

Aus dem Institut für Tierwissenschaften Abteilung Tierernährung  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

eingereicht über das Institut für Tierernährung  
des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

---

**Effekte von Natriumhydrogenkarbonat auf hochleistende  
Milchkühe in der Frühlaktation bei grassilagebasierten  
gemischten Rationen**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades eines

Doktors der Veterinärmedizin

an der

Freien Universität Berlin

vorgelegt von

**Christian Wülbeck**

Tierarzt aus Oberhausen

Berlin 2011

Journal-Nr. 3476

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

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

*Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):*

dairy cows, lactation, sodium bicarbonate, grass silage, buffering capacity, feed supplements

Tag der Promotion: 20.07.2011

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: 978-3-86387-015-7

**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](mailto:verlag@menschundbuch.de) – [www.menschundbuch.de](http://www.menschundbuch.de)

*MEINEN ELTERN  
IN DANKBARKEIT*



<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Schrifttum</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Die subakute Pansenazidose, SARA</b> .....	<b>3</b>
2.1.1 Anzeichen und Folgen einer SARA .....	5
2.1.2 SARA in der Frühlaktation .....	9
2.1.3 Diagnostische Verfahren .....	11
<b>2.2 Natriumhydrogenkarbonat</b> .....	<b>12</b>
2.2.1 Physikalisch-chemische Eigenschaften .....	12
2.2.2 Vorkommen und Bedeutung.....	14
2.2.3 Anwendung in der Rinderfütterung .....	14
<b>2.3 Untersuchungsmethoden</b> .....	<b>20</b>
2.3.1 Netto-Säure-Basen-Ausscheidung .....	20
<b>3. Material und Methoden</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1 Überblick</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2 Versuchsaufbau</b> .....	<b>22</b>
<b>3.3 Tiere und Haltung</b> .....	<b>23</b>
3.3.1 Versuchstiere .....	23
3.3.2 Haltung und Melkung .....	24
<b>3.4 Rationsgestaltung</b> .....	<b>25</b>
<b>3.5 Beschreibung der Methoden</b> .....	<b>29</b>
3.5.1 Gewinnung und Lagerung der Proben .....	29
3.5.2 Probenaufbereitung und labortechnische Analysemethoden .....	31
<b>3.6 Statistische Auswertung</b> .....	<b>34</b>
<b>4. Ergebnisse</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1 Futteraufnahme, Produktionsleistung und Energiebilanz</b> .....	<b>35</b>
<b>4.2 Pansensaft</b> .....	<b>41</b>
<b>4.3 Harn</b> .....	<b>43</b>
<b>4.4 Kot</b> .....	<b>45</b>
<b>4.5 Fertilität</b> .....	<b>46</b>

# Inhalt

---

<b>5. Diskussion</b> .....	<b>48</b>
<b>5.1 Versuchsdurchführung</b> .....	<b>48</b>
<b>5.2 Ration und Futteraufnahme</b> .....	<b>49</b>
<b>5.3 Milchleistung</b> .....	<b>51</b>
<b>5.4 Energiebilanz</b> .....	<b>52</b>
<b>5.5 Pansensaft</b> .....	<b>53</b>
<b>5.6 Harn</b> .....	<b>55</b>
<b>5.7 Kot</b> .....	<b>56</b>
<b>5.8 Fertilität</b> .....	<b>57</b>
<b>5.9 Schlussfolgerung</b> .....	<b>59</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>60</b>
<b>Summary</b> .....	<b>62</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>64</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>77</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>77</b>
<b>Danksagungen</b> .....	<b>78</b>
<b>Selbständigkeitserklärung</b> .....	<b>81</b>

# 1. Einleitung

Die subakute Pansenazidose oder SARA (subacute ruminal acidosis) ist eine Erkrankung, die weltweit in Milchviehbeständen eine immense wirtschaftliche Auswirkung hat. Obwohl die moderne Milchviehhaltung laufend durch Forschung und verbesserte Technologien insbesondere im Fütterungsmanagement optimiert wird, ist SARA in Milchviehherden zu erwarten. KLEEN (2004) stellte in einer Studie in der niederländischen Provinz Friesland eine Prävalenz von 13,7 in 18 Milchviehherden mit einer durchschnittlichen Größe von 87 Tieren fest. Die wirtschaftliche Bedeutung wurde bereits 1997 von DONOVAN eindrucksvoll dargestellt und KRAUSE und OETZEL (2006) bezifferten die jährlichen Kosten durch azidotische Pansenverhältnisse für die amerikanische Milchindustrie schätzungsweise auf 500 Millionen bis 1 Milliarde US-Dollar. Azidotische Gefährdungen sollen im Rahmen der Rationsberechnungen durch Beachtung einer ausreichenden Strukturversorgung vermieden werden. DE BRABANDER (1999) schlug einen Mindeststrukturwert von 1,1 für hochleistende Milchkühe vor.

Neben einer ausreichenden Strukturversorgung haben puffernde Substanzen eine zunehmende Bedeutung in der Prophylaxe von azidotischen Verhältnissen im Pansen. Die größte Bedeutung hat in diesem Zusammenhang Natriumhydrogenkarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ). Die körpereigenen Puffersysteme durch Speichelfluss und die intrinsische Pufferkapazität von Futtermitteln können durch die Zulage von Natriumhydrogenkarbonat ergänzt werden, in dem es zum einen die erhöhte Zufuhr von Säuren aus den Futtermitteln, und zum anderen die vermehrte Produktion von Säuren im Pansen ausgleichen kann. Die Zulage von Natriumhydrogenkarbonat zur Prävention subakuter Pansenazidosen wird *in praxi* schon seit Jahrzehnten durchgeführt, in der Literatur jedoch kontrovers diskutiert.

Im Rahmen einer Metaanalyse haben HU und MURPHY (2005) den Einfluss von Natriumhydrogenkarbonat auf die Produktionsleistungen von Milchkühen durch die

Auswertung von insgesamt 30 Versuchen mit 73 Futterrationen und 369 Kühen zwischen den Jahren 1980 und 1999 umfangreich dargestellt. In Rationen, in denen Maissilage den einzigen oder hauptsächlichen Anteil (> 50 % der Grobfutter-Trockenmasse) darstellte, führte der Einsatz von Natriumhydrogenkarbonat zu einer höheren Trockenmasse-Aufnahme und einem erhöhtem Milchfettgehalt. Milchmengen, Eiweißprozent-Anteile und absolute Eiweißmengen wurden nicht beeinflusst. Bei Rationen, die ohne oder nur geringem Einsatz von Maissilage gestaltet wurden, gibt es keine einheitlichen Befunde bezüglich Futteraufnahme, Milchleistung, allgemeinem Gesundheitszustand oder Fruchtbarkeitsleistung.

Vor diesen Hintergründen wurden in einem Fütterungsversuch mit Milchkühen im Landwirtschaftszentrum „Haus Riswick“ der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (NRW) die Effekte von Natriumhydrogenkarbonat in einer Ration, die überwiegend auf Grassilage und Getreide basierte, untersucht und in der vorliegenden Arbeit dargestellt.



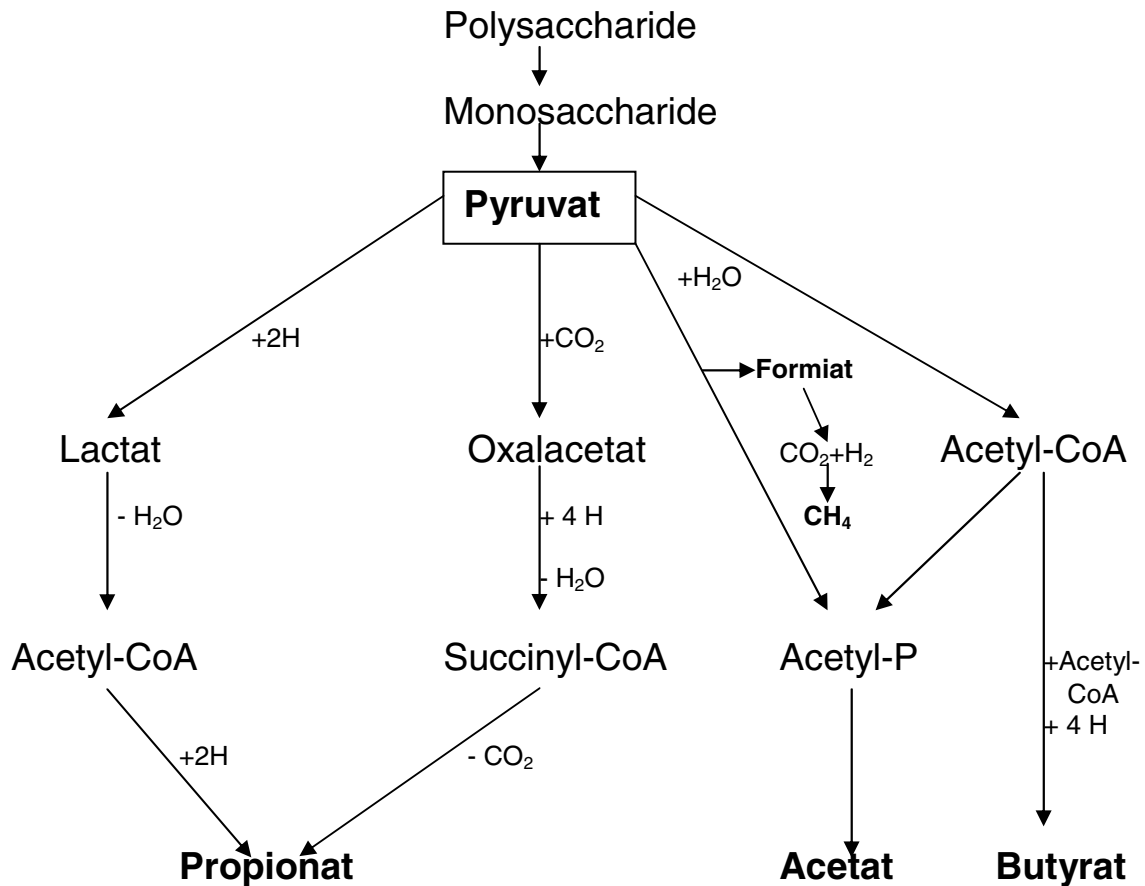
## 2. Schrifttum

Gegenstand der folgenden Betrachtungen ist die Definition der subakuten Pansenazidose sowie die Darstellung ihrer Pathomechanismen und klinischen Erscheinungen. Des Weiteren wird Natriumhydrogenkarbonat, seine Chemie und Bedeutung als Puffersubstanz in der Rinderfütterung beleuchtet. Abschließend werden Erkenntnisse aus themenrelevanten Untersuchungen dargestellt, woraus die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit abgeleitet wird.

### 2.1 Die subakute Pansenazidose, SARA

Wie bei KLEEN (2003) ausführlich dargestellt, ist bereits die Festlegung eines Terminus für nicht-akute und klinisch inapparente azidotische Situationen im Pansen uneinheitlich. Hier soll der Ausdruck subakute Pansenazidose bzw. SARA (subacute ruminal acidosis) wie bei NORDLUND *et al.* (1995), GARRETT (1996) und (1999), STOCK (2000), ENJALBERT (2001), KLEEN *et al.* (2003) verwendet werden. Ebenso uneinheitlich ist die exakte Definition des genauen pathologischen Zustandes, denn es bestehen Unterschiede, etwa ob es sich um azidotische Situationen bei Milchkühen oder bei Mastbullen handelt. Im Folgenden wird SARA als ein labiler, vorübergehender Zustand angesehen, in dem die biochemischen Regulationsmechanismen bei erhöhten Gehalten des Pansensaftes an Laktat und anderen organischen Säuren eine Exazerbation zu einer akuten Pansenazidose verhindern können, aber auch eine Adaptation des Pansenmilieus noch möglich ist. Die Genese einer subakuten Pansenazidose basiert auf der Aufnahme eines strukturarmen und energetisch hochdichten Futters während einer Phase mangelhafter Anpassung des Pansenmilieus für eine adäquate Fermentation eines

solchen Futters. Die klassische Situation des Auftretens einer SARA ist die Umstellung von einer restriktiven Trockensteher-Ration auf ein Futter mit hoher Energiedichte nach der Kalbung. Den biochemischen Prozess zeigt Abbildung 1.



**Abbildung 1: Bildung kurzketziger Fettsäuren durch mikrobiellen Kohlenhydratabbau**

DIRKSEN *et al.* (1984) und NORDLUND *et al.* (1995) beschrieben die noch nicht angepasste Länge der Pansenzotten in dieser Situation, die den plötzlichen Anstieg der kurzketzigen Fettsäuren nicht ausreichend schnell resorbieren können, weil die Resorptionsfläche noch zu klein ist. Gleichzeitig ist das bakterielle Spektrum noch nicht derart adaptiert, um v. a. den erhöhten Laktat-Spiegel entsprechend zu metabolisieren (NORDLUND *et al.*, 1995). Der durch den hohen Gehalt an kurzketzigen Fettsäuren bedingte pH-Wert-Abfall in unphysiologisch niedrige Bereiche (< 5,5) erholt sich erst mit einigen Stunden Zeitverzögerung, bis wieder physiologische Bereiche erreicht werden (NORDLUND *et al.* 1995, GARRETT *et al.* 1999, OETZEL 2000). Es ist strittig, ob die Phase der mangelhaften Adaptation bereits als manifeste Erkrankung zu werten ist. STAUFENBIEL (2000) sieht hierin

keine Erkrankung im engen Sinne, sondern eine Imbalanz im metabolischen Gleichgewicht des Säure-Basen-Haushaltes. Unstrittig sind aber die Folgen einer solchen anhaltenden Phase der nicht adäquaten Adaptation bzw. Imbalanz.

### **2.1.1 Anzeichen und Folgen einer SARA**

#### 2.1.1.1 Trockenmasse-(TM)-Aufnahme

OLSSON *et al.* (1998) stellten fest, dass die Futteraufnahme bei Kühen mit konzentratreicher Ration niedriger ist, als bei Tieren mit weniger konzentratreicher Ration. Zahlreiche Autoren werten eine verminderte Aufnahme von Trockenmasse als ein verlässliches Symptom für das Vorliegen einer subakuten Pansenazidose (GARRET 1996, GARRY 2000, STOCK 2000). Eine reduzierte oder unbeständige Futteraufnahme wird sogar als die hauptsächliche klinische Manifestation einer subakuten Pansenazidose angesehen (NOCEK 1997). KRAJCARSKI-HUNT *et al.* (2002) beobachteten, dass in einer Phase einer induzierten subakuten Pansenazidose nur 75 % einer Mischration aufgenommen wurde, im Vergleich zu Zeiten ohne azidotische Belastung. Ätiologisch für die verminderte TM-Aufnahme wird die Entwicklung einer Hypomotilität des Pansens genannt, die sich durch verschiedenste Mechanismen während einer Phase niedrigen pH-Wertes im Pansen einstellen kann (KLEEN 2003). OETZEL (2000) nennt den Anstieg osmo-aktiver Substanzen, allen voran in der Situation „SARA“ die freien flüchtigen Fettsäuren und Zucker, als Ursache eines erhöhten Flüssigkeitszustroms in den Pansen, der die Aufnahme von Trockenmasse verringert.

#### 2.1.1.2 Milchveränderungen

Die Begrifflichkeiten milk fat depression (MFD) oder low milk fat syndrome (LMS) werden sehr häufig gefunden, wenn Situationen mit einem beträchtlichen Rückgang des Milchfettgehaltes aufgrund von Fehlern in Fütterungsmanagement und Rationsgestaltung beschrieben werden (BAUMAN *et al.* 2001). Gleiches findet man bei DIRKSEN (1985), NORDLUND *et al.* (1995), OETZEL (2000) im Zusammenhang mit der subakuten Pansenazidose. GÜRTLER und SCHWEIGERT (2000) nennen energiereiche und faserarme Rationen, Strukturarmut durch Mahlen und Pelletieren,

sowie die Supplementierung ungesättigter Fettsäuren als Gründe für das Entstehen einer MFD. Diese Kriterien sind auch in einer Ration einer hochleistenden Milchkuh in der Früh lactation häufig anzutreffen. Das Phänomen der Milchfett-Reduktion wurde von VAN BEUKELEN *et al.* (1985), MURPHY *et al.* (2000) und KHORASANI und KENNELLY (2001) in Verbindung mit einem verminderten Azetat- und erhöhtem Propionat-Spiegel im Fettsäuremuster des Pansensaftes angetroffen. VAN BEUKELEN (1985) beobachtete sogar zusätzlich einen Anstieg der Milchmenge und Gewichtszunahme. Der Anteil der Buttersäure wird unterschiedlich diskutiert. Während VAN BEUKELEN (1985) und MURPHY *et al.* (2000) einen Anstieg des Butyrats verzeichneten, konnten STORRY *et al.* (1974) und KENNELLY *et al.* (1999) eine gemeinsame Verringerung von Azetat und Butyrat feststellen. Allen Untersuchungen war aber eine Verringerung des pH-Wertes des Pansensaftes gemeinsam. Bereits 1965 konnten STORRY und ROOK einen Anstieg von *trans*-C 18:1-Fettsäuren im Milchfett von Kühen mit energiereicher Fütterung feststellen, die eine MFD nach sich zog. Verschiedene Untersuchungen konnten die Theorie stützen, dass *trans*-C18:1-Fettsäuren als kausale Agenzien bei der Behinderung der *de-novo*-Synthese von Fettsäuren in der Milchdrüse zu beurteilen sind (GAYNOR *et al.* 1994 und 1995, ROMO 1995, KENNELLY *et al.* 1999). Eine Verbindung zwischen der subakuten Pansenazidose und dem low-milkgfat-Syndrom ist denkbar. Es scheint gerechtfertigt, festzustellen, dass beides eine Folge von konzentratreicher und strukturarmer Fütterung darstellt. Dennoch ist noch fraglich, ob MFD als klassisches Symptom der subakuten Pansenazidose gelten kann, denn es scheint, dass sich eine MFD auch in Situationen mit ausreichend adaptierter Pansenflora ohne Anzeichen einer subakuten Pansenazidose entwickeln kann (KLEEN, 2003).

### 2.1.1.3 Erkrankung der distalen Gliedmaße

Im Zusammenhang mit der subakuten Pansenazidose wird regelmäßig von Laminitis oder *Pododermatitis aseptica diffusa* (NILSSON 1963, MGASSA *et al.* 1984, DIRKSEN 1985, MOSER und DIVERS 1987, MANSON und LEAVER 1988 und 1989, NOCEK 1997, ENEMARK 1998, OETZEL 2000, DONOVAN *et al.* 2004) berichtet. Dabei wird angenommen, dass der Laminitis eine große ökonomische und tiergesundheitsliche Bedeutung zukommt (NELSON und CATTELL 2000), wenngleich aber die genaue Ätiologie im Zusammenhang mit der subakuten Pansenazidose

noch nicht endgültig geklärt ist (FRANKENA *et al.* 1992, BARGAI und LEVIN 1993, LISCHER und OSSENT 1994, NORDLUND *et al.* 1995). Am häufigsten wird die akute Form der Laminitis im Zusammenhang mit ruminalen Imbalanzen genannt, besonders zum postpartalen Zeitpunkt (NILSSON 1963). Hohe Mengen an löslichen Kohlenhydraten, Stärke und Proteinen stehen in Verbindung mit der Laminitis (MOSER und DIVERS 1987, MANSON und LEAVER 1988). Eine sehr weit verbreitete Theorie zur Pathogenese stellt die Pansenazidose in den Vordergrund. Bei sinkendem pH-Wert finden eine vermehrte Bakteriolyse des gramnegativen Spektrums und Schädigungen des Pansenepithels statt, wobei vasoaktive Substanzen freigesetzt und absorbiert werden (SUBER *et al.* 1979, MANSON und LEAVER 1988, AIUMLAMAI *et al.* 1992, NOCEK 1997). Veränderungen der Mikrozirkulation des Koriums an der distalen Gliedmaße sind die Folge. Dabei werden sowohl die kapillären Endothelzellen direkt geschädigt als auch eine diffuse intravasale Gerinnung ausgelöst. Beides führt zu Permeabilitätsstörungen im betroffenen Kapillarbezirk, im Weiteren zu Ischämie und Entzündung sowie Nekrose der korioepidermalen Verbindungen (FESSL, 1992). Weitere klinische Manifestationen sind gelbliche Verfärbung, Einblutungen (sog. Steingalle), Bildung einer Doppelsohle, Verformungen der dorsalen Klauenwand im Sinne einer sog. Fütterungsrehe (FESSL 1992, BERGSTEN 1994, OSSENT und LISCHER 1994). Die subklinische Form der Laminitis scheint aber keine direkte Verbindung zur Pansenazidose zu haben (BRANDEJKSY *et al.* 1994, DONOVAN 2004).

### 2.1.1.4 Veränderungen an Pansen und anderen Bauchorganen

DIRKSEN *et al.* stellten 1984 fest, dass eine direkte Verbindung zwischen Vorhandensein freier kurzkettiger Fettsäuren und dem Wachstum des Pansenepithels besteht. Propionat und Butyrat provozieren eine Vergrößerung der Resorptionsfläche, indem sie das Wachstum der Papillen anregen. Da die Epithelzellen des Pansens keine sezernierende Eigenschaft haben, fehlt dem Pansenepithel die protektive Eigenschaft eines Schleimüberzuges. Daher ist die Mukosa insbesondere gegenüber chemischen Noxen wie einem Säureangriff sehr empfindlich. In Situationen mit azidotischer Belastung liegen kurzkettige freie Fettsäuren in großer Menge vor. Erschwerend kommt hinzu, dass insbesondere pelletierte Futtermittel eine reizende Wirkung auf die Mukosa ausüben (GÄBELER,

1990). Das Pansenepithel reagiert mit Entzündung und Parakeratose. In einem Forschungsbericht, der sich direkt mit den spezifischen Folgen eines niedrigen Pansen-pH beschäftigen, konnte PRENTICE (2000) bei Holstein-Friesian-Ochsen mit einer Azidose provozierenden Fütterung einen Anstieg der Prävalenz histologisch nachweisbarer Entzündungsprozesse in Pansenwand-Bioptaten feststellen. Die Barrierefunktion der Mukosa zwischen Pansenmilieu und Blutkreislauf wird gestört, wodurch Bakterien der Durchtritt durch die Mukosa und der Einbruch in das Portalblut ermöglicht wird. Mit dem portalen Blutfluss gelangen Bakterien in die Leber und können dort Kolonien bilden. Nach Überwindung der lebereigenen Abwehrmechanismen und Schaffung eines weniger aeroben Milieus mithilfe der bakterieneigenen Virulenzfaktoren und durch Synergismen mit fakultativ anaeroben Bakterien (ROBERTS, 1967, TAKEUCHI *et al.* 1983, EMERY *et al.* 1986, TAN *et al.* 1996), sind Mikroabszesse die ersten Läsionen, ausgehend von den Lebersinusoiden. Diese Läsionen schreiten als Koagulationsnekrose unter Einbeziehung angrenzender Hepatozyten voran (NAKAJIMA *et al.*, 1986). Die Bildung von Abszessen im Lebergewebe ist die Folge, eine begleitende Peritonitis ist möglich. SMITH (1944) hat als erster einen Zusammenhang zwischen ulzerativen Läsionen der Pansenwand und Leberabszessen postuliert, und wird durch JENSEN *et al.* (1954) bestätigt, der von einer hohen Korrelation zwischen dem Auftreten von Leberabszessen und pathologischen Zuständen des Pansens berichtete. Er schlug daher vor, diesen Pathomechanismus als „Rumenitis-Leberabszess-Komplex“ zu benennen. Von der Leber aus können die eingeschleppten Pathogene mit dem posthepatischen Blutstrom in andere Gewebe geschleppt werden. So wurden Abszessbildung oder andere entzündliche Prozesse in den Nieren, der Lunge, im Herzen und in Gelenken gefunden (ROSSOW 1984, DIRKSEN 1985, NORDLUND *et al.* 1995, NOCEK 1997, GARRY 2000, OETZEL 2000). Zahlreiche Untersuchungen konnten die bakterielle Flora von Leberabszessen im genannten Zusammenhang erfolgreich detektieren (SCANLAN und HATHCOCK 1983, LECHTENBERG *et al.* 1988, TAN *et al.* 1996, NAGARAJA *et al.* 1996 und 2000).

