

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

**Vergleichende Untersuchungen zu den Auswirkungen einer Verabreichung von
Propylenglykol, Glycerin und L-Carnitin auf den Stoffwechsel und verschiedene
Leistungsparameter von Milchkühen im Rahmen der Ketoseprophylaxe**

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

**vorgelegt von
Inke Malchau
Tierärztin aus Kiel**

**Berlin 2011
Journal-Nr.: 3445**

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. L. Brunnberg
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. R. Staufenberg
Zweiter Gutachter: Prof. Dr. K. Männer
Dritter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. W. Heuwieser

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):
ketosis, dairy cows, metabolism, propylene glycol, carnitine

Tag der Promotion: 28.03.2011

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

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

ISBN: 978-3-86664-976-7

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 – www.menschundbuch.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	2
2.1	Die Ketose der Milchkuh	2
2.1.1	Definition der Ketose	2
2.1.2	Pathogenese der Ketose	2
2.1.3	Klinisch-chemische Parameter zur Charakterisierung des Kohlehydrat- und Fettstoffwechsels	4
2.1.3.1	Serumparameter	4
2.1.3.1.1	Nichtveresterte Fettsäuren (NEFA)	4
2.1.3.1.2	β -Hydroxybutyrat (BHB)	4
2.1.3.1.3	Aspartataminotransferase (AST)	5
2.1.3.1.4	Glutamat-Dehydrogenase (GLDH)	5
2.1.3.1.5	Bilirubin	5
2.1.3.1.6	Cholesterin	6
2.1.3.1.7	Glucose	6
2.1.3.2	Leberfettgehalt	6
2.1.3.3	Milchinhaltsstoffe	6
2.1.3.4	Rückenfettdicke und Body-Condition-Score	7
2.1.4	Einteilung der Ketose	7
2.1.5	Bedeutung der Ketose	8
2.1.6	Prophylaxe der Ketose	8
2.1.6.1	Propylenglykol	10
2.1.6.1.1	Chemische Zusammensetzung und Eigenschaften von Propylenglykol	10
2.1.6.1.2	Verstoffwechslung von Propylenglykol beim Wiederkäuer	10
2.1.6.1.3	Auswirkungen der Verabreichung von Propylenglykol auf Futteraufnahme, Milchleistung und Stoffwechselfparameter	10
2.1.6.2	Glycerin	14
2.1.6.2.1	Chemische Zusammensetzung und Eigenschaften von Glycerin	14
2.1.6.2.2	Verstoffwechslung von Glycerin beim Wiederkäuer	14
2.1.6.2.3	Auswirkungen der Verabreichung von Glycerin auf Futteraufnahme, Milchleistung und Stoffwechselfparameter	14
2.1.6.3	L-Carnitin	16
2.1.6.3.1	Chemische Zusammensetzung und Eigenschaften von L-Carnitin	16
2.1.6.3.2	Verstoffwechslung von L-Carnitin beim Wiederkäuer	16
2.1.6.3.3	Auswirkungen der Verabreichung von L-Carnitin auf Milchleistung, Futteraufnahme und Stoffwechselfparameter	17
3	Tiere, Material und Methoden	19
3.1	Allgemeines	19
3.2	Tiere, Haltung und Fütterung	19
3.2.1	Tiere	19
3.2.2	Haltung und Fütterung	20
3.3	Probenentnahme und Untersuchungsmethoden	28
3.3.1	Milchmenge und Milchinhaltsstoffe	29
3.3.1.1	Messung der Milchmenge	29
3.3.1.2	Analyse der Milchinhaltsstoffe	29
3.3.1.2.1	Probenentnahme	29
3.3.1.2.2	Analyse der Proben	29

3.3.2	Harnproben.....	30
3.3.2.1	Probenentnahme	30
3.3.2.2	Probenaufbereitung	30
3.3.2.3	Analyse der Harnproben.....	30
3.3.2.3.1	Bestimmung des pH-Wertes	30
3.3.2.3.2	Bestimmung der renalen NSBA, des Basengehaltes, des Säuregehaltes, des Basen-Säuren-Quotienten und des NH ₄ -Gehaltes.....	30
3.3.2.3.3	Na-, K-, Ca- und Mg-Bestimmung im Harn	31
3.3.3	Blutproben	31
3.3.3.1	Probenentnahme	31
3.3.3.2	Probenaufbereitung	31
3.3.3.3	Analyse der Serumparameter.....	32
3.3.4	Leberbiopsien	33
3.3.4.1	Probenentnahme	33
3.3.4.2	Probenaufbereitung	34
3.3.4.3	Analyse des Lebergewebes	34
3.3.4.3.1	Bestimmung des Leberfettgehalts mit dem Kupfersulfattest nach HERDT (1983)	34
3.3.4.3.2	Gravimetrische Bestimmung des Leberfettgehalts nach AHMED (2004)	34
3.3.4.3.3	Bestimmung des Triglyceridgehaltes im Leberfett	35
3.3.5	Body-Condition-Score und Rückenfettdicke	35
3.3.6	Körpergewicht.....	36
3.3.7	Krankheiten und Fruchtbarkeitsdaten	36
3.3.8	Statistische Methoden	36
4	Ergebnisse	38
4.1	Futtermittelaufnahme.....	38
4.1.1	Futtermittelaufnahme der Gesamtstichprobe	38
4.1.2	Futtermittelaufnahme der Mehrkalbskühe	39
4.1.3	Futtermittelaufnahme der Erstkalbskühe	40
4.2	Rückenfettdicke (RFD).....	42
4.2.1	Rückenfettdicke der Gesamtstichprobe	42
4.2.2	Rückenfettdicke der Mehrkalbskühe	43
4.2.3	Rückenfettdicke der Erstkalbskühe	43
4.3	Body-Condition-Score (BCS)	43
4.3.1	Body-Condition-Score der Gesamtstichprobe	43
4.3.2	Body-Condition-Score der Mehrkalbskühe	44
4.3.3	Body-Condition-Score der Erstkalbskühe	44
4.4	Körpergewicht.....	45
4.4.1	Körpergewicht der Gesamtstichprobe.....	45
4.4.2	Körpergewicht der Mehrkalbskühe.....	46
4.4.3	Körpergewicht der Erstkalbskühe	48
4.5	Milchmenge und Milchhaltsstoffe.....	49
4.5.1	Milchmenge	49
4.5.1.1	Milchmenge der Gesamtstichprobe.....	49
4.5.1.2	Milchmenge der Mehrkalbskühe.....	51
4.5.1.3	Milchmenge der Erstkalbskühe	52
4.5.2	Milchhaltsstoffe	54
4.5.2.1	Milchfettgehalt.....	54

4.5.2.1.1	Milchfettgehalt der Gesamtstichprobe.....	54
4.5.2.1.2	Milchfettgehalt der Mehrkalbskühe.....	55
4.5.2.1.3	Milchfettgehalt der Erstkalbskühe	57
4.5.2.2	Milcheiweißgehalt	59
4.5.2.2.1	Milcheiweißgehalt der Gesamtstichprobe	59
4.5.2.2.2	Milcheiweißgehalt der Mehrkalbskühe	60
4.5.2.2.3	Milcheiweißgehalt der Erstkalbskühe	61
4.5.2.3	Fett/Eiweiß-Quotient.....	62
4.5.2.3.1	Fett/Eiweiß-Quotient der Gesamtstichprobe	62
4.5.2.3.2	Fett/Eiweiß-Quotient der Mehrkalbskühe	63
4.5.2.3.3	Fett/Eiweiß-Quotient der Erstkalbskühe.....	64
4.5.2.4	Milchlaktosegehalt	66
4.5.2.4.1	Milchlaktosegehalt der Gesamtstichprobe	66
4.5.2.4.2	Milchlaktosegehalt der Mehrkalbskühe	66
4.5.2.4.3	Milchlaktosegehalt der Erstkalbskühe	66
4.5.2.5	Milchharnstoffgehalt.....	67
4.5.2.5.1	Milchharnstoffgehalt der Gesamtstichprobe.....	67
4.5.2.5.2	Milchharnstoffgehalt der Mehrkalbskühe.....	67
4.5.2.5.3	Milchharnstoffgehalt der Erstkalbskühe	68
4.5.2.6	Energiekorrigierte Milchleistung	68
4.5.2.6.1	Energiekorrigierte Milchleistung der Gesamtstichprobe.....	68
4.5.2.6.2	Energiekorrigierte Milchleistung der Mehrkalbskühe	69
4.5.2.6.3	Energiekorrigierte Milchleistung der Erstkalbskühe	70
4.6	Analyse der Serumparameter	72
4.6.1	Glucosekonzentration.....	72
4.6.1.1	Glucosekonzentration im Serum der Gesamtstichprobe.....	72
4.6.1.2	Glucosekonzentration im Serum der Mehrkalbskühe.....	72
4.6.1.3	Glucosekonzentration im Serum der Erstkalbskühe	73
4.6.2	Insulinkonzentration.....	73
4.6.2.1	Insulinkonzentration im Serum der Gesamtstichprobe.....	73
4.6.2.2	Insulinkonzentration im Serum der Mehrkalbskühe	73
4.6.2.3	Insulinkonzentration im Serum der Erstkalbskühe	74
4.6.3	β -Hydroxybutyrat-Konzentration	74
4.6.3.1	β -Hydroxybutyrat-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe	74
4.6.3.2	β -Hydroxybutyrat-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe	76
4.6.3.3	β -Hydroxybutyrat-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe	77
4.6.4	Konzentration der freien Fettsäuren.....	78
4.6.4.1	Konzentration der freien Fettsäuren im Serum der Gesamtstichprobe.....	78
4.6.4.2	Konzentration der freien Fettsäuren im Serum der Mehrkalbskühe.....	80
4.6.4.3	Konzentration der freien Fettsäuren im Serum der Erstkalbskühe	81
4.6.5	Bilirubin-Konzentration	82
4.6.5.1	Bilirubin-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe	82
4.6.5.2	Bilirubin-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe	83
4.6.5.3	Bilirubin-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe	83
4.6.6	Cholesterin-Konzentration.....	84
4.6.6.1	Cholesterin-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe	84
4.6.6.2	Cholesterin-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe.....	84
4.6.6.3	Cholesterin-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe.....	84
4.6.7	Harnstoff-Konzentration	85
4.6.7.1	Harnstoff-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe.....	85

4.6.7.2	Harnstoff-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe	85
4.6.7.3	Harnstoff-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe	86
4.6.8	Glutamatdehydrogenase-Aktivität	86
4.6.8.1	Glutamatdehydrogenase-Aktivität im Serum der Gesamtstichprobe	86
4.6.8.2	Glutamatdehydrogenase-Aktivität im Serum der Mehrkalbskühe	87
4.6.8.3	Glutamatdehydrogenase-Aktivität im Serum der Erstkalbskühe	87
4.6.9	Aspartat-Amino-Transferase-Aktivität	88
4.6.9.1	Aspartat-Amino-Transferase-Aktivität im Serum der Gesamtstichprobe	88
4.6.9.2	Aspartat-Amino-Transferase-Aktivität im Serum der Mehrkalbskühe	89
4.6.9.3	Aspartat-Amino-Transferase-Aktivität im Serum der Erstkalbskühe	90
4.6.10	Creatinkinase-Aktivität	90
4.6.10.1	Creatinkinase-Aktivität im Serum der Gesamtstichprobe	90
4.6.10.2	Creatinkinase-Aktivität im Serum der Mehrkalbskühe	90
4.6.10.3	Creatinkinase-Aktivität im Serum der Erstkalbskühe	91
4.6.11	Phosphat-Konzentration	91
4.6.11.1	Phosphat-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe	91
4.6.11.2	Phosphat-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe	92
4.6.11.3	Phosphat-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe	92
4.6.12	Calcium-Konzentration	92
4.6.12.1	Calcium-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe	92
4.6.12.2	Calcium-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe	94
4.6.12.3	Calcium-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe	95
4.6.13	Magnesium-Konzentration	96
4.6.13.1	Magnesium-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe	96
4.6.13.2	Magnesium-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe	96
4.6.13.3	Magnesium-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe	96
4.7	Analyse des Lebergewebes	97
4.7.1	Leberfettgehalt	97
4.7.1.1	Leberfettgehalt der Gesamtstichprobe	97
4.7.1.2	Leberfettgehalt der Mehrkalbskühe	99
4.7.1.3	Leberfettgehalt der Erstkalbskühe	101
4.7.2	Lebertriglyceridgehalt	102
4.7.2.1	Lebertriglyceridgehalt der Gesamtstichprobe	102
4.7.2.2	Lebertriglyceridgehalt der Mehrkalbskühe	102
4.7.2.3	Lebertriglyceridgehalt der Erstkalbskühe	105
4.8	Analyse der Harnproben	105
4.8.1	pH-Wert und NSBA	105
4.8.1.1	pH-Wert und NSBA der Gesamtstichprobe	105
4.8.1.2	pH-Wert und NSBA der Mehrkalbskühe	106
4.8.1.3	pH-Wert und NSBA der Erstkalbskühe	107
4.8.2	Natrium-, Kalium-, Calcium- und Magnesium-Gehalte im Harn	108
4.8.2.1	Natrium-, Kalium-, Calcium- und Magnesium-Gehalte im Harn der Gesamtstichprobe	108
4.8.2.2	Natrium-, Kalium-, Calcium- und Magnesium-Gehalte im Harn der Mehrkalbskühe	109
4.8.2.3	Natrium-, Kalium-, Calcium- und Magnesium-Gehalte im Harn der Erstkalbskühe	110
4.9	Krankheiten	111
5	Diskussion	113
5.1	Futteraufnahme	113
5.2	Rückenfettdicke, Body-Condition-Score und Körpergewicht	114

