

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

**Untersuchungen zur Verbesserung des praktischen Einsatzes
von Anionenrationen zur sicheren und wirkungsvollen
Prophylaxe der Hypokalzämie
auf Herdenebene**

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

vorgelegt von
Arne Jessen
Tierarzt aus Eutin

Berlin 2010
Journal-Nr.: 3456

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. L. Brunnberg
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. R. Staufenbiel
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. K. Männer
Dritter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. U. Rösler

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

dairy cows, parturient paresis, hypocalcaemia, diet, ion balance, acid-base equilibrium, farm management

Tag der Promotion: 08.04.2011

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

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

ISBN: 978-3-86664-958-3

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2011

Dissertation, Freie Universität Berlin

D 188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

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

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

This document is protected by copyright law.

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

Alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2011

Choriner Str. 85 - 10119 Berlin

verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Für meine Familie

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

| | |
|-----------------------------|--|
| A ⁻ | nicht flüchtige Pufferionen |
| a.p. | ante partum |
| A _{TOT} | Konzentration nicht flüchtiger Puffer im Plasma |
| BHB | Beta-Hydroxy-Butyrat |
| Ca | Serumkalziumkonzentration |
| DCAB | Dietary Cation Anion Balance |
| DCAD | Dietary Cation Anion Difference |
| DM | Dry matter |
| K _a | Dissoziationskonstante der nicht flüchtigen schwachen Säuren |
| NEFA | Not Esterified Fatty Acids; freie unveresterte Fettsäuren |
| NSBA | Netto – Säuren – Basen - Ausscheidung |
| p.p. | post partum |
| P _{CO₂} | Partialdruck CO ₂ |
| PTH | Parathormon |
| S | Löslichkeit von CO ₂ in Plasma |
| SID | Strong Ion Difference |
| TMR | Totale Misch Ration |
| TS | Trockensubstanz |

| | |
|---|-----------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Literaturübersicht | 3 |
| 2.1. Allgemeines über die Gebärparese..... | 3 |
| 2.1.1. Einordnung der Gebärparese..... | 3 |
| 2.1.2. Gebärparese..... | 5 |
| 2.1.3. Inzidenz..... | 5 |
| 2.1.4. Pathophysiologie..... | 7 |
| 2.1.5. Ätiologie der Hypokalzämie..... | 13 |
| 2.1.6. Kosten..... | 16 |
| 2.1.7. Bedeutung der subklinische Hypokalzämie..... | 17 |
| 2.1.8. Folgeerkrankungen der klinischen und subklinischen Hypokalzämie..... | 18 |
| 2.2. Prophylaxe der Hypokalzämie und der Gebärparese..... | 20 |
| 2.2.1. Kalziumarme Fütterung..... | 21 |
| 2.2.2. Verfütterung von Kalziumbindern..... | 22 |
| 2.2.3. Verabreichung von Vitamin D ₃ und seinen Metaboliten..... | 23 |
| 2.2.4. Kalziumgaben um die Kalbung..... | 24 |
| 2.2.5. DCAB – Konzept..... | 25 |
| 2.2.5.1. Wirkung der Anionenration..... | 26 |
| 2.2.5.3. Kennwerte der Anionenration..... | 29 |
| 2.2.5.4. Faktoren, die die Wirkung der anionischen Salze beeinflussen..... | 30 |
| 2.2.5.5. Kontrollmöglichkeiten des DCAB–Konzeptes..... | 32 |
| 3. Material und Methode | 36 |
| 3.1. Allgemeines..... | 36 |
| 3.2. Maßnahmen zur Gebärpareseprophylaxe..... | 36 |
| 3.3. Versuchsplan..... | 37 |
| 3.4. Probenplan..... | 37 |
| 3.5. Definition und Erfassung der Erkrankungen..... | 38 |
| 3.6. Probenentnahme..... | 39 |
| 3.7. Probenaufbereitung..... | 39 |
| 3.8. Laboranalytische Untersuchungen..... | 40 |
| 3.9. Untersuchungen..... | 42 |
| 3.9.1. Methodische Untersuchung..... | 42 |
| 3.9.1.1. Untersuchung der Rationsinhalte..... | 42 |
| 3.9.1.2. Untersuchung der Erkrankungen..... | 42 |

| | |
|--|-----------|
| 3.9.1.3. Untersuchung der Harnproben | 43 |
| 3.9.1.4. Untersuchung der Zeiteffekte auf die Harnparameter | 43 |
| 3.9.1.5. Untersuchung der Beziehung zwischen Harnparametern und Rationskennwerten | 44 |
| 3.9.1.6. Untersuchung der Beziehung Harnparameter zu den Blutparametern | 44 |
| 3.10. Statistische Methoden | 44 |
| 4. Ergebnisse | 48 |
| 4.1. Untersuchung der Rationsinhalte | 48 |
| 4.1.1. Beschreibung der Rationsparameter | 48 |
| 4.1.2. Untersuchung der Beziehung zwischen den Futterinhaltsstoffen | 53 |
| 4.2. Untersuchung der Erkrankungen | 54 |
| 4.2.1. Beschreibung der Erkrankungsinzidenzen über den Untersuchungszeitraum | 54 |
| 4.2.2. Untersuchung der Blutparameter im Zusammenhang mit den Erkrankungsinzidenzen | 56 |
| 4.3. Untersuchung der Harnproben | 65 |
| 4.3.1. Prüfung auf Normalverteilung der Harnparameter | 65 |
| 4.3.2. Beschreibung der Harnparameter über die Zeit | 66 |
| 4.3.3. Vergleich der Harnparameter zwischen Kühen und Färsen | 72 |
| 4.3.4. Vergleich von Mittelwerten und Poolwerten | 73 |
| 4.3.5. Beziehung zwischen den Harnparametern | 76 |
| 4.3.6. Beziehung der Harnparameter zur Gebärpauseinzidenz | 80 |
| 4.4. Untersuchung der Zeiteffekte auf die Harnparameter | 82 |
| 4.4.1. Beziehung der Harnparameter zu der Anzahl der Tage nach Wechsel in die Vorbereitergruppe | 82 |
| 4.4.3. Untersuchung eines Harn-Tagesprofils bei Fütterung anionischer Salze | 86 |
| 4.5. Untersuchung der Beziehung zwischen Harnparametern und Rationskennwerten | 88 |
| 4.6. Untersuchung der Beziehung der Harnparameter zu den Blutparametern | 89 |
| 5. Diskussion | 94 |
| 5.1. Untersuchung der Rationsinhalte | 94 |
| 5.2. Untersuchung der Erkrankungen | 97 |
| 5.3. Untersuchung der Harnproben | 101 |
| 5.4. Untersuchung der Zeiteffekte auf die Harnproben | 104 |
| 5.5. Untersuchung der Beziehung zwischen den Harnparametern und den Rationskennwerten | 106 |

| | |
|---|------------|
| 5.6. Untersuchung der Beziehung der Harnparameter zu den Blutparametern..... | 107 |
| 6. Schlussfolgerungen..... | 109 |
| 7. Praktische Empfehlungen für den Einsatz einer Anionenration..... | 111 |
| 8. Zusammenfassung..... | 118 |
| 9. Summary..... | 121 |
| 10. Literaturverzeichnis..... | 124 |
| 11. Abbildungsverzeichnis..... | 153 |
| 12. Tabellenverzeichnis..... | 157 |
| 13. Anhang..... | 161 |
| 13.1. Untersuchung der Rationsinhalte | 161 |
| 13.1.1. Beschreibung der Rationsparameter..... | 161 |
| 13.2. Untersuchung der Erkrankungen..... | 163 |
| 13.2.1. Beschreibung der Erkrankungsinzidenzen über den Untersuchungszeitraum ... | 163 |
| 13.2.2. Untersuchung der Blutparameter im Zusammenhang mit den Erkrankungsinzidenzen | 165 |
| 13.3. Untersuchung der Harnproben | 172 |
| 13.3.1. Prüfung auf Normalverteilung der Harnparameter | 172 |
| 13.3.2. Beschreibung der Harnparameter über die Zeit | 175 |
| 13.4. Untersuchung der Zeiteffekte auf die Harnparameter..... | 178 |
| 13.4.1. Beziehung der Harnparameter zu der Anzahl der Tage nach Wechsel in die Vorbereitergruppe | 178 |
| 13.5. Untersuchung der Beziehung zwischen Harnparametern und Rationskennwerten .. | 185 |
| 14. Danksagung | 189 |
| 15. Selbstständigkeitserklärung..... | 191 |

1. Einleitung

Als Transitperiode bezeichnet man die Zeit 3 Wochen ante partum (a.p.) bis 3 Wochen post partum (p.p.) (DRACKLEY, 1999, GRUMMER, 1995). Sie ist entscheidend für Tiergesundheit, Produktionsleistung und Profitabilität der Milchkuh (DRACKLEY, 1999). Die meisten Gesundheitsstörungen entstehen in dieser Zeit. Die Effekte dieser Gesundheitsstörungen auf die Tiergesundheit und die Produktivität der Milchkuh reichen weit in die neue Laktation hinein (MULLIGAN und DOHERTY, 2008).

Die Ausgangsbasis für die hohe Erkrankungsinzidenz in der Transitperiode bilden Störungen des Energie- und Mineralstoffwechsels sowie Störungen des Immunsystems und der Pansenfermentation (BLOCK und SANCHEZ, 2000, GOFF und HORST, 1997b, STAUFENBIEL, 1999).

Zu den häufigsten Gesundheitsstörungen bei Hochleistungskühen zum Laktationsbeginn zählt die Hypokalzämie. Die Inzidenz der Gebärparese liegt bei 0-10% (DEGARIS und LEAN, 2008). Die Gebärparese ist definiert als eine akute Kalziumstoffwechselstörung von Milchkuhen im unmittelbaren peripartalen Zeitraum (MARTIG, 2002), die durch eine fehlende Adaptation des Kalziumhaushaltes an den Kalziumverlust mit Einsetzen der Laktation gekennzeichnet ist (HORST, 1986, HORST et al., 2005).

Die klinische und subklinische Hypokalzämie gilt als prädisponierender Faktor für das Entstehen von weiteren Folgeerkrankungen (COOK et al., 2006a, GOFF, 2008, STAUFENBIEL, 1999). Das Vorhandensein von klinischer oder subklinischer Hypokalzämie ist verbunden mit vielen anderen Gesundheitsstörungen der Transitkuh (MULLIGAN und DOHERTY, 2008), wie Dystokie, Gebärmuttervorfall, Nachgeburtsverhaltung, Endometritis, Unfruchtbarkeit, Mastitis, Labmagenverlagerung, Ketose und Immunsuppression (DUCUSIN et al., 2003, HOUE et al., 2001, KIMURA et al., 2006).

Sowohl aus ökonomischen als auch aus tiergesundheitlichen Gründen wurden daher systematische Prophylaxemaßnahmen gegen die Hypokalzämie entwickelt, wobei das DCAB-Konzept und damit der Einsatz einer Anionenration von entscheidender Bedeutung ist.

Die theoretische Funktionsweise und die Wirksamkeit von Anionenrationen („Sauren Salzen“) ist bekannt (CHARBONNEAU et al., 2006, GOFF, 2008, HORST et al., 1997), auch sind den einsetzenden Milchviehherden Kontrollmöglichkeiten für den Einsatz der anionischen Salze mit der Messung des pH, der NSBA und der Kalziumkonzentration im Harn sowie mit der Futterrationsanalyse der Vorbereiterration gegeben.

In den Milchviehherden, die anionische Salze einsetzen, werden immer wieder unterschiedliche Erfahrungen gemacht. Sie reichen von einer guten Wirksamkeit bis zu einer

unbefriedigenden Wirkung, teilweise auch mit einer Zunahme an festliegenden Kühen und Totalverlusten (STAUFENBIEL et al., 2004). Dies liegt daran, dass bestimmte Einflussfaktoren im Zusammenhang mit dem Einsatz der anionischen Salze nicht ausreichend bekannt sind.

Ziel dieser Untersuchung ist die Verbesserung von Konzepten zum effizienten Einsatz anionischer Salze mit sicherer prophylaktischer Wirkung bei Minimierung der Nebenwirkungen. Um die Effekte der Fütterung anionischer Salze auf die Fütterung, den Metabolismus und den Gesundheitsstatus der Kühe zu analysieren, wurde die Anionenration mit einer kalziumreduzierten Vorbereitungsfütterung verglichen.

Zu diesem Zweck wurde der Einsatz der anionischen Salze auf einem kommerziellen Milchviehbetrieb über ein Jahr mittels einer Beobachtungsstudie begleitet.

Die schwerpunktmäßige Zielstellung der vorliegenden Arbeit ist die Validierung des

- (1) Einflusses der Rationskomponenten auf die Ausprägung der DCAB nach ENDER (1971);
- (2) Zusammenhanges zwischen der postpartalen Serumkalziumkonzentration und dem Auftreten von Erkrankungen;
- (3) Einsatzes der Harnuntersuchung zur Kontrolle der Anionenration.

2. Literaturübersicht

2.1. Allgemeines über die Gebärparese

2.1.1. Einordnung der Gebärparese

Die Transitperiode ist der Zeitraum 3 Wochen vor der Kalbung bis 3 Wochen nach der Kalbung (GRUMMER, 1995). Die Bedeutung dieses Zeitraumes für die Tiergesundheit, Produktivität und damit Profitabilität der Milchkuhhaltung ist Gegenstand zahlreicher Veröffentlichungen (DRACKLEY, 1999, GRUMMER, 1995, INGVARTSEN et al., 2003).

Die Geburt und das Einsetzen der Laktation führen zu großen physiologischen Veränderungen der homöostatischen Mechanismen der Kuh, die dabei von einem tragenden nicht-laktierenden Status zu einem nicht-tragenden laktierenden Status wechselt (GOFF und HORST, 1997b).

Die Herausforderung an die Transitkuh ist dabei die erfolgreiche Adaptation des Energie-, Protein- und Mineralstoffwechsel an die Anforderung der neuen Laktation (DRACKLEY, 1999, DRACKLEY et al., 2001, GOFF, 2000, GRUMMER, 1995, HORST et al., 1997).

Schwierigkeiten in der Adaptation führen zu einem physiologischen Ungleichgewicht und erhöhen das Risiko für Gesundheitsstörungen der Kuh, verminderte Milchproduktion und verschlechterter Fruchtbarkeit (INGVARTSEN, 2006). Erst wenn die homöostatischen Regulationsmechanismen insuffizient werden, kommt es zu klinischen Erkrankungen (INGVARTSEN, 2006). Dies manifestiert sich in der erhöhten Krankheitsinzidenz in der Transitphase (INGVARTSEN et al., 2003) und einer erhöhten Abgangsrate in den ersten 60 Laktationstagen (DECHOW und GOODLING, 2008).

Die Gesundheitsstörungen um die Kalbung können in vier Komplexe (Abbildung 1) eingeteilt werden, wobei diese Komplexe meist nicht einzeln auftreten, sondern häufig miteinander verknüpft sind:

1. Störungen des Energiestoffwechsels
2. Störungen des Mineralstoffwechsels
3. Störungen des Immunsystems
4. Störungen der Pansenfermentation

Diese Krankheitskomplexe können als Ausgangsbasis für das Entstehen von Produktionskrankheiten gesehen werden.

Als Produktionskrankheiten werden metabolische Gesundheitsstörungen und Erkrankungen mit Beteiligung von Infektionserregern definiert, die maßgeblich mit Haltung, Fütterung,

Leistung, Züchtung und Management, d.h. mit biologischen, technologischen und ökonomischen Aspekten des Produktionsverfahrens assoziiert sind (MARKUSFELD, 2003).

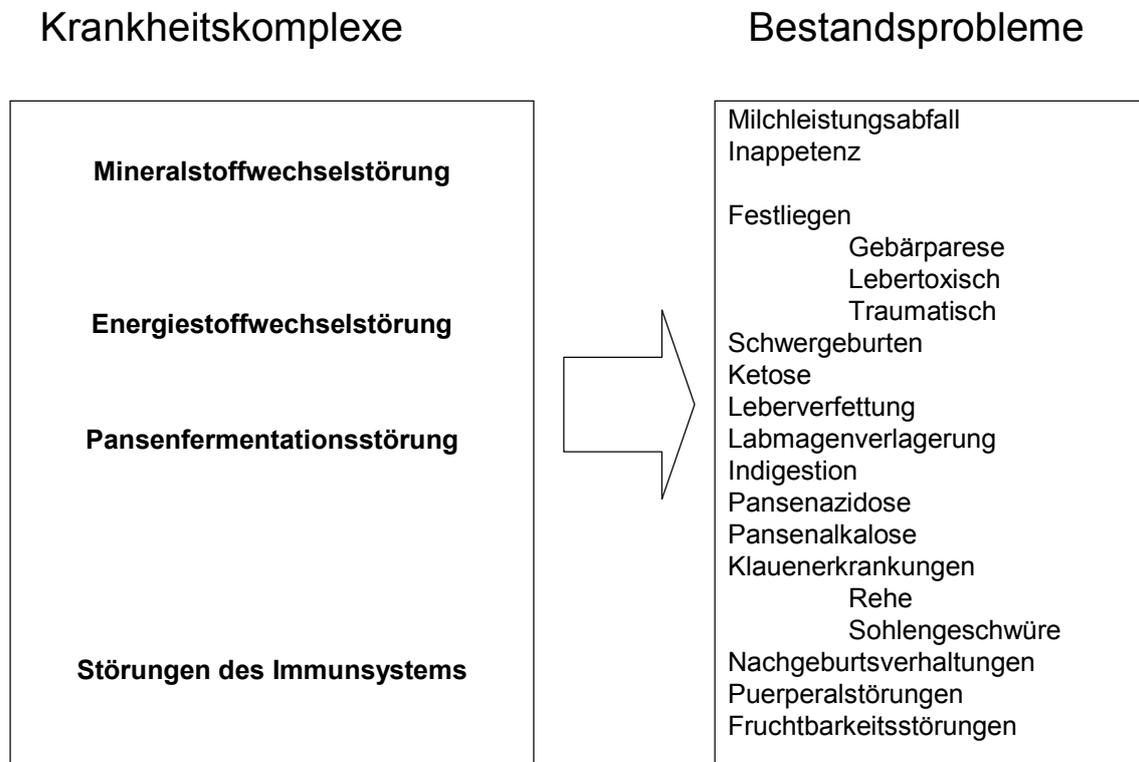


Abbildung 1: Gesundheitsstörungen um die Kalbung (STAUFENBIEL, 1999)

Durch die Verknüpfung der Produktionskrankheiten der Transitzuh entstehen regelmäßig Folgeeffekte, die zu einem Anstieg der Inzidenz von Infektionskrankheiten und anderen Produktionskrankheiten, verschlechterter Fruchtbarkeit, erniedrigter Milchproduktion und zu vermehrten Lahmheiten führen (MULLIGAN und DOHERTY, 2008). Viele dieser metabolischen Störungen (z.B. Gebärparese, Ketose) der peripartalen Milchkuh stehen in ihrem Auftreten im Zusammenhang und haben eine Beziehung zur Fütterung vor der Kalbung (CURTIS et al., 1985) und in der Übergangsperiode zur neuen Laktation (STAUFENBIEL, 1999).

Die Ätiologie vieler metabolischer Erkrankungen, die nicht in den ersten 2 Wochen klinisch apparent sind, kann auf Störungen in der Frühaktation zurückverfolgt werden (GOFF und HORST, 1997b). Viele Gesundheitsstörungen können in subklinischen Formen erscheinen, charakterisiert durch ein Fehlen an Symptomen (INGVARTSEN, 2006). In Folge der

subklinischen Störung kann es zu einer möglichen Reduktion der Milchleistung und zu einem erhöhtem Risiko für klinische Erkrankungen kommen (INGVARTSEN, 2006).

Die wichtigste Mineralstoffwechselstörung der Transitkuh ist die Gebärparese und die subklinische Hypokalzämie (Serumkalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l) (MULLIGAN et al., 2006b).

2.1.2. Gebärparese

Die Gebärparese ist definiert als eine akute Kalziumstoffwechselstörung von pluriparen Milchkühen im unmiktelbaren peripartalen Zeitraum (HORST et al., 1997, MARTIG, 2002), die durch eine fehlende Adaptation des Kalziumhaushaltens an den Kalziumverlust mit Einsetzen der Laktation gekennzeichnet ist (HORST, 1986, HORST et al., 2005).

Andere Bezeichnungen der Gebärparese sind Gebährlähmung, Gebärkoma, Milch- oder Kalbefieber, puerperales Festliegen oder Paresis puerperalis. Es wird zwischen der klinisch manifesten Gebärparese, gekennzeichnet durch das Festliegen der Tiere aufgrund eines akuten Kalziummangels um die Kalbung, und der subklinischen Hypokalzämie als subklinische Erkrankungsform der Gebärparese unterschieden (STAUFENBIEL, 1999).

2.1.3. Inzidenz

Im internationalen Schrifttum variieren die Inzidenzen der Gebärparese in einem Bereich von 0-10% (Tabelle 1).

Die Laktationsinzidenz dieser Erkrankung hat sich seit mehreren Jahrzehnten nicht verändert (HORST et al., 1994, MALZ und MEYER, 1992, PHILLIPPO et al., 1994). Da sich aber die durchschnittliche Laktationszahl im gleichen Zeitraum verringert hat, bedeutet dies faktisch eine Zunahme der Erkrankungshäufigkeit der Hypokalzämie bei pluriparen Kühen (STAUFENBIEL, 2004).

Die Inzidenz der Gebärparese weist dabei eine große individuelle betriebsabhängige Variation auf (DEGARIS und LEAN, 2008, MULLEN, 1975, ROCHE, 2003), die von den vorhandenen Produktions- und Managementsystemen sowie von weiteren anderen Faktoren beeinflusst wird (ROCHE, 2003, ROCHE und BERRY, 2006).

Eine weitaus größere Bedeutung hat die Inzidenz der subklinischen Hypokalzämie (Serumkalziumkonzentration 1,4-2,0 mmol/l (HOUE et al., 2001, MULLIGAN et al., 2006a)) (Tabelle 2).

Tabelle 1: Inzidenz der Gebärpause (Bezugsgröße auf Herdenebene)

| Inzidenz (%) | Land | Autor und Erscheinungsjahr |
|--------------------------|----------------|----------------------------|
| 3,45 (im Bereich 0-7 %) | Nordamerika | (DEGARIS und LEAN, 2008) |
| 6,17 (im Bereich 0-10 %) | Europa | (DEGARIS und LEAN, 2008) |
| 3,5 (im Bereich 0-7 %) | Australien | (DEGARIS und LEAN, 2008) |
| 5-10 | Dänemark | (HOUE et al., 2001) |
| 5,3 | Dänemark | (HINDHEDE et al., 2003) |
| 5,9 | USA | (GOFF und HORST, 2003a) |
| 4,9 | USA | (USDA, 2007) |
| 6,5 | USA | (COOK et al., 2006a) |
| 4-9 | Großbritannien | (HUSBAND, 2005) |
| 5 | Großbritannien | (WHITAKER et al., 2004) |
| 5,2 | Schweiz | (LIESEGANG, 2001) |
| 2 | Neuseeland | (MCDUGALL, 2001) |
| 2-4 (Weidehaltung) | Neuseeland | (ROCHE, 2003) |
| 5,8 (im Bereich 0-26 %) | Deutschland | (HELLERICH, 2008) |
| 0-2,6 | Israel | (BAR und EZRA, 2005) |
| 2,5 | Israel | (GILD et al., 2008) |
| 3,4 | Kanada | (MCLAREN et al., 2006) |

Tabelle 2: Inzidenzen der subklinischen Hypokalzämie (Bezugsgröße auf Herdenebene)

| Inzidenz (%) | Land | Autor und Erscheinungsjahr |
|----------------------|------------|----------------------------|
| 50 | USA | (HORST et al., 2003) |
| 25-51 | USA | (REINHARDT et al., 2010) |
| 30-40 (Weidehaltung) | Neuseeland | (ROCHE, 2003) |
| 23-39 | Dänemark | (HOUE et al., 2001) |
| 25-50 | Australien | (JONSSON, 1999) |
| 18,8 | Israel | (GILD et al., 2008) |

Die Gebärpause tritt hauptsächlich in den ersten 24 Stunden nach der Kalbung auf (OETZEL, 1988, OETZEL und GOFF, 1999) (Tabelle 3).

Tabelle 3: Zeitliche Verteilung des Auftretens der Gebärparese (OETZEL, 1988, OETZEL und GOFF, 1999)

| Zeitpunkt des Festliegens | Prozentuale Verteilung |
|--------------------------------|------------------------|
| ante partum | 3% |
| direkt während der Kalbung | 6% |
| ersten 24 Stunden post partum. | 75% |
| 24-48 Stunden post partum | 12% |
| > 48 Stunden post partum | 4% |

2.1.4. Pathophysiologie

Die Kalziumhomöostase von hochleistenden pluriparen Kühen wird durch den plötzlich gestiegenen Kalziumbedarf zu Laktationsbeginn gestört (GOFF, 2000, GOFF et al., 1991b, HORST et al., 1997). Der Kalziumbedarf für die Kolostrumproduktion kann dabei nicht mehr über die Absorption aus dem Verdauungstrakt, die Mobilisation aus dem Knochen und die Resorption in der Niere gedeckt werden (PENNER et al., 2008).

Am Kalziumstoffwechsel sind verschiedene Mechanismen beteiligt (Abbildung 2). Die physiologische Serumkalziumkonzentration einer Kuh liegt bei 2,1–2,5 mmol/l (8,5-10 mg/dl) (GOFF, 2006a). Das entspricht einem Plasmapool von annähernd 3 g Kalzium bei einer 600 kg schweren Kuh, der gesamte extrazelluläre Kalziumgehalt beträgt ungefähr 8-9 g Kalzium (GOFF, 2000).

Der durchschnittliche Kalziumbedarf kurz vor der Kalbung liegt bei ca. 30 g Kalzium, die sich aus 15 g Kalzium für Kot- und Harnverluste und 15 g Kalzium für das fetale Wachstum zusammensetzen (DEGARIS und LEAN, 2008). Zu Laktationsbeginn produziert die Kuh größere Mengen kalziumreiches Kolostrum (HORST et al., 2005). Ein Liter Kolostrum enthält ungefähr 2,3 g Kalzium, was bei einer Melkung von 10 Litern 23 g Kalzium entspricht (GOFF et al., 1991b). Viele Kühe produzieren Kolostrum, das täglich 20–30 g Kalzium enthält (GOFF, 2000). Der Kalziumverlust über die Milch kann 50 g Kalzium pro Kuh und Tag übersteigen (DEGARIS und LEAN, 2008). Durch die Kolostrumproduktion (30-50 g Kalzium) zu Laktationsbeginn entsteht ein weitaus größerer Kalziumbedarf als für fetales Wachstum (10-15 g) (Abbildung 3) (HORST et al., 2005).

Dieser Kalziumbedarf kann nur über erhöhte Absorption aus Pansen und Darm und durch verstärkte Mobilisation aus dem Knochen gedeckt werden, da die zirkulierenden Serumkalziumreserven limitiert sind (DEGARIS und LEAN, 2008).

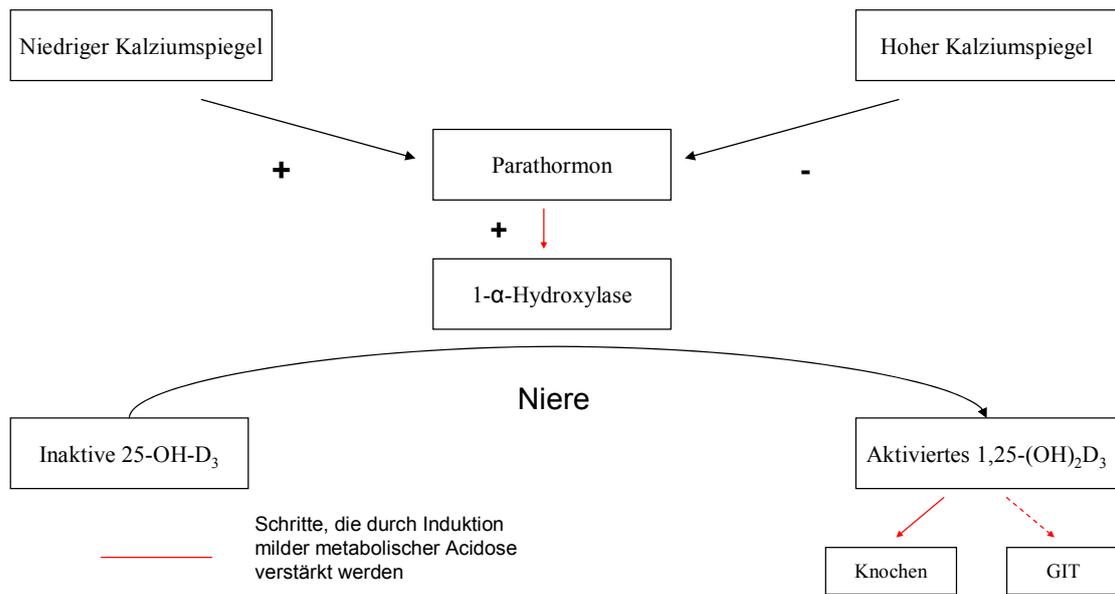


Abbildung 2: Übersicht der Regulationsmechanismen des Kalziumstoffwechsels (HUSBAND, 2005)

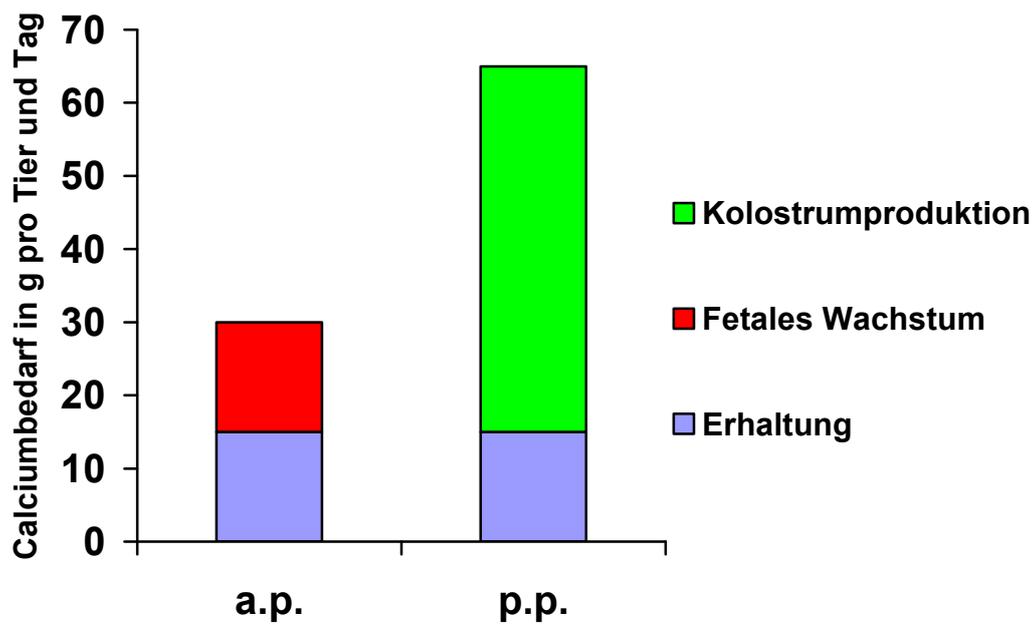


Abbildung 3: Kalziumbedarf einer Mehrkalbskuh direkt a.p. und p.p.

Dadurch entsteht bei vielen Kühen eine Hypokalzämie (DEGARIS und LEAN, 2008). Nach Angaben von GOFF (2008) haben ungefähr 25% der Färsen und über 50% der älteren Kühe Serumkalziumkonzentrationen < 2 mmol/l (8 mg/dl). In gut gemanagten Herden können durch Prophylaxemaßnahmen nach seinen Angaben diese Werte halbiert werden (GOFF, 2008).

Die meisten Kühe entwickeln unter physiologischen Bedingungen eine Hypokalzämie in den ersten Stunden nach der Geburt des Kalbes, welche im Normalfall durch die Mechanismen der Kalziumhomöostase während der ersten Laktationstage wieder normalisiert wird (ANDERSEN et al., 2005).

Bei Überforderungen der homöostatischen Regulationsmechanismen im unmittelbaren peripartalen Zeitraum kommt es zu einer klinisch manifesten Hypokalzämie (SCHRODER und BREVES, 2006). Aufgrund der abgesenkten Kalziumwerte im Plasma kommt es wahrscheinlich zu Störungen der synaptischen Erregungsübertragung und in weiterer Folge zu einer möglichen Beeinträchtigung der Kontraktilität der Muskulatur (GOFF et al., 1989) sowie einer Absenkung der Motilität und des Tonus (CURTIS et al., 1983, GOFF et al., 1989, OETZEL, 1988), die schließlich zu unzureichender Aktivierungsfähigkeit der Muskulatur und somit zum „Festliegen“ führen (ZECHNER, 2009).

Zielgröße bei der Kalzium-Homöostase ist der Bereich von 2,0-2,5 mmol/l Kalzium im Blutserum. Milchkühe können 50% der im Blut zirkulierenden Kalziumreserven verlieren, bevor der Verlust in einer hypokalzämischen Erkrankung endet (DEGARIS und LEAN, 2008).

Die Kalziumhomöostase wird physiologisch mit den Hormonen Calcitonin, Parathormon (PTH) und dem Vitamin 1,25-Dihydroxyvitamin D₃ (1,25 Dihydroxy-Cholecalciferol, 1,25[OH]₂D₃) kontrolliert. PTH und 1,25[OH]₂D₃ erhöhen das Kalzium im Blutplasma, während Calcitonin das Kalzium im Blutplasma durch eine verringerte Knochendemineralisierung erniedrigt (HUSBAND, 2005). PTH wird von der Nebenschilddrüse als Antwort des Körpers bei erniedrigten Blutkalziumspiegeln sezerniert und erhöht die Kalziummobilisation aus dem Knochen. Calcitonin wird von den C-Zellen der Schilddrüse als Antwort auf erhöhte Blutkalziumspiegel ausgeschüttet. Vitamin D₃ (Cholecalciferol) wird in der Haut und Vitamin D₂ aus Ergosterol in Pflanzen durch photochemische Konversion gebildet. Beide Formen des Vitamin D sind in kleinen Mengen im Blut vorhanden und werden in der Leber zur hauptsächlich zirkulierenden (inaktiven) Form, 25-OH-D₃, umgewandelt (HUSBAND, 2005). In der Niere wird diese Vorstufe 25-OH-D₃ dann durch das Enzym 1- α -Hydroxylase in das hauptsächlich aktive 1,25[OH]₂D₃

konvertiert. Dieser Vorgang in der Niere wird durch PTH reguliert (TAYLOR et al., 2008). Dies ist bei den Wiederkäuern die Hauptwirkung des PTH (HUSBAND, 2005). $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ erhöht die Resorptionsrate für Kalzium aus dem Knochen und die Kalziumabsorption aus dem Gastrointestinaltrakt. Die Produktion des $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ wird herab reguliert durch erhöhte Serumkalziumspiegel und durch die Anwesenheit von $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ selbst.

Die peripartale Kuh reagiert unter physiologischen Bedingungen auf erniedrigte Kalziumspiegel mit einer Erhöhung von PTH und $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ mit dem Ergebnis einer erhöhten intestinalen Absorption von Kalzium, eine erhöhte Resorption von Kalzium aus dem Knochen und eine erhöhte tubuläre Resorption von Kalzium in der Niere (DEGARIS und LEAN, 2008). Die Kuh ist aber in ihrer Kapazität auf die erhöhten metabolischen Anforderungen zu antworten, durch die Absorptionsrate aus dem Gastrointestinaltrakt und die Resorptionsrate aus dem Knochen beschränkt (DEGARIS und LEAN, 2008).

Die Kalziumhomöostase wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst (Tabelle 4). Auf zellulärer Ebene wird die Kalziumhomöostase nach GOFF (2006a) durch folgende drei Faktoren negativ beeinflusst:

- (1.) Metabolische Alkalose
- (2.) Hypomagnesiämie
- (3.) Hyperphosphatämie

(1.) Metabolische Alkalose:

Eine metabolische Alkalose prädisponiert Kühe, an klinischer und subklinischer Hypokalzämie zu erkranken (CRAIGE und STOLL, 1947). In vitro-Studien zeigen, dass sich bei Vorliegen einer metabolischen Alkalose die Konformation des PTH-Rezeptors verändert, so dass die PTH-Rezeptorsensitivität abnimmt (HORST et al., 1997). Die verminderte PTH-Aktivität führt zu geringerer Kalziumfreisetzung aus dem Knochen. In der Niere bewirkt eine verminderte PTH-Aktivität eine niedrigere renale Resorption von Kalzium aus dem Glomerulumfiltrat. Die wichtigste Funktion des PTH in der Niere, die Konvertierung von 25-OH-D_3 durch das Enzym $1\text{-}\alpha\text{-Hydroxylase}$ in das hauptsächlich aktive $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$, läuft nicht ausreichend ab. In Folge des Mangels des stoffwechselaktiven $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ kommt es nicht zu einer erhöhten intestinalen Absorption von Kalzium, um den Blutkalziumhaushalt zu normalisieren (GOFF, 2006a).

(2.) Hypomagnesiämie:

Hypomagnesiämie beeinflusst den Kalziumstoffwechsel auf zwei Wegen:

(2.1.) Verminderung der PTH–Sekretion als Antwort auf einen hypokalzämischen Zustand (RUDE et al., 1978) und

(2.2.) durch eine verminderte Sensitivität des Gewebes auf PTH (GOFF, 2006a). Die PTH–Bindung an den Rezeptor löst in der Zelle eine Produktion von Second–Messengern aus. Bei der Produktion dieser Enzyme wird Magnesium als Kofaktor gebraucht (GOFF, 2000). Eine Hypomagnesiämie kann auch durch hohe Kaliumgehalte im Futter entstehen, da hohe Kaliumgehalte die ruminale Absorption von Magnesium verringern (MARTENS et al., 2000).

(3.) Hyperphosphatämie

Hohe Serumphosphorkonzentrationen über dem Normalwert von 2,0 mmol/ l hemmen direkt die Aktivität des renalen 25–Hydroxyvitamin D-1- α -Hydroxylase–Enzyms (GOFF, 2006a). Es kommt zu einem Mangel an dem stoffwechselaktiven 1,25[OH]₂D₃ mit den Folgen einer Hypokalzämie.

Tabelle 4: Übersicht über die Beeinflussung der Kalziumhomöostase nach GOFF (2000)

| Übergruppierung | Einzelne Faktoren |
|--|--|
| Faktoren, die die PTH-Sekretion beeinflussen | (1.) Hypomagnesiämie (2.) Kalziumarme Fütterung vor der Kalbung |
| Faktoren, die die Wirkung von PTH am Gewebe beeinflussen | (1.) Säure-Basen-Haushalt und akute Hypokalzämie (2.) Hypomagnesiämie (Magnesium als Kofaktor in der Zelle) (3.) ansteigendes Alter der Kuh (4.) Hypokalzämie (Kalzium als Second-Messenger in der Zelle) |
| Faktoren, die die Mineralresorption im Knochen beeinflussen | (1.) Östrogen (2.) Calcitonin (3.) Säure-Basen-Haushalt |
| Faktoren, die die renale Produktion von $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ beeinflussen | (1.) DCAB (2.) Phosphorüberschuss im Futter (3.) Vitamin D-Mangel (4.) Vitamin D-Überschuss |
| Faktoren, die Kalzium Absorption beeinflussen | (1.) Verfügbarkeit von Kalzium im Futter (2.) Verringerung der $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ -Rezeptoren im Darm mit steigendem Alter (3.) Kalzium-Phosphor-Verhältnis der Futtermittelration (4.) Futterfett (5.) Produktionsmangel von $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ (6.) Rasse |

2.1.5. Ätiologie der Hypokalzämie

Nach HOUE et al. (2001) können die wichtigsten Risikofaktoren für die Gebärparese folgendermaßen eingeteilt werden:

- (1.) Kuh assoziierte Faktoren
- (2.) Fütterungsfaktoren
- (3.) Umwelt- und Managementfaktoren

(1.) Kuh assoziierte Faktoren

(1.1.) Alter

Primipare Kühe erkranken praktisch nie an hypokalzämischer Gebärparese (MARTIG, 2002). Mit steigendem Alter der Kuh steigt das Risiko, an Gebärparese zu erkranken (HORST et al., 1997), da es zu einer Reduktion der Rezeptoren von $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ kommt (HORST et al., 1990) und auch die Zahl der aktiven Osteoblasten und Osteoklasten abnimmt (GOFF, 2000). Die Mobilisierbarkeit von Kalzium aus dem Knochen und die Resorption aus dem Darm reduziert sich mit zunehmendem Alter (HORST et al., 2005). Die Gebärpareseinzidenz nimmt laut HORST (2005) ab der 3. Laktation stark zu.

(1.2.) Rasse

Die Gebärpareseinzidenz bei Jerseykühen ist höher als bei Holstein Friesian Kühen (GOFF et al., 1995), da das Kolostrum und die Milch der Jerseykühe mehr Kalzium enthält (GOFF, 2000) und die Jerseykühe weniger $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ -Rezeptoren im Darm haben (HORST et al., 1990). Houe et al. (2001) vermuten, dass die Inzidenz der Gebärparese bei den Jerseys höher sei, da diese Tiere ein höheres Lebensalter erreichen.

(1.3.) Körperkondition

Überkonditionierte Kühe haben ein erhöhtes Risiko an Gebärparese zu erkranken (HOUE et al., 2001). Als Begründung dafür schlagen Mulligan et al. (2008) folgende Hypothesen vor:

- (1.) Überkonditionierte Tiere haben zur Kalbung einen größeren Kalziumverlust über die Milch.
- (2.) Überkonditionierte Tiere haben im Vergleich zu dünneren Tieren eine geringere Futteraufnahme in der letzten Woche ante partum. Dies kann ihre Aufnahme von Kalzium und Magnesium auf ein Niveau senken, das sie für die Entwicklung einer Hypokalzämie prädisponiert.

(3.) Aus der Humanmedizin ist bekannt, dass Menschen, die an einer nicht alkoholischen Fettleber leiden, niedrigere Konzentrationen an 25-OH-Vitamin D₃ haben als gesunde Menschen.

(1.4.) Leistungsdisposition

Hochleistungskühe sind anfälliger für die Gebärpareseerkrankung als Tiere mit geringerer Milchproduktion (MARTIG, 2002). Hohe Einsatzleistung und hoher Milchfettgehalt sind ebenfalls prädisponierend für die Gebärparese (FÜRL, 2005).

(2.) Fütterungsfaktoren

(2.1.) DCAB der Futtermittelration

Mit ansteigender DCAB steigt auch die Inzidenz der Gebärparese an (Abbildung 4).

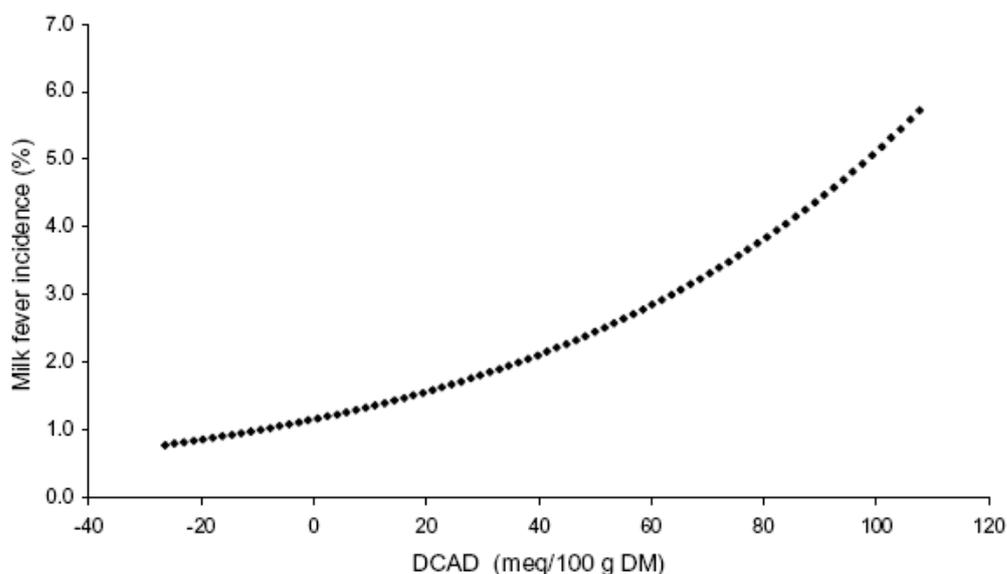


Abbildung 4: Lineare Verknüpfung von DCAB und der Gebärpareseinzidenz (DEGARIS und LEAN, 2008)

Die Gebärparese entsteht dabei durch einen Überschuss an Kationen (SEIFI et al., 2004). Diese Kationen induzieren eine metabolische Alkalose, die die Kalziumhomöostase negativ beeinflusst (GAYNOR et al., 1989, GOFF et al., 1991b). Diese metabolische Alkalose wird vor allem durch Kalium im Futter ausgelöst (CONSTABLE et al., 2009, GOFF, 2006a, GOFF und HORST, 1997a, STAUFENBIEL, 2004).

(2.2.) Kalziumgehalt in der Futtermation

Das Verfüttern von kalziumarmen Futtermationen ante partum vermindert das Risiko, an Gebärparese zu erkranken (GOINGS et al., 1974, WIGGERS et al., 1975). Das Tier wird dadurch in eine negative Kalziumbilanz gebracht, was zu einem Absinken des Blutkalziumspiegels führt (GOFF, 2000). Dies führt zu Stimulation der PTH-Sekretion, welche wiederum die Knochenresorption durch Osteoklasten und die renale $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ -Produktion stimuliert. Dies führt zu einem Kalziumefflux aus dem Knochen und zur Verbesserung der intestinalen Kalziumabsorption.

(2.3.) Phosphorgehalt in der Futtermation

Bei Ratten stört eine Hyperphosphatämie die Aktivität des renalen 25-Hydroxyvitamin D-1- α -Hydroxylase-Enzyms trotz erhöhter Synthese von PTH, was zu einer Verringerung der $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ -Produktion mit der Folge einer Hypokalzämie führt (MASUYAMA et al., 2000, TANAKA und DELUCA, 1973). Der gleiche pathologische Mechanismus soll bei Kühen für einen negativen Einfluss auf die Kalziumhomöostase verantwortlich sein (BARTON et al., 1987). Erhöhte Phosphorgehalte in der Futtermation (> 80 g/Tier und Tag) erhöhen das Risiko, an Gebärparese zu erkranken (GOFF, 2006a, STAUFENBIEL, 1999). FÜRLL (2005) nennt als prädisponierenden Faktor für die Gebärparese einen Phosphorgehalt im Futter von über 50g/Tier und Tag.

(2.4.) Magnesiumgehalt der Futtermation

Die Sicherstellung hoher Magnesiumgehalte (0,35 g/kg TS bis 0,4 g/kg TS (GOFF, 2004, LEAN et al., 2006)) in der Futtermation der Vorbereiternation ist entscheidend, um die Gebärpareseinzidenz zu senken (LEAN et al., 2006, MULLIGAN et al., 2006a). Zur Erhöhung des Magnesiumgehaltes in der Ration kommen v.a. Magnesiumsulfat und Magnesiumoxid als Futterzusätze zum Einsatz. Dabei hat Magnesiumsulfat eine höhere Bioverfügbarkeit als Magnesiumoxid, welches in seiner Bioverfügbarkeit großen Schwankungen unterliegt (MULLIGAN et al., 2008).

(3.) Umwelt- und Managementfaktoren

Über die Einflussfaktoren Jahreszeit, Klima, Aufstallungssystem, Weidehaltung, Bewegung, Länge der Trockenstehperiode und des Melkens ante partum auf die Inzidenz der Gebärparese gibt es unterschiedliche Angaben (HOUE et al., 2001).

2.1.6. Kosten

Erkrankungen manifestieren sich durch direkte und indirekte Kosten (KOSSAIBATI und ESSLEMONT, 1997). Die direkten Kosten setzen sich sowohl aus den Tierarztkosten, den Kosten für die Arbeitszeit des Betriebspersonals, Arzneimittelkosten, aus dem Milchverlust während der Behandlung aufgrund eventueller Wartezeiten durch die Behandlung als auch aus Kosten für den Wert des Kalbes im Falle einer Totgeburt zusammen (KOSSAIBATI und ESSLEMONT, 1997). Die indirekten Kosten entstehen durch erhöhtes Risiko, an anderen Gesundheitsstörungen zu erkranken, verlängerter Zwischenkalbezeit, erhöhtes Risiko für frühzeitiges Ausscheiden aus der Herde, zusätzlichen Aufwand für die Konzeption und das erhöhte Risiko für einen möglichen Tod des Tieres aufgrund der Erkrankung (KOSSAIBATI und ESSLEMONT, 1997). Mögliche niedrigere Milchleistung nennt GUARD (1994) als zusätzliche indirekte Kosten. OSTERGAARD und GRÖHN (1999) dagegen berichten, dass an Gebärparese erkrankte Kühe in den ersten vier bis sechs Laktationswochen zwar weniger Milch produzieren, aber über die gesamte Laktation mehr Milch als nicht erkrankte Kühe geben. Nach Angaben von FOURICHON et al. (1999) ist die Gebärparese nicht mit Milchleistungsverlust assoziiert.

Es muss dabei berücksichtigt werden, dass es schwer ist, die genauen ökonomischen Verluste, die durch eine Erkrankung verursacht werden, zu beziffern, denn die Auswirkungen bezüglich Leistung, Fruchtbarkeit und Nutzungsdauer variieren stark und die Zusammenhänge zu anderen Erkrankungen und Umwelteinflüssen sind sehr komplex (SCHMIEDEL, 2008).

Eine Vergleichbarkeit der Beträge ohne Berechnungsgrundlage fällt daher sehr schwer. In der Literatur findet man verschiedene Angaben für die Kosten einer Gebärpareseerkrankung.

Tabelle 5: Kosten der klinischen Hypokalzämie pro Fall auf Herdenebene

| Kosten | Land | Autor und Erscheinungsjahr |
|--------|----------------|----------------------------|
| 334 \$ | USA | (HORST et al., 1997) |
| 200 £ | Großbritannien | (HUSBAND, 2005) |
| 350 € | Deutschland | (DEITMER, 2007) |
| 500 \$ | Dänemark | (AGGER und RENNEY, 2004) |

Die Kosten, die durch die subklinische Hypokalzämie mit all ihren Risikofaktoren für das Auftreten anderer Erkrankungen entstehen, sind ökonomisch noch bedeutsamer als die Verluste durch die klinische Hypokalzämie (HUSBAND, 2005, STAUFENBIEL, 2004), aber schwer zu beurteilen.

2.1.7. Bedeutung der subklinischen Hypokalzämie

Eine erfolgreiche Laktation der Kuh mit hoher Produktivität und niedriger Krankheitsinzidenz ist für die landwirtschaftliche Milchproduktion wichtig, um im Wettbewerb bestehen zu können (INGVARTSEN, 2006). Allgemein ist die Inzidenz subklinischer Erkrankungen größer als die Inzidenz klinischer Erkrankungen (DUFFIELD, 2006).

Viele Gesundheitsstörungen können in subklinischen Formen auftreten, die mit einer möglichen Reduktion der Milchleistung und einem erhöhtem Risiko klinisch zu erkranken verbunden sein können (INGVARTSEN, 2006). Die subklinische Erkrankung gilt als limitierender Faktor in der Produktivität eines Tieres (LEBLANC et al., 2006).

Gerade die subklinischen metabolischen Erkrankungen (subklinische Ketose, subklinische Hypokalzämie, subakute Pansenacidose) gelten als Ausgangsbasis für das peripartale Erkrankungsgeschehen, die das Risiko der Kuh erhöhen, zu erkranken und/ oder weniger Milch zu produzieren (COOK et al., 2006a). Häufig bleiben diese subklinischen metabolischen Erkrankungen unbemerkt und führen zu hohen wirtschaftlichen Verlusten aufgrund erhöhter klinischer Erkrankungen, verminderter Milchproduktion, verschlechterter Fruchtbarkeit und vermehrten Abgänge (DUFFIELD, 2006).

Die subklinische Hypokalzämie wird als reduzierte Kontraktionsfähigkeit der quergestreiften und glatten Muskulatur und anderer physiologischer Funktionen definiert, jedoch ohne äußere klinische Erscheinungen (HOUE et al., 2001). Bei der subklinischen Hypokalzämie sinkt die Serumkalziumkonzentration unter 2,0 mmol/l ab (DEGARIS und LEAN, 2008, MULLIGAN et al., 2006a).

Kalzium hat eine bedeutende Rolle für viele physiologische Prozesse (SCHRODER und BREVES, 2006). Es ist Bestandteil wichtiger intra- und extrazellulärer Verbindungen der weichen Körpergewebe sowie Überträger- als auch Regulator-Ion (Muskelkontraktion, Blutkoagulation, Enzymaktivität, nervale Erregbarkeit, Hormonsekretion, Zelladhäsion u.a.) (REINHARDT et al., 1988, ROSOL und CAPEN, 1996, VON ENGELHARD und BREVES, 2000). Durch den erniedrigten Kalziumspiegel kommt es zu einer verminderten Kontraktilität der glatten und quergestreiften Muskulatur (MULLIGAN et al., 2008, MURRAY et al., 2008). Hinzu kommt eine Wechselwirkung von Management und Stoffwechsel der Transitzuh mit dem Immunsystem der Kuh um die Kalbung (DRACKLEY, 1999, DRACKLEY et al., 2001). Im peripartalen Zeitraum kommt es bei Kühen zu einer Immunsuppression, wahrscheinlich ausgelöst durch Hormonveränderungen bei der Geburt des Kalbes und bei Einsetzen der Laktation (GOFF und HORST, 1997b, OVERTON und WALDRON, 2004). Die Schwere der Immunsuppression wird durch Faktoren wie

Hypokalzämie (DUCUSIN et al., 2003, KIMURA et al., 2006, MULLIGAN et al., 2008, MURRAY et al., 2008), negative Energiebilanz (OHTSUKA et al., 2006) und über einen längeren Zeitraum erhöhte Kortisolspiegel verstärkt (BURTON et al., 2005).

Weniger schwere Abweichungen im Blutkalziumgehalt begründen eine niedrigere Futteraufnahme, verringerte Pansen- und Darmmotilität, geringere Produktivität und erhöhen die Prädisposition für andere metabolische- und infektiöse Erkrankungen (GOFF, 2008).

Bei nicht optimaler Futteraufnahme, wie im Fall der klinischen und subklinischen Hypokalzämie, verstärkt sich die negative Energiebilanz in der Früh-laktation (WILDE, 2006). Eine ausgeprägte (nicht adaptierte (HERDT, 2000)) negative Energiebilanz hat nachteilige Effekte auf den Gesundheitsstatus und die Produktivität von Milchkühen (OSPINA et al., 2010b) aufgrund der Verbindung von Energiedefizit und Immunsuppression (HAMMON et al., 2006, SCALIA et al., 2006). Zusätzlich kommt es zu negativen Einflüssen auf die Fruchtbarkeit und die Milchleistung (OSPINA et al., 2010a).

Dies wird durch Untersuchungen von REINHARDT (2010) unterstrichen, nach denen normokalzämische Kühe in einer geringeren negativen Energiebilanz als subklinisch hypokalzämische Kühe sind.

Deshalb ist es für die Transitkuh um die Kalbung wichtig, dass sie den Pansen an die hochenergetische Futterration der laktierenden Kühe adaptiert, den Grad der Immunsuppression und Hypokalzämie möglichst niedrig hält, um Folgeerkrankungen zu vermeiden (GOFF und HORST, 1997b).

2.1.8. Folgeerkrankungen der klinischen und subklinischen Hypokalzämie

Durch das Festliegen bei dem Krankheitsbild der klinischen Hypokalzämie kann es direkt zu Druckschädigungen oder Ischämie von Nerven und Muskeln kommen (COX et al., 1982). Muskelnekrosen und Nervenparalysen, als Komplikation einer Gebärpareseerkrankung, können dann zum Symptom der „Alert Downer Cow“ führen (MENARD und THOMPSON, 2007).

Auf Herdenebene kommt es durch die klinische und vor allem durch die subklinische Hypokalzämie zu einem Ansteigen der Inzidenzen von Mastitis (DEGARIS und LEAN, 2008), Dystokie (CORREA et al., 1993), Gebärmuttervorfällen (RISCO et al., 1984), Nachgeburtsverhaltung (CURTIS et al., 1983, HOUE et al., 2001), Metritis (HOUE et al., 2001), Endometritis (ERB et al., 1985, WHITEFORD und SHELDON, 2005), verlangsamter Gebärmutterinvolution (BORSBERRY und DOBSON, 1989) und verspäteter erster Ovulation nach dem Kalben (ERB et al., 1985, JONSSON, 1999), Ketose und Labmagenverlagerung (OSTERGAARD und GROHN, 1999). Für die einzelne Kuh ist eine klinische oder

subklinische Hypokalzämie immer ein erhöhtes Erkrankungsrisiko für andere metabolische oder infektiöse Krankheiten (Mastitis, Nachgeburtsverhaltung, Labmagenverlagerung, Ketose, Gebärmuttervorfall) (DEGARIS und LEAN, 2008). Zusätzlich erhöht sich für sie das Risiko für Reproduktionsstörungen (ERB et al., 1985) und indirekt für eine verfrühte Merzung (DUFFIELD, 2006). So haben an Gebärbarese erkrankte Kühe einen höheren Besamungsindex, eine verlängerte Zwischentragezeit und eine verlängerte Rastzeit im Vergleich zu gesunden Kühen (BORSBERRY und DOBSON, 1989). Die klinische und subklinische Hypokalzämie ist zusätzlich assoziiert mit erniedrigter gastrointestinalen Motilität (GOFF, 2003, WILDE, 2006) mit der Folge von Verringerung der Trockenmasseaufnahme (MULLIGAN et al., 2006b, WILDE, 2006). Verringerte Trockenmasseaufnahme ist laut NORDLUND (2006) der wichtigste Faktor für die Erkrankung von frisch abgekalbten Kühen. Nicht optimale Trockenmasseaufnahmen prädisponieren Kühe für eine stärker ausgeprägte negative Energiebilanz, die zu verschlechterter Fruchtbarkeit und Milchleistung führt (WILDE, 2006).

Um die Inzidenz metabolischer Erkrankungen zu senken, ist es wichtig, eine hohe Trockenmasseaufnahme zu erreichen und die Zeit der negativen Energiebilanz zu minimieren (ROCHE et al., 2000). Beim Versagen der Adaptation an die negative Energiebilanz kommt es dann zu Erkrankungen wie z.B. Ketose und dem Fettleberkomplex (HERDT, 2000). Niedrige Kalziumspiegel führen außerdem zu erniedrigter Insulinproduktion, was den Effekt der negativen Energiebilanz durch verminderte Glucoseaufnahme ins Gewebe und vermehrte Fettmobilisation verstärkt (GOFF, 1999a).

STAUFENBIEL (2004) beschreibt die Bestandserkrankung Hypokalzämie als Eisbergmodell. Die subklinische Hypokalzämie übertrifft die Schäden der klinisch manifesten Form der Hypokalzämie (Abbildung 5).

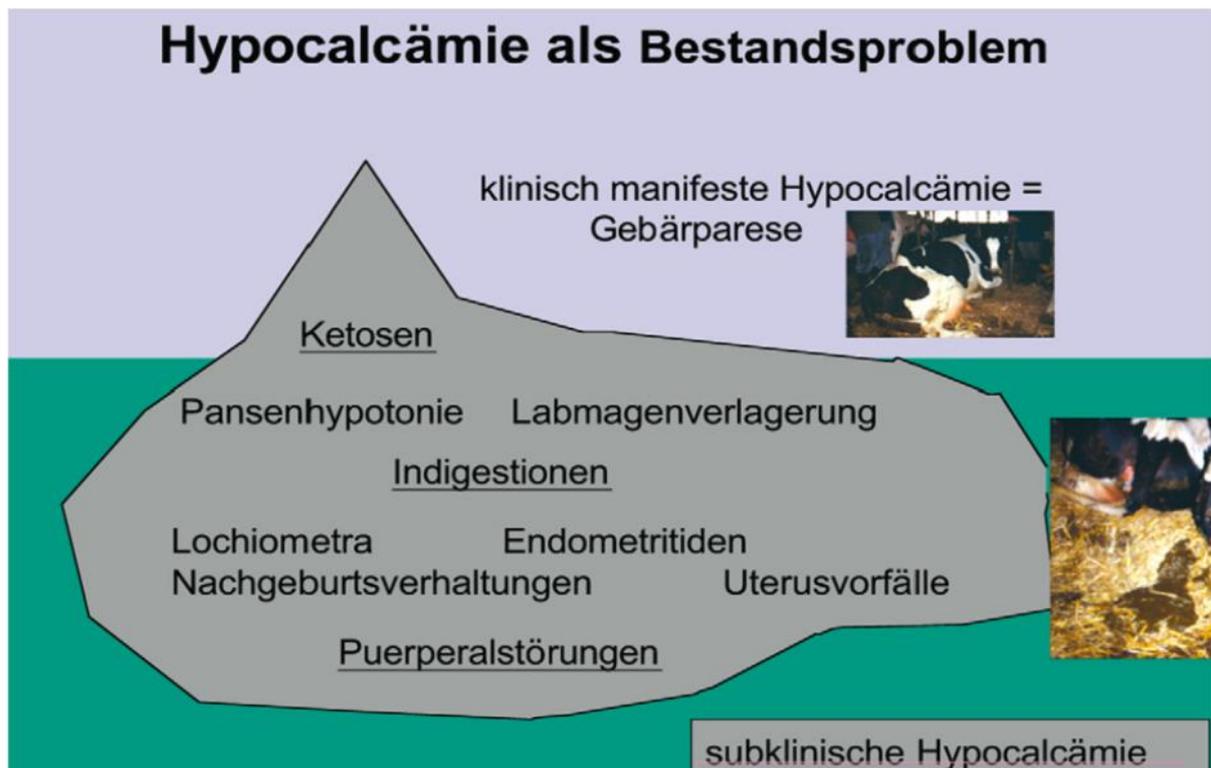


Abbildung 5: Eisbergmodell der Hypokalzämie (STAUFENBIEL, 2004)

2.2. Prophylaxe der Hypokalzämie und der Gebärparese

Die Prophylaxemaßnahmen der subklinischen Hypokalzämie und Gebärparese leiten sich aus der Pathophysiologie der Erkrankung und den für die Erkrankung prädisponierenden Faktoren ab. Gebärparese prädisponierende Faktoren sind untereinander derart vermischt und betriebsabhängig variabel, dass es nicht möglich ist, diese als Einzelfaktoren zu betrachten (HOUE et al., 2001).

Die zentrale Maßnahme zur Prophylaxe von Leistungsdepression, Fruchtbarkeits- und Gesundheitsstörungen ist die Optimierung der Futteraufnahme in der Transitperiode (STAUFENBIEL, 1999).

STAUFENBIEL (2010) unterscheidet zwischen den allgemeinen Prophylaxemaßnahmen und den strategischen Prophylaxemaßnahmen. Die allgemeinen Prophylaxemaßnahmen lassen sich einfach im Herdenmanagement umsetzen. Dazu gehören:

- Optimierung der Haltungsbedingungen
- rutschfeste Stand-, Liege- und Laufflächen
- Vermeidung einer Verfettung
- systematische Anwendung der Konditionsbeurteilung
- Tränken/ Drenchen unmittelbar nach dem Kalben
- verzögertes Ausmelken bis maximal zum dritten Laktationstag

Die systematischen strategischen Prophylaxekonzepte basieren auf der Pathogenese und den prädisponierenden Faktoren der Hypokalzämie (STAUFENBIEL, 2010).

2.2.1. Kalziumarmer Fütterung

Der Kalziumbedarf einer trockenstehenden Kuh (600 kg) liegt bei ungefähr 30g Kalzium pro Tier und Tag (DEGARIS und LEAN, 2008). Die Kuh gerät in eine negative Kalziumbilanz, wenn ihr Bedarf über die Futterzufuhr nicht gedeckt werden kann (GOFF, 2006a). Ziel ist, die Kalziumabsorption aus dem Knochen und dem Darm vor der Kalbung zu aktivieren (KICHURA et al., 1982), um die homöostatischen Mechanismen zu stimulieren, bevor die Kalziumkonzentration, bedingt durch das Einsetzen der Laktation, absinkt (GOINGS et al., 1974). Das fütterungsbedingte Absinken des Blutkalziumspiegels aktiviert die homöostatischen Mechanismen des Kalziumstoffwechsels. Die Verringerung des Blutkalziumspiegels führt zu verstärkter Sekretion von PTH, welches wiederum die Kalziumresorption im Knochen und die renale Produktion von $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ stimuliert (GOFF, 2006a). Durch die Wirkung der Hormone PTH und $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ wird die Kalziumabsorption aus dem Knochen und dem Darm stimuliert (GOINGS et al., 1974, HORST, 1986).

Um die Sekretion von PTH zu stimulieren, muss die täglich im Darm einer Kuh (600 kg, kalkulierte Trockenmasseaufnahme 13 kg) absorbierte Menge an Kalzium unter 20g Kalzium pro Tier und Tag liegen (GOFF, 2006a). Das entspricht einer Fütterung von absorbierbarem Kalzium unter 1,5 g/kg Trockenmasse (0,15%).

Um den Bedarf für absorbierbares Kalzium zu decken, ist die Menge an zu fütterndem Kalzium abhängig von der Verfügbarkeit von Kalzium im Futtermittel, anorganischen Kalziumquellen in der Futtermittelration sowie von der Effizienz der intestinalen Kalziumabsorption des Tieres (NRC, 2001). So ist in Luzerne 20-33% des Kalziums an Oxalat gebunden und damit nicht verfügbar für Wiederkäuer (WARD et al., 1979). Die gesamte Bioverfügbarkeit des Kalziums in Luzerne liegt bei nur ungefähr 30% (MARTZ et al., 1990), die Bioverfügbarkeit von Kalzium in Maissilage bei 35-40% (MARTZ et al., 1999) und die Kalziumverfügbarkeit von Mineralfutter bei 70% (NRC, 2001).

Das NRC (2001) gibt einen Kalziumabsorptionskoeffizienten von 0,38 an, d.h. im Mittel ist 38% des Kalziums aller Futtermittel für Kühe biologisch verfügbar. In der Absorption von Kalzium scheint es aber auch kuhindividuelle Unterschiede zu geben. So erreichten die Kühe bei Verfütterung einer Menge zwischen 20-40 g Kalzium/ Tier und Tag individuell eine positive Kalziumbilanz (NRC, 2001). Hier spielen wahrscheinlich Faktoren, die die

Regulationsmechanismen der Kalziumabsorption beeinflussen (z.B. das Alter der Kühe), eine wesentliche Rolle.

All diese Faktoren sind bei der Berechnung und Erstellung einer kalziumarmen Futtermischung zu bedenken. Es gibt keine Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit von Kalzium in den einzelnen Futtermitteln.

In der Literatur wird die Fütterung von Kalziummengen < 20 g bis < 45 g pro Tier und Tag empfohlen (ENGELHARD, 2007, GOFF, 2000, HORST et al., 2005, MARTIG, 2002, MULLIGAN et al., 2008, STAUFENBIEL et al., 2007, THILSING-HANSEN et al., 2002b).

Uneinheitlichkeit besteht bezüglich der Dauer der kalziumarmen Fütterung ante partum. So sollte nach STAUFENBIEL et al. (2007) die gesamte Trockenstehzeit (Far off- und Close-up-Phase) kalziumarm (< 40 g pro Tier und Tag) gefüttert werden, während THILSING-HANSEN et al. (2002b) den Einsatz einer kalziumarmen Fütterung von < 20 g pro Tier und Tag für die letzten 2 Wochen ante partum empfiehlt.

Über den Einfluss des Kalzium-Phosphor-Verhältnisses auf die Gebärpareseinzidenz im Zusammenhang mit der kalziumarmen Fütterung gibt es unterschiedliche Angaben (THILSING-HANSEN et al., 2002b). Zusammenfassend ist die absolute Menge an Kalzium in der Ration von größerer Bedeutung als Kalzium-Phosphor-Verhältnis (ALLEN und DAVIES, 1981, SANSOM und ALLEN, 1981).

In der Praxis ist eine kalziumarme Fütterung mit den zur Verfügung stehenden Futtermitteln auf Grund deren relativ hohen Kalziumgehaltes (Grundfuttermittel) kaum zu realisieren (GOFF, 2000, GOFF, 2006b, THILSING-HANSEN et al., 2002b).

2.2.2. Verfütterung von Kalziumbindern

Die Verringerung der Bioverfügbarkeit von diätetischem Kalzium durch Verfüttern von kalziumbindenden Stoffen verfolgt das gleiche Wirkprinzip wie die kalziumarme Fütterung. Ein fütterungsbedingter Mangel an Kalzium stimuliert die PTH-Sekretion. Eine Methode ist die Zufütterung von pflanzlichen Ölen (Sojaöl), die Kalzium in Form einer unlöslichen Seife binden und so die Kalziumabsorption verhindern (WILSON, 2003). Die Verwendung von Zeolith A, einem Silikat, ist eine andere Methode, um die Kalziumverfügbarkeit antepartum zu senken (THILSING-HANSEN und JORGENSEN, 2001, THILSING-HANSEN et al., 2002a). KATSOULOS (2005) verfütterte Clinoptilolite, ein natürliches Zeolith, welches Kalzium bindet. Die Verfütterung von 2 kg fettummantelter Reiskleie führt durch die verringerte Bioverfügbarkeit des Kalziums und/ oder durch die Bindung an pansenunverdauliche Phytinsäure zu einer verringerten Kalziumaufnahme mit der Folge der Beeinflussung der Kalziumhomöostase (MARTÍN-TERESO et al., 2010). Es bestehen aber

zurzeit noch ungelöste Probleme für diese Strategien. Die negative Folgen für die Pansenphysiologie der ungesättigten Fette lassen den Einsatz nicht sinnvoll erscheinen (MARTÍN-TERESO et al., 2010). Bei der in der empfohlenen Dosis zu fütternden Menge Zeolith A (GRABHERR et al., 2008) und fettummantelter Reiskleie (MARTÍN-TERESO et al., 2010) kommt es zu einer erheblichen Verminderung der Futterraufnahme, weshalb der Einsatz zurzeit nicht anzuraten ist.

2.2.3. Verabreichung von Vitamin D₃ und seinen Metaboliten

Verschiedene Formen von Vitamin D₃ wurden mit unterschiedlichen Ergebnissen in pharmakologischen Dosen vor dem Kalben verwendet, um der Gebärpause vorzubeugen (DEGARIS und LEAN, 2008).

Die medikamentöse Prophylaxe der Gebärpause durch parenterale Applikation von Vitamin D₃ ist eine allgemein anerkannte Methode (OETZEL, 1988, STAUFENBIEL, 2004, STAUFENBIEL, 2010, THILSING-HANSEN et al., 2002b). Als Standardverfahren gilt die intramuskuläre Injektion von 10 Mio. I.E. Vitamin D₃ 7 Tage vor dem errechneten Kalbetermin (MARTIG, 2002, STAUFENBIEL, 2003, STAUFENBIEL, 2010).

Die Applikation von Vitamin D₃ in pharmakologischer Dosierung führt zu einer Erhöhung der Konzentration von 1,25[OH]₂D₃ (HORST et al., 1997). Hohe Dosen von Vitamin D₃ bewirken temporär in gewissem Umfang eine Steigerung der Hydroxylierung von 25-OH D₃ zu 1,25[OH]₂D₃ auch ohne die Mitwirkung von PTH bei normalen oder erhöhten Serumkalziumspiegeln (ZEPPERITZ, 1992). Es kommt dabei zu einem Aussetzen der physiologischen Regulationsmechanismen des Vitamin D₃ Metabolismus (ALPERS, 2007).