### 2.1.1.5 Kotveränderungen

Die Beschaffenheit der intestinalen Ausscheidungen ist neben der Futterqualität und -quantität maßgeblich von der Wiederkautätigkeit, von Komposition und Aktivität der

ruminalen Flora und der ruminalen Passage abhängig (GARRY 2000). Zahlreiche Autoren haben Kotveränderungen bei Rindern mit azidotischer Belastung verschiedener Ausprägung beschrieben (ROSSOW 1984, DIRKSEN 1985, NORDLUND *et al.* 1995, GARRY 2000, OETZEL 2000). Veränderungen werden genannt bezüglich der Farbe, Geruch, Konsistenz und pH-Wert. Die Farbe wird als heller und leicht gelblich beschrieben. DIRKSEN (1985) berichtet von einer Erniedrigung des pH-Wertes. Der Geruch des Kotes wird als süß-sauer beschrieben (OETZEL 2000). Aufgrund der Änderungen der ruminalen Flora und der Passage durch den Pansen kann die Partikelgröße in größere Bereiche gehen, wobei Längen von 1-2 cm oder gar ganze Getreidekörner auffindbar sind. GARRY (2000) erklärt die Konsistenzveränderungen mit einer veränderten Osmolarität der Ingesta, in deren Folge eine Aufweichung durch erhöhte Wasserbindung stattfindet.

### **2.1.2 SARA in der Frühlaktation**

Wie zuvor erwähnt, kann die subakute Pansenazidose als mögliche Folge einer mangelhaften Anpassung der inneren Pansenverhältnisse an Futterrationen mit einer hohen Energiedichte angesehen werden. Der Zeitpunkt um die Kalbung herum bedeutet für das Tier extreme Umstellungen der gewohnten Lebenssituation. Sehr häufig beinhaltet dies eine Umverteilung der betreffenden Tiere in andere Gruppen oder gar Stallungen, verbunden mit neuen Rangordnungsverhandlungen, ungewohnter Umgebung und neuen Personen. Die Geburt selber stellt ebenfalls einen enormen Stressfaktor dar, der zudem durch die unphysiologische Trennung von Muttertier und Kalb nicht verbessert wird. Das Einsetzen der Laktation und die damit verbundene Umstellung der Rationsgestaltung von einer eher mageren Kost auf konzentratreiche Rationen in Verbindung mit den genannten möglichen Stressoren setzen die Tiere einem hohen Risiko aus, eine subakute Pansenazidose zu entwickeln (BRAND und WARNER 1996, NOCEK 1997). Die typische Trockensteherration ist gewöhnlich energiearm und strukturreich, vor allem im Vergleich zu einer Laktationsration. Die häufig sehr abrupte Umstellung auf eine Ration für laktierende Milchkühe trifft auf ein Pansenmilieu, das aufgrund der Kürze der Schleimhautpapillen nicht in der Lage ist, die durch den vermehrten Kohlenhydratabbau anfallende hohe Menge an kurzkettigen Fettsäuren ausreichend zügig zu resorbieren. Zudem hat die mikrobielle Besiedlung des Pansens nicht die

nötige Fähigkeit, hohe Mengen leicht fermentierbarer Kohlenhydrate bei gleichzeitigem Rückgang des Strukturwertes der Ration biochemisch umzusetzen (NORDLUND *et al.* 1995). Das Spektrum ist eher zellulolytisch kompetent. Ebenfalls beachtenswert in diesem Zusammenhang ist die Tatsache, dass Rinder ein hohes Maß an Geschicklichkeit beweisen, die angebotenen Futtermittel nach ihrer Palatabilität zu sortieren, wobei Rationsbestandteile mit hohem Faseranteilen tendenziell weniger attraktiv sind (LEONARDI und ARMENTANO, 2003). Bei der Gestaltung von Rationen für laktierende Milchkühe werden weltweit Maissilage und/oder Grassilage zu einem hohem Prozentsatz eingesetzt. In Abhängigkeit von der Region und der Verfügbarkeit der jeweiligen Ausgangsbiomasse werden sie teils in Kombinationen oder auch als alleinige Hauptbestandteile einer Ration verwendet. Grassilage zeichnet sich im Vergleich zu Maissilage durch einen fehlenden Stärkegehalt und deutlich höheren Rohproteingehalt sowie durch einen höheren Gehalt an Zellwandbestandteilen aus (SAUVANT *et al.*, 2004). Es ist bekannt, dass zur Aufrechterhaltung eines gesunden Pansenmilieus und zur Vermeidung azidotischer Belastungen bzw. SARA dem Gehalt an physikalisch effektiver NDF (peNDF) große Bedeutung zukommt. Untersuchungen von ZEBELI *et al.* (2008) konnten zeigen, dass ein Anstieg der peNDF auf 31,2 %, auf Basis der TM, den Pansensaft-pH auf ein asymptotisches Plateau bei Werten zwischen 6,2 und 6,27 ansteigen lässt. Die genannten Autoren betrachten einen Gehalt von 30 bis 33 % an peNDF in einer Ration als grundsätzlich optimal zur Vermeidung einer SARA. Der peNDF-Gehalt einer Ration kann relativ einfach, sogar unter Stallbedingungen, mit Hilfe des Penn State Particle Separator durchgeführt werden. (KONONOFF *et al.*, 2003a; PLAIZIER *et al.*, 2004) .

Es wird deutlich, dass mehrere Faktoren, die nicht selten vereint auftreten, Vermeidungsstrategien seitens des Managements auf mehreren Ebenen erforderlich machen. Solche Strategien können ein verbessertes Stallmanagement mit dem Ziel der Stressvermeidung sein. Weiterhin ist es sinnvoll, eine langsamere Umstellung von einer Trockensteherration auf konzentratreiche Rationen anzustreben, um ruminale Adaptationsprozesse nicht zu überfordern. Um eine adäquate Strukturversorgung sollte sich bei der Rationsplanung in Abhängigkeit von der eingesetzten Grobfutterquelle bemüht werden. Auch der Einsatz puffernder Futterzusätze stellt eine praktikable Möglichkeit dar, um die anfallende Säurebelastung zu mindern. GARRETT *et al.* (1999) untersuchten, ob SARA als ein



Herdenproblem angesehen werden muss. Durch variierende Zahlen untersuchter Tiere einer Herde konnten sie festlegen, dass die Detektierung einer SARA bei einem Viertel aller untersuchten Tiere einer Herde den Schluss zulässt, dass die gesamte Herde SARA-gefährdet ist. Rückschlüsse auf die Fütterung können unmittelbar daraus abgeleitet werden. Die Autoren betonen aber, dass diese Faustformel keine statistisch validierte Formel, lediglich der Kompromiss zwischen Praktikabilität (n in Abhängigkeit von der Herdengröße) und mathematischer Akkuratessse ist.

### **2.1.3 Diagnostische Verfahren**

Die wichtigste Untersuchungsmatrix zur Diagnose einer subakuten Pansenazidose ist, neben dem Harn zur Feststellung der Netto-Säure-Basen-Ausscheidung (NSBA), der Pansensaft. Die auf den ersten Blick simpel scheinende Tatsache eröffnet aber ein Problem, denn verlässliche Ergebnisse einer Pansensaftuntersuchung setzen eine absolut akkurate Probengewinnung voraus. Eine Kontamination mit pufferfähigem Speichel oder längerer Kontakt mit der Umgebungsluft müssen unbedingt vermieden werden. Zahlreiche Autoren stellten Untersuchungen an hinsichtlich des Einflusses der Art der Probennahme auf den pH-Wert und das Fettsäuremuster (DIRKSEN und SMITH, 1987). Eine Speichelkontamination von 10-12 % einer Probe, die über eine Pansensonde mittels Aspiration gewonnen wurde, müssen hingenommen werden, selbst, wenn der zuerst gewonnene Teil der Probe verworfen wird. Verschiebungen des pH-Wertes und des Fettsäuremusters können signifikant sein (DIRKSEN und SMITH, 1987, HÖLTERSHINKEN *et al.* 1992). Pansensaft, der über eine chirurgisch angelegte Pansenfistel gewonnen wird, schließt zumindest eine Speichelkontamination aus. Es ist allerdings kaum vertretbar, beispielsweise in Versuchen mit hoher Anzahl an Versuchstieren, jedes einer solchen Operation zu unterziehen. Die Pansensaftgewinnung mittels Ruminozentese wurde von mehreren Autoren als geeignete Methode zur SARA-Detektion gewertet (NORDLUND und GARRETT 1994, NORDLUND *et al.* 1995, GARRETT 1996 und 1999). Die Durchführung einer Ruminozentese erfordert dennoch eine umständliche Vorbereitung. Die Punktionsstelle muss geschoren, gereinigt und desinfiziert werden, unter Umständen das Tier sogar medikamentös sediert werden, bzw. unterschiedliche Zwangsmaßnahmen angewendet werden, um Tier und Untersucher

nicht zu gefährden. Die Ruminozentese ist, wie auch die (dauerhafte) Fistelung des Pansens ein chirurgischer Eingriff und nicht risikofrei (NORDLUND und GARRETT, 1994). Insbesondere bei der Pansenpunktion können negative Folgen für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Tiere entstehen. Subkutane und tiefe Abszesse bis hin zur Peritonitis und Verletzungen durch anzuwendende Zwangsmaßnahmen werden von genannten Autoren als mögliche Gefahren aufgezeigt. ACETO *et al.* (2000) beurteilen die Ruminozentese ähnlich. HOLLBERG (1984) konnte bei 41 von 47 wiederholt punktierten Tieren krankhafte Veränderungen an Pansenwand, Peritoneum und/oder umliegenden Geweben der Punktionsstelle als Folge dieser Punktion feststellen.

Die Anwendung invasiver Techniken zur Pansensaftgewinnung kann nur in Fällen einmaliger Durchführung, z. B. zur Untersuchung auf SARA *in praxi* an Einzeltieren empfohlen werden (GARRETT 2000). Die Gewinnung größerer Mengen Pansensaft oder wiederholte Probennahmen vom selben Tier sollten auf anderem Wege erfolgen.

## 2.2 Natriumhydrogenkarbonat

### 2.2.1 Physikalisch-chemische Eigenschaften

Natriumhydrogenkarbonat (*synonyma*: Natron, doppeltkohlensaures Natron, Natriumbikarbonat, Bikarbonat, Backsoda, Bullrich-Salz) hat die Summenformel  $\text{NaHCO}_3$  und stellt sich mit seiner Strukturformel folgendermaßen dar:

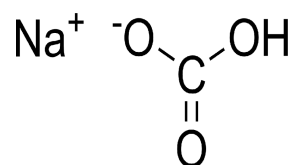
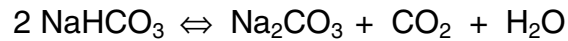


Abbildung 2: Strukturformel  $\text{NaHCO}_3$

Es hat einen festen Aggregatzustand und liegt als weißes Pulver vor, das an trockener Luft beständig ist. Es ist geruchlos und hat eine molare Masse von 84,01 g/mol und eine Dichte von 2,22 g/cm<sup>3</sup>. Seine Löslichkeit liegt bei 95,5 g/l und

es schmilzt bei Temperaturen über 270 °C (alle Angaben beziehen sich auf eine Temperatur von 20 °C). Ab einer Temperatur von 65 °C beginnt es in Natriumkarbonat, Kohlenstoffdioxid und Wasser zu zerfallen:



Natriumhydrogenkarbonat wird von EU-Richtlinien oder nationalen Vorschriften nicht als ein gefährlicher Stoff im Sinne der R- und S-Sätze eingestuft und ist demzufolge nicht mit einem Gefahrensymbol gekennzeichnet. Toxikologisch besteht eine halbletale Dosis von 4200 mg/kg Lebendmasse (LM) bei oraler Aufnahme bei Ratten.

Natriumhydrogenkarbonat entsteht beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid in eine gesättigte wässrige Sodalösung nach der Reaktionsgleichung



Das Produkt muss nach Filtration vorsichtig getrocknet werden um ein Zerfallen zu vermeiden. Es entsteht in großer Menge als Zwischenprodukt bei der Herstellung von Soda (sog. SOLVAY-Verfahren).

Natriumhydrogenkarbonat löst sich in Wasser mit einer schwach alkalischen Reaktion. Mit Säuren reagiert es unter Schaumbildung mit der Bildung von Kohlenstoffdioxid, Wasser und dem entsprechenden Natriumsalz der Säure, am Beispiel der Salzsäure zu Kochsalz nach folgender Gleichung:



### **2.2.2 Vorkommen und Bedeutung**

Natriumhydrogenkarbonat kommt als natürliches Mineral *Nacolith* in den USA vor. Die Verschwisterung mit Ölschiefer verhindert aber eine industrielle Nutzung. Das heute nahezu vollständig synthetisch erzeugte Natriumhydrogenkarbonat findet in vielen Bereichen Anwendung. In der Medizin wird bzw. wurde es als Antacidum verwendet, ferner bei der Behandlung von Vergiftungen mit Barbituraten und Salicylaten, als Infusion bei einer metabolischen Azidose oder zur Herstellung von Brausetabletten zum Auflösen in Wasser. Historische Bedeutung hatte es zur dehydrierenden Mumifizierung von Leichen. Illegalerweise wird es zum Strecken von synthetischen Drogen wie Amphetaminen und zur Herstellung von Crack aus Kokain benutzt. In der Landwirtschaft wird es als Mittel gegen Pilzkrankungen von Pflanzen wie Mehltau oder Graufäule eingesetzt. Besonders bekannt ist es in diesem Zusammenhang unter dem Namen Steinhauer's Mehltauschreck geworden (Quelle: Wikipedia). Im täglichen Leben stößt man auf Natriumhydrogenkarbonat in Zahnpasta, als Backtriebmittel, als Wasserenthärter, in Putz- und Reinigungsmitteln und als Feuerlöschpulver. Des Weiteren kann es bei der Lebensmittelherstellung und -zubereitung zur Reduzierung übermäßiger Säuregehalte eingesetzt werden und man findet es in der Aquaristik zur Erhöhung der Pufferkapazität zur Verhinderung eines Säuresturzes.

### **2.2.3 Anwendung in der Rinderfütterung**

In den letzten Jahrzehnten waren Untersuchungen an hochleistenden Milchkühen mit der Zulage von puffernden Substanzen, speziell Natriumhydrogenkarbonat, Gegenstand intensiver Forschung. Dabei wurde sehr deutlich, dass die Effekte solcher Zulagen stark abhängig von der Art des Grobfutters waren (HU und MURPHY, 2005). Der Schwerpunkt dieser Forschung stützte sich dabei auf Versuche, in denen die Fütterung der Tiere mit Maissilage als Hauptgrobfutterquelle erfolgte. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen waren zum größten Teil durch positive Effekte gekennzeichnet. Die Zahl der Experimente, die sich auf Silagen mit anderen Quellen, wie Grassilage, konzentrierten, war deutlich geringer, zudem scheinen die Ergebnisse dort nicht so deutliche Effekte zu erzielen, wie es bei maissilagebetonter Fütterung gezeigt werden konnte. Im Rahmen einer Meta-

Analyse stellten HU und MURPHY (2005) die Ergebnisse von 27 Studien mit insgesamt 30 Experimenten im Zeitraum von 1980 bis 1999 zusammen, die ihrerseits die Effekte von Natriumhydrogenkarbonat in unterschiedlichen Fütterungsregimen von Milchkühen in der frühen und mittleren Laktationsphase untersuchten, zusammen. Sie analysierten die Experimente zum einen auf die festgestellten Effekte und zum anderen auf eine optimale Dosierung von Natriumhydrogenkarbonat. Dabei unterteilten sie die Untersuchungen grundsätzlich in solche, die Maissilage als einzige oder hauptsächliche Grobfutterquelle hatten (MS) und solche, die andere Quellen verfütterten. Sie nannten diese Gruppen non-maize-silage (NMS). Die im vorliegenden Versuch berücksichtigten Ergebnisse der Meta-Analyse von HU und MURPHY (2005) zeigt Tabelle 1 als Differenzwerte der verglichenen Versuchs- und Kontrollgruppen. Die Ergebnisse der für den vorliegenden Versuch relevanten NMS-Studien sind in Tabelle 2 dargestellt. Resultate von Untersuchungen hinsichtlich Dosis-Wirkungs-Beziehungen bei unterschiedlich hohen Gaben von Natriumhydrogenkarbonat wurden nicht berücksichtigt.

**Tabelle 1: Relevante Ergebnisse der Metaanalyse von HU und MURPHY (2005)**

		MS <sup>1</sup>			NMS <sup>2</sup>		
		Differenz	SE <sup>3</sup>	p <sup>4</sup>	Differenz	SE	p
TM-Aufnahme	(kg/Tag)	-1,24	0,51	0,02	-0,33	0,59	0,58
Milchmenge	(kg/Tag)	-0,74	0,98	0,45	-0,33	1,13	0,77
Milchfett	(%)	-2,70	1,10	0,02	-0,50	1,30	0,71
Milcheiweiß	(%)	0,00	0,50	0,94	0,40	0,50	0,44
Pansensaft-pH		-0,13	0,05	0,01	0,01	0,06	0,81
Azetat	(mol/100mol)	-11,80	9,70	0,23	-12,50	10,80	0,25
Propionat	(mol/100mol)	23,80	10,90	0,04	13,70	12,20	0,27
Azetat :	(mol/mol)	-0,26	0,12	0,04	-0,18	0,14	0,20

<sup>1</sup>maize-silage-Versuche, <sup>2</sup>non-maize-silage-Versuche, <sup>3</sup>standard error, <sup>4</sup>Signifikanzwert

HU und MURPHY (2005) analysierten, dass die Trockenmasse-Aufnahme zwischen den Kontrollgruppen und den Versuchsgruppen der NMS-Untersuchungen keine Unterschiede aufweisen, während in MS-Gruppen mit NaHCO<sub>3</sub>-Zugabe eine signifikant höhere TM-Aufnahme ( $p < 0,02$ ) zu verzeichnen war. In diese Analyse der

NMS-Versuche ist die Untersuchung von ARAMBEL *et al.* (1986) einbezogen, die Luzernegrassilage als Grobfutter und Gerste als Grundlage des Konzentrates verwendeten. Sie verabreichten der Versuchsgruppe eine Ration mit 0,8 % Natriumhydrogenkarbonat, was eine ungefähre Menge von 260 g absolut pro Tier und Tag ausmachte. Sie beobachteten keinen signifikanten Effekt auf die TM-Aufnahme. Diese Beobachtung machten auch DePETERS *et al.* (1984). Auch in ihren Versuchen konnte kein Einfluss einer 0,75%igen NaHCO<sub>3</sub>-Zulage auf die TM-Aufnahme erkannt werden. Die numerische Differenz von 0,5 kg TM zu Gunsten der Versuchsgruppe war statistisch nicht abzusichern. CANALE und STOKES (1987) konnten gleichfalls eine nur geringfügige und nichtsignifikante Erhöhung der TM-Aufnahme verzeichnen. ROGERS *et al.* (1985) konnten in zwei Versuchen mit unterschiedlichen Häcksellängen des luzernebasierten Grobfutters und einem jeweiligen Pufferzusatz von 1,4 % der TM zu gleichlautenden Erkenntnissen. Sie stellten im Gegenteil sogar eine tendenziell geringere TM-Aufnahme der Versuchstiere fest. TUCKER *et al.* (1992) bestätigten mit ihren Untersuchungen das Ausbleiben jeden Effektes auf die TM-Aufnahme bei 1,5 % NaHCO<sub>3</sub>-Zusatz zur NMS-Ration.

Hinsichtlich der Produktivität der untersuchten Tiere konnte mit Ausnahme von KENNELLY *et al.* (1999) in keinem der analysierten Experimente eine signifikante Auswirkung des Natriumhydrogenkarbonats auf die Milchmenge pro Tier und Tag oder den Fett- und Eiweißgehalt der Milch nachgewiesen werden. Die Werte der Milchleistungen sind zudem deutlich weiter gestreut als im Vergleich zur TM-Aufnahme. ROGERS *et al.* (1985b), ARAMBEL *et al.* (1988), und TUCKER *et al.* (1992) weisen für die NaHCO<sub>3</sub>-supplementierten Gruppen eine Minderleistung im Bereich von 1,2 bis 1,6 kg/d aus. Das Fehlen jeglicher statistisch sicherer Differenzen vereint sie dennoch mit den Ergebnissen von DePETERS *et al.* (1984) und ROGERS *et al.* (1985), die geringfügige Mehrleistungen genannter Gruppen mit Streubreiten von 0,3 bis 2,7 kg/d ausweisen, sowie von CANALE und STOKES (1988). KENNELLY *et al.* (1999) konnten hingegen signifikante Mehrleistungen der Versuchsgruppe hinsichtlich der Milchmenge, der Menge an energiekorrigierter Milch und an Fettprozentpunkten darstellen. HU und MURPHY (2005) analysierten die genannten Einzelaussagen und formulierten sie zu einer gleich lautenden Aussage hinsichtlich der NMS-Versuche (Tabelle 1). Hier konnte eine numerische Differenz der Milchmengen im Vergleich zu Rationen ohne

Natriumhydrogenkarbonat von 0,33 kg/Tier und Tag ( $p = 0,77$ ) zu Gunsten der Versuchstiere, eine um 0,5 % erhöhten Milchfettanteil ( $p = 0,71$ ) und eine Milcheiweißverminderung um 0,4 % ( $p = 0,44$ ) festgelegt werden. Bis auf die Milchfett-Prozentpunkte führte der  $\text{NaHCO}_3$ -Zusatz in den MS-Experimenten bei den genannten Leistungsmerkmalen gleichermaßen zu keinen deutlichen Effekten.

Bezüglich der ruminalen Fermentation analysierten HU und MURPHY (2005), dass durch Natriumhydrogenkarbonat-Zugabe zur Ration in keinem der berücksichtigten NMS-Versuchen der pH-Wert des Pansensaftes effektiv bzw. signifikant different zu den jeweiligen Kontrollgruppen beeinflusst werden konnte (Tabelle 1). Mit Ausnahme der Ergebnisse von KENNELLY *et al.* (1999) fanden DePETERS *et al.* (1984), ROGERS *et al.* (1985a und 1985b) und ARAMBEL *et al.* (1988) die molaren Anteile der kurzkettigen Fettsäuren im Fettsäuremuster des Pansensaftes der  $\text{NaHCO}_3$ -substituierten Versuchstiere numerisch und statistisch indifferent. KENNELLY *et al.* (1999) zeigten demgegenüber aber den Gesamtgehalt der flüchtigen Fettsäuren sowie die molaren Anteile der einzelnen Säuren durchweg und signifikant höher bzw. im Falle des Propionates entsprechend erniedrigt, wodurch sich bei ihnen ein signifikant günstigeres Azetat-Propionat-Verhältnis zu Gunsten der Versuchstiere ergab (Tabelle 2). Die Metaanalyse von HU und MURPHY (2005) nimmt die genannten Ergebnisse auf und weist im Falle der molaren Verteilungen der Fettsäuren numerisch auffallend große Differenzen auf, aber die Signifikanzschwelle konnte dennoch in keinem Fall unterboten werden, so dass die Autoren eine effektive Beeinflussung der ruminalen Fermentation durch  $\text{NaHCO}_3$  bei NMS-Fütterung nicht belegen konnten.

### Fazit

HU und MURPHY (2005) stützen im Grundsatz die Aussage einiger vorangegangener Untersuchungen (DePETERS *et al.*, 1984, ARAMBEL *et al.*, 1988, CANALE und STOKES, 1988; STAPLES und LOUGH, 1989, KENNELLY *et al.*, 1999), dass der Einsatz von Natriumhydrogenkarbonat bei NMS-Fütterung weitgehend effektfrei bleibt. Sie ziehen zur Erklärung höhere Strukturwerte, höhere intrinsische Pufferkapazitäten und höhere Eigen-pH-Werte solcher Silagen heran. Die Effekte von NaHCO<sub>3</sub> als Puffer in NMS-Fütterungsmodellen mit vergleichsweise niedrigen ADF<sub>om</sub>-Werten waren zum Zeitpunkt ihrer Metaanalyse noch nicht untersucht. Darüber hinaus wurden keine Angaben zu Auswirkungen auf die Fruchtbarkeitsleistungen, die als Langzeiteffekte angesehen werden könnten, solchermaßen supplementierter Tiere gefunden.



