4	-	-	2	8	1	1	-	6	2	2	1	1	-
8. Woche	31	12	5	5	1	-	-	4	6	1	-	-	4	2	1	4	-	-
	32	11	3	6	2	-	-	3	8	-	-	-	5	3	-	3	-	-

*<0,001 **<0,05 ***<0,01 // 31...Kontrolle, 32...Untersuchung

Untersuchung 3

Tabelle 64: Pansensaft - Farbe, Geruch und Viskosität

Zeitpunkt	Gruppe	n	Farbe					Geruch						Viskosität			
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
0. Woche	31	13	13	-	-	-	-	0	6	5	1	1	-	-	-	13	-
	32	11	11	-	-	-	-	1	4	3	2	1	-	-	-	11	-
4. Woche	31	13	13	-	-	-	-	-	5	3	4	1	-	-	-	13	-
	32	11	11	-	-	-	-	-	4	5	1	1	-	-	-	11	-
9. Woche	31	12	12	-	-	-	-	-	5	4	3	0	-	-	-	12	-
	32	11	11	-	-	-	-	-	2	2	6	1	-	-	-	11	-

*<0,001 **<0,05 ***<0,01 // 31...Untersuchung, 32...Kontrolle

Tabelle 65: Pansensaft - Methylenblau und Sedimentaktivitätszeit

Zeitpunkt	Gruppe	n	MB			SAT				
			1	2	3	1	2	3	4	5
0. Woche	31	13	12	-	1	12	-	-	1	-
	32	11	11	-	-	11	-	-	-	-
4. Woche	31	13	13	-	-	11	1	-	-	1
	32	11	11	-	-	11	-	-	-	-
9. Woche	31	12	12	-	-	11	-	-	-	1
	32	11	11	-	-	9	1	-	-	1

*<0,001 **<0,05 ***<0,01 // 31...Untersuchung, 32...Kontrolle

Tabelle 66: Pansensaft - Infusorienanzahl, -beweglichkeit und -verhältnis

Zeitpunkt	Gruppe	n	Anzahl					Beweglichkeit					Verhältnis					
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
0. Woche	31	13	1	5	7	-	-	2	9	2	-	-	7	-	-	6	-	-
	32	11	1	8	1	1	-	2	9	-	-	-	8	1	-	2	-	-
4. Woche	31	13	1	9	3	-	-	1	6	6	-	-	8	2	-	3	-	-
	32	11	1	7	3	-	-	4	3	4	-	-	7	-	1	3	-	-
9. Woche	31	12	-	4	5	3	-***	1	6	5	-	-	9	1	-	2	-	-
	32	11	-	8	3	-	-***	3	2	5	1	-	8	1	-	2	-	-

*<0,001 **<0,05 ***<0,01 // 31...Untersuchung, 32...Kontrolle

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. R. Staufenbiel für die Überlassung des interessanten Themas und die große und immer freundliche Unterstützung und Durchsicht dieser Arbeit.

Für die Bestimmung der Blutgasparameter im Labor der Kleintierklinik an der FU Berlin möchte ich mich bei Herrn Hilmert und Frau Waberowski bedanken, auch für die sofortige Überbringung der Proben nach Berlin danke ich Kilian Peisker.

Außerdem gilt mein Dank Herrn Engelhard, Frau Andert, Frau Riemann, Frau Helm und Herrn Zarwel für ihre Unterstützung bei der praktischen Durchführung der Untersuchungen im Milchviehbetrieb der LLG Iden.

Meiner Familie danke ich besonders für ihre Geduld und ihren Beistand in jeder Situation.

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.

Yvonne Prädel

Berlin, den 16.07.2021



9 783967 291278

mbvberlin mensch und buch verlag

49,90 Euro | ISBN: 978-3-96729-127-8