Der Effekt der gesteigerten Hydroxylierung wird dabei entweder durch die renale 1- α -Hydroxylase aufgrund des erhöhten Substratangebotes von Vitamin D₃ oder durch die plazentäre 1- α -Hydroxylase, die nicht feed-back-reguliert wird, ermöglicht (ALPERS, 2007). So wird durch eine hochdosierte parenterale Applikation von Vitamin D₃ auch unter ungünstigen Fütterungsbedingungen (Alkalose, hoher Kaliumgehalt der Ration, hoher Kalziumgehalt der Ration) eine ausreichende Menge an aktivem 1,25[OH]₂D₃ gebildet (STAUFENBIEL, 2010).

Die Vitamin D-Metaboliten erhöhen die Kalziumabsorption aus dem Darm (GOFF, 2006a). Zur Vermeidung toxischer Überdosierung mit der Folge einer eventuellen Kalzinose müssen die Dosis, der Zeitpunkt der Verabreichung in Beziehung zum Abkalbetermin und die Anzahl der Nachbehandlungen beachtet werden (LITLEDIKE und HORST, 1982). Das Problem bei dieser Prophylaxemaßnahme ist die Vorhersage des genauen Kalbezeitpunktes (DEGARIS und LEAN, 2008).

2.2.4. Kalziumgaben um die Kalbung

Ziel von Kalziumgaben ist die Substitution der Hypokalzämie direkt um die Kalbung (STAUFENBIEL, 2010). Die meisten präventiven systematischen Applikationsprogramme sehen eine drei- bis viermalige Verabreichung im Zeitraum 24-12 Stunden ante partum bis 24 Stunden postpartum vor (GOFF et al., 1996, OETZEL, 1996).

Die Absorption von Kalzium im Gastrointestinaltrakt findet aktiv über einen transzellulären Weg und passiv über parazelluläre Wege statt (SCHRODER und BREVES, 2006). Über die Proportion dieser Transportmechanismen untereinander und über die Transportverhältnisse unter bestimmten Umweltbedingungen (z.B. Menge des diätetischen Kalziums) ist wenig bekannt (SCHRODER und BREVES, 2006). Es kann auch ein aktiver Kalziumtransportmechanismus für den Pansen angenommen werden (MARTENS et al., 2000). Die Aktivierung der Kalziumtransportmechanismen nimmt ungefähr 24 Stunden in Anspruch und wird durch $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ gesteuert (BRAITHWAITE, 1978, GOFF et al., 1986, HOVE, 1984). So lange diese intestinalen Mechanismen noch nicht voll adaptiert sind, führt dies im peripartalen Zeitraum zu einer schlechteren Verwertung des mit dem Futter zugeführten Kalziums (GOFF, 2006a, RAMBERG et al., 1984).

Durch die orale Gabe großer Mengen gut löslichen Kalziums ist es möglich, dass das Kalzium aufgrund eines Konzentrationsgradienten per passiver Diffusion über die Darmwand aufgenommen wird (GOFF, 2006a) und steht damit für die Milchbildung zur Verfügung (STAUFENBIEL, 2010). Die besten Effekte werden durch Mengen von 50-125 g Kalzium pro Bolus erreicht (GOFF, 2006a). Die Applikation per os erhöht die Kalziumkonzentration im Blut innerhalb von 30-60 Minuten für ungefähr sechs Stunden (GOFF, 1999b).

Alternativ wird eine parenterale Applikation von 24-50% organischen Kalziumborogluconatlösungen als intravenöse und/ oder subkutane Infusion durchgeführt (MULLIGAN et al., 2008, STAUFENBIEL, 2010). Ziel der Infusion ist es, das bestehende Kalziumdefizit direkt auszugleichen und das Zeitfenster bis zur erfolgreichen Kalziumadaptation zu überbrücken (HORST et al., 1994). Die einmalige Gabe normalisiert den Kalziumspiegel im Blut nur bis zu vier Stunden (GOFF, 2008). Danach können die Kühe wieder in eine subklinische Hypokalzämie zurückfallen (MULLIGAN et al., 2008). Deshalb sollte die Infusion nur als Ergänzung zu anderen Prophylaxemaßnahmen gesehen werden (STAUFENBIEL, 2010).

2.2.5. DCAB – Konzept

Die DCAB (=dietary cation anion balance oder Synonym DCAD=dietary cation anion difference) ist eine Messgröße zur Beschreibung der pH-Wertwirkung bzw. der Pufferwirkung des Futters (STAUFENBIEL, 2003) und gibt einen Hinweis auf die metabolisch acidotisch- oder alkalotisch-hervorrufende Wirkung eines Futtermittels oder einer Futterration (HUSBAND, 2005). Die DCAB wird in Milliäquivalent pro kg Trockensubstanz (mEq/ kg TS) angegeben. Für die Bestimmung der DCAB gibt es verschiedene Formeln, die durch unterschiedliche Anzahlen an Ionen und deren Wertungsfaktoren charakterisiert sind.

Die am häufigsten anzutreffenden Formeln sind:

$$(1.) \text{ DCAB (mEq/kg TS)} = (\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl} + \text{S}) \quad (\text{ENDER et al., 1971})$$

$$(2.) \text{ DCAB (mEq/kg TS)} = (\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl} + 0,6\text{S}) \quad (\text{GOFF et al., 2004})$$

Die erste DCAB-Gleichung findet meist Anwendung in der Fütterung von Milchkühen und korreliert gut zum Harn-pH und zur Gebärpareseinzidenz (CHARBONNEAU et al., 2006). Dagegen weist die zweite DCAB-Gleichung eine höhere Korrelation zum Harn-pH bei genauso guter Korrelation zur Gebärpareseinzidenz auf (CHARBONNEAU et al., 2006). Die monovalenten Ionen im Futter sind am besten bioverfügbar und haben den stärksten Einfluss auf den Säure-Basen-Haushalt (GOFF et al., 2004).

Die Reduzierung der DCAB in der präpartalen Ration stellt eine wichtige prophylaktische Methode dar, um die Inzidenz der Gebärparese und der subklinischen Hypokalzämie zu senken (BEEDE et al., 1991, BLOCK, 1984, CHARBONNEAU et al., 2006, DISHINGTON, 1975, GOFF et al., 1991a, OETZEL, 1988). Einige Untersuchungen weisen darauf hin, dass sich bei einer Reduktion der DCAB um weniger als 300 mEq/kg TS die Konzentration von Kalzium oder ionisiertem Kalzium im Blut erhöht, sich die Inzidenz der klinischen Gebärparese aber nicht ändert (KUROSAKI et al., 2007, MOORE et al., 2000, RAMOS-NIEVES et al., 2009). Durch die Zugabe von anionischen Salzen wird die DCAB der präpartalen Ration verringert (BLOCK, 1984, DISHINGTON, 1975, OETZEL, 1988) und dadurch die Kalziumhomöostase zum Zeitpunkt der Kalbung deutlich verbessert (BLOCK, 1984, DISHINGTON, 1975, GAYNOR et al., 1989).

In Deutschland werden diese anionischen Salze auch „saure Salze“ genannt. „Saure Salze“ bestehen aus schwachen Kationen und starken Anionen, die in wässriger Lösung sauer reagieren (STAUFENBIEL, 2003).

Für die praktische Anwendung stehen verschiedene Anionensupplemente zur Verfügung, die jeweils unterschiedliche Eigenschaften haben.

2.2.5.1. Wirkung der Anionenration

Das DCAB-Konzept zur Gebärpareseprophylaxe basiert auf dem „Strong Ion-Model“ der Säure-Basen-Bilanz (SINGER und HASTINGS, 1948), modifiziert nach STEWART (1983) und vereinfacht durch CONSTABLE (1997) (DEGARIS und LEAN, 2008).

Das „Simplified Strong Ion Model“ ist entwickelt unter der Annahme, dass die Ionen im Plasma als starke Ionen (Strong Ion), flüchtige Pufferionen (HCO_3^-) oder nicht flüchtige Pufferionen (A^-) wirken (CONSTABLE, 1997). Die starken Ionen (Strong Ion) bestehen aus Kationen und Anionen, die bei physiologischem pH vollständig dissoziiert sind und keine Pufferwirkung haben (CONSTABLE, 2000). Zusätzlich gelten folgende Rahmenbedingungen:

- (1.) Das Prinzip der Elektroneutralität: Die Summe der positiven Ladungen muss immer der Summe aller negativen Ladungen entsprechen. $[\text{SID}]^+ - [\text{HCO}_3^-] - [\text{A}^-] = 0$
- (2.) Die Dissoziationsgleichgewichte aller unvollständig dissoziierten Substanzen müssen immer erfüllt sein.
- (3.) Die Gesamtmenge einer unvollständig dissoziierten Substanz kann immer aus der Summe der dissoziierten Menge und der undissoziierten Menge einer Substanz berechnet werden.

Die wichtigsten Faktoren im „Simplified Strong Ion Model“, die den Plasma-pH unter klinischen Bedingungen bedingen sind Pco_2 , Temperatur (die Temperatur beeinflusst die Löslichkeit von CO_2 im Plasma), Strong Ion Difference ($[\text{SID}]^+ =$ vollständig dissoziierte Kationen minus der vollständig dissoziierten Anionen) und die Konzentration individueller nicht flüchtiger Puffer im Plasma (Albumin, Globuline und Phosphate ($[\text{A}_{\text{TOT}}]$)) (CONSTABLE, 2000) (Abbildung 6).

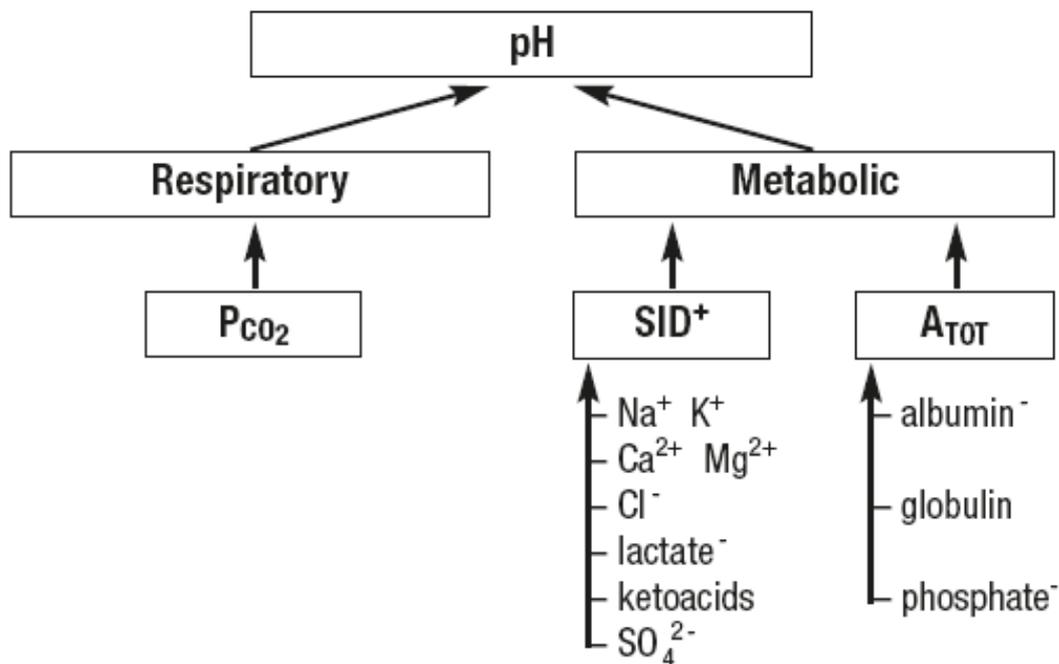


Abbildung 6: Determinanten des Plasma-pH im „Simplified Strong Ion Model“ (CONSTABLE, 2000)

Der pH im Blutplasma lässt sich im nach folgender Gleichung vorhersagen (Abbildung 7) (CONSTABLE, 1999):

$$pH = pK'_1 + \log \frac{[SID^+] - K_a[A_{TOT}]/(K_a + 10^{-pH})}{S * p_{CO_2}}$$

Abbildung 7: Vorhersage des pH-Wertes im „Simplified Strong Ion Model“ nach Constable

pK'_1 =Ionenprodukt von Wasser

K_a =Dissoziationskonstante der nicht flüchtigen schwachen Säuren

S =Löslichkeit von CO_2 in Plasma (v.a. temperaturabhängig)

$[SID^+]$ = Strong Ion Difference

$[A_{TOT}]$ = Konzentration individueller nicht flüchtiger Puffer

Der Plasma-pH kann also verändert werden durch: Veränderung der Temperatur (Veränderung der Löslichkeit von CO_2 im Plasma (S)); Veränderung des P_{CO_2} ; Veränderung von $[A_{TOT}]$; Änderung der $[SID^+]$ (CONSTABLE, 1997).

Die DCAB ($=[SID^+]$ im Futter) ist bestimmende Determinante des $[SID^+]$ im Blutplasma, da die starken Ionen vom Gastrointestinaltrakt ins Blutplasma gelangen (RIOND, 2001). Theoretisch haben alle Kationen und Anionen im Futter einen Einfluss auf die $[SID^+]$ im

Blutplasma (GOFF, 2000, GOFF und HORST, 1998b, OETZEL, 2000). Eine direkte Beziehung der $[\text{SID}^+]$ im Blutplasma zur DCAB gibt es nicht, da die Konzentration der absorbierten starken Ionen im Blut eng reguliert wird (ROCHE et al., 2003). Es gibt aber signifikante Zusammenhänge zwischen der DCAB und dem pH-Wert des Blutes (CHARBONNEAU et al., 2006, ROCHE et al., 2003).

Hohe Kationenaufnahmen (v.a. Kalium) aus dem Futter sind der Hauptgrund für das Entstehen einer metabolischen Alkalose (FÜRLI, 2005, GOFF und HORST, 1997a). Die DCAB steigt an, folglich steigt auch der pH-Wert im Blut an, was durch eine Veränderung des $[\text{SID}^+]$ -Wertes bedingt ist. Ein in Richtung metabolische Alkalose verschobener Säure-Basen-Haushalt der Kuh gilt als wichtigste Ursache der Entstehung der klinischen und subklinischen Hypokalzämie (CRAIGE und STOLL, 1947, FÜRLI, 2005, HORST et al., 1997, HOUE et al., 2001). Die Zugabe von Anionen zur Futtermischung führt zu einer deutlichen Senkung der Inzidenz der Gebärdparese (DISHINGTON, 1975, ENDER et al., 1971). Eine Futtermischung mit einem Übergewicht an Anionen im Verhältnis zu Kationen (i.e. negative DCAB) senkt den $[\text{SID}^+]$ -Wert im Blut und reduziert infolgedessen den pH-Wert im Blutplasma (DEGARIS und LEAN, 2008, ROCHE et al., 2003, STEWART, 1983) mit der Folge einer metabolischen Acidose im Blut (DEGARIS und LEAN, 2008). Der abgesenkte Blut-pH bleibt dabei im Normalbereich von 7,35 bis 7,45 (CHARBONNEAU et al., 2006, CONSTABLE, 1999). Das Übergewicht an Anionen wird durch Verfütterung von Salzen mit starken Kationen (CaCl_2 , CaSO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 , NH_4Cl und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) oder Säuren starker Anionen (HCl und H_2SO_4) erreicht (DEGARIS und LEAN, 2008). Die starken Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+) werden schlechter im Gastrointestinaltrakt absorbiert als die starken Anionen (Cl^- und SO_4^{2-}) (DEGARIS und LEAN, 2008).

Der Einsatz der Anionenration führt zu einer metabolischen Acidose im Blut (GOFF und HORST, 1998b), die nicht durch respiratorische Mechanismen kompensiert werden kann (VAGNONI und OETZEL, 1998). Spätestens vier bis fünf Tage nach Beginn der Fütterung der Anionenration stellt sich eine kompensierte metabolische Acidose ein (GOFF, 2008). Die kompensierte metabolische Acidose zeigt sich in einem reduzierten Plasma-Bicarbonatgehalt (GOFF und HORST, 1997a, JOYCE et al., 1997, PEHRSON et al., 1999), einem leichten Absinken des pH-Wertes im Blut (JOYCE et al., 1997, PHILLIPPO et al., 1994), verringertem Harn-pH (MOORE et al., 2000) und verstärkter Netto-Säure-Ausscheidung im Harn (VAGNONI und OETZEL, 1998). Rationen mit einem hohen Anteil an anionischen Salzen bewirken eine Kalziurie (GAYNOR et al., 1989, OETZEL et al., 1991, PHILLIPPO et al., 1994) und eine erhöhte Hydroxypurin-Konzentration im Blut (BLOCK, 1984, GAYNOR

et al., 1989), die eine ossäre Kalziummobilisation andeutet (BLOCK, 1984, GOFF et al., 1991a).

Die Kalziumbilanz der Kuh wird durch die metabolische Acidose verbessert, was durch Steigerung der Kalziummobilisation aus dem Knochen (BLOCK, 1984, OETZEL, 1988) und der Kalziumabsorption aus dem Gastrointestinaltrakt erreicht wird (GAYNOR et al., 1989, GOFF et al., 1995).

Die metabolische Ansäuerung des Organismus führt zu einer Verbesserung der Ansprechbarkeit der PTH-Rezeptoren im Zielgewebe (GOFF, 2006a, HOUE et al., 2001), da bei einer metabolischen Alkalose die Reaktion der Kuh auf PTH verschlechtert ist (GAYNOR et al., 1989, GOFF et al., 1991a), was wahrscheinlich an einer Konformationsänderung des PTH-Rezeptors liegt (BUSHINSKY, 1996). Kleine Änderung des pH-Wertes haben dabei eine große Wirkung auf die PTH-Wirkung (GOFF et al., 1991a). Eine vermehrte PTH-Wirkung führt zu verstärkter Resorption von Kalzium aus dem Knochen, aus dem Glomerulumfiltrat in der Niere und zur Verstärkung der renalen Produktion von $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ (GOFF, 2006a). Es kommt zu einem erhöhten Plasmaspiegel von $1,25[\text{OH}]_2\text{D}_3$ (GAYNOR et al., 1989, PHILLIPPO et al., 1994). Die Kalziumabsorption aus dem Darm wird gesteigert (GAYNOR et al., 1989, GOFF et al., 1995). Die Konzentration von im Plasma ionisiertem Kalzium erhöht sich (OETZEL et al., 1991, PHILLIPPO et al., 1994).

2.2.5.3. Kennwerte der Anionenration

Über die Kennwerte der Anionenration findet man in der Literatur verschiedene Angaben (Tabelle 6).

Tabelle 6: Übersicht über die DCAB-Zielwerte bei Fütterung einer Anionenration
($\text{DCAB (mEq/kg TS)} = (\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl} + \text{S})$)

| DCAB-Zielgröße der Ration | Autor und Jahr |
|---------------------------|------------------------------------|
| -100 bis -200 mEq/kg TS | (GOFF und HORST, 1994) |
| -100 bis -150 mEq/kg TS | (MOORE et al., 2000) |
| -50 bis -100 mEq/kg TS | (HORST et al., 1997) |
| mind. -75 mEq/kg TS | (BLOCK, 1994) |
| -50 mEq/kg TS | (GOFF, 2000) |
| -50 bis +50 mEq/kg TS | (STAUFENBIEL, 2010) |
| < 0 mEq/kg TS | (BLOCK, 1994, OETZEL et al., 1991) |

Bei Einsatz einer Ration mit verringerten DCAB-Werten empfehlen die meisten Autoren den Kalziumgehalt in der Ration zu erhöhen (BLOCK, 1984, ENDER et al., 1971). So liegen die aktuell empfohlenen Werte zwischen 8,5-13 g Kalzium kg/TS (GELFERT und STAUFENBIEL, 2008, GOFF, 2008, STAUFENBIEL, 2003, STAUFENBIEL, 2010).

Die Vielzahl an Formeln zur Berechnung der DCAB und verschiedene Zielgrößen in der Ration zeigen, dass die Angabe von konkreten Einsatzdosen sehr schwierig ist. Die für die jeweilige Herde optimale DCAB muss mittels der Harn-Kontrolle an den Tieren eingestellt werden (JARDON, 1995, STAUFENBIEL, 2003).

Moderater Einsatz der Anionenration

Durch die Zugabe anionischer Salze sollen durch eine moderate Absenkung der DCAB (Zielbereich >100 mEq/kg TS, 4-6g Kalzium/kg TS) die positiven Auswirkungen auf den Kalziumstoffwechsel genutzt und gleichzeitig die möglichen Nebenwirkungen eines übermäßigen Einsatzes ausgeschaltet werden (SCHMUTZER und STAUFENBIEL, 2008a). Die Verminderung der Alkalität der Ausgangsration bewirkt dabei eine Verbesserung metabolischer Effekte anderer Prophylaxemaßnahmen (Vitamin D-Substitution, kalziumarme Fütterung, enges Kalzium-Phosphorverhältnis (SCHMUTZER und STAUFENBIEL, 2008a). In diesem Sinne werden die sauren Salze von SCHMUTZER und STAUFENBIEL (2008a) als DCAB-Regulator bezeichnet. HUSBAND und VECQUERAY (2007) bezeichnen eine DCAB im Bereich von 0 bis $+100$ mEq/kg TS als „Partial DCAD“. Nach den Ergebnissen von GELFERT et al. (2007) treten ausreichende Wirkungen der anionischen Salze schon bei einer DCAB von unter $+100$ mEq/kg TS auf.

2.2.5.4. Faktoren, die die Wirkung der anionischen Salze beeinflussen

Das Prinzip der Anionenration kann durch verschiedene Faktoren, die den Säure-Basen-Haushalt beeinflussen, gestört werden. Es sind dadurch sowohl Verschiebungen in Richtung einer metabolischen Alkalose als auch eine Verstärkung der metabolischen Acidose möglich.

Der Effekt der anionischen Salze wird durch Energiemangel ante partum verstärkt, da die aufgrund der negativen Energiebilanz mobilisierten Körperreserven ebenfalls acidotisch auf den Organismus wirken (GELFERT et al., 2008, MONTAG, 2005). Es kommt zu einer schweren nicht-kompensierten metabolischen Acidose (GELFERT et al., 2008), die durch ossäre Kalziummobilisation zum Festliegen führen kann (PHELPS und HOUSE, 2001). Grund für einen Energiemangel können zu geringe Futteraufnahme und/oder eine Ration mit zu geringer Energiedichte sein.

Über die Beeinflussung der Trockenmasseaufnahme findet man in der Literatur unterschiedliche Angaben. So findet man Angaben über gesunkene Trockenmasseaufnahmen bei der Verfütterung anionischer Salze ante partum (HORST et al., 1997, JOYCE et al., 1997, MOORE et al., 2000) und Angaben, die über keinen Effekt bzw. ein Ansteigen der Trockenmasseaufnahme bei Verfütterung anionischer Salze berichten (GOFF und HORST, 1997a, OETZEL et al., 1988, VAGNONI und OETZEL, 1998). CHARBONNEAU (2006) kalkulierte in einer Metaanalyse eine Verringerung der Trockenmasseaufnahme um 1,3 kg TS/Tag bei einer Reduktion der DCAB um 300 mEq/kg TS. Ähnliche Beobachtungen macht auch RAMOS-NIEVES et al. (2009). Gründe können sein, dass die anionischen Salze die Schmackhaftigkeit reduzieren (OETZEL und BARMORE, 1993) und/ oder die Acidose selbst bei den Tieren Unwohlsein bewirkt (VAGNONI und OETZEL, 1998). Auch eine Gabe über einen Zeitraum von zwei bis drei Wochen kann Grund für verringerte Trockenmasseaufnahmen sein (MONTAG, 2005, STAUFENBIEL, 2010). Verringerte Trockenmasseaufnahme ist laut NORDLUND (2006) der wichtigste Faktor für die Erkrankung von frisch abgekalbten Kühen und führt zu mehr Problemen als die Gebärpauseerkrankung an sich (GOFF und HORST, 1994).

Bei Hitzestress sinkt die Konzentration von CO_2 und damit von HCO_3^- im Blut, dadurch steigt der pH-Wert im Blut (GOFF und HORST, 2003b). Es entsteht eine respiratorische Alkalose (WEST, 2003). Inwieweit es zu Überlagerungseffekten mit anionischen Salzen kommt, gibt es in der Literatur keine Angaben.

Beim Einsatz anionischer Salze wird die Kalziumausscheidung mit dem Harn gesteigert (GAYNOR et al., 1989, PHILLIPPO et al., 1994). Deshalb muss eine vermehrte Kalziumsupplementierung über das Futter stattfinden, da sonst die Kühe bei einem niedrigen Kalziumgehalt in der Anionenration über längere Zeit die Reserven im Knochen übermäßig beanspruchen und dann zu Laktationsbeginn zu wenig verfügbares Kalzium vorhanden ist (STAUFENBIEL, 2003)–mögliche Folge wäre eine Hypokalzämie. STAUFENBIEL (2003) nennt eine erforderliche Menge von 13-15 g Kalzium/kg TS, STAUFENBIEL (2010) eine Menge von 10 g (9-12 g) Kalzium/kg TS, GOFF (2008) eine Menge von 8,5-10 g Kalzium/kg TS.

Eine Höchstmenge von 3000 mEq pro Tier und Tag (=3 Äquivalente) sollte bei Verfütterung anionischer Salze nicht überschritten werden (SANCHEZ und BLAUWIEKEL, 1994, TRAN, 1997). GELFERT (2004) und MARTIG (2002) geben eine maximale Menge von 300 mEq/kg TS in der Futtermischung an. Es scheint aber eine große kuhindividuelle Variabilität der Höchstmengen zu geben (GELFERT et al., 2006d, STAUFENBIEL, 2004). Es gibt vor allem

zwei Gründe für die begrenzte Aufnahmekapazität. Für Magnesium und Schwefel gibt es Höchstmengen, die nicht überschritten werden dürfen, da sonst im Pansen Resorptionsstörungen bei anderen Verbindungen auftreten können (GELFERT et al., 2004) und die Toxizitätsgrenze von Schwefel bei Schwefelgehalten über 4 g/kg TS überschritten wird (GOFF, 2006a). Der andere Grund ist der schlechte Geschmack der sauren Salze. Die Kühe reduzieren die Futteraufnahme, es kommt zu einem Energiemangel mit verfrühter Körperfettmobilisation, die Folge ist eine Verstärkung der Acidose (GELFERT et al., 2008, GELFERT et al., 2006d, GELFERT et al., 2004, STAUFENBIEL, 2004). Bei zu geringer Dosierung der anionischen Salze bleibt der gewünschte Effekt aus (STAUFENBIEL, 2010). Rationen mit anionischen Salzen reduzieren die Schmackhaftigkeit der Ration (OETZEL und BARMORE, 1993). Dies kann zu verringerter Trockenmasseaufnahme führen mit den Folgen eines Energiemangels (GELFERT et al., 2004).

Eine Veränderung des Pansenmilieus in Richtung Pansenacidose–ausgelöst durch einen zu hohen Stärke/Zuckeranteil und/oder Mangel an strukturwirksamer Rohfaser–kann eine zusätzliche Ansäuerung im Intermediärstoffwechsel hervorrufen, die die Wirkung der anionischen Salze verstärkt (GELFERT et al., 2004, GOEBBELS, 2005, STAUFENBIEL, 2004).

Zu einer Verminderung der Wirkung von anionischen Salzen kann es durch eine Rohproteinübersversorgung kommen (STAUFENBIEL, 2010).

Der gleichzeitige Einsatz von anionischen Salzen und Pansenpuffern wie Natriumbikarbonat, Natriumpropionat oder Kaliumbikarbonat führt zu einer Neutralisation der Wirkung der anionischen Salze auf den Säure-Basen-Haushalt (GELFERT et al., 2006a).

Um ein Aussortieren der Salze oder einen Rückgang der Futteraufnahme zu vermeiden, muss die Futtermischung genau hergestellt werden (GELFERT et al., 2004). Fehler können in der Berechnung, der Mischung oder der Aufnahme der Futtermischung gemacht werden (JARDON, 1995). Daher sollten bei Einsatz einer Anionenration nur sensorisch einwandfreie, schmackhafte Rationen zum Einsatz kommen, um das Risiko einer verminderten Futteraufnahme durch die Zugabe von anionischen Salzen zu minimieren (STAUFENBIEL, 2010).

2.2.5.5. Kontrollmöglichkeiten des DCAB-Konzeptes

Aufgrund wahrscheinlich erheblich schwankender DCAB-Werte muss die Anionenration ständig überwacht werden (STAUFENBIEL, 2004). Der Einsatz anionischer Salze setzt deshalb ein gutes Herdenmanagement in Verbindung mit einem kontinuierlichen Kontrollsystem voraus (STAUFENBIEL et al., 2004).

Für die Kontrolle der Anionenration stehen verschiedene Parameter zur Verfügung. Die Analyse der DCAB in den einzelnen Futtermitteln bzw. in der Ration der Vorbereiter ist aus Kostengründen nicht zur routinemäßigen Kontrolle der Anionenration geeignet. Sie dient vielmehr zur Überprüfung der Mischgenauigkeit (STAUFENBIEL, 2004) und der Rationsberechnung (STAUFENBIEL, 2010). Die Überprüfung der Anionenration muss in der Herde erfolgen. Die Parameter im Harn können sowohl als Einzel- als auch als Mittel- oder Poolprobe bestimmt werden (GOEBBELS, 2005, LEHWENICH, 1999).

Harn-pH

Eine einfache und klinisch brauchbare Methode, die Säure-Basen-Homöostase von Rindern zu beurteilen, ist die Messung des Harn-pH (CONSTABLE et al., 2009). Dabei ist die Messung des Harn-pH als Maß für die erreichte Ansäuerung im Blut und als Maß für die erforderliche Menge an anionischen Salz ein gutes und billiges Verfahren (JARDON, 1995). Der Harn-pH wird dabei nach dem „Simplified Strong Ion Model“ nach CONSTABLE (1997) v.a. durch die Kaliumkonzentration im Harn beeinflusst und ermöglicht eine Abschätzung der Kaliumaufnahme mit dem Futter (CONSTABLE et al., 2009). Um den Effekt der DCAB auf den Säure-Basen-Haushalt abzuschätzen, wird in der Praxis der Harn-pH benutzt (JARDON, 1995). Zwischen dem Harn-pH und der DCAB besteht ein nicht linearer Zusammenhang (CHARBONNEAU et al., 2006, DEGARIS und LEAN, 2008, OETZEL, 2000). Es liegt eine exponentiale Beziehung vor (Abbildung 8) (STAUFENBIEL, 2003).

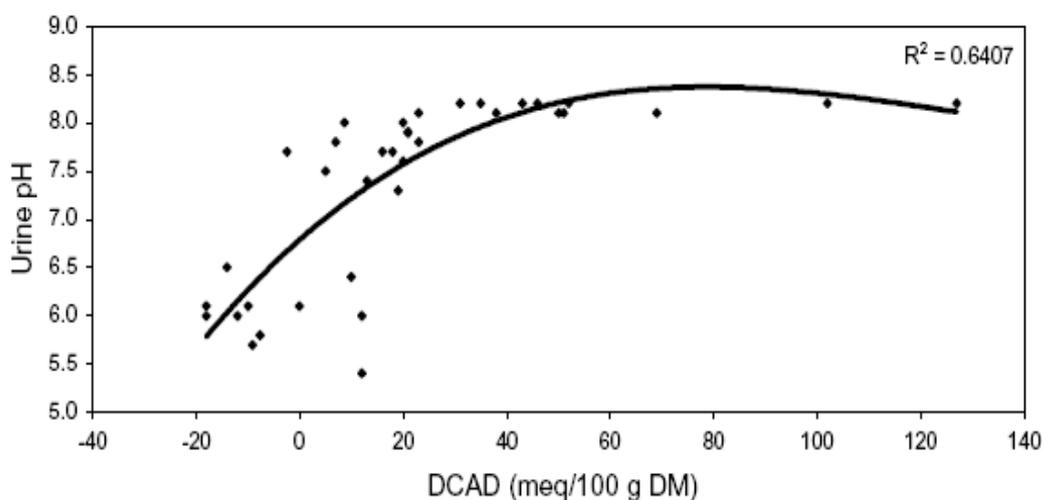


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen DCAB $[(Na^{+}+K^{+})-(Cl^{-}+S^{2-})]$ und dem Harn-pH ((MCNEILL et al., 2002) modifiziert durch DE GARIS und LEAN (2008))

Tabelle 7: Übersicht über die Zielwerte des pH-Wertes bei Einsatz der Anionenration

| Zielbereich pH | Autor und Jahr |
|----------------------------------|------------------------------|
| 5,5-6,2 | (HORST et al., 1997) |
| 6,2-6,8 (Holstein-Friesian-Kühe) | (GOFF, 2008, RIOND, 2001) |
| 6,0-7,0 (Holstein-Friesian-Kühe) | (JARDON, 1995, OETZEL, 2000) |
| 6,3-7,3 | (MOORE et al., 2000) |
| 6,0-7,0 | (GOFF et al., 2007) |
| 7,0-7,8 | (STAUFENBIEL, 2010) |
| 7,3-7,8 | (GOEBBELS, 2005) |
| < 6,2 | (ROCHE et al., 2007) |
| 6,5-7,0 | (MCNEILL et al., 2002) |
| 6,8-7,0 | (KUROSAKI et al., 2007) |
| um 7,0 (Mittelwert) | (CHARBONNEAU et al., 2006) |
| 6,75-7,25 (Mittelwert) | (COOK et al., 2006b) |
| 5,8-6,3 (Jersey-Kühe) | (GOFF, 2008, RIOND, 2001) |
| 5,5-6,5 (Jersey-Kühe) | (JARDON, 1995, OETZEL, 2000) |

Liegt der durchschnittliche pH Werte zwischen 5,0 und 5,5, hat ein Überschuss an Anionen eine dekompensierte metabolische Acidose ausgelöst und die Kühe werden mit einem Rückgang der Trockenmasseaufnahme reagieren (GOFF, 2008). Ergebnisse einer Meta-Analyse deuten darauf hin, dass es bereits ab einem Harn-pH < 7,0 zu einem Rückgang der Trockenmasseaufnahme kommt (CHARBONNEAU et al., 2006). JARDON (1995) spricht von einer übermäßigen Übersäuerung ab einem Wert von <6,0. Der Harn-pH reagiert innerhalb von 24 bis 48 Stunden nach dem Rationswechsel (GOFF, 2008, GOFF und HORST, 1998b). Zur Überprüfung der Anionenration sollen Kühe ausgesucht werden, die schon seit mindestens fünf Tagen die Anionenration erhalten (GELFERT et al., 2006b).

Harn-NSBA

Die NSBA gilt als Parameter subklinischer Störungen des Säure-Basen-Haushaltes (KUTAS, 1965). Aufgrund einer linearen Beziehung zwischen DCAB und NSBA (GELFERT et al., 2004, STAUFENBIEL, 2004) gibt die NSBA den Effekt der sauren Salze genauer wieder als der pH-Wert (GOFF et al., 2004, HU et al., 2007, VAGNONI und OETZEL, 1998). Bei einer DCAB um 0 mEq/kg TS sollte die NSBA bei 0-50 mmol/l liegen (GELFERT et al., 2004). Die NSBA kann dabei als Maß für die DCAB gesehen werden (STAUFENBIEL et al., 2004).

Harnkalziumkonzentration

TUCKER et al. (1992) sowie BENDER et al. (2001) empfehlen die Kalziumkonzentration im Harn als Kontrollparameter beim Einsatz anionischer Salze.

Eine erhöhte Harnkalziumkonzentration ist das Ziel der durch die anionischen Salze erzeugten metabolischen Acidose. Die gewünschte Aktivierung des Kalziumstoffwechsels geht mit einer erhöhten Verfügbarkeit an Kalzium einher. Bei nicht laktierenden Kühen in der Vorbereitungsphase wird ein Teil dieses Kalziums über die Nieren ausgeschieden und so als erhöhte Harnkalziumkonzentration erfasst (GELFERT et al., 2007, GELFERT et al., 2006b, GELFERT et al., 2006c). Der Kalziumausscheidung mit dem Harn sollte Werte zwischen 5-15 mmol/l aufweisen (GELFERT et al., 2004). STAUFENBIEL (2010) sieht Harnkalziumkonzentrationen von 7 bis 15 mmol/l als optimal an.

Serumkalziumkonzentration

Das Auftreten der Gebärparese und der subklinischen Hypokalzämie kann durch Messen der Serumkalziumkonzentration kurz nach der Kalbung pluriparer Kühe kontrolliert werden (COOK et al., 2006b). Als Hypokalzämie wird dabei ein Unterschreiten der Serumkalziumkonzentration von 2,0 mmol/l bezeichnet (OETZEL, 2004). Die Blutproben sollten 12 bis 24 Stunden nach dem Kalben genommen werden, da zu diesem Zeitpunkt die niedrigste Serumkalziumkonzentration erwartet wird (COOK et al., 2006b). Mit diesem Messwert wird sowohl die subklinische als auch die klinische Hypokalzämie erfasst. Eine Herde oder Gruppe von Tieren gilt als gefährdet, an Gebärparese zu erkranken, wenn mehr als 30% der Tiere eine Hypokalzämie aufweisen und/oder die Gebärpareseinzidenz 8% überschreitet (OETZEL, 2005). Danach gilt praktisch für eine Herde ein erhöhtes Risiko, an Gebärparese bzw. subklinischer Hypokalzämie zu erkranken, wenn sechs oder mehr von zwölf Blutproben, bei Unterstellung einer Alarmschwelle von 30% und einem Konfidenzintervall von 75%, die Serumkalziumkonzentration von 2,0 mmol/l unterschreiten.

Krankheitsinzidenzen

Es sollten zudem Erkrankungen, welche mit der klinischen und subklinischen Hypokalzämie in Beziehung stehen, erfasst werden. Eine Erkrankungsinzidenz der Mehrkalbskühe von unter 3% für die Gebärparese und unter 5% für die Nachgeburtshaltung spricht für einen erfolgreichen Einsatz einer Anionenration (STAUFENBIEL, 2010).

3. Material und Methode

3.1. Allgemeines

Der praktische Teil der Arbeit fand im Zeitraum Mai 2009 bis April 2010 auf einem Milchviehbetrieb mit ungefähr 1700 Holstein-Friesian Kühen statt. Die Jahresdurchschnittsleistung beträgt ca. 11000 kg Milch bei 3,83 % Fett und 3,33 % Eiweiß (LKV-Jahresbericht 2009).

Gehalten werden die Kühe in zwei Boxenlaufställen auf planbefestigtem Betonboden mit Sandliegeboxen. Dreimal täglich gehen alle Kühe zum Melken. Gefüttert wird eine TMR, die den Tieren 2x täglich frisch vorgelegt wird. Die Trockensteher, Vorbereiter und Frischmelker werden in einem eigenen Transitstall gehalten. Der Transitstall ist ein Boxenlaufstall mit planbefestigtem Betonboden und Sandliegeboxen. Nach dem Abkalben werden die frischmelkenden Kühe dreimal täglich in einem zweiten Melkstand separat von dem übrigen Teil der Herde gemolken. Einmal täglich wird den Tieren im Transitstall eine TMR gefüttert. Die Kühe werden ungefähr 6-8 Wochen vor dem errechneten Abkalbetermin trocken gestellt und wechseln 2-3 Wochen a.p. in die Vorbereitergruppe. Die Färsen kommen 10-14 Tage vor dem errechneten Kalbetermin in eine eigene Close-up-Gruppe.

In der Close-up-Gruppe der Kühe und Färsen findet eine vierundzwanzigstündige Abkalbeüberwachung durch eine Arbeitskraft statt. Kalbende Tiere werden in eine frisch eingestreute Strohbox gebracht, in der sie einzeln kalben. Nach der Kalbung wird den Tieren lauwarmes Wasser ad libitum angeboten. Eine halbe Stunde nach der Kalbung wird die Kuh ausgemolken, um Kolostrum für das Kalb zu gewinnen. Zusätzlich erhalten alle Kühe 500 ml Propylenglykol als Drench verabreicht. Anschließend wird die Kuh in die melkende Gruppe umgetrieben.

3.2. Maßnahmen zur Gebärpäresese prophylaxe

Im Untersuchungszeitraum Mai 2009 bis Ende Januar 2010 wurde den Kühen und Färsen in der Vorbereiterraum eine Anionenration mit dem Ziel einer DCAB um 0 mEq/kg TS gefüttert. Als anionisches Salz wurde dabei das Präparat OMEGALIN aktiv (Firma Spezialfutter Neuruppin GmbH & Co.KG, Deutschland) eingesetzt. OMEGALIN aktiv (Firma Spezialfutter Neuruppin GmbH & Co.KG, Deutschland) enthält die anionischen Salze Kalziumchlorid und Magnesiumsulfat in gekapselter Form. Ab Anfang Februar 2010 bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes Ende April 2010 wurden die sauren Salze aus der TMR

entfernt, und es wurde auf eine kalziumreduzierte Fütterung bei einer DCAB im Bereich von +100 mEq/kg TS bis +200 mEq/kg TS umgestellt.

Zusätzlich wurde über den ganzen Untersuchungszeitraum einzelnen Kühen zur Prophylaxe der Gebärpause zusätzlich 10 Mio I.E. Vitamin D₃ (Ursovit D₃, wässrig 1000, Serumwerk Bernburg AG, Deutschland) 7 Tage a.p. parenteral appliziert. Im Zeitraum vom Dezember 2009 bis Mitte März 2010 wurde allen Kühen ab der 3.Laktation in der letzten Woche vor dem errechneten Kalbetermin systematisch Vitamin D₃ (Ursovit D₃, wässrig 1000, Serumwerk Bernburg AG, Deutschland) appliziert. Kalbten die Kühe nicht innerhalb der Woche nach der Vitamin D₃ Gabe, erfolgte nach 7 Tagen eine zweite Behandlung in der gleichen Dosierung.

Alle Kühe ab der zweiten Laktation erhielten nach der Kalbung eine Kalziuminfusion (500 ml 24%- (Calciuminfusion mite, WdT eG, Deutschland) oder 500 ml 38%- Kalziumborogluconatlösung (CalciLift forte, Albrecht GmbH, Deutschland)) intravenös verabreicht. Vereinzelt erhielten Kühe über den ganzen Untersuchungszeitraum nach dem Abkalben zur Gebärpauseprophylaxe zusätzlich eine orale Kalziumsupplementation in Form von Boli (Ca-Pill Bio, Profs Products.com, Deutschland) oder als Drench (MS Calmag, Schippers GmbH, Deutschland).

3.3. Versuchsplan

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von Mai 2009 bis Ende April 2010. Von Mai 2009 bis Ende Januar 2010 wurden an die Kühe und Färsen in der Vorbereitergruppe anionische Salze verfüttert. Das Ziel war eine Futtermittelration mit einer DCAB um 0 mEq/kg TS und ein Kalziumgehalt von 9-15 g/kg TS. Ab Februar 2010 bis Ende April 2010 erhielten die Kühe und Färsen eine kalziumreduzierte Futtermittelration. Ziel war eine DCAB im Bereich von +100 mEq/kg TS bis +200 mEq/kg TS bei einem Kalziumgehalt von 4-5 g/kg TS.

Über den Untersuchungszeitraum von einem Jahr wurden Proben und Daten gesammelt. Monatlich wurden von allen abgekalbten Kühen die Inzidenzen aller Erkrankungen bis 40 Tage p.p. erfasst. Im Untersuchungszeitraum mit Fütterung anionischer Salze wurde von 705 Kühen und Färsen Blutproben genommen. Nach der Umstellung der Fütterung auf eine kalziumreduzierte Diät ohne anionische Salze wurden von 168 Kühen und Färsen Blutproben genommen.

3.4. Probenplan

Die Vorbereitungsfütterung wurde einmal pro Monat mittels Futterprobe untersucht. Zusätzlich wurde im Untersuchungszeitraum einmal wöchentlich Harnproben von 10 Kühen

und 5 Färsen aus der Vorbereitungs fütterung genommen und untersucht. Zu den einzelnen Tieren wurde jeweils das Datum des Wechsels in die Vorbereitergruppe, das Datum der Probenentnahme und das Datum der Kalbung notiert.

Eine halbe bis ganze Stunde nach dem Abkalben wurde von den pluriparen Kühen vor der Kalziuminfusion eine Blutprobe aus der Vena jugularis genommen. Von allen abgekalbten Färsen und Kühen wurde am 1 Tag p.p. eine Blutprobe aus der Arteria oder Vena caudalis mediana genommen. Im Untersuchungszeitraum wurde von allen abgekalbten Tieren 7 Tage p.p. Blut aus der Arteria oder Vena caudalis mediana genommen. Zu den Blutproben wurden der jeweilige Kalbeverlauf und die jeweils aktuelle Laktationsanzahl erfasst.

3.5. Definition und Erfassung der Erkrankungen

Die Erkrankungen der Kühe wurden in Absprache mit dem Hoftierarzt vom Herdenmanager diagnostiziert und mit dem Herdenmanagementprogramm DairyCOMP 305 (Firma Valley Agricultural Software, USA) ausgewertet. Grundlage für die Erfassung einer Erkrankung im Herdenmanagementprogramm DairyCOMP 305 (Firma Valley Agricultural Software, USA) war die nachfolgende Behandlung eines Tieres. Dabei wurden die Erkrankungen Gebärparese, Nachgeburtshaltung, Metritis, Ketose, Labmagenverlagerung und Mastitis für diese Untersuchung erfasst. Das Herdenmanagementprogramm DairyCOMP 305 (Firma Valley Agricultural Software, USA) errechnete dabei die jeweiligen monatlichen Erkrankungsinzidenzen aus den Erkrankungen der abgekalbten Tiere in den ersten 40 Laktationstagen in Bezug zu der Gesamtanzahl aller monatlich abgekalbten Tiere.

Als Gebärparese wurden festliegende Kühe um die Kalbung, die das klinische Bild der manifesten Gebärparese zeigten, sowie Kühe, die noch standen, aber klinische Anzeichen einer Hypokalzämie wie unsicherer Gang oder kalte Akren zeigten, definiert.

Eine Nachgeburtshaltung wurde diagnostiziert, wenn die Nachgeburt 24 Stunden nach der Kalbung nicht abgegangen war. Die Erkrankung Metritis wurde definiert anhand von stinkendem Lochialausfluss mit Störung des Allgemeinbefindens in Form von Fieber (Körperinnentemperatur $\geq 39,5^{\circ}\text{C}$). Ab dem neunten Probenmonat wurde eine Puerperalkontrolle am zehnten Tag nach der Kalbung bei jedem Tier durchgeführt und Lochialausfluss und Größe des Uterus beurteilt. Von diesem Zeitpunkt an wurde stinkender Lochialausfluss auch ohne Fieber als Metritis bezeichnet und entsprechend behandelt.

Zur Ketosediagnose wurden alle Kühe nach dem Kalben zwei bis drei Wochen einmal täglich mittels Ketostix®-Teststreifens (BayerHealthCare LLC, Mishawaka, USA) zur Harndiagnostik auf das Vorliegen einer Ketose untersucht. Der Ketonkörper test reagiert spezifisch auf Acetoacetat und nutzt den Farbumschlag von einem bräunlichen rosa bis zu

rotbraun, wenn Acetoacetat mit dem in den Teststreifen enthaltenen Natrium-Nitroprussid reagiert (IWERSEN, 2010). Ab einem Farbumschlag der Teststreifen von rot bis rotbraun wurde eine Ketose bei dem betroffenen Tier diagnostiziert und entsprechend behandelt.

Als Labmagenverlagerung wurde die links- und rechtsseitige Labmagenverlagerung definiert, die mittels Operation therapiert wurde.

Ein verändertes Milchsekret mit oder ohne Schwellung des betroffenen Euterviertels und mit oder ohne Störung des Allgemeinbefindens in Form von Fieber, das eine Behandlung in Form einer lokalen Antibiose und eventuell einer systemischen Antibiose nach sich zog, wurde als Mastitis definiert.

3.6. Probenentnahme

Die Blutentnahme erfolgte jeweils in 9 ml Serumröhrchen (Monovette® 9 ml Z, Sarstedt Aktiengesellschaft & Co, Deutschland). Durch das Auffangen von Spontanharn oder durch Auslösen des Harnabsatzes durch Reiben oberhalb des Euterspiegels wurde der Harn gewonnen. Der Harn wurde in 100 ml-Versandflaschen (Sarstedt Aktiengesellschaft & Co, Deutschland) aufgefangen.

Zum Zeitpunkt der Fütterung der Vorbereitergruppe wurde direkt hinter dem Futtermischwagen eine Futterprobe entnommen. Dazu wurde eine Menge von 2-3 kg TMR über den gesamten Futtertisch der Vorbereitergruppe gesammelt.

3.7. Probenaufbereitung

Zur Serumgewinnung wurden die Blutproben in den 9 ml Serumröhrchen (Monovette® 9 ml Z, Sarstedt Aktiengesellschaft & Co, Deutschland) 12 Minuten bei 3500 U/min oder 3800 g zentrifugiert. Das Serum wurde anschließend zu zwei gleichen Teilen in zwei 5 ml Serumröhrchen (Reagenz- und Zentrifugen-Röhrchen, Sarstedt Aktiengesellschaft & Co, Deutschland) umgefüllt und eingefroren. Der Harn wurde jeweils aus einer 100 ml-Versandflaschen (Sarstedt Aktiengesellschaft & Co, Deutschland) in zwei 10 ml Serumröhrchen ohne Kunststoffgranula (Kabe Labortechnik GmbH, Deutschland) umgefüllt und eingefroren. Eine von zwei eingefrorenen Serumproben wurde zur Analyse in das Veterinärmedizinische Labor für klinische Prüfung Ludwigsburg GmbH geschickt. Die andere Serumprobe wurde durch das Labor der Klauentierklinik der Freien Universität Berlin ausgewertet.

Im Labor der Klauentierklinik der Freien Universität Berlin wurde aus 10 Einzelharnproben von Kühen bzw. 5 Einzelharnproben von Färsen des jeweiligen Proben-tages eine Poolprobe hergestellt.

Die Futterprobe wurde zur Untersuchung an das Analytiklabor für Landwirtschaft und Umwelt Blgg GmbH in Parchim geschickt.

3.8. Laboranalytische Untersuchungen

Eine eingefrorene Serumprobe wurde in das veterinärmedizinische Labor für klinische Prüfung Ludwigsburg GmbH geschickt und dort auf den Gehalt an Kalzium und β -Hydroxybutyrat (BHB) untersucht (Tabelle 8). Aus der zweiten Serumprobe wurden in dem Labor der Klautierklinik der Freien Universität Berlin die freien nicht veresterten Fettsäuren (Not Esterified Fatty Acids, NEFA) bestimmt (Tabelle 8).

Die Harneinzelproben (Tabelle 9) wurden direkt nach der Entnahme im Stallgebäude untersucht. Bestimmt wurde hier der pH-Wert mittels pH-Teststreifen (Pehanon der Firma Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Deutschland) und die einfache NSBA durch Titration nach der Jørgensen-Kutas-Methode (JØRGENSEN, 1957, KUTAS, 1965). Der Mittelwert aus den Einzelharnproben wurde für den jeweiligen Proben tag ausgerechnet.

Im Labor der Klautierklinik der Freien Universität Berlin wurden die Kalziumkonzentrationen der Einzelharnproben sowie die fraktionierte NSBA, der pH-Wert und die Kalziumkonzentration der Poolproben untersucht (Tabelle 9). Die Analyse der Futterprobe wurde im Analytiklabor für Landwirtschaft und Umwelt Blgg GmbH in Parchim durchgeführt (Tabelle 10).

Tabelle 8: Messverfahren für die Blutparameter

| Parameter | Einrichtung | Messmethode |
|-----------|--|--|
| Kalzium | Veterinärmedizinische Labor für klinische Prüfung Ludwigsburg GmbH | Photometrisch |
| BHB | Veterinärmedizinische Labor für klinische Prüfung Ludwigsburg GmbH | Photometrisch |
| NEFA | Labor der Klautierklinik der Freien Universität Berlin | Colorimetrisch (Testkit Firma Randox) Cobas Mira Plus, dimedis |

Tabelle 9: Messverfahren der Harnparameter

| Parameter | Einrichtung/ Messort | Messmethode |
|---------------------|--|---|
| Einzelprobe pH | im Stall | pH-Streifen Pehanon (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Deutschland) |
| Einzelprobe NSBA | im Stall | Jørgensen-Kutas-Methode |
| Einzelprobe Kalzium | Labor der Klauentierklinik der Freien Universität Berlin | AAS ¹⁾ |
| Poolprobe pH | Labor der Klauentierklinik der Freien Universität Berlin | pH-Meter (WTW inolab pH Level 2 P) |
| Poolprobe NSBA | Labor der Klauentierklinik der Freien Universität Berlin | Jørgensen-Kutas-Methode |
| Poolprobe Kalzium | Labor der Klauentierklinik der Freien Universität Berlin | AAS ¹⁾ |

1) Atomabsorptionsspektrometrie (PU 9200 atomic absorption spectrophotometer, Phillips)

Tabelle 10: Messverfahren der Futtermittelanalyse

| Parameter | Methode |
|------------------------|----------------------------------|
| Nettoenergie-Laktation | Schätzgröße ¹⁾ |
| Rohprotein | VDLUFA III 4.1.1. ¹⁾ |
| Rohfaser | VDLUFA III 6.1.4. ¹⁾ |
| Zucker | Neocuproine |
| Stärke | VDLUFA III 7.2.1. ¹⁾ |
| Kalzium | VDLUFA II 2.2.2.6. ¹⁾ |
| Kalium | VDLUFA II 2.2.2.6. ¹⁾ |
| Natrium | VDLUFA II 2.2.2.6. ¹⁾ |
| Chlor | VDLUFA III 10.5.2. ¹⁾ |
| Schwefel | VDLUFA II 2.2.2.6. ¹⁾ |
| DCAB | Berechnung nach ENDER (1971) |
| DCAB | Berechnung nach GOFF (2004) |

1) Methodenhandbuch der VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten)

3.9. Untersuchungen

Zur Ableitung von Verbesserungen zum sicheren Einsatz von anionischen Salzen mit sicherer prophylaktischer Wirkung bei Minimierung der Nebenwirkungen muss die Wirkung der anionischen Salze im Versuch genau aufgeklärt werden. Dazu muss die gefütterte Ration mit abgesenkter DCAB, die Veränderung des Säure-Basen-Status der Tiere, die Blutparameter nach der Kalbung sowie die Erkrankungshäufigkeiten an Gebärparese bzw. an Gebärparese assoziierten Erkrankungen ausgewertet werden.

3.9.1. Methodische Untersuchung

3.9.1.1. Untersuchung der Rationsinhalte

Um Schwankungen der Inhaltstoffe der Futterrationen im Verlauf des Untersuchungsjahres zu untersuchen, wurden monatliche Rationsanalysen miteinander verglichen. Es wurde dabei die Energiekonzentration, die DCAB, der Rohprotein-, der Stärke- und Zuckergehalt, der Kalzium-, Natrium-, Kalium-, Chlorid- und Schwefelgehalt der TMR verglichen. Aufgrund der großen Bedeutung der DCAB bei der Fütterung von Anionenrationen wurde untersucht, welcher Futterinhaltsstoff der Ration hauptsächlich die DCAB bestimmt. Zur Überprüfung der Mischgenauigkeit des Futtermischwagens (Biga 36 m³ Mammoet, Zweischnocken Vertikalmischer, Firma Peecon, Holland) wurden an einem Probenstag drei Futterproben am Anfang, in der Mitte und am Ende des Futtertisches genommen.

3.9.1.2. Untersuchung der Erkrankungen

Um die Effekte der Vorbereiterfütterung mit anionischen Salzen auf die Tiergesundheit zu beurteilen, wurden über den Untersuchungszeitraum die monatlichen Erkrankungsinzidenzen der Kühe in den ersten 40 Tagen nach dem Kalben auf Herdenebene verglichen. Dabei wurden die Erkrankungen Gebärparese, Nachgeburtsverhaltung, Metritis, Ketose, Labmagenverlagerung und Mastitis erfasst.

Im Untersuchungszeitraum kalbten 1452 Tiere, die mit anionischen Salzen gefüttert wurden, und 663 Tiere, die ohne anionische Salze gefüttert wurden.

Die monatlichen Erkrankungsraten wurden dazu mit den Blutparametern Kalzium, BHB und NEFA sowie mit dem Kalbeverlauf in Beziehung gesetzt. Die Blutparameter wurden dabei nach Laktationen geordnet betrachtet. Um die Energiebilanz der Tiere mit einem Kalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l (DEGARIS und LEAN, 2008, MULLIGAN et al., 2006a) mit den normokalzämischen Tieren zu vergleichen, wurden die NEFA-Werte dieser Gruppen miteinander verglichen.

3.9.1.3. Untersuchung der Harnproben

Um die Effekte der Anionenration auf den Säure-Basen-Status der Tiere zu beurteilen, wurden über den Untersuchungszeitraum der pH-Wert, die NSBA und die Kalziumausscheidung im Harn sowohl aus der Einzelprobe als auch aus den Poolproben verglichen. Kühe und Färsen wurden dabei getrennt unter der Fragestellung untersucht, inwieweit der Einsatz und die Kontrolle einer Anionenration in der Vorbereitungs fütterung der Färsen grundsätzlich genauso möglich sind wie bei den pluriparen Kühen.

Zur Überprüfung der Wirkung der Anionenration wäre die Bewertung von Poolwerten der Vorbereitergruppe eine Alternative zur Bewertung von mehreren Einzelwerten. Dies würde eine Kostenersparnis für die Betriebe bedeuten. Bei dieser Untersuchung wurden die Poolwerte mit den Mittelwerten des pH-Wertes, der NSBA und der Kalziumausscheidung durch den Harn verglichen.

Bei der Kontrolle der Anionenration mittels Einzelproben ist das Maß der Streuung der Parameter ein Faktor für die Interpretation der Ergebnisse. Deshalb wurden bei den Harneinzelproben die Streuungsgrade der Parameter berechnet, um einen Überblick über die Verteilung der Harnparameter zu erhalten.

Für die regelmäßige und unmittelbare Kontrolle der Wirkung der Anionenration wird im Stall der pH-Wert als Maß der Ansäuerung der Tiere genutzt, da die Bestimmung der NSBA zu aufwendig ist. Durch die Bestimmung der NSBA im Harn der Tiere können Rückschlüsse auf die DCAB der Futtermittelration gezogen werden (STAUFENBIEL, 2004). Um Rückschlüsse auf das Verhalten der Harnparameter bei niedriger DCAB zu erhalten, wurde deshalb die Beziehung der Harnparameter zueinander untersucht.

Um einen Effekt des Säure-Basen-Status im Hinblick auf die Prophylaxe der Gebärparese und mit der Gebärparese assoziierten Erkrankungen auf die Tiergesundheit zu untersuchen, wurden die Harnparameter in Beziehung zu den monatlichen Erkrankungsinzidenzen gesetzt.

3.9.1.4. Untersuchung der Zeiteffekte auf die Harnparameter

Zur Untersuchung des Einflusses der Dauer der Fütterung der Anionenration auf die Harnparameter wurden die Harnparameter den Tagen nach Wechsel in die Close-up-Gruppe und den verbliebenen Tagen bis zur Kalbung gegenüber gestellt.

Um den Tagesverlauf der Harnparameter bei Fütterung saurer Salze zu untersuchen, wurde von 10 Kühen aus der Vorbereitergruppe ein Tagesprofil der Harnparameter erstellt. Dazu wurde alle 4 Stunden den Tieren Harn entnommen.

3.9.1.5. Untersuchung der Beziehung zwischen Harnparametern und Rationskennwerten

Um die Beziehung zwischen den Rationsinhalten auf die Harnparameter zu untersuchen, wurden die Gehalte der Inhaltsstoffe der Ration dem Harn-pH, der NSBA und dem Kalziumgehalt im Harn gegenübergestellt.

3.9.1.6. Untersuchung der Beziehung Harnparameter zu den Blutparametern

Zur Untersuchung der Wirkung der Ansäuerung der Tiere in der Vorbereitungsfütterung auf die Kalziumhomöostase um die Kalbung wurden die Harnparameter der Poolproben in Beziehung zu den Serumkalziumwerten nach der Kalbung gesetzt.

3.10. Statistische Methoden

Die Dateneingabe erfolgte unter Verwendung von MS Excel (Microsoft® Office Excel 2003, USA). Die Auswertung der gemessenen Werte wurde mit dem Statistikprogramm PASW Version 18 (SPSS Inc., USA) und MedCalc 10.3.2.0 (MedCalc Software, Belgien) durchgeführt. Das Signifikanzniveau war mit $\alpha = 5\%$ ($p < 0,05$) festgelegt.

(1.) Untersuchung der Rationsinhalte

Die grafische Darstellung der Rationsinhalte über die Zeit erfolgte mit Liniendiagrammen. Zusätzlich wurden das arithmetische Mittel (x_{ar}), die Standardabweichung (s), Minimum- und Maximumwerte (x_{min} , x_{max}) sowie die Quartile ($x_{0,25}$, $x_{0,5}$, $x_{0,75}$) berechnet.

Die Unterschiede zwischen der Fütterung mit und ohne anionische Salze wurden mittels t-Test nach Student für unabhängige Stichproben verglichen.

Um den Einfluss der Futterinhaltsstoffe Kalium, Natrium, Chlor und Schwefel auf die DCAB nach ENDER (1971) zu untersuchen, wurde eine multiple lineare Regressionsanalyse nach der Einschluss-Methode durchgeführt.

(2.) Untersuchung der Erkrankungen

Die Erkrankungen wurden mit Hilfe eines Liniendiagramms über die Zeit grafisch dargestellt. Zusätzlich wurden das arithmetische Mittel (x_{ar}), die Standardabweichung (s), Minimum- und Maximumwerte (x_{min} , x_{max}) sowie die Quartile ($x_{0,25}$, $x_{0,5}$, $x_{0,75}$) berechnet.

Um Unterschiede der Erkrankungsinzidenzen mit und ohne Fütterung anionischer Salze zu vergleichen, wurde ein Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Die Angabe der Ergebnisse erfolgte in absoluten und relativen Zahlen. Zur Überprüfung des Einflusses einer Hypokalzämie am Tag

der Kalbung bzw. einen Tag nach der Kalbung auf die Serumkalziumkonzentration sieben Tage nach der Kalbung wurde bei 243 Tieren, bei denen jeweils ein Serumkalziumwert am Tag der Kalbung, einen Tag und sieben Tage nach der Kalbung vorlag, eine univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung mit anschließendem Post-hoc-Test und Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Als fester Faktor wurde die Zeit und als zufälliger Faktor das Tier verwendet.

(3.) Untersuchung der Harnproben

Die grafische Darstellung der Harnparameter der Kühe und Färsen über die Zeit erfolgte mit Liniendiagrammen für die Poolproben und Einzelproben.

Die monatliche Verteilung der NSBA-Einzelwerte wurde mit Box-Plots graphisch dargestellt. Die NSBA-Mittelwerte der einzelnen Monate wurden mittels univariater Varianzanalyse mit anschließendem Post-hoc-Test mit Bonferroni-Korrektur auf signifikante Unterschiede der einzelnen Monate getestet.

Um die Verteilungsform der Harn-pH-Werte, der NSBA und der Harnkalziumkonzentration der Harneinzel- und der Harnpoolproben zu überprüfen, wurde für die jeweiligen Werte ein Histogramm und ein Kolmogorov-Smirnov-Test zur Überprüfung der Normalverteilung durchgeführt.

Für die Harneinzelwerte der Färsen und Kühe wurden das arithmetische Mittel (x_{ar}), der Median, die Quartile ($x_{0,25}$, $x_{0,75}$), der halbe Quartilabstand und die Minimum- und Maximumwerte (x_{min} , x_{max}) jeweils für die Fütterung mit und ohne anionische Salze berechnet. Für die Poolwerte der Färsen und Kühe wurden das arithmetische Mittel (x_{ar}), die Standardabweichung (s) sowie Minimum- und Maximumwerte (x_{min} , x_{max}) mit und ohne Fütterung anionischer Salze bestimmt.

Die Unterschiede der pH-, NSBA- und Kalziumharnwerte der Einzel- und Poolwerte zwischen der Fütterung mit und ohne anionische Salze wurde mittels t-Test nach Student für unabhängige Stichproben verglichen.

Um das Verhalten der Harnparameter von Färsen und Kühen bei Fütterung anionischer Salze zu vergleichen, wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Als Faktoren wurden dabei der Probenstag als Äquivalent für die Zeit und die Zugehörigkeit zur Gruppe der Färsen oder Kühe benutzt.

Um die Mittelwerte des jeweiligen Probenstages mit den entsprechenden Poolwerten bei der Fütterung einer Anionenration zu vergleichen, wurden die errechneten arithmetischen Mittel (x_{ar}) dem gemessenen Poolwert zur Zeit des Einsatzes der Anionenration gegenübergestellt.

Zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen den für jeweils einen Parameter verfügbaren Mittel- und Poolwerten wurde der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet und eine lineare Regression durchgeführt. Die grafische Darstellung erfolgte in Scatterplots mit einer Regressionsgeraden. Zudem wurde die Geradengleichung ($y = bx + a$) und die Bestimmtheitsmaße angegeben.

Die Darstellung der Beziehung der Harnparameter zueinander erfolgte mit Scatterplots.

(4.) Untersuchung der Beziehung der Gebärpareseinzidenz zu den Harnparametern

Die Beziehung der Harnparameter zu der Gebärpareseinzidenz wurde graphisch dargestellt, da die Daten im explorativen Sinne zu interpretieren und nicht ohne weiteres verallgemeinerbar sind. Es wurde der Untersuchungszeitraum mit Fütterung anionischer Salze in der Vorbereiterfütterung ausgewertet.

(5.) Untersuchung der Zeiteffekte auf die Harnparameter

Die grafische Darstellung der NSBA und des pH-Wertes in Beziehung zu den Tagen nach Wechsel in die Vorbereitergruppe und zu den Tagen bis zur Kalbung erfolgte mit Hilfe von Box- und Whisker-Plots. Um signifikante Unterschiede der einzelnen Zeitpunkte zu erfassen, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit anschließendem Post-hoc-Test durchgeführt mit dem Faktor Tage nach Wechsel in die Vorbereitergruppe bzw. mit dem Faktor Tage bis zur Kalbung.

Das Harntagesprofil von 10 Kühen aus der Vorbereitergruppe wurde mit einem Liniendiagramm dargestellt. Für die einzelnen Parameter des Tagesprofils wurden das arithmetische Mittel \bar{x}_{ar} sowie die Standardabweichung s für die einzelnen Messzeitpunkte berechnet und angegeben. Um zu überprüfen, ob der Faktor Zeit einen Einfluss auf die Parameter hat, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Fester Faktor war die Zeit und zufälliger Faktor das Tier.

Für die einzelnen Kühe wurde jeweils das arithmetische Mittel (\bar{x}_{ar}), die Standardabweichung (s), der Median ($x_{0,5}$) sowie die Minimum- und Maximumwerte (x_{min} , x_{max}) und die Spannweite (R) angegeben.

(6.) Untersuchung der Beziehung zwischen Harnparametern und Rationskennwerten

Zur Untersuchung der Effekte der Rationsinhalte auf die Wirkung der Anionen wurden multiple Regressionsanalysen mit den Harnparametern pH, NSBA und Harnkalziumkonzentration als abhängige Variable und den Futterparametern als unabhängige

Variable durchgeführt. Betrachtet wurde der gesamte Untersuchungszeitraum mit und ohne Fütterung anionischer Salze. Zusätzlich wurde der Einfluss der beiden DCAB-Formeln von ENDER (1971) und GOFF (2004) auf die Harnparameter verglichen. Als unabhängige Variablen wurden die Energiekonzentration, der Rohprotein-, Rohfaser-, Stärke- und Zuckergehalt und die DCAB nach ENDER (1971) bzw. nach GOFF (2004) für die Regression mit der NSBA und dem pH-Wert benutzt. Für die Harnkalziumkonzentration wurde die Energiekonzentration gegen den Kalziumgehalt im Futter ausgetauscht.

(7.) Untersuchung der Beziehung der Harnparameter zu den Blutparametern

Die Beziehung der Harnparameter zu den Blutparametern wurde graphisch dargestellt, da die Daten im explorativen Sinne zu interpretieren und nicht ohne weiteres verallgemeinerbar sind. Es wurde der Untersuchungszeitraum mit Fütterung anionischer Salze in der Vorbereiterfütterung ausgewertet.

Als Blutparameter wurde der monatliche Median der Serumkalziumkonzentration direkt nach der Abkalbung gewählt. Der monatliche Median zusammen mit dem ersten und dritten Quartil der NSBA und der Harnkalziumkonzentration aus den Harnpoolproben dienten als Maß für die Verteilung der Poolproben. Die monatlichen Mittelwerte der Futteranalyse und Rationsgestaltung wurden benutzt, um Veränderungen in der Rationszusammensetzung in Hinblick auf die Ätiologie der Gebärpause darzustellen.

4. Ergebnisse

4.1. Untersuchung der Rationsinhalte

4.1.1. Beschreibung der Rationsparameter

Zur Untersuchung der Rationsinhalte der TMR wurden die Energie-, Rohprotein-, Rohfaser-, Stärke- plus Zuckergehalte und die Mineralstoffe Kalzium, Phosphor, Magnesium, Kalium, Natrium, Chlorid, Schwefel sowie die DCAB nach ENDER (1971) und nach GOFF (2004) verglichen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 9 bis Abbildung 13 und in Tabelle 11 dargestellt. Die jeweiligen Mittelwerte (x_{ar}) werden zusammen mit ihrer Standardabweichung (s) angegeben.

Der mittlere Rohproteingehalt liegt mit Fütterung anionischer Salze bei 126,0 g/kg TS ($\pm 8,2$ g/kg TS) und ohne anionische Salze bei 122,3 g/kg TS ($\pm 12,6$ g/kg TS) (Tabelle 36). Über den gesamten Untersuchungszeitraum erreicht der Rohproteingehalt Werte zwischen 103 g/kg TS (x_{min}) und 140 g/kg TS (x_{max}). Die Rohfasergehalte haben während der Fütterung der Anionenration einen Mittelwert von 215,2 g/kg TS ($\pm 21,1$ g/kg TS) und mit Fütterung der kalziumreduzierten Diät einen Mittelwert von 202,8 g/kg TS ($\pm 9,8$ g/kg TS) (Tabelle 36). Der Mittelwert des Stärke- plus Zuckergehaltes misst 218,3 g/kg TS ($\pm 33,5$ g/kg TS) bei Fütterung anionischer Salze und 228 g/kg TS ($\pm 25,3$ g/kg TS) bei kalziumreduzierter Fütterung (Tabelle 36). Die Energiekonzentration beträgt mit Fütterung anionischer Salze 6,3 MJ NEL/kg TS ($\pm 0,3$ MJ NEL/kg TS) und ohne Fütterung anionischer Salze 6,5 MJ NEL/kg TS ($\pm 0,3$ MJ NEL/kg TS) (Tabelle 37). Die analysierten Rationsparameter Energie-, Rohprotein-, Rohfaser- sowie der Stärke- und Zuckergehalt weisen sowohl mit als auch ohne Fütterung anionischer Salze Schwankungen über den gesamten Untersuchungszeitraum auf (Abbildung 9 bis Abbildung 10). Zwischen den Futterrationalen mit und ohne anionische Salze bestehen hinsichtlich des Energie-, Rohprotein-, Rohfaser- und Stärke- plus Zuckergehalt keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 9 und Abbildung 10).