Tabelle 2: Übersicht Ergebnisse non-maize-silage-Studien

Autor	ARAMBEL <i>et al.</i>	CANALE and STOKES	DePETERS <i>et al.</i>	KENNELLY <i>et al.</i>	ROGERS <i>et al.</i>	ROGERS <i>et al.</i>	TUCKER <i>et al.</i>
Jahr	1988	1988	1984	1999	1985	1985	1992
Grobfutter	alfalfa hay	hay silage	alfalfa hay	alfalfa silage	alfalfa long	alfalfa chopped	sorghum silage
NaHCO <sub>3</sub> (%TM)	0,8	1,25	0,75	1,2	1,4	1,4	1,5
TMA (kg TM/d)	22,3 / 20,8	18,7 / 17,4	14,7 / 14,2	20,0 / 20,4	22,6 / 22,1	22,0 / 22,6	19,4 / 19,4
TMA % LW (% kg LM)	k.A.	3,26 / 3,15	3,8 / 3,7	k.A.	k.A.		k.A.
Milch (kg/d)	30,3 / 31,6	33,9 / 31,2	20,5 / 20,1	35,1 / 30,5	32,7 / 32,4	31,2 / 32,4	24,0 / 25,6
ECM (kg/d)	28,6 / 30,0	32,1 / 31,2	k.A.	30,5 / 23,1	30,4 / 30,3	29,7 / 30,2	21,3 / 22,9
Fett (g/kg)	3,67 / 3,71	3,26 / 3,5	5,1 / 4,8	3,18 / 2,37	3,62 / 3,61	3,76 / 3,66	3,19 / 3,26
Protein (g/kg)	3,2 / 3,1	2,97 / 2,91	3,7 / 3,8	3,1 / 3,34	2,95 / 2,97	2,93 / 3,03	3,17 / 3,18
pH	k.A.	k.A.	k.A.	6,1 / 6,15	6,18 / 6,28	6,34 / 6,23	n.b.
Acetat (mol/mol)	59,1 / 61,86	k.A.	64,2 / 63,5	60,0 / 46,9	66,4 / 65,6	66,2 / 65,1	n.b.
Propionat (mol/mol)	21,14 / 21,52	k.A.	21,1 / 22,4	32,5 / 37,6	20,4 / 21,4	19,9 / 20,7	n.b.
Butyrat (mol/mol)	13,3 / 11,33	k.A.	12,6 / 12,0	12,17 / 9,48	10,4 / 10,5	10,7 / 11,2	n.b.
A : P	k.A.	k.A.	3,0 / 2,8	2,0 / 1,31	3,28 / 3,08	3,34 / 3,19	n.b.

NaHCO<sub>3</sub> / Kontrolle

keine Angaben (k.A.), Angaben nicht vergleichbar (A.n.v.), nicht berücksichtigt (n.b.), Trockenmasseaufnahme (TMA)

## 2.3 Untersuchungsmethoden

### 2.3.1 Netto-Säure-Basen-Ausscheidung

Die Messung des pH-Wertes gibt Aufschluss über das Maß der freien undissoziierten Wasserstoffionen, während die Bestimmung der Netto-Säure-Basen-Ausscheidung (NSBA) sämtliche Wasserstoffionen erfasst. Die Bestimmung der Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung bietet ein geeignetes Diagnostikum zur Beurteilung der Gesundheit im Hinblick auf Störungen des Säure-Basen-Haushaltes. Hierbei macht man sich zu Nutze, dass die renale Elimination beim Rind den wesentlichen Regulationmechanismus des Säure-Basen-Haushaltes darstellt (KUTAS, 1966). Änderungen des pH-Wertes treten erst nach Erschöpfung der Pufferkapazität zu Tage, während die NSBA bereits die stattfindende Pufferung anzeigt.

Durch die Erfassung der renalen Elimination sind azidotische Belastungen schon vor dem Auftreten von Veränderungen von Metaboliten im Blut nachweisbar (CAKALA, 1979; FÜRLL, 1993; FÜRLL *et al.* 1994; KRAFT, 1999). So wird es möglich, chronische, fütterungsbedingte Belastungen des Säure-Basen-Systems zu erkennen. Außer den Veränderungen in der Gesamt-NSBA können chronisch-azidotische Belastungen durch Verschiebungen des Basen-Säure-Verhältnisses (BSQ) mit mäßigem  $\text{NH}_4^+$ -Anstieg erkannt werden. Akute azidotische Situationen mit massivem Anfall von  $\text{H}^+$ -Ionen äußern sich in einem starken Anstieg der  $\text{NH}_4^+$ -Konzentration (KRAFT, 1999).

KUTAS (1965) beschrieb als erster die Anwendung der NSBA in der Veterinärmedizin, beruhend auf dem von JØRGENSEN (1957) beschriebenen Prinzip. Sie ist eine Methode mit geringem technischem Aufwand und schnell durchführbar (KUTAS, 1967). Zudem lässt sich die Untersuchungsmatrix vergleichsweise einfach gewinnen. Das Prinzip der Bestimmung der NSBA ist die Titration einer quantitativ unbekanntes Substanz, wobei zwei Formen unterschieden werden: die einfache und die fraktionierte NSBA. Die einfache NSBA ist eine einfache Titration, bei der nur die Gesamt-NSBA titrimetrisch erfasst wird. Die fraktionierte NSBA ist in der Durchführung (siehe dazu Kapitel 3.5.2.2) etwas

aufwändiger, bietet aber die Möglichkeit der Betrachtung und Beurteilung der einzelnen Fraktionen Basen, Säuren,  $\text{NH}_4^+$  und die Berechnung des Basen-Säuren-Quotienten, was für die Beurteilung subklinischer azidotischer Belastungen vorteilhaft ist. Die zur Beurteilung herangezogenen Referenzwerte sind in Tabelle 3 dargestellt.

**Tabelle 3: Übersicht Autoren und Referenzwerte der NSBA**

Parameter	Einheit	Autor, Jahr	Referenzbereich	Anmerkung
NSBA <sup>1</sup>	mmol/l	Kutas, 1967		
		Fürll <i>et al.</i> , 1997	>100	
		Kraft, 1999	< 250	1
		Kraft, 1999	80-220	
			0-60	2
Basen	mmol/l	Fürll, 1993	150-220	
		Fürll <i>et al.</i> , 1997	< 300	1
		Kraft, 1999	150-250	
		Kraft, 1999	20-250	2
Säuren	mmol/l	Fürll, 1993	50-100	
		Kraft, 1999	50-100	
		Kraft, 1999	20-120	2
BSQ <sup>2</sup>		Fürll <i>et al.</i> , 1997	< 4,3	1
		Kraft, 1999	2,5-4,8	
		Kraft, 1999	1,5-4,2	2
$\text{NH}_4^+$	mmol/l	Fürll, 1993	< 10	
		Kraft, 1999	< 10	
		Kraft, 1999	< 25	2

1: zwei Wochen *ante partum*

2: kraftfutterreich gefütterte Hochleistungskühe in der Früh lactation

<sup>1</sup>Netto-Säure-Basen-Ausscheidung, <sup>2</sup>Basen-Säuren-Quotient

## **3. Material und Methoden**

### **3.1 Überblick**

In der Zeit vom 15. Januar bis zum 31. Oktober 2006 wurde im Landwirtschaftszentrum der Landwirtschaftskammer NRW „Haus Riswick“ in Kleve ein Fütterungsversuch mit 2 x 20 hochleistenden Milchkühen durchgeführt.

Die Trockenmasse des Grobfutters bestand ca. zu 70 % aus Grassilage und zu 30 % aus Maissilage. Milchleistungsfutter wurde in Abhängigkeit von der Milchleistung über einen Automaten vorgelegt. Futteraufnahme, Milchleistung und Trockenmasse-(TM)-gehalt des Grobfutters wurden täglich bestimmt. Im Laufe des Versuchs wurden Proben der einzelnen Rationskomponenten, sowie von Pansensaft, Kot und Harn gewonnen, zudem die Körpergewichte und Rückenfettdicken festgestellt. Am Ende des Versuchs wurden von jedem Tier die Fruchtbarkeitsdaten ermittelt. Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich auf die ersten 105 Laktationstage *post partum* eines jeden Tieres, die Daten der Fruchtbarkeitsleistungen wurden darüber hinaus bis zum nächsten Kalbedatum gesammelt.

### **3.2 Versuchsaufbau**

Es wurden 2 x 20 ausgewählte Kühe aus einer bestehenden Stallgruppe auf zwei Gruppen aufgeteilt. Die Tiere erhielten eine aufgewertete Mischration, deren Grobfutteranteil auf Basis der Trockenmasse zu 70 % aus Grassilage und zu 30 % aus Maissilage bestand. Die Ration wurde mit einem Protein- und Mineralstoffergänzer zu einer Mischration aufgewertet. Milchleistungsabhängige

Kraftfuttergaben wurden den Tieren über einen Automaten in der Melkbox vorgelegt. Dabei wurde für die Versuchsgruppe 1 kg Basiskraftfutter mit 80 g Natriumhydrogenkarbonat (Produkt: „Bicar Z“ der Firma SOLVAY, Rheinberg, Deutschland) versetzt, wovon jedem Tier dieser Gruppe 3,24 kg vorgelegt wurden. Somit wurde jedem Tier der Versuchsgruppe 240 g Natriumbikarbonat pro Tag zugeführt. Die Tiere der Kontrollgruppe erhielten, bei ansonsten gleicher Rationsgestaltung, ausschließlich Basiskraftfutter ohne Zusatz von  $\text{NaHCO}_3$ .

Über computergestützte Wiegetröge wurde die tägliche Aufnahme des Grobfutters jeden Tieres festgestellt, ebenso über den Melkautomaten die tägliche Milchleistung und die Kraftfuttergaben. Das Grobfutter wurde täglich auf TM-Gehalt untersucht und chargenweise auf Nährstoff- und Energiegehalte analysiert. Mit den so erhaltenen Daten konnten TM-Aufnahme, Nährstoffversorgung, Milchleistungen und Energiebilanzen berechnet und vergleichbar gemacht werden.

Der Beobachtungszeitraum bezog sich auf die ersten 105 Laktationstage *post partum*. Während dieser Zeit wurden von jedem Tier viermal Pansensaft und viermal Kot und Harn gewonnen. Die Kühe wurden in diesem Zeitraum ebenfalls viermal gewogen, wobei auch die Rückenfettdicke bestimmt wurde. Die Pansensaftproben wurden auf pH-Wert und Fettsäuremuster untersucht. Die Kotproben wurden gleichfalls auf pH-Wert, N-Gehalt und Trockenmassegehalt analysiert. Der Harn wurde einer fraktionierten NSBA-Bestimmung unterzogen und der pH-Wert bestimmt. Während des genannten Zeitraumes wurden die Fruchtbarkeitsdaten Rastzeit (RZ), Besamungsindex (BI), Erstbesamungserfolg (EBE) und Zwischentragezeit (ZTZ) aller Tiere ermittelt. Die Daten hinsichtlich der Zwischenkalbezeit (ZKZ) und der Abgangsursachen wurden über die ersten 15 Laktationswochen hinaus gesammelt.

### **3.3 Tiere und Haltung**

#### **3.3.1 Versuchstiere**

Die im Versuch eingesetzten 2 x 20 Milchkühe der Rasse „Deutsche Holstein“ wurden nach den Kriterien Laktationsnummer, Milchmenge der Vorlaktation bei Kühen, sowie dem Erstkalbealter bei Färsen und dem Körpergewicht zusammengestellt. Es wurden Tiere aus in den ersten acht Versuchswochen

kalbenden Kühen und Färsen paarweise nach den genannten Kriterien ausgewählt und den Gruppen zugeordnet. Tabelle 4 zeigt die Verteilung der Tiere innerhalb einer und auf beide Gruppen.

**Tabelle 4: Aufteilung der Versuchstiere**

	<b>Versuchsgruppe</b>		<b>Kontrollgruppe</b>	
	Anzahl	Anteil (%)	Anzahl	Anteil (%)
Färsen	12	60	11	57,9
Kühe 2. Lkt	3	15	3	15,8
Kühe 3. Lkt	3	15	1	5,3
Kühe 4. Lkt	1	5	2	10,5
Kühe 5. Lkt	0		0	
Kühe 6. Lkt	1	5	1	5,3
Kühe 7. Lkt	0		1	5,3
<b>n</b>	<b>20</b>		<b>19</b>	

Laktation (Lkt), Anzahl (n)

In der Kontrollgruppe waren die Daten eines Tieres nicht vollständig und wurden nicht berücksichtigt, daher beträgt die Anzahl der Kontrollprobanden 19 Tiere. Die Einteilung wurde betriebsintern durch das Personal des Landwirtschaftszentrums „Haus Riswick“ durchgeführt.

### 3.3.2 Haltung und Melkung

Die Versuchs- und Kontrolltiere wurden im Verbund mit anderen, nicht in den Versuch involvierten Kühen in einer Gesamtgruppenstärke von 52 Tieren in einem Boxenlaufstall gehalten. Der Stall hatte einen Spaltenboden mit automatischer Schieber-Entmistung und verfügte über Hochliegeboxen mit einem Gefälle von 4 % und einer Größe von 2,5 m x 1,15 m. Jede Liegebox war mit einer Schaummatratze ausgelegt. Die Tiere hatten jederzeit freien Zugang zu den Tränken und den Futtertrögen. Jeder der 24 Einzelfresströge war mit einer elektronischen Waage verbunden, die mittels Transponder jedes Tier erkannte und somit die Futteraufnahme aus dem Trog tierindividuell dokumentierte. Am Ende jeden Tages wurde automatisch von jedem Tier ein Protokoll über die jeweils aufgenommene Gesamtfuttermenge erstellt. Die Kühe wurden durch ein automatisches Melksystem

gemolken. Hierbei handelt es sich um den Melkroboter „Merlin“ der Firma Lemmer-Fullwood, Lohmar, Deutschland. Die Tiere konnten jederzeit, soweit er nicht gerade besetzt war, den Melkroboter freiwillig aufsuchen, um sich melken zu lassen. Betriebsinterne Beobachtungen haben ergeben, dass jede Kuh im Durchschnitt 3,5-mal täglich den Melkroboter aufsuchte. Die computergesteuerte Anlage registrierte dabei jedes Tier und ermittelte fortlaufend den Milchfluss aus jeder Zitze und errechnete so die Gesamtmilchmenge. Die registrierten Daten jeden Gemelkes wurden von 0:00 bis 24:00 Uhr durch den Computer aufgezeichnet und standen so für jeden Tag und jedes Tier zur Verfügung. Zweimal monatlich entnahm der Melkautomat Milchproben von jedem Tier für die Milchleistungsprüfung. An die Einzelmelkbox war eine Krafftutterstation mit zwei getrennten Futtersilos angeschlossen, die beim Melken die errechnete Krafftuttermenge für das entsprechende Tier freigab. Hierbei wurde den Tieren der Versuchsgruppe das bikarbonathaltige Krafftutter vorgelegt.

### **3.4 Rationsgestaltung**

Während des Versuches wurde den Tieren beider Gruppen eine aufgewertete Mischration zweimal täglich um 7:00 Uhr und um 18:00 Uhr frisch zur Aufnahme *ad libitum* vorgelegt. Der Grobfutteranteil bestand in etwa zu 70 % aus Grassilage und zu 30 % aus Maissilage auf Basis der Trockenmasse. Das Grobfutter wurde nach Bedarf mit einem Protein- und Mineralstoff-ergänzungsfutter zu einer Mischration aufgewertet, die die Hinweise der DLG zur Versorgung von Kühen mit einer Leistung von etwa 24 kg Milch erfüllte (DLG-Info 1/2001 und 2/2001). Tabelle 5 gibt die Anteile der Einzelkomponenten der Mischration wieder.

**Tabelle 5: Komponenten der Mischration "as fed"**

<b>Komponenten</b>	<b>Anteil (%)</b>
Grassilage	55,7
Maissilage	24,7
Ergänzer	18,9
Futterkalk	0,2
Mineralfutter	0,5

Aufgrund der Analysen der fertigen Mischration wie sie den Tieren vorgelegt wurde, ergeben sich folgende durchschnittliche Energie- und Nährstoffgehalte (Tabelle 6):

**Tabelle 6: durchschnittlicher Energie- und Nährstoffgehalt der Mischration**

<b>Parameter</b>	<b>Einheit<sup>1</sup></b>	<b>Gehalt</b>
Trockenmasse	g/kg FM	404
Rohasche		90
Rohprotein		163
Rohfaser		186
Stärke		147
Zucker		34
ADF <sub>om</sub>		393
NDF <sub>om</sub>		208
Strukturwert		1,9
nXP		148
RNB		2,5
<b>NEL</b>	<b>MJ/kg TM</b>	<b>6,7</b>
Calcium		5,4
Phosphor		3,9
Natrium		1,8
Kalium		23,3
Magnesium		1,7

<sup>1</sup>g/kg Trockenmasse, wenn nicht anders angegeben, Frischmasse (FM)



Milchleistungen, die über 24 kg Milch pro Tag bei Kühen und 22 kg Milch pro Tag bei Färsen hinausgingen, wurden durch leistungsabhängige Kraftfutterzuteilungen im Melkautomaten erfüllt. Für das Milchleistungsfutter (Basiskraftfutter) galten folgende Vorgaben pro kg Futter:

Mindestens 7,0 MJ NEL  
 180 g nXP  
 50-70 g Zucker  
 300-350 g Stärke, davon etwa 30 g beständige Stärke.

Die Zusammensetzung des Ergänzers und des Basiskraftfutters und die Anteile der Einzelkomponenten gehen aus Tabelle 7 hervor:

**Tabelle 7: Anteile (%) der Einzelkomponenten in Mineralstoffergänzer und Kraftfutter**

<b>Komponente</b>	<b>MSE</b>	<b>KF</b>
Körnermais	6,0	3,0
Weizen	39,0	10,0
Triticale	3,3	28,5
Melasse	3,0	4,0
Trockenschnitzel	-	9,0
Weizenkleie	-	8,0
Sojaextraktionsschrot	16,9	-
Sojaextraktionsschrot,geschützt	-	11,7
Rapsextraktionsschrot	20,0	4,0
Rapsexpeller	9,0	8,0
Weizenkleberfutter	-	12,0
Mineralfutter	2,8	1,8
<b>Summe</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Mineralstoffergänzer (MSE), Kraftfutter (KF)

Die Kraftfutterzuteilung erfolgte leistungsabhängig für beide Gruppen und nach den Vorgaben der DLG (DLG-Info 1/2001). Für die Versuchsgruppe wurde ein Kilogramm Basiskraftfutter mit 80 g Natriumbikarbonat versetzt. Hierbei handelte es sich um das Produkt „Bicar Z“ der Firma Solvay. Von diesem Versuchskraftfutter wurde den Tieren der Versuchsgruppe 3,24 kg vorgelegt, womit jedem Tier 240 g Natriumbikarbonat pro Tag zugeführt wurden. Für Kraftfutteranreichte über 3,24 kg hinaus wurde wieder Basiskraftfutter vorgelegt.

Eine Übersicht über die analysierten Nährstoffgehalte der beiden eingesetzten Kraftfutter gibt Tabelle 8.

**Tabelle 8: Analytierte Nährstoffe der Kraftfutter**

		<b>Basiskraftfutter</b>	<b>Versuchskraftfutter</b>
Trockenmasse	g/kg TM	878,0	884,0
Rohasche	g/kg TM	59,0	101,0
Rohprotein	g/kg TM	217,0	206,0
Rohfett	g/kg TM	35,0	34,0
Rohfaser	g/kg TM	72,0	67,0
Gasbildung	ml/200 mg TM	59,7	55,3
<b>NEL (geschätzt)</b>	<b>g/kg TM</b>	<b>7,95</b>	<b>7,4</b>

Netto Energie Laktation (NEL)

Der Zusatz von Natriumbikarbonat im Versuchskraftfutter drückt sich in der Analyse als höherer Gehalt an Rohasche aus. Dieser höhere Wert liegt etwa im Bereich des rechnerisch zu erwartenden Wertes.

Alle Futtermittelanalysen wurden durch die LUFA NRW in Münster gemäß den Methoden des VDLUFA durchgeführt. Beide Kraftfuttersorten wurden zusätzlich einer Verdaulichkeitsmessung an fünf Hammeln nach den Vorschriften der GfE (1991) zur Messung der Verdaulichkeit beim Wiederkäuer unterzogen.

## 3.5 Beschreibung der Methoden

Im Folgenden werden die Maßnahmen zur Gewinnung der Proben vom Tier, die Verpackung und Lagerung dieser Proben, sowie die Durchführung der Analysemethoden im Labor beschrieben. Des Weiteren wird die statistische Bearbeitung der ermittelten Werte aus Tierdaten und Laborergebnissen beleuchtet.

### 3.5.1 Gewinnung und Lagerung der Proben

#### 3.5.1.1 Pansensaft

Der Beobachtungszeitraum des Versuchs erstreckte sich auf die ersten 15 Laktationswochen jeder Kuh. In dieser Zeit wurden von jedem Tier viermal in regelmäßigen Abständen, das heißt alle vier Wochen, beginnend in der ersten Woche *post partum*, Pansensaftproben gewonnen. Die Probennahme fand an den festgesetzten Tagen regelmäßig zwischen 9:00 und 11:00 Uhr statt. Der genaue Zeitpunkt nach dem Melken ist für jedes Tier aufgrund der Gegebenheit, dass die Tiere selbständig zum Melkroboter gehen, nicht festzulegen.

Alle Tiere wurden zur Gewinnung der Pansensaftproben in einem Fressfanggitter fixiert. Es wurde die flexible Spiralsonde „Ruminator“ der Firma profs-products, Wittibreut, mit einer Länge von 3,8 Metern durch den Oesophagus in den Pansen bis zur werkseitig angebrachten Markierung vorgeschoben, wodurch die schwere metallene Ansaugspindel im ventralen Pansensack zu liegen kam. Von hier wurde durch Erzeugung eines Unterdrucks im Auffanggefäß Pansensaft gewonnen. Die ersten gewonnenen 250 ml wurden verworfen, um eine Kontamination mit Speichel, der beim Einführen der Sonde mitgezogen werden kann, so gering wie möglich zu halten. Auf diese Weise wurden etwa weitere 500 ml Pansensaft gewonnen, die sofort einer pH-Wert-Messung unterzogen wurden. Etwa 50 ml des Pansensaftes wurden direkt in ein dicht schließendes, gefriergeeignetes Probengefäß der Firma

Sarstedt, Nümbrecht, überführt und sofort tiefgefroren. Die Probengefäße wurden mit der Tiernummer, dem Datum der Probennahme und der Probennummer versehen. Die pH-Wert-Messung wurde mit dem tragbaren pH-Meter „pH 330“ der Firma WTW (Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, Weilheim), nach Kalibrierung auf pH 4 und pH 7 durchgeführt. Die Werte wurden tierbezogen schriftlich dokumentiert. Die Proben wurden bei -20 °C gelagert und bis zum Analysezeitpunkt nicht aufgetaut.

### 3.5.1.2 Kot und Harn

Kot wurde, analog zum Pansensaft, viermal im Laufe des Versuchs von jedem Tier gewonnen. Es wurden 1,5 bis 2 kg Kot entweder direkt beim Absetzen aufgefangen oder manuell dem Rektum des entsprechenden Tieres entnommen. Als Auffanggefäß wurden handelsübliche Gefrierbeutel aus Polyethylen verwendet. Jeweils zwei Beutel wurden ineinander gelegt, mit der Tiernummer, Datum der Probennahme und der Probennummer versehen. Nach erfolgter Probennahme wurden die Beutel entlüftet, verschlossen und sofort tiefgefroren. Die Lagerung erfolgte bei -20 °C bis zum Analysezeitpunkt.

Harn wurde im gleichen Umfang und an denselben Tagen wie die Kotproben gewonnen. Dabei wurde spontan abgesetzter Harn oder durch manuelle Reizung des perivaginalen Bereichs provoziert abgesetzter Harn in dicht schließenden, tiefgefriergeeigneten 200-ml-Kunststofffläschchen (Fa. Sarstedt) aufgefangen. Direkt nach der Gewinnung wurde der pH-Wert jeder Probe mittels oben genannten pH-Meters bestimmt und dokumentiert. Nach abgeschlossener Messung wurden die Proben sofort tiefgefroren und bei -20 °C gelagert .