5.3	Milchmenge und Milchinhaltsstoffe.....	115
5.4	Analyse der Serumparameter	118
5.4.1	Glucose und Insulin.....	118
5.4.2	β -Hydroxybutyrat und freie Fettsäuren	118
5.4.3	Bilirubin	121
5.4.4	Cholesterin.....	122
5.4.5	Harnstoff	122
5.4.6	Glutamatdehydrogenase, Aspartat-Amino-Transferase und Creatinkinase.....	122
5.4.7	Calcium, Phosphat und Magnesium	123
5.5	Leberanalytik	124
5.6	Harnanalytik	127
5.7	Krankheiten.....	127
6	Abschließende Diskussion	129
7	Zusammenfassung.....	131
8	Summary	133
9	Literaturangaben	134
10	Anhang.....	150
11	Danksagung.....	152
12	Selbstständigkeitserklärung.....	153

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abb.	Abbildung
ADF	acid detergent fiber
a.p.	ante partum
AST	Aspartat-Amino-Transferase
BCS	Body-Condition-Score
BHB	β -Hydroxybutyrat
BSQ	Basen-Säure-Quotient
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
Ca	Calcium
CK	Creatinkinase
Cl	Chlor
cm	Zentimeter
Co	Cobalt
Cu	Kupfer
d	Tag
d. h.	das heißt
dl	Deziliter
ECM	energiekorrigierte Milch
ELOS	energielösliche organische Substanz
et al.	und andere
FEQ	Fett-Eiweiß-Quotient
FM	Frischmasse
g	Gramm
GfE	Gesellschaft für Ernährung
GLDH	Glutamatdehydrogenase
GPS	Ganzpflanzensilage
Grassil.	Grassilage
HCl	Salzsäure
IE	Internationale Einheiten
IU	Internationale Units
J	Jod
K	Kalium
KF	Krafftutter
kg	Kilogramm

KGW	Körpergewicht
l	Liter
LM	Lebendmasse
LW	Laktationswoche
Maissil.	Maissilage
ME	umsetzbare Energie
mg	Milligramm
Mg	Magnesium
MJ	Megajoule
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mmol/l	Millimol pro Liter
Mn	Mangan
n	Anzahl
N	molar
Na	Natrium
NaOH	Natriumhydroxid
NDF	neutral detergent fiber
NEFA	non esterfied fatty acids (freie Fettsäuren)
NEL	Netto-Energie-Laktation
NFC	Nicht-Faser-Kohlenhydrate
NH ₄	Ammonium
nm	Nanometer
NPN	Nicht-Protein-Stickstoff
NSBA	Netto-Säure-Basen-Ausscheidung
nXP	nutzbares Rohprotein
P	Phosphor
PG	Propylenglykol
p.p.	post partum
RFD	Rückenfettdicke
RNB	ruminale Stickstoffbilanz
S	Schwefel
SD	Standardabweichung
Se	Selen
SEM	Standardfehler
SW	Strukturwert
Tab.	Tabelle

TG	Triglyceride
TM	Trockenmasse
TMR	Totale Mischration
UDP	unabbaubares Futterprotein
U/l	Units pro Liter
U/min	Umdrehungen pro Minute
VG	Versuchsgruppe
vs.	versus
WW	Wechselwirkung
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
z. B.	zum Beispiel
Zn	Zink
µl	Mikroliter
µmol/l	Mikromol pro Liter

1 Einleitung

In modernen Milchviehbetrieben sind Hochleistungskühe heutzutage keine Seltenheit mehr. Diese Tiere geben deutlich über 9000 Liter Milch pro Laktation und ihr Stoffwechsel gelangt in vielen Fällen an seine Grenzen.

Vor allem in der Früh- und Hochlaktation befinden sich solche Kühe in einer negativen Energiebilanz. Ihre Futteraufnahme reicht nicht aus, um den für die Milchproduktion notwendigen Energiebedarf zu decken. Daraus resultieren eine vermehrte Mobilisierung von Körperfett sowie die Bildung von Ketonkörpern. Weiterhin kommt es zu einer Verminderung der Leistung und zum vermehrten Auftreten von Folgeerkrankungen wie Labmagenverlagerungen und Leberverfettungen.

In dieser Phase ist eine hochwertige und fachgerechte Fütterung von entscheidender Bedeutung, um Stoffwechsellentgleisungen und dadurch bedingte Erkrankungen zu vermeiden.

In der Früh- und Hochlaktation wird eine Ergänzung der Ration mit verschiedenen Futterzusatzstoffen in vielen Betrieben praktiziert, um die Leistungsfähigkeit und die Gesundheit der Kühe zu unterstützen. Allerdings werden die Wirkungen und die Vor- und Nachteile dieser Zusatzstoffe kontrovers diskutiert und bisherige Versuche kamen nicht zu einheitlichen Ergebnissen.

Gerade vor dem Aspekt der niedrigen Milchpreise ist es für die Landwirte jedoch von großer Bedeutung, ob sich das Einmischen einer Substanz wirtschaftlich rechnet.

Der Einsatz von Glycerin und Propylenglykol wird in der Milchkuhfütterung seit Jahren praktiziert, während L-Carnitin in Deutschland bisher vor allem bei der Fütterung von Sauen und bei der Ernährung von Hochleistungssportlern von Bedeutung ist.

Ziel dieser Studie ist es, vor dem Hintergrund der Ketoseprophylaxe die Auswirkungen einer Rationsergänzung mit Propylenglykol, Glycerin und L-Carnitin auf die Futteraufnahme, die Milchleistung, die Stoffwechselgesundheit und die Fruchtbarkeit zu untersuchen.

2 Literaturübersicht

2.1 Die Ketose der Milchkuh

2.1.1 Definition der Ketose

Die Ketose ist eine Störung des Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsels und eine der bedeutendsten Stoffwechselkrankheiten der Milchkuh. Sie ist gekennzeichnet durch einen Anstieg der Konzentration der Ketonkörper und der freien Fettsäuren im Blut, sowie durch ein Absinken des Blutzuckerspiegels und des Leberglykogengehaltes unterhalb des physiologischen Bereichs (Baird, 1982).

Gleichzeitig werden vermehrt Ketonkörper über die Atemluft, die Milch und den Harn ausgeschieden (Rossow und Bolduan, 1994).

2.1.2 Pathogenese der Ketose

Die primäre Ketose tritt vor allem in den ersten Wochen post partum auf, da es beim Übergang von der Hochträchtigkeit zur Frühlaktation zu erheblichen Veränderungen im Stoffwechsel der Kuh kommt (Drackley, 1999).

Der Energiebedarf der Kuh steigt in den ersten Tagen der Laktation stark an, während die Futteraufnahme einige Tage vor der Geburt zurückgeht und zu Beginn der Laktation nur langsam zunimmt (Bertics et al., 1992, Harrison et al., 1990, Butler und Smith, 1989).

Der Höhepunkt der Milchleistung wird 3-8 Wochen p.p. erreicht, die höchste Futteraufnahme erfolgt erst einige Wochen später (Stöber und Dirksen, 1982, Gruber et al., 2004).

Das so entstehende und teilweise bis zur 12. Woche p.p. andauernde (Rossow und Staufenbiel, 1983) Energiedefizit führt zu Mobilisierung von Körperfett (Lipomobilisation) (Stöber und Dirksen, 1982). In Fettdepots eingelagerte Triglyzeride werden zu Glycerin und freien Fettsäuren gespalten. Diese freien (nicht veresterten) Fettsäuren (NEFA) werden über die Blutbahn in die Leber transportiert, dort zu Acetylcoenzym A abgebaut und an Oxalacetat gebunden in den Citratzyklus zur Energiegewinnung eingeschleust (Löffler und Petrides, 1998).

Allerdings ist Oxalacetat auch für die Glucoseneubildung (Gluconeogenese) ein sehr bedeutender Metabolit. Da beim Wiederkäuer die mit dem Futter aufgenommenen Kohlenhydrate im Pansen zu kurzkettigen Fettsäuren umgewandelt werden, kann nur ein geringer Teil der benötigten Glucose aus dem Darm resorbiert werden. Der Hauptteil muss

über die Gluconeogenese in der Leber gebildet werden. Oxalacetat nimmt daher eine Schlüsselstellung im Intermediärstoffwechsel der Milchkuh ein. Substrate für die Gluconeogenese sind vor allem Propionat, Laktat, Glycerin und andere Abbauprodukte aus dem Fett- und Eiweißstoffwechsel.

Die Verwendung von Oxalacetat für die Gluconeogenese hat Vorrang gegenüber der Verwendung für die Fettverbrennung. Weil für einen Liter produzierte Milch etwa 50 g Laktose (wird aus Glucose gebildet) benötigt werden und das eine hohe Gluconeogeneserate erfordert, ist Oxalacetat der limitierende Faktor für die Fettverbrennung.

Die aus den geringen Blutglucosekonzentrationen resultierenden niedrigen Insulin- und hohen Glukagonkonzentrationen verstärken zusätzlich die Lipolyse.

Werden nun große Mengen an Körperfett abgebaut, gelangen viele freie Fettsäuren in die Leber. Einige werden dort wieder zu Triglyceriden verestert. Bis zu einer gewissen Menge ist eine gesunde Leber in der Lage, diese Triglyceride mithilfe von Transportproteinen in das Blut auszuschleusen, damit sie in anderen Organen genutzt werden können (Herdt, 1988). Diese Fähigkeit ist bei frischabgekalbten Kühen jedoch beschränkt, so dass es zu einer Fettablagerung in den Leberzellen kommt (Leberverfettung) (Rukkwamsuk, 1999, Collins und Reid, 1980).

Ebenfalls eingeschränkt ist in der Frühaktation die Kapazität der Leber, Fettsäuren zur β -Oxidation in die Mitochondrien zu transportieren. Dies resultiert unter anderem aus einem Mangel an dafür notwendigen Faktoren wie Carnitin (Bogin et al. 1988).

Aus einem Teil der in den Mitochondrien der Leberzellen anflutenden NEFA wird wie erwähnt Acetylcoenzym A gebildet.

Bei einem Mangel an Oxalacetat ist eine Einschleusung in den Citratzyklus nicht möglich und es wird vermehrt Acetylcoenzym A zu Ketonkörpern umgewandelt (Baird et al., 1968). Ketonkörper können in verschiedenen extrahepatischen Geweben zur Energiegewinnung oder zur Fettsynthese (z.B. Milchfettsynthese im Euter) genutzt werden. Beim gesunden Rind sind sie als physiologische Produkte des Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsels anzusehen. Hier hat β -Hydroxybutyrat den größten Anteil, während Azetoazetat und Azeton nur in geringen Mengen vorliegen (Filar, 1979).

Bei der Ketose fallen weit mehr Ketonkörper an, als energetisch verwertet oder ausgeschieden werden können. Das Verhältnis verschiebt sich zugunsten von Azetoazetat und Azeton, die in hohen Konzentrationen zu nervösen Störungen führen können.

In einigen Untersuchungen wurde festgestellt, dass sich schon während der Hochträchtigkeit vermehrt nicht veresterte Fettsäuren im Blut befinden und der Tryglyceridgehalt der Leber ebenfalls ante partum ansteigt (Bertics et al., 1992, Grummer, 1993, Formigioni et al., 1996, Füll et al., 1992).

In der Literatur werden verschiedene Ursachen verantwortlich gemacht. Ein starker Rückgang der Futteraufnahme vor der Abkalbung (Bertics et al., 1992) führt vermutlich ebenso zur Fettmobilisation wie ein Anstieg der Konzentration von Glucocorticoiden und Östrogenen (Grummer, 1993).

2.1.3 Klinisch-chemische Parameter zur Charakterisierung des Kohlehydrat- und Fettstoffwechsels

Bei einer Ketose können im Serum der betroffenen Tiere einige Veränderungen nachgewiesen werden. So kommt es zum Beispiel zu einem Konzentrationsanstieg der nichtveresterten Fettsäuren, der Ketonkörper und der leberspezifischen Enzyme (Veenhuizen et al., 1991, Hachenberg et al., 2007). Der Leberfettgehalt steigt an und die Kühe verlieren deutlich an Körpermasse. In der Milch kann es zu einer veränderten Zusammensetzung kommen.

2.1.3.1 Serumparameter

2.1.3.1.1 Nichtveresterte Fettsäuren (NEFA)

Bei einer vermehrten Lipolyse steigt die Konzentration der NEFA im Blut deutlich an (Grummer, 1993).

2.1.3.1.2 β -Hydroxybutyrat (BHB)

BHB nimmt mit 81% den größten Anteil der Gesamtketonkörperkonzentration im Serum gesunder Kühe ein (Filar, 1979). Bei an Ketose erkrankten Tieren sinkt der Anteil etwas zugunsten von Azetoazetat und Azeton, trotzdem ist die Bestimmung von BHB im Serum für die Ketosediagnostik von großer Bedeutung.

Es besteht keine gute Korrelation zwischen der BHB-Konzentration im Blut und dem Leberfettgehalt (Gaal et al 1983).

2.1.3.1.3 Aspartataminotransferase (AST)

Die AST ist ein Enzym, das vor allem in den Zellen der Leber und der quergestreiften Muskulatur lokalisiert ist. Bei Zellschäden steigt die Konzentration im Serum an. Durch ein Ausschließen von Muskelschäden (CK-Bestimmung), ist es gut geeignet, um akute Leberschäden zu erkennen (Kraft und Dürr, 2005).

Eine signifikante Korrelation zwischen AST-Konzentration und Leberfettgehalt ist nicht gegeben (Staufenbiel et al., 1993).

2.1.3.1.4 Glutamat-Dehydrogenase (GLDH)

Dieses leberspezifische Enzym befindet sich an die Mitochondrienmatrix gebunden in den Hepatozyten und wird bei Zellschäden freigesetzt.

Auch hier ist keine signifikante Korrelation zum Leberfettgehalt gegeben (Staufenbiel et al., 1993).