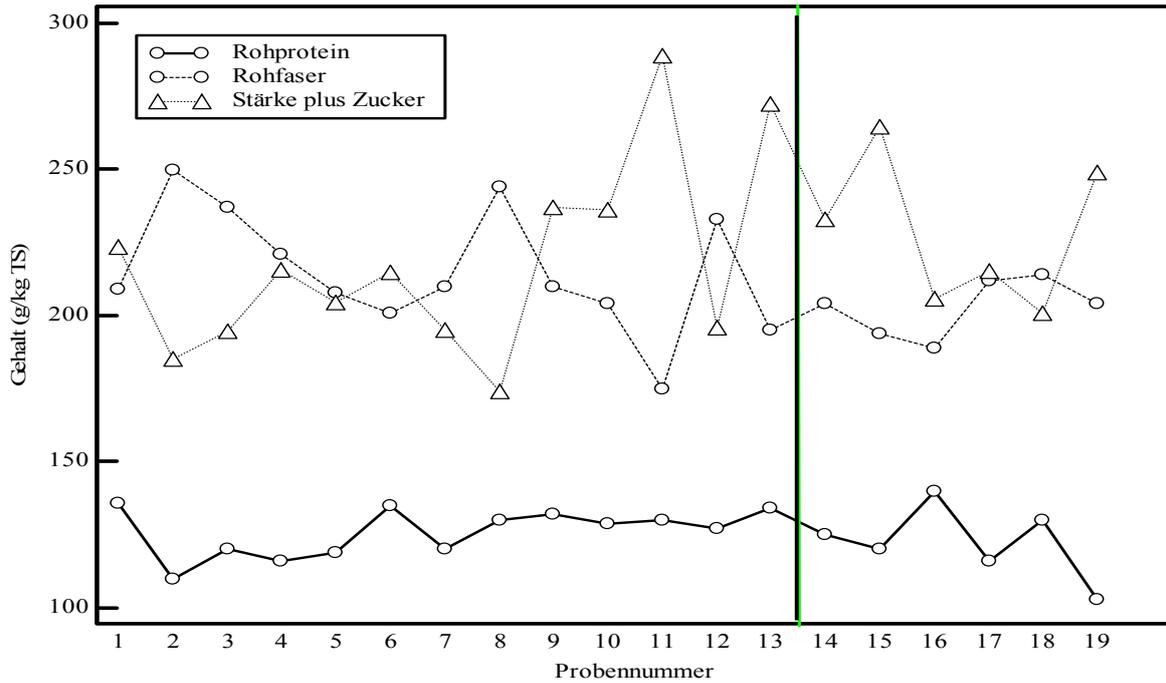


Abbildung 9: Zeitliche Übersicht über den Rohprotein-, Rohfaser- und Stärke- plus Zuckergehalt der Futtration (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung)

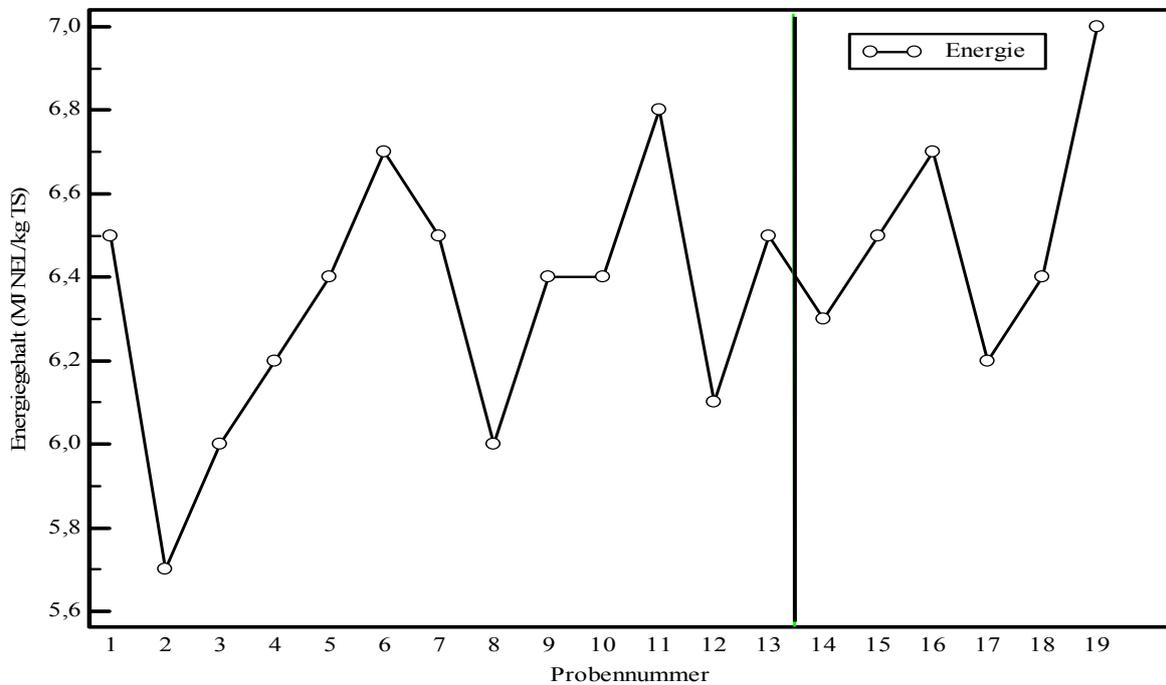


Abbildung 10: Zeitliche Übersicht über den Energiegehalt der Futtration (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung)

Der arithmetische Mittelwert der DCAB nach ENDER (1971) beträgt bei Fütterung anionischer Salze + 54 mEq/ kg TS (± 35 mEq/kg TS) und ohne Einsatz anionischer Salze +181 mEq/ kg TS (± 33 mEq/kg TS) (Tabelle 38). Die DCAB nach ENDER (1971) befindet sich bei der Fütterung anionischer Salze in einem Bereich von - 6 mEq/ kg TS bis + 118 mEq/ kg TS (Abbildung 11). Ohne anionische Salze liegt die DCAB nach ENDER (1971) in einem Bereich + 141 mEq/ kg TS bis + 214 mEq/ kg TS (Abbildung 11). In 6 von 13 Fällen (46%) befindet sich der Wert der DCAB nach ENDER (1971) bei Fütterung anionischer Salze unter + 50 mEq/ kg TS. In zwei Fällen weist die DCAB nach ENDER (1971) Werte um 0 mEq/ kg TS (0,9 mEq/ kg TS und -6,3 mEq/ kg TS) auf. Die DCAB nach ENDER (1971) und GOFF (2004) ist mit Fütterung anionischer Salze signifikant niedriger als ohne den Einsatz anionischer Salze (Tabelle 38). Die DCAB nach ENDER (1971) und die DCAB nach GOFF (2004) verlaufen parallel zueinander. Mit dem Absetzen der anionischen Salze kommt es zu einem Anstieg der DCAB. Über den Untersuchungszeitraum mit und ohne Fütterung anionischer Salze sind Schwankungen der DCAB zu erkennen.

Die Konzentration des Kaliums in der Futtermischung befindet sich über den gesamten Untersuchungszeitraum zwischen 10 g/kg TS und 15 g/kg TS (Abbildung 12). Der Kaliumgehalt liegt bei Einsatz von anionischen Salzen im Mittel bei 12,31 g/ kg TS ($\pm 1,45$ g/kg TS) und ohne Einsatz anionischer Salze im Mittel bei 12,47 g/ kg TS ($\pm 1,51$ g/kg TS) (Tabelle 39). Im Mittel liegt der Natriumgehalt bei 1,74 g/kg TS sowohl bei der Fütterung mit ($\pm 0,56$ g/kg TS) als auch ohne ($\pm 0,51$ g/kg TS) anionische Salze (Tabelle 39). Die Kalium- und Natriumgehalte der Rationen mit und ohne Einsatz von Anionen liegen jeweils in gleichen Bereichen (Abbildung 12).

Der mittlere Chloridgehalt liegt bei Fütterung mit anionischen Salzen bei 7,56 g/ kg TS ($\pm 1,40$ g/kg TS) und ohne anionische Salze bei 5,31 g/ kg TS ($\pm 1,40$ g/kg TS) (Tabelle 39). Der mittlere Schwefelgehalt beträgt bei Fütterung mit anionischen Salzen 1,99 g/ kg TS ($\pm 1,40$ g/kg TS) und ohne anionische Salze 1,03 g/ kg TS ($\pm 1,40$ g/kg TS) (Tabelle 39). Zwischen den Rationen mit und ohne Anionen zeigen die Chlorid- und Schwefelgehalte jeweils signifikante Unterschiede. Mit dem Absetzen der anionischen Salze sinken die Chlorid- und Schwefelgehalte der Futtermischung.

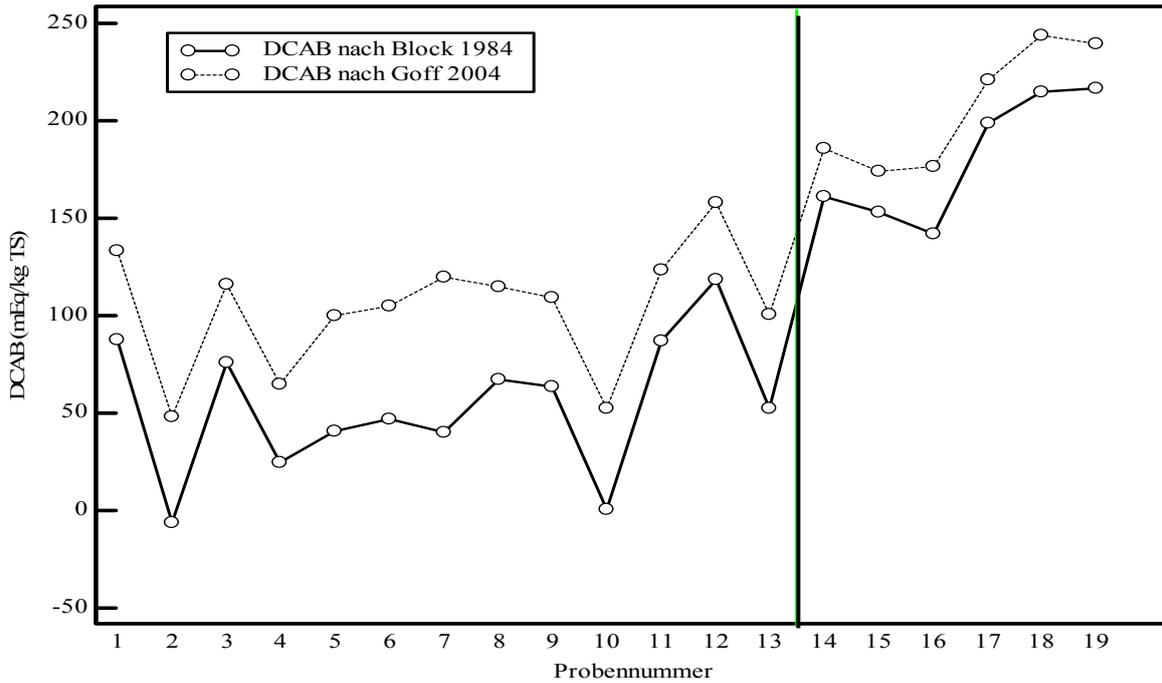


Abbildung 11: Zeitliche Übersicht über die DCAB nach ENDER (1971) und GOFF (2004) der Futterration (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung)

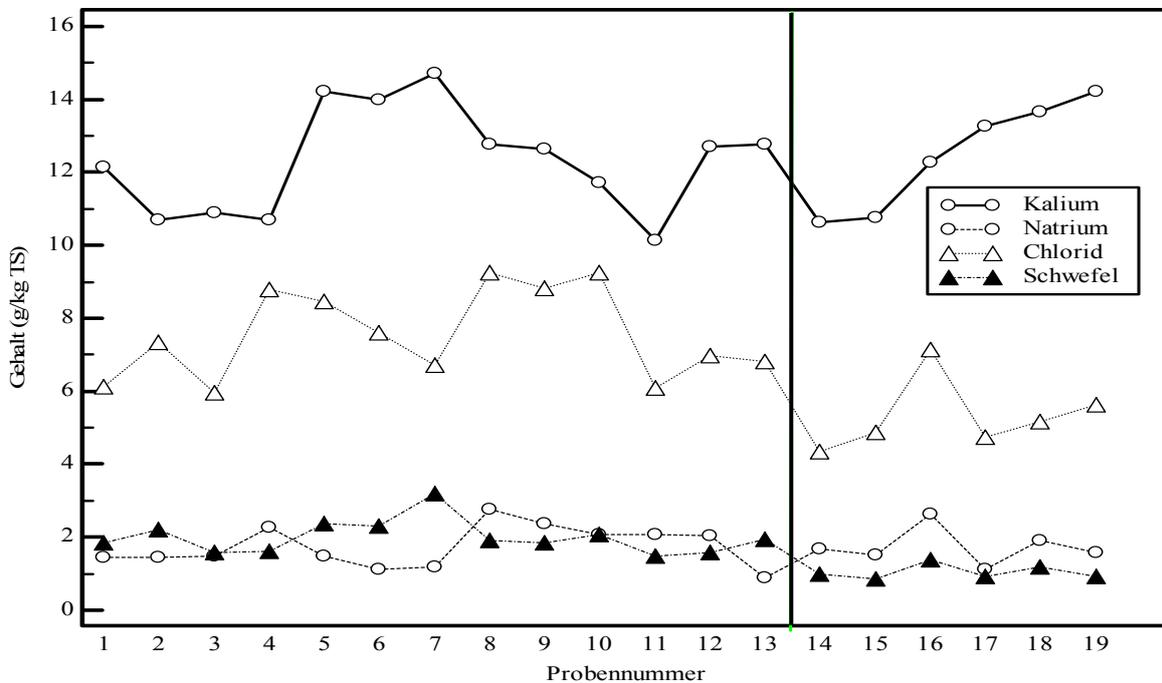


Abbildung 12: Zeitliche Übersicht über die Kalium-, Natrium-, Chlorid- und Schwefelgehalte der Futterration (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung)

Mit dem Wechsel der Fütterung mit anionischen Salzen zu einer kalziumreduzierten Fütterung sinkt die Kalziumkonzentration im Futter ab (Abbildung 13). Während der Fütterung anionischer Salze liegen die Analysenwerte des Kalziumgehaltes im Futter zwischen 8,62 g/kg TS und 15,51 g/kg TS. Im Untersuchungszeitraum mit kalziumreduzierter Fütterung befinden sich die Kalziumgehalte zwischen 3,99 g/kg TS und 7,98 g/kg TS. Der mittlere Kalziumgehalt beträgt bei Fütterung anionischer Salze 11,99 g/ kg TS ($\pm 2,07$ g/kg TS) und ohne Fütterung anionischer Salze 5,34 g/ kg TS ($\pm 1,40$ g/kg TS) (Tabelle 40). Bei der Verfütterung anionischer Salze liegt der mittlere Magnesiumgehalt bei 3,03 g/ kg TS ($\pm 0,26$ g/kg TS) und ohne anionische Salze bei 2,60 g/kg TS ($\pm 0,28$ g/kg TS) (Tabelle 40). Die mittleren Kalzium- und Magnesiumgehalte bei Verfütterung anionischer Salze zeigen einen signifikanten Unterschied zu den jeweiligen Gehalten ohne Einsatz anionischer Salze.

Der mittlere Phosphorgehalt der Ration mit und ohne anionische Salze in der Futtermischung befindet sich in jeweils gleichen Bereichen und unterscheidet sich nicht signifikant voneinander (Tabelle 40).

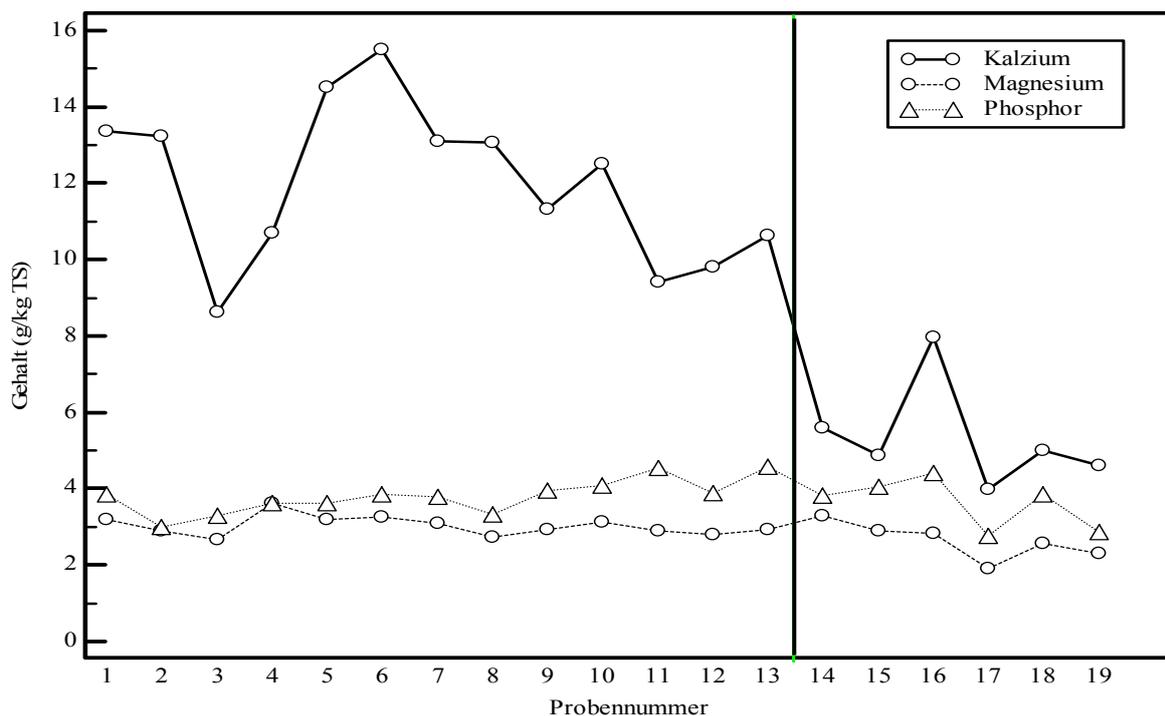


Abbildung 13: Zeitliche Übersicht über den Kalzium-, Magnesium- und Phosphorgehalt der Futtermischung (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung)

Zur Überprüfung der Mischgenauigkeit des Futtermischwagens werden drei Futterproben vom Anfang, von der Mitte und vom Ende des Futtertisches, die alle an einem Proben tag genommen wurden, verglichen (Tabelle 11). In der untersuchten Ration sind keine anionischen Salze eingesetzt. Zwischen den Futterproben bestehen keine signifikanten Unterschiede. Der Energiegehalt aller drei Futterproben ist identisch. Die Unterschiede der Gehalte an Rohprotein und Rohfaser liegen in allen drei Futterproben jeweils unter 10g/kg TS. Die Abweichungen des Gehaltes an Stärke plus Zucker unterscheiden sich in den drei Proben um unter 20g/kg TS. Bei den Gehalten der Mengenelemente Kalzium, Phosphor, Magnesium und Kalium liegen maximale Abweichungen von 0,6 g/kg TS vor. Die Gehalte von Natrium, Chlorid und Schwefel haben jeweils maximale Abweichungen von 0,08 g/kg TS in allen drei Futterproben. Die DCAB nach ENDER (1971) erreicht in zwei von drei Fällen einen identischen Wert (Abweichung 0,9 mEq/kg TS). Der niedrigste DCAB-Wert (+152,8 mEq/kg TS) hat eine Differenz von 8,1 mEq/kg TS zum höchsten der drei gemessenen DCAB-Werte (+160,9 mEq/kg TS).

Tabelle 11: Überprüfung der Mischgenauigkeit des Futtermischwagens ohne Fütterung anionischer Salze

| Parameter | Einheit | Futtertisch | | |
|--------------------|-----------------------|-------------|--------------|--------------|
| | | Probe vorn | Probe mittig | Probe hinten |
| TS | g/kg FM ²⁾ | 378 | 378 | 373 |
| Energie | MJ NEL/kg TS | 6,3 | 6,3 | 6,3 |
| Rohprotein | g/kg TS | 120 | 125 | 129 |
| Rohfaser | g/kg TS | 208 | 204 | 210 |
| Stärke u. Zucker | g/kg TS | 228 | 209,5 | 211 |
| Kalzium | g/kg TS | 5,56 | 5,60 | 5,88 |
| Phosphor | g/kg TS | 3,87 | 3,82 | 4,02 |
| Magnesium | g/kg TS | 3,41 | 3,28 | 3,69 |
| Kalium | g/kg TS | 10,33 | 10,63 | 10,05 |
| Natrium | g/kg TS | 1,71 | 1,68 | 1,76 |
| Chlorid | g/kg TS | 4,31 | 4,35 | 4,32 |
| Schwefel | g/kg TS | 0,91 | 0,99 | 0,95 |
| DCAB ¹⁾ | mEq/kg TS | +160,6 | +160,9 | +152,8 |

1) nach ENDER (1971)

2) FM = Feuchtmasse

4.1.2. Untersuchung der Beziehung zwischen den Futterinhaltsstoffen

Die DCAB nach ENDER (1971) (=DCAB) wird bestimmt durch die Mengenelemente Kalium, Natrium, Chlorid und Schwefel (DCAB [mEq/kg TS] = (Na + K) – (Cl + S)).

Durch eine multiple Regression kann der Kaliumgehalt als hauptsächlich bestimmender Faktor in der Futtermittelration ($sr^2 = 0,23$) bestimmt werden. Nach dem Kaliumgehalt bestimmen der Chlorid- ($sr^2 = 0,12$) und Schwefelgehalt ($sr^2 = 0,11$) die DCAB der Futtermittelration. Den geringsten Einfluss auf die DCAB hat der Natriumgehalt der Futtermittelration ($sr^2 = 0,05$). Der Schwefel- ($r = -0,80$; $p < 0,05$) und der Chloridgehalt ($r = -0,75$; $p < 0,05$) zeigen eine hohe signifikante Korrelation zur DCAB. Eine sehr geringe Korrelation zur DCAB haben der Kalium- ($r = 0,18$) und Natriumgehalt ($r = -0,01$) der Futtermittelration (Tabelle 12).

Tabelle 12: Multiple Regression nach dem Einschlussmodell für die DCAB (n=19)

| Variable | Korrelation r | | | | | Regressionsmodell | | |
|----------|---------------|-------|-------|-------|--------|-------------------|--------|--------|
| | K | Na | Cl | S | DCAB | β | sr^2 | b |
| K | | -0,28 | 0,10 | 0,35 | 0,18 | 0,53* | 0,23* | 25,6* |
| Na | | | 0,46* | -0,18 | -0,01 | 0,33* | 0,05* | 43,5* |
| Cl | | | | 0,60* | -0,75* | -0,63* | 0,12* | -28,2* |
| S | | | | | -0,80* | -0,54* | 0,11* | -62,3* |
| DCAB | | | | | | | | |
| | | | | | | Konstante = 0 | | |
| x_{ar} | 12,4 | 1,74 | 6,84 | 1,69 | 94 | $R^2 = 1,0^*$ | | |
| s | 1,43 | 0,53 | 1,56 | 0,60 | 69,4 | | | |

* $p < 0,05$

** $p < 0,1$

4.2. Untersuchung der Erkrankungen

4.2.1. Beschreibung der Erkrankungsinzidenzen über den Untersuchungszeitraum

Bei dieser Untersuchung wurden die Erkrankungen Gebärpause, Nachgeburtverhaltung, Metritis, Ketose, Labmagenverlagerung und Mastitis ausgewertet.

Im Untersuchungszeitraum von einem Jahr kalbten 1452 Tiere in 9 Monaten, die mit anionischen Salzen in der Close-up-Phase gefüttert wurden, und 663 Tiere in 3 Monaten, die mit einer kalziumreduzierten Diät (ohne anionische Salze) in der Close-up-Phase gefüttert wurden.

Die Gebärpauseinzidenz bei Fütterung anionischer Salze beträgt im Mittel 6,3%, was 92 Erkrankungen von Tieren an Gebärpause bei 1492 Abkalbungen entspricht (Tabelle 42). Während der Fütterung der anionischen Salze erreicht der Maximalwert der Gebärpauseinzidenz 10% im Monat November (Probenmonat 7) (Abbildung 14). Die geringste monatliche Gebärpauseinzidenz während der Fütterung anionischer Salze wird im Monat Juni (Probenmonat 2) mit 3,2% der abgekalbten Tiere gemessen (Tabelle 41).

Ohne Fütterung anionischer Salze beträgt die Gebärpareseinzidenz im Mittel 10,2%, was 48 Erkrankungen von Tieren an Gebärparese bei 469 Abkalbungen entspricht. Die höchste monatliche Erkrankungsinzidenz an Gebärparese ohne Fütterung anionischer Salze wird im Monat April 2010 (Probenmonat 12), die niedrigste im Februar 2010 (Probenmonat 10) gemessen (Tabelle 41).

Zwischen der Gebärpareseinzidenz mit und ohne Fütterung anionischer Salze besteht ein hoch signifikanter Unterschied ($p < 0,001$) (Tabelle 13).

Im Untersuchungszeitraum mit Fütterung anionischer Salze wird im Mittel eine Inzidenz für Nachgeburtsverhaltung von 3,8% und für Metritis von 12,9% festgestellt (Tabelle 13). Ohne Fütterung anionischer Salze besteht eine mittlere Erkrankungsinzidenz von 5% für die Nachgeburtsverhaltung und 23,3% für die Metritis. Die mittlere Erkrankungsinzidenz für Metritis bei Fütterung anionischer Salze unterscheidet sich statistisch signifikant von der mittleren Metritisinzidenz ohne Fütterung anionischer Salze ($p < 0,001$) (Tabelle 13).

Die Erkrankungsinzidenz für Ketose ist tendenziell ($p = 0,06$) mit Fütterung anionischer Salze niedriger als ohne Fütterung anionischer Salze (Tabelle 13).

Bei den Erkrankungen Labmagenverlagerung und Mastitis liegen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der Fütterung mit und ohne anionische Salze vor. Die Erkrankungsinzidenzen haben jeweils ähnliche Werte mit und ohne Fütterung anionischer Salze (Abbildung 15).

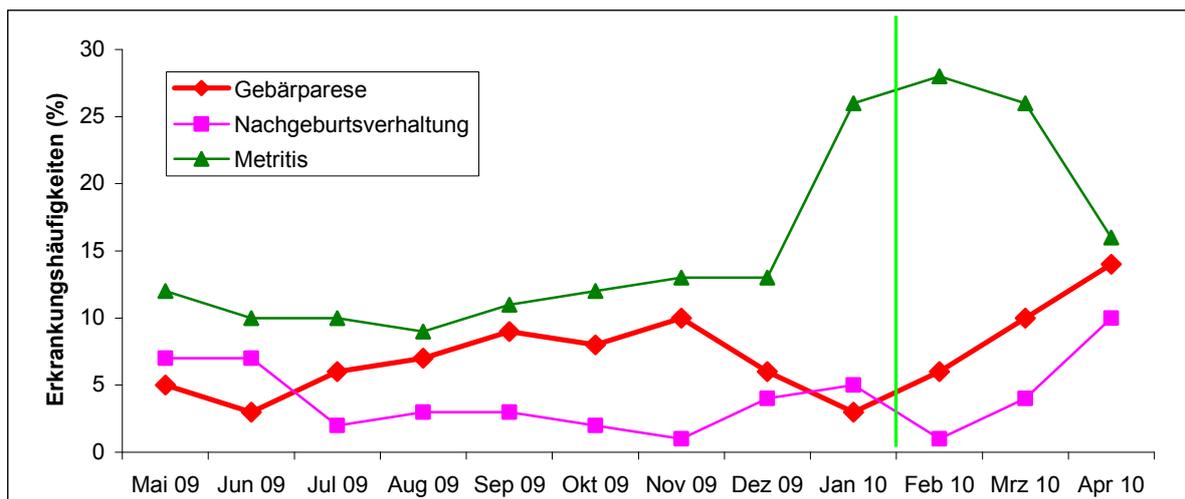


Abbildung 14: Monatliche Erkrankungsinzidenz für Gebärparese, Nachgeburtsverhaltung und Metritis (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung)

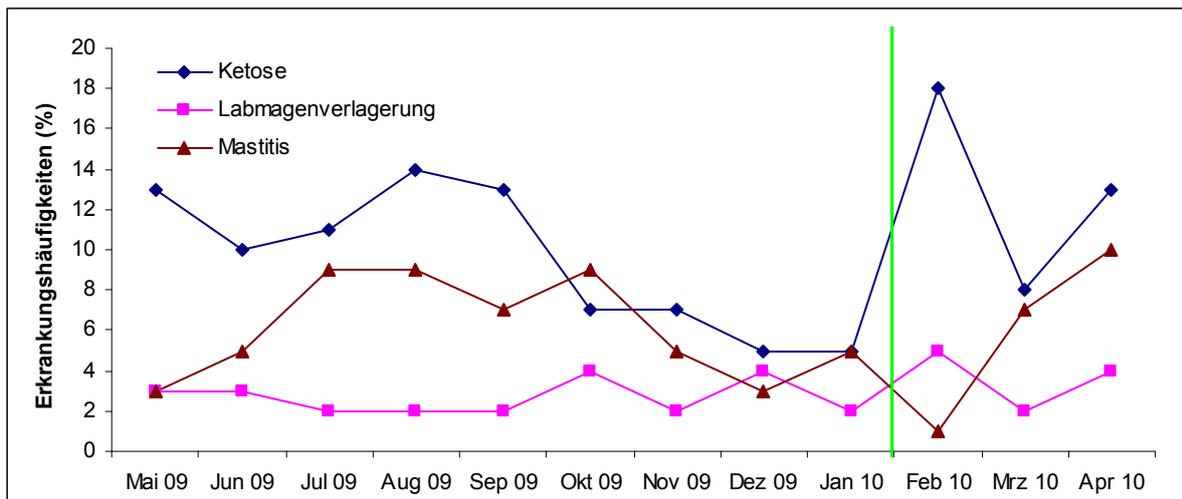


Abbildung 15: Monatliche Erkrankungsinzidenz für Ketose, Labmagenverlagerung und Mastitis (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung)

Tabelle 13: Übersicht über die Erkrankungsfälle mit und ohne Fütterung anionischer Salze über den gesamten Untersuchungszeitraum

| Erkrankung | 1 n/ 1452 Abkalbungen | 2 n/ 469 Abkalbungen |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| Gebärparese | 92 (6,3%) ^{a)} | 48 (10,2%) ^{b)} |
| Nachgeburtsverhaltung | 54 (3,8%) | 24 (5,1%) |
| Metritis | 186 (12,9%) ^{a)} | 109 (23,3%) ^{b)} |
| Ketose | 140 (9,4%) ^{c)} | 60 (12,8%) ^{d)} |
| Labmagenverlagerung | 38 (2,7%) | 17 (3,7%) |
| Mastitis | 91 (6,1%) | 29 (6,2%) |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit und ohne Anionen

c und d) tendenzieller Unterschied ($p < 0,1$) zwischen den Gruppen mit und ohne Anionen

1) Fütterung mit Anionen

2) Fütterung ohne Anionen

4.2.2. Untersuchung der Blutparameter im Zusammenhang mit den Erkrankungsinzidenzen

Zur Beurteilung des Energie- und Stoffwechselstatus wurden die Kalzium-, β -OH-Butyrat (BHB)-Konzentration sowie die Konzentration der freien unveresterten Fettsäuren (Non-Esterified-Fatty-Acids (NEFA)) im Serum am Tag der Kalbung, einen Tag und sieben Tage nach dem Kalben von allen Kühen im Versuchszeitraum untersucht. Dabei wurde zwischen der Fütterung mit und ohne anionische Salze unterschieden.

Zur Untersuchung, ob Kühe mit einer subklinischen Hypokalzämie (Serumkalzium $\leq 2,0$ mmol/l (DEGARIS und LEAN, 2008)) häufiger klinisch erkranken, wurden die Tiergruppen mit Serumkalziumkonzentrationen $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l in Hinblick auf ihre Erkrankungen und ihren Stoffwechselstatus untersucht.

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 14 bis Tabelle 22, Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt.

Die Serumkalziumkonzentrationen direkt nach der Kalbung sind mit der Fütterung anionischer Salze in der Vorbereiterfütterung (1,93 mmol/l) im Vergleich zu den Tieren mit kalziumreduzierter Vorbereitungsfütterung (1,83 mmol/l) signifikant höher (Tabelle 43). Am siebten Tag nach der Kalbung haben die Kühe mit kalziumreduzierter Vorbereitungsfütterung (2,28 mmol/l) eine signifikant höhere Serumkalziumkonzentration als mit Fütterung anionischer Salze (2,20 mmol/l) (Tabelle 43). Einen Tag nach dem Kalben unterscheiden sich die Serumkalziumwerte nicht signifikant voneinander. Die NEFA-Werte am Tag der Kalbung, einen Tag und sieben Tage nach der Kalbung zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen der Fütterung mit anionischen Salzen und der kalziumreduzierten Vorbereiterfütterung (Tabelle 44).

Am Tag 7 nach der Kalbung haben die Tiere mit Fütterung anionischer Salze eine signifikant höhere BHB-Konzentration (110,2 mg/l) als die Tiere mit kalziumreduzierter Diät (89,6 mg/l) (Tabelle 45). Die BHB-Konzentrationen am Tag der Kalbung und einen Tag p.p. zeigen keine signifikanten Unterschiede.

Der Anteil der pluriparen Kühe mit einer subklinischen Hypokalzämie (Serumkalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l (DEGARIS und LEAN, 2008)) direkt nach der Kalbung und einen Tag p.p. ist signifikant geringer im Vergleich zu den pluriparen Kühen mit kalziumreduzierter Vorbereitungsfütterung (Tabelle 14). Mit Fütterung anionischer Salze haben 57% der pluriparen Kühe am Tag der Kalbung und 42% einen Tag nach der Kalbung eine Serumkalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l. Ohne Fütterung anionischer Salze haben 74% aller abgekalbten pluriparen Kühe direkt nach der Kalbung und 55% einen Tag nach der Kalbung eine subklinische Hypokalzämie. Bei den Jungkühen mit einer Serumkalziumkonzentration um $\leq 2,0$ mmol/l gibt es zwischen den beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 15).

Tabelle 14: Anteil der pluriparen Kühe mit einer Serumkalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l im Verhältnis zu allen beprobten Abkalbungen der pluriparen Kühe

| | 1 n/ 502 Abkalbungen (%) | 2 n/ 107 Abkalbungen (%) |
|---|------------------------------------|------------------------------------|
| Serumkalziumkonz. direkt p.p. $\leq 2,0$ mmol/l | 288 (57%) ^{a)} | 80 (74%) ^{b)} |
| Serumkalziumkonz. 1 T p.p. $\leq 2,0$ mmol/l | 213 (42%) ^{a)} | 59 (55%) ^{b)} |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit und ohne Anionen

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

Tabelle 15: Anteil der Jungkühe mit einer Serumkalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l im Verhältnis zu allen beprobten Abkalbungen der Jungkühe

| | 1 n/ 192 Abkalbungen (%) | 2 n/ 58 Abkalbungen (%) |
|--|------------------------------------|-----------------------------------|
| Serumkalziumkonz. 1 T p.p. $\leq 2,0$ mmol/l | 48 (25%) | 9 (15%) |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit und ohne Anionen

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

Die pluriparen Kühe mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l direkt p.p., mit und ohne Fütterung anionischer Salze in der Vorbereitungsfütterung, erkrankten häufiger an den Erkrankungen Gebärparese, Nachgeburtshaltung, Metritis, Ketose, Labmagenverlagerung und Mastitis als Kühe mit einem Serumkalziumspiegel $> 2,0$ mmol/l (Tabelle 16).

Sowohl mit als auch ohne Fütterung anionischer Salze erkrankt ein signifikant größerer Anteil der pluriparen Kühe mit einem Serumkalziumspiegel von $\leq 2,0$ mmol/l direkt nach der Kalbung und einen Tag p.p. an Gebärparese als der Anteil der Tiere, die einen Serumkalziumspiegel $> 2,0$ mmol/l haben (Tabelle 16).

Haben die Kühe zum Zeitpunkt der Kalbung mit und ohne Fütterung anionischer Salze eine subklinische Hypokalzämie erkrankten sie tendenziell leichter an Ketose (Tabelle 16 und Tabelle 17). Kühe, die einen Tag p.p. eine Serumkalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l haben und denen anionische Salze in der Vorbereitungsfütterung verabreicht worden sind, erkrankten signifikant häufiger an Mastitis als Kühe mit einer Serumkalziumkonzentration $> 2,0$ mmol/l (Tabelle 16). Ohne Fütterung anionischer Salze haben Kühe mit einer Serumkalziumkonzentration $> 2,0$ mmol/l signifikant häufiger eine Ketose als Kühe mit einer subklinischen Hypokalzämie (Tabelle 17). Bei den Jungkühen, die anionischen Salzen in der Vorbereitungsfütterung erhielten, erkrankten tendenziell mehr Tiere mit einer

Serumkalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l einen Tag p.p. an einer Labmagenverlagerung als Tiere mit einer Normokalzämie (Tabelle 46). Die Erkrankungshäufigkeiten der einen Tag nach der Kalbung hypokalzämischen Jungkühe, die eine kalziumreduzierte Fütterung in der Vorbereitungsphase erhielten, unterscheiden sich nicht signifikant von den einen Tag nach der Kalbung normokalzämischen Jungkühen (Tabelle 47).

Die Kalbeverläufe der zum Zeitpunkt der Kalbung hypokalzämischen und normokalzämischen Tiere unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (Tabelle 18).

Tabelle 16: Vergleich der Erkrankungshäufigkeiten der pluriparen Kühe mit einem Serumkalziumwert $>$ und $\leq 2,0$ mmol/l mit Fütterung anionischer Salze in der Vorbereitungsphase ($n=n_1+n_2=n_3+n_4=500$)

| | n Kühe mit Ca. direkt p.p. | | n Kühe mit Ca 1 T p.p. | | n Erkrankungen/ 500 Abkalbungen |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| | $\leq 2,0$ mmol/l $n_1=288$ | $> 2,0$ mmol/l $n_2=212$ | $\leq 2,0$ mmol/l $n_3=213$ | $> 2,0$ mmol/l $n_4=287$ | |
| Gebärparese | 36 (7,2%) ^{a)} | 14 (2,8%) ^{b)} | 30 (6%) ^{a)} | 20 (4%) ^{b)} | 50 (10%) |
| Ret. sec. | 10 (2%) | 9 (1,8%) | 8 (1,6%) | 11 (2,2%) | 19 (3,8%) |
| Metritis | 28 (6%) | 26 (5%) | 19 (3,8%) | 36 (7,2%) | 55 (11%) |
| Ketose | 36 (7,2%) ^{c)} | 15 (3%) ^{d)} | 27 (5,4%) | 24 (4,8%) | 51 (10,2%) |
| LMV | 11 (2,2%) | 3 (0,6%) | 7 (1,4%) | 7 (1,4%) | 14 (2,8%) |
| Mastitis | 27 (5,4%) | 17 (3,4%) | 27 (5,4%) ^{a)} | 17 (3,4%) ^{b)} | 44 (8,8%) |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

c und d) tendenzieller Unterschied ($p < 0,1$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

Tabelle 17: Vergleich der Erkrankungshäufigkeiten der pluriparen Kühe mit einem Serumkalziumwert $>$ und $\leq 2,0$ mmol/l bei kalziumreduzierter Fütterung in der Vorbereitungsphase ($n=n_1+n_2=n_3+n_4=109$)

| | n Kühe mit Ca direkt p.p. | | n Kühe mit Ca 1 T p.p. | | n Erkrankungen/ 109 Abkalbungen |
|-------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| | $\leq 2,0$ mmol/l $n_1=80$ | $> 2,0$ mmol/l $n_2=29$ | $\leq 2,0$ mmol/l $n_3=59$ | $> 2,0$ mmol/l $n_4=50$ | |
| Gebärparese | 7 (6,5%) | 5 (4,7%) | 7 (6,5%) | 5 (4,7%) | 12 (11,2%) |
| Ret. sec. | 3 (2,8%) | 0 | 2 (1,8%) | 1 (0,9%) | 3 (2,8%) |
| Metritis | 12 (11,2%) | 6 (5,6%) | 10 (9,3%) | 8 (7,5%) | 18 (16,8%) |
| Ketose | 8 (7,5%) | 7 (6,5%) | 4 (3,7%) ^{a)} | 11 (10,3%) ^{b)} | 15 (14%) |
| LMV | 1 (0,9%) | 0 | 1 (0,9%) | 0 | 1 (0,9%) |
| Mastitis | 7 (6,5%) | 2 (1,9%) | 7 (6,5%) | 2 (1,9%) | 9 (8,4%) |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

c und d) tendenzieller Unterschied ($p < 0,1$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

Tabelle 18: Vergleich der Geburtsverläufe der pluriparen Kühe mit einem Serumkalziumwert von $>$ und $\leq 2,0$ mmol/l direkt p.p. ($n=609$)

| | n Kühe Ca direkt p.p. | | n Kühe/ 609 Abkalbungen |
|--------------------------|-----------------------|----------------|----------------------------|
| | $\leq 2,0$ mmol/l | $> 2,0$ mmol/l | |
| Kalbung mit Geburtshilfe | 179 (48,6%) | 120 (49,8%) | 299 (49,1%) |
| Kalbung ohne Hilfe | 189 (51,4%) | 121 (50,2%) | 310 (50,1%) |
| n | 368 (100%) | 241 (100%) | |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

c und d) tendenzieller Unterschied ($p < 0,1$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

Einen zeitlichen Überblick über die Verteilung der Kalziumkonzentrationen direkt nach der Kalbung und einen Tag p.p. geben Abbildung 16, Abbildung 17, Abbildung 43, Abbildung 44, Tabelle 48 und Tabelle 51. Vergleicht man die monatliche Verteilung der Serumkalziumkonzentration der einzelnen Tiere mit den monatlichen Inzidenzen für Gebärparese, so ist ein gegenläufiger Trend erkennbar (Abbildung 16 und Abbildung 17). Steigt der Anteil an Tieren mit einer Serumkalziumkonzentration direkt p.p. unter $2,0$ mmol/l, so steigt gegenläufig die Gebärpareseinzidenz an (Abbildung 16). Im Untersuchungszeitraum mit Fütterung anionischer Salze werden im Probenmonat 4 bis 7 die höchste Gebärpareseinzidenz und der niedrigste Median der Serumkalziumkonzentration ermittelt. Der Median der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. liegt zwischen $1,70$ bis $1,90$ mmol/l.

In den Probenmonaten mit niedrigerer Gebärpareseinzidenz (1, 2, 8, 9) liegt der Median der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. zwischen 1,90 bis 2,10 mmol/l.

Mit dem Absetzen der anionischen Salze (Probenmonat 10, 11, 12) steigt die Gebärpareseinzidenz wieder an, der Median der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. sinkt in den Bereich von 1,70 bis 1,90 mmol/l.

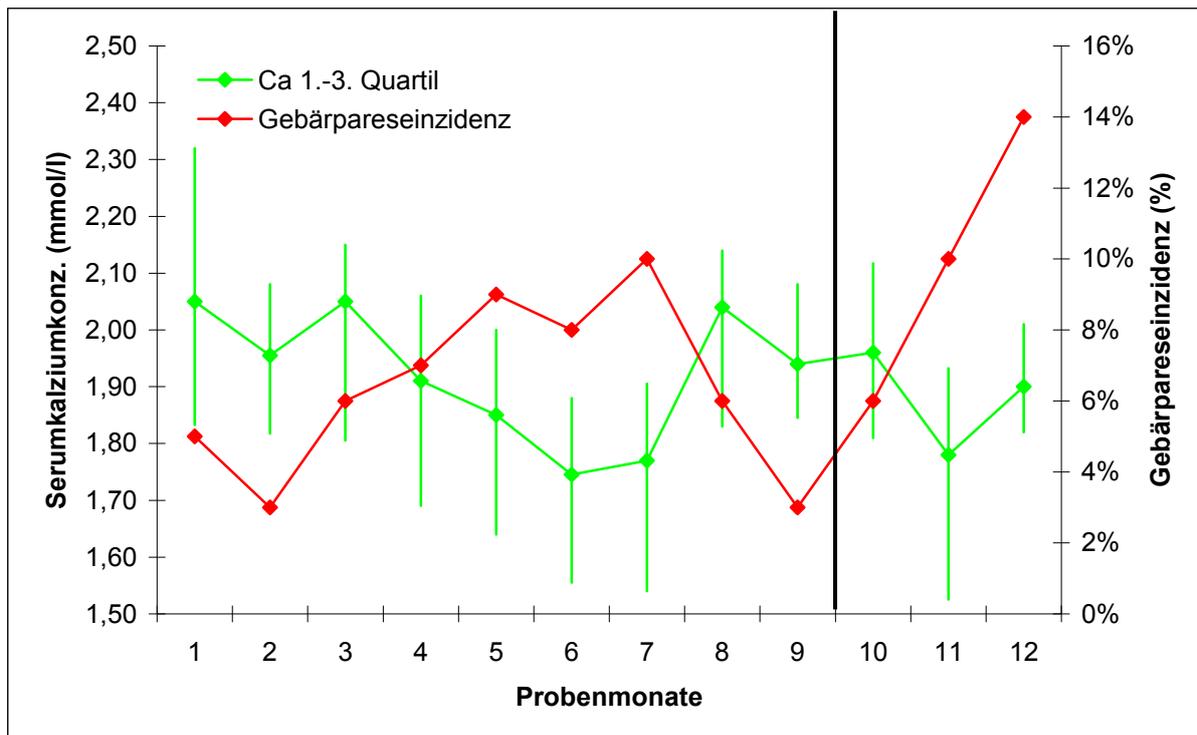


Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der Gebärpareseinzidenz in Bezug zur monatlichen Verteilung der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. (grüner Punkt = Median, das Ende des senkrechten grünen Striches markiert das 1. bzw. 3. Quartil; die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung)

Der Median der Serumkalziumkonzentration 1 Tag p.p. verhält sich parallel zum Median der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. (Abbildung 17). Es ist der gleiche gegenläufige Trend zur Gebärpareseinzidenz erkennbar. Der Median der Serumkalziumkonzentration liegt hier etwas höher im Vergleich zum Median der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. (Abbildung 17).

Der Mittelwert und der Median der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. korrelieren tendenziell ($p=0,06$ bzw. $0,07$) zur monatlichen Gebärpareseinzidenz (Tabelle 49 und Tabelle

50). Einen Tag nach der Kalbung korreliert der Mittelwert der Serumkalziumkonzentration signifikant ($p < 0,05$) zur monatlichen Gebärpareseinzidenz (Tabelle 52).

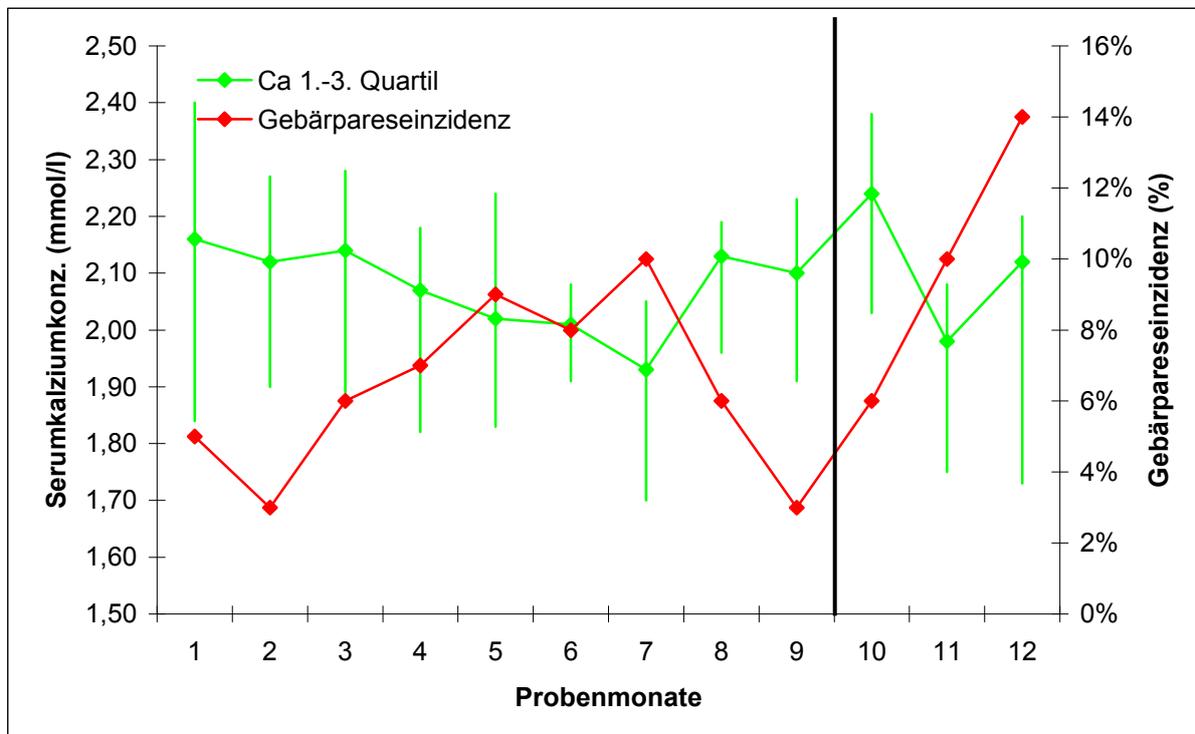


Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der Gebärpareseinzidenz in Bezug zur monatlichen Verteilung der Serumkalziumkonzentration 1 Tag p.p. (grüner Punkt = Median, das Ende des senkrechten grünen Striches markiert das 1. bzw. 3. Quartil, die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung)

Die mittlere Serumkalziumkonzentrationen einen Tag p.p. der Kühe der vierten (1,94 mmol/l) bis sechsten Laktation (1,87 mmol/l) sind signifikant niedriger als die Mittelwerte der Kühe der ersten (2,13 mmol/l) und zweiten Laktation (2,09 mmol/l) (Abbildung 45 und Tabelle 53). Die mittleren NEFA-Konzentrationen einen Tag p.p. verhalten sich genau umgekehrt (Abbildung 46). Die Kühe der vierten (0,87 mmol/l) bis sechsten (1,05 mmol/l) Laktation haben signifikant höhere mittlere NEFA-Konzentrationen als die Kühe der ersten (0,65 mmol/l) und zweiten (0,62 mmol/l) Laktation (Tabelle 54).

Die Kühe mit einer subklinischen Hypokalzämie am Tag der Kalbung und einen Tag nach der Kalbung haben signifikant höhere NEFA-Konzentrationen am Tag der Kalbung bzw. am Tag nach der Kalbung im Vergleich zu den normokalzämischen Kühen (Tabelle 19). Sind die Kühe zum Zeitpunkt der Kalbung hypokalzämisch, sind die NEFA-Werte am Tag 7

signifikant höher als bei Kühen, die zum Zeitpunkt der Kalbung normokalzämisch sind (Tabelle 20). Liegt am Tag 1 p.p. eine Hypokalzämie vor, haben diese Tiere höhere NEFA- und BHB-Werte (Tabelle 21).

Bei den Kühen mit einer subklinischen Hypokalzämie 1 Tag p.p. fällt zusätzlich zu den signifikant höheren NEFA-Konzentrationen eine signifikant höhere BHB-Konzentration 1 Tag p.p. auf (Tabelle 20).

Tabelle 19: Entwicklung von NEFA (mmol/l) und BHB (mg/l) der pluriparen Kühe in Abhängigkeit von der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. und einen Tag p.p.

| Parameter | Ca direkt p.p. | n | \bar{x}_{ar} | s |
|------------------|----------------------|-----|--------------------|------|
| NEFA direkt p.p. | $\leq 2,0$ mmol/l | 345 | 1,01 ^{c)} | 0,48 |
| | $> 2,0$ mmol/l | 233 | 0,94 ^{d)} | 0,43 |
| BHB direkt p.p. | $\leq 2,0$ mmol/l | 368 | 48,0 | 21,2 |
| | $> 2,0$ mmol/l | 240 | 50,8 | 32,6 |
| | Ca 1 Tag p.p. | | | |
| NEFA 1 Tag p.p. | $\leq 2,0$ mmol/l | 253 | 0,89 ^{a)} | 0,53 |
| | $> 2,0$ mmol/l | 325 | 0,64 ^{b)} | 0,42 |
| BHB 1 Tag p.p. | $\leq 2,0$ mmol/l | 271 | 75,0 ^{a)} | 25,0 |
| | $> 2,0$ mmol/l | 336 | 67,8 ^{b)} | 46,2 |

a) und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

c und d) tendenzieller Unterschied ($p < 0,1$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

Tabelle 20: Beziehung der Serumkalziumkonzentration der pluriparen Kühe direkt nach der Kalbung zu den NEFA- (mmol/l) und BHB - Konzentrationen (mg/l) 7 Tage p.p.

| Parameter | Ca direkt p.p. | n | \bar{x}_{ar} | s |
|---------------|-------------------|-----|--------------------|------|
| BHB 7 T p.p. | $\leq 2,0$ mmol/l | 137 | 101,3 | 54,2 |
| | $> 2,0$ mmol/l | 106 | 98,3 | 44,6 |
| NEFA 7 T p.p. | $\leq 2,0$ mmol/l | 122 | 1,14 ^{a)} | 0,55 |
| | $> 2,0$ mmol/l | 103 | 0,93 ^{b)} | 0,53 |

a) und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

Tabelle 21: Beziehung der Serumkalziumkonzentration der pluriparen Kühe 1 Tag nach der Kalbung zu den NEFA- (mmol/l) und BHB - Konzentrationen (mg/l) 7 Tage p.p.

| Parameter | Ca 1 Tag p.p. | n | \bar{x}_{ar} | s |
|---------------|-------------------|-----|----------------|------|
| BHB 7 T p.p. | $\leq 2,0$ mmol/l | 102 | 100,6 | 55,9 |
| | $> 2,0$ mmol/l | 141 | 99,6 | 45,9 |
| NEFA 7 T p.p. | $\leq 2,0$ mmol/l | 91 | 1,11 | 0,53 |
| | $> 2,0$ mmol/l | 134 | 1,00 | 0,57 |

a) und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

Vergleicht man die Kalziumspiegel im Serum bei den Kühen, bei denen jeweils ein Messwert am Tag der Kalbung, einen und sieben Tage nach der Kalbung vorhanden ist, stellt man zwischen den mittleren Kalziumwerten signifikante Unterschiede fest (Tabelle 24). Liegt einen Tag nach der Kalbung die Kalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l, so unterscheiden sich die mittleren Serumkalziumspiegel dieser Kühe sieben Tage p.p. signifikant von den Tieren, die einen Tag p.p. normokalzämisch waren (Tabelle 22). Einen signifikanten Einfluss auf den mittleren Kalziumspiegel hat sowohl die Zeit als fester Faktor als auch das jeweilige Tier als Zufallsfaktor (Tabelle 23 und Tabelle 24).

Tabelle 22: Beziehung der Serumkalziumkonzentration (mmol/l) der pluriparen Kühe direkt p.p. und 1 Tag p.p. zu der Serumkalziumkonzentrationen (mmol/l) der pluriparen Kühe 7 Tage p.p.

| Parameter | Ca direkt p.p. | n | \bar{x}_{ar} | s |
|--------------------------|----------------------|-----|--------------------|------|
| Kalziumkonz. 7 T p.p. | $\leq 2,0$ mmol/l | 137 | 2,22 | 0,22 |
| | $> 2,0$ mmol/l | 213 | 2,26 | 0,23 |
| | Ca 1 Tag p.p. | | | |
| Kalziumkonz. 7 T p.p. | $\leq 2,0$ mmol/l | 128 | 2,17 ^{a)} | 0,23 |
| | $> 2,0$ mmol/l | 222 | 2,29 ^{b)} | 0,21 |

a) und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

Tabelle 23: Deskriptive Statistik und Einfluss der varianzanalytischen Faktoren auf die mittlere Serumkalziumkonzentration (mmol/l) der Kühe mit jeweils einem Serumkalziumwert direkt p.p., einen und sieben Tage p.p.

| Parameter | n | \bar{x}_{ar} | s | Zeiteffekt* | Tiereffekt* |
|-----------------------|-----|----------------|------|-------------|-------------|
| Serumkalzium (mmol/l) | 243 | 2,07 | 0,29 | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ |

* in der univariaten Varianzanalyse

Tabelle 24: Vergleich der Serumkalziummittelwerte (mmol/l) der pluriparen Kühe zu den einzelnen Messzeitpunkten

| Zeitpunkt | n | \bar{x}_{ar} | s | Signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zu Zeitpunkt |
|-------------|-----|----------------|------|---|
| Kalbung | 243 | 1,92 | 0,31 | Tag 1 p.p., 7 p.p. |
| 1 Tag p.p. | 243 | 2,02 | 0,35 | Kalbung, 7 Tage p.p. |
| 7 Tage p.p. | 243 | 2,28 | 0,22 | Kalbung, Tag 1 p.p. |

4.3. Untersuchung der Harnproben

4.3.1. Prüfung auf Normalverteilung der Harnparameter

Unter Anwendung des Kolmogorov-Smirnov-Test wurden die Werte der Einzel-, Mittel- und Poolwerte auf Normalverteilung überprüft (Tabelle 25). Dabei wurde zwischen der Fütterung mit und ohne anionische Salze unterschieden. Bei Unterschreiten der Irrtumswahrscheinlichkeit von $p = 0,05$ kann nicht mehr von einer Normalverteilung ausgegangen werden.

Nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test sind die pH-, NSBA- und Harnkalzium-Einzelwerte bei Fütterung anionischer Salze nicht normal verteilt. Die pH-, NSBA- und Harnkalziumwerte der Harnpoolproben und Mittelwerte weisen nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test eine Normalverteilung auf.

Unabhängig von dem Ergebnis des Kolmogorov-Smirnov-Test wurde für die pH- und NSBA- und die Harnkalziumwerte bei Fütterung anionischer Salze eine Normalverteilung angenommen, da die Verteilung der pH- NSBA- und Harnkalzium-Einzelwerte im Histogramm einer Normalverteilung nahe kommt (Abbildung 48, Abbildung 49 und Abbildung 50).

Tabelle 25: Test auf Normalverteilung der Harnparameter für die Einzel- und Poolproben

| | pH | | NSBA (mmol/l) | | Harnkalziumkonz. (mmol/l) | |
|-----------------------|--------|--------|------------------|---------|------------------------------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Einzelprobe | | | | | | |
| n | 445 | 135 | 445 | 135 | 375 | 45 |
| x_{ar} | 6,83 | 8,04 | +11,81 | +129,74 | 8,54 | 0,82 |
| s | 0,75 | 0,20 | 36,7 | 54,42 | 6,00 | 0,86 |
| p | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,988 | 0,002 | 0,124 |
| Poolprobe | | | | | | |
| n | 58 | 16 | 58 | 16 | 58 | 16 |
| x_{ar} | 7,38 | 8,37 | +17,35 | +120,5 | 8,54 | 2,14 |
| s | 0,63 | 0,15 | 24,23 | 29,0 | 6,00 | 1,55 |
| p | 0,112 | 0,809 | 0,490 | 0,330 | 0,571 | 0,826 |
| Mittelwert | | | | | | |
| n | 58 | 16 | 58 | 16 | 50 | 6 |
| x_{ar} | 6,72 | 8,03 | +10,5 | +126,7 | 8,72 | 0,72 |
| s | 0,58 | 0,08 | 24,73 | 29,8 | 3,31 | 0,67 |
| p | 0,370 | 0,271 | 0,414 | 0,237 | 0,658 | 0,776 |

- 1) Fütterung mit Anionen
2) Fütterung ohne Anionen

4.3.2. Beschreibung der Harnparameter über die Zeit

Der zeitliche Verlauf der Harnparameter ist in den Abbildung 18 bis Abbildung 22 zu entnehmen. Die jeweiligen Mittelwerte (x_{ar}) werden zusammen mit ihrer Standardabweichung (s) angegeben.

Der Mittelwert des pH-Wertes im Harn der Einzelproben liegt während der Fütterung anionischer Salze bei 6,83 ($\pm 0,75$) und ohne Fütterung anionischer Salze bei 8,04 ($\pm 0,38$) (Tabelle 58). Das arithmetische Mittel der NSBA aus den Harneinzelproben beträgt mit Fütterung anionischer Salze +11,81 mmol/l ($\pm 36,7$ mmol/l) und ohne Fütterung anionischer Salze +129,7 mmol/l ($\pm 54,4$ mmol/l) (Tabelle 58). Die mittlere Harnkalziumkonzentration der Einzelproben weist mit Fütterung anionischer Salze einen Wert von 8,54 mmol/l ($\pm 6,00$

mmol/l) und ohne Fütterung einer Anionenration einen Mittelwert von 0,82 mmol/l (\pm 0,86 mmol/l) auf (Tabelle 58).

Die Mittelwerte des Harn-pH-Wertes, der NSBA und der Harnkalziumkonzentration der Einzelwerte mit und ohne Fütterung anionischer Salze unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$) voneinander (Tabelle 58).

Die mittleren monatlichen NSBA-Werte sowie der entsprechende jeweilige monatliche Median der Harneinzelproben liegen bei Fütterung anionischer Salze (Probenmonate 1-9) alle im Bereich von -50 mmol/l bis +50 mmol/l (Tabelle 55 und Abbildung 51). Der mittlere monatliche Harn-pH-Wert der Harneinzelproben liegt zwischen 6,52 und 7,69 bei Fütterung anionischer Salze (Tabelle 56). Die mittlere monatliche Kalziumkonzentration im Harn der Harneinzelproben liegt zwischen 6,49 bis 13,57 mmol/l bei Fütterung anionischer Salze (Tabelle 57). In den Probenmonaten 3 bis 7 liegt der Median der Harnkalziumkonzentration jeweils unter 7,0 mmol/l (Tabelle 57).

Mit dem Absetzen der anionischen Salze kommt es zu einem signifikanten Anstieg der NSBA- (Abbildung 18) und der Harn-pH-Werte der Harneinzelproben. Die Harnkalziumkonzentration der Harneinzelproben fällt mit dem Absetzen der anionischen Salze signifikant ab (Abbildung 19).

Bei der Betrachtung der einzelnen Probenstage fällt eine weite Streuung der pH- und NSBA-Werte (Abbildung 18) sowie der Harnkalziumkonzentration (Abbildung 19) der einzelnen Tiere während der Fütterung anionischer Salze auf. Die niedrigsten Harn-pH-Einzelwerte liegen bei Werten von 5,5 (x_{\min}) (Ende des unteren Messbereiches der Harn-pH-Streifen), die höchsten bei 8,1 (x_{\max}) (Ende des oberen Messbereiches der Harn-pH-Streifen) während der Fütterung anionischer Salze (Tabelle 58). Am fünften Probenstag haben alle beprobten Kühe einen Harn-pH-Wert von 5,5, die entsprechenden NSBA-Werte liegen zwischen -65 mmol/l und +2 mmol/l mit einem Mittelwert der NSBA-Werte von -28 mmol/l. Dies ist der einzige Probenstag während der Fütterung anionischer Salze, an dem alle Kühe den gleichen pH-Wert haben. Am zweiunddreißigsten Probenstag haben bis auf zwei von fünfzehn Tieren einen Harn-pH von 6,0. An diesem Probenstag liegen die entsprechenden NSBA-Werte zwischen -63 mmol/l und -3 mmol/l mit einem Mittelwert der NSBA-Werte bei -30 mmol/l.

Die NSBA der Einzelproben nimmt über den Untersuchungszeitraum mit Fütterung anionischer Salze Werte zwischen dem niedrigsten Wert von -70 mmol/l (x_{\min}) und dem höchstem gemessenen Wert von +156 mmol/l (x_{\max}) an (Tabelle 58). Im Vergleich zum Harn-pH-Wert nehmen die NSBA-Werte an keinem Probenstag alle die gleichen Werte an. 75% aller NSBA-Einzelwerte sind kleiner als 30,1 mmol/l ($x_{0,75}$) (Tabelle 58).

Die Einzelwerte der Harnkalziumkonzentration liegen alle zwischen dem niedrigsten Wert von 0,11 mmol/l (x_{\min}) und dem höchsten gemessenen Wert von 32,3 mmol/l (x_{\max}). 50% aller gemessenen Harnkalziumkonzentrationen liegen unter 7,25 mmol/l ($x_{0,5}$) und 25% der Einzelwerte unter 3,72 mmol/l ($x_{0,25}$) (Tabelle 58).

Nach dem Absetzen der anionischen Salze verschieben sich die Harn-pH-Werte der Einzeltiere hauptsächlich in den Bereich zwischen 7,8 und 8,1 (Ende des oberen Messbereiches der Harn-pH-Streifen) (Tabelle 58). Vereinzelt haben Tiere pH-Werte, die kleiner als 7,8 sind. Die niedrigsten Werte erreichen zwei Kühe mit einem pH-Wert von 6,9 (x_{\min}). Die NSBA-Werte liegen während des Zeitraumes der kalziumreduzierten Fütterung in einem Bereich von +9 mmol/l (x_{\min}) und +265 mmol/l (x_{\max}) (Tabelle 58), wobei sich die meisten Tiere in dem Bereich zwischen +50 mmol/l und +200 mmol/l befinden (Abbildung 18). Genau wie mit Fütterung anionischer Salze ist bei den Einzelwerten der NSBA eine große Streuung zu beobachten (Abbildung 18). Die Einzelwerte der Harnkalziumkonzentration sinken nach Absetzen der anionischen Salze in einen Bereich zwischen 0,01 mmol/l (x_{\min}) bis 3,13 mmol/l (x_{\max}) (Abbildung 19). 75% der Einzelwerte der Harnkalziumkonzentration liegen bei kalziumreduzierter Diät unter 1,23 mmol/l ($x_{0,75}$).

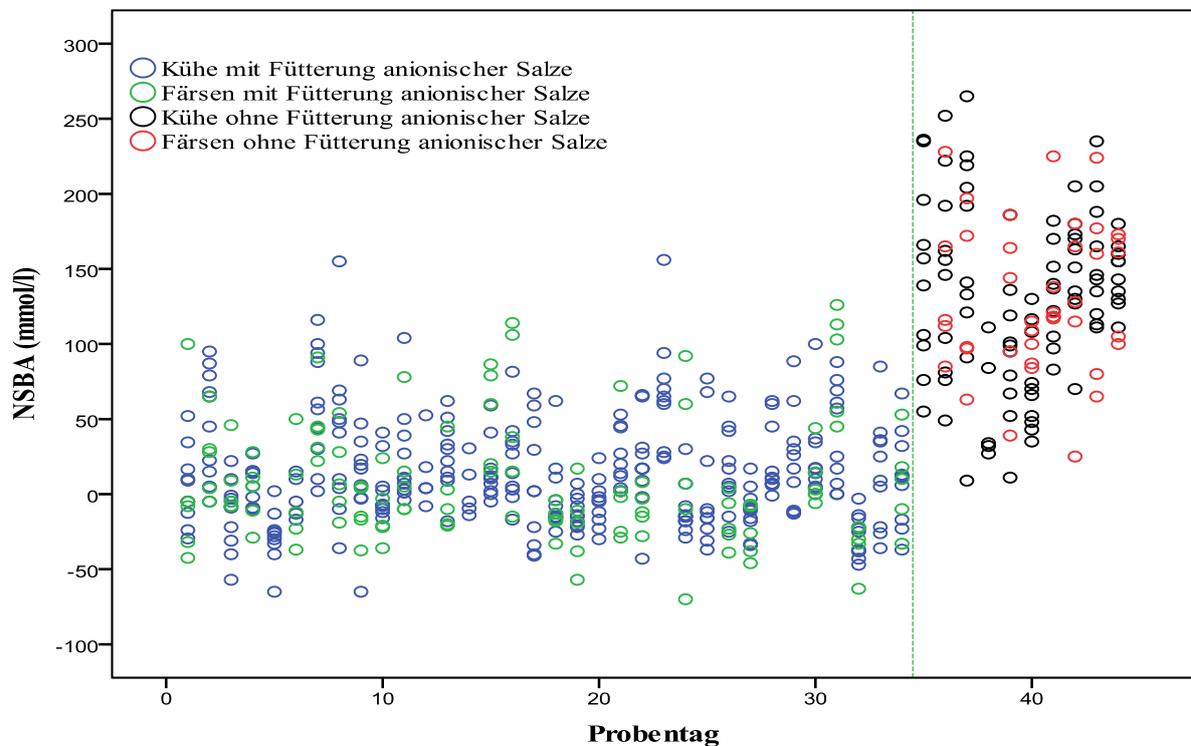


Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der NSBA der Einzelproben (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von Fütterung anionischer Salze zur Fütterung ohne anionische Salze)

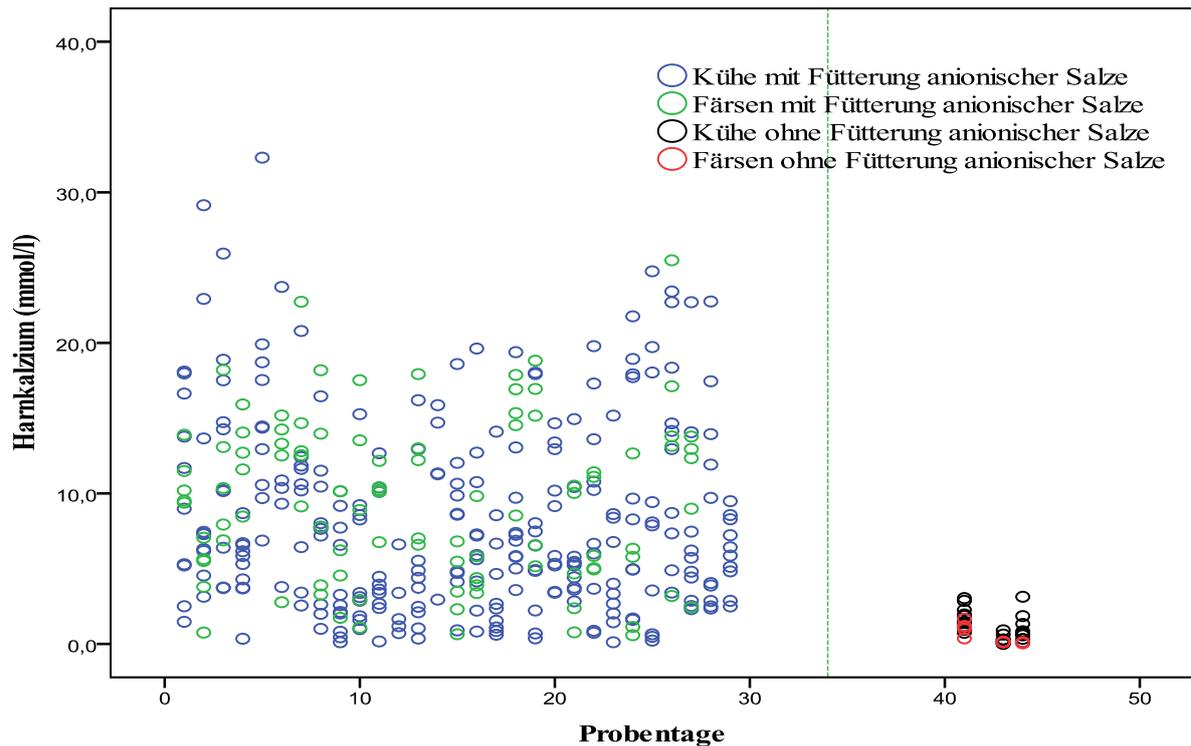


Abbildung 19: Zeitlicher Verlauf der Harnkalziumkonzentration der Einzelproben (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von Fütterung anionischer Salze zur Fütterung ohne anionische Salze)

Der Mittelwert des pH-Wertes der Harnpoolproben liegt während der Fütterung anionischer Salze bei $7,38 (\pm 0,63)$ und ohne Fütterung anionischer Salze bei $8,37 (\pm 0,15)$ (Tabelle 59). Das arithmetische Mittel der NSBA aus den Harnpoolproben beträgt mit der Fütterung einer Anionenration $+17,35 \text{ mmol/l} (\pm 24,23 \text{ mmol/l})$ und mit kalziumreduzierter Fütterung $+120,5 \text{ mmol/l} (\pm 29,0 \text{ mmol/l})$ (Tabelle 59). Die mittlere Harnkalziumkonzentration der Poolproben misst mit Fütterung anionischer Salze einen Wert von $7,85 \text{ mmol/l} (\pm 3,64 \text{ mmol/l})$ und ohne Fütterung einer Anionenration einen Mittelwert von $2,14 \text{ mmol/l} (\pm 1,55 \text{ mmol/l})$ (Tabelle 59). Zwischen den Mittelwerten des Harn-pH-Wertes, der NSBA und der Harnkalziumkonzentration der Harnpoolproben mit und ohne Fütterung anionischer Salze besteht ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) (Tabelle 59).