### 3.5.1.3 Milch

Da alle Tiere des Versuches über einen Melkroboter gemolken wurden, erfolgte die Milchprobennahme alle zwei Wochen im Rahmen der Milchleistungsprüfung automatisch durch den Melkroboter. Die Proben wurden durch den Landeskontrollverband Nordrhein-Westfalen auf Milchfett- und Proteingehalt absolut und prozentual analysiert, sowie auf den Gehalt an somatischen Zellen und Harnstoff untersucht. Die Proben wurden nach erfolgter Milchleistungsprüfung nicht gelagert.

### 3.5.1.4 Futtermittel

Die vorgelegte Mischration wurde täglich auf den Trockensubstanzgehalt untersucht. Dazu wurde ein Quantum der Ration gewogen und nach 24-stündiger Trocknung bei 105 °C im Trockenschrank zurückgewogen.

Von der vorgelegten Mischration wurde wöchentlich je eine Probe gewonnen und sofort in Kunststoffbeuteln tiefgefroren. Je eine Sammelprobe der gesamten Mischration sowie Proben der einzelnen Krafftutterchargen wurden durch die LUFA Münster, mit dem WEENDER Verfahren analysiert. Tabelle 9 gibt einen Überblick über die durchgeführten Analysen und deren Methodik.

**Tabelle 9: Prüfparameter und -methoden der Futtermittel**

Rohfett	(XL)	NIRS bzw. VDLUFA Bd. III, 5.1.1
Rohfaser	(XF)	NIRS bzw. VDLUFA Bd. III, 6.1.1
Rohasche	(XA)	VDLUFA Bd. III, 8.1
NDF <sub>om</sub>		NIRS bzw. VDLUFA Bd. III, 6.5.1
ADF <sub>om</sub>		NIRS bzw. VDLUFA Bd. III, 6.5.2
Zucker	(XZ)	NIRS bzw. VDLUFA Bd. III, 7.1.1
Trockensubstanz, Wasser		VDLUFA Bd. III, 3.1
NEL, RNB, nXP		berechnet nach DLG-Formel

Organischer Anteil der Neutralen-Detergenzien-Faser (NDF<sub>om</sub>), organischer Anteil der Säure-Detergenzien-Faser (ADF<sub>om</sub>), Netto Energie Laktation (NEL), ruminale Stickstoffbilanz (RNB), nutzbares Rohprotein am Duodenum (nXP)

### 3.5.2 Probenaufbereitung und labortechnische Analysemethoden

#### 3.5.2.1 Pansensaft

Die Pansensaftproben wurden am Vorabend der Untersuchung aus der Gefrierlagerung entnommen und verschlossen bei Zimmertemperatur über Nacht aufgetaut. Nach gründlicher Durchmischung wurden der Gesamtgehalt an flüchtigen Fettsäuren und die einzelnen Fraktionen Acetat, Propionat und Butyrat gaschromatographisch bestimmt.

Dazu wurden die Proben 15 Minuten bei 13.000 U/min zentrifugiert. Jeweils 1000 µl wurden mit 1 µl Ameisensäure versetzt und nochmals in gleicher Weise zentrifugiert. Der Überstand wurde in die Untersuchungsgefäße der Apparatur überführt.

Die Analyse der flüchtigen Fettsäuren erfolgte im Gaschromatographen „AutoSystem“ der Fa. Perkin-Elmer, Waltham, Massachusetts, USA, der mit einer Fused-Silicia-Kapillarsäule „Optima FFAP-0,25  $\mu\text{m}$ “ (25 m Länge, 0,32 mm Innendurchmesser, 0,25  $\mu\text{m}$  Filmdicke; Fa. Macherey-Nagel, Düren) ausgestattet war, mittels eines Flammenionisationsdetektors, wobei Helium als Trägergas eingesetzt wurde. Zur Kalibrierung des Gerätes wurden Standards der C2 bis C7-Säuren (Fa. Sulpeca Kat. Nr. 46975 U) eingesetzt, Nach der Kalibrierung des Gerätes wurden die aufbereiteten Proben durch splitlose Injektion in den Gaschromatographen zur Messung überführt.

### 3.5.2.2 Harn

Zur Analyse des Harns wurden am Vorabend der Untersuchung die Probengefäße mit den zu untersuchenden Harnproben aus der Tiefgefrierlagerung entnommen und über Nacht bei Zimmertemperatur aufgetaut. Die Gefäße blieben dabei verschlossen. Direkt nach dem Öffnen der aufgetauten Proben wurde der pH-Wert mit dem Glaskolben-pH-Meter „Microprocessor pH 333“ der Firma WTW, Weilheim, nach Kalibrierung auf pH 4 und pH 7 gemessen und dokumentiert.

Zur Bestimmung der fraktionierten Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (fNSBA), wurde die Titration nach KUTAS (1965) durchgeführt. Dazu wurden 10 ml Harn geschüttelt und mit Salzsäure auf pH 3,5 titriert. Das verbrauchte Volumen der Salzsäure findet sich in der u. g. Formel als  $V_{\text{HCl}}$ . Danach wurde die Probe erhitzt und 30 Sekunden gekocht. Nach dem Abkühlen wurde mit 0,1 %iger Natronlauge ( $\text{NaOH}_{(1)}$ ) auf pH 7,4 auftitriert. Nach der Zugabe von 10 ml einer 20 %igen Formaldehydlösung wurde erneut mit Natronlauge ( $\text{NaOH}_{(2)}$ ) auf pH 7,4 titriert.

Dabei berechnen sich:

$$\text{Basen (mmol/l)} = V_{\text{HCl}} \times 100$$

$$\text{Säuren (mmol/l)} = V_{\text{NaOH}_{(1)}} \times 10$$

$$\text{NH}_4 \text{ (mmol/l)} = V_{\text{NaOH}_{(2)}} \times 10$$

$$\text{Basen-Säuren-Quotient} = \text{Basen} : \text{Säuren}$$

$$\text{NSBA (mmol/l)} = [(V_{\text{HCl}} \times 10) - (V_{\text{NaOH}_{(1)}} + V_{\text{NaOH}_{(2)}})] \times 10$$

### 3.5.2.3 Kot

Die verschlossenen Kotproben wurden analog zu den Harnproben am Vorabend des Untersuchungstages aus der Tiefgefrierlagerung geholt und ungeöffnet über Nacht bei Zimmertemperatur aufgetaut. Zur Messung des pH-Wertes wurden 25 g einer Kotprobe in ein Becherglas eingewogen und mit der gleichen Menge *aqua bidest* versetzt. Mittels Magnetrührverfahrens wurden die Ansätze über 10 Minuten gerührt. Der pH-Wert wurde anschließend mit oben genanntem Gerät in gleicher Weise ermittelt. Die Stickstoffanalyse wurde mit dem Standardverfahren nach KJELDAHL durchgeführt.

Der N-Gehalt wurde berechnet nach:

$$N = \frac{(V_0 - V_1) \times c \times 0,014 \times 1000}{m}$$

- V<sub>0</sub> = Volumen der beim Titrieren des Blindwertes verbrauchten NaOH (ml)
- V<sub>1</sub> = Volumen der beim Titrieren der Probe verbrauchten NaOH (ml)
- c = Konzentration der NaOH (mmol/l)
- m = Masse der Probe (g)
- 0,014 = molare Masse von Stickstoff (kg/mol)

Die Bestimmung der Trockensubstanz wurde als Dreifachbestimmung durchgeführt. Dazu wurden jeweils 30 g Kot in getrockneten Tiegel eingewogen und anschließend über jeweils 24 Stunden bei zunächst 60 °C und dann 100 °C im Trockenschrank getrocknet und anschließend zurückgewogen. Die so behandelten Proben wurden weiterhin zur Bestimmung der organischen Masse (OM) herangezogen. Dazu wurden die trockenen Proben über 24 Stunden bei 550 °C im Muffelofen verascht und zurückgewogen. Der ermittelte Rohascheanteil (XA) wurde mit der zuvor bestimmten Trockenmasse nach  $OM = TM - XA$  verrechnet.

Die Schätzung der Verdaulichkeit der eingesetzten Mischration wurde mit der von LUKAS *et al.* (2005) entwickelten Regressionsgleichung durchgeführt, wobei die analysierten Rohproteingehalte in der organischen Masse der Kotproben exponentiell zum Verdaulichkeitswert der Mischration in Beziehung gesetzt werden können. Die Modellgleichung lautet:

$$y = a - be^{(-c \cdot x)}$$

Dabei gilt:

y = Verdaulichkeit der organischen Masse der Ration (%)

a = 79,76

b = 107,7

c = 0,01515

x = Rohprotein in der organischen Masse des Kotes (g/kg OM)

### 3.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der ermittelten Daten wurden am Institut für Tierwissenschaften der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn durchgeführt. Mithilfe des SAS-Programms Version 9.1 wurde ein gemischtes lineares Modell untersucht. Es kam die Methode REML (Restricted Maximum Likelihood) zur Varianzkomponentenschätzung und der Freiheitsgradapproximation unbalancierter Daten in gemischten Modellen bei normalverteilten Zufallsvariablen zur Anwendung. Die Messungen wurden als wiederholte Messungen (mixed) je Kuh (random Kuh) angesehen, wobei Kuh und Gruppe Klassenmerkmale waren. Im Modell wurde die Beziehung zwischen der abhängigen Variablen (verschiedene Merkmale) von der unabhängigen Variablen (Gruppenzugehörigkeit) ermittelt. Über die lsmeans wurde die Aussage getroffen, ob sich das untersuchte Merkmal in den Gruppen signifikant unterscheidet. Das Signifikanzniveau wurde bei p-Wert < 0,1 festgelegt.

Die den Berechnungen zu Grunde liegende Gleichung lautet:

$$y_{ij} = \mu + G_i + T_j + e_{ij}$$

wobei gilt:

y = Beobachtung

$\mu$  = Gesamtmittelwert

G = Effekt der Gruppe

T = Effekt des Tieres

e = Restfehler



## 4. Ergebnisse

### 4.1 Futteraufnahme, Produktionsleistung und Energiebilanz

In Tabelle 10 befinden sich die Angaben zu den Futteraufnahmen, differenziert nach der Aufnahme aus der Mischration und den am Melkautomaten tierindividuell zugeteilten Mengen an Milchleistungsfutter. In der Kontrollgruppe beträgt die mittlere Futteraufnahme 17,4 kg TM pro Tier und Tag. Die Tiere der Versuchsgruppe nehmen mit 17,9 kg TM nicht mehr TM als die Kontrolltiere auf. Eine Differenz lässt sich auch statistisch nicht erkennen ( $p = 0,67$ ).

**Tabelle 10: Mittelwerte und Streuungsbreiten der Futter- und Energiemengen**

	Mittelwert		Minimum		Maximum		Spannweite	
	Kt	Vs	Kt	Vs	Kt	Vs	Kt	Vs
<b>n<sub>st</sub></b>	1995	2100						
<b>TM (kg)</b>	17,37	17,94	6,68	5,33	26,53	24,67	19,85	19,34
<b>TM (% LM)</b>	2,78	2,82	1,03	1,11	3,92	4,76	2,89	3,66
<b>GF (kg TM)</b>	10,56	11,22	1,51	3,21	17,11	18,11	15,61	14,91
<b>KF (kg TM)</b>	6,81	6,72	1,52	1,59	9,66	9,69	8,14	8,11
<b>NEL (MJ)</b>	124,77	126,87	48,34	37,33	188,47	175,99	140,13	138,36

Stichprobenumfang ( $n_{st}$ ), Trockenmasse (TM), Grobfutter (GF), Kraftfutter (KF), Netto-Energie-Laktation (NEL),  $n_{kt} = 19$ ,  $n_{vs} = 20$

Die ermittelten Werte der Futteraufnahmen zeigen im Vergleich der beiden Gruppen bei keiner der genannten Futterkomponenten eine besondere Mehraufnahme. Alle Werte liegen sehr dicht beieinander, wodurch sich in der Varianzanalyse entsprechende Ergebnisse zeigen und auch die Gesamtaufnahme an Energie keine Differenz aufzeigt.

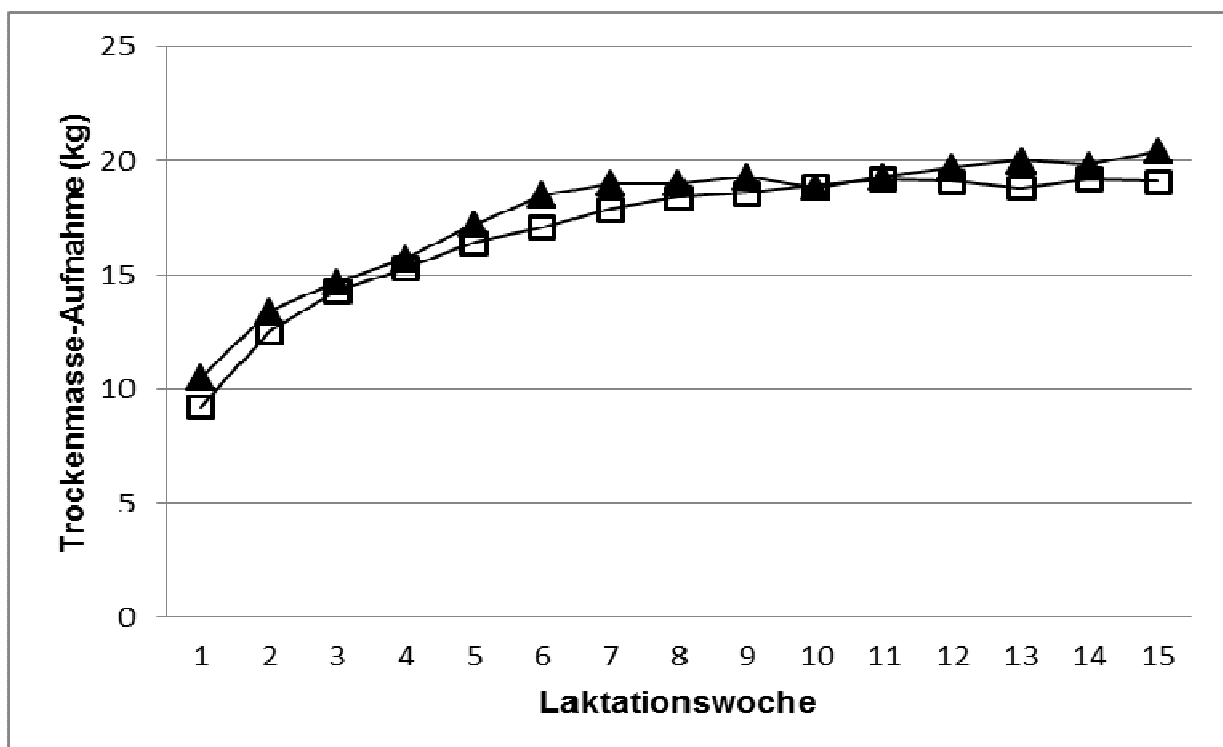
## Ergebnisse

**Tabelle 11: statistische Analyse der Futterdaten**

	Kontrolle		NaHCO <sub>3</sub>		p
	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	
<b>n<sub>St</sub></b>	1995		2100		
<b>TM (kg)</b>	17,37	0,687	17,94	0,669	0,6701
<b>TM (% LM)</b>	2,78	0,094	2,82	0,091	0,7956
<b>GF (kg TM)</b>	10,56	0,507	11,22	0,494	0,4587
<b>KF (kg TM)</b>	6,81	0,221	6,72	0,215	0,7125
<b>NEL (MJ)</b>	124,77	4,91	126,87	4,78	0,8878

Stichprobenumfang (n<sub>St</sub>), Trockenmasse (TM), Grobfutter (GF), Kraffutter (KF), Netto-Energie-Laktation (NEL), Standardfehler (SE), n<sub>Kt</sub> = 19, n<sub>Vs</sub> = 20

Abbildung 3 kann der Verlauf der Trockenmasseaufnahme während des Beobachtungszeitraumes entnommen werden. Beginnend mit Aufnahmen von etwa 10 kg TM in der ersten Woche nach der Kalbung werden in etwa ab der siebenten Woche Werte von knapp 20 kg TM erreicht, die auch bis zur 15. Laktationswoche beibehalten werden. Unterschiede zwischen beiden Gruppen bzw. Schwankungen lassen sich bei Betrachtung des Verlaufs über 15 Laktationswochen nicht erkennen.



**Abbildung 3: TM-Aufnahme/Tier und Tag über 15 Laktationswochen ▲ = NaHCO<sub>3</sub>, □ = Kontrolle**

## Ergebnisse

Über die Milchmengen und Milchzusammensetzung informiert Tabelle 12. Die Kühe der Kontrollgruppe erzielen eine tägliche Milchmenge von 36,4 kg, womit sie den Tieren der Versuchsgruppe mit einer Leistung von 35,2 kg geringfügig aber nicht signifikant überlegen sind. Der Maximalwert der Milchleistung in der Versuchsgruppe ist mit einer Differenz von 4,6 kg höher, gleichzeitig rangiert der Minimalwert der Versuchsgruppe bei 9,3 kg und ist daher dem der Kontrollgruppe um 7,6 kg unterlegen. Bezüglich der Milchfett- und Milchproteingehalte bestehen ebenfalls keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen, so dass auch die Menge an energiekorrigierter Milch (ECM), analog zur natürlichen Milchmenge, keinen signifikanten Unterschied ausweist.

**Tabelle 12: Milchmengen, energiekorrigierte Milch, Milchinhaltsstoffe**

	Mittelwert		Minimum		Maximum		Spannweite	
	Kt	Vs	Kt	Vs	Kt	Vs	Kt	Vs
<b>n<sub>St</sub></b>	1995	2100						
<b>Milch (kg)</b>	36,45	35,22	16,89	9,32	56,54	61,14	39,64	51,82
<b>ECM (kg)</b>	34,43	33,09	16,00	8,91	62,39	56,61	46,41	47,71
<b>Fett (%)</b>	3,64	3,64	2,55	1,78	5,67	7,35	3,12	5,57
<b>Protein (%)</b>	3,17	3,15	2,62	2,55	3,52	3,71	0,91	1,16

Kontrollgruppe (Kt), Versuchsgruppe (Vs), Stichprobenumfang (n<sub>St</sub>), energiekorrigierte Milch (ECM), n<sub>Kt</sub> = 19, n<sub>Vs</sub> = 20

**Tabelle 13: Varianzanalyse der Milchproduktionsdaten**

	Kontrolle		NaHCO <sub>3</sub>		p
	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	
<b>n<sub>St</sub></b>	1995		2100		
<b>Milch (kg)</b>	36,45	1,66	35,22	1,61	0,6144
<b>ECM (kg)</b>	34,43	1,59	33,09	1,55	0,5395
<b>Fett (%)</b>	3,64	0,06	3,64	0,06	0,9031
<b>Eiweiß (%)</b>	3,17	0,02	3,15	0,02	0,5889

Stichprobenumfang (n<sub>St</sub>), energiekorrigierte Milch (ECM), Standardfehler (SE), n<sub>Kt</sub> = 19, n<sub>Vs</sub> = 20

## Ergebnisse

Der Verlauf der Milchleistungskurven über den Beobachtungszeitraum kann Abbildung 4 entnommen werden. Nach der Kalbung rangieren beide Gruppen bei ca. 23 kg energiekorrigierter Milch pro Tag. Die Leistung steigert sich bis zum Ende der vierten Woche, wo ein Leistungsniveau von etwa 35 kg ECM pro Tag erreicht wird. Diese Leistung wird im Wesentlichen über die gesamte Versuchszeit gehalten. Differenzen im Laktationsverlauf lassen sich zwischen den Gruppen nicht erkennen.

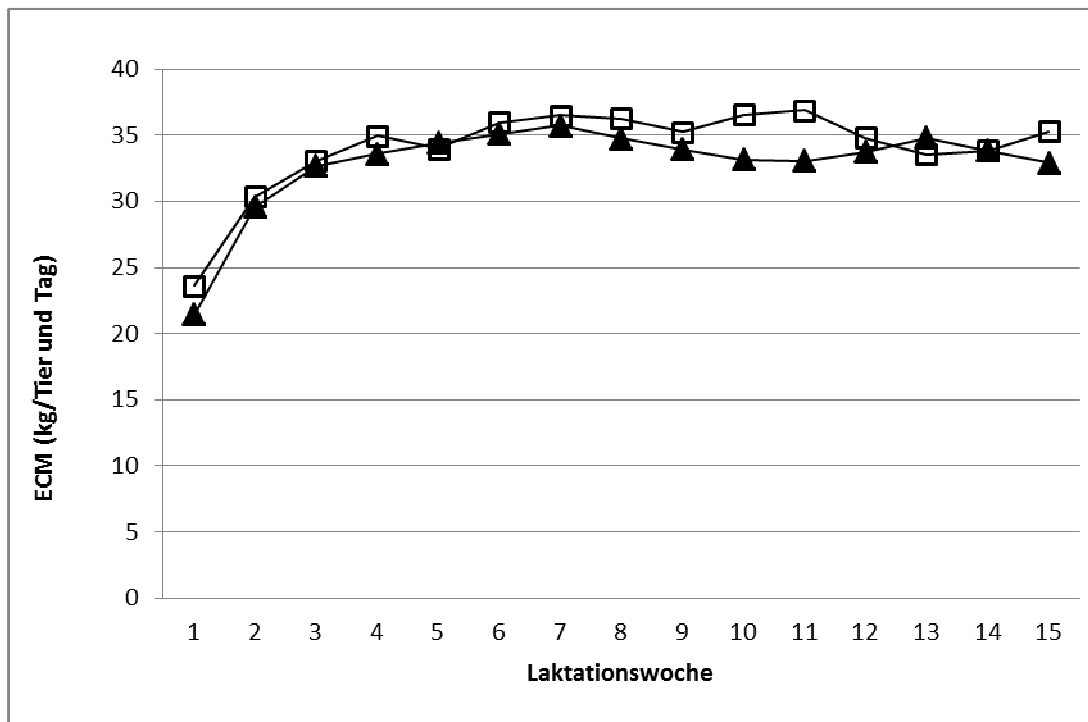


Abbildung 4: Milchleistung im Laktationsverlauf ▲ = NaHCO<sub>3</sub>, □ = Kontrolle

Tabelle 14 informiert über die Veränderungen der Lebendmassen und Rückenfettdicken. Dabei bestehen in beiden Parametern numerische Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Gruppen. Die unterschiedlichen Veränderungen im Bereich der Lebendmasse bei Versuchs- und Kontrolltieren spiegelt sich auch in den Veränderungen der Rückenfettdicken wieder. Die Fettauflage verringert sich in der Kontrollgruppe um 5,3 mm. Die Versuchsgruppe, in der eine geringfügigere Reduktion der Lebendmasse beobachtet wird, verliert 3,8 mm an Rückenfett. Die genannten Unterschiede bewegen sich in Bereichen, die keine signifikanten Differenzen aufzeigen.