Allerdings ist die GLDH-Konzentration geeignet, physiologische von pathologischen Leberfetteinlagerungen abzugrenzen (Staufenbiel et al., 1993), da es für den Leberfettgehalt keinen genauen Referenzbereich gibt.

2.1.3.1.5 Bilirubin

Bilirubin ist ein Farbstoff, der zum größten Teil beim Abbau von Hämoglobin und zu einem geringen Teil aus Myoglobin, Zytochromen und Katalasen freigesetzt wird. Hierbei handelt es sich um wasserunlösliches Bilirubin I. Es wird an Albumin gebunden zur Leber transportiert und in die Hepatozyten aufgenommen. Hier wird es zu wasserlöslichem Bilirubin II glucuronidiert und über die Galle ausgeschieden (Kraft und Dürr, 2005).

Die Bestimmung von Gesamtbilirubin im Serum lässt nicht erkennen, an welcher Stelle der Bilirubinstoffwechsel gestört ist. Bei einer gestörten Leberfunktion sind erhöhte Gesamtbilirubinkonzentrationen anzutreffen, da die Exkretion von Bilirubin II und die Aufnahme von Bilirubin I in die Zellen und die Glukoronidierung beeinträchtigt sind (Kraft und Dürr, 2005).

Eine signifikante Korrelation zum Leberfettgehalt scheint gegeben (Gelfert et al., 2003, West, 1990).

2.1.3.1.6 Cholesterin

Cholesterin ist der Grundstoff für die Gallensäuren und verschiedene Hormone. Ebenfalls ist es ein Hauptbestandteil der Lipoproteine. Die Leber ist der Hauptort für die Cholesterinsynthese und –sekretion (Fürll et al., 1981). Bei Lebererkrankungen ist der Cholesteringehalt im Serum vermindert (Kraft und Dürr, 2005).

2.1.3.1.7 Glucose

Um den Energiestoffwechsel einer Milchkuh zu beurteilen, ist die Bestimmung der Glucosekonzentration im Serum ein geeigneter Parameter. Da für die Milchsynthese große Mengen Glucose benötigt werden, kommt es oft zu einer mangelhaften Verfügbarkeit (Staufenbiel et al., 1993). Zu geringe Glucosekonzentrationen im Blut führen zur Mobilisierung von Körperfett und können so eine Ketose und eine Leberverfettung hervorrufen (Fürll, 2000).

2.1.3.2 Leberfettgehalt

Die Untersuchung eines Leberbiopsats ist eine sehr genaue Methode, um den Leberfettgehalt zu bestimmen (Staufenbiel et al., 1993).

Allerdings gehen die Literaturangaben zu physiologischen Fettgehalten in der Leber weit auseinander. In den ersten Laktationswochen werden bei Fürll (1989) und Fronk et al. (1980) Fettgehalte zwischen 8 und 12 % in der Leberfrischmasse als physiologisch angesehen. Herdt et al. (1983) fanden bis zu einem Fettgehalt von 13 % keine klinischen Auswirkungen, ab 25 % Fettgehalt könnte eine Leberinsuffizienz vorliegen. Hier ist es sinnvoll, durch die Bestimmung eines Leberenzym (z. B. GLDH) den Grad der Leberzellschädigung festzustellen (Staufenbiel et al., 1993).

2.1.3.3 Milchinhaltstoffe

Zur Überwachung der Herdengesundheit im Hinblick auf subklinische Ketosen ist die Bestimmung des Fett-Eiweiß-Quotienten im Rahmen der Milchleistungsprüfung ein gutes Diagnoseverfahren. Da in Energiemangelsituationen der Milchfettgehalt ansteigt und der Milcheiweißgehalt abfällt (Rossow et al., 1990), steigt der FEQ bei gefährdeten Tieren auf über 1,5.

2.1.3.4 Rückenfettdicke und Body-Condition-Score

Die RFD-Messung dient dazu, den Körperfettgehalt von Kühen zu bestimmen. Zwischen der RFD und dem Körperfettgehalt besteht eine signifikante Beziehung (Staufenbiel und Schröder, 2005). Mittels der Rückenfettdickenabnahme lässt sich die Lipolyserate quantifizieren. Verändert sich die Rückenfettdicke um 1 mm, entspricht dies einer Änderung des Körperfettgehalts um 5 kg (Staufenbiel und Schröder, 2005).

Auch die Bestimmung des Body Condition Score lässt einen Rückschluss auf den Körperfettabbau zu. Hier werden durch Adspektion und Palpation die Fettauflagerungen bestimmter Knochenpunkte begutachtet. In einigen Studien wurde die Subjektivität und Genauigkeit dieses Verfahrens getestet (Domecq et al, 1995, Edmonson et al, 1989). Domecq et al. (1995) fanden eine signifikante Korrelation zwischen der BCS-Bestimmung und der RFD-Messung.

2.1.4 Einteilung der Ketose

Aus klinischer Sicht ist die subklinische Ketose von der klinisch manifesten Form zu unterscheiden.

Zeigt das Tier keine Störung des Allgemeinbefindens, handelt es sich um eine subklinische Ketose. Sie ist jedoch verbunden mit einer überdurchschnittlich hohen Lebendmasseabnahme, einer verminderten Futteraufnahme und Fertilitätsstörungen (Baird, 1982).

Bei klinisch manifesten Fällen zeigen die Tiere verminderten Appetit, Verstopfung oder Durchfall, Apathie und in vereinzelt Fällen nervöse Störungen (Erregung, Lähmungserscheinungen) (Stöber, 2002).

Neben der Unterteilung in subklinische und klinische Ketose ist es wichtig, primäre und sekundäre Ketose zu unterscheiden.

Die primäre Form entsteht bei gesunden Milchkühen durch eine übermäßige Energieabgabe durch die Milch und eine ungenügende Energieaufnahme mit dem Futter. Bei der sekundären Form sorgt ein Grundleiden (z.B. Klauenerkrankung, Endometritis, Labmagenverlagerung) für eine geringere Futteraufnahme und führt dadurch zur Energiemangelsituation (Kraft und Dürr, 2005).

Durch die vermehrte Verfütterung von ketogenen Futtermitteln (hoher Gehalt an Buttersäure) oder durch ein Kohlenhydratüberangebot kann es zur sogenannten alimentären Ketose kommen (Kraft und Dürr, 2005).

2.1.5 Bedeutung der Ketose

Die subklinische Form der Ketose hat eine erhebliche wirtschaftliche Bedeutung, da in Milchviehbeständen 5 bis 50 % der Frischabkalber betroffen sein können (Dohoo und Martin, 1984, Toth et al., 1989, Jazbec, 1967, Duffield et al., 1997, Nielen et al., 1994). Folgen sind eine geringere Milchleistung, eine später einsetzende Brunst, schlechtere Besamungserfolge, höhere Tierarztkosten und höhere Anfälligkeit für Infektionen durch die beeinträchtigte Leberfunktion (Rajala-Schultz et al., 1999, Butler et al., 2006, Walsh et al., 2007, Kaneene et al., 1997, Stöber und Dirksen, 1982).

Bei der klinischen Ketose kann es zum Verlust der Tiere kommen.

2.1.6 Prophylaxe der Ketose

Die Prophylaxe der Ketose ist ein wichtiges Mittel, um wirtschaftliche Schäden zu vermeiden. Eine bedeutende Maßnahme ist die verhaltene Fütterung während des Trockenstehens, also etwa 6 bis 8 Wochen vor dem Abkalben (Gerloff, 2000, Sachs, 1987, Dann et al. 2006). Da die Tiere in diesem Zeitraum schnell verfetten, müssen Körperkondition und Fütterung laufend geprüft werden; denn verfettete Tiere haben ein höheres Risiko, am Fettmobilisationssyndrom zu erkranken (Stöber und Dirksen, 1982). Das lässt sich dadurch erklären, dass diese Tiere nach der Abkalbung eine deutlich geringere Futteraufnahme haben als normalkonditionierte Kühe (Van den Top et al., 1996). Ein Body-Condition-Score von 3,5 beziehungsweise eine Rückenfettdicke von 25 mm soll nicht überschritten werden.

Wichtig ist hierbei jedoch, dass die Tiere schon zum Zeitpunkt des Trockenstellens annähernd die gewünschte Körperkondition zeigen, denn während des Trockenstehens sollen sie weder stark abnehmen noch stark zunehmen müssen. Also fängt die Ketoseprophylaxe schon in der Spätlaktation an (Contreras et al., 2004). Hier muss vor allem die Kraffuttermenge an die Milchleistung angepasst werden (Sachs, 1987).

Einige Tage vor dem Abkalben müssen die Tiere an die Ration gewöhnt werden, die sie nach dem Kalben erhalten. Dies ermöglicht den Pansenmikroorganismen sich zu adaptieren und fördert so eine möglichst optimale Futterverwertung in den ersten Laktationstagen (Sachs, 1987).

Stress, z.B. durch überbelegte Ställe, schlechtes Stallklima, rüden Umgang mit den Tieren, ist zu vermeiden (Gerloff, 2000, Stöber und Dirksen, 1982).

Wichtig ist es ebenfalls, Erkrankungen zu Beginn der Laktation zu verhindern, da diese oft zu einer verringerten Futteraufnahme führen und so eine Ketose verursachen können. Besondere Bedeutung hat hier die Vermeidung der Gebärpause (Drackley, 2005).

Die Zufütterung von sogenannten glucoplastischen Substanzen ist seit einigen Jahrzehnten bekannt und erlangte in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung. Sie werden schnell aus dem Pansen resorbiert und können den Glucosegehalt im Blut über die Gluconeogenese in der Leber erhöhen sowie die Bildung von Ketonkörpern vermindern. Die am häufigsten eingesetzten Verbindungen sind Propylenglykol und Glycerin.

2.1.6.1 Propylenglykol

2.1.6.1.1 Chemische Zusammensetzung und Eigenschaften von Propylenglykol

Propylenglykol ist eine farblose, hygroskopische, fettunlösliche Flüssigkeit, die mit Wasser in jedem Verhältnis mischbar ist. Nach der chemischen Nomenklatur wird sie mit 1,2-Propandiol bezeichnet und ist also ein zweiwertiger Alkohol des Propans. Der Energiegehalt von Propylenglykol beträgt 16,8 MJ NEL/kg. Allerdings wurde der tatsächliche Energiegehalt mittels Hohenheimer Futterwerttest in Mischfuttermitteln mit 9,8 MJ NEL bestimmt (Spiekers et al. 2004).

2.1.6.1.2 Verstoffwechslung von Propylenglykol beim Wiederkäuer

Die Verstoffwechslung von Propylenglykol und die Effekte einer Verabreichung wurden von Nielsen und Ingvarlsen (2004) in einer ausführlichen Literaturstudie zusammengefasst: Ein Teil des oral verabreichten Propylenglykols wird beim Rind im Pansen zu Propionat umgewandelt und verändert somit das Verhältnis der flüchtigen Fettsäuren zueinander (Kristensen und Raun, 2007). Das restliche Propylenglykol wird im Pansen absorbiert, über Pyruvat zu Oxalacetat metabolisiert und ebenso wie Propionat zur Gluconeogenese in der Leber genutzt. Oxalacetat spielt – wie schon beschrieben – bei der Gluconeogenese eine große Rolle und ist somit eine bedeutende Substanz, um einen Glucosemangel zu vermeiden.

2.1.6.1.3 Auswirkungen der Verabreichung von Propylenglykol auf Futteraufnahme, Milchleistung und Stoffwechselfparameter

Auswirkungen der oralen Applikation von Propylenglykol sind eine erhöhte Glucosekonzentration im Blut, eine erhöhte Insulinausschüttung, verringerte Plasmakonzentrationen von freien Fettsäuren und β -Hydroxybutyrat, reduzierter Gehalt an Triglyzeriden in der Leber und ein reduzierter Ketonkörpergehalt in Milch und Urin (Studer et al., 1993, Pickett et al., 2003, Nielsen und Ingvarlsen, 2004).

Der Einsatz von Propylenglykol senkt also signifikant das Risiko einer Ketoseerkrankung (Fisher et al., 1973) und der Ausbildung einer Fettleber bei Kühen mit hohen Leistungen. Hünninger und Staufenberg (1999) empfehlen den Einsatz bereits in der Vorbereitungsfütterung, sie raten jedoch zu einer Verabreichung über die Hochlaktation hinaus.

Ein direkt gesicherter Einfluss auf die Milchleistung ist umstritten. In einigen Studien wurde keine Leistungssteigerung nachgewiesen (Pickett et al., 2003, Hoedemaker et al., 2004, Prange, 2001, Fisher et al., 1973), während in anderen Versuchen eine Steigerung der Milchleistung in der Frühlaktation beobachtet wurde (Staufenbiel, 2001). Eine positive Wirkung auf die Reproduktionsleistung könnte gegeben sein (Miyoshi et al., 2001), jedoch sind hierzu weitere Untersuchungen notwendig.

Schon 15 Minuten nach dem Drenchen von Propylenglykol steigt die Insulinkonzentration um 200 bis 400% an (Studer et al., 1993); d.h., es wird sehr zügig aus dem Pansen absorbiert. Wenige Minuten später kommt es ebenfalls zu einem Anstieg von Glucose, aber er ist wesentlich geringer. Dies lässt sich durch den starken Anstieg der Insulinkonzentration erklären. Die Konzentrationen von NEFA und BHB sinken nach Verabreichung von Propylenglykol, vor allem bei Tieren in der Frühlaktation mit hohen NEFA-Konzentrationen (Studer et al., 1993, Pickett et al., 2003, Butler et al., 2006). Auch auf den Fettgehalt der Leber hat Propylenglykol Einfluss: Der Triglyzeridgehalt wird reduziert (Studer et al. 1993, Pickett et al., 2003).