Mit der Umstellung von einer Anionenration zu einer kalziumreduzierten Fütterung kommt es zu einem signifikanten Anstieg der NSBA- (Abbildung 20) und der Harn-pH-Werte der Harnpoolproben (Abbildung 21). Die Harnkalziumkonzentration der Harnpoolproben fällt mit dem Absetzen der Anionenration signifikant ab (Abbildung 22).

Über den Zeitraum der Fütterung der Anionenration fällt eine weite Streuung der pH-, NSBA- und Harnkalziumpoolwerte auf. Die pH-Werte der Harnpoolproben liegen zwischen $5,6 (x_{\min})$

und 8,13 (x_{\max}) mit Fütterung einer Anionenration. 25% aller Pool-pH-Werte befinden sich zwischen einem pH von 7,11 und 7,54 ($x_{0,5} - x_{0,25}$) (Tabelle 59).

Während der Fütterung der Anionenration liegen die NSBA-Werte der Poolproben zwischen -36,0 mmol/l (x_{\min}) und +84,0 mmol/l (x_{\max}) (Tabelle 59). Die Poolwerte der Harnkalziumkonzentration liegen mit Fütterung anionischer Salze in einem Bereich zwischen 1,12 mmol/l (x_{\min}) und 14,49 mmol/l (x_{\max}). 75% aller NSBA-Poolwerte haben einen kleineren Wert als +29,0 mmol/l ($x_{0,75}$) und 25% aller NSBA-Poolwerte ist kleiner als +3 mmol/l ($x_{0,25}$) (Tabelle 59).

Die Poolwerte der Harnkalziumkonzentration nehmen mit Fütterung anionischer Salze Werte von 1,12 mmol/l (x_{\min}) bis 14,49 mmol/l (x_{\max}) an. 25% aller Harnkalzium-Poolwerte sind kleiner als 4,99 mmol/l ($x_{0,25}$) (Tabelle 59). Damit liegen 75% aller Poolwerte der Harnkalziumkonzentration über 4,99 mmol/l. ($x_{0,25}$) (Tabelle 59).

Nach dem Absetzen der anionischen Salze verschieben sich die Harn-pH-Poolwerte in den Bereich zwischen 8,13 (x_{\min}) und 8,57 (x_{\max}) (Abbildung 21). Die NSBA-Poolwerte liegen während des Zeitraumes der kalziumreduzierten Fütterung in einem Bereich von +61,0 mmol/l (x_{\min}) und +151,5 mmol/l (x_{\max}). Genau wie mit Fütterung anionischer Salze ist bei den Poolwerten der NSBA und des Harn-pH eine große Streuung zu beobachten (Abbildung 20 und Abbildung 21). Die Poolwerte der Harnkalziumkonzentration sinken nach Absetzen der anionischen Salze in einen Bereich zwischen 0,11 mmol/l (x_{\min}) bis 5,89 mmol/l (x_{\max}). 75% der Poolwerte der Harnkalziumkonzentration liegen bei kalziumreduzierter Diät unter 3,11 mmol/l ($x_{0,75}$).

Vergleicht man die die Verteilung der Einzel- und der Poolwerte pro Probenstag, so fällt auf, dass sich die Poolwerte immer parallel zu der Punktwolke der Einzelwerte verschieben.

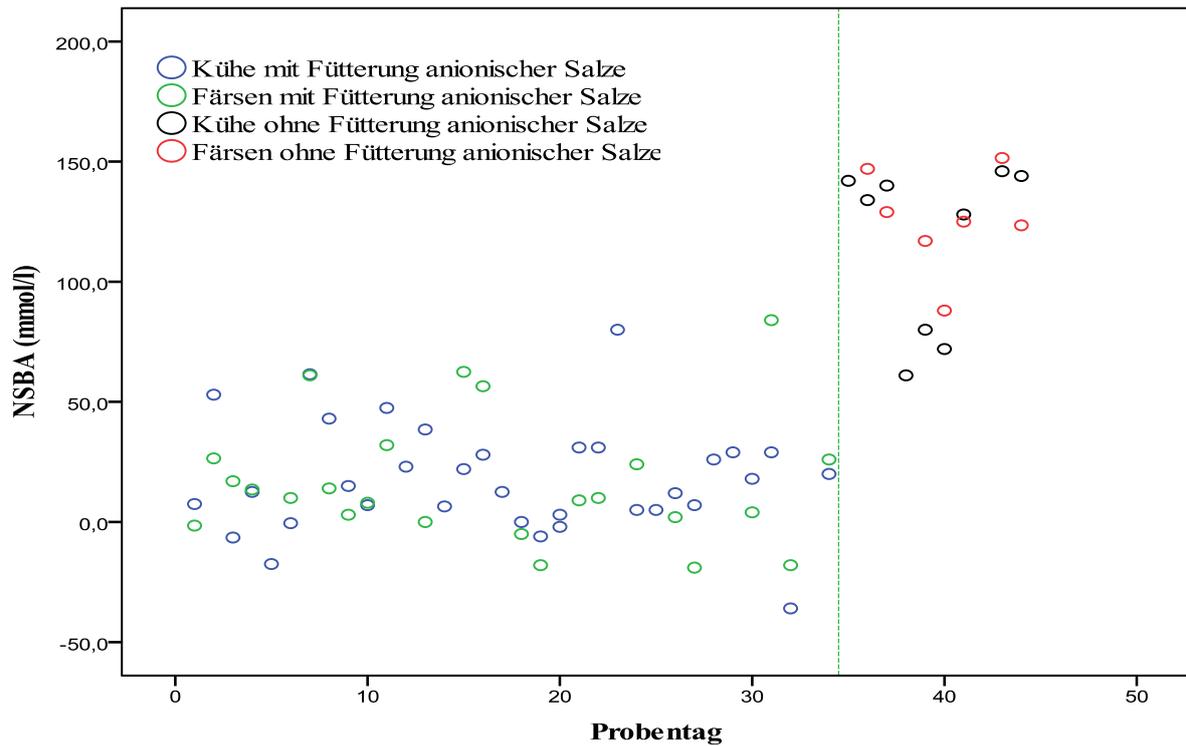


Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf der NSBA der Harnpoolproben (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von Fütterung anionischer Salze zur Fütterung ohne anionische Salze)

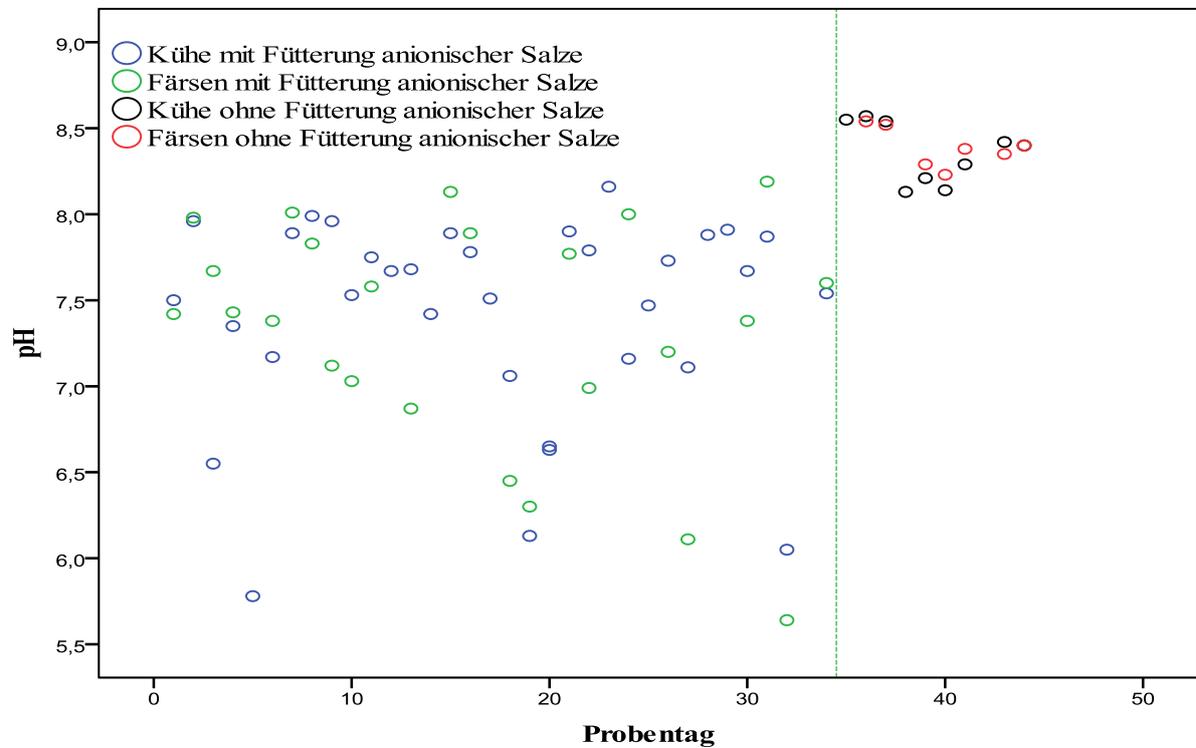


Abbildung 21: Zeitlicher Verlauf des Harn-pH der Poolproben (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von Fütterung anionischer Salze zur Fütterung ohne anionische Salze)

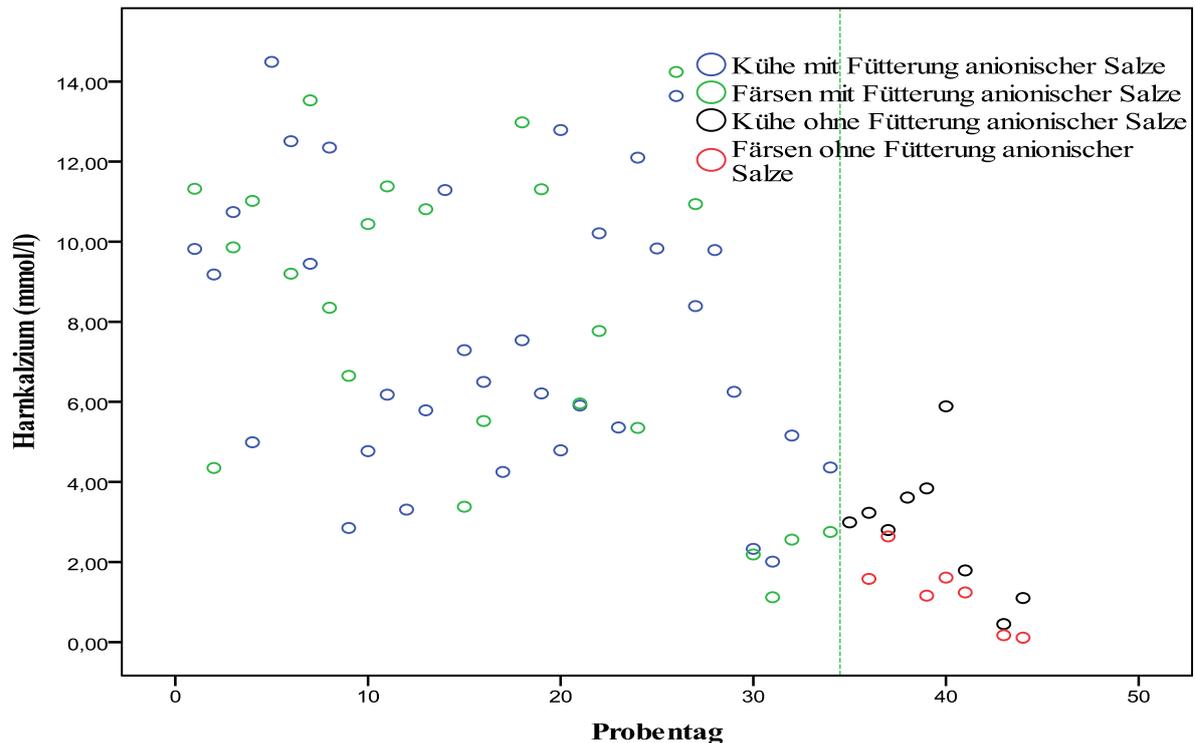


Abbildung 22: Zeitlicher Verlauf der Harnkalziumkonzentration der Poolproben (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von Fütterung anionischer Salze zur Fütterung ohne anionische Salze)

4.3.3. Vergleich der Harnparameter zwischen Kühen und Färsen

Um zu überprüfen, ob sich die NSBA- und pH-Werte sowie die Kalziumkonzentration im Harn der Färsen und Kühe gleich verhalten, wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Probentag als Parameter für die Zeit und dem Faktor Färse oder Kuh durchgeführt.

Die Mittelwerte der pH- und NSBA-Werte der Kühe sind im Vergleich zu den entsprechenden Mittelwerten der Färsen etwas erhöht (Tabelle 27 und Tabelle 28). Bei der Harnkalziumkonzentration verhält es sich genau umgekehrt, hier liegt der Mittelwert der Kühe etwas unter dem der Färsen (Tabelle 29).

Die Konfidenzintervalle des pH-Wertes, der NSBA und der Harnkalziumkonzentration der Färsen und Kühe liegen jeweils in ähnlichen Bereichen und überschneiden sich (Tabelle 27 bis Tabelle 29).

Es gibt jeweils keinen signifikanten Unterschied zwischen den pH- ($p=0,07$), NSBA-Werten ($p=0,184$) sowie den Harnkalziumkonzentrationen ($p=0,06$) der Färsen und Kühen (Tabelle 26). Der pH, die NSBA und die Harnkalziumkonzentration werden nur signifikant von dem Faktor Zeit beeinflusst ($p<0,001$).

Tabelle 26: Deskriptive Statistik und Einfluss der varianzanalytischen Faktoren auf die Harnparameter pH, NSBA (mmol/l) und Harnkalziumkonzentration (mmol/l)

| | n | \bar{x}_{ar} | s | p Faktor Gruppe | p Faktor Zeit | p Interaktion der Faktoren |
|------|-----|----------------|------|--------------------|------------------|----------------------------------|
| NSBA | 475 | +11,8 | 36,7 | 0,184 | <0,001 | 0,119 |
| pH | 475 | 6,85 | 0,75 | 0,07 | <0,001 | 0,077 |
| Ca | 295 | 8,64 | 5,84 | 0,06 | 0,001 | 0,026 |

Tabelle 27: Deskriptive Statistik der NSBA-Werte für Kühe und Färsen in mmol/l

| | n | Mittelwert | 95% Konfidenzintervall |
|--------|-----|------------|------------------------|
| Kühe | 315 | 42,99 | 39,03 – 46,95 |
| Färsen | 160 | 38,40 | 32,89 – 43,91 |

Tabelle 28: Deskriptive Statistik der pH-Werte für Kühe und Färsen

| | n | Mittelwert | 95% Konfidenzintervall |
|--------|-----|------------|------------------------|
| Kühe | 315 | 7,15 | 7,09 – 7,21 |
| Färsen | 160 | 7,06 | 6,97 – 7,14 |

Tabelle 29: Deskriptive Statistik der Harnkalziumwerte für Kühe und Färsen in mmol/l

| | n | Mittelwert | 95% Konfidenzintervall |
|--------|-----|------------|------------------------|
| Kühe | 195 | 8,26 | 7,49 – 9,04 |
| Färsen | 100 | 9,55 | 8,48 – 10,61 |

4.3.4. Vergleich von Mittelwerten und Poolwerten

Für den Untersuchungszeitraum der Fütterung anionischer Salze wurden die Mittelwerte der Harneinzelproben mit den Poolwerten aus den Harneinzelproben des jeweiligen Proben-tages verglichen.

Bei dieser Untersuchung wurde aus den zehn Harneinzelproben der Kühe der jeweilige Parameter bestimmt und aus den zehn Werten das arithmetische Mittel errechnet. Für die Färsen wurde jeweils aus fünf Harneinzelproben der jeweilige Parameter gemessen und das

arithmetische Mittel aus den fünf Werten bestimmt. Zusätzlich wurde aus den Einzelproben des jeweiligen Probenages jeweils eine Poolprobe für die Kühe und die Färsen erstellt und der Poolwert der Parameter gemessen.

In der Tabelle 30 und der Abbildung 23 bis Abbildung 25 werden die Ergebnisse der Regressionsanalyse dargestellt. Für den pH-Wert ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von 0,78 ($p < 0,001$). Für die NSBA beträgt der Korrelationskoeffizient 0,99 ($p < 0,001$) und für die Harnkalziumkonzentration 0,96 ($p < 0,001$). Für die Parameter pH und NSBA umschreibt das 95% Konfidenzintervall die Idealgerade $y = x$ nicht. Dagegen umschreibt der Parameter der Harnkalziumkonzentration die Idealgerade $y = x$.

Tabelle 30: Beziehung zwischen Mittelwerten und Poolwerten im Harn

| | n | r | a | b | 95% Konfidenzintervall | | p | R ² |
|------|----|------|------|------|------------------------|-------------|--------|----------------|
| | | | | | von a | von b | | |
| pH | 74 | 0,78 | 2,53 | 0,72 | 1,57 – 3,49 | 0,59 - 0,86 | <0,001 | 0,61 |
| NSBA | 74 | 0,99 | 7,69 | 0,90 | 5,53 – 9,85 | 0,86 – 0,93 | <0,001 | 0,98 |
| Ca | 56 | 0,96 | 0,44 | 0,94 | -0,20 – 1,07 | 0,87 – 1,01 | <0,001 | 0,93 |

$y = bx + a$ $y = \text{Poolwert}; x = \text{Mittelwert}$

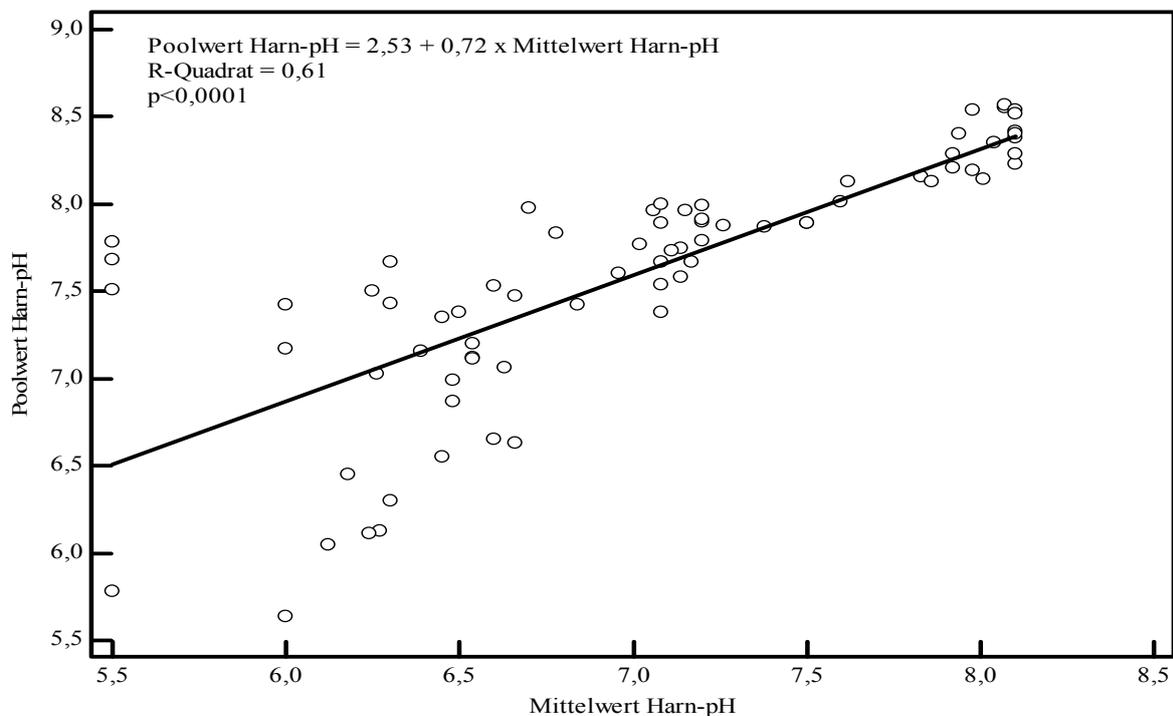


Abbildung 23: Beziehung zwischen den Pool- und Mittelwerten des pH-Wertes im Harn

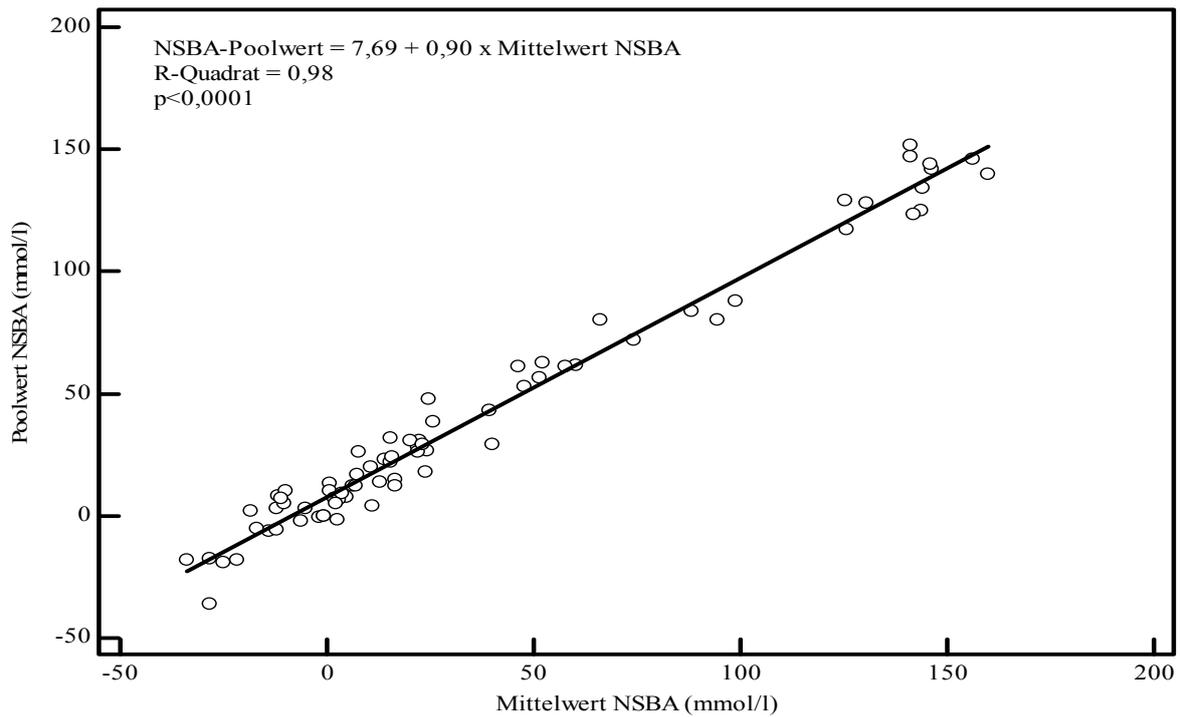


Abbildung 24: Beziehung zwischen den Pool- und Mittelwerten der NSBA im Harn

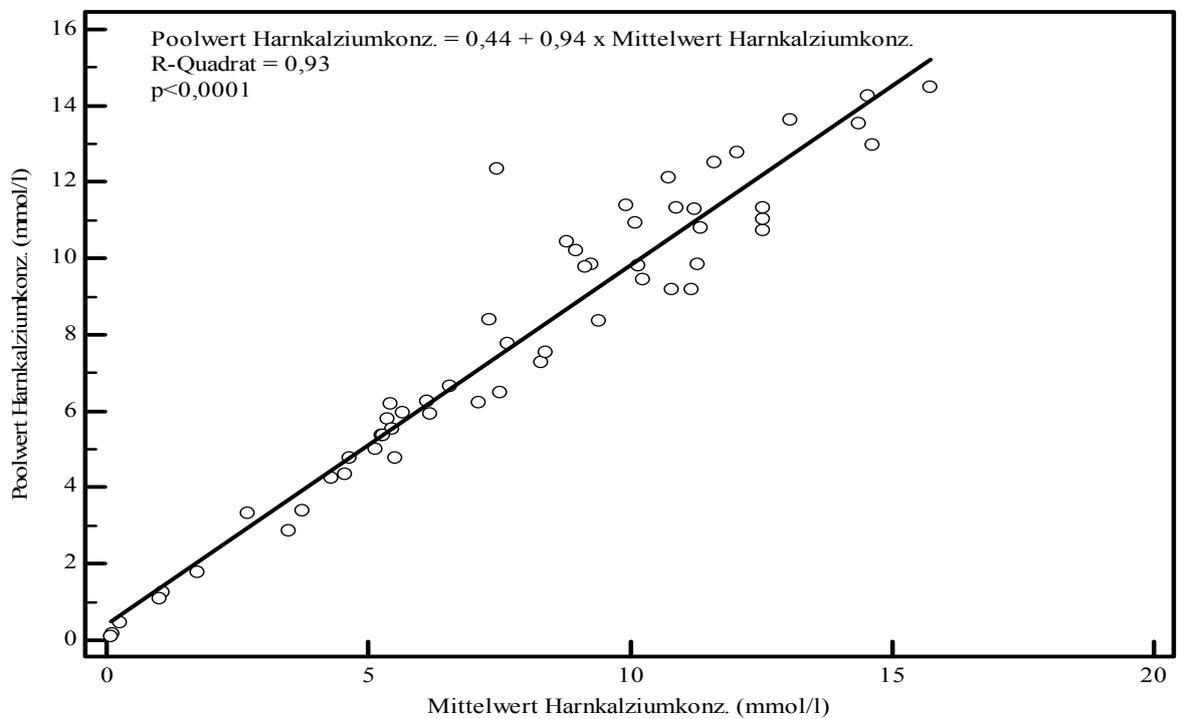


Abbildung 25: Beziehung zwischen den Pool- und Mittelwerten der Kalziumausscheidung im Harn

4.3.5. Beziehung zwischen den Harnparametern

Zur Untersuchung der Beziehung der Harnparameter bei Fütterung anionischer Salze wurden die Harnparameter einander gegenübergestellt.

Dabei wurden die Beziehung der Harn-pH-Werte zu den NSBA-Werten aus den Poolproben und den Einzelproben zueinander untersucht. Die Harnkalziumkonzentration wurde dem Harn-pH und der NSBA gegenübergestellt. Für diese Untersuchungen wurden sowohl die Pool- als auch die Einzelproben verwendet. Die Zusammenhänge sind in der Abbildung 26 bis Abbildung 30 dargestellt.

Die Beziehung Harn-pH zu NSBA zeigt für die Harnpool- und Harn-einzelproben ein ähnliches Bild (Abbildung 26 und Abbildung 27). Zwischen Harn-pH und NSBA besteht ein nichtlinearer Zusammenhang. Die Verteilung der Harn-pH-Werte ähnelt einem exponentialem Verlauf. Im Bereich einer NSBA über + 100 mmol/l bleibt der Harn-pH relativ unverändert. Noch bis in den NSBA-Bereich um + 10 bis + 25 mmol/l reagiert der Harn-pH mit einem nur sehr geringen Rückgang. Bei einer NSBA um 0 mmol/l fällt er dann sehr schnell in einen Bereich unter 6,0 ab. Bei der Betrachtung des Verhältnisses zwischen den Einzelwerten der NSBA und dem pH fällt auf, dass der Harn-pH in diesem Fall als abhängige Größe zur NSBA im Bereich der NSBA von -50 mmol/l bis +50 mmol/l eine starke Streuung aufweist. So variiert z.B. bei einer NSBA um 0 mmol/l der pH im Harn von 5,5 bis 7,5. In dem Bereich der NSBA von 0 mmol/l bis -50 mmol/l stoppt der drastische Abfall des Harn-pH und der Harn-pH nimmt Werte zwischen 5 und 6 an (Abbildung 26 und Abbildung 27).

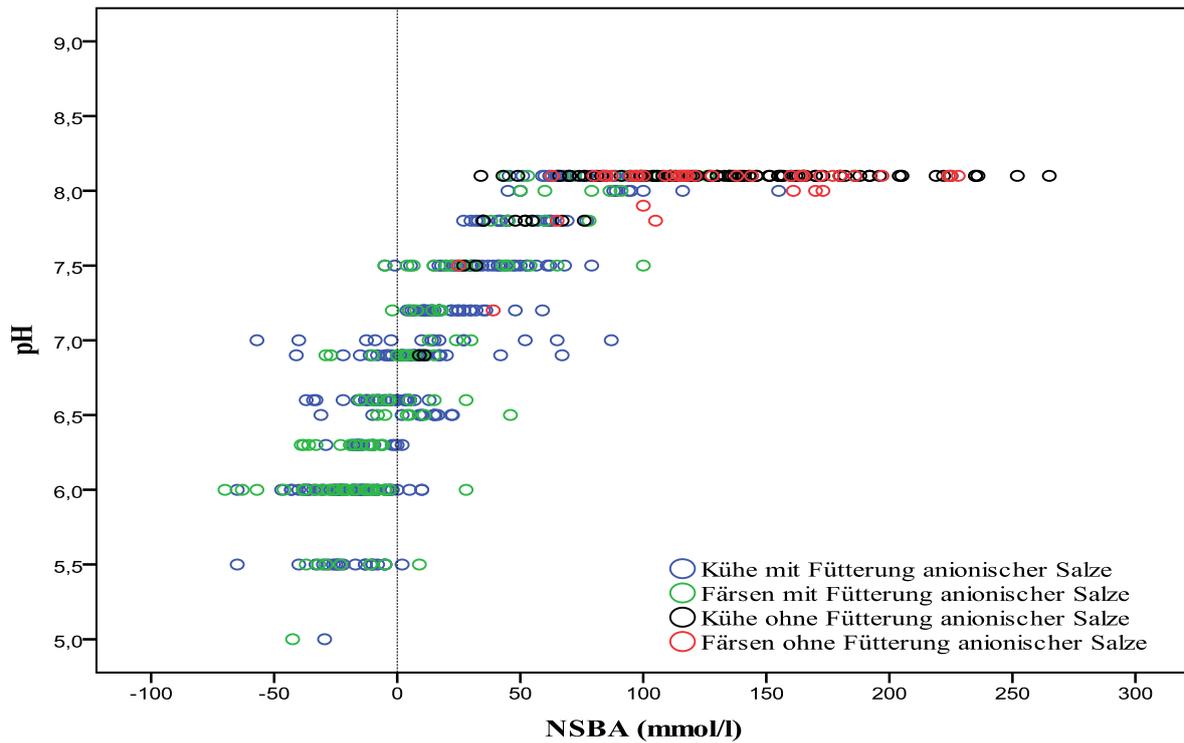


Abbildung 26: Beziehung zwischen der NSBA und dem Harn-pH der Harneinzelprouben

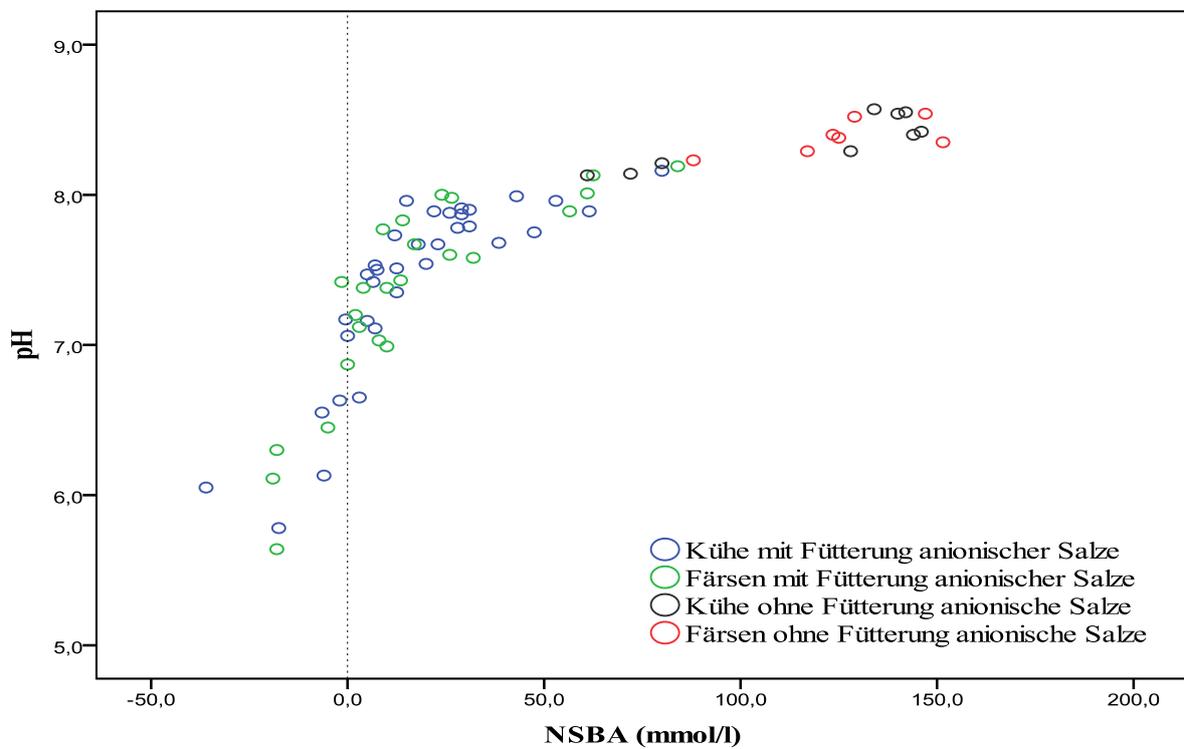


Abbildung 27: Beziehung zwischen der NSBA und dem Harn-pH der Harn-Poolproben

Bei Absinken der NSBA unter +50 mmol/l kommt es unter der Fütterung anionischer Salze zu einer verstärkten Kalziumausscheidung über den Harn (Abbildung 28 und Abbildung 29). Die Harnkalziumkonzentration der Poolproben liegt während der Fütterung anionischer Salze im Bereich von -50 mmol/l und +50 mmol/l zwischen 1,12 mmol/l und 14,49 mmol/l. Bei der Betrachtung der Analysenwerte der Harneinzelproben fällt auf, dass die Streuung der Kalziumausscheidung mit dem Harn im Bereich von -50 mmol/l bis +50 mmol/l sehr groß ist. So liegt der Hauptteil der Einzelwerte der Harnkalziumkonzentration zwischen 0 mmol/l und 15 mmol/l. Die Gegenüberstellung von Harn-pH und der Harnkalziumkonzentration aus den Poolproben ergibt ein ähnliches Bild wie die Gegenüberstellung von der NSBA und der Harnkalziumkonzentration (

Abbildung 30). Mit dem Absinken des pH-Wertes unter den Bereich von ungefähr 7,7 bis 8,0 kommt es bei den Tieren, die mit anionischen Salzen gefüttert werden, zu einem deutlichen Anstieg der Harnkalziumkonzentration. Auch hier fällt eine Streuung der Werte auf.

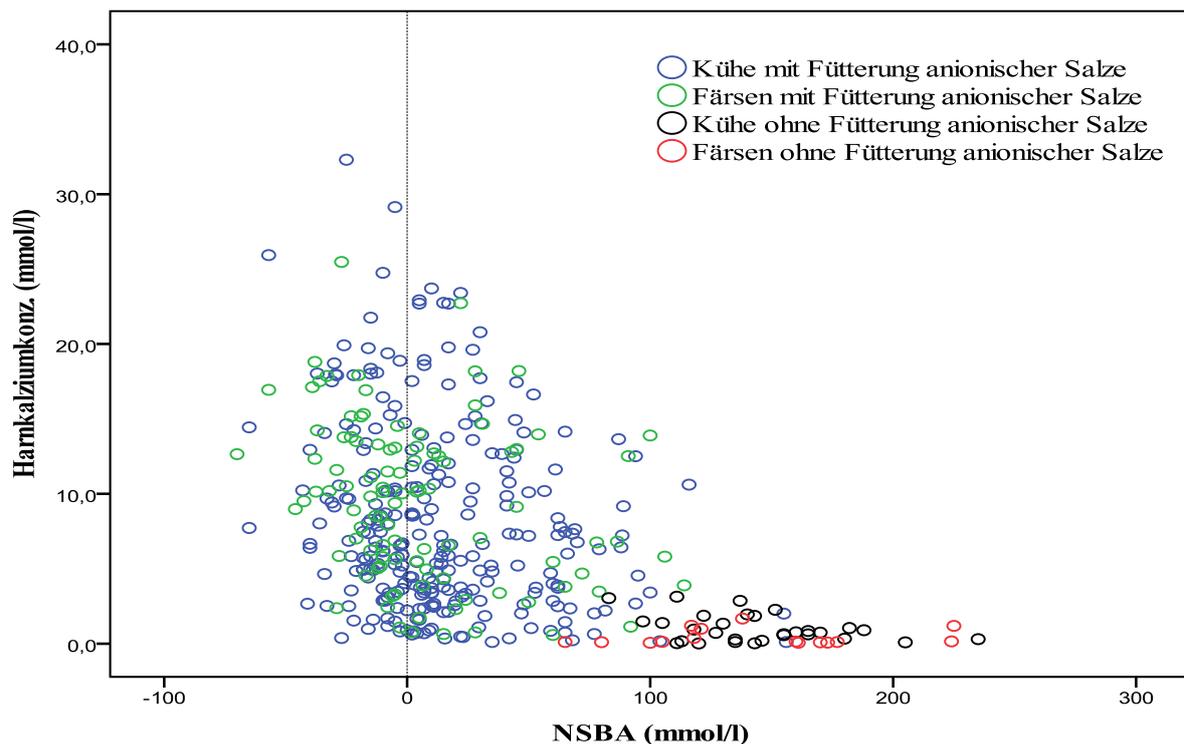


Abbildung 28: Beziehung zwischen der NSBA und der Harnkalziumkonzentration der Harneinzelproben

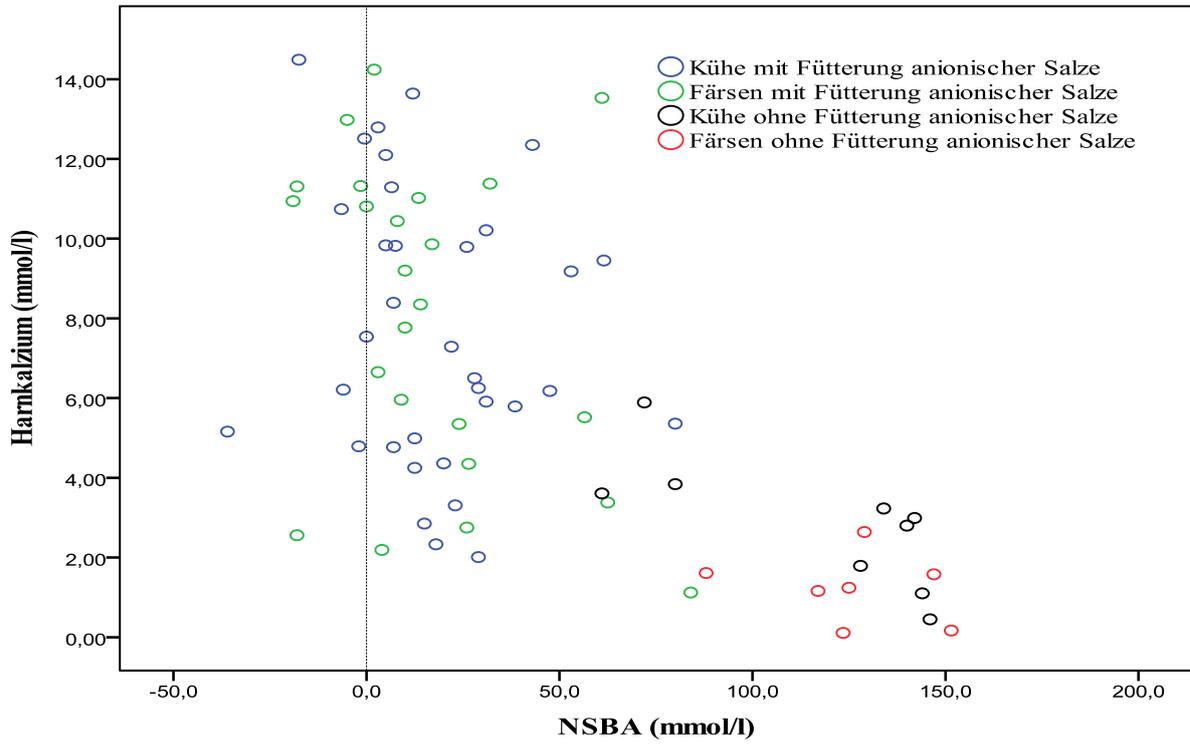


Abbildung 29: Beziehung zwischen der NSBA und der Harnkalziumkonzentration der Harnpoolproben

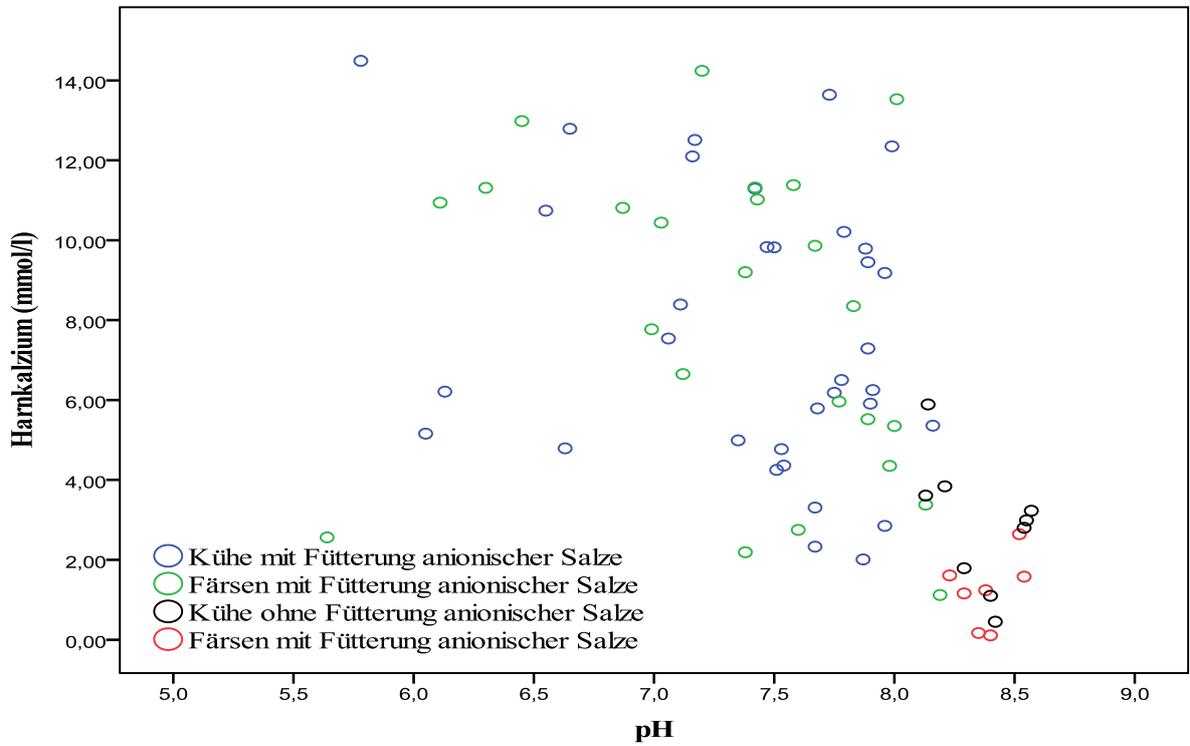


Abbildung 30: Beziehung zwischen dem Harn-pH und der Harnkalziumkonzentration der Harnpoolproben

4.3.6. Beziehung der Harnparameter zur Gebärpareseinzidenz

Zur Untersuchung der Beziehung der Harnparameter zur Gebärpareseinzidenz wurden der Median der NSBA-, die pH-Werte sowie der Harnkalziumkonzentration der Gebärpareseinzidenz für den Zeitraum der Fütterung anionischer Salze gegenübergestellt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 31 bis Abbildung 33 beschrieben.

Die drei Quartile der NSBA-Poolwerte bewegen sich größtenteils im Bereich von -50 bis +50 mmol/l (Abbildung 31). In den ersten beiden Probenmonaten liegt die Gebärpareseinzidenz bei 5% und 3%. Die Kalziumausscheidung mit dem Harn liegt zwischen 10 und 11 mmol/l (Abbildung 32). Über das Futter wird den Tieren in diesem Zeitraum 13,3 und 10,9 g/kg TS Kalzium zugeführt (Abbildung 33). Ab dem dritten Probenmonat steigt die Gebärpareseinzidenz von 5% auf den höchsten Wert im Untersuchungszeitraum (7. Probenmonat) von 10% an. Die Kalziumausscheidung steigt nahezu parallel mit dem Harn an. Der Kalziumgehalt im Futter fällt in diesem Untersuchungsabschnitt von seinem höchsten Wert mit 15,0 g/kg TS im dritten Probenmonat auf den niedrigsten Wert im Untersuchungszeitraum von 9,4 g/kg TS ab. Im achten und neunten Probenmonat wird ein Absinken der Gebärpareseinzidenz auf 3% bei gleichzeitig sehr niedriger Kalziumausscheidung mit dem Harn beobachtet. Der Kalziumgehalt im Futter steigt wieder leicht an. In den Probenmonaten 8 und 9 wurde neben der Fütterung der anionischen Salze systematisch den Kühen ab der 2. Laktation 7 Tage vor dem Kalben Vitamin D₃ appliziert.

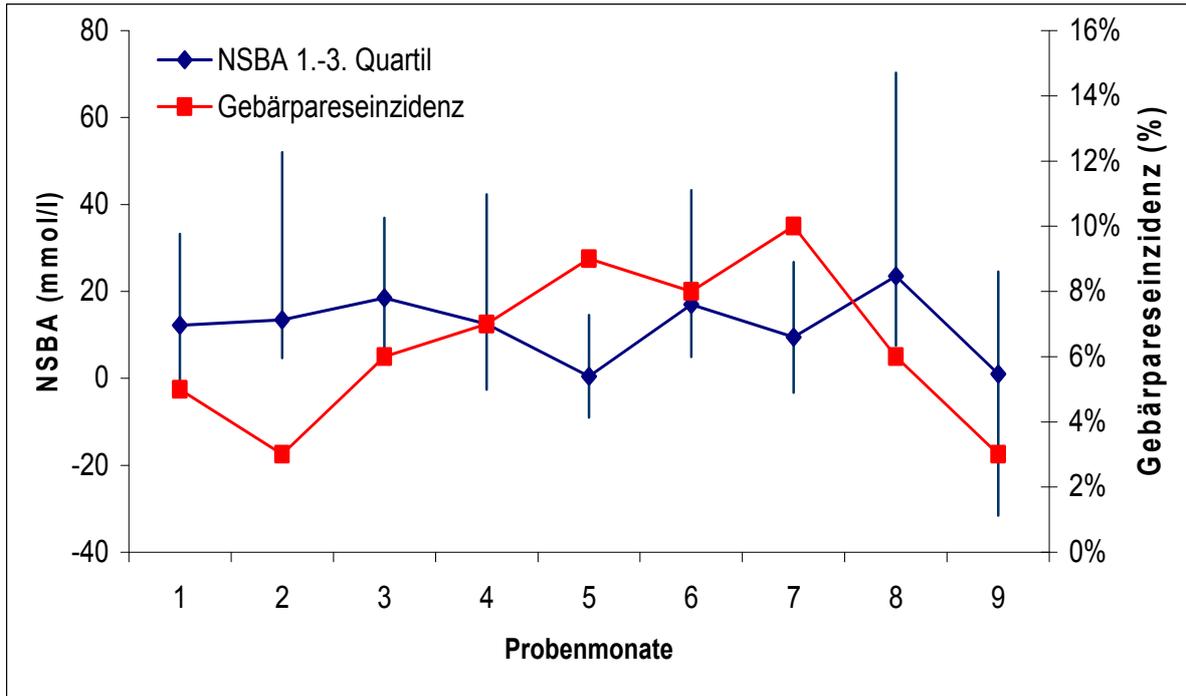


Abbildung 31: Verlauf der NSBA und der Gebärpareseinzidenz im Zeitraum der Fütterung anionischer Salze

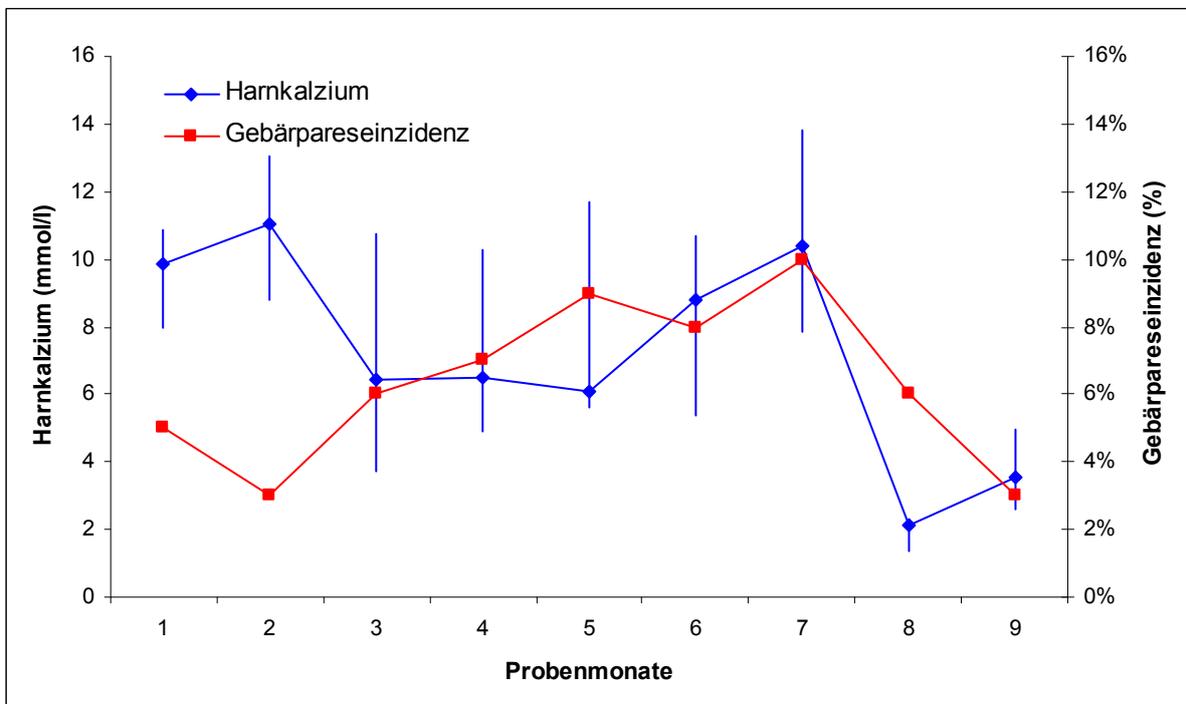


Abbildung 32: Verlauf der Harnkalziumkonzentration und der Gebärpareseinzidenz im Zeitraum der Fütterung anionischer Salze

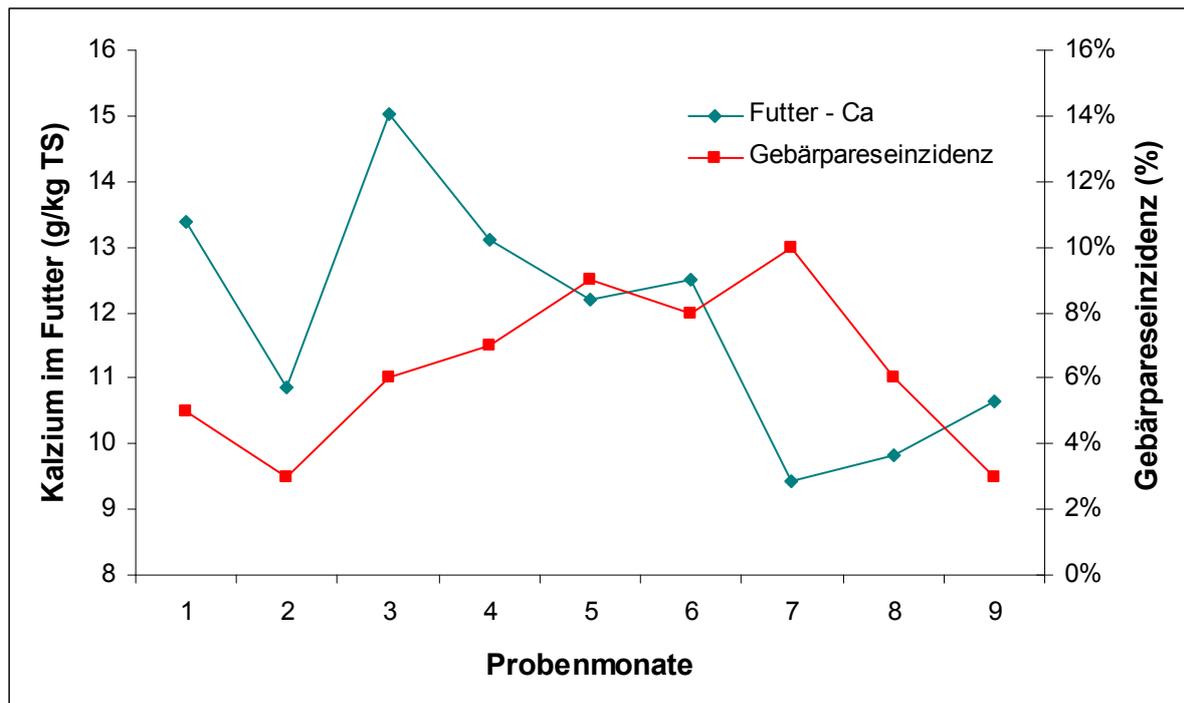


Abbildung 33: Verlauf des Kalziumgehaltes in der TMR und der Gebärpareseinzidenz im Zeitraum der Fütterung anionischer Salze

4.4. Untersuchung der Zeiteffekte auf die Harnparameter

4.4.1. Beziehung der Harnparameter zu der Anzahl der Tage nach Wechsel in die Vorbereitergruppe

Der pH-Wert im Harn der Einzeltiere (Abbildung 34) fällt innerhalb der ersten sechs bis zehn Tage stark ab und zeigt danach einen wellenförmigen Verlauf mit sinkender Tendenz. Am 10. Tag nach Wechsel in die Vorbereitergruppe befindet sich der kleinste gemessene Einzelwert von 5,0. Der maximale Einzelwert von 8,1 wurde am Tag 1 bis 5, 7, 9, 10 und 13 nach Wechsel in die Vorbereitergruppe erreicht. Die mittlere Differenz der pH-Werte am 1 Tag nach Wechsel in die Vorbereitergruppe unterscheidet sich signifikant von den Tagen 5, 6, 8, 10, 15 und 16 nach Wechsel in die Vorbereitungsgruppe (Tabelle 61). Am 2 Tag nach Wechsel in die Vorbereitungsgruppe unterscheidet sich der mittlere pH-Wert signifikant von den mittleren Werten an den Tagen 5, 6, 8 und 10 (Tabelle 61). Der mittlere pH-Wert am 6 und 9 Tag nach dem Gruppenwechsel hat einen signifikanten Unterschied zu den mittleren pH-Werten an Tag 9 und 13 bzw. am Tag 10 (Tabelle 61).

Der Verlauf der NSBA-Werte (Abbildung 35) ähnelt tendenziell dem Verlauf der Harn-pH-Werte. Auffallend ist der Abfall der NSBA-Werte in negative Bereiche. Die NSBA-Werte

fallen innerhalb der ersten 5-11 Tage nach Gruppenwechsel stark ab. Danach zeigen sie einen wellenförmigen Verlauf mit sinkender Tendenz. Den niedrigsten gemessenen NSBA-Wert hat ein Tier mit einem Wert von -70 mmol/l an Tag 8 nach Wechsel in die Vorbereitergruppe. Der höchste Wert wird von einem Einzeltier am 5 Tag nach Wechsel in die Vorbereitergruppe mit +156 mmol/l erreicht.

Der mittlere NSBA-Wert an Tag 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 16 und 17 bzw. am Tag 5, 6, 8 und 10 unterscheidet sich signifikant von den NSBA-Werten am 1 bzw. 2 Tag nach Wechsel in die Vorbereitungsgruppe (Tabelle 60).

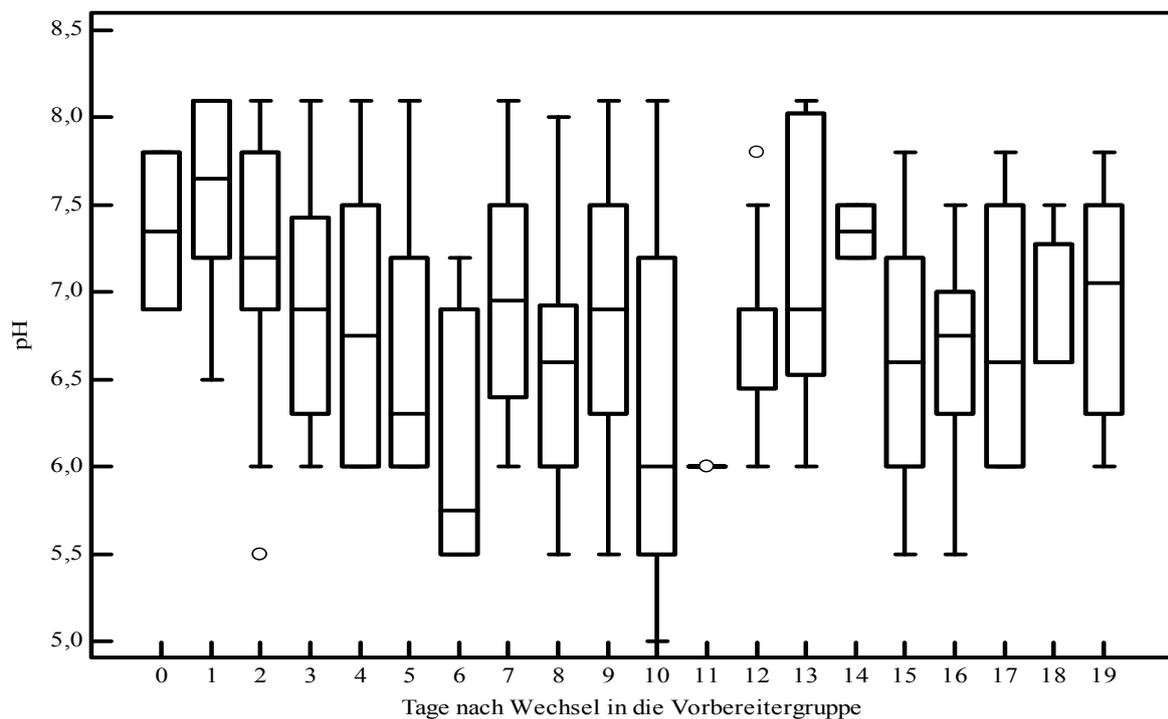


Abbildung 34: Verlauf der Harn-pH-Werte der Kühe bei Fütterung anionischer Salze in Bezug zu den Tagen nach Wechsel in die Vorbereitergruppe

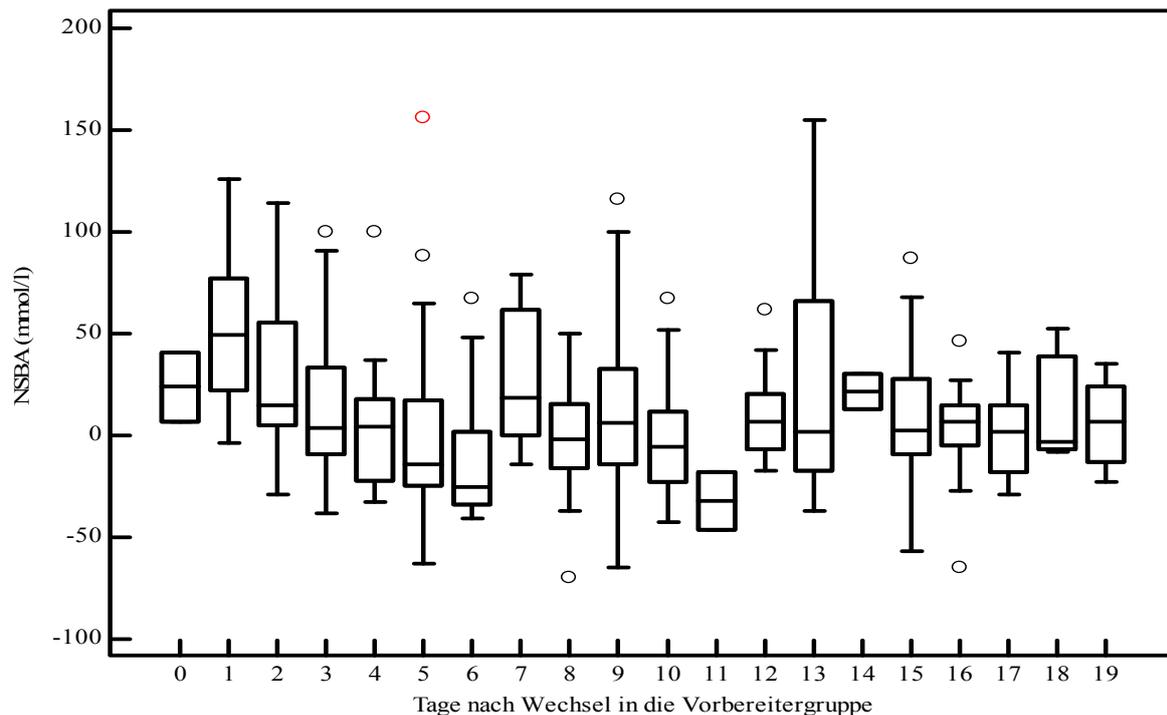


Abbildung 35: Verlauf der NSBA-Werte der Kühe bei Fütterung anionischer Salze in Bezug zu den Tagen nach Wechsel in die Vorbereitergruppe

4.4.2. Beziehung der Harnparameter zu der Anzahl der Tage bis zur Kalbung

Der pH-Wert im Harn (Abbildung 36) erreicht im Trend in der letzten sieben Tagen vor der Kalbung tiefere Werte als in den übrigen Tagen vor der Kalbung. Die tiefsten pH-Werte im Harn haben Einzeltiere am zweiten und sechsten Tag vor der Kalbung mit einem Wert von 5,0. Den höchsten Wert von 8,1 erreichen immer wieder Tiere fast über den gesamten beobachteten Zeitraum. Der mittlere pH-Wert am Tag 8 vor der Kalbung unterscheidet sich signifikant von dem mittleren pH-Werten am Tag der Kalbung (=Tag 0) und dem 4 Tag vor der Kalbung (Tabelle 63).

Der Verlauf der NSBA-Werte im Harn (Abbildung 37) ähnelt dem Verlauf der Harn-pH-Werte. Im Trend sinken die NSBA-Werte zur Kalbung ab. Der tiefste Wert wird mit -70 mmol/l von einem Tiere am 5 Tag vor der Kalbung und der höchste Wert mit +156 mmol/l von einem Tier am 8 Tag vor der Kalbung erreicht.

Zwischen den mittleren NSBA-Werten in Bezug zu den Tagen vor der Kalbung gibt es keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 62).

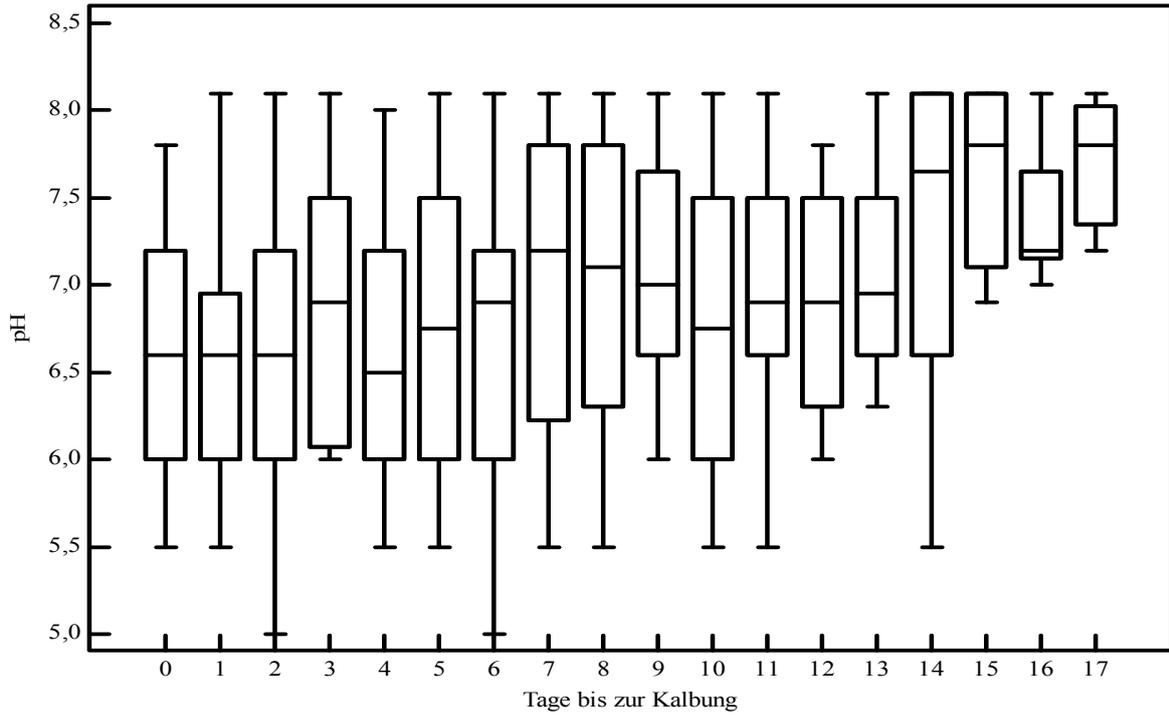


Abbildung 36: Verlauf der Harn-pH-Werte in Bezug zu Tagen bis zur Kalbung

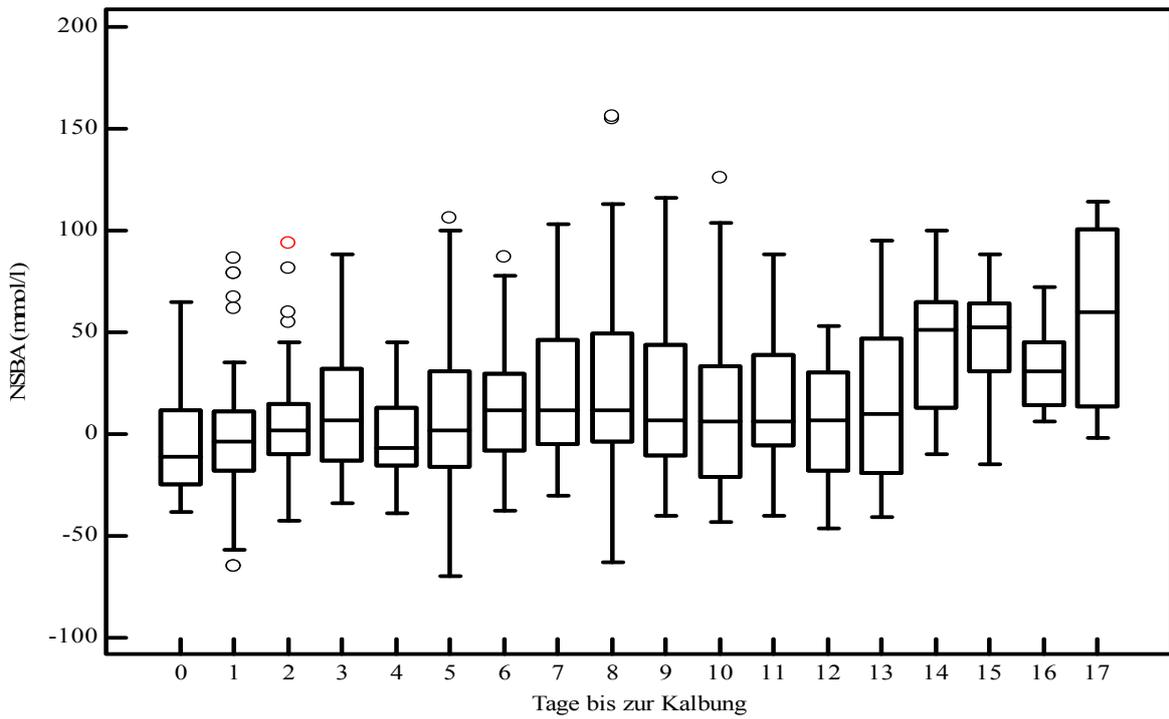


Abbildung 37: Verlauf der Harn-NSBA-Werte in Bezug zu Tagen bis zur Kalbung

4.4.3. Untersuchung eines Harn-Tagesprofils bei Fütterung anionischer Salze

Um zu untersuchen, ob die Tagesdynamik einen Einfluss auf die Harnparameter hat, wurde eine einfaktorische Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 52 bis Abbildung 57 und der Tabelle 31 bis Tabelle 33 dargestellt.

Die Fütterung der Kühe fand um 10:00 in Form der Vorlage einer frischen TMR statt. Ab 11:00 wurden die Kühe routinemäßig über den Melkstand getrieben, um die Euter zu kontrollieren und zu dicken. Nach ungefähr einer Stunde sind alle Kühe wieder in ihrer Gruppe gewesen.

Die pH-, NSBA- und Harnkalziummittelwerte zeigen über einen Verlauf von 24 Stunden keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 31 und Tabelle 32). Der Einfluss des einzelnen Tieres auf die pH-, NSBA- und Harnkalziummittelwerte ist signifikant (Tabelle 32).

Den höchsten pH-Wert erreicht die Kuh 1 mit 8,07 um 10:00 (Tabelle 33). Kuh 2 hat den niedrigsten pH-Wert mit 5,62 zum Messzeitpunkt 14:00. Um 10:00 erreicht die Kuh 1 den höchsten NSBA-Wert mit +64 mmol/l. Den niedrigsten NSBA-Wert hat Kuh 6 mit -50 mmol/l am Messzeitpunkt 14:00. Die höchste Harnkalziumkonzentration hat Kuh 8 mit 37,4 mmol/l um 6:00. Kuh 1 hat die niedrigste Harnkalziumkonzentration ist 1,6 mmol/l um 10:00. In der Tagesdynamik der NSBA-, Harn-pH- und Harnkalziumwerte zeigen einzelne Kühe individuelle Schwankungen (Abbildung 52 bis Abbildung 57 und Tabelle 33).

Die größte Spannweite beim pH-Wert über 24 Stunden hat Kuh 3 mit 1,93. Alle 10 Kühe haben eine durchschnittliche Spannweite des pH-Wertes von 0,77. Bei den NSBA-Werten ist die größte Spannweite 74 mmol/l bei Kuh 4. Im Durchschnitt aller Versuchskühe (n=10) wird eine durchschnittliche Spannweite der NSBA von 41 mmol/l errechnet. Die größte Spannweite bei der Harnkalziumkonzentration hat Kuh 10 mit 18,4 mmol/l. Durchschnittlich (n=10) liegt die Spannweite der Harnkalziumkonzentration bei 7,41 mmol/l.