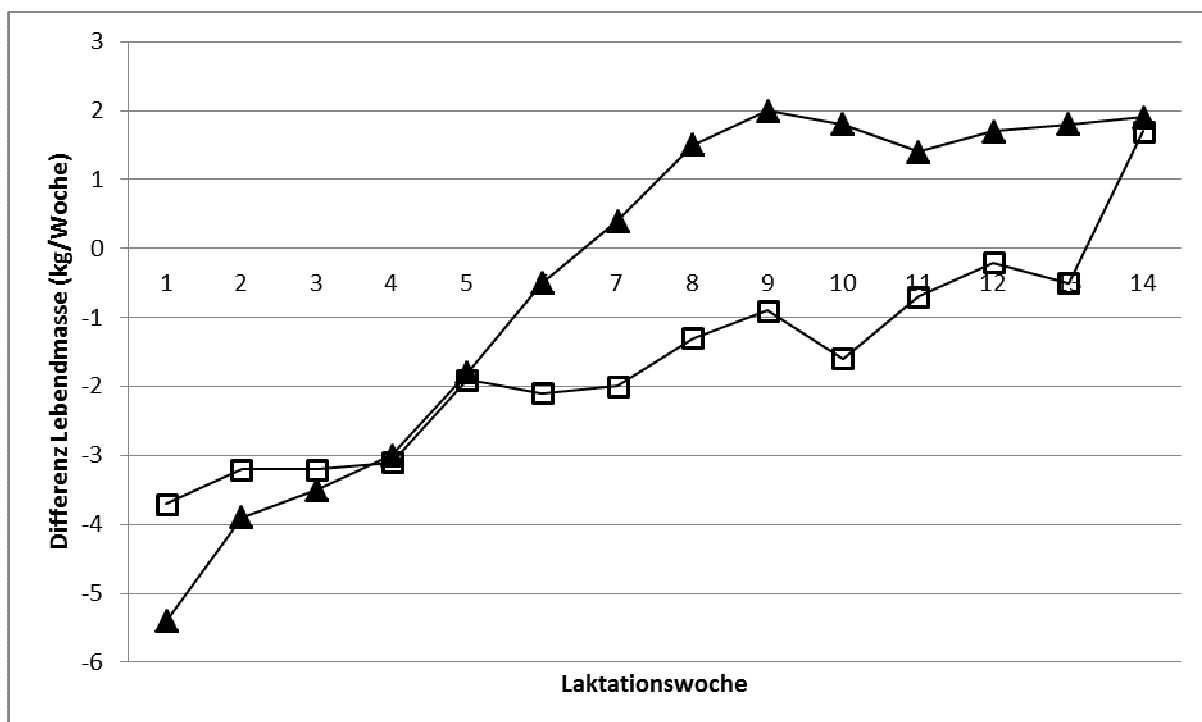
## Ergebnisse

**Tabelle 14: Mittlere Veränderung LM, RDF und EBZ**

	Kontrolle		NaHCO <sub>3</sub>		p
	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	
<b>n<sub>St</sub></b>	76		80		
<b>Δ LM (kg) pro LW</b>	-1,81	0,83	-0,05	0,81	0,333
<b>Δ RFD (mm) pro LW</b>	-0,37	0,07	-0,27	0,07	0,105
<b>Δ EBZ (MJ NEL) pro Tag</b>	-21,1	3,61	-19,7	3,51	0,772

Stichprobenumfang (n<sub>St</sub>), Lebendmasse (LM), Rückenfettdicke (RFD), Energiebilanz (EBZ),  
n<sub>Kt</sub> = 19, n<sub>Vs</sub> = 20

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die Veränderungen der Lebendmassen und Rückenfettdicken im Laufe des geprüften Laktationsabschnitts. Die Tiere der Kontrollgruppe weisen bis zur zwölften Laktationswoche Gewichtsverluste auf. In der Versuchsgruppe zeigen die Tiere bis zur sechsten Woche Gewichtsabnahmen. Ab der siebenten Woche werden positive Veränderungen der Lebendmassen beobachtet. Die wöchentlichen Zunahmen liegen im Bereich von etwa 2 kg pro Tier und Woche. Damit bestehen Unterschiede zwischen den Gruppen, die allerdings statistisch nicht abgesichert sind. Gleiches gilt auch für die Veränderungen in den Rückenfettmaßen in den Futtergruppen. Bis zur zehnten Laktationswoche verringern sich in beiden Gruppen die RFD. Die Abnahme der Fettdicke ist jedoch in der Versuchsgruppe etwas geringer ausgeprägt als in der Kontrollgruppe.



**Abbildung 5: Veränderung der Lebendmasse im Laktationsverlauf; ▲ = NaHCO<sub>3</sub>, □ = Kontrolle**

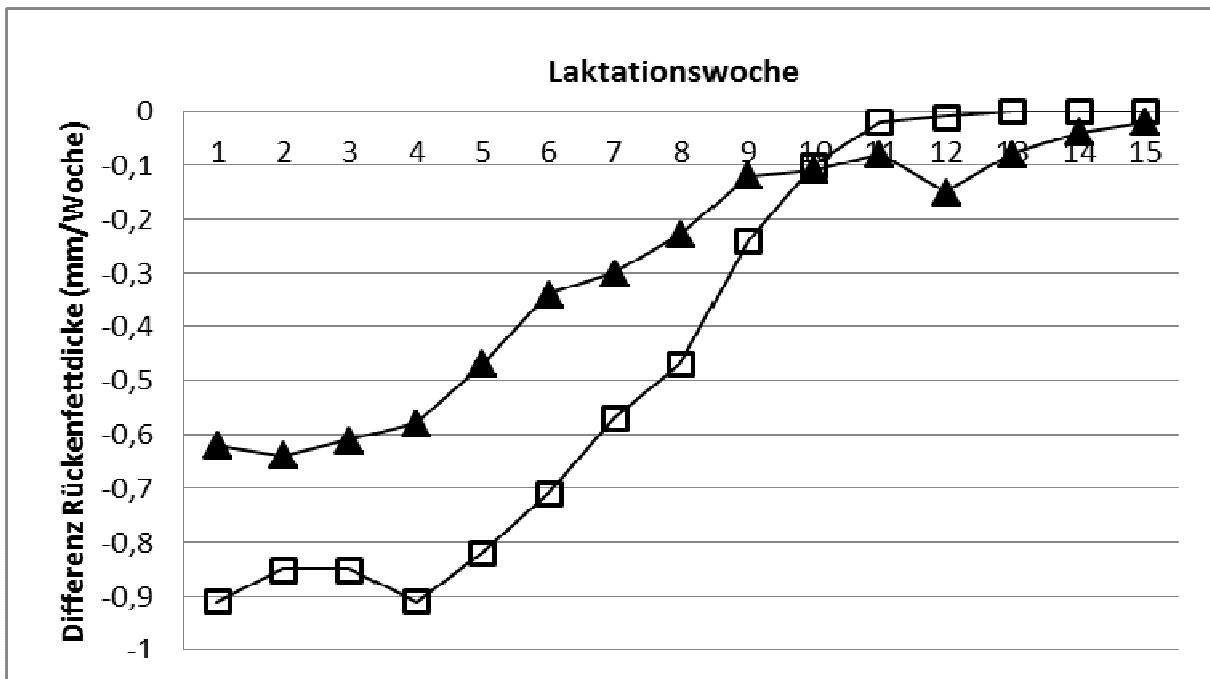


Abbildung 6: Veränderung der Rückenfettdicke im Laktationsverlauf; ▲ = NaHCO<sub>3</sub>, □ = Kontrolle

Für die Beurteilung des Energiestatus der Tiere ist nicht nur die mittlere Energiebilanz über den geprüften Laktationsabschnitt von Bedeutung, sondern ebenso wichtig ist die wochenweise Betrachtung der Bilanzen während der beobachteten 15 Laktationswochen (s. Abbildung 7). Zu Beginn der Laktation haben die Tiere der Versuchsgruppe eine weniger ausgeprägt negative Energiebilanz im Vergleich zur Kontrollgruppe. Etwa ab der sechsten Laktationswoche ergibt sich für beide Gruppen ein ähnlicher Verlauf der Bilanzkurven. Die negative Energiebilanz bleibt über den gesamten Laktationsabschnitt in beiden Gruppen bestehen, d. h. auch am Ende des untersuchten Zeitraums besteht noch eine Energieunterversorgung in der Größenordnung von 10 MJ NEL pro Tier und Tag. Die sich recht stark unterscheidenden Werte in der 15. Laktationswoche sind als Ausreißer zu werten.

## Ergebnisse

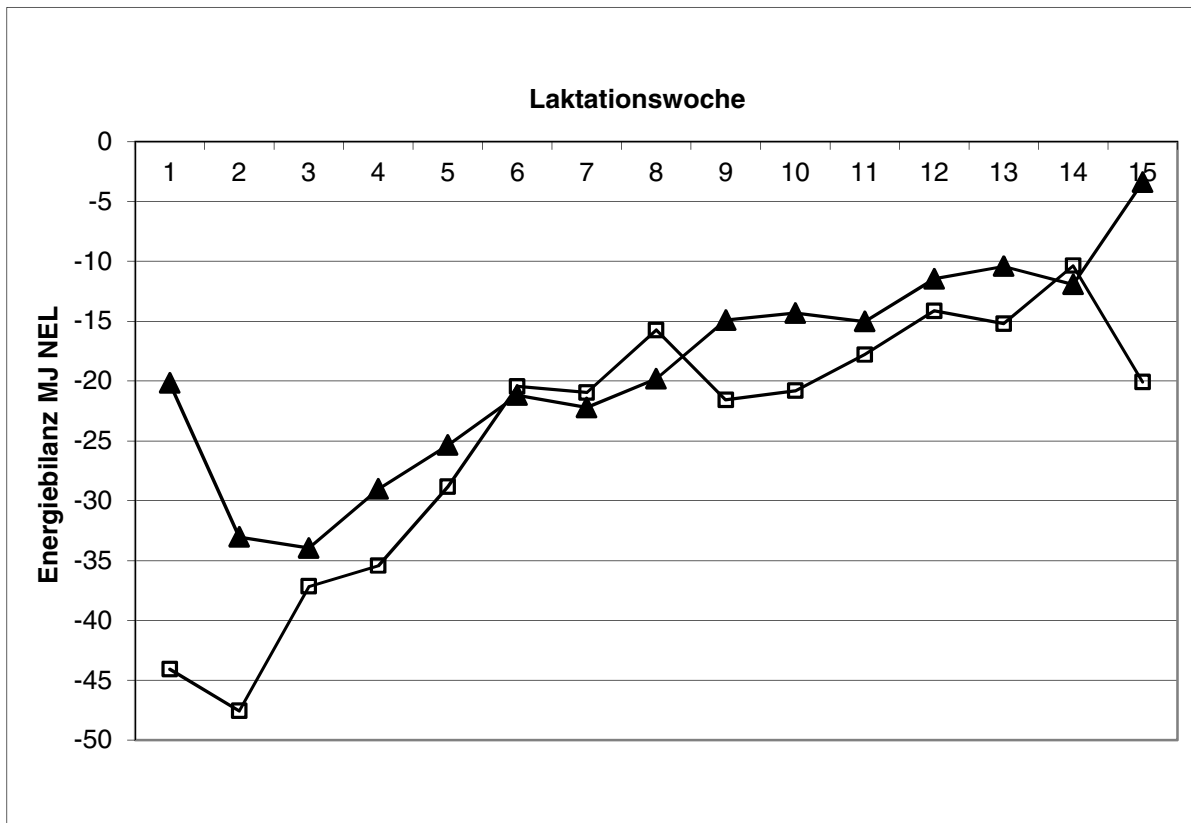


Abbildung 7: Vergleich Energiebilanzen im Zeitverlauf; ▲ = NaHCO<sub>3</sub>, □ = Kontrolle

### 4.2 Pansensaft

In den Tabellen 15 und 16 sind die Ergebnisse der Pansensaftuntersuchung und die Ergebnisse der statistischen Berechnung dargestellt. Die Messung der pH-Werte der Pansenflüssigkeit ergibt für die Kontrolltiere einen mittleren Wert von 6,7, der bei der Versuchsgruppe um 0,02 Einheiten höher liegt. Minima und Maxima beider Gruppen rangieren ebenfalls sehr eng beieinander und differieren um kaum mehr als 0,4 bzw. 0,03 Einheiten ( $p > 0,77$ ). Auch der Gesamtgehalt des Pansensaftes an flüchtigen Fettsäuren weist mit einer Differenz von 1 mol/mol keinen Unterschied auf. Der Anteil des Azetats im Gesamtfettsäuregehalt ist bei der Kontrollgruppe mit 59,8 % signifikant geringer als bei den Versuchstieren, die mit 61,7 % mehr Azetat im Fettsäuremuster aufweisen ( $p = 0,03$ ). Bei Betrachtung der Minima und Maxima ergeben sich auch hier höhere Werte für die Versuchsgruppe, so liegt der erreichte Spitzenwert mit 69,8 % mit mehr als 3 mol/100 mol über dem Maximalwert der Kontrollgruppe. Die Konzentrationen an Propionat und Butyrat weisen keine gesicherten Differenzen zwischen den Gruppen auf, wenn auch die Differenz im Propionatanteil numerisch

## Ergebnisse

etwa 5 mol/100 mol beträgt ( $p > 0,13$ ). Die Butyratanteile unterscheiden sich um etwa zwei Zehntel mol/100 mol und sind durch die Varianzanalyse bestätigt ( $p > 0,6$ ) indifferent.

**Tabelle 15: Kenngrößen der Pansenflüssigkeit**

	Mittelwert		Minimum		Maximum		Spannweite	
	Kt	Vs	Kt	Vs	Kt	Vs	Kt	Vs
<b>n<sub>St</sub></b>	76	80						
<b>pH</b>	6,73	6,75	5,57	5,97	7,3	7,43	1,73	1,46
<b>FS ges.</b>	94,17	95,17	60,00	57,51	131,3	134,71	71,31	77,21
<b>Acetat</b>	59,72	61,69	52,48	53,75	66,7	69,76	14,22	16,01
<b>Propionat</b>	28,09	23,12	16,71	15,96	217,2	33,48	201,01	17,52
<b>Butyrat</b>	11,19	11,35	7,31	7,68	15,6	14,01	8,31	6,33
<b>A : P</b>	2,45	2,76	0,27	1,61	4,1	4,34	3,86	2,73

Kontrollgruppe (Kt), Versuchsgruppe (Vs), Stichprobenumfang ( $n_{St}$ ), Fettsäuren (FS), Azetat-Propionat-Verhältnis (A:P), Angaben in mol/mol,  $n_{Kt}=19$ ,  $n_{Vs}=20$

**Tabelle 16: Varianzanalyse der Pansensaft-Untersuchungsergebnisse**

	Kontrolle		NaHCO <sub>3</sub>		p
	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	
<b>n<sub>St</sub></b>	76		80		
<b>pH</b>	6,73	0,05	6,75	0,046	0,776
<b>FS gesamt (mol/mol)</b>	94,17	2,73	95,17	2,680	0,817
<b>Acetat (mol/mol)</b>	59,72	0,64	61,69	0,620	<b>0,030</b>
<b>Propionat (mol/mol)</b>	28,09	2,34	23,12	2,300	0,139
<b>Butyrat (mol/mol)</b>	11,19	0,24	11,35	0,230	0,619
<b>A : P</b>	2,45	0,11	2,76	0,108	<b>0,040</b>

Stichprobenumfang ( $n_{St}$ ), Fettsäuren (FS), Azetat-Propionat-Verhältnis (A:P),  $n_{Kt}=19$ ,  $n_{Vs}=20$

Durch die höhere Azetatkonzentration im Pansensaft der Versuchstiere und die indifferenten Propionatanteile ergibt sich ein günstigeres Azetat-Propionat-Verhältnis zu Gunsten der NaHCO<sub>3</sub>-supplementierten Gruppe. Das Verhältnis beträgt hier 2,8, bei den Kontrolltieren 2,4, auffallend ist hier vor allem der extrem geringe Minimalwert der Kontrollgruppe. Die Signifikanz des Unterschieds im Azetat-Propionat-Verhältnis ist sicher ( $p = 0,04$ ).



### 4.3 Harn

Tabelle 17 informiert über die Ergebnisse der Harnuntersuchungen. Die Mittelwerte der pH-Wert-Messungen liegen bei beiden Gruppen in einem Bereich, der als physiologisch angesehen werden kann. Eine geringgradige Verschiebung in den alkalischen Bereich ist aber dennoch festzustellen. Die marginale Differenz zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe ist statistisch nicht signifikant ( $p > 0,3$ ). Die Bestimmung der fraktionierten NSBA zeigt bei einem Gruppenmittelwert der Versuchsgruppe von 220,9 und 196,7 in der Kontrollgruppe einen statistisch sicheren Unterschied ( $p = 0,084$ ), der auch in der Berechnung des Basen-Säuren-Quotienten Niederschlag findet. Hier steht dem Gruppenmittelwert der mit  $\text{NaHCO}_3$  versorgten Tiere von 5 ein Wert von 4,2 in der Kontrollgruppe ebenso signifikant different ( $p = 0,004$ ) gegenüber. Die durchschnittliche Ausscheidung von Basen im Harn der Versuchstiere beträgt 289,9 mmol/l bzw. 271,72 mmol/l bei den Kontrolltieren. Damit liegen beide Gruppen oberhalb der physiologischen Grenze, dabei ist eine rechnerische Differenz nicht festzustellen ( $p > 0,2$ ). Ähnliches gilt auch für die Ausscheidung von Säuren, hier scheiden die Versuchstiere im Mittel 59,5 mmol je Liter Harn aus, während die Kontrollgruppe durchschnittlich eine höhere Säuren-Ausscheidung vorweist mit 68,1 mmol/l. Diese geringgradige Differenz ist statistisch nicht signifikant ( $p > 0,1$ ). Die Ammonium-Konzentration im Harn beider Gruppen liegt unter 10 mmol/l, zudem unterscheiden sie sich kaum ( $p > 0,6$ ) und betragen in der Versuchsgruppe 5,9 mmol/l und in der Kontrollgruppe 6,1 mmol/l.

**Tabelle 17: Ergebnisse der Harnuntersuchungen**

	Kontrolle		$\text{NaHCO}_3$		p
	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	
$n_{\text{St}}$	76		80		
<b>pH-Wert</b>	8,37	0,01	8,39	0,13	0,368
<b>NSBA</b>	196,66	10,01	220,87	9,57	<b>0,084</b>
<b>Basen (mmol/l)</b>	271,72	11,84	289,9	11,19	0,268
<b>Säuren (mmol/l)</b>	68,08	3,58	59,92	3,41	0,103
<b>NH4 (mmol/l)</b>	6,15	0,27	5,97	0,25	0,623
<b>BSQ</b>	4,18	0,25	5,01	0,19	<b>0,004</b>

Stichprobenumfang ( $n_{\text{St}}$ ), Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (NSBA), Basen-Säuren-Quotient (BSQ),  $n_{\text{Kt}} = 19$ ,  $n_{\text{Vs}} = 20$

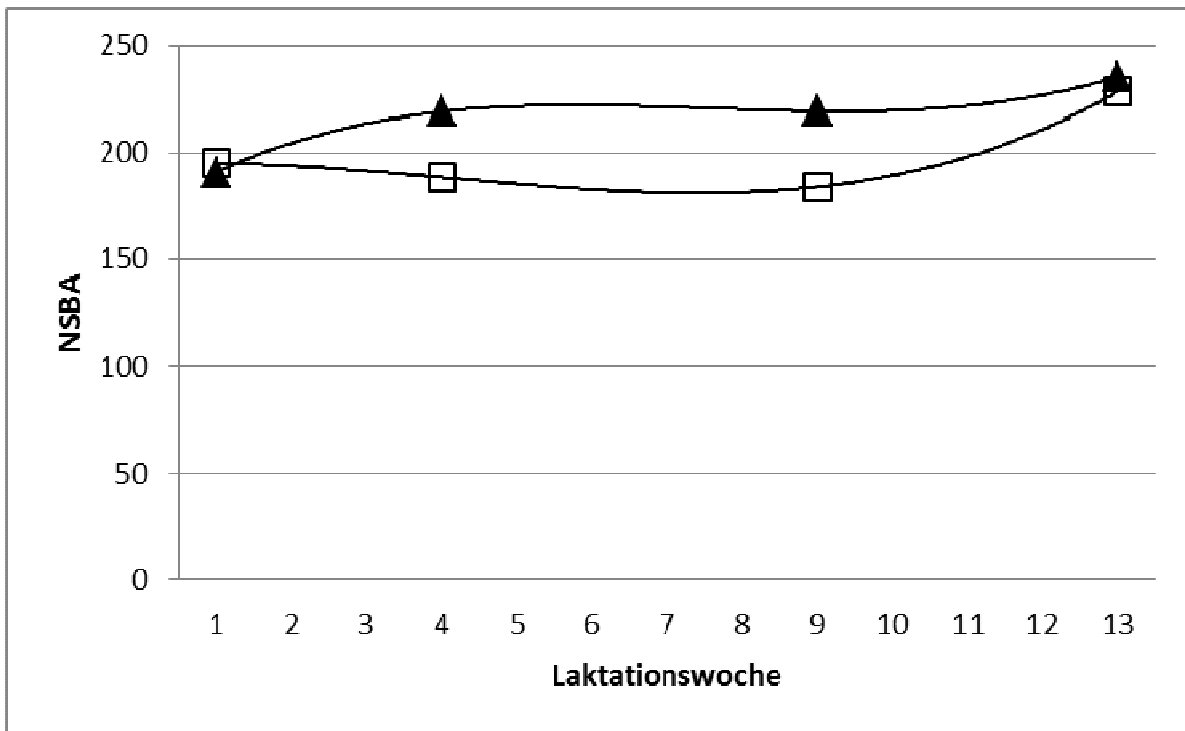


Abbildung 8: Vergleich NSBA im Zeitverlauf, ▲ = NaHCO<sub>3</sub>, □ = Kontrolle

Aus Abbildung 8 können die Werte der NSBA von beiden Gruppen und die Veränderung im Laufe des Beobachtungszeitraumes ersehen werden. Beide Gruppen starten zu Beginn des Versuches in gleicher Höhe bei Werten um 190 und entwickeln sich bis zur vierten Woche gegenläufig, wobei die Werte der Kontrollgruppe auf 180 abfallen und die Werte der Versuchstiere auf Werte um 220 ansteigen. In den folgenden acht Wochen findet in beiden Gruppen keine nennenswerte Entwicklung mehr statt. Ab der neunten Woche verändern sich die Werte beider Gruppen und werden alkalischer. Am Ende des Versuches rangieren sie beide in gleicher Höhe bei 230.

### 4.4 Kot

Die Resultate der Kotuntersuchungen sind Tabelle 18 zu entnehmen. Die Feststellung des Gesamtgehalts an Trockenmasse ergibt für die Versuchstiere 133,8 g/kg Frischmasse. Der TM-Gehalt des Kotes der Kontrolltiere beträgt zwar mit 137,8 g/kg FM numerisch etwas mehr, ist aber statistisch nicht signifikant different ( $p > 0,29$ ). Der geringfügig höhere Rohaschegehalt im Kot der Versuchstiere spiegelt mit 161,8 g/kg TM den Zusatz des Natriumhydrogenkarbonats wieder. Für die Kontrollgruppe zeigt der Gehalt von 156,3 g/kg TM Rohasche das Fehlen des Pufferzusatzes an. Dennoch unterscheiden sich beide Werte nicht voneinander ( $p > 0,28$ ). Die Analyse des Rohproteingehalts ergibt für die Versuchsgruppe einen durchschnittlichen Gehalt von 203,3 g/kg TM, der sich von der Kontrollgruppe mit einem Gehalt von 201,8 g/kg TM nicht unterscheidet ( $p > 0,65$ ). Die pH-Werte des Kotes beider Gruppen liegen sehr eng beieinander, für die Versuchsgruppe wird ein pH-Wert von 6,5 analysiert, der vom Wert in der Kontrollgruppe nicht abweicht. Die Varianzanalyse bestätigt dies ( $p > 0,63$ ). Analog zum Rohaschegehalt lässt sich im geringeren Gehalt der organischen Masse des Kotes der Kontrolltiere der Zusatz von  $\text{NaHCO}_3$  ablesen. Mit Pufferzusatz hatte der Kot eine organische Masse von 837 g/kg TM, die Kontrollgruppe ohne Pufferzusatz erreicht eine OM von 841,9 g/kg TM. Dennoch führte der Zusatz nicht zu einer signifikanten Verringerung ( $p > 0,38$ ). Die nur geringfügig unterschiedlichen Werte der Kotanalysen und das Fehlen jeglicher statistisch sicherer Differenzen im Gruppenvergleich findet einen gleichlautenden Niederschlag in der Schätzung der Verdaulichkeiten. Für die Ration der Versuchsgruppe kann über die Kotstickstoff-Methode eine Verdaulichkeit von 76,7 % errechnet werden, die sich nur um 0,03 % von dem Wert der Ration ohne Pufferzusatz unterscheidet. Die Verdaulichkeit der Kontrollgruppen-Ration beträgt 76,8 %. Die nicht erkennbaren Unterschiede werden auch in der Varianzanalyse deutlich ( $p > 0,88$ ).

## Ergebnisse

**Tabelle 18: Ergebnisse der Kotuntersuchungen**

	Kontrolle		NaHCO <sub>3</sub>		p
	Mittelwert	SE	Mittelwert	SE	
n <sub>St</sub>	76		80		
TM (g/kg FM)	137,78	2,68	133,84	2,61	0,295
XA (g/kg TM)	156,25	3,71	161,79	3,63	0,288
XP (g/kg TM)	201,75	2,44	203,28	2,42	0,658
pH	6,46	0,04	6,49	0,04	0,635
OM (g/kg TM)	841,88	3,99	837,02	3,89	0,386
DOM (%)	76,76	0,13	76,73	0,13	0,886

Stichprobenumfang (n<sub>St</sub>), Trockenmasse (TM), Frischmasse (FM), Rohasche (XA), Rohprotein (XP), organische Masse (OM), Verdaulichkeit der organischen Masse (DOM), n<sub>Kt</sub> = 19, n<sub>Vs</sub> = 20

### 4.5 Fertilität

Die am Ende des Versuches ermittelten Fruchtbarkeitsdaten beider Gruppen können Tabelle 19 entnommen werden. Zur Feststellung der Fruchtbarkeitsleistungen und Abgänge wurden die Daten aller Probanden über den eigentlichen Beobachtungszeitraum von 105 Tagen *post partum* hinaus bis zum jeweils nächsten Kalbedatum aufgezeichnet.