Generell ist auf die Milchleistung und Milchzusammensetzung kein signifikanter Effekt nachgewiesen. In der Frühlaktation scheint es zu einem leichten Anstieg der Milchmenge (Staufenbiel, 2001) und einer leichten Reduktion des Milchfettgehalts (Fisher et al., 1973) zu kommen. Auch die Futteraufnahme bleibt unbeeinflusst; allerdings ist hier die Art der Verabreichung zu beachten. Wird Propylenglykol mit dem Futter verabreicht, kann die geringe Schmackhaftigkeit die Futteraufnahme senken, während dies beim Drenchen nicht der Fall ist.

Nebenwirkungen in Form von Salivation, Ataxie, Hyperventilation und Somnolenz wurden bei einigen Tieren beobachtet. Nach einigen Tagen Adaptation verschwanden diese Symptome allerdings. Der Tod trat bei einigen Pferden und Kühen nach der Verabreichung von 3-4 kg Propylenglykol auf (Nielsen und Ingvarsen, 2004).

Die Ursache für die Toxizität von Propylenglykol ist vermutlich die ruminale Fermentation (Trabue et al., 2007). Wird Propylenglykol in Pansensaft gegeben, entstehen verschiedene schwefelhaltige Gase, die in hohen Konzentrationen zu oben genannten unerwünschten Wirkungen führen.

Schon 1964 wurde in einer Studie von Emery et al. die Wirkung von Propylenglykol bei der Ketoseprophylaxe erforscht. In 4 Milchviehherden wurden die Tiere mit unterschiedlichen Mengen Propylenglykol über das Futter versorgt. Es kam in allen Herden zu einem Absinken

der Ketonkörperkonzentration in der Milch und zu einem Anstieg der Milchmenge im Vergleich zu den Kontrolltieren. Jedoch waren diese Veränderungen nur in jeweils einer Herde signifikant. Bei trockenstehenden Kühen war ein Rückgang der Trockenmasseaufnahme zu beobachten, wenn der Propylenglykolanteil im Futter über 5 % betrug. Dagegen kam es bei laktierenden Kühen selbst bei einem Propylenglykolanteil von 16,7 % der Trockenmasse nicht zu einer reduzierten Futtermittelaufnahme.

Studer et al. (1993) untersuchten die Effekte einer präpartalen Verabreichung von Propylenglykol auf die peripartale Verfettung der Leber von Milchkühen. 13 pluriparen Kühen wurde ab 10 Tagen vor der Abkalbung einmal täglich 1 Liter Propylenglykol per Drench eingegeben. Eine Kontrollgruppe mit 11 Tieren erhielt auf die gleiche Weise Wasser. In den letzten 7 Tagen a.p. zeigte die Versuchsgruppe höhere Glucose- und Insulinkonzentrationen im Plasma, während die NEFA- und BHB-Konzentrationen deutlich geringer waren als in der Kontrollgruppe. Bis Tag 21 p.p. blieben die NEFA-Konzentrationen tendenziell niedriger. An den Tagen 1 und 21 p.p. wurden die Lebertriglyceridgehalte ermittelt: Die Tiere, die Propylenglykol erhielten, hatten um 32 % bzw. 42 % niedrigere Konzentrationen als die Kontrolltiere. Die Trockenmasseaufnahme, Milchmenge und Milchsammensetzung unterschied sich in den beiden Gruppen nicht.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam eine Untersuchung von Hoedemaker et al. (2004), bei der 234 Kühe auf 8 Betrieben von Tag 13 a.p. bis zur Geburt 150 ml Propylenglykol und von der Geburt bis Tag 12 p.p. 300 ml Propylenglykol je Tier und Tag über angereichertes Kraftfutter erhielten. Von 43 Tieren wurden zu folgenden Zeitpunkten Blutproben genommen: 6, 3 und 1 Woche a.p., am Tag der Geburt und 1, 3, 5, 7, 9 Wochen p.p.. Die NEFA-Konzentrationen waren eine Woche vor der Geburt bis einen Tag nach der Geburt deutlich niedriger bei den Tieren, die Propylenglykol erhielten im Vergleich zu den Kontrolltieren. BHB war bis zur 7. Woche p.p. deutlich niedriger. Hinsichtlich Milchleistung, Fruchtbarkeit und des Auftretens von Krankheiten gab es keine Unterschiede. Hoedemaker et al. kommen zu dem Fazit, dass die Verabreichung von Propylenglykol zwar den Stoffwechsel von Milchkühen unterstützt, aufgrund der fehlenden Auswirkungen jedoch unwirtschaftlich ist.

Auch Pickett et al. (2003) erhielten in ihren Versuchen Hinweise, die auf eine stoffwechselunterstützende Wirkung hindeuten. 48 Holstein-Kühen wurde an den ersten drei Tagen p.p. täglich 500 ml Propylenglykol, 454 g Fett oder Wasser per Drench verabreicht. Auch hier waren die NEFA-Konzentrationen deutlich niedriger in der Propylenglykol-Gruppe. Dies war bis Tag 21 p.p. nachweisbar. Die Plasma-Glucose-Konzentration und der Leberglykogengehalt waren höher, die Werte für Insulin hingegen waren in allen Gruppen

gleich. In den ersten drei Wochen p.p. zeigten die Gruppen keine Unterschiede in der Trockenmasseaufnahme, der Milchleistung und Milchezusammensetzung.

Zusätzlich zu den Einflüssen von Propylenglykol auf die Energiebilanz und den metabolischen Status untersuchten Butler et al. (2006) die Auswirkungen auf die postpartale Follikelentwicklung. 28 Holstein-Kühe erhielten ab Tag 10 a.p. bis Tag 25 p.p. täglich 500 ml Propylenglykol per Drench. Die Kontrolltiere bekamen auf die gleiche Weise 500 ml Wasser. An den Tagen 2 und 25 p.p. waren Insulin und Glucose bei den Versuchstieren deutlich erhöht, NEFA dagegen erniedrigt. Vor der Geburt waren die Wirkungen von Propylenglykol sehr viel geringer. Dies unterstützt die These von Fisher et al (1973), dass die Verabreichung von Propylenglykol in Zeiten einer negativen Energiebilanz effektiver ist als zu Zeitpunkten, zu denen die Energiebilanz fast ausgeglichen ist. Die Ausbildung der Follikelwellen und die LH-Konzentrationen zeigten keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

Auch in einem Versuch, in dem die Kühe ab Tag 7 p.p. täglich 500 ml Propylenglykol per os erhielten, wurden keine Auswirkungen auf den Zeitpunkt der ersten Follikelwelle, die Zeit bis zum ersten dominanten Follikel und die Qualität der Eizellen festgestellt (Rizos et al. 2008).

Mit der Metabolisierung von Propylenglykol beschäftigten sich Kristensen und Raun (2007). Vier laktierende Holstein-Kühe erhielten Pansenkatheter und Katheter in die Lebervene, die Portalvene und in die Mesenterialgefäße. Diesen Tieren wurde jeweils 650 g Propylenglykol in den Pansen infundiert, und es wurden in den nächsten Stunden regelmäßig Blutproben entnommen. Im Pansensaft zeigten sich keine Änderungen des pH-Wertes und der totalen Konzentration an flüchtigen Fettsäuren. Allerdings stieg der Anteil an Propionat an, während der Anteil an Acetat abfiel.

Das im Pansen absorbierte Propylenglykol wurde zum Teil in der Leber zu L-Lactat umgewandelt. Im Plasma stieg die Konzentration von Propylenglykol, Ethanol, Propanol, Propanal, Glucose, L-Laktat, Propionat und Insulin an, während die Konzentration von BHB und Acetat abfiel.

Diese Untersuchung kam zu dem Ergebnis, dass Propylenglykol den Stoffwechsel der Kuh auf zwei Wegen beeinflusst: 1. Vermehrte Bereitstellung von Lactat und Propionat für die Gluconeogenese und 2. Induktion einer Insulin-Resistenz im peripheren Gewebe durch gestiegene Konzentrationen von Propylenglykol und Propanol sowie einem veränderten Verhältnis von ketogenen zu glucogenen Metaboliten.

In einem Versuch zur vergleichenden Wirkung von Propylenglykol und Fett in der Milchviehfütterung wurde Kühen vom 256. Trächtigkeitstag bis Tag 21 p.p. 500g Trocken-Propylenglykol mit dem Futter verabreicht (Moallem et al., 2007). Die Tiere der

Propylenglykol-Gruppe hatten im Vergleich zur Fett-Gruppe deutlich höhere Glucose- und niedrigere NEFA-Konzentrationen im Plasma, unterschieden sich jedoch nicht von der Kontrollgruppe. Ebenfalls keine Unterschiede gab es in der Trockenmasseaufnahme und in der BHB-Konzentration.

2.1.6.2 Glycerin

2.1.6.2.1 Chemische Zusammensetzung und Eigenschaften von Glycerin

Glycerin ist ein dreiwertiger Alkohol des Propans (1,2,2-Propantriol, Glycerol). Ihm wird eine ähnliche Wirkung wie Propylenglykol zugeschrieben. Zum Energiegehalt gibt es unterschiedliche Aussagen zwischen 8,3 (kombiniert mit stärkereichem Kraftfutter) und 9,7 (kombiniert mit stärkearmem Kraftfutter) MJ NEL/kg Glycerin (Südekum und Schröder, 2002).

2.1.6.2.2 Verstoffwechslung von Glycerin beim Wiederkäuer

Ein geringer Anteil des Glycerins wird direkt aus dem Pansen absorbiert und in der Leber zu Glycerinaldehyd-3-phosphat umgewandelt, das als Zwischenprodukt der Gluconeogenese die Glucosebildung fördert. Ebenfalls ist eine Umwandlung zu Pyruvat möglich. Dieses wird dann in den Citratzyklus eingeschleust.

Der Hauptanteil des Glycerins wird jedoch im Pansen zu kurzkettigen Fettsäuren (vor allem zu Propion- und Buttersäure) fermentiert und steht so für die Gluconeogenese zur Verfügung (Trabue et al., 2007, Kijora et al., 1998).

Aufgrund des süßen Geschmacks ist die Akzeptanz von Glycerin hoch und könnte die Futteraufnahme positiv beeinflussen. In der Literatur finden sich hierzu jedoch widersprüchliche Aussagen.

2.1.6.2.3 Auswirkungen der Verabreichung von Glycerin auf Futteraufnahme, Milchleistung und Stoffwechselfparameter

Das aktuelle Interesse an Glycerin beruht auf der günstigen Verfügbarkeit. Rohglycerin ist ein Nebenprodukt der Biodieselproduktion und fällt in immer größer werdenden Mengen an (Südekum und Schröder, 2002). Die Preisrelation zu Propylenglykol verändert sich daher zugunsten des Glycerins.

Glycerin kann in der Ration in Konzentrationen bis zu 10 % der Trockenmasse eingesetzt werden, ohne dass es zu negativen Effekten auf die Futter- und Wasseraufnahme oder den Verdauungstrakt kommt (Südekum und Schröder, 1999).

Eine Auswirkung auf die Milchleistung ist laut DeFrain et al. (2004) nicht gegeben.

Die Einmischung von 430 g bzw. 860 g Glycerin/Kuh und Tag in die Ration von Tag 14 a.p. bis Tag 21 p.p. führte zu keiner Verbesserung des Energiehaushaltes und der Leistung (DeFrain et al., 2004). Ante partum war in den Gruppen, die Glycerin erhielten, ein Rückgang der Trockenmasseaufnahme um 17% zu verzeichnen. Die Zusammensetzung des Pansensaftes wurde durch Glycerin deutlich beeinflusst: Die Propionat- und Butyrat-Konzentrationen stiegen an. Von Tag 7 bis 21 p.p. war bei den Tieren, die 860 g Glycerin täglich erhielten, im Serum ein Absinken der Glucose- und ein Anstieg der BHB-Konzentration zu beobachten.

DeFrain et al. (2004) kamen zu dem Ergebnis, dass die Einmischung von Glycerin in die Ration zu keinen positiven Auswirkungen führt, während die Verabreichung per Drench eventuell Vorteile bietet.

In einem Versuch, in dem die Tiere von Tag 21 a.p. bis zur Geburt Glycerin über die Ration erhielten (5 % der Trockenmasse) und in dem die Tiere nach der Geburt entweder 5 Tage mit je 500 ml Glycerin gedrencht wurden oder eine glycerinhaltige Ration (3,3 % der Trockenmasse) erhielten, konnten keine deutlichen Unterschiede zwischen dem Drenchen und dem Einmischen von Glycerin in die Ration festgestellt werden (Ogborn, 2006). Ante partum kam es zu einer erhöhten Futteraufnahme in der Glyceringruppe, während post partum bei allen Tieren, die Glycerin erhielten (per Drench oder mit der Ration) ein Rückgang der Futteraufnahme zu verzeichnen war. Im Serum stieg die BHB-Konzentration bei gedrenchten Kühen leicht an, während die NEFA-Konzentration leicht abfiel. Auswirkungen auf Plasma-Glucose und -Insulin, die Milchmenge sowie auf den Leberfett- und Leberglykogengehalt waren nicht nachweisbar.

Im Gegensatz dazu führte die Verabreichung von 162,5 g Glycerin/Kuh/Tag mit der Mischration von der Geburt bis zum Tag 21 p.p. zu einer Verbesserung der Energiebilanz (Chung et al., 2007). Die 20 Kühe zeigten im Vergleich zur Kontrollgruppe höhere Glucose- und niedrigere BHB-Konzentrationen im Plasma und weniger Ketonkörper im Harn. Die Futteraufnahme wurde durch das Glycerin nicht beeinflusst. Sechs Wochen nach der Abkalbung (also drei Wochen nach dem Ende der Glycerin-Supplementation) war die Milchleistung der Versuchstiere tendenziell höher als in der Kontrollgruppe (52 vs. 46 kg/d).