Tabelle 31: Vergleich der pH-, NSBA- und Harnkalzium - Mittelwerte von 10 Kühen bei Fütterung anionischer Salze

| Parameter | n | | Stundenangaben bzw. Uhrzeit | | | | | |
|--------------------------|----|-----------|-----------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 0 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |
| | | | 6:00 | 10:00 | 14:00 | 18:00 | 22:00 | 2:00 |
| pH | 10 | x_{ar} | 7,07 | 7,25 | 7,21 | 7,27 | 7,02 | 6,99 |
| | | s | 0,87 | 0,72 | 0,89 | 0,69 | 0,83 | 0,72 |
| | | x_{min} | 5,76 | 6,04 | 5,62 | 5,74 | 5,76 | 6,0 |
| | | x_{max} | 7,93 | 7,25 | 7,21 | 7,27 | 7,02 | 6,99 |
| NSBA (mmol/l) | | x_{ar} | + 5,4 | + 14,6 | + 13 | + 11 | + 0,5 | -0,2 |
| | | s | 27,8 | 32,4 | 33,6 | 21,5 | 25,2 | 22,7 |
| | | x_{min} | -45 | -29 | -50 | -20 | -39 | -24 |
| | | x_{max} | +36 | +64 | +57 | +51 | +36 | +39 |
| Harnkalzium (mmol/ l) | | x_{ar} | 13,60 | 13,13 | 13,57 | 13,78 | 14,09 | 12,00 |
| | | s | 10,80 | 10,89 | 11,97 | 11,97 | 11,78 | 10,14 |
| | | x_{min} | 3,61 | 1,59 | 4,22 | 2,95 | 2,57 | 3,74 |
| | | x_{max} | 37,40 | 31,70 | 34,50 | 34,53 | 36,25 | 33,35 |

1) signifikanter Unterschied zum Messzeitpunkt 14:00 ($p < 0,05$)

Tabelle 32: Deskriptive Statistik und Einfluss der varianzanalytischen Faktoren auf das Tagesprofil der pH-, NSBA-Werte und der Harnkalziumkonzentration bei 10 Kühen

| Parameter | n | x_{ar} | s | Zeiteffekt* | Tiereffekt* |
|---------------------------|----|----------|-------|-------------|-------------|
| pH | 60 | 7,13 | 0,76 | $p=0,411$ | $p < 0,001$ |
| NSBA (mmol/l) | 60 | 7,38 | 27,01 | $p=0,211$ | $p < 0,001$ |
| Harnkalziumkonz. (mmol/l) | 60 | 13,36 | 10,81 | $p=0,772$ | $p < 0,001$ |

* in der univariaten Varianzanalyse

Tabelle 33: Übersicht über die Streuung der pH-, NSBA- und Harnkalziumwerte im 24stündigen Tagesprofil bei 10 Kühen mit Fütterung anionischer Salze

| Parameter | | Kühe | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| pH | x _{ar} | 7,91 | 5,87 | 7,16 | 7,04 | 7,03 | 6,25 | 6,76 | 7,86 | 7,86 | 7,6 |
| | x _{0,5} | 7,88 | 5,79 | 7,35 | 7,11 | 7,18 | 6,26 | 6,77 | 7,84 | 7,92 | 7,6 |
| | s | 0,10 | 0,24 | 0,78 | 0,41 | 0,39 | 0,44 | 0,46 | 0,06 | 0,19 | 0,37 |
| | x _{min} | 7,80 | 5,62 | 6,00 | 6,58 | 6,50 | 5,76 | 6,12 | 7,79 | 7,62 | 6,94 |
| | x _{max} | 8,07 | 6,30 | 7,93 | 7,51 | 7,45 | 6,74 | 7,42 | 7,95 | 8,05 | 7,99 |
| | R | 0,27 | 0,68 | 1,93 | 0,93 | 0,95 | 0,98 | 1,3 | 0,16 | 0,43 | 0,06 |
| NSBA (mmol/ l) | x _{ar} | +39,5 | -17 | +4,8 | +12,8 | +9,67 | -32 | -14 | +39,2 | +21,8 | +8,7 |
| | x _{0,5} | +36,5 | -20 | +12 | +11 | +13 | -28 | -15,5 | +36 | +20 | +7,5 |
| | s | 14,9 | 7,2 | 27,27 | 25,4 | 17,45 | 12,78 | 14,94 | 12,35 | 12,02 | 10,21 |
| | x _{min} | +20 | -23 | -39 | -17 | -10 | -50 | -35 | +25 | +9 | -5 |
| | x _{max} | +64 | -7 | +32 | +57 | +35 | -17 | +4 | +57 | +37 | +23 |
| | R | 44 | 16 | 71 | 74 | 45 | 33 | 39 | 32 | 28 | 28 |
| Harnkalzium (mmol/ l) | x _{ar} | 9,9 | 7,6 | 6,1 | 4,2 | 5,3 | 5,1 | 21,5 | 34,0 | 11,5 | 28,6 |
| | x _{0,5} | 10,6 | 8,1 | 6,4 | 4,0 | 5,5 | 5,2 | 21,2 | 33,6 | 11,8 | 31,1 |
| | s | 6,3 | 2,0 | 1,3 | 0,7 | 1,7 | 1,9 | 2,7 | 1,9 | 2,9 | 7,7 |
| | x _{min} | 1,6 | 4,5 | 4,3 | 3,6 | 3,0 | 2,6 | 17,9 | 31,7 | 6,3 | 17,9 |
| | x _{max} | 16,1 | 9,9 | 7,6 | 5,6 | 7,3 | 7,5 | 24,8 | 37,4 | 15,0 | 36,3 |
| | R | 14,5 | 5,4 | 3,3 | 2 | 4,3 | 4,9 | 6,9 | 5,7 | 8,7 | 18,4 |

R = Spannweite

4.5. Untersuchung der Beziehung zwischen Harnparametern und Rationskennwerten

Mittels multiplen Regressionsanalysen wird die Beziehung zwischen den Harnparametern und den Rationskennwerten untersucht.

Dabei werden die pH-, NSBA- und Harnkalziumwerte der Poolproben den jeweiligen Futterproben zugeordnet. Die Ergebnisse sind im Anhang tabellarisch dargestellt (Tabelle 64 bis Tabelle 70).

Den größten Einfluss auf die NSBA hat die DCAB (DCAB nach ENDER (1971) $sr^2 = 0,36$, $p < 0,05$ (Tabelle 65) und DCAB nach GOFF (2004) $sr^2 = 0,35$, $p < 0,05$ (Tabelle 66)). Die DCAB nach ENDER (1971) und die DCAB nach GOFF (2004) erreichen in den beiden

Regressionsmodellen das gleiche signifikante Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,72$) (Tabelle 65 und Tabelle 66).

Der Harn-pH-Wert wird hauptsächlich durch den Rohproteingehalt ($sr^2 = 0,13$ in beiden Regressionsmodellen (Tabelle 67 und Tabelle 68)) und die DCAB (DCAB nach ENDER (1971) $sr^2 = 0,12$, $p < 0,05$ und DCAB nach GOFF (2004) $sr^2 = 0,12$, $p < 0,05$) bestimmt (Tabelle 67 und Tabelle 68). Zusätzlich wird der Harn-pH noch vom Rohfasergehalt der Ration beeinflusst ($sr^2 = 0,08$, $p < 0,05$ bzw. $sr^2 = 0,07$ $p < 0,05$) (Tabelle 67 und Tabelle 68). Die DCAB nach ENDER (1971) und die DCAB nach GOFF (2004) haben das gleiche signifikante Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,48$).

Die Harnkalziumkonzentration wird hauptsächlich durch die DCAB bestimmt (DCAB nach ENDER (1971) $sr^2 = 0,10$, $p < 0,05$ und DCAB nach GOFF (2004) $sr^2 = 0,13$, $p < 0,05$ (Tabelle 69 und Tabelle 70)). Das Bestimmtheitsmaß der DCAB nach GOFF (2004) ($R^2 = 0,33^*$) und der DCAB nach ENDER (1971) ($R^2 = 0,29^*$) liegen in ähnlichen Bereichen (Tabelle 69 und Tabelle 70). Die DCAB nach ENDER (1971) korreliert signifikant ($p < 0,05$) mit der NSBA ($r = 0,80$), dem Harn-pH ($r = 0,58$) und der Harnkalziumkonzentration ($r = -0,62$) (Tabelle 65, Tabelle 67 und Tabelle 69). Die DCAB nach GOFF (2004) korreliert signifikant ($p < 0,05$) mit der NSBA ($r = 0,78$), dem Harn-pH ($r = 0,56$) und der Harnkalziumkonzentration ($r = -0,62$) (Tabelle 66, Tabelle 68 und Tabelle 70).

4.6. Untersuchung der Beziehung der Harnparameter zu den Blutparametern

Zur Untersuchung der Beziehung der Blutparameter zu den Harnparametern wurden der monatliche Median der Serumkalziumkonzentration direkt p.p., der NSBA, der Harnkalziumkonzentration über den Zeitraum der Fütterung anionischer Salze in der Vorbereitungsfütterung betrachtet.

Um die Einflüsse der Fütterung auf den Stoffwechsel der Kühe und damit auf die Serumkalziumkonzentration aufzuzeigen, wurden auch einzelne Futterparameter dargestellt.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 38 bis Abbildung 42 graphisch dargestellt.

Die Harnkalziumkonzentration und die NSBA-Werte weisen sowohl über den Untersuchungszeitraum als auch in den einzelnen Probenmonaten Schwankungen auf. Fasst man alle Abbildungen zusammen, so kann man erkennen, dass der monatliche Median der Serumkalziumkonzentration von der NSBA, der Kalziumausscheidung über den Harn und die Kalziumaufnahme über das Futter, hier insbesondere von Futterkalk, als anorganischem Futtermittel abhängig ist. In den ersten drei Probenmonaten liegen die Mediane der NSBA-

Werte im Bereich von 0 bis +50 mmol/l (Abbildung 38), die Harnkalziumkonzentrationen zwischen 6,42 und 11,02 mmol/l (Abbildung 39). Der Kalziumgehalt im Futter liegt zwischen 10-15 g Kalzium pro kg Trockensubstanz (Abbildung 41). Es wird eine Futterkalkmenge von 0,08 bis 0,1 kg Feuchtmasse Futterkalk gefüttert (Abbildung 42). Mitte des dritten Monats wird die Ration umgestellt und damit einhergehend die Menge an Futterkalk von 0,09 kg auf 0,03 kg reduziert (Abbildung 42). Der Anteil an Tieren, die bei den Einzelproben eine Kalziumausscheidung im Harn < 7 mmol/l haben, ist im dritten Probenmonat das erste Mal größer als der Anteil an Kühen die mehr als 7 mmol/l Kalzium mit dem Harn ausscheiden (Abbildung 40). Der monatliche Median der Serumkalziumkonzentration bewegt sich im Bereich um 2,0 mmol/l. Im vierten bis siebten Probenmonat sinkt der Median der Serumkalziumkonzentration bis auf 1,75 mmol/l im sechsten Probenmonat ab. Im gegenläufigen Trend steigt die Kalziumausscheidung mit dem Harn an (Abbildung 39). Der mittlere Kalziumgehalt der TMR sinkt ab und erreicht im siebten Probenmonat seinen tiefsten Wert mit 9,42 g/kg TS (Abbildung 41). Die Futterkalkmenge reduziert sich auf 0,03 kg Feuchtmasse im vierten und fünften Monat. Ab dem sechsten Probenmonat wird kein Futterkalk mehr eingesetzt (Abbildung 42). Der Anteil an Tieren mit einer Harnkalziumkonzentration $< 7,0$ mmol/l ist in den Monaten 4 bis 6 größer als der Anteil an Tieren mit einer Harnkalziumkonzentration $> 7,0$ mmol/l (Abbildung 40). Im achten und neunten Probenmonat steigt der Kalziumgehalt im Futter auf 9,81 g/kg TS (Monat 8) und 10,65 g/kg TS (Monat 9) an, es wird kein Futterkalk gefüttert (Abbildung 41 und Abbildung 42). Der Median der Kalziumausscheidung im Harn liegt bei 2,1 mmol/l (Monat 8) bzw. 3,56 mmol/l (Monat 9) (Abbildung 39). Die Serumkalziumkonzentration steigt auf 2,04 mmol/l (Monat 8) und 1,94 mmol/l (Monat 9) an. In den Probenmonaten 8 und 9 wurde neben der Fütterung der anionischen Salze systematisch den Kühen ab der 2. Laktation 7 Tage vor dem Kalben Vitamin D₃ appliziert.

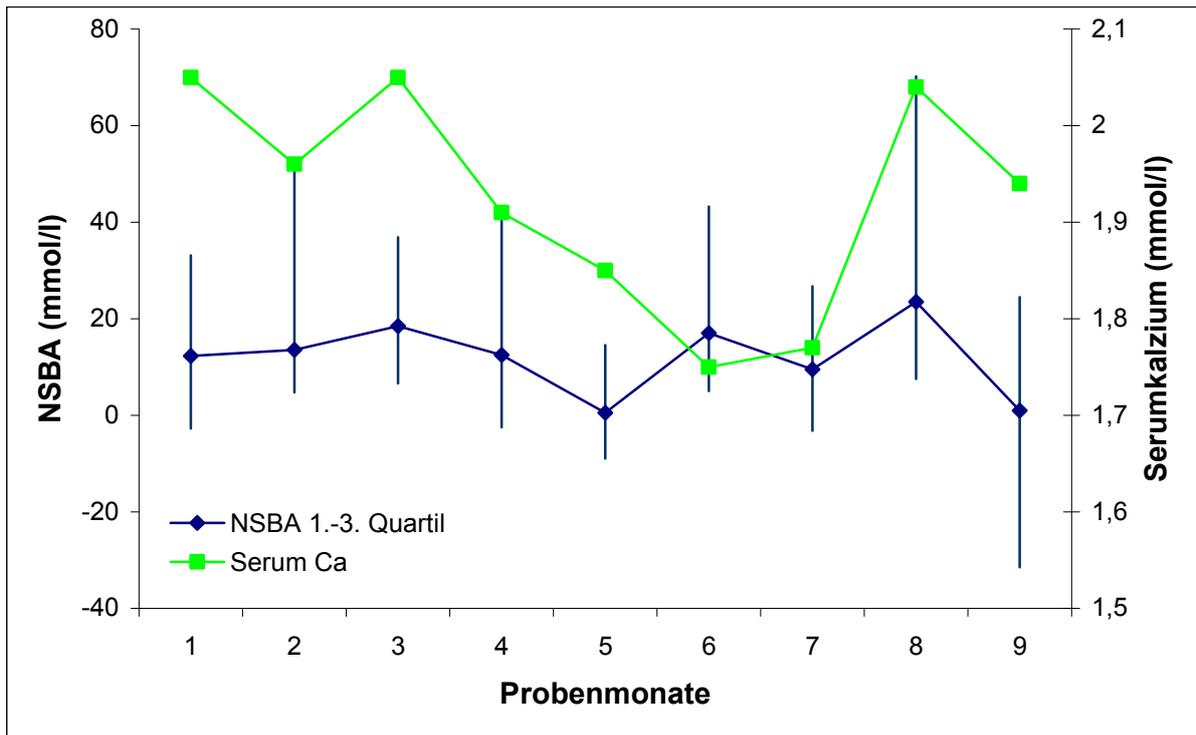


Abbildung 38: Zeitlicher Verlauf des monatlichen Medians der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. und der Verteilung der monatlichen NSBA-Werte (1.-3. Quartil)

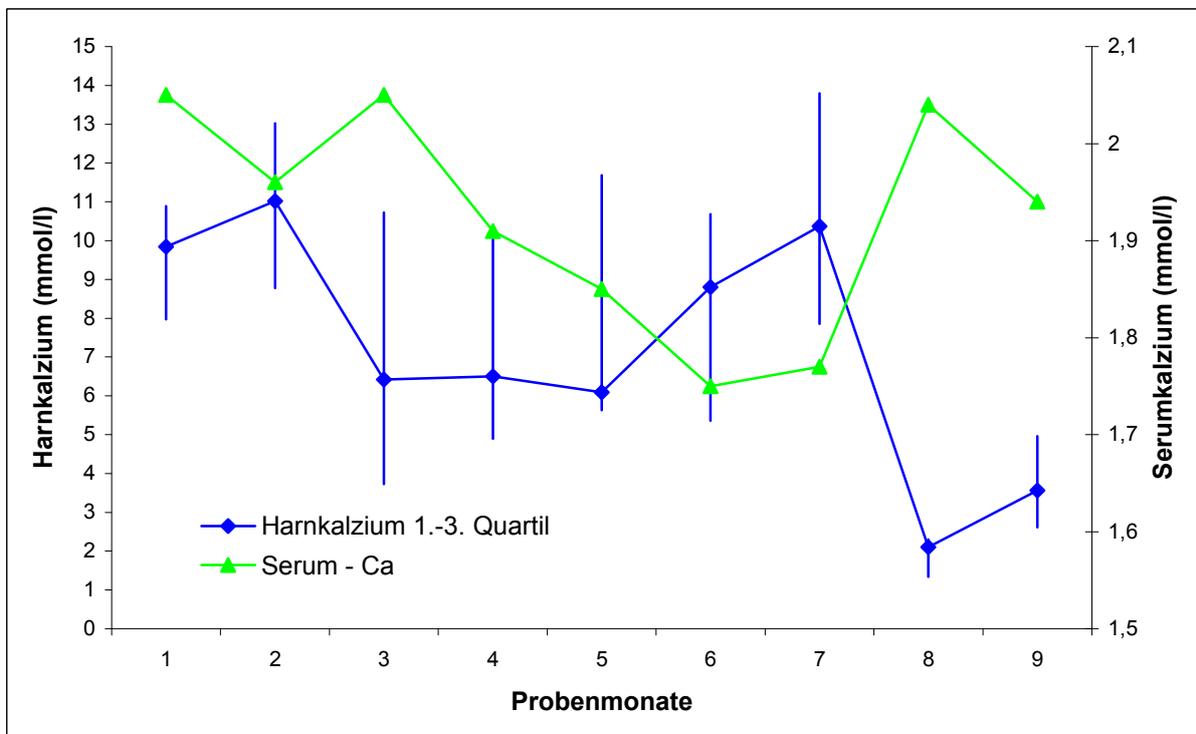


Abbildung 39: Zeitlicher Verlauf des monatlichen Medians der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. und der Verteilung der monatlichen Harnkalziumkonzentration (1.-3. Quartil)

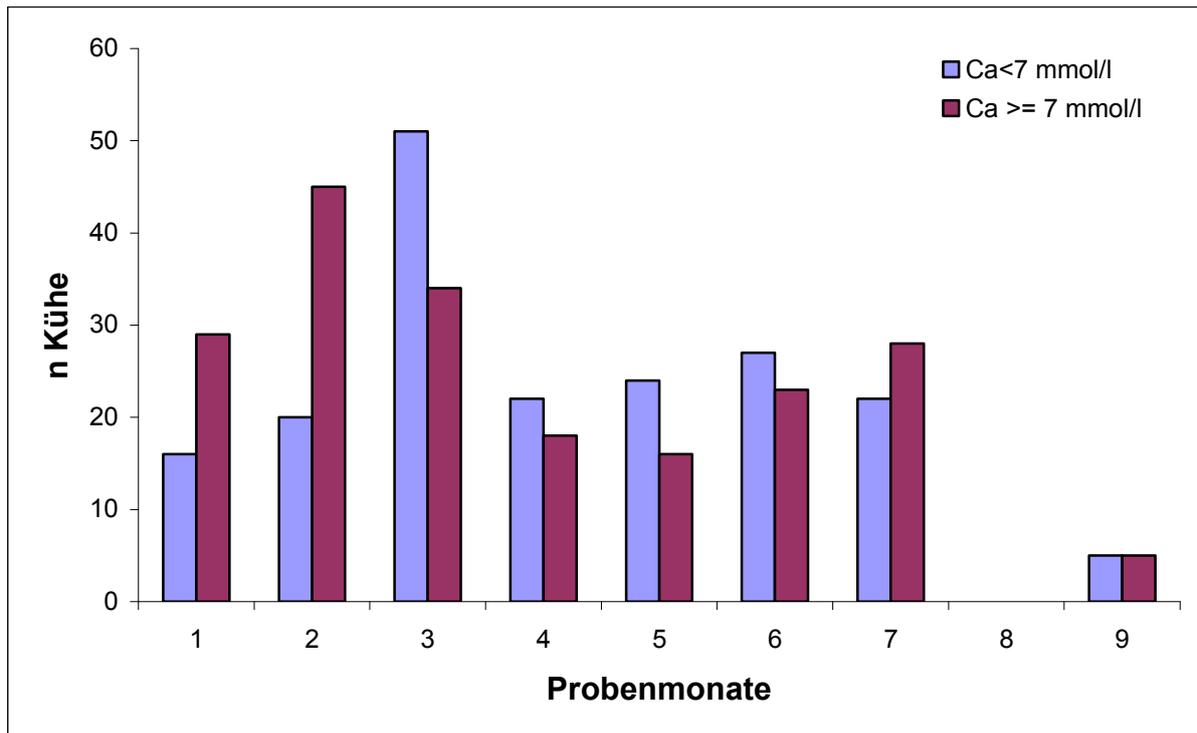


Abbildung 40: Zeitliche Beschreibung des monatlichen Verhältnisses von Einzeltieren mit einer Harnkalziumkonzentration < und ≥ 7 mmol/l

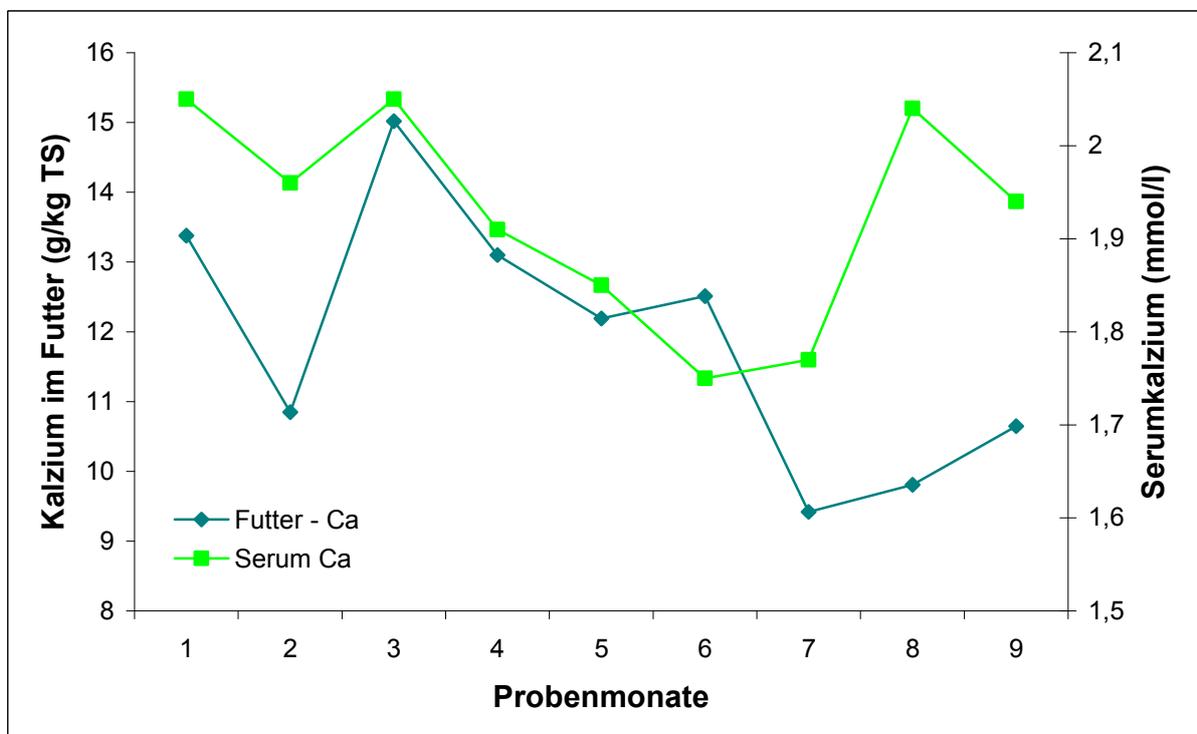


Abbildung 41: Zeitlicher Verlauf des monatlichen Medians der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. und dem mittleren monatlichen Gehalt an Kalzium in der TMR

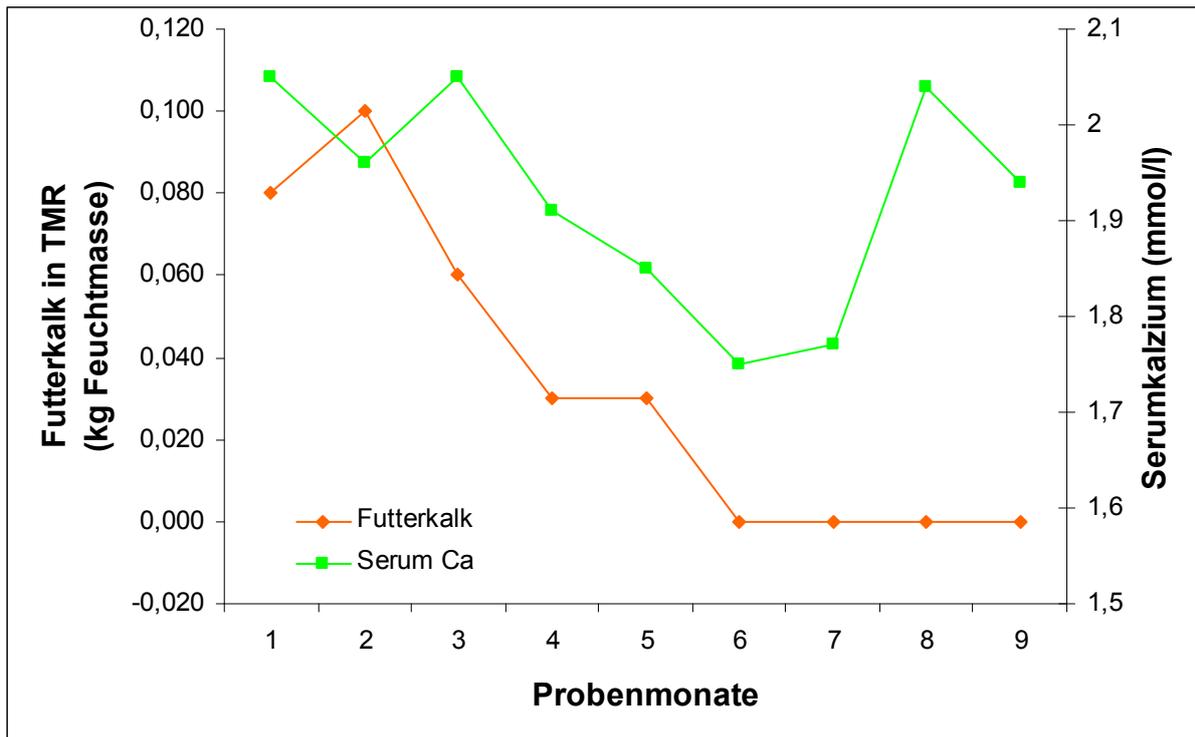


Abbildung 42: Zeitlicher Verlauf des Medians der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. und dem mittleren monatlichen Gehalt an Futterkalk in der TMR

5. Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sollen einen Beitrag für die Entwicklung bzw. Optimierung von Konzepten zum effizienten Einsatz anionischer Salze mit sicherer prophylaktischer Wirkung bei geringen bis keinen Nebenwirkungen liefern. Um die Effekte der Fütterung anionischer Salze auf die Fütterung, den Metabolismus und den Gesundheitsstatus der Kühe zu analysieren, wurde die Anwendung einer Anionenration mit einer kalziumreduzierten Vorbereitungsfütterung verglichen.

Zu diesem Zweck wurde eine Beobachtungsstudie auf einem kommerziell arbeitenden Milchviehbetrieb durchgeführt. Im laufenden Produktionsbetrieb notwendige Veränderungen des Herdenmanagement erschweren zum Teil eine allgemein gültige Aussage in Hinblick auf den Einsatz der Anionenration bzw. verdeutlichen die Komplexität der objektiven Beurteilung des Einsatzes einer Anionenration zur Prophylaxe der Hypokalzämie auf Bestandesebene.

5.1. Untersuchung der Rationsinhalte

In der vorliegenden Arbeit wurden die Ergebnisse der Futteranalysen mit dem Schwerpunkt auf der DCAB nach ENDER (1971) und GOFF (2004) sowie dem Kalium-, Natrium-, Chlorid-, Schwefel-, Kalzium-, Magnesium- und Phosphorgehalt verglichen. Dabei wurden die Futterrationen mit und ohne Fütterung anionische Salze verwendet.

Der Einsatz der anionischen Salze beruht auf dem DCAB-Konzept. Die DCAB ist dabei eine Messgröße zur Beschreibung der pH-Wertwirkung, besser der Pufferwirkung einer Futterrations bzw. eines Futtermittels (STAUFENBIEL, 2003). Der Begriff spiegelt das Verhältnis von Kationen zu Anionen in der Ration bzw. einem Futtermittel wider. Die DCAB einer Ration gibt damit die Richtung an, in die sich der Säure-Basen-Haushalt einer Kuh, die eine solche Ration frisst, entwickelt (BLOCK, 1984). Für die Berechnung der DCAB existieren zahlreiche Formeln. In den Studien zur DCAB wird am häufigsten die DCAB-Formel nach ENDER (1971) verwendet. Die DCAB-Gleichung nach GOFF et al. (2004) ist hinsichtlich der Vorhersage des pH und des Base Excess im Blut (GOFF et al., 2004), sowie des pH im Harn am genauesten (CHARBONNEAU et al., 2006). Beide DCAB-Formeln haben eine signifikante Beziehung zur Gebärpareseinzidenz und dem Harn-pH (CHARBONNEAU et al., 2006).

Die DCAB nach ENDER (1971) und GOFF (2004) verlaufen in der vorliegenden Untersuchung parallel zueinander (Abbildung 11). Damit wird in der vorliegenden Untersuchung durch beide DCAB-Formeln die gleiche Aussage in Hinblick auf Veränderungen der DCAB gemacht. Der parallele Verlauf ist durch die Verwendung von

OMEGALIN aktiv (Spezialfutter Neuruppin GmbH & Co.KG, Deutschland) erklärbar. OMEGALIN aktiv (Spezialfutter Neuruppin GmbH & Co.KG, Deutschland) enthält die anionischen Salze Kalziumchlorid, Kalziumsulfat und Magnesiumsulfat in jeweils festen Mengenanteilen. Die Nutzung verschiedener anionischer Salze bzw. die verstärkte Nutzung anionischer Salze mit Sulfatanteil würde die Unterschiede der Formeln in Hinblick auf die DCAB der Futtermittel bzw. der Einzelfuttermittel verdeutlichen.

Zur Berechnung der DCAB sollte die schon hauptsächlich in der Praxis genutzte Formel nach ENDER (1971) Verwendung finden, da sie sich international durchgesetzt hat und sich die Referenzwerte für den Einsatz einer Anionenration überwiegend auf sie beziehen.

In der vorliegenden Untersuchung wurden als Zielwerte für die Berechnung der Anionenration die Kennwerte nach STAUFENBIEL (2010) (Ziel DCAB: -50 mEq/kg TS bis +50 mEq/kg TS; Kalziumgehalt: 9-12 g/kg TS) verwendet. Eine ausreichende Wirkung der anionischen Salze tritt schon bei einer DCAB von unter +100 mEq/kg TS auf (GELFERT et al., 2007). STAUFENBIEL (2010) empfiehlt dagegen den DCAB-Bereich zwischen +50 mEq/kg TS und +100 mEq/kg TS zu meiden und spricht von einer Anionenration bei einer DCAB der Futtermittel von -50 mEq/kg TS bis +50 mEq/kg TS.

Das Absinken der DCAB ist auf den Einsatz der anionischen Salze zurückzuführen (Abbildung 11). Die DCAB erreichte im Untersuchungszeitraum mit Fütterung anionischer Salze nur in 46% der Analysenwerte eine DCAB von unter +50 mEq/kg TS, nur zweimal lag die DCAB um 0 mEq/kg TS (Abbildung 11). Über den gesamten Untersuchungszeitraum sind Schwankungen der DCAB zu erkennen (Abbildung 11). Die Schwankungen in der DCAB können durch wechselnde Grobfutterqualitäten erklärt werden (STAUFENBIEL, 2003).

Wichtig zum Verständnis der DCAB ist, die DCAB dient nur als Hilfsgröße, viel wichtiger ist für das Erreichen der angestrebten Prophylaxe die Wirkung am Tier selbst (JARDON, 1995, STAUFENBIEL, 2003). Deshalb sind aussagekräftige Untersuchungsparameter an der Kuh von zentraler Bedeutung sowohl für die Einstellung der richtigen Ration als auch zur ständigen Überwachung der Anionenration. Diese Anforderungen erfüllt momentan nur die Harnuntersuchung als in der Praxis anwendbare Methode (STAUFENBIEL, 2004). Die alleinige Betrachtung der Futteranalyse reicht nicht zur Beurteilung der Prophylaxewirkung in Hinblick auf die Hypokalzämie. So wurde in der vorliegenden Untersuchung an einigen Proben Tagen trotz Überschreitung des Referenzbereiches der DCAB für die Anionenration (-50 mEq/kg TS bis +50 mEq/kg TS) eine ausreichende Ansäuerung des Harns der Tiere gemessen (NSBA der Einzelproben -50 mmol/l bis +50 mmol/l) (Abbildung 11 und Abbildung 18).

Die DCAB gilt nur als futtermittelanalytische Messgröße für die Alkalität der Futtermischung (STAUFENBIEL, 2004) und wird nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung hauptsächlich durch den Kaliumgehalt in der Futtermischung bestimmt (Tabelle 12). Diese große Bedeutung des Kaliums als Auslöser einer metabolischen Alkalose in Hinblick auf die Ätiologie der Gebärdparese wird in weiteren Untersuchungen belegt (CONSTABLE et al., 2009, GOFF, 2006a, GOFF und HORST, 1997a, STAUFENBIEL, 2004). Die jeweils hohe bivariate Korrelation des Chlorid- und Schwefelgehaltes zur DCAB bei geringem Gesamteinfluss der beiden Elemente auf die DCAB kann durch einen statistisch-mathematischen Zusammenhang erklärt werden. Die Korrelation kann durch Extremwerte beeinflusst werden, da Extremwerte (hier DCAB für Chlorid und Schwefel) die Varianz eines Merkmals stark erhöhen und dann durch die Regression sehr viel von dieser Varianz erklärt werden kann (LANGE und BENDER, 2007). Der Kaliumgehalt der Ration mit und ohne Fütterung anionischer Salze befindet sich über den gesamten Untersuchungszeitraum zwischen 10 und 15 g/kg TS (Abbildung 12). Der Chlorid- und Schwefelgehalt sinkt dagegen mit dem Ansteigen der DCAB bedingt durch das Absetzen der anionischen Salze ab (Abbildung 12). Dadurch ist rein mathematisch eine höhere Korrelation des Chlorid- und Schwefelgehaltes zur DCAB vorhanden als des Kaliumgehaltes zur DCAB. Die in einem multiplen Regressionsmodell ausschließlich einer einzelnen Variable zurechenbare Erklärungsleistung (quadrierte Semipartialkorrelationskoeffizient (sr^2)) ist nicht einfach eine Eigenschaft der Variable, sondern hängt davon ab, welche weiteren Variablen im Regressionsmodell enthalten sind (DIAZ-BONE, 2006).

Die Kalziumgehalte der Futteranalysen (Abbildung 13) liegen in der vorliegenden Untersuchung alle im empfohlenen Bereich von 8,5–13 g/kg TS nach GOFF (2008) und STAUFENBIEL (2010). Gerade in Hinblick auf den erhöhten Kalziumbedarf bei Fütterung einer Anionenration sollten weitere Untersuchungen über die Bioverfügbarkeit des Kalziums aus den einzelnen Futterkomponenten folgen. Die Futteranalyse spiegelt immer nur den Gehalt an chemisch vorhandenem Kalzium nicht aber das für die Kuh verfügbare Kalzium wider. Der Schwefelgehalt ist in fast allen Analysen der vorliegenden Untersuchung zu niedrig. Schwefel wird zur mikrobiellen Aminosäureproduktion im Pansen benötigt und hat gleichzeitig auch einen ansäuernenden und damit kalziummobilisierenden Effekt auf den Intermediärstoffwechsel (GOFF, 2006a). Auch der Magnesiumgehalt erreicht in den Analysewerten der durchgeführten Untersuchung (Abbildung 13) nur in 1 von 13 Futteranalysen den Referenzwert von über 3,5 g/kg TS (GOFF, 2004, LEAN et al., 2006). In der Rationsplanung sind Schwefel und Magnesium jeweils schon in zu niedrigen Gehalten

einberechnet worden. Bei Fehlen adäquater Futterkomponenten könnte hier Magnesiumsulfat als anionisches Salz Verwendung finden. Die Sicherstellung einer adäquaten Magnesiumsupplementation über die Futtermittelration ist Voraussetzung für eine erfolgreiche Prävention der Gebärpause (LEAN et al., 2006, MULLIGAN et al., 2008). Die Hypomagnesiämie gilt als ein beeinflussender Faktor der Kalziumhomöostase (GOFF, 2006a). Der Magnesiumgehalt in der Futtermittelration sollte 4 g/kg TS betragen (GOFF, 2004, LEAN et al., 2006).

Die Schwankungen des Energie-, Rohprotein- und Rohfasergehaltes sowie des Stärke- plus Zuckergehaltes (Abbildung 9 und Abbildung 10) können durch Schwankungen im Grobfuttermittel erklärt werden. Die Energie-, Rohprotein- und Rohfasergehalte sowie die Stärke plus Zucker-Gehalte können zusätzlich den Säure-Basen-Haushalt und damit die Wirkung der anionischen Salze über Veränderungen der Pansenfermentation beeinflussen. Die Schwankungen der Rationsgehalte zeigen sehr gut, dass gerade der Einsatz einer Anionenration hohe Anforderungen an das Fütterungsmanagement stellt.

Bei allen Futteranalysen ist zu beachten, die Ergebnisse der Rationsanalyse sind immer nur Momentaufnahmen zum Zeitpunkt der Probenentnahme, die zu allen Unsicherheiten zusätzlich mit einem beachtlichen methodischen Fehler bei der Probenentnahme und Analyse behaftet sein können. Eine ständige zeitlich eng gestaffelte Rationsanalyse zur Kontrolle der Anionenration ist aus Kostengründen nicht realisierbar.

5.2. Untersuchung der Erkrankungen

Diese Untersuchung vergleicht die Erkrankungsinzidenzen in den Zeiträumen mit und ohne Fütterung anionischer Salze. Zur Einschätzung von Prophylaxemaßnahmen – in diesem Fall der Einsatz anionischer Salze zur Prophylaxe der klinischen und subklinischen Hypokalzämie - in einem Milchviehbetrieb muss der Gesundheitsstatus der Herde beurteilt werden (STAUFENBIEL, 1999). Daher wurde die Beziehung zwischen den Blutparametern der im Untersuchungszeitraum beprobten Kühe mit deren Erkrankungshäufigkeiten in Hinblick auf den Einsatz anionischer Salze in der Vorbereitungsfütterung analysiert.

Im Untersuchungszeitraum mit Fütterung anionischer Salze liegt auf Herdenebene eine signifikant niedrigere Gebärpauseinzidenz als im Zeitraum ohne Fütterung anionischer Salze vor (Tabelle 13). Die mittlere Gebärpauseinzidenz im Untersuchungszeitraum mit Fütterung anionischer Salze liegt bei 6,3% aller Abkalbungen. Übliche Gebärpauseinzidenzen liegen im Bereich von 4-7% (COOK et al., 2006a, DEGARIS und LEAN, 2008, GOFF, 2008, HELLERICH, 2008, INGVARTSEN et al., 2003), können aber auch in einzelnen Herden auf bis zu 34% steigen (HELLERICH, 2008, HOUE et al., 2001). Eine Häufigkeit von

Gebärparesen unter 3% der Abkalbungen der Mehrkalbskühe und eine Häufigkeit von Nachgeburtsverhaltungen unter 5% der Abkalbungen sprechen für den erfolgreichen Einsatz der Anionenration (STAUFENBIEL, 2010). COOK et al. (2006a) geben für die Gebärparese und die Nachgeburtsverhaltung auf Herdenebene (2/3 pluripare Kühe und 1/3 Jungkühe) ein Ziel einer Erkrankungsinzidenz von unter 5% aller Kühe unabhängig von den verschiedenen Prophylaxemaßnahmen an. Nur in 2 von 9 Probenmonaten mit Einsatz anionischer Salze wird eine Gebärpareseinzidenz um 3% erreicht (Abbildung 14). Unter einer Gebärpareseinzidenz von 5% aller Kühe liegen nur drei Probenmonate (1, 2, 9) im gesamten Untersuchungszeitraum. In diesen drei Probenmonaten erhielten die Kühe anionische Salze in der Vorbereitungsfütterung.

Die Inzidenz der Nachgeburtsverhaltung liegt im gesamten Untersuchungszeitraum zwischen 1 und 10% und unterscheidet sich nicht signifikant zwischen der Fütterung mit und ohne anionische Salze (Abbildung 14). Die übliche Erkrankungsinzidenz der Nachgeburtsverhaltung liegt bei ungefähr 8% (INGVARTSEN et al., 2003) und kann in einzelnen Betrieben bis auf knapp 40% steigen (COOK et al., 2006a). Interessant ist, dass in den Probenmonaten mit einer Gebärpareseinzidenz unter 5%, zweimal die Inzidenz für Nachgeburtsverhaltung deutlich über dem Zielwert von 5% liegt. Dies ist dadurch erklärbar, dass nicht allein die Serumkalziumkonzentration für das Entstehen einer Nachgeburtsverhaltung verantwortlich ist, sondern vielmehr die klinische und subklinische Hypokalzämie ein Risikofaktor für das Entstehen der Nachgeburtsverhaltung ist (CORREA et al., 1993, GROHN und RAJALA-SCHULTZ, 2000, SANDALS et al., 1979). Das Entstehen der Nachgeburtsverhaltung ist multifaktoriell bedingt (LEBLANC et al., 2006). Deshalb ist fraglich, ob die Nachgeburtsverhaltung in dieser Untersuchung als Indikator für eine erfolgreiche Prophylaxe der klinischen und subklinischen Hypokalzämie genutzt werden kann.

Die anderen monatlichen Erkrankungsinzidenzen (Tabelle 13) liegen alle bis auf die Inzidenzen für Metritis und Gebärparese unter den von COOK et al. (2006a) vorgegebenen Werten. In dem Untersuchungszeitraum mit der Fütterung anionischer Salze liegt die mittlere Metritisinzidenz bei 12,9%. Während sie im Zeitraum mit kalziumreduzierter Vorbereitungsfütterung einen Wert von 23,3% annimmt. Übliche Metritisinzidenzen liegen bei 10% aller Tiere (COOK et al., 2006a, INGVARTSEN et al., 2003). Der Anstieg der Metritisinzidenz über 15% in den letzten drei Probenmonaten könnte mit einer zu diesem Zeitpunkt durch das Herdenmanagement eingeführten Puerperalkontrolle aller Kühe 10 Tage p.p. zusammenhängen. In dieser Puerperalkontrolle wurden alle Tiere mit stinkendem

Lochialsekret als Metritis diagnostiziert und behandelt, was den Anstieg der Metritisinzidenz erklären könnte.

Die Ketoseinzidenz liegt im Untersuchungszeitraum mit Fütterung anionischer Salze bei 9,4% und während des Untersuchungszeitraumes mit kalziumreduzierter Vorbereitungsfütterung bei 12,8% (Tabelle 13). Inzidenzen der klinischen Ketose liegen in üblichen Milchviehbetrieben um 4% (COOK et al., 2006a, INGVARTSEN et al., 2003). Die Ketoseinzidenz wird durch die intensive Untersuchung der Kühe in den ersten 2 bis 3 Wochen post partum im Studienbetrieb erklärt. Der Harn der Kühe wird in diesem Zeitraum täglich mittels Teststreifen auf den Gehalt an Ketonkörpern untersucht. Ein so intensives Ketose-Screening ist in der Praxis auf den meisten Milchviehbetrieben nicht üblich, weshalb allgemein niedrigere Inzidenzen (subklinischer) Ketose beschrieben werden (COOK et al., 2006a, INGVARTSEN et al., 2003).

Die Erfassung und Auswertung von Erkrankungsdaten wird häufig durch mangelhafte Definition und die diagnostische Evaluierung der einzelnen Erkrankungsfälle erschwert (COOK et al., 2006a). Um zu beurteilen, ob die einzelne Erkrankung auf Herdenebene ein Problem darstellt bzw. einzelne Erkrankungen über- oder unterdiagnostiziert werden, schlagen COOK et al. (2006a) deshalb vor, „Erkrankungspaare“ zu bilden. So wird die Metritisinzidenz immer in Zusammenhang mit der Inzidenz für Nachgeburtsverhaltung und die Inzidenz für Ketose zusammen mit der Inzidenz für die Labmagenverlagerung gesehen (COOK et al., 2006a).

Wendet man diese Vorgehensweise auf die vorliegende Untersuchung an, so erkennt man, dass die Diagnose Ketose und Metritis auf Herdenebene eine niedrige Spezifität haben könnten. In diesem Zusammenhang muss man auch die Definition des Herdenpersonals für die Gebärparese sehen. So wurden nicht nur Kühe, die das klinische Bild der manifesten Gebärparese zeigten, sondern auch Kühe, die noch standen, aber klinische Anzeichen einer Hypokalzämie wie unsicherer Gang oder kalte Akren zeigten, als Gebärparese definiert. Dies könnte zu einer niedrigen Spezifität in der Diagnostik der Gebärparese führen.

Die sonstigen Prophylaxemaßnahmen gegen die Hypokalzämie wie die Vitamin D₃ Injektion oder auch die Kalziuminfusion direkt p.p. erschweren weiterhin die Beurteilung der Wirkung bzw. den Anteil der Wirkung der anionischen Salze an der Prophylaxe der Hypokalzämie. Die Kombination von Prophylaxemaßnahmen ist aber ein Problem, dem man in der Praxis immer wieder begegnet. Die Kombinationsmöglichkeit dieser drei Prophylaxemaßnahmen ist allgemein anerkannt (STAUFENBIEL, 2010).

Der Vergleich der monatlichen Verteilung der Serumkalziumkonzentrationen der einzelnen Kühe mit der Gebärpareseinzidenz zeigt, dass mit dem Abfallen bzw. Ansteigen der Serumkalziumkonzentration eines großen Teils der Tiere die Gebärpareseinzidenz ansteigt bzw. abfällt (Abbildung 16 und Abbildung 17). Hier kann man eine direkte Verbindung der blutchemischen Parameter zur Erkrankungszinidenz auf Herdenebene erkennen. Mit dieser Untersuchung wird deutlich, wie wichtig eine Prophylaxemaßnahme für das Bestandsproblem Hypokalzämie auf Herdenebene ist. Denn vor allem die Folgen der subklinischen Hypokalzämie übertreffen die Schäden der klinisch manifesten Form der Hypokalzämie bei weitem (STAUFENBIEL, 2004).

Der Anteil der Kühe mit einer Serumkalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l direkt nach der Kalbung und einen Tag p.p. ist mit Fütterung anionischer Salze signifikant niedriger (Tabelle 14). Dies lässt im Umkehrschluss zu, dass mit Einsatz der anionischen Salze die Tiere p.p. eine signifikant höhere Serumkalziumkonzentration haben. Die höhere Serumkalziumkonzentration und die niedrigere Gebärpareseinzidenz bei Einsatz anionischer Salze in der Vorbereitungsfütterung im Vergleich zur Fütterung ohne anionische Salze werden auch in den Ergebnissen anderer Untersuchungen gefunden (BEEDE et al., 1991, BLOCK, 1984, CHARBONNEAU et al., 2006, DISHINGTON, 1975, GOFF et al., 1991a, OETZEL, 1988). Den großen Anteil an Tieren, die direkt nach der Kalbung (57% der pluriparen Kühe mit Fütterung anionischer Salze bzw. 75% der pluriparen Kühe ohne Fütterung anionischer Salze) bzw. einen Tag nach der Kalbung (42% der pluriparen Kühe und 25% der Jungkühe mit Fütterung anionischer Salze bzw. 55% der pluriparen Kühe und 15% der Jungkühe ohne Fütterung anionischer Salze) eine Serumkalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l haben, findet man auch in anderen Untersuchungen (HORST et al., 2003, REINHARDT et al., 2010). Die signifikant höheren NEFA-Werte (Tabelle 19) bei hypokalzämischen Tieren stellten auch REINHARDT et al. (2010) in einer Studie fest. Die erhöhten Konzentrationen der NEFA sind Ausdruck einer Maladaptation an die negative Energiebilanz (GOFF und HORST, 1997b, HERDT, 2000, INGVARTSEN, 2006). Der pathophysiologische Zusammenhang zwischen der Hypokalzämie und den höheren Konzentration der NEFA könnte in weiteren Studien untersucht werden. Es bleibt festzuhalten, dass es eine Verbindung zwischen der Störung des Energiestoffwechsels (erhöhte NEFA) und dem Mineralstoffwechsel (Hypokalzämie) gibt. Inwieweit eine verringerte Trockenmasseaufnahmen bzw. antepartaler Energiemangel ätiologisch beteiligt ist, bleibt in dieser Untersuchung offen. Der Zusammenhang Hypokalzämie und höhere NEFA-Konzentration unterstreicht noch einmal die Bedeutung des komplexen Managements von Transitzühen.

Die höhere Erkrankungsinzidenz und die signifikant erhöhten NEFA-Werte der Kühe mit einer Serumkalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l einen Tag p.p. hebt die Bedeutung der subklinischen Hypokalzämie für das Entstehen von weiteren Folgeerkrankungen hervor. Es zeigt, dass praktische Konzepte zur Gebärpareseprophylaxe–unabhängig von der Art der Prophylaxe–in jedem Milchviehbestand angewendet werden sollten.

Inwieweit das vollständige Ausmelken zur Kolostrumgewinnung, das teils vor der Entnahme aber auch nach der Entnahme der Blutprobe direkt p.p. statt fand, zum Entstehen einer Hypokalzämie beiträgt, bleibt Gegenstand weiterer Untersuchungen. Zur Hypokalzämie direkt nach der Kalbung könnte auch der Verbrauch von Kalzium bei der Geburt eine Rolle spielen. Auch bleibt die Frage ungeklärt, ob das vollständige Ausmelken in Verbindung mit einer Kalziuminfusion, den Kalziumstoffwechsel nachhaltig negativ beeinflusst.

Mit weiteren Studien sollte untersucht werden, ab welcher Serumkalziumkonzentration man von einer subklinischen Hypokalzämie, die einen pathologischen Zustand darstellt, sprechen kann bzw. inwieweit ein Unterschreiten des bislang gültigen Grenzwertes der Serumkalziumkonzentration von 2,0 mmol/l (DEGARIS und LEAN, 2008) im peripartalen Bereich einen physiologischen oder pathologischen Zustand darstellt. Möglicherweise spiegelt die Hypokalzämie bei vielen Tieren nur die höhere Milchleistung wider, ohne einen pathologischen Bezug zu haben (GILD et al., 2008).

Der große Anteil der Jungkühe mit einer Hypokalzämie p.p. (25% mit Fütterung anionischer Salze bzw. 15% ohne Fütterung anionischer Salze) deckt sich mit den Angaben der internationalen Literatur (HORST et al., 2003, REINHARDT et al., 2010). Dieser hohe Anteil hypokalzämischer Jungkühe sollte Anlass zu Untersuchungen geben, ob auch bei Färsen in der Vorbereitungsphase Prophylaxemaßnahmen in Hinblick auf die Hypokalzämie nötig sind bzw. ob anionische Salze im speziellen für die Vorbereitungs fütterung von Färsen geeignet sind. Die Hypokalzämie der Jungkühe unterstreicht noch einmal die Notwendigkeit einer Überprüfung des bisher gültigen Referenzwertes der Serumkalziumkonzentration von 2,0 mmol/l zur Einteilung hypokalzämisch bzw. normokalzämisch.

5.3. Untersuchung der Harnproben

Die Ansäuerung mit Verschiebung der pH- und NSBA-Werte in den sauren Bereich ist auf den Einsatz der anionischen Salze zurückzuführen (Abbildung 18). Die erhöhte Kalziumkonzentration im Harn zeigt die gewünschte Wirkung der anionischen Salze an (Abbildung 19). Der Rationswechsel mit dem Absetzen der anionischen Salze hebt diese Ansäuerung auf und führt zu einem sprunghaften Anstieg der pH- und NSBA-Werte bei gleichzeitigem Absinken der Harnkalziumwerte.

Die Poolproben liefern zuverlässige Informationen im Hinblick auf pH-, NSBA- und Harnkalziumwerte zur Wirkung der Anionenration auf Bestandsebene (Tabelle 30). Die Bildung von Poolproben ermöglicht zum einen die einheitliche Bewertung von Parametern und dient zum anderen der Kostenersparnis (LEHWENICH, 1999). Anhand dieser und anderer Untersuchungen (SCHMUTZER und STAUFENBIEL, 2008b) ist eine Kontrolle der Anionenration durch Einzel- und Poolproben möglich. In Bestandsuntersuchungen wird die Untersuchung aller drei Parameter als Poolwert empfohlen (LEHWENICH, 1999, STAUFENBIEL, 2003). Für die laufende Überwachung der Anionenration im Stall ist vor allem die Messung des Harn-pH als Einzelprobe sinnvoll (COOK et al., 2006b, GOFF, 2008, STAUFENBIEL, 2003).

Die Schwankungen der Einzel- und Poolwerte zeigen, dass bei Einsatz von Anionenrationen eine ständige begleitende Überwachung notwendig ist. Besonders bei den Einzelproben sind große Schwankungen der pH-, NSBA- und Harnkalziumwerte an den einzelnen Proben Tagen erkennbar (Abbildung 18 und Abbildung 19). Die starke Streuung der Einzelproben wird durch tierindividuelle Reaktion auf die anionischen Salze begründet (MONTAG, 2005). Durch mögliche Schwankungen in der Futteraufnahme der einzelnen Kühe könnte die Streuung der pH- und NSBA-Werte als Parameter des Säure-Basen-Haushaltes erklärt werden. So werden der Harn-pH (CONSTABLE et al., 2009) und die NSBA (EUSTERMANN, 2003) vor allem durch die Kaliumkonzentration im Harn bestimmt, die wiederum von der Kaliumaufnahme über das Futter abhängig ist (CONSTABLE et al., 2009). Zusätzlich zu den Schwankungen der Trockenmasseaufnahme könnten auch Fermentationsprozesse im Pansen pH- und NSBA-Werte im Harn beeinflussen. Wichtig bei der Bewertung der Harnparameter ist, dass die pH- und NSBA-Werte im Harn gering mit dem pH im Pansen korrelieren, sie sind vielmehr Parameter des Säure-Basen-Status des Intermediärstoffwechsels (ENEMARK, 2008). Die Auslenkung der Einzel- und Poolwerte der Harnparameter aus dem Referenzbereich geben in der vorliegenden Untersuchung keinen Hinweis auf die ätiologische Ursache ihrer Auslenkung, da der Säure-Basen-Haushalt der Tiere multifaktoriell beeinflusst wird.

Die NSBA gibt aufgrund ihrer linearen Beziehung zur DCAB den Effekt der anionischen Salze genau wieder und kann aufgrund der linearen Beziehung als Maß für die DCAB genutzt werden (STAUFENBIEL, 2004). Die kontinuierliche routinemäßige Überwachung muss aber einfach vom Landwirt oder Herdenmanager vor Ort angewendet und ausgewertet werden können. Dafür ist die einfachste Methode die Messung des Harn-pH direkt im Stall. Der Nachteil der pH-Wert-Messung ist die in der Untersuchung gefundene exponentiale

Beziehung zwischen dem pH-Wert und dem NSBA-Wert. So kommt es im Zielbereich der Ansäuerung (NSBA um 0 mmol/l bzw. einer DCAB um 0 mEq/kg TS) zu einem drastischen Abfall des pH-Wertes (Abbildung 26 und Abbildung 27). Die exponentiale Beziehung des Harn-pH zur NSBA (CONSTABLE et al., 2009) bzw. zur DCAB (CHARBONNEAU et al., 2006, MCNEILL et al., 2002, OETZEL, 2000, STAUFENBIEL, 2003) ist auch das Ergebnis anderer Untersuchungen.

Zusätzlich zum pH- und NSBA-Wert dient die Kalziumausscheidung im Harn als Kontrollmöglichkeit der Anionenration. Ziel der durch die anionischen Salze erzeugten metabolischen Acidose ist eine erhöhte Harnkalziumkonzentration. Bei der Betrachtung der Beziehung der NSBA zur Harnkalziumkonzentration fällt auf, dass im Zielbereich der NSBA bei Fütterung anionischer Salze die Streuung der Kalziumausscheidung im Harn sehr groß ist (Abbildung 28). So haben Kühe mit negativer NSBA sehr niedrige (< 5 mmol/l) und sehr hohe (> 15 mmol/l) Harnkalziumkonzentrationen. Eine mögliche Erklärungsmöglichkeit für erniedrigte Harnkalziumkonzentrationen kann ein zu geringer Gehalt an bioverfügbarem Kalzium in der Futtermittelration sein. Zu niedrige Werte können außerdem für eine ungenügende Mobilisierung des Kalziumstoffwechsels sprechen (GELFERT et al., 2007). So kommt es bei ungenügender Ansäuerung und damit nur schwacher metabolischer Acidose der Kühe nur zu sehr schwachen Anstiegen der Kalziumkonzentration im Harn, die Ausdruck der Regulierung der Kalziumversorgung im Falle einer hohen passiven Kalziumabsorption sind (GELFERT et al., 2007). Zu hohe Werte sprechen dagegen für eine sehr starke acidotische Belastung (GELFERT et al., 2006d).

Eine Häufung an Gebärparesefällen konnte während des Untersuchungszeitraumes immer dann beobachtet werden, wenn Unregelmäßigkeiten in der Fütterung der Kühe in der Vorbereitergruppe auftraten. Dabei kam es durch hygienisch nicht einwandfreie Grobfuttermittel zu Verringerung der Trockenmasseaufnahmen oder durch nicht gehäckseltes Stroh in der Futtermittelration, das die Kühe nicht fraßen, zu Veränderungen des Säure-Basen-Haushaltes in Richtung einer Acidose. Eine starke Reduzierung der Trockenmasseaufnahme in Verbindung mit der natürlichen Reduktion der Futteraufnahme zur Kalbung führte dann zu nicht kompensierten Acidosen. Durch die starken Acidosen schieden die Tiere bei gleichzeitigem Sistieren der Kalziumaufnahme über das Futter aufgrund des starken Rückgangs der Trockenmasseaufnahme vermehrt Kalzium über den Harn aus mit der Folge eines Kalziummangels im Blut. Bei Entgleisen des Säure-Basen-Haushaltes führte dieser Kalziummangel im Blut zu vermehrtem Auftreten von hypokalzämischen Festliegen vor der Kalbung und Dystokien.

Ein anderer Grund für das Entgleisen des Säure-Basen-Stoffwechsels war Futterentzug durch das Vorlegen einer nicht genügenden Futtermenge. Der Futtermangel könnte in Form von Energiemangel zur Verstärkung der anionischen Salze beigetragen haben (GELFERT et al., 2008). Eine andere Möglichkeit wäre eine Veränderung des Pansen-pH, wie sie auch beim „Off feed“-Effekt im Zusammenhang mit dem Auftreten der Pansenacidose bekannt ist (ROSSOW, 2008). Ein vorübergehender Futterentzug von 8-12 Stunden kann die Bildung von flüchtigen Fettsäuren bzw. Laktat verhindern, was mit einem Anstieg des pH im Pansen verbunden ist. Dies reduziert die Vermehrungsrate der Laktatverwerter. Haben die Tiere Gelegenheit, nach dem Futterentzug wieder reichlich Futter aufzunehmen, sinkt der pH drastisch ab, weil sich wegen nicht ausreichenden Laktatverwertern verstärkt Laktat bilden kann. Bei einem pH von 5,0 wird Laktat langsamer resorbiert. Der Laktatstau senkt den pH weiter ab. Reine Laktatproduzenten gewinnen die Oberhand und die Laktatverwerter verschwinden. Es entwickelt sich eine Pansenacidose (ROSSOW, 2008). Diese Veränderung des pH im Pansen könnte zu einer metabolischen Acidose der Kuh mit einer Verstärkung der Wirkung der anionischen Salze geführt haben. Die Folge wäre auch hier ein akuter Kalziummangel bei Kühen direkt vor der Kalbung.

5.4. Untersuchung der Zeiteffekte auf die Harnproben

Die theoretische Wirkungsweise der anionischen Salze kann nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden. Mit dem Einsetzen der Fütterung einer Anionenration kommt es im Harn zu deutlichen Anzeichen einer Acidose.

Die pH- und NSBA-Werte im Harn fallen in den ersten Tagen nach Wechsel in die Vorbereitergruppe ab, dann steigen die Werte wieder leicht an, um dann wieder abzufallen (Abbildung 34 und Abbildung 35). Ein solcher Verlauf der pH- und NSBA-Werte wird auch in einer Arbeit von MONTAG (2005) gefunden. Als Gründe für diese Schwankungen werden dort einerseits Variationen in der Futterqualität oder in der Futteraufnahme aufgeführt (MONTAG, 2005). Andererseits könnte der Anstieg der Harnparameter durch gegenregulative Vorgänge bedingt sein (MONTAG, 2005). Es könnte möglich sein, dass die Kalziumresorption zu der Zeit des Ansteigens der Parameter einsetzt. Dadurch stehen vorübergehend Puffersubstanzen wie Carbonate aber auch Phosphate durch Kalziumfreisetzung aus dem Knochen zur Verfügung (TRAN, 1997), die die Effekte der anionischen Salze mindern.

Die meisten NSBA-Werte liegen in der vorliegenden Untersuchung im Referenzbereich nach STAUFENBIEL (2010) von -50 bis +50 mmol/l. Der Organismus scheint es also durch

gegenregulative Vorgänge zu schaffen, ein Entgleisen der Homöostase des Säure-Basen-Haushaltes zu verhindern.

Diese Ergebnisse bestätigen das vorhandene theoretische Wissen über die anionischen Salze. Die volle Wirkung der Anionen ist nach 3-7 Tagen erreicht (MONTAG, 2005). Zur praktischen Kontrolle der Wirkung der Anionenration kann bei Kühen ab 2 Tage nach Wechsel in die Vorbereiterfütterung bei Einsatz anionischer Salze der pH im Harn gemessen werden (GOFF, 2008, GOFF und HORST, 2003b). GELFERT et al. (2006b) empfehlen zur Kontrolle der Anionenration Kühe auszuwählen, die seit mindestens 5 Tagen die Anionenration erhalten. Der Einsatzzeitraum der anionischen Salze sollte zwei bis maximal drei Wochen betragen (GOFF, 2008, STAUFENBIEL, 2010).

Bei der Betrachtung Säure-Basen-Parameter im Harn zu den Tagen bis zur Kalbung fällt in der vorliegenden Untersuchung im Trend ein Abfall der pH- und NSBA-Werte im Harn auf (Abbildung 36 und Abbildung 37). Dies steht in Übereinstimmung mit anderen Untersuchungsergebnissen (FÜRLI et al., 2002, FÜRLI et al., 1994), die mit Annäherung an den Kalbetermin, verbunden mit zunehmender acidotischer Stoffwechsellage, einen kontinuierlichen Abfall der NSBA im Harn beobachten. Als Ausdruck eines bestehenden Zusammenhanges zwischen acidotischer Stoffwechsellage und renaler Kaliumausscheidung konnten in Untersuchungen positive Korrelationen zwischen NSBA (EUSTERMANN, 2003) bzw. pH (CONSTABLE et al., 2009) und der Kaliumkonzentration im Harn festgestellt werden. Die Konzentration von Kalium im Harn ist abhängig von der Kaliumaufnahme der Kuh über das Futter (CONSTABLE et al., 2009, FÜRLI, 1994). Die stark verringerte Trockenmasseaufnahme in der letzten Woche vor der Kalbung (BERTICS et al., 1992, GRUMMER, 1995) und die damit verringerte Kaliumaufnahme könnte eine Erklärung für das Absinken der pH- und NSBA-Werte zur Kalbung sein.

Um eine Aussage über den Messzeitpunkt der Harnparameter zur praktischen Kontrolle der Anionenration zu machen, wurde ein vierundzwanzigstündiges Harntagesprofil für den Einsatz einer Anionenration zur Prophylaxe der Hypokalzämie untersucht.

Die pH-, NSBA- und Harnkalziumwerte zeigen in der vorliegenden Untersuchung keine signifikanten tagesdynamischen Veränderungen bei der einmaligen TMR-Fütterung (Tabelle 32). Keine signifikanten tagesdynamischen Veränderungen des Harn-pH (GOFF und HORST, 1998a, MONTAG, 2005, ROCHE et al., 2007), der NSBA (MONTAG, 2005) und der Harnkalziumkonzentration (FRÖMER, 2004) bei Fütterung anionischer Salze sind auch in anderen Untersuchungen festgestellt worden. In der vorliegenden Untersuchung gibt es aber teils erhebliche individuelle Schwankungen der Harnparameter (Abbildung 52 bis Abbildung

57). Nach einer Untersuchung von GOFF und HORST (2003b) kann bei einer einmaligen täglichen Fütterung einer Anionenration der pH-Wert im Harn um eine volle pH-Einheit schwanken. Tagesdynamische Schwankungen um eine ganze pH-Einheit können auch in der vorliegenden Untersuchung beobachtet werden (Tabelle 33). Diese Schwankungen könnten durch zusätzliche tagesdynamische Veränderungen des Pansen-pH erklärt werden, die sich dann mit den Effekten der anionischen Salze addieren. Individuelle Unterschiede des Pansen-pH hängen offenbar mit der Höhe der Futteraufnahme, der Anzahl der Mahlzeiten, der Sortierung bestimmter Futterbestandteile aus der Futtermischung, der Speichelflussrate, der Passagerate des Panseninhaltes und der Absorptionsrate der flüchtigen Fettsäuren zusammen (ROSSOW, 2008). Insgesamt korreliert der Pansen-pH gering mit den pH- und NSBA-Werten (ENEMARK, 2008). Den Tiefstpunkt erreicht der Pansen-pH 6-10 Stunden nach Vorlage einer frischen TMR und nach 2-4 Stunden bei Kraftfuttergabe im Melkstand (COOK et al., 2006b).

Für die praktisch notwendige Kontrolle der Anionenration ergeben sich damit keine Auswirkungen auf den Messzeitpunkt der Harnparameter. Dagegen empfehlen GOFF und HORST (2003b) die Messung des Harn-pH 6-9 Stunden nach Vorlage einer frischen TMR. Aufgrund der nach oben und unten möglichen biologischen Verschiebung des Harn-pH und der NSBA ist der Mittelwert einer Gruppe von Kühen die beste Möglichkeit der Interpretation der Ergebnisse (COOK et al., 2006b). COOK et al. (2006b) schlagen eine Mindeststichprobengröße von acht Kühen vor. Durch die Bildung eines Mittelwertes können die teils erheblichen tagesdynamischen kuhindividuellen Schwankungen kompensiert werden. Die Harnkalziumkonzentration kann ebenfalls als Mittelwert interpretiert werden.

5.5. Untersuchung der Beziehung zwischen den Harnparametern und den Rationskennwerten

Die DCAB nach ENDER (1971) bzw. nach GOFF (2004) hat in der vorliegenden Untersuchung den größten Einfluss auf den pH und die NSBA im Harn (Tabelle 65 bis Tabelle 68). Auch die Kalziumkonzentration im Harn wird in dieser Untersuchung hauptsächlich durch die DCAB bestimmt (Tabelle 70 und Tabelle 69). Der Kalziumgehalt der Futtermischung hat keinen Einfluss. Dieser geringe Einfluss des Kalziums in der Futtermischung wird auch in einer Untersuchung von FRÖMER (2004) bestätigt, in der die alleinige Erhöhung des Kalziumanteils in der Ration bei Kontrolltieren ohne Fütterung einer Anionenration zu keinen nennenswerten Veränderungen bezüglich der Harnkalziumkonzentration führte. Ein Unterschied zwischen dem Einfluss der DCAB nach ENDER et al. (1971) und der DCAB nach GOFF et al. (2004) ist in dieser Untersuchung nicht

erkennbar. Beide Formeln der DCAB korrelieren signifikant mit pH-, NSBA- und Harnkalziumwerten. Der signifikante Zusammenhang zwischen der DCAB nach ENDER et al. (1971) bzw. nach GOFF et al. (2004) und dem Harn-pH wird in einer Metaanalyse von CHARBONNEAU et al. (2006) bestätigt. In der vorliegenden Untersuchung wird die DCAB hauptsächlich vom Kaliumgehalt der Ration beeinflusst. Die Ergebnisse dieser Untersuchung und die Ergebnisse anderer Untersuchungen unterstreichen die große Bedeutung des Kaliumgehaltes der Futtermischung auf den Säure-Basenhaushalt der Transitkuh ante partum (CONSTABLE et al., 2009, EUSTERMANN, 2003, FÜRLL, 1994, FÜRLL et al., 2002, FÜRLL et al., 1994, GOFF, 2006a, GOFF und HORST, 1997a, STAUFENBIEL, 2004).

Der Rohprotein- und Rohfasergehalt in der Futtermischung hat in der vorliegenden Untersuchung zusätzlich zur DCAB einen Einfluss auf die Säure-Basen-Parameter des Harns. Der geringe Einfluss des Rohprotein- und Rohfasergehaltes spiegeln wahrscheinlich den Einfluss der Pansenfermentation auf den Säure-Basen-Intermediärstoffwechsel wider. In der Anionenration soll die ansäuernde Wirkung im Blut ausschließlich durch die anionischen Salze ausgelöst werden (STAUFENBIEL, 2004). Durch unangepasste Rationszusammensetzungen können weitere ansäuernde bzw. abpuffernde Rationseffekte hinzukommen, die sich negativ addieren (STAUFENBIEL, 2010). Deshalb müssen Anionenration wiederkäuer- und bedarfsgerecht zusammengestellt sein (STAUFENBIEL, 2003).

5.6. Untersuchung der Beziehung der Harnparameter zu den Blutparametern

Im gesamten Untersuchungszeitraum der Fütterung anionischer Salze wurde die Beziehung der Harnparameter zu den Blutparametern untersucht (Abbildung 38 bis Abbildung 42). Die NSBA der monatlichen Poolwerte liegt in dieser Untersuchung bis auf wenige Ausnahmen im Referenzbereich von -50 bis +50 mmol/l (STAUFENBIEL, 2010). Die Harnkalziumkonzentration fällt ab dem dritten Probenmonat stark ab und liegt außerhalb des Referenzbereiches von 7-15 mmol/l (STAUFENBIEL, 2010), um dann wieder leicht anzusteigen. Gleichzeitig fällt die Kalziumkonzentration im Futter ab und die eingesetzte Menge an Futterkalk wird reduziert.

Der Abfall der Serumkalziumkonzentration in den Probenmonaten vier bis sieben könnte mit der für die Kuh verfügbaren Kalziummenge in Verbindung stehen. In den ersten drei Probenmonaten wurde als Grobfuttermittel neben Maissilage und Ganzpflanzensilage Anwelksilage gefüttert, danach wurde statt der Anwelksilage Luzernesilage gefüttert. Da ab dem dritten Probenmonat sowohl der gesamte Kalziumgehalt im Futter als auch die Menge an Futterkalk sinkt und ein größerer Teil der Tiere Kalziumkonzentrationen im Harn < 7 mmol/l

aufweisen, ist zu vermuten, dass die Kalziumverfügbarkeit für die Kühe im Futter abnimmt. So ist in Luzerne nur 30% des Kalziums für die Kuh verfügbar (MARTZ et al., 1999). Die Kalziumverfügbarkeit von Futterkalk als Mineralfuttermittel liegt dagegen bei 70% (NRC, 2001). Eine zu niedrige Harnkalziumkonzentration spricht für eine ungenügende Mobilisierung des Kalziumstoffwechsels (GELFERT et al., 2007). Ziel der Ansäuerung durch die anionischen Salze ist die Aktivierung des Kalziumstoffwechsels mit der Folge, dass die nicht laktierende Kuh das dann vermehrt zur Verfügung stehende Kalzium über den Harn ausscheidet (STAUFENBIEL, 2003). Bei einem über längere Zeit niedrigen Gehalt an für die Kuh verfügbarem Kalzium in der Anionenration werden die Reserven im Knochen übermäßig beansprucht mit der Folge, dass zu Laktationsbeginn dann zu wenig verfügbares Kalzium für die Kuh vorhanden ist (STAUFENBIEL, 2003). Dies wäre eine mögliche Erklärung für die in diesem Zeitraum erniedrigten Serumkalziumkonzentrationen. Hier ist weiterer Forschungsbedarf vorhanden.