**Tabelle 19: Fruchtbarkeitsdaten und Abgangsursachen**

	Kontrolle	NaHCO <sub>3</sub>
Anzahl Tiere	19	20
Rastzeit (Tage)	70,5	77,2
Zwischentragezeit (Tage)	105,6	91,3
Zwischenkalbezeit (Tage)	388,5	373,7
Besamungsindex (Besamungen /Kuh)	2,15	1,5
Erstbesamungserfolg (%)	38,5	68,4
Abgangsursachen		
Unfruchtbar	4	1
Unfruchtbar (%)	21	5
Euter	1	0
Gliedmaßen	1	0

Es ist ersichtlich, dass zwischen den Gruppen nur geringfügige Unterschiede im Hinblick auf Rastzeit, Zwischentragezeit und Zwischenkalbezeit bestehen. Der Besamungsaufwand ist dem gegenüber mit 2,1 Besamungen pro Kuh in der

## Ergebnisse

---

Kontrollgruppe höher als in der Versuchsgruppe mit 1,5 Besamungen je tragend gewordenem Tier. Weiterhin bestehen Unterschiede im Erstbesamungserfolg, der in der Kontrollgruppe 38,5 % und in der Versuchsgruppe 68,4 % beträgt. In der Kontrollgruppe werden vier Tiere trotz vierfacher Besamung nicht tragend und verlassen den Bestand wegen Unfruchtbarkeit. In der Versuchsgruppe ist die Zahl mit einem Tier geringer. Der prozentuale Anteil der fruchtbarkeitsbedingten Abgänge beträgt in der Kontrollgruppe 21 % und in der Versuchsgruppe 5 %. Abgänge aufgrund von Euter- oder Gliedmaßenkrankung sind nur in der Kontrollgruppe zu verzeichnen.

Es wird im Bereich der Fertilitätsbeobachtung bewusst auf eine Varianzanalyse verzichtet, da angesichts des sehr geringen Stichprobenumfangs eine belastbare Aussage nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit getroffen werden kann.

## 5. Diskussion

### 5.1 Versuchsdurchführung

Der durchgeführte Versuch sollte die Auswirkungen von Natriumhydrogenkarbonat als puffernde Substanz in einer grassilagebetonten und kraftfutterreichen Ration hochleistender Milchkühe in den ersten 15 Laktationswochen *post partum* feststellen. Die Sammlung der Daten hinsichtlich der Futteraufnahmen sind durch eindeutige elektronische Kennzeichnung und entsprechende elektronische Protokolle zweifelsfrei, die täglich ermittelten Daten wurden geprüft und waren in jedem Fall plausibel. Im vorliegenden Versuch wurde das  $\text{NaHCO}_3$  über das Milchleistungsfutter im Melkautomaten zugeteilt. Dabei wurde dem Basiskraftfutter 80 g  $\text{NaHCO}_3$  je kg zugemischt. Während der Versuchsphase erhielten alle Tiere der Versuchsgruppe 3,24 kg dieser Kraftfuttermischung, womit 240 g  $\text{NaHCO}_3$  je Tier und Tag gefüttert wurden. Bezogen auf die mittlere TM-Aufnahme der Versuchsgruppe entspricht dies 13,4 g  $\text{NaHCO}_3$  je kg TM, womit im Vergleich zur Metaanalyse von HU und MURPHY (2005) eine gute Versorgung mit der puffernden Substanz gegeben war. In allen Analysen der verschiedenen Kraftfutterchargen ergab sich immer ein deutlich höherer Aschegehalt im Versuchskraftfutter gegenüber dem Basiskraftfutter, wobei der höhere Aschegehalt dabei in der Höhe des rechnerisch zu erwartenden Wertes lag. Hieraus folgt, dass der Puffer auch in geplanter Menge im Kraftfutter enthalten war und demzufolge den Kühen auch zugeteilt wurde. Allerdings ist die fehlende Dokumentation möglicher Residualmengen im Trog kritisch zu werten. Trotz hoher Palatabilität könnten Reste verblieben sein.

Die Haltung der Tiere erfüllte die üblichen Voraussetzungen der modernen und tiergerechten Milchviehhaltung und bietet keinen Ansatzpunkt für die Erklärung der gewonnenen Erkenntnisse. Die Gruppengrößen sind mit 20 Tieren in der

Versuchsgruppe und 19 Tieren als Kontrolle als ausreichend für die Datensammlung hinsichtlich wiederholter Messungen zu beurteilen. Für die Beurteilung einmalig erhobener Daten wie z. B. Fruchtbarkeitsleistungen sind sie sicherlich zu gering. Wünschenswert wäre die Dokumentation dieser Daten bei ähnlich angelegten Versuchen in der Zukunft, um statistisch sicherere Aussagen treffen zu können.

### 5.2 Ration und Futteraufnahme

Die Ration im vorliegenden Versuch war aufnehmbar und wiederkäuergerecht, nicht zuletzt wegen der vergleichsweise hohen  $ADF_{om}$ -Werte, und die Hinweise der DLG (DLG-Info 1/2002 und 2/2001) waren erfüllt. Diese liefern auch mögliche Erklärungsansätze, die die physiologischen Pansensaft-pH-Werte begründen (siehe dazu 5.4). Für eine exaktere Beurteilung der Rationsgestaltung hätte bei der Versuchsplanung das Modell nach ZEBELI *et al.* (2005) Berücksichtigung finden können, es wurde aber die Bestimmung der Partikelgrößen der TM des Grobfutters mit dem Penn State Particle Separator (PSPS) nicht durchgeführt, wodurch die Berechnung des physikalisch-effektiven NDF-( $peNDF_{>1,18mm}$ )-Gehaltes nicht angegeben werden kann. Der höhere Aschegehalt im Versuchskrafftutter bedingt einen geringeren Energiegehalt. Dies spiegeln die Ergebnisse der Energiebestimmung über den Verdauungsversuch mit Hammeln und auch die Energieschätzungen mit Hilfe des Hohenheimer Futterwerttests (HFT) eindeutig wieder. Im Verdauungsversuch mit Hammeln ergab sich für das Basiskrafftutter ein Energiegehalt von 7,2 MJ NEL/kg Futter. Bei einer Einsatzmenge von 3 kg wurden dementsprechend 21,7 MJ NEL verabreicht. Im Versuchskrafftutter betrug der Energiegehalt im Verdauungsversuch 6,9 MJ NEL/kg Futter. Eine Einsatzmenge von 3,24 kg führte zu einer Energieaufnahme von 22,6 MJ, womit in beiden Futtergruppen eine vergleichbare Energieversorgung trotz unterschiedlicher Krafftutter und Krafftuttermengen gegeben war. Werden die aus der Schätzung mittels HFT abgeleiteten Energiegehalte der Krafftutter (s. Kap. 3.4 Tabelle 5) in Ansatz gebracht, ergibt sich für die Kontrollgruppe eine Energieaufnahme von 21 MJ NEL und für die Versuchsgruppe von 21,2 MJ NEL. Die versuchsbedingte Krafftutterzuteilung führte demnach, wie gewünscht, zu einer isoenergetischen Versorgung beider Gruppen.

Die TM-Aufnahme ist im Vergleich zu den erwähnten Versuchen als durchschnittlich bis niedrig anzusehen. Auch in früheren Versuchen im Landwirtschaftszentrum „Haus Riswick“, die im gleichen Stallabteil und mit gleichem Melksystem durchgeführt wurden, ergaben sich höhere Futteraufnahmen. Die hier verzeichneten niedrigen TM-Aufnahmen können durch den hohen Färsenanteil von 58 % bzw. 60 % erklärt werden. Auswertungen von GRUBER *et al.* (2004) zeigen, dass Färsen gegenüber mehrkalbigen Kühen eine um etwa 1 kg TM verringerte TM-Aufnahme zeigen. Zum anderen ist zu beachten, dass im vorliegenden Versuch nur die 15 ersten Laktationswochen geprüft wurden. Gerade zu Beginn der Laktation haben Kühe aber eine um bis zu 3,5 kg verringerte TM-Aufnahme, was von GRUBER *et al.* (2004) ebenfalls gezeigt werden konnte. Bei Messung der Futteraufnahme ausschließlich über die ersten 105 Tage ist der relative Anteil der frühen Laktation deutlich höher als bei Betrachtung einer ganzen Laktationsperiode. Die im eigenen Versuch festgestellte geringfügige Mehraufnahme der Versuchsgruppe zeigte sich auch in den Versuchen von ARAMBEL *et al.* (1988), CANALE und STOKES (1988), DePETERS *et al.* (1984), ROGERS *et al.* (1985a) sowie in der Metaanalyse von HU und MURPHY (2005). Das Fehlen signifikanter Differenzen, auch in den Versuchen von KENNELLY *et al.* (1999) und ROGERS *et al.* (1985b) mit minimal höheren Werten für die unsubstituierten Tiere, entspricht den eigenen Daten (s. dazu Tab. 2). Definiert man eine verminderte TM-Aufnahme als ein verlässliches Symptom einer SARA (s. Kap 2.1.1) bleibt dennoch zweifelhaft, ob die beobachtete Minderaufnahme der Kontrollgruppe (0,4 kg TM pro Tier und Tag,  $p > 0,6$ ) grundsätzlich als ein festgestelltes Symptom aufgefasst werden kann. Die nicht feststellbare Differenz erlaubt, vor allem im Zusammenhang mit den Werten der Pansensaft- und Harnanalysen betrachtet, nicht die Ableitung der Diagnose SARA.

Hinsichtlich der Trockenmasse-Aufnahme bestätigt der vorliegende Versuch die Aussage vorangegangener Untersuchungen, dass $\text{NaHCO}_3$ keinen Einfluss auf die TM-Aufnahme bei non-maize-silage-Fütterung hat.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



### 5.3 Milchleistung

Die Milchleistungen beider Gruppen waren im eigenen Versuch beachtlich hoch, besonders vor dem Hintergrund des automatischen Melksystems. Die Tatsache, dass die gesamte Gruppe über einen einzigen Melkautomaten, der zudem auch von nicht in den Versuch eingebundenen Tieren aufgesucht wurde, könnte einen mindernden Einfluss auf die Milchleistung gehabt haben, denn nach HÖMBERG (2001) sind die Milchleistungen automatisch gemolkener Kühe abhängig von der technischen Ausstattung der Anlage, der Gruppengröße, den sich daraus ergebenden Zwischenmelkzeiten und dem Ausmelkgrad abhängig. Die Gesamtgruppenstärke von 52 Tieren, inklusive aller in den Versuch eingebundenen Tiere und den Nicht-Versuchstieren stellt bei nur einer einzigen Melkbox eine Konkurrenzsituation dar. Bei Zwischenmelkzeiten ab neun Stunden und mehr sind Minderleistungen in der Milchproduktion zu erwarten (HÖMBERG, 2001). Legt man die betriebsinterne Beobachtung zugrunde, dass der Melkautomat durchschnittlich 3,5 mal innerhalb von 24 Stunden von jedem Tier aufgesucht wird, ergibt sich eine rechnerische Zwischenmelkzeit von 6,8 Stunden. Vor diesem Hintergrund sind die eigenen Ergebnisse im Bereich Milchleistung kritisch zu bewerten, denn es kann leider keine exakte Aussage über die tatsächlichen Melkzeiten und Zwischenmelkintervalle jedes einzelnen Tieres gemacht werden. Die Interpretation der ermittelten Werte muss dem genannten Umstand Rechnung tragen, wodurch die Beantwortung der Frage nach der Einflussnahme von  $\text{NaHCO}_3$  bzw. auf die Milchproduktion eingeschränkt wird, weil eine Beeinflussung durch das Melksystem nicht zweifelsfrei ausgeschlossen werden kann. Die genannten Autoren der vorangegangenen NMS-Versuche weisen in allen Fällen eine geringere Milchproduktion aus, sowohl in der natürlichen Milchmenge, als auch in der energiekorrigierten Darstellung. KENNELLY *et al.* (1999) erreichten in der natürlichen Milchmenge ein ähnlich hohes Niveau in der Versuchsgruppe, zudem mit einer signifikanten Mehrleistung zur verglichenen Kontrollgruppe. Diese Signifikanz liegt im eigenen Versuch nicht vor, was den Erkenntnissen von ARAMBEL *et al.* (1988), CANALE und STOKES (1988) und ROGERS *et al.* (1985a) entspricht (s. dazu Tab. 2). Die Milchfett- und Eiweißprozentpunkte liegen im eigenen Versuch jeweils in beiden Gruppen eng beieinander und sind in der Höhe als durchschnittlich zu bewerten. Fettgehalte von 3,6 % rechtfertigen eine Beurteilung als Low-Milkfat-

Syndrom nicht. Dieses deckt sich mit den Ergebnissen von HU und MURPHY (2005), die eine Mehrleistung von 0,33 kg/d Milch ( $p > 0,7$ ), eine um 0,5 Punkte ( $p > 0,7$ ) höhere Fettproduktion und einen um 0,4 Prozentpunkte verminderten Eiweißgehalt ohne statistisch sichere Differenzen ausweisen. Die Ergebnisse des eigenen Versuches mit einer Minderleistung der Versuchsgruppe um 1,3 kg/d ( $p > 0,6$ ) Milch und indifferenten Fettprozentpunkten ( $p > 0,9$ ) bzw. Eiweißprozentpunkten ( $p > 0,5$ ) stehen in einer Reihe mit denjenigen der genannten Autoren.

Die Ergebnisse des vorliegenden Versuches hinsichtlich der Milchleistung und Zusammensetzung der Milchinhaltsstoffe bestätigen die Aussagen früherer Untersuchungen, dass der Einsatz von  $\text{NaHCO}_3$  bei NMS-Rationen keinen Einfluss auf die Milchproduktion hat.

### 5.4 Energiebilanz

Im vorliegenden Versuch wird für beide Gruppen eine Abnahme der Rückenfettdicken festgestellt, die nicht signifikant voneinander differieren. Beachtet man dabei die hohen Milchleistungen beider Gruppen, erklären sich damit auch die deutlich negativen Energiebilanzen, die in beiden Gruppen über den gesamten Beobachtungszeitraum kein positives Niveau erreichen. Der Mittelwert der  $\text{NaHCO}_3$ -substituierten Tiere in der Energiebilanz ist zwar numerisch geringer, aber nicht signifikant different zur Kontrollgruppe. Die Darstellung des zeitlichen Verlaufs über 15 Wochen (siehe Kap. 4.3) zeigt, dass der Verlauf beider Graphen sehr ähnlich ist. Die Tiere der Kontrollgruppe starten aber dennoch bei einem sehr viel negativeren Wert, als die Versuchstiere und erreichen auch erst später ein weniger negatives Niveau. Zudem weist der Kurvenverlauf der Kontrollgruppe größere Schwankungen auf und sinkt in der achten LW vergleichsweise stark und erreicht erst zum Ende der 13. LW ein ähnliches Niveau wie die Versuchsgruppe. Trotz der rechnerischen Energieunterversorgung weisen die Tiere der Versuchsgruppe bereits ab der siebenten und die Kontrollgruppe ab der dreizehnten Laktationswoche Lebendmassezunahmen auf. Der Energiebedarf berücksichtigt dabei auch die

Energieaufwendungen für Zuwachs, so dass dies in den Bilanzen berücksichtigt ist. Wenn Lebendmassezunahmen trotz negativer Energiebilanzen zu beobachten sind, dürfte hierfür in erster Linie der höhere Färsenanteil verantwortlich sein, da Färsen ein intensiveres Wachstum zeigen als mehrkalbige Kühe. In den Untersuchungen der Rückenfettdicken findet jedoch noch keine Fetteinlagerung statt, so dass die Lebendmassenzunahmen daher weitgehend durch das Wachstum der (zahlreichen) Färsen erklärt werden kann.

### 5.5 Pansensaft

Die analysierten Werte für den durchschnittlichen pH-Wert der Pansenflüssigkeit zeigen keine Differenz zwischen den beiden Gruppen. Zudem rangieren sie nicht in einem Bereich, der die Diagnose SARA zulassen würde, selbst die Bezeichnung als azidotische Belastung ist mit den festgestellten Werten nicht zutreffend. Als mögliche Fehlerquelle muss die Art der Probengewinnung über eine Pansensonde betrachtet werden, denn nach DIRKSEN und SMITH (1987) muss bei dieser Methode der Pansensaftgewinnung mit einer Kontamination mit Speichel von 10 – 12 Prozent gerechnet werden. Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses der Art der Gewinnung von Pansensaft auf seinen pH-Wert und das Fettsäuremuster zeigten, dass diese signifikant sein können (DIRKSEN und SMITH, 1987, HÖLTERSHINKEN *et al.* 1992). Chirurgische Eingriffe zur Probengewinnung wie die Pansenpunktion oder das Anlegen einer Pansenfistel mindern das Kontaminationsrisiko zwar deutlich, sind aber im Falle der Punktion bei wiederholter Durchführung mit einem sehr hohen Risiko für das Tier verbunden (ACETO *et al.* 2000). Das Anlegen von Pansenfisteln bei vierzig Tieren zum Zweck der viermaligen Probengewinnung ist ethisch und/oder tierschutzrechtlich nicht vertretbar. Eine weitere mögliche Ursache für die so hoch nicht erwarteten pH-Werte können die recht hohen  $ADF_{om}$ - und  $NDF_{om}$ -Gehalte des Grobfutters sein. HU und MURPHY (2005) bezogen sich in ihrer Metaanalyse ebenso auf die hohen Strukturwerte bei NMS-Rationen, um das Ausbleiben deutlicher Effekte von  $NaHCO_3$  zu erklären und stellten fest, dass Untersuchungen mit vergleichsweise niedrigen Strukturwerten zum damaligen Zeitpunkt nicht verfügbar waren. Die vorliegende Arbeit vermag diese Lücke leider nicht zu schließen. Des Weiteren kann der Zeitpunkt der Probennahme

nach Futteraufnahme Einfluss auf die festgestellten Pansen-pH-Werte gehabt haben. KENNELLY *et al.* (1999) stellten deutliche Unterschiede im tageszeitlichen Verlauf nach der Fütterung fest, so rangierte der pH-Wert der supplementierten Tiere weniger Stunden pro Tag unter 6,0 als bei den Kontrolltieren, wodurch sich zwar kein höherer Durchschnittswert ergab, aber die biologische Last geringer war. Dieser Umstand kann, übertragen auf den vorliegenden Versuch, in der Folge zur Implementierung eines doch unterschiedlichen bakteriellen Besiedlungsspektrums geführt haben, denn die Ergebnisse der Pansensaftanalyse auf den Gehalt und die molaren Anteile der flüchtigen Fettsäuren zeigen im vorliegenden Versuch einen tendenziell höheren Gesamtgehalt an flüchtigen Fettsäuren unter  $\text{NaHCO}_3$ -Pufferung. Zudem war der molare Anteil an Azetat im Pansensaft der Versuchstiere nicht besonders hoch, aber im Kontrast zur Kontrollgruppe signifikant höher. Propionat war zwar nicht statistisch sicher, aber unter Pufferung geringer als ohne Pufferzusatz. Wenn man davon ausgehen kann, dass eine zeitlich geringere pH-Wert-Absenkung okkult vorhanden ist, kann in der Folge ein entsprechend adaptiertes Bakterienspektrum die höheren Azetatgehalte und verminderten Propionatanteile erklären. Analog zu KENNELLY *et al.* (1999) (s. dazu Tab. 2) ist daher im vorliegenden Versuch unter  $\text{NaHCO}_3$ -Pufferung das Azetat-Propionat-Verhältnis signifikant different. Dennoch scheint die biologische Bedeutung dessen nicht groß zu sein, wenn man die Leistungsmerkmale der Milchproduktion beider Gruppen dem gegenüber stellt.

Die Aussage vorangegangener Untersuchungen, dass  $\text{NaHCO}_3$  bei NMS-Fütterung keinen Effekt auf den Pansensaft-pH-Wert hat, wird durch die Ergebnisse der Analysen im vorliegenden Versuch bestätigt.

Die mit  $\text{NaHCO}_3$  supplementierten Tiere hatten in der vorliegenden Untersuchung signifikant höhere molare Azetatkonzentrationen im Pansensaft und ein signifikant differentes ruminales Azetat-Propionat-Verhältnis.

## 5.6 Harn

Erniedrigte Werte der Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung reflektieren einen Überschuss an Anionen bzw. Mangel an Kationen und tritt bei reduzierter Futteraufnahme und/oder bei akuten und chronischen Pansenazidosen sowie bei Rohfasermangel in der Ration und beim Low-Milchfat-Syndrom auf. Vor dem Hintergrund der festgestellten Futteraufnahmen im vorliegenden Versuch und den Analysen des Pansensaftes erscheinen auch die Ergebnisse der Harnuntersuchung nicht überraschend, denn sowohl der Wert der Versuchsgruppe mit 220,9 als auch die NSBA der Kontrolltiere mit 196,7 liegen nach FÜRLL *et al.* (1994) im physiologischen Bereich. Legt man zu Grunde, dass es sich um krafftutterreich gefütterte Hochleistungskühe in der Früh-laktation handelt, kann man die Werte als zu alkalisch einordnen, denn nach FÜRLL sind Werte in dieser Phase von 0- 60 als physiologisch zu bewerten. In der Darstellung der Entwicklung über den Beobachtungszeitraum (s. Abb. 8) ist zu ersehen, dass der Zusatz von  $\text{NaHCO}_3$  die NSBA in alkalischere Bereiche verschiebt. Dieser Effekt war nur in den ersten 4 LW zu erkennen, später wurde das sehr alkalische Niveau nicht mehr nennenswert verändert. Unter Berücksichtigung des Fütterungsmodells im vorliegenden Versuch und den schon zu Beginn der Laktation sehr hohen NSBA-Werten erscheint der Einsatz von Natriumhydrogenkarbonat unter den genannten Bedingungen nicht sinnvoll. Eine Verschiebung in noch alkalischere Bereiche ist hierbei nicht indiziert. Der Zusatz von  $\text{NaHCO}_3$  hatte zwar einen signifikanten Effekt auf die NSBA und den BSQ, dennoch scheint auch hier, ähnlich wie die signifikante Differenz im Azetat-Anteil des Fettsäuremusters des Pansensaftes und im ruminalen A:P-Verhältnis, die biologische Bedeutung dieses Effektes nicht groß zu sein. Die Messungen der pH-Werte im Harn weisen ebenfalls Parallelen zu den pH-Werten des Pansensaftes auf, auch im Harn liegen die Werte im physiologischen Bereich und im Gruppenvergleich sehr eng beieinander. Da die Messung des pH-Wertes erst nach Erschöpfung von körpereigenen Pufferkapazitäten erniedrigte Werte liefert, ist die Bestimmung der NSBA das geeignetere Diagnostikum zur Detektion einer SARA, denn dabei wird eine bereits stattfindende Pufferung angezeigt. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass über die festgestellten Werte eine azidotische Belastung oder gar die Diagnose SARA in beiden Gruppen nicht festgestellt werden kann. Daher bleibt es fraglich, ob der sichere Effekt auf die NSBA und den BSQ der Versuchstiere einer

prophylaktischen Wirkung hinsichtlich SARA unter den genannten Bedingungen gleichzusetzen ist. Analog zur Bewertung des Pansensaft-pH-Wertes können die hohen Strukturwerte und die recht hohen DOM-Werte (s. dazu Kap. 5.6) der eingesetzten Ration als Erklärung herangezogen werden. Die Signifikanz des Effektes auf die NSBA findet sich konsequenterweise auch in der Berechnung des Basen-Säuren-Quotienten wieder. Die Bewertung dessen ist analog zur Bewertung der NSBA.

Die Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung im Harn der mit  $\text{NaHCO}_3$  supplementierten Kühe wurde in den ersten 4 LW in alkalischere Bereiche verschoben.

Die Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung und der Basen-Säuren-Quotient waren signifikant höher als im Harn der Tiere ohne  $\text{NaHCO}_3$ -Zulage.