2.1.6.3 L-Carnitin

2.1.6.3.1 Chemische Zusammensetzung und Eigenschaften von L-Carnitin

L-Carnitin, chemisch 3-Hydroxy-4-Trimethyl-Ammoniumbutyrat, erfüllt im Intermediärstoffwechsel menschlicher und tierischer Organismen eine Vielzahl von Funktionen. L-Carnitin dient unter anderem als essentieller Co-Faktor für das Enzym Carnitin-Palmitoyltransferase-I. Dieses Enzym verbindet Carnitin mit aktivierten, langkettigen Fettsäuren und ermöglicht so in den Leberzellen den Transport von Fettsäuren aus dem Cytosol in die Mitochondrien zwecks Energiegewinnung durch die β -Oxidation (Drackley et al., 1991, Borum, 1983, Bremer, 1963). Kurzkettige und mittellangkettige Fettsäuren werden ebenfalls von L-Carnitin in die Mitochondrien transportiert. Besonders während ketotischer Stoffwechsel- oder Hungersituationen nimmt die Bedeutung von L-Carnitin zu. Damit ergibt sich ein weiterer Ansatz zur Verringerung von Stoffwechsellentgleisungen nach dem Kalben. Futtermittelrechtlich wird L-Carnitin in die Gruppe der Vitamine, Provitamine und ähnlich wirkende Stoffe eingeordnet.

2.1.6.3.2 Verstoffwechslung von L-Carnitin beim Wiederkäuer

Neben der Aufnahme von L-Carnitin über die Nahrung ist der Säugetierorganismus in der Lage, diese Substanz in der Leber zu synthetisieren. L-Carnitin befindet sich vorwiegend in tierischen Produkten (Harmeyer, 1998), pflanzliche Produkte enthalten nur wenig oder gar kein L-Carnitin (Kerner et al., 1984). Somit sind Wiederkäuer in stärkerem Maße auf eine körpereigene Synthese angewiesen als Fleischfreser (Harmeyer und Schlumbohm, 1997). Die endogene Carnitinsynthese erfolgt aus den Aminosäuren Methionin und Lysin über die Vorstufe Trimethyllysin (Vaz und Wanders, 2002). Die entscheidenden Faktoren für die Carnitinsynthese sind also Proteinzusammensetzung im Futter und die Proteinverwertung im Tier.

L-Carnitin wird zu einem bestimmten Anteil im Pansen abgebaut. Genauere Vorgänge müssen noch näher untersucht werden. Für den Stoffwechsel der Kuh ist die Menge L-Carnitin, die der intestinalen Absorption unterliegt, von Bedeutung.

2.1.6.3.3 Auswirkungen der Verabreichung von L-Carnitin auf Milchleistung, Futteraufnahme und Stoffwechselfparameter

Die grundlegende Funktion von L-Carnitin im Fett- und Energiestoffwechsel der Zellen hat diese Substanz für den Einsatz in der Fütterung landwirtschaftlicher Nutztiere interessant gemacht. Versuche zur Leistungssteigerungen durch L-Carnitin-Supplementierung über das Futter wurden in den letzten Jahren nicht nur an Milchkühen sondern auch an Mastrindern, Sportpferden, Sauen, Ferkeln, Legehennen und Broilern durchgeführt (Birkenfeld, 2006).

Bei hochleistenden Kühen kommt es, wie bereits beschrieben, in der Früh-laktation zu einer Anhäufung von freien Fettsäuren in der Leber. Reichen die Kapazitäten der β -Oxidation in den Leberzellen und die Transportmöglichkeiten zur Ausschleusung von Triglyceriden nicht mehr aus, kommt es zur Leberverfettung (Carlson et al., 2007).

Da die Wirkung von L-Carnitin in Energiemangelsituationen, wie z.B. im geburtsnahen Zeitraum, von großem Interesse ist, wurden in einem anderen Versuch von Carlson et al. (2006) Kühe, die durchschnittlich 132 Tage in Milch waren, über 5 Tage restriktiv gefüttert, während sie eine abomasale Carnitin-Infusion (20 g/d) erhielt. Eine weitere Tiergruppe wurde ebenfalls restriktiv gefüttert, erhielt aber nur Wasser als Infusion und eine dritte erhielt Carnitin bei ad-libitum-Fütterung. Die restriktiv gefütterte Carnitin-Gruppe zeigte höhere ECM-Leistung, höhere Leber-Carnitin-Konzentrationen und niedrigere Leberfettgehalte als die restriktiv gefütterte Gruppe ohne Carnitin-Infusion. In vitro zeigte sich eine verstärkte Palmitat-Oxidation im Lebergewebe.

In einer weiteren Studie von Carlson et al. (2007) erhielten pluripare Kühe vom Tag 14 a.p. bis zum Tag 21 p.p. entweder 0 g, 6 g, 50 g, oder 100 g Carnitin pro Tag mit der Ration. Alle Carnitin-Gruppen zeigten niedrigere Leberfettgehalte und höhere Leberglykogengehalte als die Kontrollgruppe am Tag 10 p.p.. Die NEFA-Konzentration im Serum war jedoch gleich. Die Insulin-Konzentration im Serum war höher bei allen Tieren, die Carnitin erhielten, während die Glucose-Werte gleich waren. Die Autoren kommen zum dem Schluß, dass unter Zugabe von L-Carnitin die Verstoffwechslung der Fettsäuren in der Leber optimiert, der Leberfettgehalt gesenkt, der Leberglykogengehalt erhöht und damit das metabolische Risiko während der geburtsnahen Zeit gesenkt werden kann.

Um eine Verbesserung der Verwertung von Fetten, die der Ration zugesetzt werden, zu erzielen, erhielten 6 Holstein-Kühe (im Mittel 45 Tage p.p.) 6 g/d L-Carnitin intraruminal oder als abomasale Infusion (LaCount et al., 1995). Beide Arten der Verabreichung führten zu identischen Ergebnissen: Die Milchmenge und Milchezusammensetzung sowie die

Trockenmasseaufnahme wurden nicht beeinflusst. Im Plasma und im Lebergewebe war ein Anstieg der Carnitinkonzentration nachzuweisen. Ebenso stieg die Exkretion von Carnitin mit Milch und Harn an. Plasmakonzentrationen von NEFA, Glucose, Triglyceriden und BHB veränderten sich nicht.

Ebenfalls keine positiven Auswirkungen auf die Futteraufnahme, die Milchmenge, die Milchzusammensetzung, die Verdaulichkeit des Futters und die ruminale Fermentation hatte die Verfütterung von 0,875 g, 1,75 g, 3,5 g oder 7 g L-Carnitine pro Tag an laktierende Kühe (LaCount et al. 1996). Der Abbau von L-Carnitin im Pansensaft wurde in einem in-vitro-Versuch näher betrachtet. In Pansensaft von Tieren, die sehr konzentratreich (75 % Krafffutter) gefüttert wurden, erfolgte ein wesentlich langsamerer Abbau, als bei Tieren, die eine normale Ration erhielten. Erhielten die Kühe vor der Pansensaftentnahme über zwei Wochen 7 g Carnitin am Tag, erfolgte in vitro ein schnellerer Abbau. Dies spricht für eine Adaptation der Pansenmikroorganismen an L-Carnitin (LaCount et al., 1996).

3 Tiere, Material und Methoden

3.1 Allgemeines

Die Untersuchung begann im Oktober 2007 und endete im September 2008. Sie fand im Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein statt. In dem 2003 erbauten Kuhstall werden etwa 180 Kühe mit einer durchschnittlichen Leistung von 9500 kg Milch gemolken.

3.2 Tiere, Haltung und Fütterung

3.2.1 Tiere

Als Probanden wurden 97 Kühe und Jungkühe der Rasse Holstein Friesian mindestens 5 Tage vor der erwarteten Abkalbung in vier Fütterungsgruppen eingeteilt. Kalbten die Tiere vor Ablauf der 5 Tage, wurden sie aus der Untersuchung herausgenommen. Die Zuordnung zu den Versuchsvarianten erfolgte unter Einbeziehung des Kalbetermins, der Vorlaktationsleistung, der Laktationsnummer und der Abstammung, um möglichst homogene Tiergruppen zu erhalten (Tabelle 2).

Da nicht für alle Tiere ein RZM bzw. eine Vorlaktationsleistung vorlagen, variiert in Tabelle 2 die Anzahl der Tiere, die zur Ermittlung der Gruppenmittelwerte herangezogen wurden.

Tabelle 1: Anzahl der Tiere in den Versuchsgruppen

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
	Kontrolle	Propylenglykol	Glycerin	L-Carnitin+Glycerin
Anzahl Erstkalbskühe	10	10	10	9
Anzahl Mehrkalbskühe	15	15	14	14

Tabelle 2: Gleichmäßigkeit der Versuchsgruppen

	Gruppe	Bezeichnung	RZM der Mutter	Laktation	Vorlaktationsleistung				
					Milch kg	Fett %	Eiweiß %	Fett+EW kg	Milch kg/Melktag
\bar{x} SD \bar{x} n	1	Kontrolle	105 9,75 8	2,4 1,66 25	9436 1685 14	4,05 0,35 14	3,31 0,18 14	694 128,98 14	31,3 5,34 14
\bar{x} SD \bar{x} n	2	Propylen-glykol	108 11,20 15	2,2 1,38 25	9415 1514 15	3,82 0,21 15	3,25 0,11 15	665 112,26 15	32,5 5,97 15
\bar{x} SD \bar{x} n	3	Glycerin	108 17,39 11	2,2 1,44 24	9368 1245 14	4,01 0,39 14	3,39 0,20 14	691 89,98 14	31,2 3,98 14
\bar{x} SD \bar{x} n	4	L-Carnitin +Glycerin	101 7,69 9	2,2 1,27 23	9230 1850 14	4,02 0,52 14	3,39 0,20 14	679 126,69 14	30,7 6,03 14

3.2.2 Haltung und Fütterung

Die Haltung der trockenstehenden Kühe und der hochtragenden Jungkühe erfolgte in einem Liegeboxenlaufstall mit Spaltenboden. Die Fütterung erfolgte für alle Tiere gleich nach einem zweiphasigen System. Fröhrtrockensteher erhielten eine energiearme Ration (Tabelle 3). Etwa zwei Wochen vor der errechneten Abkalbung kamen die Tiere in die sogenannte Transitgruppe und bekamen dort eine energiereichere Ration (Tabelle 4).

Tabelle 3: Zusammensetzung der Trockensteherration

Rationsbestandteile	Rationsanteile (% der TM)
Grassilage, 2. Schnitt	68,0
Maissilage	8,5
Weizenstroh	22,8
Trockenstehermineral	0,7
TM-Gehalt	48,9 %
XF	27,6 %
Zucker+Stärke	10,6 %
XP	120 g/kg TM
Energiegehalt	5,7 MJ NEL/kg TM

Tabelle 4: Zusammensetzung der Transitation

Rationsbestandteile	Rationsanteile (% der TM)
Grassilage, 1. Schnitt	23,8
Maissilage	58,5
Weizenstroh	0,5
eiweißreiche Vormischung	12,8
Wintergerste	2,4
Harnstoff	0,3
Futterkalk	0,7
Viehsalz	0,2
Trockenstehermineral	0,8
TM-Gehalt	39,9 %
XF	17,9 %
Zucker+Stärke	26,1 %
XP	150 g/kg TM
Energiegehalt	6,8 MJ NEL/kg TM

Mit der Eingruppierung der Tiere in die Versuchsgruppen (mindestens 5 Tage vor der Abkalbung) wurden die Tiere in die zur jeweiligen Fütterungsvariante gehörende Abkalbebox verbracht. Ab diesem Zeitpunkt bis zum Tag 100 p.p. erhielten die Tiere die jeweilige Versuchsration.

Tabelle 5: Zeitraum (in Tagen) von der Eingruppierung bis zur Abkalbung

Versuchsgruppe	1	2	3	4
\bar{x}	10,6	9,8	11,0	9,8
$s_{\bar{x}}$	5,38	4,01	5,14	4,2

Nach der Abkalbung erfolgte die Umstallung in den Versuchsbereich des Liegeboxen-Laufstalls (planbefestigte Laufflächen mit Gülleschieber, Hochboxen mit Komfortliegematten und Häckselstroheinstreu). Hier stehen für 72 Kühe Einzelfutterplätze zur Verfügung, deren Zugang computergestützt über Transponder in Form von Ohrmarken gesteuert wird, so dass für jedes Tier über ein Wiegesystem die genaue Futteraufnahme registriert werden kann.

Futter und Wasser standen den Tieren ad libitum zur Verfügung.

Die Futtervorlage erfolgte zweimal täglich durch einen Selbstfahrer-Futtermischwagen, morgens zwischen 5 und 6 Uhr, nachmittags zwischen 16 und 17 Uhr.