Der Anstieg der Serumkalziumkonzentration in den Probenmonaten acht und neun ist wahrscheinlich auf die systematische Vitamin D₃-Injektion als zusätzliche Prophylaxe der Hypokalzämie zurückzuführen. In diesem Zeitraum erhielten alle Kühe in der Vorbereitungsgruppe ab der zweiten Laktation sieben Tage vor dem errechneten Kalbetermin eine Vitamin D₃-Injektion. Das Ansteigen der Serumkalziumkonzentration unterstreicht in diesem Zusammenhang die Kombinationsmöglichkeit der Fütterung anionischer Salze und der Vitamin D₃-Injektion zur Prophylaxe der Hypokalzämie (STAUFENBIEL, 2003).

6. Schlussfolgerungen

- (1) Der Kaliumgehalt der Futtermittel bzw. der Einzelfuttermittel bestimmt hauptsächlich die DCAB der Futtermittel bzw. der Einzelfuttermittel und damit den Säure-Basen-Haushalt der Kühe. Aus einfachen Gründen der Praktikabilität sollte weiterhin die vielfach genutzte DCAB-Formel nach ENDER (1971) verwendet werden. Die Absenkung der DCAB in den Bereich um 0 mEq/kg TS (-50 mEq/kg TS bis +50 mEq/kg TS) ist für die Prophylaxewirkung ausreichend und für die Tiergesundheit mit einem geringen Risiko für Komplikationen gut verträglich.
- (2) Der Einsatz einer Anionenration ist eine praktisch anwendbare Methode zur strategischen Prophylaxe der klinischen und subklinischen Hypokalzämie auf Herdenebene. Die sachgerechte Anwendung anionischer Salze führte in der vorliegenden Beobachtungsstudie zu einer besseren Tiergesundheit in Form von niedrigeren Erkrankungsinzidenzen und zu einer höheren Serumkalziumkonzentration nach der Abkalbung als die Verwendung der kalziumreduzierten Vorbereitungsfütterung.
- (3) Ungefähr 50% aller pluriparen Kühe und ungefähr 20% der Jungkühe haben um die Kalbung unter Berücksichtigung des derzeit gültigen Grenzwertes von 2,0 mmol/l eine subklinische Hypokalzämie. Hypokalzämische Tiere haben signifikant höhere NEFA-Konzentrationen als normokalzämische Tiere. Die hohe Inzidenz der subklinischen Hypokalzämie in Verbindung mit erhöhten NEFA-Werten um die Kalbung sollten als potentiell Gesundheitsrisiko der Transitzüchter interpretiert werden und verdeutlichen, dass jeder Milchviehbetrieb eine strategische Prophylaxemaßnahme gegen die Hypokalzämie benötigt.
- (4) Die Ansäuerung mit Verschiebung der pH- und NSBA-Werte in den sauren Bereich ist auf den Einsatz der anionischen Salze zurückzuführen. Die erhöhte Kalziumkonzentration im Harn (> 7,0 mmol/l) zeigt die gewünschte Wirkung der anionischen Salze an. Der Rationswechsel mit dem Absetzen der anionischen Salze hebt diese Ansäuerung auf und führt zu einem sprunghaften Anstieg der pH- und NSBA-Werte bei gleichzeitigem Absinken der Harnkalziumwerte.
- (5) Aufgrund der individuellen Streuung der Einzelwerte im Zielbereich der Ansäuerung (DCAB um 0 mEq/kg TS bzw. NSBA um 0 mmol/l) ist die Schaffung differenzierter Referenzbereiche mit sicherer ansäuernder Wirkung für die Bewertung der Pool- und der Einzelproben notwendig (Tabelle 34). Es muss zwischen den Referenzwerten der Pool- und Einzelproben unterschieden werden. Für die praktische Kontrolle im Stall sollte aus den

Harn-pH-Werten der Einzelproben der Mittelwert gebildet werden und dieser mit dem Referenzbereich verglichen werden. In der Herdenbetreuung bietet sich aus Kostengründen die Untersuchung von Poolproben zur routinemäßigen Beurteilung und Kontrolle der Anionenration an.

(6) Der Tageszeitpunkt der Entnahme der Harnproben zur praktischen Kontrolle der Anionenration hat keinen Einfluss auf das Messergebnis. Einzelne Kühe zeigen im vierundzwanzigstündigen Tagesprofil teils erhebliche individuelle Schwankungen der Harnparameter. Um in der Praxis diese individuellen Schwankungen zu kompensieren, sollte der Mittelwert aus mindestens acht, besser zehn, Kühen gebildet werden und mit dem gültigen Referenzwert verglichen werden.

(7) Die volle Wirkung der anionischen Salze ist innerhalb von 48 bis 72 Stunden nach Beginn der Fütterung einer Anionenration erreicht. Für die praktische Kontrolle der Anionenration mittels Harnuntersuchung sollten daher Kühe als Probanden ausgesucht werden, die mindestens drei Tage die Anionenration erhalten. Zur Kalbung sinken der Harn-pH und die NSBA aufgrund der physiologisch verringerten Trockenmasseaufnahme a.p. ab. Die Energiekonzentration der Futtermittel sollte deshalb ausreichend hoch sein, um einer Verstärkung der Acidose durch Energiemangel entgegenzuwirken.

(8) Beim Einsatz anionischer Salze ist die Substitution von Kalzium in der Futtermittelration von großer Bedeutung. Die Bioverfügbarkeit von Kalzium für die Kuh ist dabei in den einzelnen Futtermitteln unterschiedlich. Um eine sichere prophylaktische Wirkung zu gewährleisten, sollte bei der Rationskalkulation die Bioverfügbarkeit des Kalziums beachtet werden.

Tabelle 34: Vorgeschlagene Referenzwerte für die Kontrolle einer Anionenration

| Parameter | Probe | Berechneter Referenzbereich | Vorgeschlagener Referenzbereich |
|-----------|--|-----------------------------|---------------------------------|
| pH | Poolprobe Mittelwert aus Einzelproben | 7,04 – 7,78 | 7,0 – 7,7 |
| NSBA | Poolprobe Mittelwert aus Einzelproben | + 4 bis + 32mmol/l | 0 bis + 30 mmol/l |
| pH | Einzelprobe | 5,42 – 8,32 | 6,2 – 7,8 |
| NSBA | Einzelprobe | -55,7 bis + 82,3 mmol/l | -50 bis + 50 mmol/l |

7. Praktische Empfehlungen für den Einsatz einer Anionenration

Die bedeutendste Mineralstoffwechselerkrankung der Milchkuh ist die klinische und subklinische Hypokalzämie mit ihren möglichen negativen Auswirkungen auf die Tiergesundheit, Produktivität und damit Profitabilität der Milchviehhaltung.

Aufgrund der Bedeutung und der Folgen der Hypokalzämie wurden verschiedene strategische Prophylaxekonzepte entwickelt, darunter die Anionenration (Fütterung von „sauren Salzen“). Der Einsatz von anionischen Salzen wird sowohl in der praktischen Anwendung als auch in der Wissenschaft kontrovers diskutiert. Die Erfahrungen reichen von guter Wirksamkeit bis hin zu unbefriedigender Wirkung. Teilweise wird sogar von einer Zunahme an festliegenden Kühen bzw. kranken Kühen (Ketosen, Leberschäden) sowie von Kuhverlusten (Tod durch Vergiftung) im Zusammenhang mit dem Einsatz der anionischen Salze berichtet.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Optimierung von Konzepten zur effizienten Nutzung anionischer Salze mit sicherer prophylaktischer Wirkung bei Minimierung der Nebenwirkungen.

Für den Einsatz der Anionenration lassen sich aus der vorliegenden Literatur und den Ergebnissen der eigenen Untersuchung nachfolgend aufgeführte Empfehlungen formulieren.

Die sachgerechte Anwendung einer Anionenration stellt eine wirksame Methode zur Prophylaxe der klinischen und subklinischen Hypokalzämie auf Herdenebene dar. Durch die Reduktion der klinischen und subklinischen Hypokalzämie mit ihren bekannten Folgeerkrankungen können nachweislich positive und nachhaltige Effekte auf die Tiergesundheit erwartet werden. Gute Tiergesundheit kombiniert mit hoher Milchleistung bildet die Ausgangsbasis für eine produktive und profitable Milcherzeugung unter den vorherrschenden mitteleuropäischen Produktionsbedingungen.

Eine erfolgreiche Nutzung der Anionenration zur Prophylaxe der Hypokalzämie stellt dabei hohe Anforderungen an die Fütterung und das Management eines Milchviehbetriebes.

Vor Beginn des Einsatzes einer Anionenration sollten von allen verwendeten Futterkomponenten neben den üblichen Futterinhaltsstoffen die DCAB (DCAB nach ENDER (1971)), der Kalium-, Chlorid-, Schwefel-, Magnesium-, Kalzium- und Phosphorgehalt bestimmt werden. Tabellenwerte sind in Hinblick auf die DCAB nicht für die exakte Rationsberechnung geeignet.

Die Anionenration sollte aus homogenen und qualitativ hochwertigen Ausgangsfuttermitteln bestehen. Dies trifft in besonderem Maße für die Grobfuttermittel zu, die in ihrer Zusammensetzung sowieso schon wesentlichen Schwankungen unterliegen.

Anionenrationen müssen wiederkäuer- und bedarfsgerecht zusammengestellt sein, um eine hohe kontinuierliche Futteraufnahme zu erreichen (Tabelle 35). Eine hohe kontinuierliche Futteraufnahme einer wiederkäuer- und bedarfsgerechten Ration kann Störungen der Pansenfermentation und Energiemangel verhindern, die die Wirkung der anionischen Salze negativ beeinflussen können. Zur Herstellung einer möglichst homogenen Anionenration ist deshalb die Verwendung einer TMR besonders geeignet.

Vor der Einbeziehung der anionischen Salze in die Berechnung der Futtermischung sollte durch entsprechende Rationsgestaltung die DCAB auf unter +250 mEq/kg TS und der Kaliumgehalt auf unter 15g/kg TS gesenkt werden. Der Kaliumgehalt der Futtermischung hat dabei den größten Einfluss auf die DCAB. Zur Reduktion des Kaliums und damit der DCAB in der Futtermischung sind bevorzugt kaliumarme Grobfuttermittel auszuwählen. Als geeignet erscheinen extensiv produzierte Anwelksilage, Maissilage, Pressschnitzel und gehäckseltes Futterstroh. Der Einsatz kaliumreicher Futtermittel wie Anwelksilage von intensiv gedüngten Flächen, Luzerne, Melasse oder Pansenpufferzusätze ist auf ein Minimum zu reduzieren.

Kann die DCAB der Gesamtration nicht unter die angegebenen Werte gesenkt werden, ist nach derzeitigem Wissensstand eine andere Methode der Prophylaxe der Hypokalzämie auszuwählen. Eine Absenkung der DCAB der Gesamtration (Ausgangs-DCAB +200 bis +250 mEq/kg TS) mittels anionischer Salze um über 300 mEq/kg TS sollte vermieden werden, da die Kühe mit einer Reduktion der Futteraufnahme aufgrund einer Überdosierung der anionischen Salze reagieren können. Zu geringe Dosierungen anionischer Salze führen dagegen zum Ausbleiben des gewünschten Prophylaxeeffektes.

Eine Absenkung der DCAB mittels anionischer Salze in einen Bereich um 0 mEq/kg TS (-50 mEq/kg TS bis +50 mEq/kg TS) gewährleistet eine sichere Prophylaxewirkung in Hinblick auf die Hypokalzämie bei gleichzeitiger Verminderung von unerwünschten Nebenwirkungen. Die Auswahl des anionischen Salzes und die Mengenermittlung erfolgt auf Grundlage des Gesamtgehaltes der Ration an Chlorid und Schwefel. Wenn möglich sollte auf geschmacksneutrale oder mikrokapselte anionische Salze zurückgegriffen werden.

In der praktischen Fütterung ist auf korrekte Menge und Ladereihenfolge der Futtermittel, Mischzeiten sowie auf Mischgenauigkeit zu achten, um eine homogene Verteilung der anionischen Salze in der Futtermischung zu erreichen. Um die Mischgenauigkeit des Futtermischwagens zu überprüfen, kann nach Vorlage einer frischen Ration am Anfang, in der Mitte und am Ende des Futtertisches jeweils eine Futterprobe genommen werden. Die Ergebnisse der Futteranalyse sollten bei einer ordentlichen Mischgenauigkeit fast identische

Werte aufweisen. Bei Rationsänderungen sollte die DCAB der Gesamtration bzw. der einzelnen Futtermittel beachtet werden.

Der Einsatzzeitraum der anionischen Salze ist auf die letzten zwei bis drei Wochen vor der Kalbung zu begrenzen. Die Anwendung einer Anionenration in der Vorbereitungs- fütterung der Färsen ist ohne Probleme möglich und kann als Nebeneffekt die Entwicklung von Euterödemen reduzieren. Damit ist es möglich, dass auch kleinere Betriebe, die aus arbeitstechnischer Sicht nur eine gemeinsame Vorbereitungs- fütterung für Färsen und Mehrkalbskühe realisieren können, auf das Konzept der Anionenration zur Gebärpareseprophylaxe zurückgreifen können. Die anionischen Salze sind bis zur Kalbung zu füttern und müssen mit der Kalbung abgesetzt werden. Grund für das Absetzen mit der Kalbung sind die veränderten Bedarfswerte der frischmelkenden Kuh zu Laktationsbeginn.

Während der Vorbereitungs- fütterung mit einer Anionenration müssen die Kühe 24 Stunden am Tag die Möglichkeit haben, jederzeit genügend qualitatives und homogenes Futter aufzunehmen. Gleichzeitig muss sichergestellt werden, dass ausreichend Fressplatzkapazitäten vorhanden sind, um eine hohe kontinuierliche Futteraufnahme zu gewährleisten. Dafür wird mittlerweile eine Belegdichte von maximal 85% der vorhandenen Fressplätze in der Transitphase empfohlen.

Die richtige Mineralstoffergänzung von Anionenrationen ist eine weitere wichtige Empfehlung für den erfolgreichen Einsatz der anionischen Salze. Die dem erhöhten Bedarf in der Vorbereitungsphase entsprechende Ergänzung an Vitaminen und Spurenelementen ist grundsätzlich zu gewährleisten. Bei der Kalkulation der Kalziumversorgung sollte die Bioverfügbarkeit des Kalziums für die Kuh aus den eingesetzten Futtermitteln abgeschätzt werden. Um eine ausreichende Menge an bioverfügbarem Kalzium in der Futtermischung zu gewährleisten, sollte Futterkalk als anorganische Kalziumquelle mit einer hohen Kalzium-Bioverfügbarkeit eingesetzt werden. 10 g Futterkalk (CaCO_3) pro kg TS liefern 4 g Ca/kg TS. Für die sichere Wirkung der Anionenration ist die Einhaltung eines Kalziumgehaltes zwischen 9 und 13 g Ca/kg TS von großer Bedeutung. Der Einsatz von Futterkalk kann bei keinen relevanten Nebenwirkungen die Sicherheit der Anionenration durch Erhöhung des Anteils an bioverfügbarem Kalzium in der Futtermischung verbessern.

Für eine sichere Wirkung der Anionenration sollten sich die Gehalte von Phosphor und Magnesium um 4 g/kg TS, von Natrium um 1,2 g/kg TS und von Schwefel unter 4g/kg TS bewegen. Zur Sicherstellung des Magnesiumgehaltes bietet sich bei Einsatz der Anionenration die anteilige Verwendung von Magnesiumsulfat als anionisches Salz an.

DCAB und Gehaltswerte der Mineralstoffe finden vor allem in der Planung und Kalkulation der Anionenration Verwendung. Wichtig für das Verständnis der Anionenration ist dabei, dass die DCAB der Futtermittelration immer nur eine Hilfsgröße ist. Da besonders die Grobfuttermittel Schwankungen in den Inhaltsstoffen und damit auch der DCAB unterliegen, bedarf es einer regelmäßigen kontinuierlichen Kontrolle der Anionenration, um etwaige Anpassungen der Einsatzmenge der anionischen Salze vornehmen zu können. Die Schwankungen der analysierten DCAB- und Harnwerte der eigenen Ergebnisse demonstrieren die Notwendigkeit einer Kontrolle deutlich. Die kontinuierliche routinemäßige Überwachung muss einfach vom Landwirt oder Herdenmanager vor Ort angewendet und unmittelbar ausgewertet werden können. Das ist schon aus Kostengründen über die DCAB nicht möglich.

Die Wirkung der Anionenration am Tier selbst ist für das Erreichen der angestrebten Prophylaxe viel bedeutender und kann den Einsatz der Anionenration tiernah und objektiv evaluieren. Deshalb sind aussagekräftige Untersuchungsgrößen an der Kuh von entscheidender Bedeutung sowohl für das Einstellen der richtigen Ration als auch zur ständigen Überwachung der Anionenration. Als Messgröße der metabolischen Acidose im Blut der Kühe hat sich die Harnuntersuchung etabliert. Sie wird zugleich den Anforderungen einer einfachen Probenentnahme und Analytik gerecht. Als Probanden werden Kühe ausgewählt, die die Anionenration seit mindestens drei Tagen fressen.

Eine Kontrolle der Anionenration ist durch Einzel- und Poolproben möglich. Die einfachste Methode zur Kontrolle der Anionenration ist die Messung des Harn-pH direkt im Stall. Der Nachteil der Messung des Harn-pH ist die exponentiale Beziehung zwischen Harn-pH und NSBA bzw. der DCAB. So kommt es im Zielbereich der Ansäuerung (NSBA um 0 mmol/l bzw. einer DCAB um 0 mEq/kg TS) zu einem drastischen Abfall des Harn-pH. Der größte Vorteil der Harnuntersuchung mittels pH-Messung ist jedoch die unmittelbar mögliche Auswertung vor Ort durch Landwirt, Fütterungsberater und Tierarzt.

Für die Messung des Harn-pH stehen einfache Harn-pH-Meter als kleine Handgeräte für die Anwendung im Stall zur Verfügung. Eine einfachere, kostengünstigere und praktikablere Messmethode ist die Verwendung von Papierteststreifen zur Harn-pH-Messung mit einer farblichen Variabilität des pH-Bereiches zwischen 5,0 und 8,0. Sie liefert die gleichen Ergebnisse wie die aufwendigere Messung mittels Harn-pH-Meter. Die Kontrolle der Anionenration mittels pH-Messung im Harn sollte als feste Aufgabe in das Herdenmanagement integriert werden. In Abhängigkeit von der Herdengröße ist die pH-

Bestimmung im Harn mindestens zweimal in der Woche bei acht bis zehn Tieren durchzuführen.

Die NSBA gibt aufgrund ihrer linearen Beziehung zur DCAB den Effekt der anionischen Salze genau wieder und kann deshalb als Maß für die DCAB genutzt werden. Empfehlenswert ist die NSBA-Messung in größeren Abständen, ein- oder zweimal im Monat, oder nach einem Rationswechsel bzw. einem Wechsel der Silagen. Zusätzlich sollte die Harnkalziumkonzentration (7 bis 15 mmol/l) zur Kontrolle der Kalziummobilisation und Kalziumaufnahme bzw. der Bioverfügbarkeit von Kalzium aus der Futtermischung bestimmt werden. Analytisch kann die Messung der Harnkalziumkonzentration in Einzel- oder Poolprobe erfolgen.

Nach einem Rationswechsel ist es ebenfalls sinnvoll, neben den gemessenen Harnparametern an der Kuh, die TMR zu untersuchen und so gegebenenfalls Anpassungen an der Futtermischung vorzunehmen.

Aufgrund der individuellen Streuung der Einzelwerte im Zielbereich der Ansäuerung ist die Schaffung differenzierter Referenzbereiche mit sicherer ansäuernder Wirkung für die Bewertung der Pool- und der Einzelproben notwendig (Tabelle 34). Es muss zwischen den Referenzwerten der Pool- und Einzelproben unterschieden werden. Für die praktische Kontrolle im Stall sollte aus den Harn-pH-Werten der Einzelproben der Mittelwert gebildet werden und dieser mit dem Referenzbereich verglichen werden.

Die Auslenkung der Einzel- und Poolwerte der Harnparameter aus dem Referenzbereich geben keinen Hinweis auf die ätiologische Ursache ihrer Auslenkung, da der Säure-Basen-Haushalt der Tiere multifaktoriell beeinflusst wird.

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Erfolgskontrolle der Anionenration ist die Beobachtung der Futteraufnahme und Kuhsignale. Eine schlechte Futteraufnahme kann allgemein durch Fehler in der Rationsgestaltung, Fütterungstechnik, Futtervorlage oder ähnliches begründet sein. Speziell beim Einsatz anionischer Salze können weitere Fehlerquellen wie Überdosierung, eine zu lange Salzgabe (über drei Wochen) oder schlechte sensorische Eigenschaften der Futtermischung bzw. der zugesetzten anionischen Salze hinzukommen. Ebenso sollte bei Rationswechseln der Futteraufnahme der Kühe eine hohe Aufmerksamkeit zu kommen, um Futteraufnahmedepressionen rechtzeitig entgegen wirken zu können.

Retrospektiv spricht für den erfolgreichen Einsatz der Anionenration eine Häufigkeit der Gebärparasen – in Form von festliegenden Kühen – unter 3% der Abkalbungen der Mehrkalbskühe. Die Prophylaxewirkung in Hinblick auf die subklinische Hypokalzämie als auslösender Faktor für hypokalzämieassoziierte Erkrankungen kann mittels Messung der

Serumkalziumkonzentration pluriparer Kühe überprüft werden. Zur Analyse der Serumkalziumkonzentration sollten die Blutproben im Zeitraum 12 bis 24 Stunden nach der Kalbung genommen werden. Die Stichprobengröße sollte 12 pluripare Kühe betragen. Bei Analyse der Serumkalziumkonzentration von 12 Kühen kann die Prophylaxewirkung der anionischen Salze in Hinblick auf die subklinische Hypokalzämie als wirkungsvoll eingestuft werden, wenn mehr als zehn Tiere eine Serumkalziumkonzentration $> 2,0$ mmol/l aufweisen. Zusätzlich zur Prophylaxemaßnahme der Hypokalzämie mittels anionischer Salze auf Herdenebene ist die Kombination mit den allgemein anerkannten Prophylaxemaßnahmen der Vitamin D₃ Injektion sieben Tage vor der errechneten Kalbetermin und der oralen oder parenteralen Kalziumsubstitution um die Kalbung möglich.

Abschließend ist zu bemerken, dass der Einsatz einer Anionenration sehr hohe Anforderungen an das Fütterungsmanagement eines Betriebes stellt und eine intensive Kontrolle und Steuerung erfordert, um eine optimale und sichere Wirkung zu gewährleisten. Anionenrationen sollten daher auch nur dann eingesetzt werden, wenn die aufgestellten Forderungen inklusive einer funktionierenden Kontrolle und Steuerung einzuhalten sind.

Tabelle 35: Bedarfswerte einer Anionenration (Vorbereiterration 3 bis 2 Wochen ante partum bis zur Kalbung, modifiziert nach STAUFENBIEL (2007))

| Parameter | Einheit | Zielwerte |
|---------------------------|---------|-----------------------------------|
| Trockensubstanz | g/kg | 400 – 500 |
| Rohasche | g/kg | < 100 |
| Energie NEL | MJ/kg | 6,4 – 6,8 |
| Rohfaser | g/kg | 180 – 190 |
| ADF | g/kg | 230 – 280 |
| NDF | g/kg | 320 – 380 |
| pe NDF | g/kg | > 280 |
| Strukturwert | | 1,4 |
| strukturwirksame Rohfaser | g/kg | 120 – 130 |
| NFC | g/kg | 300 – 350 |
| Zucker | g/kg | < 60 |
| Zucker plus Stärke | g/kg | 200 – 230 |
| beständige Stärke | g/kg | 20 – 30 (250 – 300 g/Kuh und Tag) |
| Rohprotein | g/kg | 140 – 150 |
| nXP | g/kg | 140 – 150 |
| RNB | g N/kg | 0 – 0,5 |
| UDP | % | 25 – 40 |
| Proteinlöslichkeit | % | 30 – 35 |
| Rohfett | g/kg | 30 – 40 |
| Kalzium | g/kg | 9 – 13 |
| Phosphor | g/kg | 4,0 – 4,5 |
| Magnesium | g/kg TS | 3,5 – 4,0 |
| Kalium | g/kg | < 15 * |
| Natrium | g/kg | 1,5 – 2,0 * |
| Chlorid | g/kg | < 10 ** |
| Schwefel | g/kg | 2 – 4 |
| DCAB nach ENDER (1971) | mEq/kg | - 50 bis + 50 |
| Eisen | mg/kg | 50 – 100 |
| Kupfer | mg/kg | 10 – 20 |
| Zink | mg/kg | 50 – 100 |
| Mangan | mg/kg | 50 – 100 |
| Selen | mg/kg | 0,15 – 0,3 |
| Molybdän | mg/kg | < 1 |
| Cobalt | mg/kg | 0,1 – 0,5 |
| Vitamin A | IE/kg | 4500 – 10000 *** |
| Vitamin D | IE/kg | 1500 – 3000 *** |
| Vitamin E | IE/kg | 15 – 100 *** |

* Kalium/Natrium – verhältnis soll zwischen 4,0 bis maximal 8,0 liegen

** Chloridgehalt ungefähr 5 g/kg TS niedriger als Kaliumgehalt

*** zugefügtes Vitamin

8. Zusammenfassung

Untersuchungen zur Verbesserung des praktischen Einsatzes von Anionenrationen zur sicheren und wirkungsvollen Prophylaxe der Hypokalzämie auf Herdenebene

Ziel dieser Arbeit war die Optimierung von Konzepten zum effizienten Einsatz anionischer Salze mit sicherer prophylaktischer Wirkung bei Minimierung der Nebenwirkungen.

Zu diesem Zweck wurde eine Beobachtungsstudie auf einem kommerziellen Milchviehbetrieb (1700 Holstein-Frisian-Milchkühe, Jahresdurchschnittsleistung ca. 11.000 kg Milch, 3,83 % Fett und 3,33 % Eiweiß) durchgeführt. Um die Effekte der Fütterung anionischer Salze auf die Fütterung, den Metabolismus und den Gesundheitsstatus der Kühe zu analysieren, wurde die Anionenration mit einer kalziumreduzierten Vorbereitungsfütterung verglichen.

Der Einsatz der anionischen Salze wurde über ein $\frac{3}{4}$ Jahr mittels eines Probenplans begleitet (Ziel: DCAB um 0 mEq/kg TS, Kalziumgehalt 9-14 g/kg TS). Danach stellte der Betrieb die Fütterung von der Anionenration auf eine kalziumreduzierte Vorbereitungsfütterung um (Ziel: DCAB zwischen +100 mEq/kg TS und +200 mEq/kg TS, Kalziumgehalt 4-6 g/kg TS). Zur Kontrolle der Wirkung der jeweiligen Vorbereitungsration auf den Kalziumstoffwechsel der Kühe wurden Blutproben von den gekalbten Tieren (n=705 mit Fütterung anionischer Salze und n=168 mit kalziumreduzierter Diät) und Harnproben (n=445 mit Fütterung anionischer Salze und n=135 mit kalziumreduzierter Diät) von den Tieren aus der Vorbereitungsfütterung genommen. Zusätzlich wurde in regelmäßigen Abständen Futterproben (n=13 mit Fütterung anionischer Salze und n=6 mit kalziumreduzierter Diät) der Vorbereitungsration untersucht.

Der Kaliumgehalt der Futtersration war in der vorliegenden Untersuchung der bestimmende Faktor der DCAB ($sr^2 = 0,23$; $p < 0,05$) und damit hauptsächlich für die Effekte auf den Säure-Basen-Haushalt der Kühe verantwortlich. Zur Berechnung der DCAB sollte die schon hauptsächlich in der Praxis genutzte Formel nach ENDER (1971) Verwendung finden, da sie sich international durchgesetzt hat und sich die Referenzwerte für den Einsatz einer Anionenration überwiegend auf sie beziehen.

Der erfolgreiche Einsatz einer Anionenration führte in der vorliegenden Untersuchung zu signifikant höheren mittleren Serumkalziumkonzentrationen im Vergleich zur kalziumreduzierten Diät (1,93 mmol/l vs. 1,83 mmol/l) um die Kalbung. Durch die Nutzung des Anionenkonzeptes kam es im Vergleich zur kalziumreduzierten Vorbereitungsfütterung zu positiven Effekten auf die Tiergesundheit in Form von niedrigeren Erkrankungsinzidenzen. Besonders deutlich wurde dies anhand der Gebärpareseinzidenz. So führte die Verwendung

der anionischen Salze zu einer signifikant geringeren Gebärpareseinzidenz (6,3% vs. 10,2%). Der große Anteil hypokalzämischer Tiere um die Abkalbung (ungefähr 50% der pluriparen Kühe und 20% der Jungkühe), der sich mit der internationalen Literatur deckt, macht deutlich, dass jeder Milchviehbetrieb ein strategisches und systematisches Prophylaxekonzept zur Verminderung der klinischen und subklinischen Hypokalzämie benötigt. Er stellt aber auch in Frage, ob der derzeit gültige Grenzwert der Serumkalziumkonzentration von 2,0 mmol/l zur Beurteilung der Kalziumhomöostase im unmittelbaren peripartalen Zeitraum geeignet ist.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stehen im Einklang mit dem aktuellen Stand der Wissenschaft zur physiologischen Wirkung der anionischen Salze. Dieses Wissen bildet die Grundlage für eine erfolgreiche und zugleich sichere Anwendung der Anionenration zur Prophylaxe des für die Tiergesundheit wichtigen Komplexes der Hypokalzämie.

Die Ansäuerung mit Verschiebung der pH- und NSBA-Werte in den sauren Bereich (pH < 7,8; NSBA < +50 mmol/l) ist auf den Einsatz der anionischen Salze zurückzuführen. Die erhöhte Kalziumkonzentration im Harn (7 bis 15 mmol/l) zeigt die gewünschte Wirkung der anionischen Salze an. Der Rationswechsel mit dem Absetzen der anionischen Salze hebt diese Ansäuerung auf und führt zu einem sprunghaften Anstieg der pH- und NSBA-Werte (pH > 7,8; NSBA > +100 mmol/l) bei gleichzeitigem Absinken der Harnkalziumwerte (< 3,0 mmol/l). Über die Bestimmung des Harn-pH, der NSBA und der Harnkalziumkonzentration ist der erreichte Ansäuerungsgrad im Zusammenhang mit den Effekten auf die Kalziummobilisation und zugleich die Bioverfügbarkeit von Kalzium aus dem Futter als laufende Maßnahme in der Herdenüberwachung zu kontrollieren. Die ansäuernden Effekte der anionischen Salze sind dabei am Tier selbst mit Hilfe der Harnparameter (Harn-pH, NSBA, Harnkalziumkonzentration) einzustellen.

Eine Kontrolle der Anionenration ist durch Einzel- und Poolproben möglich. Die Streuung der Werte der Futteranalysen und Harnparameter zeigen, dass der Einsatz einer Anionenration eine routinemäßige begleitende Überwachung erfordert. Aufgrund der individuellen Streuung der Einzelwerte im Zielbereich der Ansäuerung (DCAB um 0 mEq/kg TS) ist die Schaffung differenzierter Referenzbereiche mit sicherer ansäuernder Wirkung für die Bewertung der Pool- und der Einzelproben notwendig. Aus den eigenen Ergebnissen lassen sich für die Pool- (pH: 7,0 bis 7,7; NSBA: 0 mmol/l bis +30 mmol/l) und Einzelproben (pH: 6,2 bis 7,8; NSBA: -50 mmol/l bis +50 mmol/l) Referenzwerte ableiten, die mit den internationalen v.a. im nordamerikanischen Raum genutzten Referenzwerten für den Einsatz anionischer Salze übereinstimmen. Der Probenentnahmezeitpunkt zur Kontrolle der Anionenration hat nach den eigenen Ergebnissen keinen Einfluss auf das Messergebnis und bestätigt andere Arbeiten.

Infolge der individuellen Streuungen der Einzelproben sollte in der praktischen Kontrolle im Stall aus den Harn-pH-Werten der Einzelproben der Mittelwert gebildet werden und dieser mit dem Referenzbereich verglichen werden. In Abhängigkeit von der Herdengröße ist die pH-Bestimmung im Harn mindestens zweimal in der Woche bei 8 bis 10 Kühen durchzuführen, die die Anionenration seit mindestens 3 Tagen fressen.

Die erfolgreiche Anwendung einer Anionenration für eine sichere Prophylaxe der Hypokalzämie auf Herdenebene stellt hohe Anforderungen an das Fütterungsmanagement eines Betriebes und setzt eine intensive Kontrolle und Steuerung der Anionenration in der praktischen Anwendung voraus. Bei der Anwendung einer Anionenration sind verschiedene Schwerpunkte zu beachten. Grundlage für die Anwendung von anionischen Salzen ist die Verfütterung einer bedarfs- und wiederkäuergerechten Ration an die Vorbereitungskühe. Zur Vermeidung von Futteraufnahme-Depressionen bedingt durch die anionischen Salze sollten geschmacksneutrale und/ oder gekapselte anionische Salze zum Einsatz kommen. Für die sichere Wirkung der Anionenration ist die Erhöhung des Kalziumgehaltes (9 bis 13 g/kg TS) in der Ration von großer Bedeutung. Aus der eigenen Untersuchung kann dabei abgeleitet werden, dass der Bioverfügbarkeit des Kalziums für die Kuh in der Futterration bzw. den einzelnen Futtermitteln eine entscheidende Bedeutung für die sichere Anwendung der Anionenration zukommt. Um den erhöhten Kalziumbedarf bei Verfütterung anionischer Salze zu decken, sollte deshalb Futterkalk genutzt werden, da er als anorganische Kalziumquelle eine hohe und sichere Bioverfügbarkeit für die Kuh aufweist und eine Verfütterung relativ großer Mengen keine relevanten nachteiligen Effekte hat. Daher sind weitere Untersuchungen nötig, die die Bioverfügbarkeit von Kalzium in den einzelnen Futtermitteln charakterisieren, um die Kalziumsubstitution einer Anionenration weiter zu verbessern.

9. Summary

Investigation for the improvement of the practical use of anionic rations for a safe and effective prophylaxis of hypocalcemia on herd level

The aim of this study was the improvement of concepts for the efficient application of anionic salts to optimise prophylactic effects whilst minimising side effects.

To this end, an observational study was made of a commercial dairy farm (housing 1 700 lactating Holstein-Frisian dairy cows, annual average production about 11 000 kg of milk, 3.83% fat and 3.33% protein). The anionic rations were compared with a low calcium diet to analyse the effects on the metabolism and health of the cows of feeding anionic salts.

The application of anionic salts was made over a 9 months period according to a test plan (aim: DCAD around 0 mEq/kg DM, calcium content 9-14 g Ca/kg DM). Afterwards the dairy farm switched from the feeding of the anionic rations to the low calcium diet (aim: DCAD between +100 mEq/kg DM and +200 mEq/kg DM, calcium content 4-6 g Ca/kg DM). In order to record the effect of the different feed preparations on the metabolism of the cows, blood samples were taken from the calving animals (n=705 fed with anionic salts and n=168 with the low calcium diet) and urine samples (n=445 fed with anionic salts and n=135 with the the low calcium diet) from the cows in the close-up-period. Furthermore feed samples from the prepared rations (n=13 fed with anionic salts and n=6 with the the low calcium diet) were also examined in regular intervals.

The potassium content of the feed rations in this study was the determining factor for the DCAD ($sr^2 = 0,23$; $p < 0,05$). Therefore the potassium content mainly determines the acid-base balance of the cows. To calculate the DCAD the in practice widely used formula of ENDER (1971) should be applied because it is internationally recognised and the reference values for the application of anionic rations are largely based on it.

The successful application of anionic rations led in this study to a significant increase in average serum calcium concentrations compared with the calcium reduced diet (1.93 mmol/l vs. 1.83 mmol/l) during calving. The application of the anionic concept gave rise to positive effects on the health of the animals in the form of reduced incidence of illnesses in comparison with the low calcium diet. This was particularly noticeable in the incidences of parturient hypocalcaemia. The use of anionic salts led to a reduction of parturient hypocalcemia incidences (6.3% vs. 10.2%). The large proportion of hypocalcemic animals (about 50% of the multipara cows and 20% of the cows in the first lactation), which is

comparable with the international literature, makes clear that every dairy farm requires a strategic and systematic prophylactic concept for the reduction of clinical and sub-clinical hypocalcemia. It also questions whether the current serum calcium concentration threshold of 2.0 mmol/l for the assessment of calcium homeostasis in the immediate peripartum period is appropriate.

The results of this study concur with the current scientific understanding of the physiological effects of anionic salts. This knowledge provides the basis for the successful and safe prophylactic effect of anionic rations for important improvements in animal health by reducing the complications of hypocalcemia.

The acidification, with a shift of the pH and NABE values into the acidic interval (pH < 7.8; NABE < +50 mmol/l), was caused by the application of the anionic salts. The increased calcium concentrations in the urine (7 to 15 mmol/l) show the proposed effect of the anionic salts. The change in feed through the elimination of the anionic salts removed this acidification and led to an increase of the pH and NABE values (pH > 7.8, NABE > +100 mmol/l) and simultaneously to a decrease of the calcium concentration in the urine (< 3.0 mmol/l). By measuring the pH, NABE and calcium concentration of the urine the achieved level of acidification in conjunction with effects on the calcium mobilisation and the bioavailability of calcium in the feed can be determined and used operatively to control the herd. The acidifying effects of the anionic salts can be adjusted at the animals from their urine parameters (urine-pH, NABE, urine calcium concentration) alone.

It is possible to monitor the anionic rations via single or pool samples. The variations in the values from the feed analysis and urine parameters show that the application of anionic rations requires regular monitoring. Owing to the individual variance of the values around the intended acidification level (DCAD around 0 mEq/kg TS) it is necessary to determine reference ranges for the safe acidification effects in the evaluation of pool and single samples. From the results of this study reference ranges can be derived for pool (pH: 7.0 to 7.7; NABE: 0 mmol/l) and single samples (pH: 6.2 to 7.8; NABE: -50 mmol/l to +50 mmol/l) which agree with the international, mainly used in North America, reference values for the use of anionic salts. The time of sampling for controlling the anionic rations does not have any influence on the measurement which confirms the results of other studies. Due to the variation in individual values from single urine pH samples, the mean of the single samples should be calculated and compared with the reference values for practical monitoring at the farm. Depending on the size of the herd the pH should be determined at least twice a week from the urine of 8 to 10 cows which have been feeding anionic rations for at least 3 days.

The successful use of anionic rations as a safe prophylactic tool to prevent hypocalcemia in a dairy herd is dependent upon high standards of feed management on the farm and in practice requires intensive monitoring and control of the anionic rations. There are several important points to consider to use anionic rations effectively. Basis of application of anionic salts is the feeding of a diet which meets the requirements and ensures rumination. In order to avoid depressing feed intake, taste neutral anionic salts and/or capsules should be used. It is important to increase the calcium content (9 to 13 g/kg DM) of the feed for the safe use of anionic rations. From this study it can be inferred that the bioavailability of calcium for the cow from the feed or individual rations has a decisive effect on the safe use of anionic salts. To allow for the increased calcium requirements in the feed calciumcarbonate should be used because it is an inorganic source of calcium which provides high and safe bioavailability for the cow and can be added in relatively large amounts without negative effects. Therefore further research is required regarding the bioavailability of calcium in individual feeding stuffs which will improve the calcium substitution of anionic rations.

10. Literaturverzeichnis

AGGER, N. und D. J. RENNEY. 2004.

Prevention of Milk Fever by Oral Dosing with Calcium around Calving - "The Scandinavian Way".

Cattle Practice. 12(4):271-274

ALLEN, W. M. und D. C. DAVIES. 1981.

Milk fever, hypomagnesaemia and the 'downer cow' syndrome.

Br Vet J. 137(4):435-441

ALPERS, I. 2007.

Untersuchung über den Einfluß einer intramuskulären Injektion von 10 Millionen IE Vitamin D3 auf den Behandlungserfolg bei der hypokalzämischen Gebärfähigkeit - Study on the effect of an intramuscular injection of 10 million IU vitamin D3 on the success of the treatment of hypocalcaemic parturient paresis.

Mensch-und-Buch-Verl., Diss. Vetmed FU Berlin, Berlin.

ANDERSEN, J. B., T. G. MADSEN, T. LARSEN, K. L. INGVAERTSEN und M. O. NIELSEN. 2005.

The effects of dry period versus continuous lactation on metabolic status and performance in periparturient cows.

J Dairy Sci. 88(10):3530-3541

BAR, D. und E. EZRA. 2005.

Effects of common calving diseases on milk production in high yielding dairy cows.

Israel Journal of Veterinary Medicine. 60(4)

BARTON, B. A., N. A. JORGENSEN und H. F. DELUCA. 1987.

Impact of prepartum dietary phosphorus intake on calcium homeostasis at parturition.

J Dairy Sci. 70(6):1186-1191

BEEDE, D. K., C. WANG, G. A. DONOVAN, L. F. ARCHIVALD und W. SANCHEZ. 1991

Dietary cation-anion difference (electrolyte balance) in late pregnancy.

Vortragsband: Florida Dairy Prod. Conf., Univ. Florida, Gainesville: 98.

BENDER, S., C.-C. GELFERT und R. STAUFENBIEL. 2001.

Einflüsse bestimmter Futterkomponenten in Milchkuhrationen auf diagnostische Parameter in Harnproben. 2. Mengenelemente.

Tierärztl. Umschau. 56:644-648

BERTICS, S. J., R. R. GRUMMER, C. CADORNIGA-VALINO und E. E. STODDARD. 1992.

Effect of Prepartum Dry Matter Intake on Liver Triglyceride Concentration and Early Lactation.

J Dairy Sci. 75(7):1914-1922

BLOCK, E. 1984.

Manipulating dietary anions and cations for prepartum dairy cows to reduce incidence of milk fever.

J Dairy Sci. 67(12):2939-2948

BLOCK, E. 1994.

Manipulation of dietary cation-anion difference on nutritionally related production diseases, productivity, and metabolic responses of dairy cows.

J Dairy Sci. 77(5):1437-1450

BLOCK, E. und W. SANCHEZ. 2000

Special nutritional needs of the transition cow.

Vortragsband: Mid. South Nutrition Conference, Dallas:TX.

BORSBERRY, S. und H. DOBSON. 1989.

Periparturient diseases and their effect on reproductive performance in five dairy herds.

Vet Rec. 124(9):217-219

BRAITHWAITE, G. D. 1978.

The effect of 1-alpha-hydroxycholecalciferol on calcium and phosphorus metabolism in the lactating ewe.

Br J Nutr. 40(2):387-392

BURTON, J. L., S. A. MADSEN, L. C. CHANG, P. S. WEBER, K. R. BUCKHAM, R. VAN DORP, M. C. HICKEY und B. EARLEY. 2005.

Gene expression signatures in neutrophils exposed to glucocorticoids: a new paradigm to help explain "neutrophil dysfunction" in parturient dairy cows.

Vet Immunol Immunopathol. 105(3-4):197-219

BUSHINSKY, D. A. 1996.

Metabolic alkalosis decreases bone calcium efflux by suppressing osteoclasts and stimulating osteoblasts.

Am J Physiol. 271(1 Pt 2):F216-222

CHARBONNEAU, E., D. PELLERIN und G. R. OETZEL. 2006.

Impact of lowering dietary cation-anion difference in nonlactating dairy cows: a meta-analysis.

J Dairy Sci. 89(2):537-548

CONSTABLE, P. D. 1997.

A simplified strong ion model for acid-base equilibria: application to horse plasma.

J Appl Physiol. 83(1):297-311

CONSTABLE, P. D. 1999.

Clinical assessment of acid-base status. Strong ion difference theory.

Vet Clin North Am Food Anim Pract. 15(3):447-471

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

CONSTABLE, P. D., C. C. GELFERT, M. FURLL, R. STAUFENBIEL und H. R. STAMPFLI. 2009.

Application of strong ion difference theory to urine and the relationship between urine pH and net acid excretion in cattle.

Am J Vet Res. 70(7):915-925

COOK, N. F., G. R. OETZEL und K. V. NORDLUND. 2006a.

Modern techniques for monitoring high-producing dairy cows 1. Principles of herd-level diagnoses.

In Practice. 28:510-515

COOK, N. F., G. R. OETZEL und K. V. NORDLUND. 2006b.

Modern techniques for monitoring high-producing dairy cows 2. Practical applications.

In Practice. 28:598-603

CORREA, M. T., H. ERB und J. SCARLETT. 1993.

Path analysis for seven postpartum disorders of Holstein cows.

J Dairy Sci. 76(5):1305-1312

COX, V. S., C. J. MCGRATH und S. E. JORGENSEN. 1982.

The role of pressure damage in pathogenesis of the downer cow syndrome.

Am J Vet Res. 43(1):26-31

CRAIGE, A. H., JR. und I. V. STOLL. 1947.

Milk fever (parturient paresis) as a manifestation of alkalosis.

Am J Vet Res. 8(27):168-172

CURTIS, C. R., H. N. ERB, C. J. SNIFFEN, R. D. SMITH und D. S. KRONFELD. 1985.

Path analysis of dry period nutrition, postpartum metabolic and reproductive disorders, and mastitis in Holstein cows.

J Dairy Sci. 68(9):2347-2360

CURTIS, C. R., H. N. ERB, C. J. SNIFFEN, R. D. SMITH, P. A. POWERS, M. C.**SMITH, M. E. WHITE, R. B. HILLMAN und E. J. PEARSON. 1983.**

Association of parturient hypocalcemia with eight periparturient disorders in Holstein cows.

J Am Vet Med Assoc. 183(5):559-561

DECHOW, C. D. und R. C. GOODLING. 2008.

Mortality, culling by sixty days in milk, and production profiles in high- and low-survival Pennsylvania herds.

J Dairy Sci. 91(12):4630-4639

DEGARIS, P. J. und I. J. LEAN. 2008.

Milk fever in dairy cows: a review of pathophysiology and control principles.

Vet J. 176(1):58-69

DEITMER, J. 2007.

Milchfieber - Gezielte Vorbeugung verhindert Verluste.

RUWReport. 55 3/2007:34-35

DIAZ-BONE, R. 2006.

Statistik für Soziologen

Vol. 1.Aufl.

UTB, Stuttgart.

DISHINGTON, I. W. 1975.

Prevention of milk fever (hypocalcemic paresis puerperalis) by dietary salt supplements.

Acta Vet Scand. 16(4):503-512

DRACKLEY, J. K. 1999.

ADSA Foundation Scholar Award. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier?

J Dairy Sci. 82(11):2259-2273

DRACKLEY, J. K., T. R. OVERTON und G. N. DOUGLAS. 2001.

Adaptations of Glucose and Long-Chain Fatty Acid Metabolism in Liver of Dairy Cows during the Periparturient Period.

J. Dairy Sci. 84((E.Suppl)):E100-E112

DUCUSIN, R. J., Y. UZUKA, E. SATOH, M. OTANI, M. NISHIMURA, S. TANABE und T. SARASHINA. 2003.

Effects of extracellular Ca²⁺ on phagocytosis and intracellular Ca²⁺ concentrations in polymorphonuclear leukocytes of postpartum dairy cows.

Res Vet Sci. 75(1):27-32

DUFFIELD, T. F. 2006

Minimizing Subclinical Diseases in Dairy Cow.

Vortragsband: Western Canadian Dairy Seminar 2006 Proceedings, Red Deer,

Alberta: WCDS Advances in Dairy Technology - Session II. Feeding and Management (Vol. 18) pp. 43-55.

ENDER, F., I. W. DISHINGTON und A. HELGEBOSTAD. 1971.

Calcium balance studies in dairy cows under experimental induction and prevention of hypocalcaemic paresis puerperalis.

Z Tierphysiol Tierernahr Futtermittelkd. 28(5):233-256

ENEMARK, J. M. 2008.

The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): a review.

Vet J. 176(1):32-43

ENGELHARD, T. 2007

Trockensteher richtig füttern

Praktische Erfahrungen und Versuchsergebnisse.

Vortragsband: 24. Tag des Milchviehhalters in Sachsen-Anhalt, Bernburg und Iden.

ERB, H. N., R. D. SMITH, P. A. OLTENACU, C. L. GUARD, R. B. HILLMAN, P. A. POWERS, M. C. SMITH und M. E. WHITE. 1985.

Path model of reproductive disorders and performance, milk fever, mastitis, milk yield, and culling in Holstein cows.

J Dairy Sci. 68(12):3337-3349

EUSTERMANN, S. 2003.

Einsatzmöglichkeiten der Mengenelementanalytik im Harn zur Überwachung einer anionenreichen Fütterung im Rahmen der prophylaktischen Bestandsbetreuung von Milchviehherden.

Mensch & Buch Verl., Diss. Vetmed FU Berlin, Berlin.

FOURICHON, C., H. SEEGER, N. BAREILLE und F. BEAUDEAU. 1999.

Effects of disease on milk production in the dairy cow: a review.

Prev Vet Med. 41(1):1-35

FRÖMER, S. 2004.

Untersuchungen zum Effekt verschiedener Anionenergänzungen auf die renale Elektrolytausscheidung und ihre diagnostische Aussagekraft hinsichtlich eines Einsatzes in der Gebärpäreseprophylaxe bei Milchkühen.

Mensch-und-Buch-Verlag, Diss. Vetmed FU Berlin, Berlin.

FÜRLI, M. 1994

Kontrolle des Säure-Basen-Haushaltes (SBH) im Rahmen der Herdenüberwachung bei Rindern.

Vortragsband: 1. Berlin-Brandenburgischer Rindertag, Berlin.

FÜRLI, M. 2005.

Kap. 6.2.4 Gebärpärese, Hypophosphatämisches Festliegen, Downer Cow syndrome.

Page 398–434 in Rinderkrankheiten - Innere und chirurgische Erkrankungen. 2. Auflage ed. UTB Verlag, Stuttgart (Hohenheim).

FÜRLI, M., U. HÖRÜGEL und J. KRICZAK. 2002

Bewertung des Gebärpäreserisikos durch Harnuntersuchung 1 – 2 Wochen ante partum bei Kühen.

Vortragsband: 2. Leipziger Tierärztekongress, Leipzig.

FÜRLI, M., M. SCHÄFER, M. AMIN und H. KIRBACH. 1994.

Säure-, Basen- und Mineralstoffhaushalt bei gesunden Kühen im geburtsnahen Zeitraum.

Tierärztl. Umschau. 49:107-115

GAYNOR, P. J., F. J. MUELLER, J. K. MILLER, N. RAMSEY, J. P. GOFF und R. L. HORST. 1989.

Parturient hypocalcemia in jersey cows fed alfalfa haylage-based diets with different cation to anion ratios.

J Dairy Sci. 72(10):2525-2531

GELFERT, C. C., S. HAUSER, A. LOPTIEN, N. MONTAG, M. PASSMANN, W. BAUMGARTNER und R. STAUFENBIEL. 2006a.

Impact of a simultaneous application of anionic salts and rumen buffer on acid-base-balance and mineral metabolism in dairy cows.

Berl Munch Tierärztl Wochenschr. 119(5-6):244-250

GELFERT, C. C., S. LEONIE LOEFFLER, S. FROMER, M. ENGEL, H.**HARTMANN, K. MANNER, W. BAUMGARTNER und R. STAUFENBIEL. 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.

J Dairy Res. 74(3):311-322

GELFERT, C.-C., S. LESCH, I. ALPERS, M. DECKER, A. HÜTING, W.**BAUMGARTNER und R. STAUFENBIEL. 2006b.**

Untersuchungen zum Auftreten der Gebärpause in verschiedenen Regionen Deutschlands und zum Einsatz unterschiedlicher Therapien im Vergleich zur Kalziuminfusion.

2. Differentialdiagnosen und Heilungserfolg.

Tierärztliche Praxis. 34 (G):357-367

GELFERT, C.-C., A. LÖPTIEN, N. MONTAG, W. BAUMGARTNER und R.**STAUFENBIEL. 2006c.**

Influence of a prolonged period of feeding anionic salts on metabolism of dairy cows.

Wien. Tierärztl. Mschr. 93:304-310

GELFERT, C.-C., A. LÖPTIEN, N. MONTAG, M. PASSFELD, W. BAUMGARTNER**und R. STAUFENBIEL. 2008.**

The impact of energy deficiency on the effects of anionic salts on the acid-base status of dairy cows.

Wien. Tierärztl. Mschr. 95:184-189

GELFERT, C. C., M. PASSFELD, A. LOPTIEN, N. MONTAG, W. BAUMGARTNER**und R. STAUFENBIEL. 2006d.**

Experimental studies on the impact of an increased dose of anionic salts on the metabolism of dairy cows.

Vet Q. 28(4):130-139

GELFERT, C. C. und R. STAUFENBIEL. 2008.

The role of dietary calcium concentration in the use of anionic salts to prevent parturient paresis in dairy cows.

Berl Munch Tierarztl Wochenschr. 121(7-8):256-262

GELFERT, C. C., M. ZARRATH, S. EUSTERMANN und R. STAUFENBIEL. 2004.

Überwachung des Einsatzes saurer Salze in Milchviehherden durch Futter- und Harnuntersuchungen.

Praktischer Tierarzt. 85(6):422-430

GILD, C., N. ALPERT und M. VAN-STRATEN. 2008

The Influence of Subclinical Hypocalcemia on Production and Reproduction Parameters in Israeli Dairy Herds.

Vortragsband: XXV. World Buiatrics Congress, Budapest.

GOEBBELS, M. 2005.

Untersuchungen zum praktischen Einsatz von Anionenrationen zur Prophylaxe der Hypokalzämie in Milchkuhbeständen.

Mensch-und-Buch-Verl., Diss. Vetmed FU Berlin, Berlin.

GOFF, J. P. 1999a

Dry Cow Nutrition and Metabolic Disease in Parturient Cows.

Vortragsband: Western Canadian Dairy Seminar 1999 Proceedings, Red Deer,

Alberta: WCDS Advances in Dairy Technology (1999) - Session II: Management and Health (Vol. 1911) pp.1963-1979.

GOFF, J. P. 1999b.

Treatment of calcium, phosphorus, and magnesium balance disorders.

Vet Clin North Am Food Anim Pract. 15(3):619-639, viii

GOFF, J. P. 2000.

Pathophysiology of calcium and phosphorus disorders.

Vet Clin North Am Food Anim Pract. 16(2):319-337, vii

GOFF, J. P. 2003.

Managing the transition cow-considerations for optimising energy and protein balance and immune function.

Cattle Practice. 11(2):51-63

GOFF, J. P. 2004.

Macromineral disorders of the transition cow.

Vet Clin North Am Food Anim Pract. 20(3):471-494, v

GOFF, J. P. 2006a.

Macromineral physiology and application to the feeding of the dairy cow for prevention of milk fever and other periparturient mineral disorders.

Animal Feed Science and Technology. 126:237-257

GOFF, J. P. 2006b.

Major advances in our understanding of nutritional influences on bovine health.

J Dairy Sci. 89(4):1292-1301

GOFF, J. P. 2008.

The monitoring, prevention, and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows.

Vet J. 176(1):50-57

GOFF, J. P., E. C. BRUMMER, S. J. HENNING, R. K. DOORENBOS und R. L. HORST. 2007.

Effect of application of ammonium chloride and calcium chloride on alfalfa cation-anion content and yield.

J Dairy Sci. 90(11):5159-5164

GOFF, J. P. und R. L. HORST. 1994

Proceedings: Feeding anionic salts in the dry period – theory and practical guidelines I.A; 1994. 11pp.

Vortragsband: Professional dairy Management seminar, Dubuque.

GOFF, J. P. und R. L. HORST. 1997a.

Effects of the addition of potassium or sodium, but not calcium, to prepartum rations on milk fever in dairy cows.

J Dairy Sci. 80(1):176-186

GOFF, J. P. und R. L. HORST. 1997b.

Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders.

J Dairy Sci. 80(7):1260-1268

GOFF, J. P. und R. L. HORST. 1998a

Effect of time after feeding on urine pH determinations to assess response to dietary cation-anion adjustment.

Vortragsband: American Dairy Science Association

American Society of Animal Science, Denver, Colorado:44.

GOFF, J. P. und R. L. HORST. 1998b.

Use of hydrochloric acid as a source of anions for prevention of milk fever.

J Dairy Sci. 81(11):2874-2880

GOFF, J. P. und R. L. HORST. 2003a.

Milk fever control in the United States.

Acta Vet Scand Suppl. 97:145-147

GOFF, J. P. und R. L. HORST. 2003b.

Role of acid-base physiology on the pathogenesis of parturient hypocalcaemia (milk fever)--the DCAD theory in principle and practice.

Acta Vet Scand Suppl. 97:51-56

GOFF, J. P., R. L. HORST, P. W. JARDON, C. BORELLI und J. WEDAM. 1996.

Field trials of an oral calcium propionate paste as an aid to prevent milk fever in periparturient dairy cows.

J Dairy Sci. 79(3):378-383

GOFF, J. P., R. L. HORST, E. T. LITLEDIKE, A. BORIS und M. R. USKOKOVIC. 1986.

Bone resorption, renal function and mineral status in cows treated with 1,25-dihydroxycholecalciferol and its 24-fluoro analogues.

J Nutr. 116(8):1500-1510

GOFF, J. P., R. L. HORST, F. J. MUELLER, J. K. MILLER, G. A. KIESS und H. H. DOWLEN. 1991a.

Addition of chloride to a prepartal diet high in cations increases 1,25-dihydroxyvitamin D response to hypocalcemia preventing milk fever.

J Dairy Sci. 74(11):3863-3871

GOFF, J. P., T. A. REINHARDT und R. L. HORST. 1989.

Recurring hypocalcemia of bovine parturient paresis is associated with failure to produce 1,25-dihydroxyvitamin D.

Endocrinology. 125(1):49-53

GOFF, J. P., T. A. REINHARDT und R. L. HORST. 1991b.

Enzymes and factors controlling vitamin D metabolism and action in normal and milk fever cows.

J Dairy Sci. 74(11):4022-4032

GOFF, J. P., T. A. REINHARDT und R. L. HORST. 1995.

Milk fever and dietary cation-anion balance effects on concentration of vitamin D receptor in tissue of periparturient dairy cows.

J Dairy Sci. 78(11):2388-2394

GOFF, J. P., R. RUIZ und R. L. HORST. 2004.

Relative acidifying activity of anionic salts commonly used to prevent milk fever.

J Dairy Sci. 87(5):1245-1255

GOINGS, R. L., N. L. JACOBSON, D. C. BEITZ, E. T. LITLEDIKE und K. D. WIGGERS. 1974.

Prevention of parturient paresis by a prepartum, calcium-deficient diet.

J Dairy Sci. 57(10):1184-1188

GRABHERR, H., M. SPOLDERS, G. FLACHOWSKY und M. FURLL. 2008.

Influence of zeolite A supplementation during the dry period of dairy cows on feed intake, on the macro and trace element metabolism around calving and milk yield in the following lactation.

Berl Munch Tierarztl Wochenschr. 121(1-2):41-52

GROHN, Y. T. und P. J. RAJALA-SCHULTZ. 2000.

Epidemiology of reproductive performance in dairy cows.

Anim Reprod Sci. 60-61:605-614

GRUMMER, R. R. 1995.

Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow.

J Anim Sci. 73(9):2820-2833

GUARD, C. L. 1994

Cost of clinical disease in dairy cows.

Vortragsband: Proc Annu Cornell Conf Vet, Cornell Univ, Ithaca, New York, 1994.

HAMMON, D. S., I. M. EVJEN, T. R. DHIMAN, J. P. GOFF und J. L. WALTERS. 2006.

Neutrophil function and energy status in Holstein cows with uterine health disorders.

Vet Immunol Immunopathol. 113(1-2):21-29

HELLERICH, B. 2008.

Zusammenhänge zwischen Fütterung, Haltung sowie Managementaspekten und der Tiergesundheit in Milchviehbetrieben (eine statistische Erhebung in Schleswig-Holstein) :

Relationships between feeding, housing and management aspects and animal health on dairy farms (a statistical evaluation in Schleswig-Holstein).

Diss. Vetmed Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Hannover.

HERDT, T. H. 2000.

Ruminant adaptation to negative energy balance. Influences on the etiology of ketosis and fatty liver.

Vet Clin North Am Food Anim Pract. 16(2):215-230, v

HINDHEDE, J., A. KUDAHL, J. SORENSEN und B. KNUDSEN. 2003.

Incidence of Milk Fever and Description of Applied Control Strategies for Preventing Milk Fever/Subclinical Hypocalcaemia in Large Dairy Herds.

Acta Veterinaria Scandinavica. 44(Suppl 1):P75

HORST, R. L. 1986.

Regulation of calcium and phosphorus homeostasis in the dairy cow.

J Dairy Sci. 69(2):604-616

HORST, R. L., J. P. GOFF und B. J. MCCLUSKEY. 2003.

Prevalence of subclinical hypocalcemia in US dairy operations.

J. Dairy Sci. 86(Suppl. 1):247

HORST, R. L., J. P. GOFF und T. A. REINHARDT. 1990.

Advancing age results in reduction of intestinal and bone 1,25-dihydroxyvitamin D receptor.

Endocrinology. 126(2):1053-1057

HORST, R. L., J. P. GOFF und T. A. REINHARDT. 1994.

Calcium and vitamin D metabolism in the dairy cow.

J Dairy Sci. 77(7):1936-1951

HORST, R. L., J. P. GOFF und T. A. REINHARDT. 2005.

Adapting to the transition between gestation and lactation: differences between rat, human and dairy cow.

J Mammary Gland Biol Neoplasia. 10(2):141-156

HORST, R. L., J. P. GOFF, T. A. REINHARDT und D. R. BUXTON. 1997.

Strategies for preventing milk fever in dairy cattle.

J Dairy Sci. 80(7):1269-1280

HOUE, H., S. OSTERGAARD, T. THILSING-HANSEN, R. J. JORGENSEN, T. LARSEN, J. T. SORENSEN, J. F. AGGER und J. Y. BLOM. 2001.

Milk fever and subclinical hypocalcaemia--an evaluation of parameters on incidence risk, diagnosis, risk factors and biological effects as input for a decision support system for disease control.

Acta Vet Scand. 42(1):1-29

HOVE, K. 1984.

Effects of 1 alpha-hydroxylated metabolites of cholecalciferol on intestinal radiocalcium absorption in goats.

Br J Nutr. 51(1):157-164

HU, W., M. R. MURPHY, P. D. CONSTABLE und E. BLOCK. 2007.

Dietary cation-anion difference effects on performance and acid-base status of dairy cows postpartum.

J Dairy Sci. 90(7):3367-3375

HUSBAND, J. 2005.

Strategies for the control of milk fever.

In Pract. 27(2):88-92

HUSBAND, J. und R. VECQUERAY. 2007.

Using urine analysis in dairy cows.

UK Vet. 12(7):1-4

INGVARTSEN, K. L. 2006.

Feeding- and management-related disease in the transition cow: Physiological adaptation around calving and strategies to reduce feeding-related diseases.

Anim. Feed Sci. Tech. 126:175-213

INGVARTSEN, K. L., R. J. DEWHURST und N. C. FRIGGENS. 2003.

On the relationship between lactational performance and health: is it yield or metabolic imbalance that cause production diseases in dairy cattle? A position paper.

Livestock Production Science. 83:277–308

IWERSEN, M. 2010.

Einfluss von Propylenglykol als Bestandteil einer Totalen Mischration während der Früh-laktation auf die Tier- und Stoffwechselgesundheit sowie auf Leistungsparameter von Milchkühen.

Mensch und Buch Verlag, Diss. Vetmed FU Berlin, Berlin.

JARDON, P. W. 1995.

Using Urine pH to Monitor Anionic Salt Programs.

The Compendium. 17:860-862

JONSSON, N. N. 1999.

The effects of subclinical hypocalcaemia on postpartum fertility.

Cattle Practice. 7:255-260

JORGENSEN, K. 1957.

Titrimetric determination of the net excretion of acid/base in urine.

Scand J Clin Lab Invest. 9(3):287-291

JOYCE, P. W., W. K. SANCHEZ und J. P. GOFF. 1997.

Effect of anionic salts in prepartum diets based on alfalfa.

J Dairy Sci. 80(11):2866-2875

KATSOULOS, P. D., N. ROUBIES, N. PANOUSIS, G. ARSENOS, E. CHRISTAKI und H. KARATZIAS. 2005.

Effects of long-term dietary supplementation with clinoptilolite on incidence of parturient paresis and serum concentrations of total calcium, phosphate, magnesium, potassium, and sodium in dairy cows.

Am J Vet Res. 66(12):2081-2085

KICHURA, T. S., R. L. HORST, D. C. BEITZ und E. T. LITLEDIKE. 1982.

Relationships between prepartal dietary calcium and phosphorus, vitamin D metabolism, and parturient paresis in dairy cows.

J Nutr. 112(3):480-487

KIMURA, K., T. A. REINHARDT und J. P. GOFF. 2006.

Parturition and hypocalcemia blunts calcium signals in immune cells of dairy cattle.

J Dairy Sci. 89(7):2588-2595

KOSSAIBATI, M. A. und R. J. ESSLEMONT. 1997.

The costs of production diseases in dairy herds in England.

Vet J. 154(1):41-51

KUROSAKI, N., O. YAMATO, F. MORI, S. IMOTO und Y. MAEDE. 2007.

Preventive effect of mildly altering dietary cation-anion difference on milk fever in dairy cows.

J Vet Med Sci. 69(2):185-192

KUTAS, F. 1965.

Determination of Net Acid-Base Excretion in the Urine of Cattle. A Method for the Estimation of Acid-Base Equilibrium.

Acta Vet Acad Sci Hung. 15:147-153

LANGE, S. und R. BENDER. 2007.

Lineare Regression und Korrelation - Artikel Nr. 5 der Statistik-Serie in der DMW -

Dtsch. Med. Wochenschr. 132:e9 - e11

LEAN, I. J., P. J. DEGARIS, D. M. MCNEIL und E. BLOCK. 2006.

Hypocalcemia in dairy cows: meta-analysis and dietary cation anion difference theory revisited.

J Dairy Sci. 89(2):669-684

LEBLANC, S. J., K. D. LISSEMORE, D. F. KELTON, T. F. DUFFIELD und K. E. LESLIE. 2006.

Major advances in disease prevention in dairy cattle.

J Dairy Sci. 89(4):1267-1279

LEHWENICH, T. 1999.

Untersuchungen zur Durchführung der Stoffwechselüberwachung in der Bestandsbetreuung von Milchviehherden -

Investigation to the use of metabolic profile test in herd management of dairy cattle.

mbv, Diss. Vetmed FU Berlin, Berlin.

LIESEGANG, A. 2001

Hypocalcemia, acidosis and calcium homeostasis.

Vortragsband: An Abildgaard Symposium held at the Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen:196.

LITTLEDIKE, E. T. und R. L. HORST. 1982.

Vitamin D3 toxicity in dairy cows.

J Dairy Sci. 65(5):749-759

MALZ, C. und C. MEYER. 1992.

Neue Aspekte zur Pathogenese und Therapie der hypokalzämischen Gebärparese. Die hypocalcämische Gebärparese – ein Phosphor – Problem?

Der Praktische Tierarzt. 6:507-515

MARKUSFELD, O. 2003.

What are Production Diseases, and How do we Manage them?

Acta Veterinaria Scandinavica. 44(Suppl 1):P1

MARTENS, H., G. BREVES und S. LEONHARD - MAREK. 2000.

Funktion der Vormägen.

Pages 345-363 *in* Physiologie der Haustiere. Enke Verlag im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart.

MARTIG, J. 2002.

Hypokalzämische Gebärlähmung.

Pages 1245-1254 *in* Innere Medizin und Chirurgie des Rindes. Vol. 4. vollständig neubearbeitete Auflage. G. DIRKSEN, H.-D. GRÜNDER und M. STÖBER, eds. Parey Buchverlag, Berlin.

MARTÍN-TERESO, J., M. DERKS, H. V. LAAR, K. MULDER, L. A. D. HARTOG und M. W. A. VERSTEGEN. 2010.

Urinary calcium excretion in non-lactating dairy cows in relation to intake of fat-coated rice bran.

Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 94(1):129-136

MARTZ, F. A., A. T. BELO, M. F. WEISS und R. L. BELYEA. 1999.

True Absorption of Calcium and Phosphorus from Corn Silage Fed to Nonlactating, Pregnant Dairy Cows.

J. Dairy Sci. 82(3):618-622

MARTZ, F. A., A. T. BELO, M. F. WEISS, R. L. BELYEA und J. P. GOFF. 1990.

True absorption of calcium and phosphorus from alfalfa and corn silage when fed to lactating cows.

J Dairy Sci. 73(5):1288-1295

MASUYAMA, R., Y. KAJITA, J. ODACHI, M. UEHARA, T. SHIGEMATSU, K. SUZUKI und S. GOTO. 2000.

Chronic phosphorus supplementation decreases the expression of renal PTH/PTHrP receptor mRNA in rats.

Am J Nephrol. 20(6):491-495

MCDOUGALL, S. 2001.

Effects of periparturient diseases and conditions on the reproductive performance of New Zealand dairy cows.

N Z Vet J. 49(2):60-67

MCLAREN, C. J., K. D. LISSEMORE, T. F. DUFFIELD, K. E. LESLIE, D. F. KELTON und B. GREXTON. 2006.

The relationship between herd level disease incidence and a return over feed index in Ontario dairy herds.

Can Vet J. 47(8):767-773

MCNEILL, D. M., J. R. ROCHE, C. R. STOCKDALE und B. P. MCLACHLAN. 2002.

Nutritional strategies for the prevention of hypocalcaemia at calving for dairy cows in pasture-based systems.

Australian Journal of Agricultural Research. 53(7):755-770

MENARD, L. und A. THOMPSON. 2007.

Milk fever and alert downer cows: does hypophosphatemia affect the treatment response?

Can Vet J. 48(5):487-491

MONTAG, N. 2005.

Experimentelle Untersuchungen der Effekte verschiedener Salze auf den Säuren-Basen-Haushalt bei Milchkühen.

Mensch-und-Buch Verl., Diss. Vetmed FU Berlin, Berlin.

MOORE, S. J., M. J. VANDEHAAR, B. K. SHARMA, T. E. PILBEAM, D. K. BEEDE, H. F. BUCHOLTZ, J. S. LIESMAN, R. L. HORST und J. P. GOFF. 2000.

Effects of altering dietary cation-anion difference on calcium and energy metabolism in peripartum cows.

J Dairy Sci. 83(9):2095-2104

MULLEN, P. A. 1975.

Clinical and biochemical responses to the treatment of milk fever.

Vet Rec. 97(05):87-92

MULLIGAN, F. J. und M. L. DOHERTY. 2008.

Production diseases of the transition cow.

Vet J. 176(1):3-9

MULLIGAN, F. J., M. L. DOHERTY und L. O'GRADY. 2006a.

Production diseases of the transition cow: Milk fever and subclinical hypocalcaemia.

Irish Veterinary Journal. 59(12):697-702

MULLIGAN, F. J., M. L. DOHERTY und L. O'GRADY. 2008.

Milk Fever and Subclinical Hypocalcaemia: Their Role in Transition Cow Health and Prevention Strategies.

Cattle Practice. 16(3):188-193

MULLIGAN, F. J., L. O'GRADY, D. A. RICE und M. L. DOHERTY. 2006b.

A herd health approach to dairy cow nutrition and production diseases of the transition cow.

Anim Reprod Sci. 96(3-4):331-353

MURRAY, R. D., J. E. HORSFIELD, W. D. MCCORMICK, H. J. WILLIAMS und D. WARD. 2008.