### 5.7 Kot

Aus den Analyseergebnissen der Kotuntersuchungen lässt sich sowohl im Gehalt an Rohasche als auch in der Bestimmung der organischen Masse der Zusatz von Natriumhydrogenkarbonat erkennen. Der um 5,5 g/kg TM höhere Rohaschegehalt und der um 4,9 g/kg TM geringere Gehalt an organischer Masse im Kot der Versuchsgruppe ist auf den Zusatz der Puffersubstanz zurückzuführen. Die statistisch nicht abzusichernden Unterschiede im TM-Gehalt des Kotes sind vernachlässigbar gering. Eine mögliche Einflussnahme der Probenlagerung und deren Aufbereitung muss allerdings in Betracht gezogen werden, denn das Auftauen bei Zimmertemperatur über Stunden kann durch Flüssigkeitsverlust zu falsch-hohen Werten geführt haben. Die ermittelten Werte sind dennoch im Bereich der zu erwartenden Höhe. Die Messungen der pH-Werte liefern keine Differenzen im Gruppenvergleich und liegen mit 6,4 in beiden Gruppen im Bereich der physiologischerweise zu erwartenden Höhe. Diese Ergebnisse stehen in einer Linie mit den pH-Wert-Messungen der übrigen Untersuchungsmatrizes. Die kaum vorhandenen Gruppendifferenzen zeigen sich ebenso im Harn-pH und den pH-Werten des Pansensaftes und lassen auch in Höhe und Ausprägung der Minima und Maxima nicht auf eine azidotische Belastung des Verdauungsprozesses schließen.

Die Ergebnisse der Verdaulichkeitsschätzung der Mischration über die Kot-Stickstoffmethode und die Berechnung nach LUKAS *et al.* (2005) liefern vergleichsweise hohe Werte. Es besteht grundsätzliche Kenntnis über den Umstand der Verdaulichkeitsdepression bei steigendem Ernährungsniveau. Die kürzere Zeit der Pansenpassage der Ingesta wird als Ursache hierfür angesehen (FLACHOWSKY *et al.*, 2004). In vorangegangenen Untersuchungen von PRIES *et al.* (2007), die am selben Standort unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt wurden, konnten ähnlich hohe Werte gezeigt werden. Diese Untersuchungen hatten zum Ziel, die Verdaulichkeitsschätzung über standardmäßige Versuche mit Hammeln mit Versuchen direkt an Kühen zu vergleichen. Nach STEINGASS *et al.* (1994) bestehen zwischen Schaf und Rind bei gleichem Ernährungsniveau keine größeren Unterschiede in der DOM, etwaige Differenzen sind in der höheren Kauintensität bei Schafen zu sehen. Daher kann beim Schaf besonders bei körnerreichen Rationen eine höhere Verdaulichkeit festgestellt werden. Im Umkehrschluss kann daraus abgeleitet werden, dass körnerreiche Rationen, insbesondere bei hohem EN, beim Rind zu reduzierten DOM-Werten führen. Die recht hohen DOM-Werte im vorliegenden Versuch können daher mit dem relativ geringen Körneranteil und dem hohen Gehalt an Grassilage, sowie der beobachteten geringeren TM-Aufnahme beider Gruppen im Versuch erklärt werden. Der Wert 76,7 % in der Versuchsgruppe und in der Kontrollgruppe entsprechen in der Höhe den Ergebnissen von PRIES *et al.* (2007).

Die Ergebnisse der Kotanalysen im vorliegenden Versuch zeigen, dass  $\text{NaHCO}_3$  weder einen Effekt auf den pH-Wert, den Trockenmasse-Gehalt, noch auf Rohasche- und Rohprotein-Gehalt des Kotes hatte. Die Resultate der Verdaulichkeitsschätzung der organischen Masse über die Kot-Stickstoff-Methode wurde durch die  $\text{NaHCO}_3$ -Zugabe nicht beeinflusst.

### 5.8 Fertilität

Die Tiere der Versuchsgruppe hatten eine indifferente Futteraufnahme, etwas geringere Milchleistungen, in den ersten sechs Laktationswochen eine weniger stark

ausgeprägte negative Energiebilanz und früher eine positive Gewichtsentwicklung als die Kontrolltiere. Es stellte sich in der Analyse des Pansensaftes ein signifikant höherer Azetatanteil im Fettsäuremuster und daher auch ein günstigeres Azetat-Propionat-Verhältnis dar. In Summe können diese Tatsachen als mögliche Erklärung für die besseren Fertilitätsdaten der mit  $\text{NaHCO}_3$  supplementierten Tiere gelten. Die Besamungsindizes (BI) beider Gruppen sind mit 1,5 in der Versuchsgruppe und 2,16 in der Kontrollgruppe in akzeptablen Bereichen, wobei der Index der Versuchsgruppe sogar als sehr zufriedenstellend gesehen werden kann. Die Gruppenunterschiede werden in den Kennzahlen des Erstbesamungserfolges (EB) deutlicher, der EB der Versuchsgruppe von 68,4 % rangiert vergleichbar mit dem BI in einer recht zufriedenstellenden Höhe. Die Differenz um knapp 30 Prozentpunkte zu Gunsten der  $\text{NaHCO}_3$ -supplementierten Gruppe stellt einen rechnerischen Vorteil heraus. Die Abgänge wegen Unfruchtbarkeit aus beiden Gruppen stellen sich mit 5 % bei den Versuchstieren und 21 % in der Kontrollgruppe dar. Es ergibt sich hier eine um 16 Prozentpunkte günstigere Rate zu Gunsten der Versuchsgruppe. Nach WEBER (2004) führt eine Verringerung der Bestandsergänzungsrate um 10 Prozentpunkte zu einer deutlichen Kostensenkung der Milchviehhaltung in einer Größenordnung von 250 bis 350 Euro pro Kuh und Jahr. Übertragen auf die im Versuch gemessene geringere Bestandsergänzungsrate könnten sich ökonomische Vorteile bei Einsatz von  $\text{NaHCO}_3$  ergeben, vor allem bei Übertragung auf große Tierbestände. Es ist aber bei der Beurteilung der Fertilitätsdaten dem Umstand Rechnung zu tragen, dass es sich hierbei um einen sehr geringen Stichprobenumfang handelt. Eine höhere Beobachtungshäufigkeit in der Versuchsgruppe ist zwar gegeben, aber nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit als ein Effekt der  $\text{NaHCO}_3$ -Supplementierung zu werten. Es wäre zu begrüßen, wenn ähnlich gelagerte Versuche in der Zukunft der Beobachtung der Fruchtbarkeitsleistungen weitere Aufmerksamkeit schenken.

Auf der Basis der gemachten Beobachtungen in der vorliegenden Untersuchung gibt es Hinweise, dass eine  $\text{NaHCO}_3$ -Zulage zu grassilagereichen Rationen für Milchkühe zu verbesserten Fruchtbarkeitsleistungen führen kann. Es bedarf aber für belastbare Aussagen weiterer Untersuchungen mit umfangreicheren Datensätzen und längeren Beobachtungszeiträumen.



## 5.9 Schlussfolgerung

Im vorliegenden Versuch wurden signifikante Effekte des eingesetzten Natriumhydrogenkarbonats auf die molare Azetatkonzentration im Pansensaft und dessen Azetat-Propionat-Verhältnis sowie auf die NSBA und den BSQ im Harn festgestellt. Die Ergebnisse der Fertilitätsbeobachtungen stellen sich in der Versuchsgruppe günstiger dar, allerdings kann dies nur vermutungsweise dem  $\text{NaHCO}_3$ -Zusatz zugeschrieben werden, weil eine eindeutige Korrelation bzw. eine signifikante Differenz nicht berechnet werden kann. Die festgestellten Effekte und eine denkbare begünstigende Einflussnahme auf die Fertilitätslage lassen den Einsatz von  $\text{NaHCO}_3$  in Fütterungsmodellen wie im vorliegenden Versuch trotzdem nicht sinnvoll erscheinen. Dies gilt hinsichtlich der fehlenden Wirkungen auf Beobachtungsparameter wie Trockenmasse-Aufnahme, Milchleistung und -inhaltsstoffe, Pansensaft- und Harn-pH-Werte, vor allem aber wegen der schon in der Früh-laktation festgestellten, hohen NSBA-Werte. Wenn, wie im vorliegenden Versuch, mit grassilagereicher bzw. maissilagearmer Rationsgestaltung derart hohe NSBA-Werte schon zu Beginn der Laktation erreicht werden, besteht keine Indikation für den Einsatz von  $\text{NaHCO}_3$ . Erschwerend kommt hinzu, dass durch den Einsatz von  $\text{NaHCO}_3$  die Aussagekraft der fNSBA eingeschränkt wird, denn durch eine Anhebung in alkalischere Höhen wird zwar der Wert verändert, aber eine ursächliche Strukturarmut in einer Ration nicht kompensiert.

Um statistisch sichere Aussagen für den Bereich der Fertilität und anderer Langzeiteffekte treffen zu können, sind weitere Untersuchungen mit mehr Kühen und längeren Beobachtungszeiträumen erforderlich.

# Zusammenfassung

## **Effekte von Natriumhydrogenkarbonat auf hochleistende Milchkühe in der Früh lactation bei grassilagebasierten gemischten Rationen.**

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, bei hochleistenden Milchkühen (Deutsche Holstein) über den Zeitraum der ersten 15 Wochen der Laktation die Effekte einer Zulage von 240 g/d Natriumhydrogenkarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) zu einer Ration zu prüfen, die vorwiegend auf Grassilage und Getreide basierte. Hierzu wurden 40 Kühe und Färsen in zwei Gruppen aufgeteilt und mit einer Mischration zur freien Aufnahme gefüttert, deren Grobfutteranteil auf Basis der Trockenmasse (TM) zu ca. 70 % aus Grassilage und zu 30 % aus Maissilage bestand und zur freien Aufnahme vorgelegt wurde. Leistungsabhängige Kraftfutterzuteilungen erfolgten während des Melkens in der automatischen Einzelmelkanlage. Der Pufferzusatz für die Versuchsgruppe wurde über das Kraftfutter verabreicht.

Die TM-Aufnahmen aus Grob- und Kraftfutter, sowie die Milchleistungen wurden täglich von jedem Tier ermittelt. Im Rahmen der Milchleistungsprüfungen wurden die Inhaltsstoffe analysiert. Im Laufe des Beobachtungszeitraumes wurde von jedem Tier viermal eine Probe von Pansensaft, Harn und Kot gewonnen, sowie die Lebendmassen ermittelt. Von allen Proben wurden die pH-Werte bestimmt. Der Pansensaft wurde zudem gaschromatographisch auf sein Fettsäuremuster analysiert, der Harn einer fraktionierten Analyse der Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (fNSBA) unterzogen. Nach Bestimmung des Rohprotein-(XP)- und Rohasche-(XA)-Gehaltes der Kotproben wurde über die Kot-Stickstoffmethode die Verdaulichkeit der organischen Masse der verfütterten Ration geschätzt. Am Ende des Versuches wurden die Fruchtbarkeitsdaten ermittelt.

Folgende Ergebnisse bezogen auf den  $\text{NaHCO}_3$ -Einsatz wurden festgestellt:

1. TM-Aufnahmen und Milchleistungen blieben durch  $\text{NaHCO}_3$  unbeeinflusst.
2. Energiebilanzen blieben über den gesamten Beobachtungszeitraum negativ.
3. Lebendmassen und Rückenfettdicken nahmen unter  $\text{NaHCO}_3$  in geringerem Umfang ab.
4. Signifikant höhere Azetat-Konzentration im Pansensaft, signifikant differentes ruminales Azetat-Propionat-Verhältnis bei übereinstimmendem pH-Wert.
5. Signifikant differente fNSBA und Basen-Säuren-Quotient (BSQ) im Harn bei übereinstimmendem pH-Wert.
6.  $\text{NaHCO}_3$  hatte keinen Einfluss auf den Kot-pH und die Verdaulichkeit der organischen Masse, die insgesamt auf einem hohen Niveau lag.
7. Rastzeit, Zwischentragezeit und Zwischenkalbezeit waren indifferent, während der Besamungsindex um 0,6 Punkte geringer und der Erstbesamungserfolg um 30 Prozentpunkte höher war.

Vorangegangene Untersuchungen konnten zeigen, dass der Einsatz von  $\text{NaHCO}_3$  in Rationen mit hohen Maissilageanteilen deutliche Effekte hatte. Der vorliegende Versuch mit einer Ration, deren Grobfutteranteil vorwiegend aus Grassilage bestand, untermauert demgegenüber die Aussage, dass der  $\text{NaHCO}_3$ -Zusatz bei Nicht-Maissilage-Fütterung weitgehend effektfrei bleibt. Dennoch konnten durch den vorliegenden Versuch signifikante Unterschiede in den Ergebnissen der Harn- und Pansensaftuntersuchungen zwischen  $\text{NaHCO}_3$ -supplementierten Kühen und nicht-supplementierten Tieren festgestellt werden. Diese Unterschiede werden aber trotz statistisch gesicherter Differenzen nicht als biologisch bedeutsam eingeschätzt. Die vorliegende Untersuchung läßt eine vorteilhafte Einflussnahme auf Fertilitätsdaten unter  $\text{NaHCO}_3$ -Supplementierung vermuten. In Folgeuntersuchungen sollten mit größerem Stichprobenumfang und/oder längeren Beobachtungszeiträumen derartige Langzeiteffekte geprüft werden.

# Summary

## **Effects of supplemental sodium bicarbonate on high-yielding dairy cows in early-lactation fed grass silage-based mixed rations.**

The objective of the present study was to determine effects of the supplementation of 240 g sodium bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ) as dietary buffer to a mixed diet high in grass silage on early lactating German Holstein cows. The trial covered the first 15 weeks of lactation.

Forty cows and heifers were divided equally into two groups and fed a basal ration whose forage portion consisted of 70 % grass silage and 30 % maize silage (dry matter basis). Additional concentrates (without or with  $\text{NaHCO}_3$ ) were given in dependence on milk yield during milking in the automatic single-milk-box.

Dry matter intake from the basal ration and concentrates as well as milk yield were recorded daily. Based on regular milk tests milk composition was analyzed. Four times during the trial period samples of ruminal fluid, urine and faeces were taken from each animal and the body weights were documented. The pH-value of each sample was determined. Moreover, ruminal fluid was analyzed by gas chromatography on content and composition of fatty acids, urine was tested on net acid-base excretion (NABE). The crude protein (CP) and ash contents of the faeces were determined to estimate diet organic matter digestibility from faecal CP. In addition, dry matter and proximate constituent contents of concentrates and the basal ration were estimated. Finally, the fertility status of each animal was determined at the end of the trial.

The following results concerning NaHCO<sub>3</sub>-supplementation were obtained:

1. There was no effect on dry matter intake and milk -performance.
2. Energy balances developed earlier towards positive ranges, but were negative throughout the whole trial period.
3. Postpartum changes in body weight and back fat thickness were less pronounced.
4. The concentration of acetate in the ruminal fluid was higher, likewise the acetate-propionate-ratio, whereas ruminal pH was not affected.
5. Significantly different NABE in urine at similar pH values.
6. No influence on fecal pH or diet organic matter digestibility, which showed high values for both diets.
7. Resting times, empty days and calving intervals were not different, whereas insemination index was lower by 0,6 points and first services were higher by 30 percentage units when NaHCO<sub>3</sub> was supplemented.

The results of the present study support conclusions of previous research, that additional dietary NaHCO<sub>3</sub> in non-maize-silage based rations shows basically no effects. Nevertheless, metabolites of ruminal fluid and urine indicated NaHCO<sub>3</sub> supplementation effects. However, the magnitude of the differences was such that it can be concluded that they were of minor biological significance. Although the present study indicated benefits for dairy cows with additional buffer concerning long-term effects like reproductive performance these differences were not statistically different. Subsequent studies on larger herds and (or) covering more than one lactation should be conducted to investigate effects of additional NaHCO<sub>3</sub> on fertility traits.

# Literaturverzeichnis

ACETO, H., A.J. SIMEONE, J.D. FERGUSON (2000):

Effect of ruminocentesis on health and productivity in dairy cows.

J. Anim. Sci. 78, (Suppl. 1), J. Dairy Sci. 83, Suppl. 1 Abstr. 162

AIUMLAMAI, S., H. KINDAHL, G. FREDRIKSSON, L.-E. EDQVIST, L. KULANDER, Ö. ERIKSSON (1992):

The role of endotoxins in induced ruminal acidosis in calves.

Acta vet. scand. 33, 117-127

ARAMBEL, M.J., R.D. WIEDMEIER, D.H. CLARK, R.C. LAMB, R.L. BOMAN, J.L. WALTERS (1988):

Effect of sodium bicarbonate and magnesium oxide in an alfalfa-based total mixed ration fed to early lactating dairy cattle.

J. Dairy Sci. 71, 159-163

BARGAI, U., D. LEVIN (1993):

Lameness in the Israeli dairy herd – a national survey of incidence, types, distribution and estimated cost.

Isr. J. Vet. Med. 48, 88-91

BAUMANN, D.E., J.M. GRINARI, A. BALDI, K. STELWAGEN (2001):

Regulation and nutritional manipulation of milk fat: Low-milk-fat syndrome

Livest. Prod. Sci. 70, 15-29

BERGSTEN, C. (1994):

Haemorrhages of the sole horn of dairy cows as a retrospective indicator of laminitis. An epidemiological study.

Acta vet. scand. 35, 55-66

BRAND, A.; M. WARNER (1996):

Monitoring reproductive performance: Execution.

In: A. BRAND, J.P.T.M. NOORDHUIZEN, Y.H. SCHUKKEN (edits):

Herd health and production management in dairy practice.

Wageningen Pers, Wageningen , S. 293-31

BRANDEJSKY, F., C. STANEK, M. SCHUH (1994):  
Zur Pathogenese der subklinischen Klauenrehe beim Milchrind: Untersuchungen von Klauenstatus, Pansenstatus und Blutgerinnungsfaktoren.  
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 101: 68-71

CAKALA, S., A. ALBRYCHT, K. BIENICK (1974):  
Zum Säure-Basengleichgewicht in der experimentellen Pansenazidose und -alkalose beim Rind.  
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 86: 482-485

CANALE, C.J., M.R. STOKES (1988):  
Sodium bicarbonate for early lactation cows fed corn silage or hay crop silage-based diets.  
J. Dairy Sci. 71: 373-380

DE BRABANDER, D.L., J.L. DE BOEVER, J.M. VANACKER, C.V. BOUCQUÉ,  
S.M. BOTTERMAN (1999):  
Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition.  
In: P.C. GARNSWORTHY und J. WISEMAN (edits):  
Recent Advances in Animal Nutrition  
Nottingham University Press Loughborough UK, S. 111-145

DePETERS, E.J., A.H. FREDEN, D.L. BATH, N.E. SMITH (1984):  
Effect of sodium bicarbonate addition to alfalfa hay-based diets on digestibility of dietary fractions and rumen characteristics.  
J. Dairy Sci. 67: 2344-2355

DIRKSEN, G. H., G. LIEBICH, G. BROSI, H. HAGEMEISTER, E. MAYER (1984):  
Morphologie der Pansenschleimhaut und Fettsäureresorption beim Rind –  
bedeutende Faktoren für Gesundheit und Leistung.  
Zbl. Vet. Med. A31, 414-430

DIRKSEN, G. (1985):  
Der Pansenazidose-Komplex – Neuere Erkenntnisse und Erfahrungen.  
Tierärztl. Prax. 13, 501-512

DIRKSEN, G. und M.C. SMITH (1987):  
Aquisition and analysis of bovine rumen fluid.  
Bov. Pract. 22, 108-116

DONOVAN, G.A., C.A. RISCO, G.M. DE CHANT TEMPLE, T.Q. TRAN,  
H.H. VAN HORN (2004):  
Influence of transition diets on occurrence of subclinical laminitis in Holstein dairy cows.  
J. Dairy Sci. 87, 73-84

DONOVAN, J. (1997):  
Subacute acidosis is costing us millions.  
Hoard's Dairyman 142, S. 666

EMERY, D.L., J. A. VAUGHAN, B.L. CLARK, J.H. DUFTY, D.J. STEWART (1985):  
Cultural characteristics and virulence of strains of *Fusobacterium necrophorum*  
isolated from the feet of cattle and sheep.  
Austr. Vet. J. 62: 43-46

EMERY, D.L., J.A. VAUGHAN, B.L. CLARK, D.J. STEWART (1986):  
Virulence determinants of *Fusobacterium necrophorum* and their prophylactic  
potential in animals.  
In: D.J. STEWART, J.E. PETERSON, N.M. McKERN (edits.): Footrot in ruminants.  
CSIRO Division of animal health, Australian Wool Corporation, Australia, S. 267-274

ENEMARK, J.M.D., R.S. JØRGENSEN, P.S. ENEMARK (1998):  
Rumen acidosis with special emphasis in diagnostic aspects in subclinical rumen  
acidosis.  
Dan. Veterinaertidsskr. 81, 886-897

ENJALBERT, F., Y.VIDEAU, M.C. NICOT, A. TROEGELER-MEYNADIER (2007):  
Effects of induced subacute ruminal acidosis on milk fat content and milk fatty acid  
profile.  
J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. Journal Compilation; 1-10

FESSL, L. (1992):  
Erkrankungen des Bewegungsapparates.  
In: HOFMANN, W: (edit.): Rinderkrankheiten Band 1  
Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S.184-202

FLACHOWSKY, G., P. LEBZIEN, U. MEYER (2004):  
Zur energetischen Futterbewertung bei Hochleistungskühen.  
Übers. Tierernährg., 32, 23-56

FRANKENA, K., A.C. VAN KEULEN, J.P. NOORDHUIZEN, E.N. NOORDHUIZEN-  
STASSEN, J. GUNDELACH, D.-J. DE JONG, I. SAEDT (1992):  
A cross sectional study into prevalence and risk factors of digital haemorrhages in  
female dairy cows.  
Prev. Vet. Med. 14: 1-12

FÜRLL, M. (1993):  
Diagnostik und Therapie chronischer Störungen des Säure-Basen-Haushaltes (SBH)  
bei Rindern.  
Prakt. Tierarzt, Coll. Vet. XXIV, 49-54

FÜRLL, M., W. ECKERMANN, M. AMIN (1994):  
Säure-Basen- und Mineralstoffhaushalt bei gesunden Kühen im geburtsnahen  
Zeitraum.  
Tierärztl. Umschau 49: 107-115



GABEL, M., B. PIEPER, K. FIREDEL, M. RADKE, A. HAGEMANN, J. VOGT, S. KUHLA (2003):  
Influences of nutrition level on digestibility in high yielding cows and effects on energy evaluation systems.  
J. Dairy Sci. 86: 3992-3998

GÄBLER, G. (1990):  
Pansenazidose: Interaktion zwischen den Veränderungen im Lumen und in der Wand des Pansens.  
Übers. Tierernährg. 18, 1-38

GARRETT, E.F. (1996):  
Subacute ruminal acidosis (SARA).  
Large Anim. Vet. 51, Nr. 6, S. 6-10

GARRETT, E.F., K.V. NORDLUND, W.J. GOODGER, G.R. OETZEL (1997):  
A cross-sectional field study investigating the effects of periparturient dietary management on ruminal pH in early lactating dairy cows.  
J. Dairy Sci. 80, (Suppl. 1), 169

GARRETT, E.F., M.N. PERREIRA, K.V. NORDLUND, L.E. ARMENTANO, W.J. GOODGER und G.R. OETZEL (1999):  
Diagnostic methods for the detection of subacute ruminal acidosis in dairy cows.  
J. Dairy Sci. 82, 1170-1178

GARRY, F.B. (2002):  
Indigestion in ruminants.  
In: SMITH, B.P. (edit.): Large animal internal medicine 2<sup>nd</sup> edition  
Mosby, St. Louis and Baltimore, S. 722-747

GAYNOR, P.J., R.A. ERDMAN, B.B. TETER, J. SAMPUGNA, A.V. CAPUCO D.R. WALDO, M. HAMOSH (1994):  
Milk fat yield and composition during abomasal infusion of *cis*- and *trans*-octadecenoates in Holstein cows.  
J. Dairy Sci. 85: 2023-2029

GAYNOR, P.J., D.R. WALDO, A.V. CAPUCO, R.A. ERDMAN, L.W. DOUGLASS, B.B. TETER (1995):  
Milk fat depression, the glucogenic theory, and trans-C-18:1 fatty acids.  
J. Dairy Sci. 78: 2008-2015

GIGER-REVERDIN, S., C. DUVAUX-PONTER, D. SAUVANT, O. MARTIN, I. NUNES DO PRADO, R. MÜLLER (2002):  
Intrinsic buffering capacity of feedstuffs.  
Anim. Feed Sci., 96 83-102

GÜRTLER, H., F.J. SCHWEIGERT (2000):  
Physiologie der Laktation.  
In: ENGELHARD, W., G. BREVES (edits.): Physiologie der Haustiere  
Enke-Verlag, Stuttgart S. 572-593

HARFOOT, C.G. und G.P. HAZLEWOOD (1988):

Lipid metabolism in the rumen

In: P.N. HOBSON (edit.): The rumen microbial ecosystem.