Alle Versuchsgruppen erhielten eine identische Grundration (maisbetonte TMR, Tabelle 6). Die 4 Fütterungsvarianten unterschieden sich lediglich durch die folgenden Zusätze:

- Variante 1 (Kontrolle): TMR ohne Zusatz
- Variante 2 (Propylenglykol): 250 g Propylenglykol/Tier/Tag (entsprechend der DLG-Einsatzempfehlung für Milchkühe während der Früh- und Hochlaktation)

3. Tiere, Material und Methoden

- Variante 3 (Glycerin): 312,5 g Rohglycerin (Glyceringehalt 80 %, USP-Qualität) (entsprechen 250 g Reinglycerin/Tier/Tag)
- Variante 4: Glycerinmenge wie bei Variante 3 plus 2 g L-Carnitin (entspricht einer Menge von 10 g des Produktes CARNIPASS (Lohmann Animal Health))

Tabelle 6: Rationszusammensetzungen (kg TM/Tier und Tag)

Futtermittel	Angabe Schnitt, Ernte	Fütterungszeitraum							
		1.10.- 11.11.07	12.11.07- 23.01.08	24.01.- 18.03.08	19.03- 22.04.08	23.- 29.04.09	30.04.- 21.07.08	22.07.- 19.08.08	20.08.- 31.09.08
Grassil.	1.Schnitt 07	4,44	4,44	4,44	4,44	4,44			
Grassil.	2.Schnitt 07						4,44		
Grassil.	2.Schnitt 08							4,44	5
Maissil.	2006, Silo 8	8,05							
Maissil.	2007, Silo 6		8,05			8,05	8,05	8,05	
Maissil.	2007, Silo 4			8,05					
Maissil.	2006, Silo 4				8,05				
GPS	2008								7
KF		8,65	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65	9,96
Kalk		0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Mineral		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Stroh		0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	

Jedes Grundfuttermittel, das Kraftfutter und die gemischten Futterrationen der 4 Versuchsgruppen wurden jeweils einmal während jedes Fütterungszeitraums (Tabelle 6) auf die Nährstoffgehalte und den *in vitro*-Parameter enzymlösliche organische Substanz hin untersucht.

Dazu wurden zweimal wöchentlich die Silagen der jeweiligen Silos und die vier fertig gemischten Rationen (TMR) beprobt und zu Sammelproben für die jeweiligen Zeiträume zusammengefasst. Die Trockenmassebestimmung erfolgte bei jeder Probennahme, also zweimal wöchentlich.

Die Nährstoff- und Energiegehalte der eingesetzten Silagen und des Kraftfutters sind in den Tabellen 7 bis 10 dargestellt.

Die Analysen der Futtermittel erfolgten im Labor der LUFA-ITL GmbH in Kiel, während die Trockenmasse vor Ort in Futterkamp bestimmt wurde. Die Futtermittel wurden im Trockenschrank bei 60°C für 48 Stunden und dann bei 105°C für 3 Stunden getrocknet.

Tabelle 7: Analytierte Nährstoff- und daraus berechnete Energiegehalte der eingesetzten Grassilagen

Parameter	Einheit	Grassilage		
		1.Schnitt 2007	2.Schnitt 2007	2.Schnitt 2008
TM	%	40,31	51,12	37,20
XA	g/kg TM	98	89	75
XP	g/kg TM	175	126	106
XF	g/kg TM	269	319	249
XL	g/kg TM	31	19	21
ADF	g/kg TM	289	345	253
NDF	g/kg TM	478	602	446
SW	je kg TM	3,2	3,8	2,9
Zucker	g/kg TM	54	82	139
nXP	g/kg TM	140	110	128
RNB	g/kg TM	5,6	2,6	-3,5
NFC	g/kg TM	219	164	352
ELOS	%	63,8	51,2	68,5
ME-Rind*	MJ/kg TM	10,1	8,3	10,2
NEL*	MJ/kg TM	6,0	4,8	6,1

* Berechnungsgrundlage: ELOS (GfE 2008)

Tabelle 8: Analytierte Nährstoff- und daraus berechnete Energiegehalte der eingesetzten Maissilagen

Parameter	Einheit	Maissilage			
		Silo 8, 2006	Silo 6, 2007	Silo 4, 2007	Silo 9, 2007
TM	%	32,08	36,28	36,28	37,52
XA	g/kg TM	44	41	45	47
XP	g/kg TM	74	75	75	70
XF	g/kg TM	190	179	201	182
XL	g/kg TM	32	32	28	30
ADF	g/kg TM	192	191	223	196
NDF	g/kg TM	395	391	437	391
SW	je kg TM	1,6	1,5	1,7	1,5
Stärke	g/kg TM	335	382	360	366
nXP	g/kg TM	131	133	128	131
RNB	g/kg TM	-9	-9,2	-8,4	-9,7
NFC	g/kg TM	455	461	415	462
ELOS	%			66,9	69,4
ME-Rind	MJ/kg TM	10,9*	11,1*	10,6**	11,0**
NEL	MJ/kg TM	6,6*	6,7*	6,4**	6,7**

* Berechnungsgrundlage: Rohnährstoffgleichung

** Berechnungsgrundlage: ELOS (GfE 2008)

Tabelle 9: Analytierte Nährstoff- und daraus berechnete Energiegehalte der eingesetzten Gersten-Ganzpflanzsilage

Parameter	Einheit	Ernte 2008
TM	%	36,27
XA	g/kg TM	57
XP	g/kg TM	101
XF	g/kg TM	213
ADF	g/kg TM	262
NDF	g/kg TM	508
SW	je kg TM	2,3
Stärke	g/kg TM	222
nXP	g/kg TM	121
RNB	g/kg TM	-3,3
NFC	g/kg TM	313
ME-Rind	MJ/kg TM	9,7
NEL *	MJ/kg TM	6,1

* Berechnungsgrundlage: Rohnährstoffgleichung

Tabelle 10: Analytierte Nährstoff- und daraus berechnete Energiegehalte der eingesetzten Krafftuttermischung

Parameter	Einheit	
TM	%	90
XA	g/kg TM	64
XP	g/kg TM	240
nXP	g/kg TM	204
UDP	%	32
RNB	g/kg TM	6
XF	g/kg TM	98
SW	je kg TM	0,13
ADF	g/kg TM	111
NDF	g/kg TM	229
Zucker	g/kg TM	115
Stärke	g/kg TM	268
XL	g/kg TM	37
ME*	MJ/kg TM	13
NEL*	MJ/kg TM	8,0

* Berechnungsgrundlage: Gasbildung

Durch die Verfütterung der unterschiedlich verfügbaren Silagen unterlagen die Nährstoff- und Energiegehalte der Futterrationen im Laufe des gesamten Versuchszeitraumes gewissen Veränderungen (siehe Anhang). Diese Veränderungen waren für alle Versuchsgruppen jederzeit gleich.

Die Krafftuttermenge betrug insgesamt im Mittel der Untersuchung 10 kg je Tier und Tag (8,8 kg TM; 40 % der Gesamt-TM-Aufnahme).

Die detaillierte Zusammensetzung des Krafftutters ist der Tabelle 11 zu entnehmen.

Tabelle 11: Zusammensetzung des Kraffutters (in % der TM)

Futterkomponente	
Rapsextraktionsschrot	7,5
Sojaextraktionsschrot	12,9
geschütztes HP-Sojaextraktionsschrot (SoyPas)	5,4
Rapskuchen	16,1
Roggen	24,9
melassierte Trockenschnitzel	31,2
Melasse	2,0

Die Versorgung mit Vitaminen und Mineralstoffen war über alle Rationen weitestgehend gleich (Tabelle 12).

Tabelle 12: Berechnete Vitamin- und Mineralstoffgehalte der Futterrationen

Zeitraum	Versuchsgruppe	1.10.2007-19.08.2008			20.8.-31.09.08		
		1	2	3 und 4	1	2	3 und 4
Ca	g/kg TM	6,6	6,6	6,6	7,5	7,5	7,5
Mg	g/kg TM	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2
Zn	mg/kg TM	88	88	88	85	85	85
Mn	mg/kg TM	91	91	91	93	93	93
Cu	mg/kg TM	21	21	21	21	21	21
Se	mg/kg TM	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Co	mg/kg TM	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
J	mg/kg TM	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
S	g/kg TM	3,1	3,1	3,1	3,6	3,6	3,6
Vitamin A	IE	157500	157500	157500	157500	157500	157500
Vitamin D3	IE	15750	15750	15750	15750	15750	15750
Vitamin E	IE	2087	2087	2087	2087	2087	2087

Die Applikation der einzelnen Futterzusätze erfolgte täglich nach demselben Prinzip. Dafür wurden für die beiden Versuchsvarianten 1 (Kontrolle) und 2 (Propylenglykol) die kompletten Mengen an Gras- und Maissilage, Stroh, Kraft- und Mineralfutter in den Futtermischwagen geladen. Dann erhielt die Kontrollvariante ihre entsprechende Menge dieser TMR. Nach dieser Futtervorlage enthielt der Futtermischwagen noch die entsprechende Futtermenge für die Versuchsvariante 2. Hier wurde jetzt die entsprechend notwendige Menge an Propylenglykol zudosiert und dann wurden die Tiere der Variante 2 gefüttert.

Nach gleichem Prinzip erfolgte auch die Beladung des Futtermischwagens zur Fütterung der beiden Versuchsvarianten 3 und 4, nur dass hier neben den für beide Varianten benötigten Mengen an Gras- und Maissilage, Stroh, Kraft- und Mineralfutter auch noch die entsprechende Glycerinmenge zudosiert wurde (für beide Varianten gleichermaßen). Dann erhielten die Tiere der Variante 3 ihre Menge dieser TMR. Nach dieser Futtervorlage wurde

3. Tiere, Material und Methoden

anschließend die notwendige Menge an L-Carnitin zudosiert und mit dieser Mischung wurden dann die Tiere der Variante 4 gefüttert

Die täglich applizierten Mengen an Propylenglykol, Glycerin und L-Carnitin betragen im Mittel des Versuchszeitraumes 125 g, 156 g bzw. 2 g/Tier und Fütterung. Damit wurden die Zielvorgaben, täglich 250 g Propylenglykol, 312,5 g Glycerin (80 %ige Ware) bzw. 2 g L-Carnitin je Tier und Tag, erreicht.

Anhand der Auswertung der täglich geladenen Mengen an Grund- und Krafffutter konnten die in allen Versuchszeiträumen stets sehr hohe Konstanz der Fütterung und die gute Übereinstimmung zu den Rationsvorgaben nachvollzogen werden (Tabelle 13).

Tabelle 13: Übereinstimmung der vorgelegten Futterrationen mit den Rationsvorgaben

	Gruppe	1 u.2	3 u.4	Rations- vorgabe	1 u.2	3 u.4	Rations- vorgabe	1 u.2	3 u.4	Rations- vorgabe
	Versuchs- zeitraum									
		Krafftutter (% der FM)			Grassilage (% der FM)			Maissilage (% der FM)		
\bar{x}	01.10.07-	20	20	23	26	26	26	51	52	50
SD \bar{x}	11.11.07	0,61	1,02		0,86	0,73		0,86	1,98	
\bar{x}	12.11.07-	21	21	21	26	26	24	51	51	54
SD \bar{x}	23.01.08	1,50	0,67		0,80	0,71		1,52	0,98	
\bar{x}	24.01.08-	21	21	22	26	26	25	51	51	51
SD \bar{x}	18.03.08	2,18	0,66		0,96	0,54		1,70	0,85	
\bar{x}	19.03.08-	21	21	22	26	26	25	52	52	51
SD \bar{x}	22.04.08	0,59	0,65		0,71	0,56		0,88	0,78	
\bar{x}	23.04.08-	21	21	23	26	26	26	52	52	50
SD \bar{x}	29.04.08	0,38	0,42		0,52	0,40		0,84	0,79	
\bar{x}	30.04.08-	23	23	24	19	19	22	57	57	53
SD \bar{x}	21.07.08	0,70	0,78		0,95	0,94		1,21	1,01	
\bar{x}	22.07.08-	20	20	22	28	28	27	50	50	49
SD \bar{x}	19.08.08	1,70	3,96		6,06	5,59		4,86	8,31	
\bar{x}	20.08.08-	26	24	25	36	38	30	37	37	44 (GPS)
SD \bar{x}	31.09.08	4,97	5,58		7,47	3,49		5,67	5,95	

3.3 Probenentnahme und Untersuchungsmethoden

Die Entnahme von Proben und die Erfassung von Daten ist in folgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 14: Probenentnahme

Untersuchungsparameter	Zeitpunkt
Futter- und Wasseraufnahme	ab Tag 8 p.p.
Milchleistung / Milchinhaltstoffe: Milchmenge	täglich
Fett Eiweiß FEQ Laktose Harnstoff	wöchentlich
Harngehaltswerte (aus Spontanharn): pH-Wert fraktionierte NSBA Na K Ca Mg	Umstallung in Abkalbebox, 7, 21, 56 Tage p.p.
Stoffwechselfparameter im Serum: β-Hydroxybutyrat Bilirubin Glucose AST GLDH Cholesterin NEFA Insulin Harnstoff Calcium Magnesium Phosphor	Umstallung in Abkalbebox, 1, 3, 7, 14, 21, 28, 56 Tage p.p.
Leber (Biopsie): Fettgehalt Triglyceridgehalt	Umstallung in Abkalbebox, 7, 21 Tage p.p.
Rückenfettdickenmessung / Body-Condition-Score	Umstallung in Abkalbebox, 1, 14, 28, 56, 80, 100 Tage p.p.
Körpergewicht	täglich
Tiergesundheit	laufend

3.3.1 Milchmenge und Milchinhaltsstoffe

3.3.1.1 Messung der Milchmenge

Die Tiere wurden zweimal täglich in einem Side-by-side-Melkstand mit insgesamt 24 Melkplätzen gemolken.

Bei jeder Melkzeit wurde von allen Tieren die Milchmenge automatisch mit der Milchmengenmessung MM 25 (Fa. Alfa Laval) erfasst. Die Daten wurden an das Alpro-Windows-Herdenmanagementprogramm gesendet und einmal täglich an das PC-Programm Herde übermittelt.

Die Berechnung der ECM erfolgte nach der Gleichung

$$\text{ECM (kg)} = \text{Milch (kg)} * ((0,38 * \text{Fett\%} + 0,21 * \text{Eiweiß\%} + 1,05) / 3,28)$$

3.3.1.2 Analyse der Milchinhaltsstoffe

3.3.1.2.1 Probenentnahme

Von allen Versuchstieren wurden wöchentlich Milchproben genommen. Dafür kamen spezielle Milchprobenentnahmegeräte FF Flowmaster der Firma Alfa Laval zum Einsatz.

Tiere, die sich in der Kolostralphase befanden, wurden während dieser Zeit nicht beprobt.