Historical and current perspectives on the treatment, control and pathogenesis of milk fever in dairy cattle.

Vet Rec. 163(19):561-565

NORDLUND, K. V., N. F. COOK und G. R. OETZEL. 2006

Commingling Dairy Cows: Pen Moves, Stocking Density and Health.

Vortragsband: 39th Annual Meeting of the American Association of Bovine Practitioners, St. Paul, MN:36-42.

NRC. 2001.

Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition, 2001. Auflage: 7 ed.

National Academy Press, Washington, DC.

OETZEL, G. R. 1988.

Parturient paresis and hypocalcemia in ruminant livestock.

Vet Clin North Am Food Anim Pract. 4(2):351-364

OETZEL, G. R. 1996.

Effect of calcium chloride gel treatment in dairy cows on incidence of periparturient diseases.

J Am Vet Med Assoc. 209(5):958-961

OETZEL, G. R. 2000.

Management of dry cows for the prevention of milk fever and other mineral disorders.

Vet Clin North Am Food Anim Pract. 16(2):369-386, vii

OETZEL, G. R. 2004.

Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease.

Vet Clin North Am Food Anim Pract. 20(3):651-674

OETZEL, G. R. 2005

Herd-based Testing for the Preventive Medicine Practice.

Vortragsband: 38th Annual Meeting of the American Association of Bovine Practitioners, Salt Lake City, UT:133-138.

OETZEL, G. R. und J. A. BARMORE. 1993.

Intake of a Concentrate Mixture Containing Various Anionic Salts Fed to Pregnant, Nonlactating Dairy Cows.

J. Dairy Sci. 76(6):1617-1623

OETZEL, G. R., M. J. FETTMAN, D. W. HAMAR und J. D. OLSON. 1991.

Screening of anionic salts for palatability, effects on acid-base status, and urinary calcium excretion in dairy cows.

J Dairy Sci. 74(3):965-971

OETZEL, G. R. und J. P. GOFF. 1999.

Milk fever in cows, ewes and doe goats.

Pages 215-218 *in* Current Veterinary Therapy 4. Food Animal Practice. J. HOWARD and R. SMITH, eds. W.B. Saunders Company, New York, USA.

OETZEL, G. R., J. D. OLSON, C. R. CURTIS und M. J. FETTMAN. 1988.

Ammonium chloride and ammonium sulfate for prevention of parturient paresis in dairy cows.

J Dairy Sci. 71(12):3302-3309

OHTSUKA, H., C. WATANABE, M. KOHIRUIMAKI, T. ANDO, D. WATANABE, M. MASUI, T. HAYASHI, R. ABE, M. KOIWA, S. SATO und S. KAWAMURA. 2006.

Comparison of two different nutritive conditions against the changes in peripheral blood mononuclear cells of periparturient dairy cows.

J Vet Med Sci. 68(11):1161-1166

OSPINA, P. A., D. V. NYDAM, T. STOKOL und T. R. OVERTON. 2010a.

Associations of elevated nonesterified fatty acids and beta-hydroxybutyrate concentrations with early lactation reproductive performance and milk production in transition dairy cattle in the northeastern United States.

J Dairy Sci. 93(4):1596-1603

OSPINA, P. A., D. V. NYDAM, T. STOKOL und T. R. OVERTON. 2010b.

Evaluation of nonesterified fatty acids and beta-hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases.

J Dairy Sci. 93(2):546-554

OSTERGAARD, S. und Y. T. GROHN. 1999.

Effects of diseases on test day milk yield and body weight of dairy cows from Danish research herds.

J Dairy Sci. 82(6):1188-1201

OVERTON, T. R. und M. R. WALDRON. 2004.

Nutritional Management of Transition Dairy Cows: Strategies to Optimize Metabolic Health.

J. Dairy Sci. 87(13_suppl):E105-119

PEHRSON, B., C. SVENSSON, I. GRUVAEUS und M. VIRKKI. 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.

J Dairy Sci. 82(6):1310-1316

PENNER, G. B., G. F. TREMBLAY, T. DOW und M. OBA. 2008.

Timothy hay with a low dietary cation-anion difference improves calcium homeostasis in periparturient Holstein cows.

J Dairy Sci. 91(5):1959-1968

PHELPS, M. und J. HOUSE. 2001

The other side of DCAD: health problems associated with feeding anionic rations.

Vortragsband: Proc. 19th Ann. Vet. Med. Forum Am. Coll. Vet. Intern. Med., Denver:315-317.

PHILLIPPO, M., G. W. REID und I. M. NEVISON. 1994.

Parturient hypocalcaemia in dairy cows: effects of dietary acidity on plasma minerals and calciotropic hormones.

Res Vet Sci. 56(3):303-309

RAMBERG, C. F., JR., E. K. JOHNSON, R. D. FARGO und D. S. KRONFELD. 1984.

Calcium homeostasis in cows, with special reference to parturient hypocalcemia.

Am J Physiol. 246(5 Pt 2):R698-704

RAMOS-NIEVES, J. M., B. J. THERING, M. R. WALDRON, P. W. JARDON und T. R. OVERTON. 2009.

Effects of anion supplementation to low-potassium prepartum diets on macromineral status and performance of periparturient dairy cows.

J Dairy Sci. 92(11):5677-5691

REINHARDT, T. A., R. L. HORST und J. P. GOFF. 1988.

Calcium, phosphorus, and magnesium homeostasis in ruminants.

Vet Clin North Am Food Anim Pract. 4(2):331-350

REINHARDT, T. A., J. D. LIPPOLIS, B. J. MCCLUSKEY, J. P. GOFF und R. L. HORST. 2010.

Prevalence of subclinical hypocalcemia in dairy herds.

The Veterinary Journal. In Press, Corrected Proof

RIOND, J. L. 2001.

Animal nutrition and acid-base balance.

Eur J Nutr. 40(5):245-254

RISCO, C. A., J. P. REYNOLDS und D. HIRD. 1984.

Uterine prolapse and hypocalcemia in dairy cows.

J Am Vet Med Assoc. 185(12):1517-1519

ROCHE, J. F., D. MACKEY und M. D. DISKIN. 2000.

Reproductive management of postpartum cows.

Anim Reprod Sci. 60-61:703-712

ROCHE, J. R. 2003.

The incidence and control of hypocalcaemia in pasture-based systems.

Acta Vet Scand Suppl. 97:141-144

ROCHE, J. R. und D. P. BERRY. 2006.

Periparturient climatic, animal, and management factors influencing the incidence of milk Fever in grazing systems.

J Dairy Sci. 89(7):2775-2783

ROCHE, J. R., D. DALLEY, P. MOATE, C. GRAINGER, M. RATH und F. O'MARA. 2003.

Dietary cation-anion difference and the health and production of pasture-fed dairy cows 2. Nonlactating periparturient cows.

J Dairy Sci. 86(3):979-987

ROCHE, J. R., D. E. DALLEY und F. P. O'MARA. 2007.

Effect of a metabolically created systemic acidosis on calcium homeostasis and the diurnal variation in urine pH in the non-lactating pregnant dairy cow.

J Dairy Res. 74(1):34-39

ROSOL, T. J. und C. C. CAPEN. 1996.

Pathophysiology of calcium, phosphorus, and magnesium metabolism in animals.

Vet Clin North Am Small Anim Pract. 26(5):1155-1184

ROSSOW, N. 2008

Beziehungen zwischen Milchfettdepression und subakuter Pansenazidose

<http://www.portal-rind.de/index.php?name=News&file=article&sid=132>. Accessed

20.09.2010.

RUDE, R. K., S. B. OLDHAM, C. F. SHARP, JR. und F. R. SINGER. 1978.

Parathyroid hormone secretion in magnesium deficiency.

J Clin Endocrinol Metab. 47(4):800-806

SANCHEZ, W. und R. BLAUWIEKEL. 1994

Prevention of Milk Fever by Application of the Dietary Cation-Anion Balance Concept.

Vortragsband: Washington State Univ. Coop. Ext., Pullman.

SANDALS, W. C., R. A. CURTIS, J. F. COTE und S. W. MARTIN. 1979.

The effect of retained placenta and metritis complex on reproductive performance in dairy cattle -- a case control study.

Can Vet J. 20(5):131-135

SANSOM, B. F. und W. M. ALLEN. 1981.

Milk fever control.

Vet Rec. 108(1):20-21

SCALIA, D., N. LACETERA, U. BERNABUCCI, K. DEMEYERE, L. DUCHATEAU und C. BURVENICH. 2006.

In vitro effects of nonesterified fatty acids on bovine neutrophils oxidative burst and viability.

J Dairy Sci. 89(1):147-154

SCHMIEDEL, C. 2008.

Einfluss ausgewählter Erkrankungen auf die Ökonomie in der Milchviehhaltung.

Mensch und Buchverlag,, Diss. Vetmed FU Berlin, Berlin.

SCHMUTZER, S. und R. STAUFENBIEL. 2008a

Untersuchungen zum moderaten Einsatz von Anionenrationen im Sinne einer effektiven Gebärpareseprophylaxe in der peripartalen Transitperiode bei Hochleistungskühen.

Vortragsband: 7. Berlin-Brandenburgischer Rindertag:207-209.

SCHMUTZER, S. und R. STAUFENBIEL. 2008b

Vergleich der Aussage von Einzelharnproben und gepoolten Harnproben in der Kontrolle von Anionenrationen in Milchkuhherden.

Vortragsband: 33. Fortbildungsveranstaltung Labordiagnostik und Bestandsbetreuung, Leipzig.

SCHRODER, B. und G. BREVES. 2006.

Mechanisms and regulation of calcium absorption from the gastrointestinal tract in pigs and ruminants: comparative aspects with special emphasis on hypocalcemia in dairy cows.

Anim Health Res Rev. 7(1-2):31-41

SEIFI, H. A., M. MOHRI und J. KALAMATI ZADEH. 2004.

Use of pre-partum urine pH to predict the risk of milk fever in dairy cows.

Vet J. 167(3):281-285

SINGER, R. B. und A. B. HASTINGS. 1948.

An improved clinical method for the estimation of disturbances of the acid-base balance of human blood.

Medicine (Baltimore). 27(2):223-242

STAUFENBIEL, R. 1999

Stoffwechselüberwachung der Milchkuhherde als Mittel zur Stabilisierung von Leistung und Gesundheit.

Vortragsband: Dr. Pieper Tagungsbericht 1999 über das 3. Symposium zu den Fragen der Fütterung und des Managements von Hochleistungskühen, Neuruppin.

STAUFENBIEL, R. 2003

Experimentelle Untersuchungen zur Wirkung verschiedener "saurer" Salze und Schlussfolgerungen für die Anwendung in der Gebärparese.

Vortragsband: Dr. Pieper Tagungsbericht 2003 7. Symposium Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen, Neuruppin:33-62.

STAUFENBIEL, R. 2004

Aktualisierte Empfehlungen zur Anwendung von Anionenrationen (sauren Salzen) zur Prophylaxe der Hypokalzämie und Gebärparese der Milchkuh.

Vortragsband: Dr. Pieper Tagungsbericht 2004 8. Symposium Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen, Neuruppin:121-169.

STAUFENBIEL, R. 2010

Prophylaxe der Hypokalzämie und Gebärparese der Milchkuh.

Vortragsband: 9. Haupttagung der Agrar- und Veterinär-Akademie (AVA) 2010, Göttingen:136-146.

STAUFENBIEL, R., G. ARNDT, U. SCHRODER und C. C. GELFERT. 2004.

[Body condition and metabolic stability as the basis for high milk yield and undisturbed fertility in dairy cows--a contribution for deduction of reference values].

Dtsch Tierarztl Wochenschr. 111(5):214-220

STAUFENBIEL, R., C.-C. GELFERT, H. KAY, A. WESTPHAL und C. DAETZ. 2007

Einfluss verschiedener Varianten der Trockensteher- und Transitzuhfütterung auf die Tiergesundheit und die Leistung.

Vortragsband: Dr. Pieper Tagungsbericht 2007 10. Symposium Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen, Neuruppin: 11-76.

STEWART, P. A. 1983.

Modern quantitative acid-base chemistry.

Can J Physiol Pharmacol. 61(12):1444-1461

TANAKA, Y. und H. F. DELUCA. 1973.

The control of 25-hydroxyvitamin D metabolism by inorganic phosphorus.

Arch Biochem Biophys. 154(2):566-574

TAYLOR, M. S., K. F. KNOWLTON, M. L. MCGILLIARD, W. M. SEYMOUR und J. H. HERBEIN. 2008.

Blood Mineral, Hormone, and Osteocalcin Responses of Multiparous Jersey Cows to an Oral Dose of 25-Hydroxyvitamin D3 or Vitamin D3 Before Parturition

10.3168/jds.2007-0750.

J. Dairy Sci. 91(6):2408-2416

THILSING-HANSEN, T. und R. J. JORGENSEN. 2001.

Hot topic: prevention of parturient paresis and subclinical hypocalcemia in dairy cows by zeolite A administration in the dry period.

J Dairy Sci. 84(3):691-693

THILSING-HANSEN, T., R. J. JORGENSEN, J. M. ENEMARK und T. LARSEN. 2002a.

The effect of zeolite A supplementation in the dry period on periparturient calcium, phosphorus, and magnesium homeostasis.

J Dairy Sci. 85(7):1855-1862

THILSING-HANSEN, T., R. J. JORGENSEN und S. OSTERGAARD. 2002b.

Milk fever control principles: a review.

Acta Vet Scand. 43(1):1-19

TRAN, T. D. 1997.

Mit Elektrolyten-Balancen gegen Milchfieber.

Rinderwelt. 6:26-28

TUCKER, W. B., J. F. HOGUE, G. D. ADAMS, M. ASLAM, I. S. SHIN und G. MORGAN. 1992.

Influence of dietary cation-anion balance during the dry period on the occurrence of parturient paresis in cows fed excess calcium.

J Anim Sci. 70(4):1238-1250

USDA. 2007.

Dairy 2007 Part I: Reference of Dairy Cattle Health and Management Practices in the United States, 2007

CO #N480.1007. USDA-APHIS-VS, CEAH. Fort Collins.

VAGNONI, D. B. und G. R. OETZEL. 1998.

Effects of dietary cation-anion difference on the acid-base status of dry cows.

J Dairy Sci. 81(6):1643-1652

VON ENGELHARD, W. und G. BREVES. 2000.

Physiologie der Haustiere.

Enke Verlag im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart.

WARD, G., L. H. HARBERS und J. J. BLAHA. 1979.

Calcium-containing crystals in alfalfa: their fate in cattle.

J Dairy Sci. 62(5):715-722

WEST, J. W. 2003.

Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle.

J. Dairy Sci. 86(6):2131-2144

WHITAKER, D. A., A. I. MACRAE und E. BURROUGH. 2004.

Disposal and disease rates in British dairy herds between April 1998 and March 2002.

Vet Rec. 155(2):43-47

WHITEFORD, L. C. und I. M. SHELDON. 2005.

Association between clinical hypocalcaemia and postpartum endometritis.

Vet Rec. 157(7):202-203

WIGGERS, K. D., D. K. NELSON und N. L. JACOBSON. 1975.

Prevention of parturient paresis by a low-calcium diet prepartum: a field study.

J Dairy Sci. 58(3):430-431

WILDE, D. 2006.

Influence of macro and micro minerals in the peri-parturient period on fertility in dairy cattle.

Anim Reprod Sci. 96(3-4):240-249

WILSON, G. F. 2003.

Development of a novel concept (Calcigard) for activation of calcium absorption capacity and prevention of milk fever.

Acta Vet Scand Suppl. 97:77-82

ZECHNER, G. 2009.

Der Effekt einer 25(O)D3 Supplementierung auf die Calciummobilisierungsfähigkeit bei Kühen zum Zeitpunkt der Geburt.

Mensch und Buch Verlag, Diss. Vetmed FU Berlin, Berlin.

ZEPPERITZ, H. 1992.

Untersuchungen zur Diagnostik, Prophylaxe und Therapie der Gebärparese des Rindes unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens des ionisierten Calciums im Blut und des Einsatzes von Vitamin D3 und 25- bzw. 1alpha-Hydroxycholecalciferol.

Habil. Leipzig Univ. 1992, Leipzig.

11. Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Gesundheitsstörungen um die Kalbung (STAUFENBIEL, 1999)..... | 4 |
| Abbildung 2: Übersicht der Regulationsmechanismen des Kalziumstoffwechsels (HUSBAND, 2005)..... | 8 |
| Abbildung 3: Kalziumbedarf einer Mehrkalbskuh direkt a.p. und p.p. | 8 |
| Abbildung 4: Lineare Verknüpfung von DCAB und der Gebärpareseinzidenz (DEGARIS und LEAN, 2008)..... | 14 |
| Abbildung 5: Eisbergmodell der Hypokalzämie (STAUFENBIEL, 2004) | 20 |
| Abbildung 6: Determinanten des Plasma-pH im „Simplified Strong Ion Model“ (CONSTABLE, 2000)..... | 27 |
| Abbildung 7: Vorhersage des pH-Wertes im „Simplified Strong Ion Model“ nach Constable | 27 |
| Abbildung 8: Zusammenhang zwischen DCAB $[(Na^+ + K^+) - (Cl^- + S^{2-})]$ und dem Harn-pH ((MCNEILL et al., 2002) modifiziert durch DE GARIS und LEAN (2008)) | 33 |
| Abbildung 9: Zeitliche Übersicht über den Rohprotein-, Rohfaser- und Stärke- plus Zuckergehalt der Futtermittelration (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung)..... | 49 |
| Abbildung 10: Zeitliche Übersicht über den Energiegehalt der Futtermittelration (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung) | 49 |
| Abbildung 11: Zeitliche Übersicht über die DCAB nach ENDER (1971) und GOFF (2004) der Futtermittelration (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung) | 51 |
| Abbildung 12: Zeitliche Übersicht über die Kalium-, Natrium-, Chlorid- und Schwefelgehalte der Futtermittelration (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung) | 51 |
| Abbildung 13: Zeitliche Übersicht über den Kalzium-, Magnesium- und Phosphorgehalt der Futtermittelration (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung) | 52 |
| Abbildung 14: Monatliche Erkrankungsinzidenz für Gebärparese, Nachgeburtsverhaltung und Metritis (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung) | 55 |
| Abbildung 15: Monatliche Erkrankungsinzidenz für Ketose, Labmagenverlagerung und Mastitis (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung) | 56 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der Gebärpäreseinzidenz in Bezug zur monatlichen Verteilung der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. (grüner Punkt = Median, das Ende des senkrechten grünen Striches markiert das 1. bzw. 3. Quartil; die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung)..... | 61 |
| Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der Gebärpäreseinzidenz in Bezug zur monatlichen Verteilung der Serumkalziumkonzentration 1 Tag p.p. (grüner Punkt = Median, das Ende des senkrechten grünen Striches markiert das 1. bzw. 3. Quartil, die senkrechte Linie markiert den Wechsel von der Anionenration zur kalziumreduzierten Fütterung)..... | 62 |
| Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der NSBA der Einzelproben (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von Fütterung anionischer Salze zur Fütterung ohne anionische Salze) | 68 |
| Abbildung 19: Zeitlicher Verlauf der Harnkalziumkonzentration der Einzelproben (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von Fütterung anionischer Salze zur Fütterung ohne anionische Salze)..... | 69 |
| Abbildung 20: Zeitlicher Verlauf der NSBA der Harnpoolproben (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von Fütterung anionischer Salze zur Fütterung ohne anionische Salze)..... | 71 |
| Abbildung 21: Zeitlicher Verlauf des Harn-pH der Poolproben (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von Fütterung anionischer Salze zur Fütterung ohne anionische Salze) | 71 |
| Abbildung 22: Zeitlicher Verlauf der Harnkalziumkonzentration der Poolproben (die senkrechte Linie markiert den Wechsel von Fütterung anionischer Salze zur Fütterung ohne anionische Salze)..... | 72 |
| Abbildung 23: Beziehung zwischen den Pool- und Mittelwerten des pH-Wertes im Harn | 74 |
| Abbildung 24: Beziehung zwischen den Pool- und Mittelwerten der NSBA im Harn..... | 75 |
| Abbildung 25: Beziehung zwischen den Pool- und Mittelwerten der Kalziumausscheidung im Harn..... | 75 |
| Abbildung 26: Beziehung zwischen der NSBA und dem Harn-pH der Harneinzelproben..... | 77 |
| Abbildung 27: Beziehung zwischen der NSBA und dem Harn-pH der Harn-Poolproben..... | 77 |
| Abbildung 28: Beziehung zwischen der NSBA und der Harnkalziumkonzentration der Harneinzelproben | 78 |
| Abbildung 29: Beziehung zwischen der NSBA und der Harnkalziumkonzentration der Harnpoolproben..... | 79 |
| Abbildung 30: Beziehung zwischen dem Harn-pH und der Harnkalziumkonzentration der Harnpoolproben..... | 79 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 31: Verlauf der NSBA und der Gebärpareseinzidenz im Zeitraum der Fütterung anionischer Salze..... | 81 |
| Abbildung 32: Verlauf der Harnkalziumkonzentration und der Gebärpareseinzidenz im Zeitraum der Fütterung anionischer Salze | 81 |
| Abbildung 33: Verlauf des Kalziumgehaltes in der TMR und der Gebärpareseinzidenz im Zeitraum der Fütterung anionischer Salze | 82 |
| Abbildung 34: Verlauf der Harn-pH-Werte der Kühe bei Fütterung anionischer Salze in Bezug zu den Tagen nach Wechsel in die Vorbereitergruppe | 83 |
| Abbildung 35: Verlauf der NSBA-Werte der Kühe bei Fütterung anionischer Salze in Bezug zu den Tagen nach Wechsel in die Vorbereitergruppe | 84 |
| Abbildung 36: Verlauf der Harn-pH-Werte in Bezug zu Tagen bis zur Kalbung | 85 |
| Abbildung 37: Verlauf der Harn-NSBA-Werte in Bezug zu Tagen bis zur Kalbung..... | 85 |
| Abbildung 38: Zeitlicher Verlauf des monatlichen Medians der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. und der Verteilung der monatlichen NSBA-Werte (1.-3. Quartil) | 91 |
| Abbildung 39: Zeitlicher Verlauf des monatlichen Medians der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. und der Verteilung der monatlichen Harnkalziumkonzentration (1.-3. Quartil) | 91 |
| Abbildung 40: Zeitliche Beschreibung des monatlichen Verhältnisses von Einzeltieren mit einer Harnkalziumkonzentration < 7 und ≥ 7 mmol/l..... | 92 |
| Abbildung 41: Zeitlicher Verlauf des monatlichen Medians der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. und dem mittleren monatlichen Gehalt an Kalzium in der TMR | 92 |
| Abbildung 42: Zeitlicher Verlauf des Medians der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. und dem mittleren monatlichen Gehalt an Futterkalk in der TMR..... | 93 |
| Abbildung 43: Box-and-Whisker Plot der Verteilung der Serumkalziumwerte (mmol/l) direkt nach dem Kalben über die 12 Probenmonate (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)..... | 167 |
| Abbildung 44: Box-and-Whisker Plot der Verteilung der Serumkalziumwerte (mmol/l) 1 Tag nach dem Kalben über die 12 Probenmonate (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)..... | 169 |
| Abbildung 45: Serumkalziummittelwerte 1 Tag p.p. mit Standardfehler (2xSEM) geordnet nach Laktationen | 170 |
| Abbildung 46: NEFA - Mittelwerte 1 Tag p.p. mit Standardfehler (2xSEM) geordnet nach Laktationen..... | 171 |
| Abbildung 47: Histogramm der NSBA-Einzelwerte | 172 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 48: Histogramm der NSBA-Poolwerte | 173 |
| Abbildung 49: Histogramm der Harn-pH-Werte der Einzelproben..... | 173 |
| Abbildung 50: Histogramm der Harn-pH-Poolwerte..... | 174 |
| Abbildung 51: Box-and-Whisker Plot der Verteilung der NSBA über die 12 Probenmonate (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)..... | 175 |
| Abbildung 52: NSBA-Tagesprofil der Kühe 1 bis 5 mit Fütterung anionischer Salze (Futternvorlage um 10:00, 11:00-12:00 Kühe zur Euterkontrolle auf den Melkstand getrieben)..... | 182 |
| Abbildung 53: NSBA-Tagesprofil der Kühe 6 bis 10 mit Fütterung anionischer Salze..... | 182 |
| Abbildung 54: Harn-pH-Tagesprofil der Kühe 1 bis 5 mit Fütterung anionischer Salze | 183 |
| Abbildung 55: Harn-pH-Tagesprofil der Kühe 6 bis 10 mit Fütterung anionischer Salze | 183 |
| Abbildung 56: Harnkalziumkonzentration-Tagesprofil der Kühe 1 bis 5 mit Fütterung anionischer Salze (Futternvorlage um 10:00, 11:00-12:00 Kühe zur Euterkontrolle auf den Melkstand getrieben)..... | 184 |
| Abbildung 57: Harnkalziumkonzentration-Tagesprofil der Kühe 6 bis 10 mit Fütterung anionischer Salze (Futternvorlage um 10:00, 11:00-12:00 Kühe zur Euterkontrolle auf den Melkstand getrieben)..... | 184 |

12. Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Inzidenz der Gebärparese (Bezugsgröße auf Herdenebene) | 6 |
| Tabelle 2: Inzidenzen der subklinischen Hypokalzämie | 6 |
| Tabelle 3: Zeitliche Verteilung des Auftretens der Gebärparese (OETZEL, 1988, OETZEL und GOFF, 1999) | 7 |
| Tabelle 4: Übersicht über die Beeinflussung der Kalziumhomöostase nach GOFF (2000) | 12 |
| Tabelle 5: Kosten der klinischen Hypokalzämie pro Fall auf Herdenebene | 16 |
| Tabelle 6: Übersicht über die DCAB-Zielwerte bei Fütterung einer Anionenration | 29 |
| Tabelle 7: Übersicht über die Zielwerte des pH-Wertes bei Einsatz der Anionenration | 34 |
| Tabelle 8: Messverfahren für die Blutparameter | 40 |
| Tabelle 9: Messverfahren der Harnparameter | 41 |
| Tabelle 10: Messverfahren der Futtermittelanalyse | 41 |
| Tabelle 11: Überprüfung der Mischgenauigkeit des Futtermischwagens ohne Fütterung anionischer Salze | 53 |
| Tabelle 12: Multiple Regression nach dem Einschlussmodell für die DCAB (n=19) | 54 |
| Tabelle 13: Übersicht über die Erkrankungsfälle mit und ohne Fütterung anionischer Salze über den gesamten Untersuchungszeitraum | 56 |
| Tabelle 14: Anteil der pluriparen Kühe mit einer Serumkalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l im Verhältnis zu allen beprobten Abkalbungen der pluriparen Kühe | 58 |
| Tabelle 15: Anteil der Jungkühe mit einer Serumkalziumkonzentration $\leq 2,0$ mmol/l im Verhältnis zu allen beprobten Abkalbungen der Jungkühe | 58 |
| Tabelle 16: Vergleich der Erkrankungshäufigkeiten der pluriparen Kühe mit einem Serumkalziumwert $>$ und $\leq 2,0$ mmol/l mit Fütterung anionischer Salze in der Vorbereitungsphase ($n=n_1+n_2=n_3+n_4=500$) | 59 |
| Tabelle 17: Vergleich der Erkrankungshäufigkeiten der pluriparen Kühe mit einem Serumkalziumwert $>$ und $\leq 2,0$ mmol/l bei kalziumreduzierter Fütterung in der Vorbereitungsphase ($n=n_1+n_2=n_3+n_4=109$) | 60 |
| Tabelle 18: Vergleich der Geburtsverläufe der pluriparen Kühe mit einem Serumkalziumwert von $>$ und $\leq 2,0$ mmol/l direkt p.p. ($n=609$) | 60 |
| Tabelle 19: Entwicklung von NEFA (mmol/l) und BHB (mg/l) der pluriparen Kühe in Abhängigkeit von der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. und einen Tag p.p. | 63 |
| Tabelle 20: Beziehung der Serumkalziumkonzentration der pluriparen Kühe direkt nach der Kalbung zu den NEFA- (mmol/l) und BHB - Konzentrationen (mg/l) 7 Tage p.p. | 63 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 21: Beziehung der Serumkalziumkonzentration der pluriparen Kühe 1 Tag nach der Kalbung zu den NEFA- (mmol/l) und BHB - Konzentrationen (mg/l) 7 Tage p.p. | 64 |
| Tabelle 22: Beziehung der Serumkalziumkonzentration (mmol/l) der pluriparen Kühe direkt p.p. und 1 Tag p.p. zu der Serumkalziumkonzentrationen (mmol/l) der pluriparen Kühe 7 Tage p.p. | 64 |
| Tabelle 23: Deskriptive Statistik und Einfluss der varianzanalytischen Faktoren auf die mittlere Serumkalziumkonzentration (mmol/l) der Kühe mit jeweils einem Serumkalziumwert direkt p.p., einen und sieben Tage p.p. | 65 |
| Tabelle 24: Vergleich der Serumkalziummittelwerte (mmol/l) der pluriparen Kühe zu den einzelnen Messzeitpunkten | 65 |
| Tabelle 25: Test auf Normalverteilung der Harnparameter für die Einzel- und Poolproben... | 66 |
| Tabelle 26: Deskriptive Statistik und Einfluss der varianzanalytischen Faktoren auf die Harnparameter pH, NSBA (mmol/l) und Harnkalziumkonzentration (mmol/l) | 73 |
| Tabelle 27: Deskriptive Statistik der NSBA-Werte für Kühe und Färsen in mmol/l | 73 |
| Tabelle 28: Deskriptive Statistik der pH-Werte für Kühe und Färsen | 73 |
| Tabelle 29: Deskriptive Statistik der Harnkalziumwerte für Kühe und Färsen in mmol/l | 73 |
| Tabelle 30: Beziehung zwischen Mittelwerten und Poolwerten im Harn..... | 74 |
| Tabelle 31: Vergleich der pH-, NSBA- und Harnkalzium - Mittelwerte von 10 Kühen bei Fütterung anionischer Salze | 87 |
| Tabelle 32: Deskriptive Statistik und Einfluss der varianzanalytischen Faktoren auf das | 87 |
| Tabelle 33: Übersicht über die Streuung der pH-, NSBA- und Harnkalziumwerte im 24stündigen Tagesprofil bei 10 Kühen mit Fütterung anionischer Salze | 88 |
| Tabelle 34: Vorgeschlagene Referenzwerte für die Kontrolle einer Anionenration..... | 110 |
| Tabelle 35: Bedarfswerte einer Anionenration (Vorbereiterraion 3 bis 2 Wochen ante partum bis zur Kalbung, modifiziert nach STAUFENBIEL (2007)) | 117 |
| Tabelle 36: Rohprotein-, Rohfaser- und Stärke- plus Zuckergehalt der Futterraion | 161 |
| Tabelle 37: Übersicht über die Streuung des Energiegehaltes | 161 |
| Tabelle 38: DCAB der Futterraion..... | 162 |
| Tabelle 39: Kalium-, Natrium-, Chlorid- und Schwefelgehalte der Futterraion..... | 162 |
| Tabelle 40: Kalzium-, Magnesium- und Phosphorgehalt der Ration..... | 163 |
| Tabelle 41: Minimum- und Maximumwerte der monatlichen Erkrankungsraten über den gesamten Untersuchungszeitraum..... | 163 |

| | |
|---|-----|
| Tabelle 42: Übersicht über die deskriptive Statistik der mittleren monatlichen Erkrankungsfälle mit und ohne Fütterung anionischer Salze über den gesamten Untersuchungszeitraum..... | 164 |
| Tabelle 43: Serumkalziumkonzentration direkt-, 1 Tag und 7 Tage nach dem Kalben..... | 165 |
| Tabelle 44: Serum – NEFA - Konzentration direkt-, 1 Tag- und 7 Tage nach dem Kalben . | 165 |
| Tabelle 45: Serum – BHB - Konzentration direkt-, 1 Tag- und 7 Tage nach dem Kalben.... | 166 |
| Tabelle 46: Vergleich der Erkrankungshäufigkeiten der Jungkühe mit einem Serumkalziumwert $>$ und $\leq 2,0$ mmol/l bei Fütterung anionischer Salze in der Vorbereitungsphase ($n=n_1+n_2=192$)..... | 166 |
| Tabelle 47: Vergleich der Erkrankungshäufigkeiten der Jungkühe mit einem Serumkalziumwert $>$ und $\leq 2,0$ mmol/l bei kalziumreduzierter Fütterung in der Vorbereitungsphase ($n=n_1+n_2=58$)..... | 167 |
| Tabelle 48: Deskriptive Statistik der Serumkalziumwerte (mmol/l) direkt nach dem Kalben über die 12 Probenmonate (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze) | 168 |
| Tabelle 49: Regression des monatlichen Mittelwertes der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. zur monatlichen Gebärpareseinzidenz | 168 |
| Tabelle 50: Regression des monatlichen Medians der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. zur monatlichen Gebärpareseinzidenz | 168 |
| Tabelle 51: Deskriptive Statistik der Serumkalziumwerte (mmol/l) 1 Tag nach dem Kalben über die 12 Probenmonate (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze) | 169 |
| Tabelle 52: Regression des monatlichen Mittelwertes der Serumkalziumkonzentration einen Tag p.p. zur monatlichen Gebärpareseinzidenz | 170 |
| Tabelle 53: Deskriptive Statistik der Serumkalziummittelwerte (mmol/l) 1 Tag p.p. geordnet nach Laktationen | 170 |
| Tabelle 54: Deskriptive Statistik der NEFA – Mittelwerte (mmol/l) 1 Tag p.p. geordnet nach Laktationen..... | 171 |
| Tabelle 55: Deskriptive Übersicht über die monatliche Verteilung der NSBA (mmol/l) im Harn ($n = 580$) (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)..... | 175 |
| Tabelle 56: Deskriptive Übersicht über die monatliche Verteilung des pH – Wertes im Harn ($n = 580$) (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)..... | 176 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 57: Deskriptive Übersicht über die monatliche Verteilung der Harnkalziumausscheidung (mmol/l) (n = 430) (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze) | 176 |
| Tabelle 58: Übersicht über die pH-, NSBA- und Harnkalziumwerte aus den Harneinzelproben | 177 |
| Tabelle 59: Übersicht über die pH-, NSBA- und Harnkalziumwerte aus den Harnpoolproben | 177 |
| Tabelle 60: Mittlere Differenz der NSBA-Werte in mmol/l geordnet nach Tagen nach Wechsel in die Vorbereitergruppe..... | 178 |
| Tabelle 61: Mittlere Differenz der pH-Werte geordnet nach Tagen nach Wechsel in die Vorbereitergruppe | 179 |
| Tabelle 62: Mittlere Differenz der NSBA-Werte in mmol/l geordnet nach Tagen bis zur Kalbung | 180 |
| Tabelle 63: Mittlere Differenz der pH-Werte geordnet nach Tagen bis zur Kalbung | 181 |
| Tabelle 64: Übersicht über die in den Regressionsanalysen benutzten Parameter, ihre Abkürzungen und ihre Einheiten..... | 185 |
| Tabelle 65: Multiple Regression (n=34) nach dem Einschlussmodell für die NSBA aus den Poolwerten mit der DCAB nach ENDER (1971)..... | 185 |
| Tabelle 66: Multiple Regression (n=34) nach dem Einschlussmodell für die NSBA aus den Poolwerten mit der DCAB nach GOFF (2004)..... | 186 |
| Tabelle 67: Multiple Regression (n=34) nach dem Einschlussmodell für den Harn-pH aus den Poolwerten mit der DCAB nach ENDER (1971)..... | 186 |
| Tabelle 68: Multiple Regression (n=34) nach dem Einschlussmodell für den Harn-pH aus den Poolwerten mit der DCAB nach GOFF (2004)..... | 187 |
| Tabelle 69: Multiple Regression (n=34) nach dem Einschlussmodell für die Harnkalziumkonzentration aus den Poolwerten mit der DCAB nach ENDER (1971).. | 187 |
| Tabelle 70: Multiple Regression (n=34) nach dem Einschlussmodell für die Harnkalziumkonzentration aus den Poolwerten mit der DCAB nach GOFF (2004)..... | 188 |

13. Anhang

13.1. Untersuchung der Rationsinhalte

13.1.1. Beschreibung der Rationsparameter

Tabelle 36: Rohprotein-, Rohfaser- und Stärke- plus Zuckergehalt der Futtration

| | Rohprotein (g/ kg TS) | | Rohfaser (g/ kg TS) | | Stärke- plus Zucker (g/ kg TS) | |
|--|--------------------------|-------|------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| n | 13 | 6 | 13 | 6 | 13 | 6 |
| X_{ar} | 126,0 | 122,3 | 215,2 | 202,8 | 218,3 | 228,0 |
| s | 8,2 | 12,6 | 21,1 | 9,8 | 33,5 | 25,3 |
| X_{min} | 110 | 103 | 175 | 189 | 174 | 201 |
| X_{max} | 136 | 140 | 250 | 214 | 289 | 265 |
| X_{max} - X_{min} | 26 | 37 | 75 | 25 | 115 | 64 |
| X_{0,5} | 129 | 123 | 210 | 204 | 215 | 224 |
| X_{0,25} | 120 | 116 | 203 | 194 | 195 | 206 |
| X_{0,75} | 133 | 130 | 245 | 212 | 237 | 249 |

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

Tabelle 37: Übersicht über die Streuung des Energiegehaltes

| | Energiegehalt der Futtration in MJ NEL/ kg TS | |
|--|---|------|
| | 1 | 2 |
| n | 13 | 6 |
| X_{ar} | 6,3 | 6,5 |
| s | 0,31 | 0,29 |
| X_{min} | 5,7 | 6,2 |
| X_{max} | 6,8 | 7,0 |
| X_{max} - X_{min} | 1,1 | 0,8 |
| X_{0,5} | 6,4 | 6,5 |
| X_{0,25} | 6,1 | 6,3 |
| X_{0,75} | 6,5 | 6,7 |

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

Tabelle 38: DCAB der Futterrations

| | DCAB nach ENDER (1984) (mEq/ kg TS) | | DCAB nach GOFF (2004) (mEq/ kg TS) | |
|--|--|---------------------|---------------------------------------|---------------------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| n | 13 | 6 | 13 | 6 |
| X_{ar} | + 54 ^{a)} | + 181 ^{b)} | + 104 ^{a)} | + 207 ^{b)} |
| s | 35,17 | 33,03 | 31,60 | 32,00 |
| X_{min} | -6 | + 142 | + 48 | + 174 |
| X_{max} | + 118 | + 217 | + 158 | + 244 |
| X_{max} - X_{min} | 124 | 75 | 110 | 70 |
| X_{0,5} | + 53 | + 180 | + 109 | + 186 |
| X_{0,25} | + 36 | + 153 | + 91 | + 176 |
| X_{0,75} | + 79 | + 214 | + 121 | + 244 |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit und ohne Anionen

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

Tabelle 39: Kalium-, Natrium-, Chlorid- und Schwefelgehalte der Futterrations

| | Kalium (g/ kg TS) | | Natrium (g/ kg TS) | | Chlorid (g/ kg TS) | | Schwefel (g/ kg TS) | |
|--|----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| n | 13 | 6 | 13 | 6 | 13 | 6 | 13 | 6 |
| X_{ar} | 12,31 | 12,47 | 1,74 | 1,74 | 7,56 ^{a)} | 5,31 ^{b)} | 1,99 ^{a)} | 1,03 ^{b)} |
| s | 1,45 | 1,51 | 0,56 | 0,51 | 1,23 | 0,99 | 0,46 | 0,20 |
| V | 0,1175 | 0,1209 | 0,3208 | 0,2929 | 0,1624 | 0,1870 | 0,2324 | 0,1976 |
| X_{min} | 10,41 | 10,63 | 0,88 | 1,12 | 5,97 | 4,35 | 1,47 | 0,84 |
| X_{max} | 14,7 | 14,21 | 2,75 | 2,64 | 9,25 | 7,14 | 3,20 | 1,38 |
| X_{max} - X_{min} | 4,29 | 3,58 | 1,87 | 1,52 | 3,28 | 2,79 | 1,73 | 0,54 |
| X_{0,5} | 12,63 | 12,78 | 1,49 | 1,63 | 7,35 | 5,01 | 1,90 | 0,95 |
| X_{0,25} | 10,84 | 10,78 | 1,40 | 1,53 | 6,56 | 4,73 | 1,61 | 0,91 |
| X_{0,75} | 13,08 | 13,66 | 2,14 | 1,92 | 8,80 | 5,62 | 2,22 | 1,17 |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit und ohne Anionen

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

Tabelle 40: Kalzium-, Magnesium- und Phosphorgehalt der Ration

| | Kalzium (g/ kg TS) | | Magnesium (g/ kg TS) | | Phosphor (g/ kg TS) | |
|--|-----------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|------------------------|--------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| n | 13 | 6 | 13 | 6 | 13 | 6 |
| x_{ar} | 11,99 ^{a)} | 5,34 ^{b)} | 3,03 ^{a)} | 2,60 ^{b)} | 3,80 | 3,63 |
| s | 2,07 | 1,40 | 0,26 | 0,48 | 0,45 | 0,66 |
| V | 0,1729 | 0,2612 | 0,0861 | 0,1842 | 0,1189 | 0,1827 |
| x_{min} | 8,62 | 3,99 | 2,66 | 1,91 | 3,00 | 2,77 |
| x_{max} | 15,51 | 7,98 | 3,63 | 3,30 | 4,60 | 4,42 |
| x_{max} - x_{min} | 6,91 | 3,99 | 0,97 | 1,39 | 1,6 | 1,65 |
| x_{0,5} | 12,51 | 4,93 | 2,94 | 2,70 | 3,85 | 3,85 |
| x_{0,25} | 10,44 | 4,62 | 2,88 | 2,29 | 3,55 | 2,87 |
| x_{0,75} | 13,26 | 5,60 | 3,20 | 2,90 | 3,99 | 4,04 |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit und ohne Anionen

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

13.2. Untersuchung der Erkrankungen

13.2.1. Beschreibung der Erkrankungsinzidenzen über den Untersuchungszeitraum

Tabelle 41: Minimum- und Maximumwerte der monatlichen Erkrankungsraten über den gesamten Untersuchungszeitraum

| Erkrankung | | 1 n/ monatl. Abkalbungen | 2 n/ monatl. Abkalbungen |
|---------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Gebärparese | x_{min} | 5/ 154 (3,2%) | 9/ 144 (6,3%) |
| | x_{max} | 15/ 147 (10,0%) | 22/ 159 (13,8%) |
| Nachgeburtshaltung | x_{min} | 1/ 147 (1%) | 1/ 144 (1%) |
| | x_{max} | 11/ 154 (7,1%) | 16/ 159 (10,1%) |
| Metritis | x_{min} | 16/ 177 (9,0%) | 25/ 159 (15,7%) |
| | x_{max} | 43/ 164 (26,2%) | 40/ 144 (27,8%) |
| Ketose | x_{min} | 7/ 136 (5,1%) | 13/ 166 (7,8%) |
| | x_{max} | 25/ 177 (14,1%) | 26/ 144 (18,1%) |
| Labmagenverlagerung | x_{min} | 4/ 192 (2,1%) | 3/ 166 (1,8%) |
| | x_{max} | 6/ 162 (3,7%) | 7/ 144 (4,9%) |
| Mastitis | x_{min} | 5/ 159 (3,1%) | 1/ 144 (1%) |
| | x_{max} | 15/ 162 (9,2%) | 16/ 159 (10,0%) |

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

Tabelle 42: Übersicht über die deskriptive Statistik der mittleren monatlichen Erkrankungsfälle mit und ohne Fütterung anionischer Salze über den gesamten Untersuchungszeitraum

| Erkrankung | | 1 n/ 161 Abkalbungen | 2 n/ 156 Abkalbungen |
|---------------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| Gebärparese | \bar{x}_{ar} | 10,3 (6,3%) | 16,0 (10,2%) |
| | s | 3,94 | 6,56 |
| | $x_{0,25}$ | 7,3 (4,5%) | 11,0 (7,1%) |
| | $x_{0,5}$ | 12,0 (7,4%) | 17,0 (10,9%) |
| | $x_{0,75}$ | 13,5 (8,3%) | 20,8 (13,3%) |
| Nachgeburtshaltung | \bar{x}_{ar} | 6,0 (3,8%) | 8,0 (5,1%) |
| | s | 3,28 | 7,55 |
| | $x_{0,25}$ | 3,8 (2,3%) | 2,5 (1,6%) |
| | $x_{0,5}$ | 5 (3,1%) | 7,0 (4,5%) |
| | $x_{0,75}$ | 8,8 (5,4%) | 13,8 (8,8%) |
| Metritis | \bar{x}_{ar} | 20,7 (12,9%) | 36,0 (23,3%) |
| | s | 8,5 | 9,64 |
| | $x_{0,25}$ | 17,5 (10,9%) | 28,8 (18,5%) |
| | $x_{0,5}$ | 19,0 (11,8%) | 40,0 (25,6%) |
| | $x_{0,75}$ | 19,0 (11,8%) | 42,3 (27,1%) |
| Ketose | \bar{x}_{ar} | 15,4 (9,4%) | 20,0 (12,8%) |
| | s | 6,7 | 6,7 |
| | $x_{0,25}$ | 9,5 (5,9%) | 15,0 (9,6%) |
| | $x_{0,5}$ | 15 (9,3%) | 21,0 (13,5%) |
| | $x_{0,75}$ | 21 (13,0%) | 24,8 (15,9%) |
| Labmagenverlagerung | \bar{x}_{ar} | 4,3 (2,7%) | 5,3 (3,7%) |
| | s | 1,3 | 2,08 |
| | $x_{0,25}$ | 3,0 (1,8%) | 3,8 (2,4%) |
| | $x_{0,5}$ | 4,0 (2,5%) | 6,0 (3,8%) |
| | $x_{0,75}$ | 6,2 (3,9%) | 6,8 (4,4%) |
| Mastitis | \bar{x}_{ar} | 10,1 (6,1%) | 9,7 (6,2%) |
| | s | 4,9 | 7,77 |
| | $x_{0,25}$ | 6,5 (4,0%) | 3,8 (2,4%) |
| | $x_{0,5}$ | 8,0 (5,0%) | 12,0 (7,7%) |
| | $x_{0,75}$ | 15,3 (9,5%) | 15,0 (9,6%) |

1) Fütterung mit Anionen

2) Fütterung ohne Anionen

13.2.2. Untersuchung der Blutparameter im Zusammenhang mit den Erkrankungsinzidenzen

Tabelle 43: Serumkalziumkonzentration direkt-, 1 Tag und 7 Tage nach dem Kalben

| | Ca direkt p.p. mmol/l | | Ca 1 Tag p.p. mmol/l | | Ca 7 Tage p.p. mmol/l | |
|------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|------|--------------------------|--------------------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| n | 501 | 109 | 694 | 167 | 457 | 208 |
| \bar{x} | 1,93 ^{a)} | 1,83 ^{b)} | 2,05 | 2,03 | 2,20 ^{a)} | 2,28 ^{b)} |
| s | 0,30 | 0,31 | 0,31 | 0,35 | 0,26 | 0,22 |
| $x_{0,5}$ | 1,94 | 1,85 | 2,08 | 2,07 | 2,23 | 2,25 |
| $x_{0,25}$ | 1,75 | 1,65 | 1,87 | 1,85 | 2,02 | 2,14 |
| $x_{0,75}$ | 2,11 | 2,03 | 2,24 | 2,21 | 2,39 | 2,39 |
| x_{\min} | 0,88 | 0,75 | 0,92 | 0,98 | 1,31 | 1,57 |
| x_{\max} | 3,54 | 2,62 | 3,18 | 3,48 | 2,99 | 3,06 |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit und ohne Anionen

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

Tabelle 44: Serum – NEFA - Konzentration direkt-, 1 Tag- und 7 Tage nach dem Kalben

| | NEFA direkt p.p. mmol/l | | NEFA 1 Tag p.p. mmol/l | | NEFA 7 Tage p.p. mmol/l | |
|------------|----------------------------|------|---------------------------|------|----------------------------|------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| n | 503 | 103 | 695 | 167 | 456 | 208 |
| \bar{x} | 0,98 | 0,97 | 0,72 | 0,72 | 0,96 | 0,94 |
| s | 0,47 | 0,40 | 0,45 | 0,46 | 0,52 | 0,47 |
| $x_{0,5}$ | 0,87 | 0,94 | 0,61 | 0,61 | 0,84 | 0,84 |
| $x_{0,25}$ | 0,65 | 0,6 | 0,42 | 0,44 | 0,59 | 0,61 |
| $x_{0,75}$ | 1,23 | 1,13 | 0,91 | 0,86 | 1,21 | 1,23 |
| x_{\min} | 0,03 | 0,36 | 0,07 | 0,11 | 0,03 | 0,11 |
| x_{\max} | 3,22 | 2,46 | 2,72 | 2,36 | 2,76 | 2,30 |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit und ohne Anionen

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

Tabelle 45: Serum – BHB - Konzentration direkt-, 1 Tag- und 7 Tage nach dem Kalben

| | BHB direkt p.p. mg/l | | BHB 1 Tag p.p. mg/l | | BHB 7 Tage p.p. mg/l | |
|-------------------|-------------------------|-------|------------------------|-------|-------------------------|--------------------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| n | 505 | 109 | 692 | 167 | 457 | 208 |
| x _{ar} | 48,9 | 50,7 | 69,2 | 66,4 | 110,2 ^{a)} | 89,6 ^{b)} |
| s | 27,3 | 21,6 | 38,2 | 22,3 | 75,1 | 53,2 |
| x _{0,5} | 41,4 | 46,0 | 62,6 | 63,1 | 88,2 | 78,3 |
| x _{0,25} | 32,7 | 36,7 | 50,7 | 51,7 | 69,4 | 60,1 |
| x _{0,75} | 55,6 | 56,8 | 77,9 | 77,8 | 119,8 | 99,9 |
| x _{min} | 12,2 | 21,0 | 8,0 | 25,7 | 25,8 | 13,6 |
| x _{max} | 346,5 | 155,9 | 740,5 | 155,4 | 528,6 | 473,3 |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit und ohne Anionen

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

Tabelle 46: Vergleich der Erkrankungshäufigkeiten der Jungkühe mit einem Serumkalziumwert $>$ und \leq 2,0 mmol/l bei Fütterung anionischer Salze in der Vorbereitungsphase ($n=n_1+n_2=192$)

| | n Jungkühe Ca 1 T p.p. | | n Erkrankungen/ 192 Abkalbungen |
|-------------|---|---------------------------------------|------------------------------------|
| | $\leq 2,0$ mmol/l n ₁ =48 | $> 2,0$ mmol/l n ₂ =144 | |
| Gebärparese | 0 | 0 | 0 |
| Ret. sec. | 2 (1%) | 6 (3,1%) | 8 (4,1%) |
| Metritis | 17 (8,9%) | 39 (20,3%) | 56 (29,2%) |
| Ketose | 6 (3,1%) | 14 (7,3%) | 20 (10,4%) |
| LMV | 3 (1,6%) ^{c)} | 1 (0,5%) ^{d)} | 4 (2,1%) |
| Mastitis | 1 (0,5%) | 9 (4,7%) | 10 (5,2%) |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

c und d) tendenzieller Unterschied ($p < 0,1$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

Tabelle 47: Vergleich der Erkrankungshäufigkeiten der Jungkühe mit einem Serumkalziumwert $>$ und $\leq 2,0$ mmol/l bei kalziumreduzierter Fütterung in der Vorbereitungsphase ($n=n_1+n_2=58$)

| | n Jungkühe Ca 1 T p.p. | | n Erkrankungen/ 58 Abkalbungen |
|-------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| | $\leq 2,0$ mmol/l $n_1=9$ | $> 2,0$ mmol/l $n_2=49$ | |
| Gebärparese | 0 | 0 | 0 |
| Ret. sec. | 0 | 1 (1,7%) | 1 (1,7%) |
| Metritis | 5 (8,6%) | 16 (27,6%) | 21 (36,2%) |
| Ketose | 1 (1,7%) | 3 (5,2%) | 4 (6,9%) |
| LMV | 0 | 0 | 0 |
| Mastitis | 0 | 3 (5,2%) | 3 (5,2%) |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

c und d) tendenzieller Unterschied ($p < 0,1$) zwischen den Gruppen mit einem Serumkalziumspiegel $\leq 2,0$ mmol/l und $> 2,0$ mmol/l

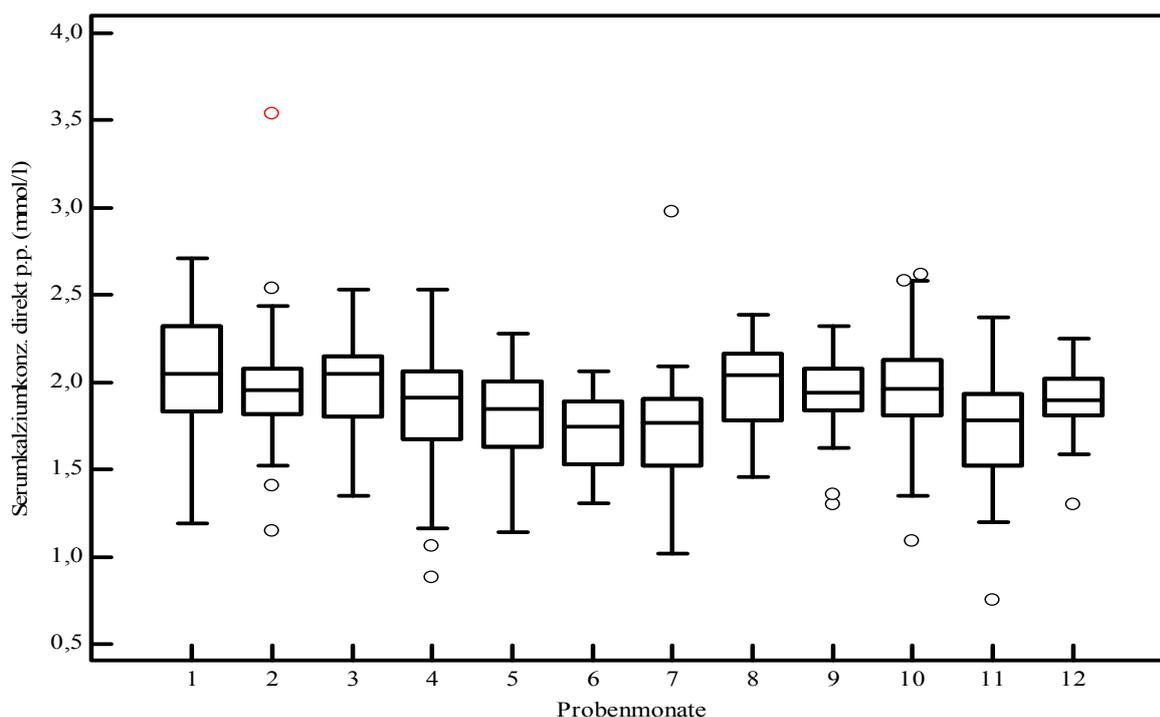


Abbildung 43: Box-and-Whisker Plot der Verteilung der Serumkalziumwerte (mmol/l) direkt nach dem Kalben über die 12 Probenmonate (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)

Tabelle 48: Deskriptive Statistik der Serumkalziumwerte (mmol/l) direkt nach dem Kalben über die 12 Probenmonate (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)

| Monat | n | \bar{x} | s | $x_{0,25}$ | $x_{0,5}$ | $x_{0,75}$ | n Ca \leq 2,0 mmol/l |
|-------|-----|-----------|------|------------|-----------|------------|------------------------|
| 1 | 81 | 2,06 | 0,33 | 1,82 | 2,05 | 2,32 | 37 (45,7%) |
| 2 | 112 | 1,97 | 0,27 | 1,81 | 1,96 | 2,08 | 67 (59,8%) |
| 3 | 108 | 1,97 | 0,27 | 1,79 | 2,05 | 2,15 | 43 (39,8%) |
| 4 | 57 | 1,84 | 0,32 | 1,66 | 1,91 | 2,06 | 39 (68,4%) |
| 5 | 53 | 1,81 | 0,27 | 1,61 | 1,85 | 2,01 | 40 (75,5%) |
| 6 | 20 | 1,71 | 0,23 | 1,51 | 1,75 | 1,90 | 17 (85,0%) |
| 7 | 23 | 1,74 | 0,39 | 1,51 | 1,77 | 1,91 | 20 (87,0%) |
| 8 | 13 | 1,96 | 0,29 | 1,74 | 2,04 | 2,19 | 6 (46,2%) |
| 9 | 36 | 1,93 | 0,23 | 1,84 | 1,94 | 2,08 | 21 (58,3%) |
| 10 | 36 | 1,96 | 0,34 | 1,81 | 1,96 | 2,13 | 20 (55,6%) |
| 11 | 52 | 1,74 | 0,30 | 1,51 | 1,78 | 1,94 | 45 (86,5%) |
| 12 | 22 | 1,90 | 0,21 | 1,81 | 1,91 | 2,05 | 15 (68,2%) |

Tabelle 49: Regression des monatlichen Mittelwertes der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. zur monatlichen Gebärpareseinzidenz

| | n | r | b | a | 95% Konfidenzintervall | | p | R ² |
|----------------|----|-------|------|-------|------------------------|---------------|------|----------------|
| | | | | | von b | von a | | |
| Ca direkt p.p. | 12 | -0,56 | 36,9 | -15,8 | 5,87 – 67,95 | -32,22 – 0,71 | 0,06 | 0,31 |

Tabelle 50: Regression des monatlichen Medians der Serumkalziumkonzentration direkt p.p. zur monatlichen Gebärpareseinzidenz

| | n | r | b | a | 95% Konfidenzintervall | | p | R ² |
|----------------|----|-------|------|-------|------------------------|--------------|------|----------------|
| | | | | | von b | von a | | |
| Ca direkt p.p. | 12 | -0,54 | 0,38 | -0,16 | 0,04 – 0,71 | -0,33 – 0,02 | 0,07 | 0,29 |

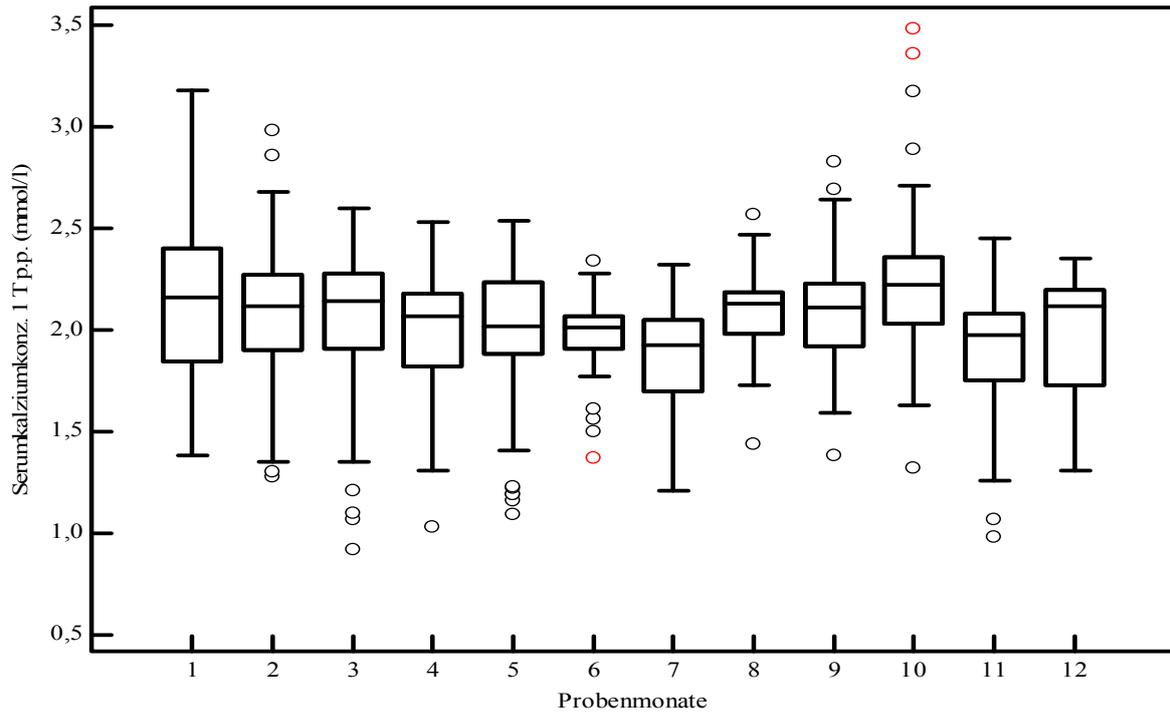


Abbildung 44: Box-and-Whisker Plot der Verteilung der Serumkalziumwerte (mmol/l) 1 Tag nach dem Kalben über die 12 Probenmonate (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)

Tabelle 51: Deskriptive Statistik der Serumkalziumwerte (mmol/l) 1 Tag nach dem Kalben über die 12 Probenmonate (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)

| Monat | n | \bar{x} | s | $x_{0,25}$ | $x_{0,5}$ | $x_{0,75}$ | n Ca \leq 2,0 mmol/l |
|-------|-----|-----------|------|------------|-----------|------------|------------------------|
| 1 | 109 | 2,13 | 0,35 | 1,84 | 2,16 | 2,40 | 34 (31,2%) |
| 2 | 149 | 2,07 | 0,30 | 1,90 | 2,12 | 2,27 | 55 (36,9%) |
| 3 | 146 | 2,07 | 0,31 | 1,89 | 2,14 | 2,28 | 47 (32,2%) |
| 4 | 82 | 1,99 | 0,27 | 1,82 | 2,07 | 2,18 | 36 (43,9%) |
| 5 | 69 | 1,98 | 0,36 | 1,83 | 2,02 | 2,24 | 28 (40,6%) |
| 6 | 34 | 1,97 | 0,21 | 1,91 | 2,01 | 2,08 | 16 (47,1%) |
| 7 | 38 | 1,85 | 0,27 | 1,70 | 1,93 | 2,05 | 25 (65,8%) |
| 8 | 16 | 2,09 | 0,28 | 1,96 | 2,13 | 2,19 | 4 (25,0%) |
| 9 | 52 | 2,08 | 0,28 | 1,91 | 2,10 | 2,23 | 20 (38,5%) |
| 10 | 52 | 2,27 | 0,38 | 2,03 | 2,24 | 2,38 | 10 (19,2%) |
| 11 | 86 | 1,91 | 0,29 | 1,75 | 1,98 | 2,08 | 46 (53,5%) |
| 12 | 30 | 1,98 | 0,29 | 1,73 | 2,12 | 2,20 | 12 (40,0%) |

Tabelle 52: Regression des monatlichen Mittelwertes der Serumkalziumkonzentration einen Tag p.p. zur monatlichen Gebärpareseinzidenz

| | n | r | b | a | 95% Konfidenzintervall | | p | R ² |
|---------------|----|-------|------|-------|------------------------|----------------|------|----------------|
| | | | | | von b | von a | | |
| Ca 1 Tag p.p. | 12 | -0,60 | 42,5 | -17,3 | 9,62 – 75,27 | -33,45 - -1,19 | 0,04 | 0,36 |

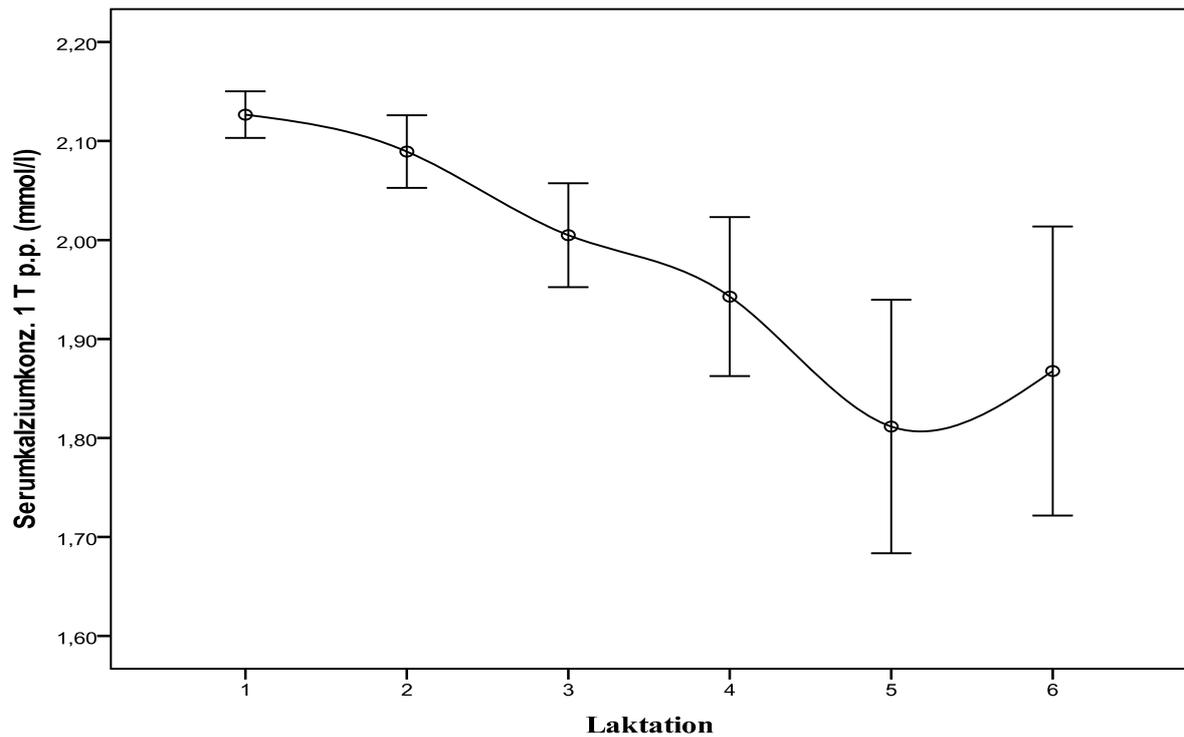


Abbildung 45: Serumkalziummittelwerte 1 Tag p.p. mit Standardfehler (2xSEM) geordnet nach Laktationen

Tabelle 53: Deskriptive Statistik der Serumkalziummittelwerte (mmol/l) 1 Tag p.p. geordnet nach Laktationen

| Laktation | n | \bar{x}_{ar} | SEM | signifikanter Unterschied zu Laktation ($p < 0,05$) |
|-----------|-----|----------------|-------|---|
| 1 | 250 | 2,13 | 0,019 | 3, 4, 5, 6 |
| 2 | 247 | 2,09 | 0,019 | 4, 5, 6 |
| 3 | 175 | 2,00 | 0,023 | 1, 5 |
| 4 | 96 | 1,94 | 0,031 | 1, 2 |
| 5 | 40 | 1,81 | 0,048 | 1, 2, 3 |
| 6 | 33 | 1,87 | 0,053 | 1, 2 |

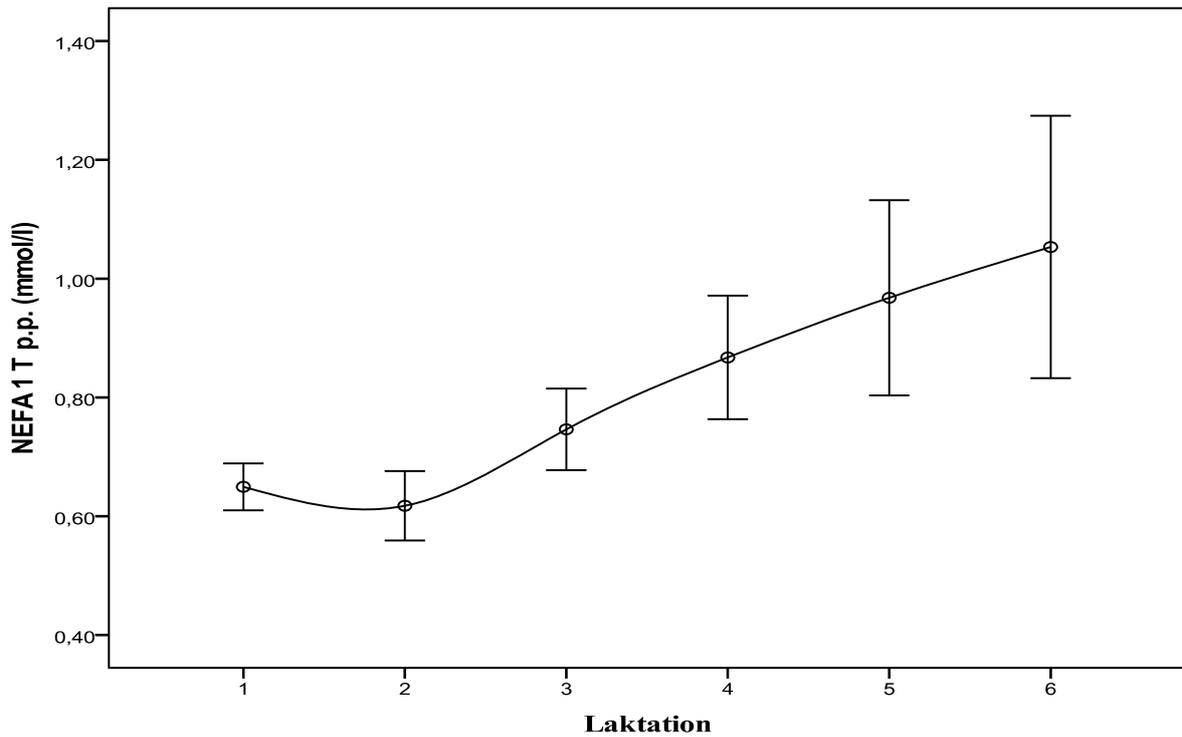


Abbildung 46: NEFA - Mittelwerte 1 Tag p.p. mit Standardfehler (2xSEM) geordnet nach Laktationen

Tabelle 54: Deskriptive Statistik der NEFA – Mittelwerte (mmol/l) 1 Tag p.p. geordnet nach Laktationen

| Laktation | n | \bar{x}_{ar} | SEM | sign. Unterschied zu Laktation ($p < 0,05$) |
|-----------|-----|----------------|-------|---|
| 1 | 234 | 0,65 | 0,028 | 4, 5, 6 |
| 2 | 237 | 0,62 | 0,028 | 3, 4, 5, 6 |
| 3 | 164 | 0,75 | 0,033 | 2, 6 |
| 4 | 93 | 0,87 | 0,044 | 1, 2 |
| 5 | 37 | 0,97 | 0,070 | 1, 2 |
| 6 | 30 | 1,05 | 0,078 | 1, 2, 3 |