Elsevier Sci. Pub. BV, Amsterdam, The Netherlands, S. 285-322

HOLLBERG, W. (1984):

Vergleichende Untersuchungen von mittels Shambye-Sörensen-Sonde oder durch Punktion des kaudoventralen Pansensacks gewonnenen Pansensaftproben.

Dtsch. Tierärztl. Wochenschr. 91, 305-344

HÖLTERSHINKEN, M., V. VLIZLO, M. MERTENS und H. SCHOLZ (1992):

Untersuchungen zur Zusammensetzung von über Sonde bzw. Fistel gewonnenem Pansensaft des Rindes.

Dtsch. Tierärztl. Wochenschr. 99, 228-230

HU, W. und M. R. MURPHY (2005):

Statistical evaluation of early- and mid-lactation dairy cow responses to dietary sodium bicarbonate addition.

Anim. Feed Sci. Technol. 119, 43-54

JENSEN, R., H.M. DEANE, L.J. COOPER, V.A. MILLER, W.R. GRAHAM (1954):

The rumenitis-liver abscess complex in beef cattle.

Am. J. Vet. Res. 15, 202-216

JØRGENSEN, K. (1957):

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

J. Clin. & Lab. Invest. 9, 287-291

KALSCHEUR, K.F., B.B. TETER, L.S. PIPEROVA, R.A. ERDMAN (1997):

Effect of fat source on duodenal flow of trans-C<sub>18:1</sub> fatty acids and milk fat production in dairy cows.

J. Dairy Sci. 80, 2115-2126

KENNELLY, J.J., B. ROBINSON, G.R. KHORASANI (1999):

Influence of carbohydrate source and buffer on rumen fermentation characteristics, milk yield, and milk composition in early-lactation dairy cows.

J. Dairy Sci. 82, 2486-2496

KLEEN, J.L., HOOIJER, G.A., REHAGE, J., NOORDHUIZEN, J.P.T.M. (2003)

Subacute Ruminal Acidosis (SARA): a Review.

J. Vet. Med. A 50, 406-414

KLEEN, J.L. (2003):

Prevalence of Subacute Ruminal Acidosis in Dutch Dairy Herds – A Field Study.

Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.

KRAFT, W., U.M. DÜRR, M. FÜRLI, H. BOSTEDT, K. HEINRITZI (1999):

Netto-Säure-Basen-Ausscheidung (NSBA).

in: KRAFT, W., U.M. DÜRR (edits.) Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin.

Schattauer Verlag, Stuttgart-New York, 5. Aufl., S. 173-176

- KHORASANI, G.R., J.J. KENNELLY (2001):  
Influence of carbohydrate source and buffer on rumen fermentation characteristics, milk yield, and milk composition in late-lactate Holstein cows.  
J. Dairy Sci. 84, 1707-1716
- KONONOFF, P.J., A.J. HEINRICHS (2003):  
The effect of corn silage particle size and cottonseed hulls on cows in early lactation.  
J. Dairy Sci. 86, 2438-2451
- KRAJCARSKI-HUNT, H., J.C. PLAIZIER, J.P. WALTON, R. SPRATT, B.W. McBRIDE (2002):  
Effect of subacute ruminal acidosis on in-situ fibre digestion in lactating dairy cows.  
J. Dairy Sci. 85, 570-573
- KRAUSE, K. M., G.R. OETZEL, (2006):  
Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review.  
Anim. Feed Sci. Technol. 126, 215-236
- KUTAS, F (1965):  
Determination of net-acid base excretion in the urine of cattle.  
Acta Vet. Academ. Sci. H. 15, 147-153
- KUTAS, F. (1967):  
Diagnosis of acid-base disturbances in cattle herds fed on various diets.  
Acta Vet. Academ. Sci. H. 17: 269-278
- LECHTENBERG, K.F., T.G. NAGARAJA, H.W. LEIPOLD, M.M. CHENGAPPA (1988):  
Bacteriologic and histologic studies of hepatic abscesses in cattle.  
Am. J. Vet. Res. 49: 58-62
- LEONARDI, C., W.J. ARMENTANO (2003):  
Effect of quantity, quality and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows.  
J. Dairy Sci. 86, 557-564
- LISCHER, C., P. OSSENT (1994):  
Klauenrehe beim Rind: Eine Literaturübersicht.  
Tierärztl. Prax. 22, 424-423
- LUKAS M., K.-H. SÜDEKUM, G. RAVE, K. FRIEDEL, A.SUSENBETH (2005):  
Relationship between fecal crude protein concentration and diet organic matter digestibility in cattle.  
J. Anim. Sci. 2005, 83: 1332-1344
- MANSON, F.J., J.D. LEAVER (1988):  
The influence of concentrate amount on locomotion and clinical lameness in dairy cattle.  
Anim. Prod. 47, 185-190

MANSON, F.J., J.D. LEAVER (1998):

The effect of concentrate silage ratio and of hoof trimming on lameness in dairy cattle.

Anim. Prod. 49, 15-22

MGASSA, M.N.G., G. AMAYA-PORADA, M. HESSELHOLT (1984):

*Pododermatitis aseptica diffusa* (laminitis) in free range beef cattle in tropical Africa.

Vet. Rec. 115: 413

MOSER, E.A., T.J. DIVERS (1987):

Laminitis and decreased milk production in first-lactation cows improperly fed a dairy diet.

JAUMA 190: 1575-1576

MURPHY, M., M. AKERLIND, K. HOLTENIUS (2000):

Rumen fermentation in lactating cows selected for milk fat content fed two forage-to-concentrate ratios with hay or silage.

J. Dairy Sci. 83, 756-764

NAGARAJA, T.G. (2000):

Liver abscesses in beef cattle – Potential for dairy monitoring?

Proc. 33<sup>rd</sup> Annual Conv. Americ. Assoc. Bov. Pract., Rapid City, 2000, S. 65-68

NAGARAJA, T.G. und M.M. CHENGAPPA (1998):

Liver abscesses in feedlot cattle: A review.

J. Anim. Sci. 76: 287-298

NAGARAJA, T.G., S.B. LAUDERT, J.C. PARROT (1996):

Liver abscesses in feedlot cattle, Part I. Causes, pathogenesis, pathology and diagnosis.

Comp. Cont. Edu. Pract. Vet. 18: S230-S273

NAKAJIMA, Y., H. UEDA, Y. YAGI, K. NAKAMURA, Y. MOTOI, S. TAKEUCHI (1986):

Hepatic lesions in cattle caused by experimental infection of *Fusobacterium necrophorum*.

Jpn. J. Vet. Sci. 48: 509-515

NELSON, A.J., M.B. CATTELL (2000):

Culling and laminitis: Real herds, real cows, real deaths.

The Bov. Pract. 35, 42-45

NILSSON, S.A. (1963):

Clinical, morphological and experimental studies of laminitis in cattle.

Acta vet. scand. Suppl. 4: 9, 304

NOCEK, J.E. (1997):

Bovine acidosis: Implications on laminitis.

J. Dairy Sci. 80, 1005-1028

NORDLUND, K.V., E.F. GARRETT (1994):

Ruminocentesis: A technique for collecting rumen fluid for the diagnosis of subacute rumen acidosis in dairy herds.

The Bov. Pract. 28, 109-112

NORDLUND, K.V., E.F. GARRETT, G.R. OETZEL (1995):

Herd-based ruminocentesis – a clinical approach to the diagnosis of subacute ruminal acidosis in dairy herd.

The Bovine Pract. 28, 109-112

OETZEL, G.R. (2000):

Clinical aspects of ruminal acidosis in dairy cattle.

Proc. 33<sup>rd</sup> Annual Conv. Americ. Assos. Bov. Pract., Rapid City, 2000, S. 46-53

OLSSON, G., C. BERGSTEN, H. WIKTORSSON (1998):

The influence of diet before and after calving on the food intake, production and health of primiparous cows, with special reference to sole haemorrhages.

Anim. Sci. 66, 75-86

PLAIZIER, J.C. (2004):

Replacing chopped alfalfa hay with alfalfa silage in barley grain and alfalfa based total mixed rations for lactation dairy cows.

J. Dairy Sci. 87, 2495-2505

PRENTICE, D.L., D.M. SCHAEFER, G.R. OETZEL (2000):

Effect of lasalocid on the forage to concentrate ratio fed to steers maintained at pre-determined daily average ruminal pH.

J. Dairy Sci. 83 (suppl. 1), 246

PIEPER, R., M. RADKE, M. GABEL, B. PIEPER (2005):

Kritische Betrachtungen zur Energieversorgung der Milchkühe bei hohen Leistungen. Übers. Tierernährg. 33 (2005) 17-35

PRIES, M., A. MENKE, L. STEEVENS, H. VAN DE SAND (2007):

Verdaulichkeitsbestimmung von TMR bei variierendem Ernährungsniveau.

In: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung,

Fulda 28./29.03.2007, Verband der Landwirtschaftskammer, Berlin, 1-4

RADKE, M., A. HAGEMANN, M. GABEL, B. PIEPER, J. VOIGT, S. KUHLA (2003):

Verdaulichkeitsdepression bei der Hochleistungskuh – Berücksichtigung bei der Rationsformulierung.

Arch. Tierzucht 46, 115-121

ROGERS, J.A., L.D. MULLER, T.J. SNYDER, T.L. MADDOX (1985):

Milk production, nutrient digestion, and rate of digesta passage in dairy cows fed long or chopped alfalfa hay supplemented with sodium bicarbonate.

J. Dairy Sci. 68, 868-880

- ROMO, G.A., D.P. CASPER, R.A. ERDMAN, B.B. TETER (1995):  
Abomasal infusion of *cis* or *trans* fatty acid isomers and energy metabolism of lactating dairy cows.  
J. Dairy. Sci. 79: 2005-2015
- ROSSOW, N. (1984):  
Erkrankungen der Vormägen und des Labmagens.  
In: N. ROSSOW (edit.): Innere Krankheiten der landwirtschaftlichen Nutztiere  
Fischer Verlag, Jena, S. 224-259
- SCANLAN C.M., T.L. HATHCOCK (1983):  
Bovine rumenitis-liver abscess complex: A bacteriological review.  
Cornell Vet. 73, 288-297
- SLYTER, L.L. (1976):  
Influence of acidosis on rumen function.  
J. Anim. Sci. 43: 910-929
- SMITH, H.A. (1944):  
Ulcerative lesions of the bovine rumen and their possible relation to hepatic abscesses.  
Am. J. Vet. Res. 5: 234-242
- STAPLES, C.R., D.S. LOUGH (1989):  
Efficacy of supplement dietary neutralizing agents for lactating dairy cows: A review.  
Anim. Feed Sci. Technol. 23: 277-303
- STAUFENBIEL, R., DIDID, T., WALLENBURG, A. GELFERT, C.-C. (2000):  
Zur Prophylaxe der subklinischen Pansenazidose : Vorzüge und Risiken des Einsatzes von Pansenpuffer  
BPT-Kongress, Leipzig, 12. -15. 10. 2000
- STEINGASS, H., A. HAAS, R. STETTER, T. JILG, A. SUSENBETH (1994):  
Einfluss des Futterniveaus auf die Nährstoff- und Energieverdaulichkeit bei Schaf und Rind.  
Wirtschaftseigene Futter 40, 215-228
- STOCK, R. (2000):  
Acidosis in cattle: An overview.  
Proc. 33<sup>rd</sup> Annual Conv. Americ. Assoc. Bov. Pract., Rapid City, 2000, 30-37
- STOKES, M.R., L.L. VANDEMARK, L.S. BULL, (1986):  
Effects of sodium bicarbonate, magnesium oxide, and a commercial buffer mixture in early lactation cows fed hay crop silage.  
J. Dairy Sci. 69: 1595-1603
- STONE, W.C. (2004):  
Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle.  
J. Dairy Sci. 87: 13-26

- STORRY, J.E., P.E. BRUMBY, A.J. HALL, V.W. JOHNSON (1974):  
Response in rumen fermentation on milk fat secretion in cows receiving low-roughage diets supplemented with protected tallow.  
J. Dairy Res. 41: 165-173
- TAKEUCHI, S., Y. NAKAJIMA, H. UEDA, Y. MOTOI, Y. KOBAYASHI, T. MOROZUMI (1984):  
Hepatic abscess formation in cattle inoculated with *Fusobacterium necrophorum*.  
Jpn. J. Vet. Sci. 45: 775-781
- TAN, Z.L., T.G. NAGARAJA, M.M. CHENGAPPA (1994):  
Selective enumeration of *Fusobacterium necrophorum* from the bovine liver.  
Appl. Environ. Microbiol. 60: 1387-1389
- TAN, Z.L., T.G. NAGARAJA, M.M. CHENGAPPA (1996):  
*Fusobacterium necrophorum* infections: virulence factors, pathogenic mechanism and control measures.  
Vet. Res. Commun. 20: 113-140
- TEH, T.H., R.W. HEMKEN, R.J. HARMON (1985):  
Dietary magnesium oxide interactions with sodium bicarbonate on cows in early lactation.  
J. Dairy Sci. 68, 881-890
- VAN BEUKELLEN, P., T. WENSING und H.J. BREUKINK (1985):  
Some experiments with the feeding of chopped roughage to high producing dairy cows.  
Zeitschr. Tierphys., Tierern., Futtermittelk. 53, 19-34
- ZEBELI, Q., M. TAJAJ, H. STEINGASS, B. METZLER, W. DROCHNER (2006):  
Effects of physically effective fiber on digestive processes and milk fat content in early lactating dairy cows fed total mixed rations.  
J. Dairy Sci. 89, 651-668
- ZEBELI, Q., J. DIJKSTRA, M. TAJAJ, H. STEINGASS, B.N. AMATAJ, W. DROCHNER (2008):  
Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet.  
J. Dairy Sci. 91, 2046-2066

## Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius, Temperatureinheit
A.n.v.	Angaben nicht verfügbar
<i>a.p.</i>	<i>ante partum</i> (lat.); vor der Geburt
A : P	ruminales Azetat-Propionat-Verhältnis
Abb.	Abbildung
<i>ad lib.</i>	<i>ad libitum</i> (lat.); nach Belieben
ADF <sub>om</sub>	organischer Anteil der Säure-Detergenzien-Faser
BI	Besamungsindex
BSQ	Basen-Säuren-Quotient
bzw.	beziehungsweise
C	chemisches Symbol für Kohlenstoff
Ca	chemisches Symbol für Kalzium
ca.	<i>circa</i> (lat.); ungefähr, etwa
Cl	chemisches Symbol für Chlor
cm	Zentimeter, Längeneinheit (1x10 <sup>-2</sup> m)
d.h.	das heißt
DLG	Deutsche landwirtschaftliche Gesellschaft
DOM	<i>digestibility of organic matter</i> (engl.); Verdaulichkeit der organischen Substanz
EBE	Erstbesamungserfolg
engl.	englisch
<i>et al.</i>	<i>et alii</i> (lat.); und andere
Fa.	Firma
fNSBA	fraktionierte Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung
g	Gramm, Masseneinheit
GF	Grobfutter
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
griech.	griechisch
H <sup>+</sup>	ionisierte Form von Wasserstoff, Proton
HCl	chemische Summenformel für Chlorwasserstoff = Salzsäure
J	Joule, Energieeinheit, hier: Brennwert
K	chemisches Symbol für Kalium
Kat.	Katalog
k.A.	keine Angaben
Kt	Kontrollgruppe
KF	Krafftfutter
kg	Kilogramm, Masseneinheit
KM	Körpermasse
l	Liter, Volumeneinheit
lat.	lateinisch
Lkt.	Laktation
LKV	Landeskontrollverband
LM	Lebendmasse, Körpergewicht des lebenden Tieres
LMS	low milk fat syndrome
LUFA	landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt



## Anhang

---

MFD	milk fat depression
Mg	chemisches Symbol für Magnesium
MJ	Megajoule, Energieeinheit ( $1 \times 10^6$ J)
ML	Milchleistung
m	Meter, Längeneinheit
mg	Milligramm, Masseneinheit ( $1 \times 10^{-3}$ g)
ml	Milliliter, Volumeneinheit ( $1 \times 10^{-3}$ l)
mm	Millimeter, Längeneinheit ( $1 \times 10^{-3}$ m)
mmol	Millimol, Stoffmengeneinheit ( $1 \times 10^{-3}$ mol)
mol	Mol, Stoffmengeneinheit ( $6,0221415 \times 10^{23}$ Teilchen)
MS	<i>maize silage</i> , engl.; Maissilage
N	chemisches Symbol für Stickstoff
n	Stoffmenge, auch: Anzahl
n.b.	nicht berücksichtigt
n/a	<i>not available</i> (engl.); nicht verfügbar
Na	chemisches Symbol für Natrium
NaHCO <sub>3</sub>	Summenformel für Natriumhydrogenkarbonat
NaOH	Summenformel für Natriumhydroxid
NDF <sub>om</sub>	organischer Anteil der Neutralen-Detergenzien-Faser
NEL	Netto Energie Laktation
NIRS	Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie
NMS	<i>non maize silage</i> (engl.); Futterrationen ohne Maissilage
Nr.	Nummer
NRW	Nordrhein-Westfalen
NSBA	Netto-Säure-Basen-Ausscheidung
nXP	nutzbares Rohprotein am Duodenum
O	chemisches Symbol für Sauerstoff
OM	<i>organic matter</i> (engl.); organische Substanz
pH	negativer dekadischer Logarithmus der H <sup>+</sup> -Ionenkonzentration
<i>p.p.</i>	<i>post partum</i> (lat.); nach der Geburt
PSPS	Penn State particle separator
RFD	Rückenfettdicke
RNB	ruminale Stickstoffbilanz
RZ	Rastzeit
SARA	<i>subacute ruminal acidosis</i> (engl.); subakute Pansenazidose
SE	<i>standard error of the mean</i> (engl.); Standardabweichung
s.d.	siehe dort
<i>syn.</i>	<i>synonyma</i> (lat.); anderes Wort für
Tab.	Tabelle
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
u.	und
u.a.	unter anderem
V	Volumen
v.a.	vor allem
VDLUFA	Verband deutscher LUFA (s.d.)
Vs	Versuchsgruppe
Wdh.	Wiederholung
Wdk.	Wiederkäuer
w.n.a.	wenn nicht anders angegeben
XA	Rohasche

## Anhang

---

XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
z.B.	zum Beispiel
ZKZ	Zwischenkalbezeit
ZTZ	Zwischentragezeit
ZP	Zeitpunkt

$\alpha$	griech. Buchstabe <i>alpha</i>
$\beta$	griech. Buchstabe <i>beta</i>
$\Delta$	griech. Buchstabe <i>delta</i> ; Symbol für Differenz
$\mu$	griech. Buchstabe <i>my</i> ; Prafix für Mikro- ( $1 \times 10^{-6}$ ), w.n.a.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bildung kurzkettiger Fettsäuren _____	4
Abbildung 2: Strukturformel $\text{NaHCO}_3$ _____	12
Abbildung 3 TM-Aufnahme/Tier und Tag über 15 Laktationswochen _____	36
Abbildung 4: Milchleistung im Laktationsverlauf _____	38
Abbildung 5: Veränderung der Lebendmasse im Laktationsverlauf; _____	39
Abbildung 6: Veränderung der Rückenfettdicke im Laktationsverlauf _____	40
Abbildung 7: Vergleich Energiebilanzen im Zeitverlauf _____	41
Abbildung 8: Vergleich NSBA im Zeitverlauf _____	44

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Relevante Ergebnisse der Metaanalyse von HU und MURPHY (2005) _____	15
Tabelle 2: Übersicht Ergebnisse non-maize-silage-Studien _____	19
Tabelle 3: Übersicht Autoren und Referenzwerte der NSBA _____	21
Tabelle 4: Aufteilung der Versuchstiere _____	24
Tabelle 5: Komponenten der Mischration "as fed" _____	26
Tabelle 6: durchschnittlicher Energie- und Nährstoffgehalt der Mischration _____	26
Tabelle 7: Anteile (%) der Einzelkomponenten in Mineralstoffergänzer _____	27
Tabelle 8: Analytierte Nährstoffe der Krafffutter _____	28
Tabelle 9: Prüfparameter und -methoden der Futtermittel _____	31
Tabelle 10: Mittelwerte und Streubreiten der Futter- und Energiemengen _____	35
Tabelle 11: statistische Analyse der Futterdaten _____	36
Tabelle 12: Milchmengen, energiekorrigierte Milch, Milchhaltsstoffe _____	37
Tabelle 13: Varianzanalyse der Milchproduktionsdaten _____	37
Tabelle 14: mittlere Veränderung LM, RDF und EBZ _____	39
Tabelle 15: Kenngrößen der Pansenflüssigkeit _____	42
Tabelle 16: Varianzanalyse der Pansensaft-Untersuchungsergebnisse _____	42
Tabelle 17: Ergebnisse der Harnuntersuchungen _____	43
Tabelle 18: Ergebnisse der Kotuntersuchungen _____	46
Tabelle 19: Fruchtbarkeitsdaten und Abgangsursachen _____	46

## Danksagungen

Mein herausragender Dank gilt Herrn Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum für die Überlassung des Themas und die immerwährende Unterstützung und Motivierung trotz eigener immenser Arbeitsbelastung und für den Glauben an das Gelingen auch während größerer unproduktiver Phasen. (Er findet dich, egal, wo du bist...!)

Herrn Prof. Dr. Klaus Männer möchte ich für seine Unterstützung und sein Interesse an der Fertigstellung der Arbeit an der Freien Universität Berlin herzlich danken.

Herrn Dr. Martin Pries danke ich für die Möglichkeit, den Versuch am Landwirtschaftszentrum „Haus Riswick“ in Kleve der LWK NRW durchführen zu können und für seine Hilfe bei der praktischen Planung des Versuches.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn Hendrik van de Sand, ohne dessen Hilfe und Mitarbeit Planung und Durchführung des Versuchs nicht möglich gewesen wäre. Ebenso (Power)Frau Katrin Metzger-Petersen für ihre tatkräftige (!) Unterstützung bei der Probengewinnung.

Frau Dr. Elisabeth Jonas und Herrn Jens Benninghoff (Prosit!) vom Institut für Tierwissenschaften Abt. Tierernährung danke ich für die große Hilfestellung bei der statistischen Auswertung.

## Anhang

---

Frau Nadja Wahl und Frau Petra Jaquemien für die vielen Stunden labortechnischer Analysearbeit und die freundliche Aufnahme und Hilfe im Labor ein herzliches Dankeschön!

Der Firma Solvay, insbesondere Herrn Frederik Degraeve, danke ich für die Finanzierung des Projektes und die Bereitstellung des Natriumhydrogenkarbonates.

Weiterhin möchte ich mich bei Frau Katrin Günther für ihre Hilfe bei der Korrektur der Arbeit bedanken.

Ganz besonders herzlich möchte ich mich bei Frau Dr. Anna Kosmol bedanken, die mich über Jahre hinweg motivieren konnte und der ich ebenso lange mit großen und vor allem kleinen Fragen auf die Nerven fallen durfte. (Is vorbei, weisse Bescheid...)

**Veröffentlichungen, die Inhalte dieser Dissertationsschrift teilweise wiedergeben, sind:**

C. WÜLBECK, M. PRIES, H. VAN DE SAND, K.-H. SÜDEKUM (2008):  
Pansenpuffer für laktierende Milchkühe-  
Wirkungen von Natriumhydrogenkarbonat in einer grassilagebetonten Ration.  
In: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung,  
Fulda 09./10.04.2008, Verband der Landwirtschaftskammern, Berlin, 1-4

## **Selbständigkeitserklärung**

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

Christian Wülbeck

Berlin, den 14.02.2011