3.3.1.2.2 Analyse der Proben

Die Milchproben wurden am Tag nach der Probennahme im Zentralen Milchuntersuchungslabor Schleswig-Holstein des Landeskontrollverbands Schleswig-Holstein e.V. auf die in Tabelle 15 aufgeführten Parameter untersucht.

Die Methoden und Geräte sind ebenfalls in Tabelle 15 aufgelistet.

Tabelle 15: Analyse der Milchinhaltsstoffe: Methoden und Geräte

Parameter	Methode	Gerät
Fett %	Infrarotabsorption	Milcoscan FT 6500 (Fa. FOSS, DK)
Eiweiß %	Infrarotabsorption	
Laktose %	Infrarotabsorption	
Harnstoff mg/l	Infrarotabsorption	
Zellgehalt 1000/ml	Fluoreszenzoptische Zählung	Fossomatic FC (Fa. FOSS, DK)

3.3.2 Harnproben

3.3.2.1 Probenentnahme

Harnproben wurden am Tag der Umstallung in die Abkalbebox sowie an den Tagen 7, 21 und 56 post partum genommen. Durch sanftes, kreisförmiges Reiben mit der flachen Hand im Bereich des Perineums erfolgte zu 90% das spontane Absetzen von Harn (bei den übrigen 10% wurde auf eine Harnprobe zu diesem Zeitpunkt verzichtet). Etwa 100 ml des Mittelstrahls wurden in Probengefäßen aus Kunststoff aufgefangen.

3.3.2.2 Probenaufbereitung

Die Lagerung der Harnproben erfolgte in den Kunststoffgefäßen bei -20°C bis zum Ende des Versuchszeitraums.

3.3.2.3 Analyse der Harnproben

3.3.2.3.1 Bestimmung des pH-Wertes

Nach dem Auftauen der Harnproben wurde bei Raumtemperatur der pH-Wert mit einem pH-Meter (WTW, Firma Inolab) gemessen.

3.3.2.3.2 Bestimmung der renalen NSBA, des Basengehaltes, des Säuregehaltes, des Basen-Säuren-Quotienten und des NH_4 -Gehaltes

10 ml der jeweiligen Harnprobe wurden in einen Erlenmeyer-Kolben gegeben und mit HCl (1 N) bis zum Erreichen des pH-Wertes 3,5 titriert (benötigte Menge HCl = V_{HCl}). Diese Lösung

wurde für 30 Sekunden zum Kochen gebracht und musste wieder auf Raumtemperatur abkühlen. Nun erfolgte die Titration mit NaOH (0,1 N) bis zum pH-Wert 7,4 (benötigte Menge NaOH = V_{NaOH1}). Durch die Zugabe von 10 ml Formaldehydlösung (20 %ig) sank der pH-Wert und es wurde erneut mit NaOH bis zum pH-Wert 7,4 titriert (benötigte Menge NaOH = V_{NaOH2}).

Die Berechnung der einzelnen Parameter erfolgte mit folgenden Formeln:

$$\text{NSBA (mmol/l)} = (10 \cdot V_{\text{HCl}} - (V_{\text{NaOH1}} + V_{\text{NaOH2}})) \cdot 10$$

$$\text{Basengehalt (mmol/l)} = V_{\text{HCl}} \cdot 100$$

$$\text{Säuregehalt (mmol/l)} = V_{\text{NaOH1}} \cdot 100$$

$$\text{NH}_4 \text{ (mmol/l)} = V_{\text{NaOH2}} \cdot 10$$

$$\text{BSQ} = \text{Basengehalt} / \text{Säuregehalt}$$

3.3.2.3.3 Na-, K-, Ca- und Mg-Bestimmung im Harn

Im klinikeigenen Labor wurde der Gehalt von Na, K, Ca und Mg in den einzelnen Harnproben bestimmt. Hierzu diente das Atomabsorptionsspektrometer der Firma Thermo ELECTRON CORPORATION.

Für die Bestimmung von Na und K mussten 1:40 Verdünnungen mit 5 % Schinkel-Puffer hergestellt werden, durch ein weiteres Verdünnen auf 1:400 konnten auch Ca und Mg bestimmt werden.

3.3.3 Blutproben

3.3.3.1 Probenentnahme

Die Entnahme der Blutproben erfolgte an 8 verschiedenen Zeitpunkten: Am Tag der Umstallung in die Abkalbebox und an den Tagen 1, 3, 7, 14, 21, 28 und 56 post partum. Mit Hilfe von Serumröhrchen (Monovette®, Sarstedt) wurden jeweils etwa 10 ml Blut aus der Vena coccygea entnommen.

3.3.3.2 Probenaufbereitung

Nach der Gerinnung in den Serumröhrchen wurde das Serum durch zehnmütiges Zentrifugieren bei 5000 U/min gewonnen und anschließend in 5 ml fassende

Kunststoffröhrchen (Fa. Sarstedt) gefüllt und bei -20° C bis zum Ende des Versuchszeitraums tiefgefroren.

3.3.3.3 Analyse der Serumparameter

Von jeder Probe wurde ein Teil des Serums zur Bestimmung der Parameter AST, BHB, Bilirubin, Ca, Cholesterin, CK, GLDH, Harnstoff, Mg und P nach Ludwigsburg (Vet Med Labor GmbH, Division of IDEXX Laboratories) geschickt.

Die Bestimmung von Glucose, Insulin und NEFA erfolgte im klinikeigenen Labor.

Tabelle 16: Bestimmung der Serumparameter: Analysegeräte und Methoden

Material	Parameter	Gerät	Methode
Serum	AST	1	Oxidation von NADH
	BHB	1	Reduktion von NAD ⁺
	Bilirubin	1	Kopplung an Diazoniumionen
	Ca	1	Komplexbildung mit o-Kresolphthalein
	Cholesterin	1	Spaltung zu Wasserstoffperoxid
	CK	1	Enzymreaktion mit NADPH-Bildung
	GLDH	1	Oxidation von NADH
	Harnstoff	1	Hydrolyse
	Mg	1	Komplexbildung mit Xylidylblau
	P	1	Komplexbildung mit Ammoniummolybdat
	NEFA	2	Enzymreaktion mit Acyl-CoA-Synthetase
	Glucose	2	Enzymatischer UV-Test mit Hexokinase
	Insulin	3	Festphasen Radioimmunoassay

Analysegeräte: 1 Hitachi Modular, Fa. La Roche

2 Cobas Mira Plus, Fa. La Roche

3 Coat-A-Count, Fa. Siemens Medical Solutions Diagnostics

3.3.4 Leberbiopsien

3.3.4.1 Probenentnahme

Von jedem Versuchstier wurden dreimal Gewebeproben aus der Leber entnommen: Am Tag der Umstallung in die Abkalbebox sowie an den Tagen 7 und 21 post partum. Die Biopsie erfolgte nach der Methode von GRÖHN und LINDBERG (1982) mit einer Leberbiopsienadel „Berliner Modell“ (Fa. Eickemeyer Medizintechnik für Tierärzte, Tuttlingen, Deutschland).

Im 11. Intercostalraum auf der rechten Seite der Tiere wurde etwa 30 cm unterhalb vom Widerrist eine etwa 5 cm * 5 cm große Fläche rasiert, mit Alkohol entfettet und mit Jod desinfiziert. Bei tragenden Tieren wurden 100 mg Procainhydrochlorid (5 ml Isocain®, Fa.

Selectavet) als Lokalanästhetikum subcutan und intramuskulär injiziert. Nichttragende Tiere wurden durch die intravenöse Injektion von 20 mg Xylazin (1 ml Sedaxylan®, Fa. WDT) sediert. Dann erfolgte die Durchtrennung der Haut durch einen Stich mit einer Skalpellklinge. Die Biopsienadel wurde nun senkrecht zur Körperoberfläche ruckartig durch die Muskulatur und das Peritoneum vorgeschoben. Die Spitze der Nadel befand sich in den meisten Fällen sofort im Lebergewebe (durch ein charakteristisches „Schneeballknirschen“ spürbar). Nach Entfernung des Trokars führte ein mehrmaliges Vorschieben der Hohladel in Richtung auf den linken Ellenbogen zur Gewinnung der Leberprobe.

Ein Verschluss der etwa 1 cm langen Hautwunde erfolgte mit Alu-Spray (Fa. Selectavet).

3.3.4.2 Probenaufbereitung

Etwa 10 mg des Lebergewebes wurden sofort vor Ort für den Leberschwimmtest nach HERDT (1983) verwendet. Die Lagerung des übrigen Gewebes erfolgte in 5 ml fassenden Kunststoffröhrchen (Fa. Sarstedt) bei -20° C.

3.3.4.3 Analyse des Lebergewebes

3.3.4.3.1 Bestimmung des Leberfettgehalts mit dem Kupfersulfattest nach HERDT (1983)

Dieser Leberschwimmtest beruht darauf, dass etwa 10 mg Lebergewebe in Kupfersulfatlösungen mit unterschiedlicher Dichte gegeben werden. Die Lösungen dafür werden aus destilliertem Wasser und hydriertem Kupfersulfat hergestellt. Durch Zugabe von destilliertem Wasser entsteht eine Verdünnungsreihe mit abnehmender Dichte. Jeder Dichte entspricht ein bestimmter Leberfettgehalt. Je nachdem, ob die Leberproben in der Flüssigkeit schwimmen oder untergehen, lässt sich der Leberfettgehalt ableiten.

Die Lösungen wurden in der Studie in regelmäßigen Abständen (etwa nach 100 Biopsien) erneuert, um eine Verfälschung der Ergebnisse durch Verschmutzungen zu verhindern.

3.3.4.3.2 Gravimetrische Bestimmung des Leberfettgehalts nach AHMED (2004)

Die eingefrorenen Leberproben wurden 24 Stunden vor Beginn der Analyse bei 10° C aufgetaut. Von jeder Probe wurden 100 mg abgewogen und mit 1 ml tissue lysis buffer (Fa. Qiagen GmbH, Deutschland) homogenisiert. Das Homogenisat wurde in einem abgedeckten

Reagenzglas für weitere 24 Stunden in einem Wasserbad bei 55°C Wassertemperatur aufbewahrt.

Wie bei Veenhuizen et al. (1991) beschrieben, wurde dann das im Lebergewebe enthaltene Fett mit Hilfe eines Chloroform-Methanol-Gemisches (2:1) extrahiert: Nach Zugabe von 3 ml dieses Gemisches zu dem Homogenisat und einer gründlichen Durchmischung erfolgte eine 20 minütige Abkühlung im Kühlschrank. Durch anschließendes Zentrifugieren für 10 Minuten bei 5000 U/min bildeten sich im Reagenzglas zwei Schichten: Die obere war Methanol, die untere bestand aus Chloroform und dem Fett. Die Chloroformschicht wurde mit einer Cerebrospinalkanüle aufgezogen und in Verdampfungsschälchen mit bekanntem Gewicht gegeben. Diese Prozedur wurde zweimal mit jeweils 1 ml Chloroform wiederholt.

Nach der Verdampfung des Chloroforms bei 55° C blieb in den Schälchen das Fett zurück, so dass sein Anteil am Lebergewebe berechnet werden konnte.

3.3.4.3.3 Bestimmung des Triglyceridgehaltes im Leberfett

Das in den Schälchen zurückgebliebene Fett wurde mit einer vorgegebenen Menge eines Hexan-n-Propanol-Gemisches (Verhältnis 3:2) aufgelöst (Drackley et al., 1992). 10 µl dieser Lösung wurden zusammen mit 1 ml Reagenzlösung LT-TR 1002 (Fa. Labor+Technik) in eine Küvette gegeben. Nach enzymatischer Spaltung (20minütige Inkubationszeit) der Tryglyceride konnte der Gehalt im LP 700 Spektrophotometer (Fa. Dr. Lange) bei einer Wellenlänge von 546 nm gemessen werden.

3.3.5 Body-Condition-Score und Rückenfettdicke

Bei allen Versuchstieren wurden am Tag der Umstallung in die Abkalbebox sowie 1, 14, 28, 56, 80 und 100 Tage p.p. die BCS-Note sowie die Rückenfettdicke bestimmt. Durch Adspektion der Tiere und Palpation bestimmter Knochenpunkte konnte die BCS-Note auf einer Skala von 1 bis 5 in 0,05-Schritten relativ genau festgelegt werden (Edmonson et al., 1989). Die Charakterisierung der BCS-Noten wird in Tabelle 17 dargestellt.

Die Rückenfettdicke wurde mit dem Ultraschallgerät LCM-250 (Fa. PROXIMA medizinische Systeme GmbH) und einem 5 MHz-Linearschallkopf gemessen. Durchgeführt wurde die Messung auf einer gedachten Linie zwischen dem Hüfthöcker und dem Sitzbeinhöcker, etwa eine Handbreit vor letzterem. Schon sehr geringe Änderungen der Körperkondition können so erfasst werden (Schröder und Staufenbiel, 2006).

Tabelle 17: Charakterisierung der BCS-Noten

BCS-Note	Beschreibung
1,0	extrem schlechter Ernährungszustand: äußerst starke Abmagerung, Dornfortsätze stehen sägeblattartig hervor, einzelne Rippen sind klar erkennbar
1,5	Sehr schlechter Ernährungszustand
2,0	Schlechter Ernährungszustand: Dornfortsätze stehen kantig hervor, Rippen sind einzeln erkennbar
2,5	Mäßiger Ernährungszustand
3,0	Guter Ernährungszustand: Sitz- und Hüftbeinhöcker sind durch Gewebe abgerundet, Fetteinlagerung in der Schwanzfalte ist erkennbar
3,5	Sehr guter Ernährungszustand
4,0	Tier ist fett: deutlich hervorstehende Fettablagerungen an Sitz- und Hüftbeinhöckern und in der Schwanzfalte, Fortsätze der Wirbelsäule nur mit Druck unterscheidbar
4,5	Tier ist verfettet
5,0	Tier ist extrem verfettet

3.3.6 Körpergewicht

Die Versuchstiere wurden jeweils nach dem Melken elektronisch gewogen (Waage: Fa. Alfa Laval, Typ W-2000). Die Tiererkennung erfolgte über einen Transponder am Halsband. Die Daten wurden zum Stall-PC weitergeleitet und dort gespeichert.