13.3. Untersuchung der Harnproben

13.3.1. Prüfung auf Normalverteilung der Harnparameter

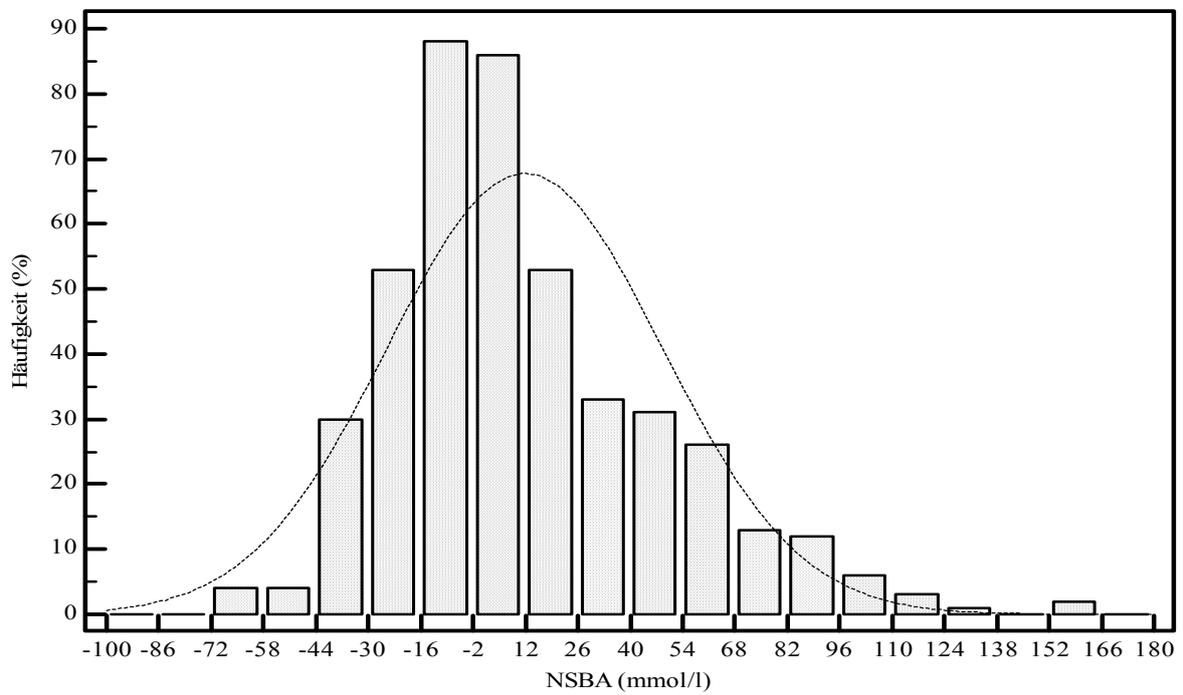


Abbildung 47: Histogramm der NSBA-Einzelwerte

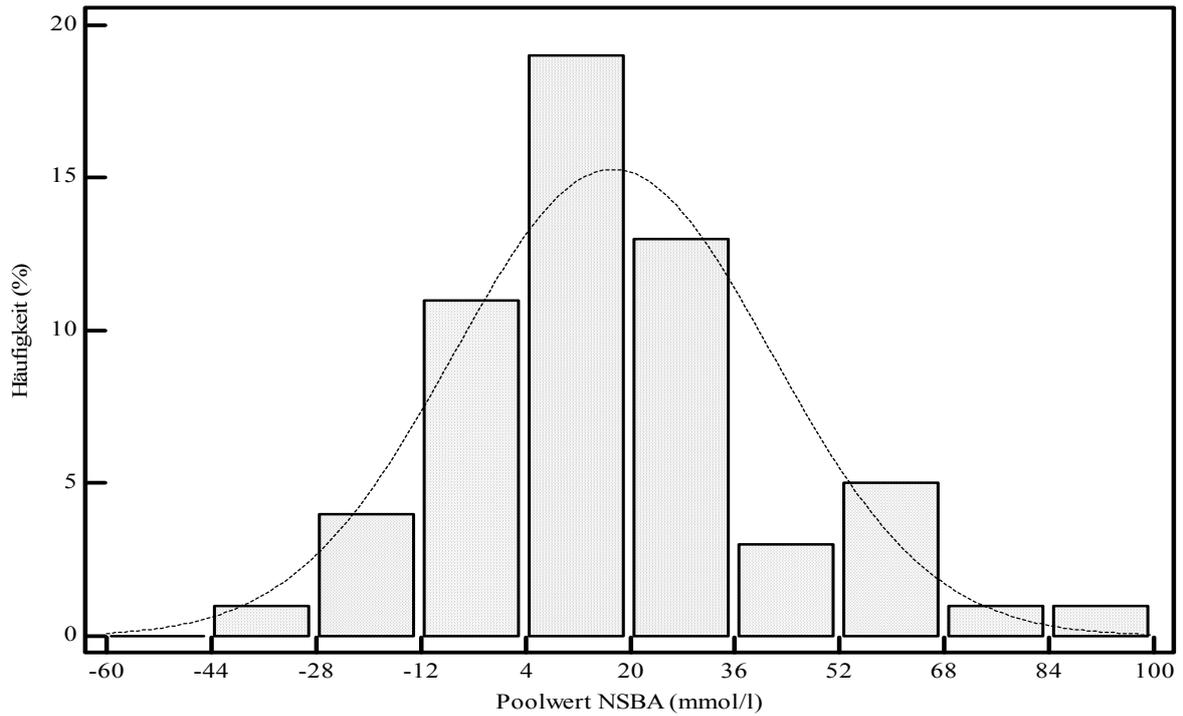


Abbildung 48: Histogramm der NSBA-Poolwerte

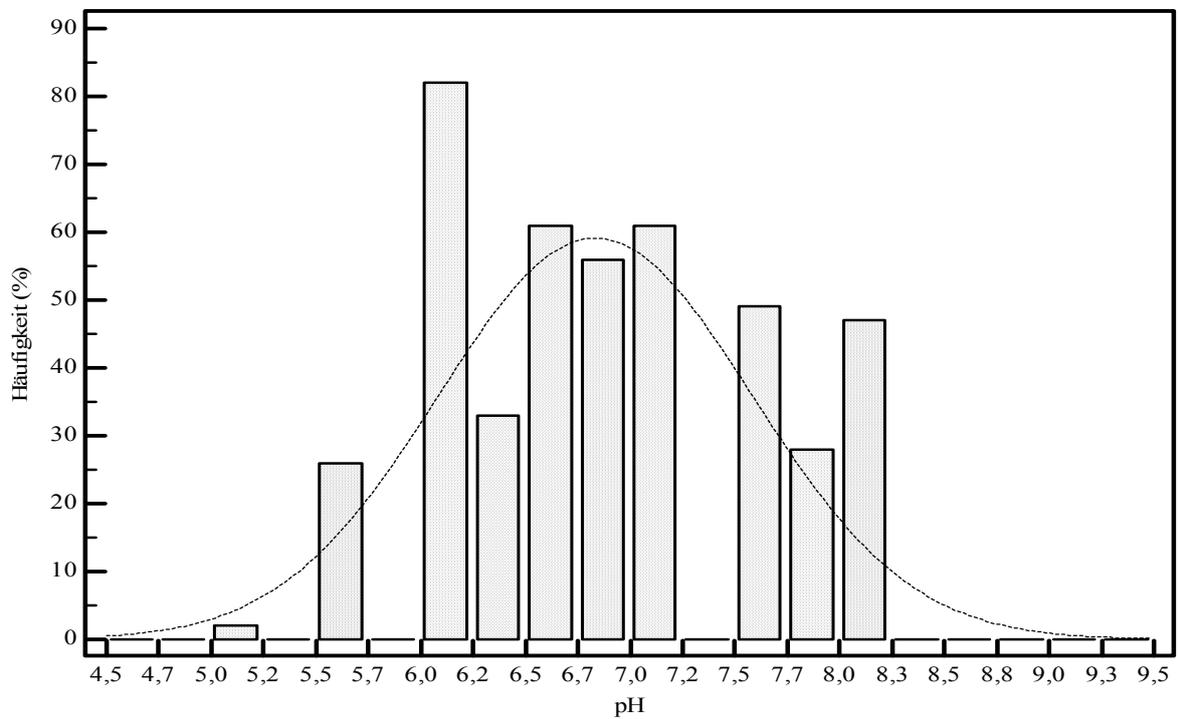


Abbildung 49: Histogramm der Harn-pH-Werte der Einzelproben

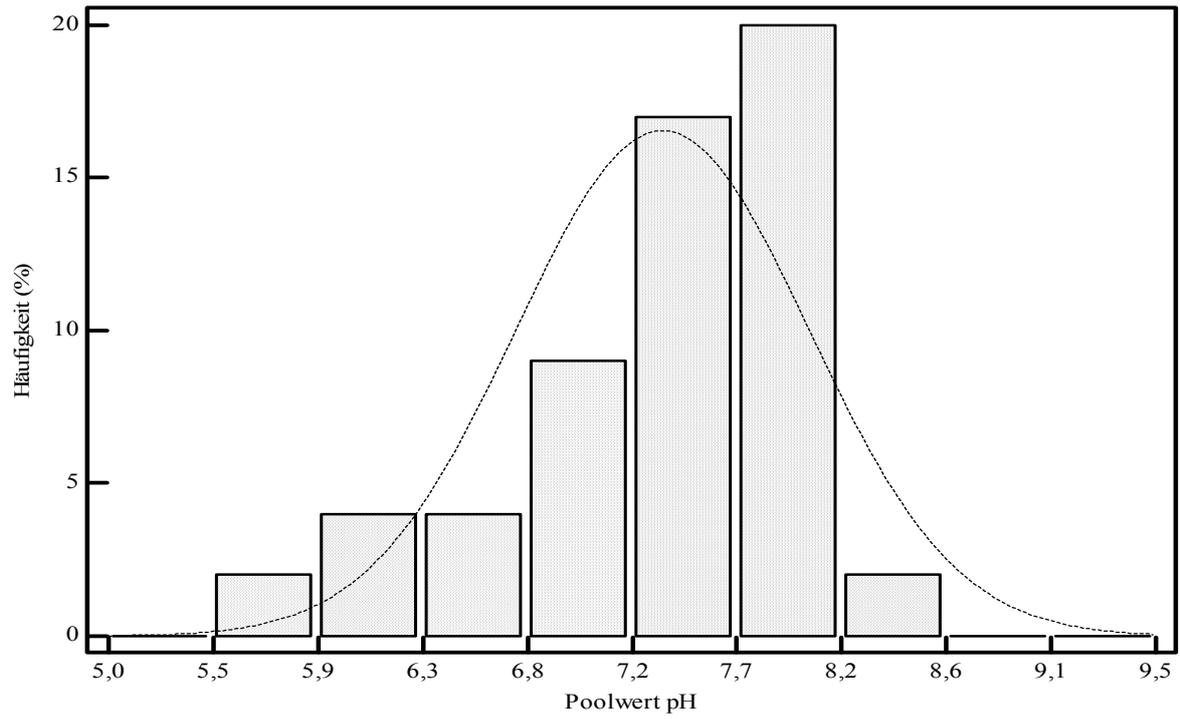


Abbildung 50: Histogramm der Harn-pH-Poolwerte

13.3.2. Beschreibung der Harnparameter über die Zeit

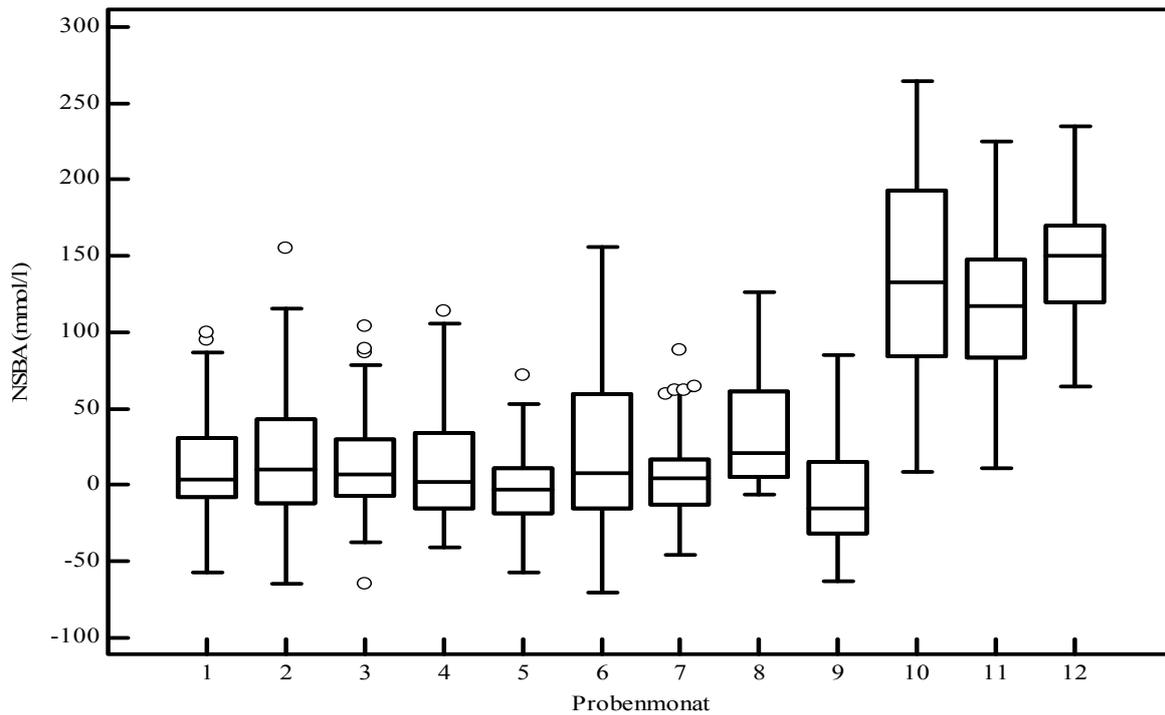


Abbildung 51: Box-and-Whisker Plot der Verteilung der NSBA über die 12 Probenmonate (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)

Tabelle 55: Deskriptive Übersicht über die monatliche Verteilung der NSBA (mmol/l) im Harn (n = 580) (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)

| Monat | n | \bar{x}_{ar} | s | $x_{0,25}$ | $x_{0,5}$ | $x_{0,75}$ | signifikanter ($p < 0,05$) Unterschied zu Monat |
|-------|----|----------------|------|------------|-----------|------------|--|
| 1 | 45 | +12,3 | 37,5 | -8,0 | +4,0 | +32,3 | 10, 11, 12 |
| 2 | 65 | +16,2 | 41,7 | -12,5 | +10,0 | +43,5 | 10, 11, 12 |
| 3 | 85 | +13,5 | 29,8 | -7,3 | +7,0 | +30,3 | 10, 11, 12 |
| 4 | 40 | +11,5 | 38,1 | -15,8 | +2,0 | +34,5 | 10, 11, 12 |
| 5 | 40 | -1,1 | 25,6 | -18,8 | -2,5 | +11,5 | 8, 10, 11, 12 |
| 6 | 50 | +16,2 | 43,9 | -15,3 | +7,5 | +60,0 | 10, 11, 12 |
| 7 | 50 | +5,8 | 30,0 | -13,5 | +4,5 | +18,3 | 8, 10, 11, 12 |
| 8 | 30 | +37,9 | 38,6 | +4,8 | +21,3 | +63,0 | 5, 7, 9, 10, 11, 12 |
| 9 | 40 | -4,0 | 34 | -32,3 | -15,0 | +16,8 | 8, 10, 11, 12 |
| 10 | 45 | +136,1 | 67,1 | +84,5 | +133,0 | +194,0 | 1 – 9 |
| 11 | 60 | +115,9 | 47,3 | +83,3 | +117,5 | +149,3 | 1 – 9, 12 |
| 12 | 30 | +147,9 | 38,9 | +118,3 | +150,5 | +170,8 | 1 – 9, 11 |

Tabelle 56: Deskriptive Übersicht über die monatliche Verteilung des pH – Wertes im Harn (n = 580) (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)

| Monat | n | \bar{x}_{ar} | s | $x_{0,25}$ | $x_{0,5}$ | $x_{0,75}$ | signifikanter ($p < 0,05$) Unterschied zu Monat |
|-------|----|----------------|------|------------|-----------|------------|--|
| 1 | 45 | 6,52 | 0,80 | 6,00 | 6,50 | 7,00 | 3, 6, 8, 10, 11, 12 |
| 2 | 65 | 6,65 | 0,92 | 5,50 | 6,50 | 7,50 | 8, 10, 11, 12 |
| 3 | 85 | 6,96 | 0,64 | 6,60 | 6,90 | 7,50 | 1, 10, 11, 12 |
| 4 | 40 | 6,87 | 0,66 | 6,30 | 6,90 | 7,20 | 10, 11, 12 |
| 5 | 40 | 6,69 | 0,60 | 6,00 | 6,75 | 6,90 | 8, 10, 11, 12 |
| 6 | 50 | 6,97 | 0,81 | 6,00 | 6,90 | 7,80 | 1, 10, 11, 12 |
| 7 | 50 | 6,90 | 0,62 | 6,30 | 6,90 | 7,23 | 10, 11, 12 |
| 8 | 30 | 7,36 | 0,62 | 6,90 | 7,20 | 8,10 | 1, 2, 5, 9, 10, 11, 12 |
| 9 | 40 | 7,69 | 0,74 | 6,00 | 6,45 | 7,20 | 8, 10, 11, 12 |
| 10 | 45 | 8,03 | 0,22 | 8,10 | 8,10 | 8,10 | 1 – 9 |
| 11 | 60 | 8,03 | 0,22 | 8,10 | 8,10 | 8,10 | 1 – 9 |
| 12 | 30 | 8,06 | 0,09 | 8,10 | 8,10 | 8,10 | 1 – 9 |

Tabelle 57: Deskriptive Übersicht über die monatliche Verteilung der Harnkalziumausscheidung (mmol/l) (n = 430) (Monat 1 – 9: Fütterung anionischer Salze; Monat 10 – 12: Fütterung ohne anionische Salze)

| Monat | n | \bar{x}_{ar} | s | $x_{0,25}$ | $x_{0,5}$ | $x_{0,75}$ | signifikanter ($p < 0,05$) Unterschied zu Monat |
|-------|----|----------------|-------|------------|-----------|------------|--|
| 1 | 45 | 10,42 | 6,45 | 5,76 | 9,38 | 14,08 | 3, 11, 12 |
| 2 | 65 | 10,51 | 6,05 | 6,29 | 10,45 | 14,01 | 3, 11, 12 |
| 3 | 85 | 6,49 | 4,86 | 2,42 | 4,88 | 10,14 | 1, 2, 9, 12 |
| 4 | 40 | 7,59 | 5,33 | 3,66 | 6,29 | 10,52 | 11, 12 |
| 5 | 40 | 7,68 | 5,18 | 3,91 | 5,62 | 10,49 | 11, 12 |
| 6 | 50 | 8,14 | 6,62 | 2,52 | 6,49 | 11,71 | 11, 12 |
| 7 | 50 | 9,59 | 6,54 | 4,00 | 7,87 | 13,83 | 11, 12 |
| 9 | 10 | 13,57 | 11,97 | 5,02 | 7,33 | 24,26 | 3, 11, 12 |
| 11 | 15 | 1,53 | 0,76 | 0,99 | 1,38 | 1,95 | 1 – 9 |
| 12 | 30 | 0,46 | 0,66 | 0,09 | 0,16 | 0,65 | 1 – 9 |

Tabelle 58: Übersicht über die pH-, NSBA- und Harnkalziumwerte aus den Harneinzelproben

| | pH | | NSBA (mmol/ l) | | Kalzium (mmol/ l) | |
|--|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| n | 445 | 135 | 445 | 135 | 375 | 45 |
| x_{ar} | 6,83 ^{a)} | 8,04 ^{b)} | + 11,81 ^{a)} | + 129,7 ^{b)} | 8,54 ^{a)} | 0,82 ^{b)} |
| s | 0,75 | 0,38 | 36,7 | 54,4 | 6,00 | 0,86 |
| x_{min} | 5,0 | 6,9 | - 70 | + 9 | 0,11 | 0,01 |
| x_{max} | 8,1 | 8,1 | + 156 | + 265 | 32,30 | 3,13 |
| x_{0,5} | 6,9 | 8,1 | + 5 | + 128 | 7,25 | 0,62 |
| x_{0,25} | 6,3 | 8,1 | - 13 | + 96 | 3,72 | 0,11 |
| x_{0,75} | 7,5 | 8,1 | + 30,1 | + 165 | 12,62 | 1,23 |
| (x_{0,75}- x_{0,25})/ 2 | 0,6 | 0 | 21,6 | 34,5 | 4,45 | 0,56 |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit und ohne Anionen

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

Tabelle 59: Übersicht über die pH-, NSBA- und Harnkalziumwerte aus den Harnpoolproben

| | pH | | NSBA (mmol/ l) | | Kalzium (mmol/ l) | |
|--|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| n | 58 | 16 | 58 | 16 | 58 | 16 |
| x_{ar} | 7,38 ^{a)} | 8,37 ^{b)} | +17,35 ^{a)} | +120,5 ^{b)} | 7,85 ^{a)} | 2,14 ^{b)} |
| s | 0,63 | 0,15 | 24,23 | 29,0 | 3,64 | 1,55 |
| x_{min} | 5,6 | 8,13 | - 36 | +61,0 | 1,12 | 0,11 |
| x_{max} | 8,2 | 8,57 | + 84 | +151,5 | 14,49 | 5,89 |
| x_{0,5} | 7,54 | 8,39 | + 12,5 | +128,5 | 7,66 | 1,70 |
| x_{0,25} | 7,11 | 8,26 | + 3 | +102,5 | 4,99 | 1,13 |
| x_{0,75} | 8,08 | 8,53 | + 29 | +143,0 | 10,94 | 3,11 |
| (x_{0,75}- x_{0,25})/ 2 | 0,49 | 0,14 | 13 | 20,25 | 2,98 | 0,99 |

a und b) signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen mit und ohne Anionen

- 1) Fütterung mit Anionen
- 2) Fütterung ohne Anionen

13.4. Untersuchung der Zeiteffekte auf die Harnparameter

13.4.1. Beziehung der Harnparameter zu der Anzahl der Tage nach Wechsel in die Vorbereitergruppe

Tabelle 60: Mittlere Differenz der NSBA-Werte in mmol/l geordnet nach Tagen nach Wechsel in die Vorbereitergruppe

| Tage nach Wechsel in die Vorbereitergruppe Mittlere Differenz I-J | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| n | 2 | 18 | 77 | 31 | 14 | 38 | 18 | 12 | 33 | 70 | 26 | 2 | 13 | 17 | 2 | 18 | 22 | 10 | 3 | 10 |
| I J | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 0 | | -29,2 | -2,9 | 12,5 | 17,0 | 25,6 | 37,1 | -4,0 | 24,0 | 11,4 | 27,1 | 56,0 | 13,7 | -2,9 | 2,3 | 11,3 | 20,9 | 22,8 | 10,2 | 18,8 |
| 1 | 29,2 | | 26,3 | 41,7* | 46,3* | 54,9* | 66,4* | 25,2 | 53,2* | 40,6* | 56,4* | 85,2 | 42,9 | 26,3 | 31,5 | 40,5# | 50,1* | 52,0* | 39,4 | 48,0# |
| 2 | 2,9 | -26,3 | | 15,4 | 19,9 | 28,6* | 40,1* | -1,1 | 26,9* | 14,3 | 30,1* | 58,9 | 16,6 | 0,04 | 5,2 | 14,2 | 23,8 | 25,7 | 13,1 | 21,7 |
| 3 | -12,5 | -41,7* | -15,4 | | 4,6 | 13,2 | 24,7 | -16,5 | 11,5 | -1,1 | 14,7 | 43,5 | 1,2 | -15,4 | -10,2 | -1,2 | 8,4 | 10,3 | -2,3 | 6,3 |
| 4 | -17,0 | -46,3* | -20,0 | -4,6 | | 8,6 | 20,1 | -21,1 | 7,0 | -5,7 | 10,1 | 39,0 | -3,4 | -19,9 | -14,8 | -5,8 | 3,8 | 5,8 | -6,9 | 1,8 |
| 5 | -25,6 | -54,9* | -28,6* | -13,2 | -8,6 | | 11,5 | -29,7 | -1,6 | -14,3 | 1,5 | 30,4 | -12,0 | -28,5 | -23,4 | -14,4 | -4,8 | -2,8 | -15,5 | -6,8 |
| 6 | -37,1 | -66,4* | -40,1* | -24,7 | -20,1 | -11,5 | | -41,2 | -13,4 | -25,8 | -10,0 | 18,9 | -23,5 | -40,0 | -34,9 | -25,9 | -16,3 | -14,3 | -27,0 | -18,3 |
| 7 | 4,0 | -25,2 | 1,1 | 16,5 | 21,1 | 29,7 | 41,2 | | 28,0 | 15,4 | 31,2 | 60,0 | 17,7 | 1,2 | 6,3 | 15,3 | 24,9 | 26,8 | 14,2 | 22,8 |
| 8 | -24,0 | -53,2* | -26,9* | -11,5 | -6,9 | 1,6 | 13,1 | -28,0 | | -12,6 | 3,1 | 32,0 | -10,4 | -26,9 | -21,8 | -12,8 | -3,1 | -1,2 | -13,8 | -5,2 |
| 9 | -11,4 | -40,6* | -14,3 | 1,1 | 5,7 | 14,3 | 25,8 | -15,4 | 12,6 | | 15,8 | 44,6 | 2,3 | -14,3 | -9,1 | -0,1 | 9,5 | 11,4 | -1,2 | 7,4 |
| 10 | -27,1 | -56,4* | -30,1* | -14,7 | -10,1 | -1,5 | 10,0 | -31,2 | -3,1 | -15,8 | | 28,9 | -13,5 | -30,0 | -24,9 | -15,9 | -6,3 | -4,3 | -17,0 | -8,3 |
| 11 | -56,0 | -85,2 | -58,9 | -43,5 | -38,9 | -30,36 | -18,9 | -60,0 | -32,0 | -44,6 | -28,9 | | -42,4 | -58,9 | -53,8 | -44,8 | -35,1 | -33,2 | -45,8 | -37,2 |
| 12 | -13,7 | -42,9 | -16,6 | -1,2 | 3,4 | 12,0 | 23,5 | -17,7 | 10,4 | -2,3 | 13,5 | 42,4 | | -16,5 | -11,4 | -2,4 | 7,2 | 9,2 | -3,5 | 5,2 |
| 13 | 2,9 | -26,3 | -0,1 | 15,4 | 19,9 | 28,5 | 40,0 | -1,2 | 26,9 | 14,3 | 30,0 | 58,9 | 16,5 | | 5,1 | 14,1 | 23,8 | 25,7 | 13,1 | 21,7 |
| 14 | -2,3 | -31,5 | -5,2 | 10,2 | 14,8 | 23,4 | 34,9 | -6,3 | 21,8 | 9,1 | 24,9 | 53,8 | 11,4 | -5,1 | | 9,0 | 18,6 | 20,6 | 7,9 | 16,6 |
| 15 | -11,3 | -40,5# | -14,2 | 1,2 | 5,8 | 14,4 | 25,9 | -15,3 | 12,8 | 0,1 | 15,9 | 44,8 | 2,4 | -14,1 | -9,0 | | 9,6 | 11,6 | -1,1 | 7,6 |
| 16 | -20,9 | -50,1* | -23,8 | -8,4 | -3,8 | 4,8 | 16,3 | -24,9 | 3,1 | -9,5 | 6,3 | 35,1 | -7,2 | -23,8 | -18,6 | -9,6 | | 1,9 | -10,7 | -2,1 |
| 17 | -22,8 | -52,0* | -25,7 | -10,3 | -5,8 | 2,8 | 14,3 | -26,8 | 1,2 | -11,4 | 4,3 | 33,2 | -9,2 | -25,7 | -20,6 | -11,6 | -1,9 | | -12,6 | -4,0 |
| 18 | -10,2 | -39,4 | -13,1 | 2,3 | 6,9 | 15,5 | 27,0 | -14,2 | 13,8 | 1,2 | 17,0 | 45,8 | 3,5 | -13,1 | -7,9 | 1,1 | 10,7 | 12,6 | | 8,6 |
| 19 | -18,8 | -48,0# | -21,7 | -6,3 | -1,8 | 6,8 | 18,3 | -22,8 | 5,2 | -7,4 | 8,3 | 37,2 | -5,2 | -21,7 | -16,6 | -7,6 | 2,1 | 4,0 | -8,6 | |

* p<0,05

p<0,1

Tabelle 61: Mittlere Differenz der pH-Werte geordnet nach Tagen nach Wechsel in die Vorbereitergruppe

| Tage nach Wechsel in die Vorbereitergruppe Mittlere Differenz I-J | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| n | 2 | 18 | 77 | 31 | 14 | 38 | 18 | 12 | 33 | 70 | 26 | 2 | 13 | 17 | 2 | 18 | 22 | 10 | 3 | 10 |
| I J | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 0 | | -0,19 | 0,14 | 0,43 | 0,54 | 0,71 | 1,23 | 0,34 | 0,75 | 0,45 | 1,09 | 1,35 | 0,55 | 0,26 | 0,00 | 0,68 | 0,75 | 0,63 | 0,45 | 0,42 |
| 1 | 0,19 | | 0,33 | 0,62 | 0,73 | 0,91* | 1,43* | 0,54 | 0,94* | 0,64# | 1,28* | 1,54 | 0,74 | 0,46 | 0,19 | 0,88* | 0,94* | 0,82 | 0,64 | 0,61 |
| 2 | -0,14 | -0,33 | | 0,29 | 0,40 | 0,57* | 1,10* | 0,20 | 0,61* | 0,31 | 0,95* | 1,21 | 0,41 | 0,12 | -0,14 | 0,55 | 0,61# | 0,49 | 0,31 | 0,28 |
| 3 | -0,43 | -0,62 | -0,29 | | 0,11 | 0,28 | 0,81* | -0,09 | 0,32 | 0,02 | 0,66# | 0,92 | 0,12 | -0,17 | -0,43 | 0,26 | 0,32 | 0,20 | 0,02 | -0,01 |
| 4 | -0,54 | -0,73 | -0,40 | -0,11 | | 0,18 | 0,70 | -0,19 | 0,21 | -0,09 | 0,55 | 0,81 | 0,01 | -0,27 | -0,54 | 0,15 | 0,21 | 0,09 | -0,09 | -0,12 |
| 5 | -0,71 | -0,91* | -0,57* | -0,28 | -0,18 | | 0,52 | -0,37 | 0,04 | -0,26 | 0,37 | 0,64 | -0,16 | -0,45 | -0,71 | -0,03 | 0,04 | -0,08 | -0,26 | -0,29 |
| 6 | -1,23 | -1,43* | -1,10* | -0,81* | -0,70 | -0,52 | | -0,89 | -0,49 | -0,79* | -0,15 | 0,12 | -0,68 | -0,97* | -1,23 | -0,55 | -0,48 | -0,60 | -0,78 | -0,81 |
| 7 | -0,34 | -0,54 | -0,20 | 0,09 | 0,19 | 0,37 | 0,89 | | 0,41 | 0,11 | 0,74 | 1,01 | 0,21 | -0,08 | -0,34 | 0,34 | 0,41 | 0,29 | 0,11 | 0,08 |
| 8 | -0,75 | -0,94* | -0,61* | -0,32 | -0,21 | -0,04 | 0,49 | -0,41 | | -0,30 | 0,34 | 0,60 | -0,20 | -0,49 | -0,75 | -0,06 | 0,01 | -0,12 | -0,30 | -0,33 |
| 9 | -0,45# | -0,64 | -0,31 | -0,02 | 0,09 | 0,26 | 0,79* | -0,11 | 0,30 | | 0,64* | 0,90 | 0,10 | -0,19 | -0,45 | 0,24 | 0,30 | 0,18 | 0,01 | -0,03 |
| 10 | -1,09 | -1,28* | -0,95* | -0,66# | -0,55 | -0,37 | 0,15 | -0,74 | -0,34 | -0,64* | | 0,27 | -0,54 | -0,82* | -1,09 | -0,40 | -0,34 | -0,46 | -0,64 | -0,67 |
| 11 | -1,35 | -1,54 | -1,21 | -0,92 | -0,81 | -0,64 | -0,12 | -1,01 | -0,60 | -0,90 | -0,27 | | -0,80 | -1,09 | -1,35 | -0,67 | -0,60 | -0,72 | -0,90 | -0,93 |
| 12 | -0,55 | -0,74 | -0,41 | -0,12 | -0,01 | 0,16 | 0,68 | -0,21 | 0,20 | -0,10 | 0,54 | 0,80 | | -0,29 | -0,55 | 0,13 | 0,20 | 0,08 | -0,10 | -0,13 |
| 13 | -0,26 | -0,46 | -0,12 | 0,17 | 0,27 | 0,45 | 0,97* | 0,08 | 0,49 | 0,19 | 0,82* | 1,09 | 0,29 | | -0,26 | 0,42 | 0,49 | 0,37 | 0,19 | 0,16 |
| 14 | 0,00 | -0,19 | 0,14 | 0,43 | 0,54 | 0,71 | 1,23 | 0,34 | 0,75 | 0,45 | 1,09 | 1,35 | 0,55 | 0,26 | | 0,68 | 0,75 | 0,63 | 0,45 | 0,42 |
| 15 | -0,68 | -0,88* | -0,55 | -0,26 | -0,15 | 0,03 | 0,55 | -0,34 | 0,06 | -0,24 | 0,40 | 0,67 | -0,13 | -0,42 | -0,68 | | 0,07 | -0,05 | -0,23 | -0,26 |
| 16 | -0,75 | -0,94* | -0,61# | -0,32 | -0,21 | -0,04 | 0,48 | -0,41 | -0,01 | -0,30 | 0,34 | 0,60 | -0,20 | -0,49 | -0,75 | -0,07 | | -0,12 | -0,30 | -0,33 |
| 17 | -0,63 | -0,82 | -0,49 | -0,20 | -0,09 | 0,08 | 0,60 | -0,29 | 0,12 | -0,18 | 0,46 | 0,72 | -0,08 | -0,37 | -0,63 | 0,05 | 0,12 | | -0,18 | -0,21 |
| 18 | 0,45 | -0,64 | -0,31 | -0,02 | 0,09 | 0,26 | 0,78 | -0,11 | 0,30 | -0,01 | 0,64 | 0,90 | 0,10 | -0,19 | -0,45 | 0,23 | 0,30 | -0,18 | | -0,03 |
| 19 | -0,42 | -0,61 | -0,28 | 0,01 | 0,12 | 0,29 | 0,81 | -0,08 | 0,33 | 0,03 | 0,67 | 0,93 | 0,13 | -0,16 | -0,42 | 0,26 | 0,33 | 0,21 | -0,03 | |

* p<0,05

p<0,1

13.4.2. Beziehung der Harnparameter zu der Anzahl der Tage bis zur Kalbung

Tabelle 62: Mittlere Differenz der NSBA-Werte in mmol/l geordnet nach Tagen bis zur Kalbung

| Tage bis zur Kalbung Mittlere Differenz I-J | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| n | 16 | 52 | 46 | 31 | 35 | 48 | 38 | 33 | 28 | 23 | 24 | 17 | 14 | 10 | 6 | 8 | 5 | 3 |
| I J | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 0 | | -3,8 | -9,7 | -14,8 | -2,9 | -14,4 | -20,2 | -25,8 | -31,8 | -24,6 | -16,6 | -22,8 | -10,4 | -19,7 | -50,0 | -50,9 | -37,4 | -62,3 |
| 1 | 3,8 | | -5,9 | -11,0 | 0,9 | -10,6 | -16,4 | -22,0 | -28,0 | -20,8 | -12,8 | -19,0 | -6,6 | -15,9 | -46,2 | -47,1# | -33,6 | -58,5 |
| 2 | 9,7 | 5,9 | | -5,2 | 6,8 | -4,7 | -10,5 | -16,2 | -22,2 | -15,0 | -7,0 | -13,1 | -0,7 | -10,0 | -40,3 | -41,3 | -27,7 | -52,7 |
| 3 | 14,8 | 11,0 | 5,2 | | 11,9 | 0,41 | -5,4 | -11,0 | -17,0 | -9,8 | -1,8 | -8,0 | 4,5 | -4,9 | -35,2 | -36,1 | -22,6 | -47,5 |
| 4 | 2,9 | -0,9 | -6,8 | -11,9 | | -11,5 | -17,3 | -22,9 | -28,9 | -21,7 | -13,7 | -19,9 | -7,5 | -16,8 | -47,1 | -48,0# | -34,5 | -59,4 |
| 5 | 14,4 | 10,6 | 4,7 | -0,4 | 11,5 | | -5,8 | -11,4 | 17,4 | 10,2 | -2,2 | -8,4 | 4,0 | -5,3 | -35,6 | -36,5 | -23,0 | -47,9 |
| 6 | 20,2 | 16,4 | 10,5 | 5,4 | 17,3 | 5,8 | | -5,7 | -11,6 | -4,5 | 3,6 | -2,6 | 9,8 | 0,5 | -29,8 | -30,7 | -17,2 | -41,1 |
| 7 | 25,8 | 22,0 | 16,2 | 11,0 | 22,9 | 11,4 | 5,7 | | -6,0 | 1,2 | 9,2 | 3,0 | 15,5 | 6,2 | -24,1 | -25,1 | -11,5 | -36,5 |
| 8 | 31,8 | 28,0 | 55,2 | 17,0 | 28,9 | 17,4 | 11,6 | 6,0 | | 7,2 | 15,2 | 9,0 | 21,5 | 12,1 | -18,2 | -19,1 | -5,6 | -30,5 |
| 9 | 24,6 | 20,8 | 15,0 | 9,8 | 21,7 | 10,2 | 4,5 | -1,2 | -7,2 | | 8,0 | 1,8 | 14,3 | 5,0 | -25,4 | -26,3 | -12,8 | -37,7 |
| 10 | 16,6 | 12,8 | 7,0 | 1,8 | 13,7 | 2,2 | -3,6 | -9,2 | -15,2 | -8,0 | | -6,2 | 6,3 | -3,1 | -33,4 | -34,3 | -20,8 | -45,7 |
| 11 | 22,8 | 19,0 | 13,1 | 8,0 | 19,9 | 8,4 | 2,6 | -3,0 | -9,0 | -1,8 | 6,2 | | 12,4 | 3,1 | -27,2 | -28,1 | -14,6 | -39,5 |
| 12 | 10,4 | 6,6 | 0,7 | -4,5 | 7,5 | -4,0 | -9,8 | -15,5 | -21,5 | -14,3 | -6,3 | -12,4 | | -9,3 | -39,6 | -40,5 | -27,0 | -51,9 |
| 13 | 19,7 | 15,9 | 10,0 | 4,9 | 16,8 | 5,3 | -0,5 | -6,2 | -12,1 | -5,0 | 3,1 | -3,1 | 9,3 | | -30,3 | -31,2 | -17,7 | -42,6 |
| 14 | 50,0 | 46,2 | 40,3 | 35,2 | 47,1 | 35,6 | 29,8 | 24,1 | 18,1 | 25,4 | 33,4 | 27,2 | 39,6 | 30,3 | | -0,9 | 12,6 | -12,3 |
| 15 | 50,9 | 47,1# | 41,3 | 36,1 | 48,0# | 36,5 | 30,7 | 25,1 | 19,1 | 26,3 | 34,3 | 28,1 | 40,5 | 31,2 | 0,9 | | 13,5 | -11,4 |
| 16 | 37,4 | 33,6 | 27,7 | 22,6 | 34,5 | 23,0 | 17,2 | 11,5 | 5,6 | 12,8 | 20,8 | 14,6 | 27,0 | 17,7 | -12,6 | -13,5 | | -24,93 |
| 17 | 62,3 | 58,5 | 52,7 | 47,5 | 59,4 | 47,9 | 42,1 | 36,5 | 30,5 | 37,7 | 45,7 | 39,5 | 51,9 | 42,6 | 12,3 | 11,4 | 24,9 | |

* p<0,05

p<0,1

Tabelle 63: Mittlere Differenz der pH-Werte geordnet nach Tagen bis zur Kalbung

| Tage bis zur Kalbung Mittlere Differenz I-J | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| n | 16 | 52 | 46 | 31 | 35 | 48 | 38 | 33 | 28 | 23 | 24 | 17 | 14 | 10 | 6 | 8 | 5 | 3 |
| I J | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 0 | | -0,16 | -0,19 | -0,38 | -0,12 | -0,31 | -0,33 | -0,53 | -0,57 | -0,61 | -0,29 | -0,48 | -0,37 | -0,64 | -0,80 | -1,16* | -0,93 | -1,23 |
| 1 | 0,16 | | -0,30 | -0,22 | 0,04 | -0,15 | -0,17 | -0,37 | -0,41 | -0,45 | -0,13 | -0,32 | -0,21 | -0,48 | -0,64 | -1,00# | -0,77 | -1,07 |
| 2 | 0,19 | 0,03 | | -0,19 | 0,07 | -0,12 | -0,14 | -0,34 | -0,38 | -0,42 | -0,10 | -0,29 | -0,18 | -0,45 | -0,61 | -0,97# | -0,74 | -1,04 |
| 3 | 0,38 | 0,22 | 0,19 | | 0,26 | 0,07 | 0,05 | -0,15 | 0,19 | 0,23 | 0,10 | -0,11 | 0,01 | -0,26 | -0,42 | -0,78 | -0,55 | -0,85 |
| 4 | 0,12 | -0,04 | -0,07 | -0,26 | | -0,19 | -0,21 | -0,41 | -0,46 | -0,49 | -0,17 | -0,37 | -0,25 | -0,52 | -0,68 | -1,04* | -0,81 | -1,11 |
| 5 | 0,31 | 0,15 | 0,12 | -0,07 | 0,19 | | -0,02 | -0,22 | -0,27 | -0,30 | 0,02 | -0,18 | -0,06 | -0,33 | -0,49 | -0,85 | -0,62 | -0,92 |
| 6 | 0,33 | 0,17 | 0,14 | -0,05 | 0,21 | 0,02 | | -0,20 | -0,25 | -0,28 | 0,04 | -0,16 | -0,04 | -0,31 | -0,47 | -0,83 | -0,60 | -0,90 |
| 7 | 0,53 | 0,37 | 0,34 | 0,15 | 0,41 | 0,22 | 0,20 | | -0,05 | -0,08 | 0,24 | 0,04 | 0,16 | -0,11 | -0,27 | -0,63 | -0,40 | -0,70 |
| 8 | 0,57 | 0,41 | 0,38 | 0,19 | 0,46 | 0,27 | 0,25 | 0,05 | | -0,04 | 0,29 | 0,09 | 0,21 | -0,07 | -0,22 | -0,58 | -0,36 | -0,66 |
| 9 | 0,61 | 0,45 | 0,42 | 0,23 | 0,49 | 0,30 | 0,28 | 0,08 | 0,04 | | 0,32 | 0,13 | 0,24 | -0,03 | -0,19 | -0,55 | -0,32 | -0,62 |
| 10 | 0,29 | 0,13 | 0,10 | -0,09 | 0,17 | -0,02 | -0,04 | -0,24 | -0,29 | -0,32 | | -0,20 | -0,08 | -0,35 | -0,51 | -0,87 | -0,64 | -0,94 |
| 11 | 0,48 | 0,32 | 0,29 | 0,11 | 0,37 | 0,18 | 0,16 | -0,04 | -0,09 | -0,13 | 0,20 | | 0,12 | -0,16 | -0,31 | -0,67 | -0,45 | -0,75 |
| 12 | 0,37 | 0,21 | 0,18 | -0,01 | 0,25 | 0,06 | 0,04 | -0,16 | -0,21 | -0,24 | 0,08 | -0,12 | | -0,27 | -0,43 | -0,79 | -0,56 | -0,86 |
| 13 | 0,64 | 0,48 | 0,45 | 0,26 | 0,52 | 0,33 | 0,31 | 0,11 | 0,07 | 0,03 | 0,35 | 0,16 | 0,27 | | -0,16 | -0,52 | -0,29 | -0,59 |
| 14 | 0,80 | 0,64 | 0,61 | 0,42 | 0,68 | 0,49 | 0,47 | 0,27 | 0,22 | 0,19 | 0,51 | 0,31 | 0,43 | 0,16 | | -0,36 | -0,13 | -0,43 |
| 15 | 1,16* | 1,00# | 0,97# | 0,78 | 1,04* | 0,85 | 0,83 | 0,63 | 0,58 | 0,55 | 0,87 | 0,67 | 0,79 | 0,52 | 0,36 | | 0,23 | -0,08 |
| 16 | 0,93 | 0,77 | 0,74 | 0,55 | 0,81 | 0,62 | 0,60 | 0,40 | 0,36 | 0,32 | 0,64 | 0,45 | 0,56 | 0,29 | 0,13 | -0,23 | | -0,30 |
| 17 | 1,23 | 1,07 | 1,04 | 0,85 | 1,11 | 0,92 | 0,90 | 0,70 | 0,66 | 0,62 | 0,94 | 0,75 | 0,86 | 0,59 | 0,43 | 0,08 | 0,30 | |

* p<0,05

p<0,1

13.4.3. Untersuchung eines Harn-Tagesprofils bei Fütterung anionischer Salze

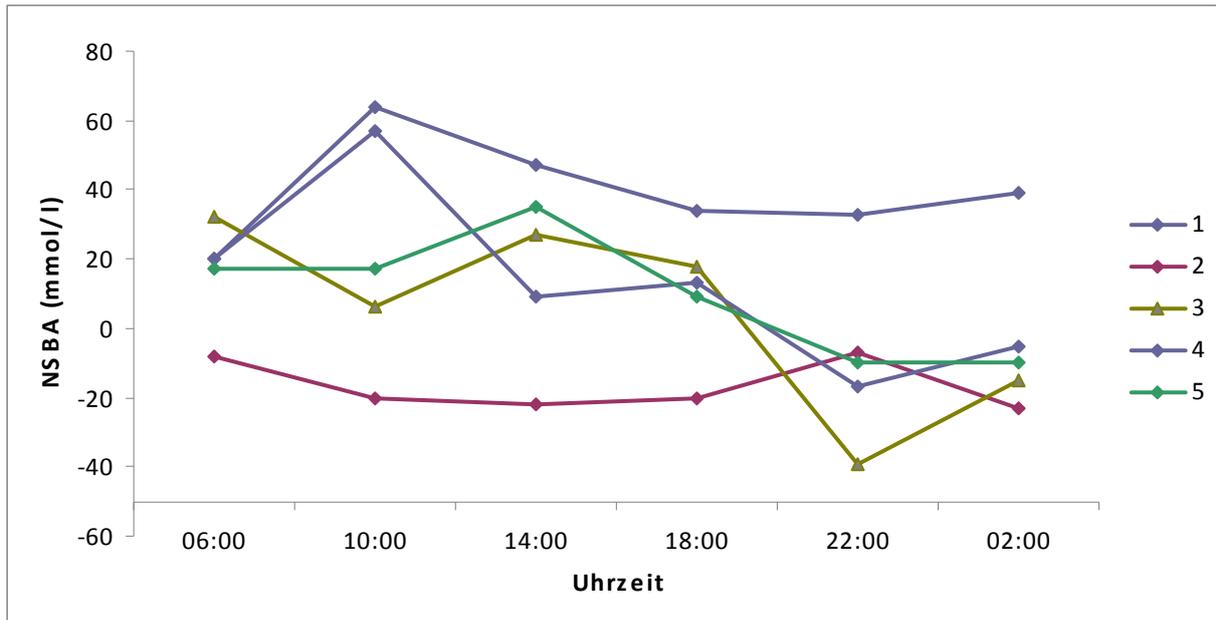


Abbildung 52: NSBA-Tagesprofil der Kühe 1 bis 5 mit Fütterung anionischer Salze (Futtermalage um 10:00, 11:00-12:00 Kühe zur Euterkontrolle auf den Melkstand getrieben)

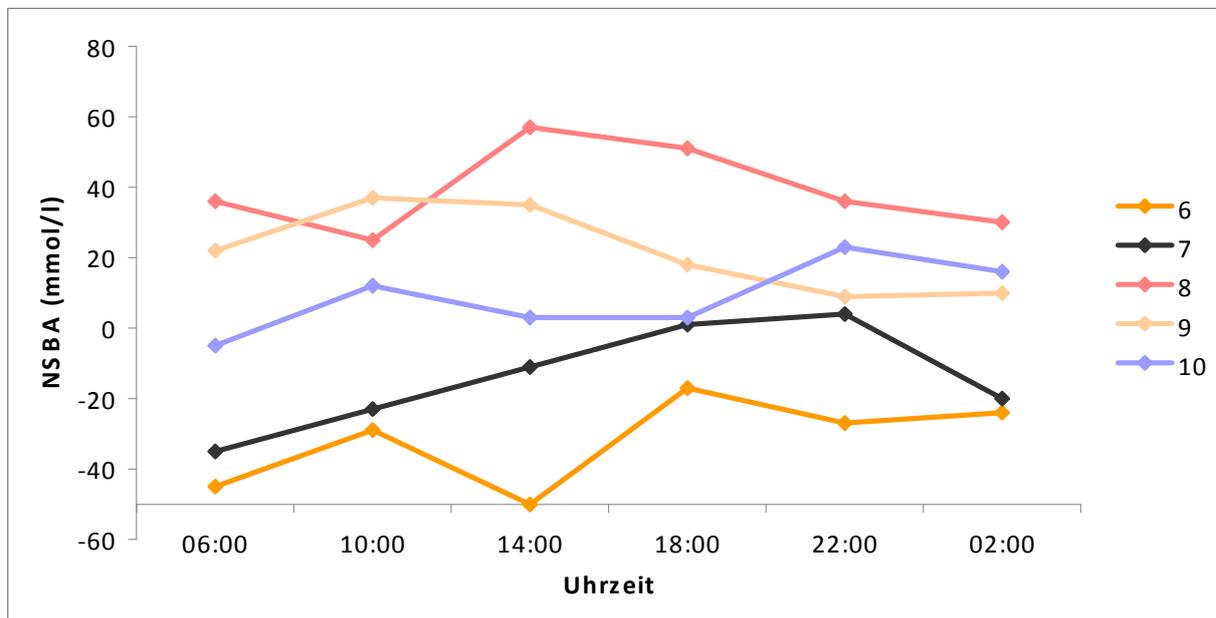


Abbildung 53: NSBA-Tagesprofil der Kühe 6 bis 10 mit Fütterung anionischer Salze (Futtermalage um 10:00, 11:00-12:00 Kühe zur Euterkontrolle auf den Melkstand getrieben)

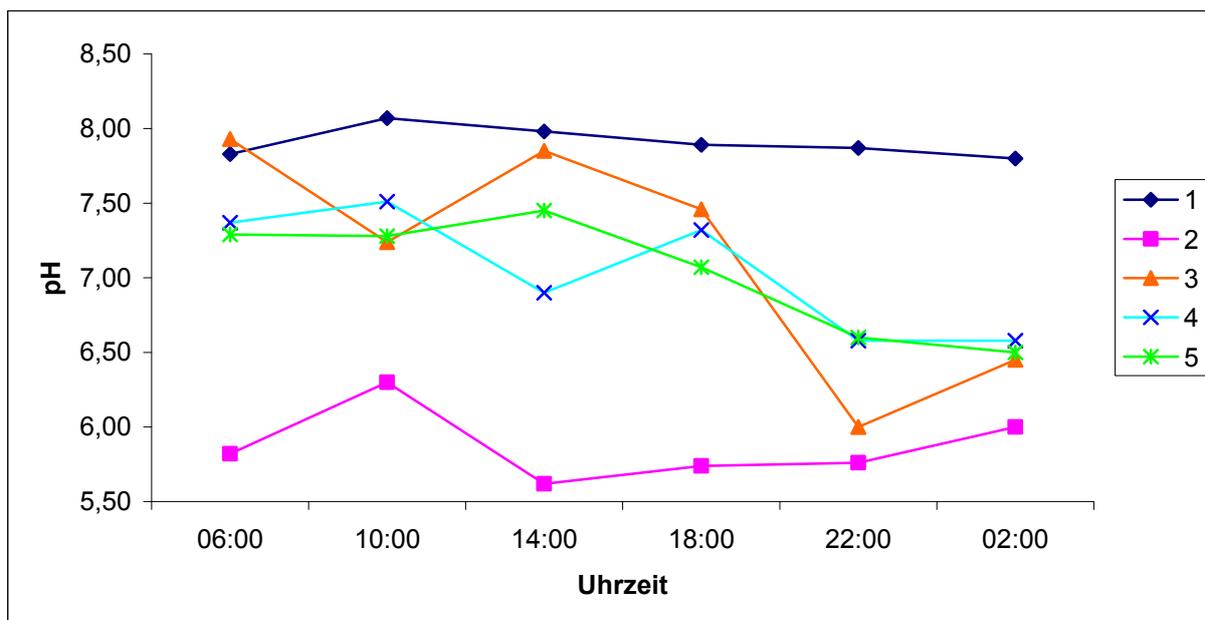


Abbildung 54: Harn-pH-Tagesprofil der Kühe 1 bis 5 mit Fütterung anionischer Salze (Futtermahlzeit um 10:00, 11:00-12:00 Kühe zur Euterkontrolle auf den Melkstand getrieben)

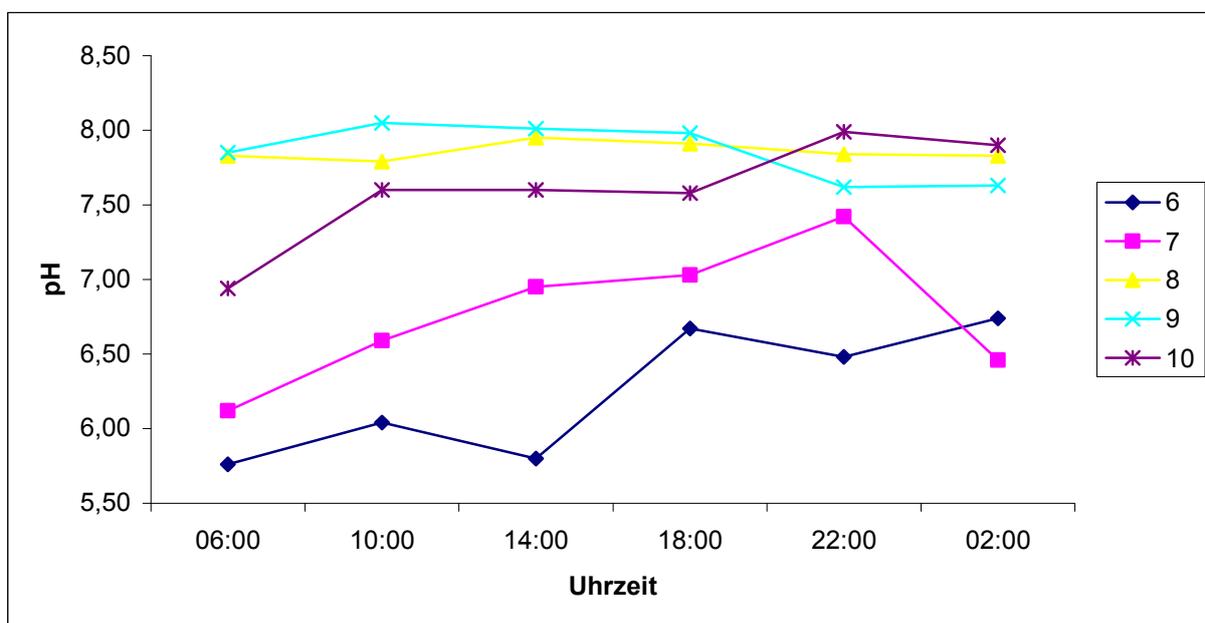


Abbildung 55: Harn-pH-Tagesprofil der Kühe 6 bis 10 mit Fütterung anionischer Salze (Futtermahlzeit um 10:00, 11:00-12:00 Kühe zur Euterkontrolle auf den Melkstand getrieben)

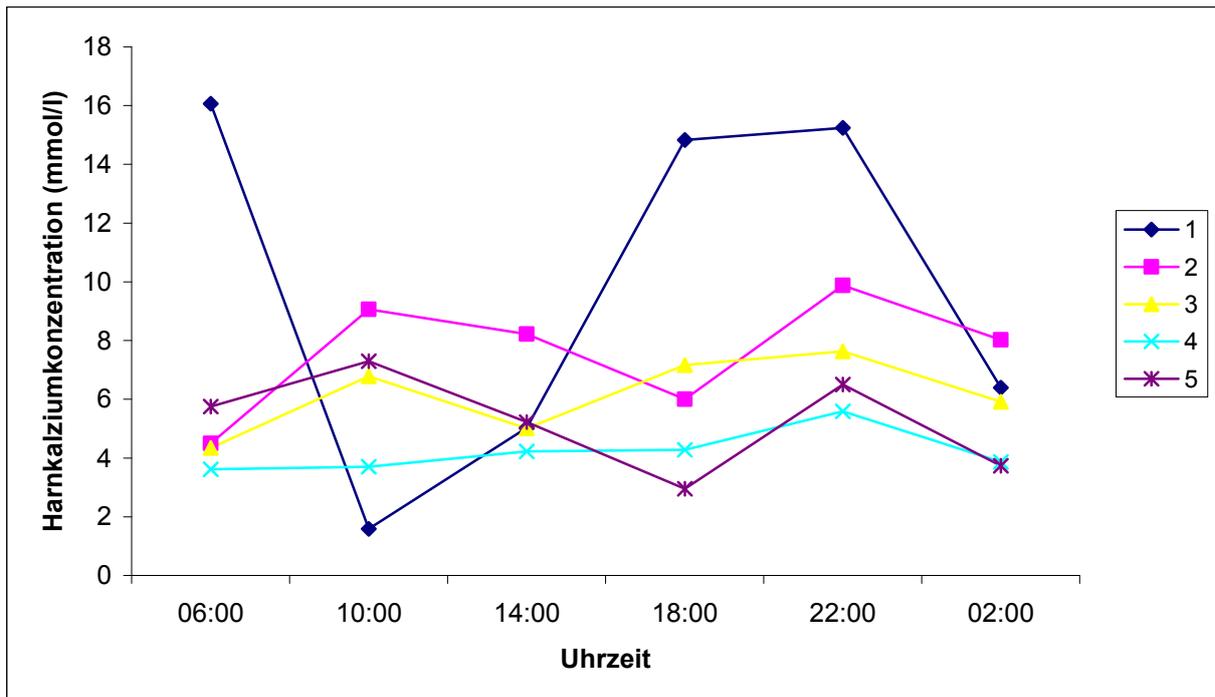


Abbildung 56: Harnkalziumkonzentration-Tagesprofil der Kühe 1 bis 5 mit Fütterung anionischer Salze (Futtermalage um 10:00, 11:00-12:00 Kühe zur Euterkontrolle auf den Melkstand getrieben)

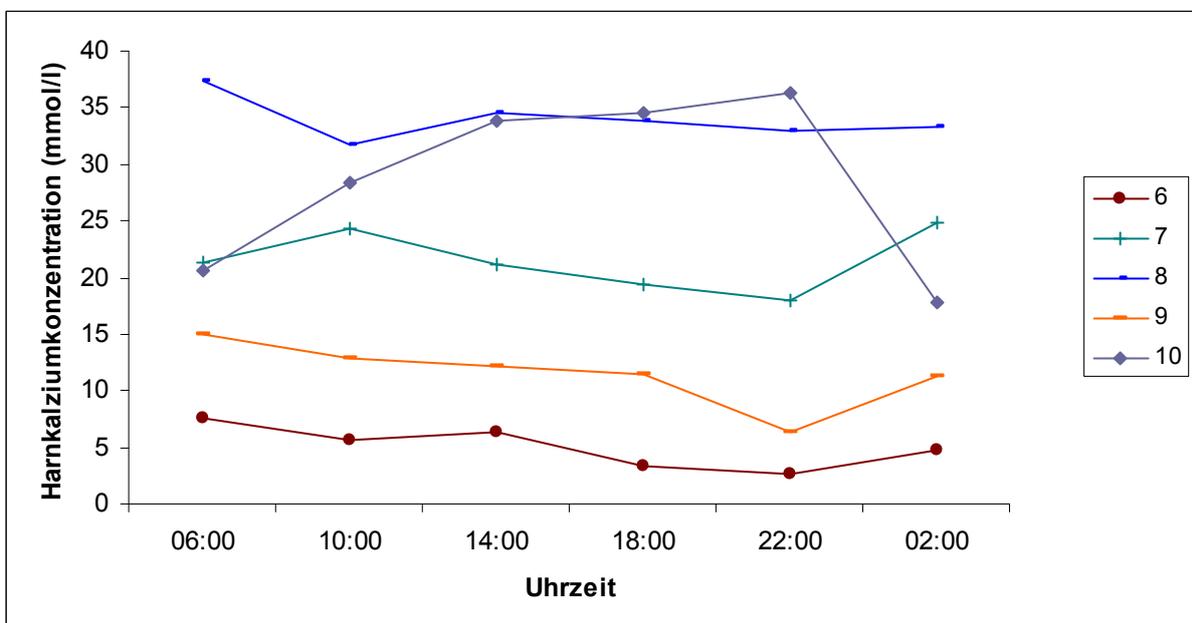


Abbildung 57: Harnkalziumkonzentration-Tagesprofil der Kühe 6 bis 10 mit Fütterung anionischer Salze (Futtermalage um 10:00, 11:00-12:00 Kühe zur Euterkontrolle auf den Melkstand getrieben)

13.5. Untersuchung der Beziehung zwischen Harnparametern und Rationskennwerten

Tabelle 64: Übersicht über die in den Regressionsanalysen benutzten Parameter, ihre Abkürzungen und ihre Einheiten

| Parameter und Abkürzung | Einheit |
|--|--------------|
| Energie (NEL) | MJ NEL/kg TS |
| Rohprotein (Rp) | g/kg TS |
| Rohfaser (Rfa) | g/kg TS |
| Stärke und Zucker (XS + XZ) | g/kg TS |
| Kalzium im Futter (Ca (Futter)) | g/kg TS |
| DCAB nach ENDER (1971) und GOFF (2004) | mEq/kg TS |
| NSBA | mmol/l |
| Harnkalziumkonzentration (Ca (Harn)) | mmol/l |
| pH | einheitslos |

Tabelle 65: Multiple Regression (n=34) nach dem Einschussmodell für die NSBA aus den Poolwerten mit der DCAB nach ENDER (1971)

| Variable | Korrelation r | | | | | | Regressionsmodell | | |
|--------------------|---------------|-------|---------|--------|--------------------|--------|------------------------|--------|---------|
| | NEL | Rp | Rfa | XS+XZ | DCAB _{a)} | NSBA | β | sr^2 | b |
| NEL | | 0,12 | -0,85* | 0,70* | 0,34* | 0,31* | -0,38** | 0,03** | -63,3** |
| Rp | | | -0,28** | 0,19 | -0,31* | -0,43* | -0,34* | 0,09* | -1,97* |
| Rfa | | | | -0,87* | -0,25** | -0,33* | -0,70* | 0,05* | -1,96* |
| XS+XZ | | | | | 0,29* | 0,34* | -0,16 | 0,01 | -0,26 |
| DCAB _{a)} | | | | | | 0,80* | 0,69* | 0,36* | -0,57* |
| NSBA | | | | | | | | | |
| | | | | | | | Konstante = 1117,8 | | |
| x_{ar} | 6,4 | 124,8 | 211,3 | 221,4 | +84,0 | +44,4 | R ² = 0,72* | | |
| s | 0,3 | 9,5 | 18,7 | 30,4 | 68,5 | 52,8 | | | |

* p<0,05

** p<0,1

a) DCAB nach ENDER (1971)

Tabelle 66: Multiple Regression (n=34) nach dem Einschlussmodell für die NSBA aus den Poolwerten mit der DCAB nach GOFF (2004)

| Variable | Korrelation r | | | | | | Regressionsmodell | | |
|--------------------|---------------|-------|---------|--------|--------------------|--------|------------------------|--------|---------|
| | NEL | Rp | Rfa | XS+XZ | DCAB _{a)} | NSBA | β | sr^2 | b |
| NEL | | 0,12 | -0,85* | 0,70* | 0,38* | 0,31* | -0,45* | 0,05* | -75,64* |
| Rp | | | -0,28** | 0,19 | -0,30* | -0,43* | -0,35* | 0,09* | -2,01* |
| Rfa | | | | -0,87* | -0,26** | -0,33* | -0,62* | 0,04* | -1,73* |
| XS+XZ | | | | | 0,23** | 0,34* | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| DCAB _{a)} | | | | | | 0,78* | 0,69* | 0,35* | 0,69* |
| NSBA | | | | | | | | | |
| | | | | | | | Konstante = 1052,0 | | |
| x_{ar} | 6,4 | 124,8 | 211,3 | 221,4 | +127,4 | +44,4 | R ² = 0,72* | | |
| s | 0,3 | 9,5 | 18,7 | 30,4 | 53,0 | 52,8 | | | |

* p<0,05

** p<0,1

a) DCAB nach GOFF (2004)

Tabelle 67: Multiple Regression (n=34) nach dem Einschlussmodell für den Harn-pH aus den Poolwerten mit der DCAB nach ENDER (1971)

| Variable | Korrelation r | | | | | | Regressionsmodell | | |
|--------------------|---------------|-------|---------|--------|--------------------|--------|------------------------|--------|---------|
| | NEL | Rp | Rfa | XS+XZ | DCAB _{a)} | pH | β | sr^2 | b |
| NEL | | 0,12 | -0,85* | 0,70* | 0,34* | 0,34* | -0,44** | 0,05** | -0,85** |
| Rp | | | -0,28** | 0,19 | -0,31* | -0,36* | -0,41* | 0,13* | -0,03* |
| Rfa | | | | -0,87* | -0,25** | -0,42* | -0,85* | 0,08* | -0,03* |
| XS+XZ | | | | | 0,29* | 0,43* | -0,05 | 0,01 | -0,01 |
| DCAB _{a)} | | | | | | 0,58* | 0,40* | 0,12* | -0,01* |
| pH | | | | | | | | | |
| | | | | | | | Konstante = 22,29 | | |
| x_{ar} | 6,4 | 124,8 | 211,3 | 221,4 | +84,0 | 7,68 | R ² = 0,49* | | |
| s | 0,3 | 9,5 | 18,7 | 30,4 | 68,5 | 0,61 | | | |

* p<0,05

** p<0,1

a) DCAB nach ENDER (1971)

Tabelle 68: Multiple Regression (n=34) nach dem Einschlussmodell für den Harn-pH aus den Poolwerten mit der DCAB nach GOFF (2004)

| Variable | Korrelation r | | | | | | Regressionsmodell | | |
|--------------------|---------------|-------|---------|--------|--------------------|--------|------------------------|--------|---------|
| | NEL | Rp | Rfa | XS+XZ | DCAB _{a)} | pH | β | sr^2 | b |
| NEL | | 0,12 | -0,85* | 0,70* | 0,38* | 0,34* | -0,48** | 0,05** | -0,94** |
| Rp | | | -0,28** | 0,19 | -0,30* | -0,36* | -0,42* | 0,13* | -0,03* |
| Rfa | | | | -0,87* | -0,26** | -0,42* | -0,81* | 0,07* | -0,03* |
| XS+XZ | | | | | 0,23** | 0,43* | 0,05 | 0,01 | 0,01 |
| DCAB _{a)} | | | | | | 0,56* | 0,40* | 0,12* | 0,01* |
| pH | | | | | | | | | |
| | | | | | | | Konstante = 21,86 | | |
| x_{ar} | 6,4 | 124,8 | 211,3 | 221,4 | +127,4 | 7,68 | R ² = 0,49* | | |
| s | 0,3 | 9,5 | 18,7 | 30,4 | 53,0 | 0,61 | | | |

* p<0,05

** p<0,1

a) DCAB nach GOFF (2004)

Tabelle 69: Multiple Regression (n=34) nach dem Einschlussmodell für die Harnkalziumkonzentration aus den Poolwerten mit der DCAB nach ENDER (1971)

| Variable | Korrelation r | | | | | | Regressionsmodell | | |
|--------------------|---------------|-------|---------|--------|--------------------|-----------|------------------------|--------|--------|
| | Ca (Futter) | Rp | Rfa | XS+XZ | DCAB _{a)} | Ca (Harn) | β | sr^2 | b |
| Ca (Futter) | | 0,45* | 0,22** | -0,41* | -0,86* | 0,51* | -0,11 | 0,01 | -0,13 |
| Rp | | | -0,28** | 0,19 | -0,31* | 0,27** | 0,08 | 0,01 | 0,04 |
| Rfa | | | | -0,87* | -0,25** | 0,05 | -0,04 | 0,01 | -0,01 |
| XS+XZ | | | | | 0,29* | -0,06 | 0,05 | 0,01 | 0,01 |
| DCAB _{a)} | | | | | | -0,62* | -0,71* | 0,10* | -0,05* |
| Ca (Harn) | | | | | | | | | |
| | | | | | | | Konstante = 7,36 | | |
| x_{ar} | 10,3 | 124,8 | 211,3 | 221,4 | +84,0 | 6,5 | R ² = 0,29* | | |
| s | 3,6 | 9,5 | 18,7 | 30,4 | 68,5 | 4,2 | | | |

* p<0,05

** p<0,1

a) DCAB nach ENDER (1971)

Tabelle 70: Multiple Regression (n=34) nach dem Einschlussmodell für die Harnkalziumkonzentration aus den Poolwerten mit der DCAB nach GOFF (2004)

| Variable | Korrelation r | | | | | | Regressionsmodell | | |
|--------------------|---------------|-------|---------|--------|--------------------|-----------|------------------------|--------|--------|
| | Ca (Futter) | Rp | Rfa | XS+XZ | DCAB _{a)} | Ca (Harn) | β | sr^2 | b |
| Ca (Futter) | | 0,45* | 0,22** | -0,41* | -0,79* | 0,51* | -0,09 | 0,01 | -0,11 |
| Rp | | | -0,28** | 0,19 | -0,30* | 0,27** | 0,07 | 0,01 | 0,03 |
| Rfa | | | | -0,87* | -0,26** | 0,05 | -0,21 | 0,01 | -0,05 |
| XS+XZ | | | | | 0,23** | -0,06 | -0,12 | 0,01 | -0,02 |
| DCAB _{a)} | | | | | | -0,62* | -0,72* | 0,13* | -0,06* |
| Ca (Harn) | | | | | | | | | |
| | | | | | | | Konstante = 24,4 | | |
| \bar{x}_{gr} | 10,3 | 124,8 | 211,3 | 221,4 | +127,4 | 6,5 | R ² = 0,33* | | |
| s | 3,6 | 9,5 | 18,7 | 30,4 | 53,0 | 4,2 | | | |

* p<0,05

** p<0,1

a) DCAB nach GOFF (2004)

14. Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Dr. Staufenbiel für das Vertrauen, die Überlassung des sehr interessanten Themas, die große und stets freundliche Unterstützung und die sorgfältige Durchsicht dieser Arbeit. Besonders hervorheben möchte ich die ausgezeichnete Betreuung.

Ein großer Dank gilt Frau Dr. Karin Holland und Herrn Jochen Walther, die mir die Möglichkeit gaben, den praktischen Teil der Arbeit auf Gut Hohen Luckow durchführen zu dürfen. Außerdem danke ich für die sehr gute Unterstützung und Unterbringung beim praktischen Teil dieser Arbeit.

Ich möchte mich ganz herzlich bei Herrn Martin Moos für die tolle sehr kompetente Unterstützung und das entgegengebrachte Vertrauen bedanken. Es war eine wundervolle Zeit auf Gut Hohen Luckow, die ich nie mehr missen möchte. Nach dem Studium war der Aufenthalt auf einem so guten Betrieb genau das Richtige. Ich habe viel gelernt und viele neue Ideen erhalten.

Helge Hingst, Wiebe Hingst, Alexander Schirmer und Stefan Gabbert möchte ich für die schöne Zeit und die Hilfe danken. Es hat mit Euch sehr viel Spaß gemacht. Gleichzeitig danke ich allen weiteren Mitarbeitern von Gut Hohen Luckow. Besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des TMF, die einen Teil meiner Proben genommen haben und mich bei meinen Messungen und Probennahmen stets unterstützt haben. Es war toll, dass Ihr mich in euer Team so gut und schnell integriert habt. Es hat alles sehr viel Spaß gemacht mit jedem von Euch.

Bei der Firma Spezialfutter Neuruppin GmbH & Co.KG und insbesondere bei Herrn Roland Hawlitschek möchte ich mich für die finanzielle Unterstützung zur Analyse der Futtermittelproben und das entgegengebrachte Vertrauen bedanken.

Ein großer Dank gilt Ulrike Falkenberg für die guten Ratschläge und Verbesserungsvorschläge bei Erstellung der Promotion. Ohne deine Hilfe wäre „das Werk“ wahrscheinlich nicht so schnell von der Hand gegangen.

Stefan Borchardt und Onno Burfeind möchte ich für die Unterstützung bei der Entnahme des Tagesprofils auch unter sehr widrigen Bedingungen danken. Ein großes Dankeschön auch für die Beantwortung zahlreicher statistischer Fachfragen und Gestaltungsfragen.

Frau Lamprecht, Frau Waberowski und Herrn Dr. Hilmert danke ich für die Bestimmung der Laborparameter und die Unterstützung bei der Arbeit.

15. Selbstständigkeitserklärung

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

Berlin, den 16.11.2010

Jessen, Arne