3.3.7 Krankheiten und Fruchtbarkeitsdaten

Krankheits- und Fruchtbarkeitsdaten wurden im Rahmen der betrieblichen Routine täglich erfasst und in das Herdenmanagementprogramm Herde (Fa. DSP-Agrosoft) eingegeben.

3.3.8 Statistische Methoden

Die Datenerfassung erfolgte mit dem Programm Excel2000 (Fa. Microsoft).

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm Excel2000 (Fa. Microsoft) und dem Programm SPSS, Version 17.0.

Die Daten wurden mit der Varianzanalyse Mixed Model mit Messwertwiederholung nach folgender Gleichung ausgewertet:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + W_j + G_iW_j + e_{ijk}$$

Y_{ijk} ist ein erhobener Messwert

μ ist der Gesamtmittelwert

G_i ist der Effekt der Fütterung

W_j ist der Effekt der Laktationswoche

G_iW_j ist die Wechselwirkung zwischen Fütterungsgruppe und Untersuchungswoche

e_{ijk} ist die zufällige Restvariation

Die Versuchsgruppe und die Laktationswoche sowie deren Wechselwirkung gehen als fixe Faktoren in das Modell ein. Diese Modellierung ermöglicht bei fehlender Wechselwirkung, den im Mittelpunkt des Interesses stehenden Einfluss der Futterzusätze durch den alleinigen Vergleich des kalkulierten Gruppenmittelwertes über den gesamten Untersuchungszeitraum einzuschätzen.

Im Anschluß erfolgte die Durchführung eines PostHoc-Tests (LSD) mit einer vergleichsbezogenen Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 5\%$.

Aufgrund der vergleichsbezogenen Irrtumswahrscheinlichkeit α für die Mittelwerte und der versuchsbezogenen Irrtumswahrscheinlichkeit α können sich im Einzelfall geringe Differenzen im Nachweis statistischer Signifikanzen ergeben.

4 Ergebnisse

In den folgenden Tabellen sind jeweils die Mittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die einzelnen Versuchsgruppen aufgeführt. Wurden Parameter mehr als einmal wöchentlich bestimmt, erfolgte die Berechnung von Wochenmittelwerten für jedes Versuchstier.

Das Signifikanzniveau ist bei $p \leq 0,05$ festgelegt. Versuchsgruppen, deren Werte sich im LSD-Test signifikant unterscheiden, sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.

In dieser Studie war es vor allem von Interesse, ob die gemessenen Werte in den vier Gruppen gleich waren oder ob sie sich signifikant unterschieden. Da es eher von untergeordneter Bedeutung war, ob sie innerhalb eines bestimmten Referenzbereichs lagen (die in der Literatur sehr stark variieren), wurden die hier angegebene Referenzwerte dem Buch „Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin“ (Kraft und Dürr, 2005) entnommen. Eine kritische Betrachtung dieser Werte erfolgt im Diskussionsteil.

4.1 Futtermaufnahme

4.1.1 Futtermaufnahme der Gesamtstichprobe

Zahlreiche Versuchstiere blieben nach der Abkalbung noch einige Tage in den Abkalbeboxen, so dass für alle Tiere erst ab der zweiten Laktationswoche Werte für die Futtermaufnahme gemessen werden konnten.

Die Futtermaufnahme zeigte zwischen den einzelnen Versuchsgruppen teilweise signifikante Unterschiede (Tabelle 18). Die Versuchstiere in Gruppe 4 (20,3 kg TM) nahmen signifikant mehr Futter auf als alle anderen Gruppen. Die Gruppen 1 und 2 unterschieden sich nicht statistisch signifikant voneinander. Versuchsgruppe 3 zeigte mit 18,8 kg TM die signifikant niedrigste Futtermaufnahme.

Tabelle 18: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die tägliche Futtermaufnahme in kg TM aller Tiere der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	19,4	19,7	18,8	20,3	p=0,00 F=13,19	p=0,00 F=31,40	p=1,00 F=0,19
SEM $_{\bar{x}}$	0,17	0,16	0,17	0,17			
n	345	347	332	317			
	a	a	b	c			

Aus Abbildung 1 wird deutlich, dass Gruppe 3 schon zu Beginn der Laktation eine deutlich niedrigere Futteraufnahme hatte (14,7 kg TM), während die Gruppen 1, 2 und 4 mit ähnlichen Werten starteten (15,5 kg TM, 16,0 kg TM, 15,6 kg TM). Für die Dauer des gesamten Versuchszeitraumes blieb die Futteraufnahme von Gruppe 3 unter der der anderen Gruppen.

Gruppe 4 steigerte die Futteraufnahme deutlich schneller als die Gruppen 1, 2 und 3. So wurde der Abstand im Kurvenverlauf zu den anderen Gruppen ab der fünften Laktationswoche immer größer. Am Ende der Versuchzeit lag Gruppe 4 mit 21,9 kg TM deutlich vor Gruppe 1 (20,8 kg TM), Gruppe 2 (20,7 kg TM) und Gruppe 3 (20,4 kg TM).

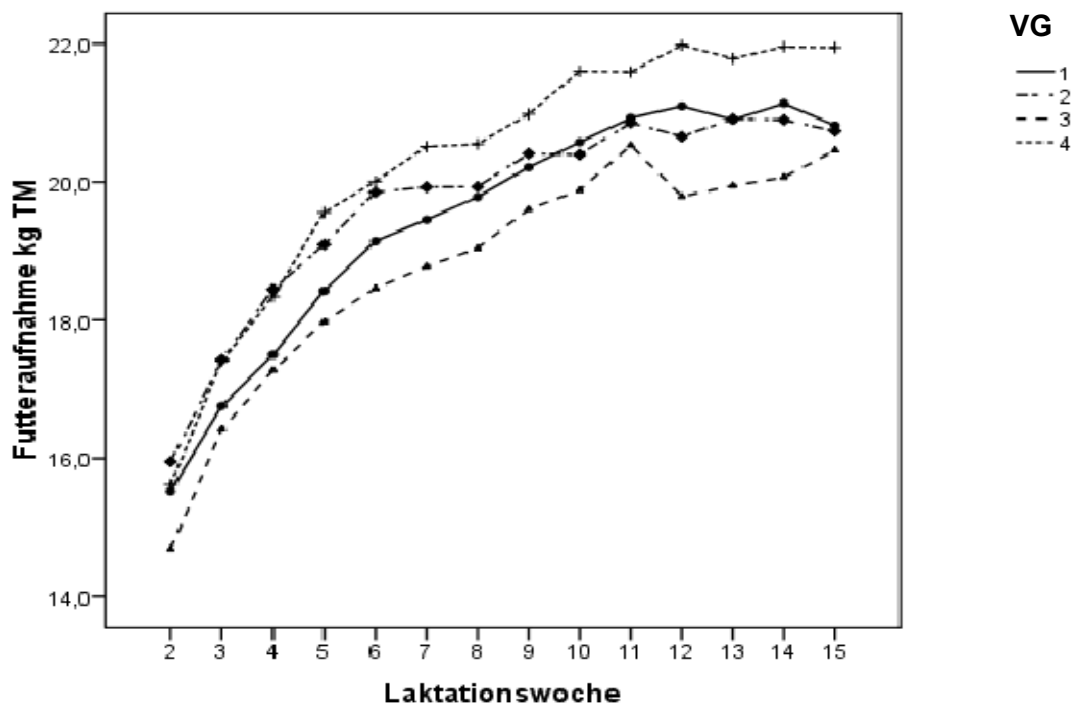


Abbildung 1: Tägliche Futteraufnahme der Versuchsgruppen in kg TM

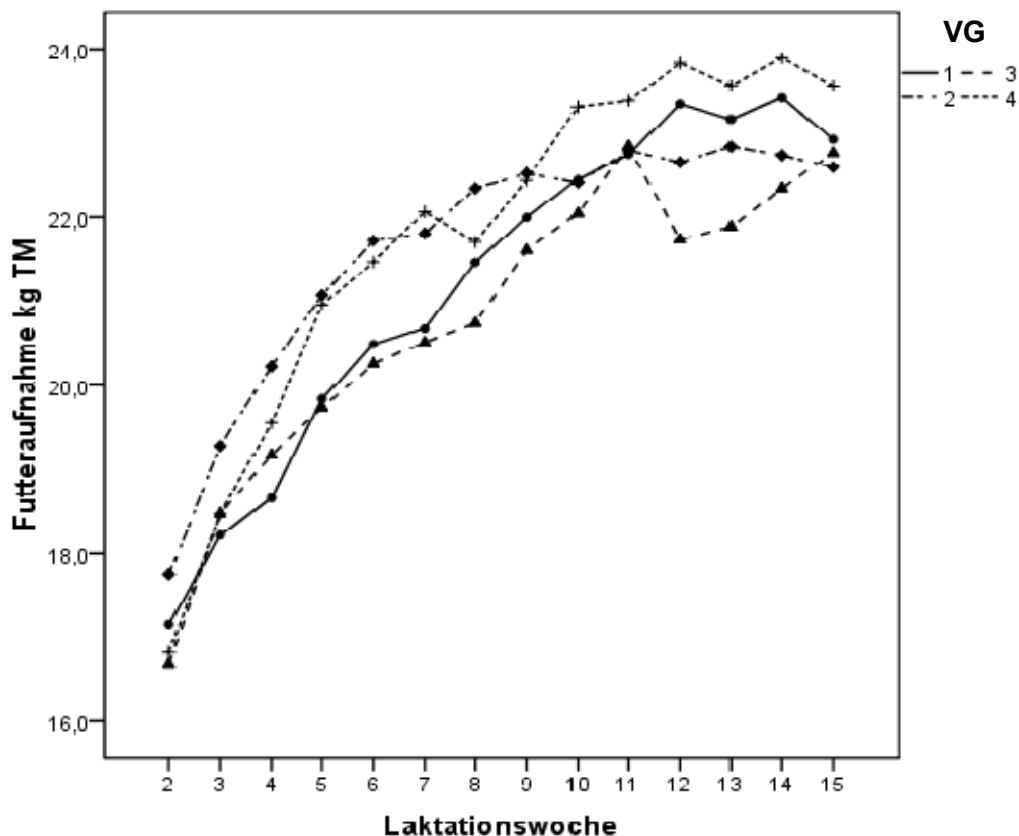
4.1.2 Futteraufnahme der Mehrkalbskühe

Die Mehrkalbskühe der Gruppen 2 und 4 zeigten eine signifikant höhere TM-Aufnahme als die Tiere der Gruppen 1 und 3 (Tabelle 19). Auch hier fraßen die Tiere der Gruppe 3 mit 20,8 kg TM am wenigsten.

Tabelle 19: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die tägliche Futteraufnahme in kg TM der Mehrkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	21,2	21,6	20,8	21,8	p=0,00 F=8,26	p=0,00 F=40,23	p=0,98 F=0,56
SEM $_{\bar{x}}$	0,16	0,16	0,16	0,16			
n	205	208	192	194			
	a	b	a	b			

In der zweiten Laktationswoche nahmen die Mehrkalbskühe der Gruppen 1, 3 und 4 relativ ähnliche Mengen Futter auf (17,2 kg TM, 16,7 kg TM, 16,8 kg TM) (Abbildung 2). Der Wert von Gruppe 2 lag bei 17,7 kg TM. Die Tiere aus Gruppe 4 steigerten ihre Futteraufnahme schneller als die Tiere der anderen Gruppe und lagen am Versuchsende mit 23,6 kg TM deutlich oberhalb von Gruppe 1 (22,9 kg TM), Gruppe 2 (22,6 kg TM) und Gruppe 3 (22,8 kg TM).

**Abbildung 2: Tägliche Futteraufnahme der Mehrkalbskühe der Versuchsgruppen in kg TM**

4.1.3 Futteraufnahme der Erstkalbskühe

Die Futteraufnahme der Erstkalbskühe (Tabelle 20) aller Gruppen lag deutlich unter der Futteraufnahme der Mehrkalbskühe. In Gruppe 4 zeigte sich die signifikant höchste TM-

Aufnahme, während Gruppe 3 die signifikant geringste TM-Aufnahme hatte. Die Futteraufnahme der Erstkalbskühe in den Gruppen 1 und 2 unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Tabelle 20: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die tägliche Futteraufnahme in kg TM der Erstkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	16,9	16,8	16,1	17,9	p=0,00 F=13,19	p=0,00 F=31,40	p=1,00 F=0,19
SEM \bar{x}	0,16	0,16	0,16	0,17			
n	140	139	140	123			
	a	a	b	c			

Auch bei den Erstkalbskühen steigerten die Tiere von Gruppe 4 ihre Futteraufnahme deutlich schneller als die Erstkalbskühe der anderen Gruppen (Abbildung 3). Zu Beginn der Messungen war die Futteraufnahme in den Gruppen 1, 2, und 4 nahezu gleich (13,6 kg TM, 13,5 kg TM, 13,8 kg TM). Am Ende der Untersuchung lag die Futteraufnahme in Gruppe 4 mit 19,3 kg TM deutlich oberhalb der aufgenommenen Futtermenge in den Gruppen 1 (17,9 kg TM) und 2 (17,9 kg TM).

Die Erstkalbskühe in Gruppe 3 fraßen schon in der zweiten Laktationswoche deutlich weniger (12,1 kg TM) und blieben über den gesamten Versuchszeitraum unterhalb der Futteraufnahme der anderen Gruppen.

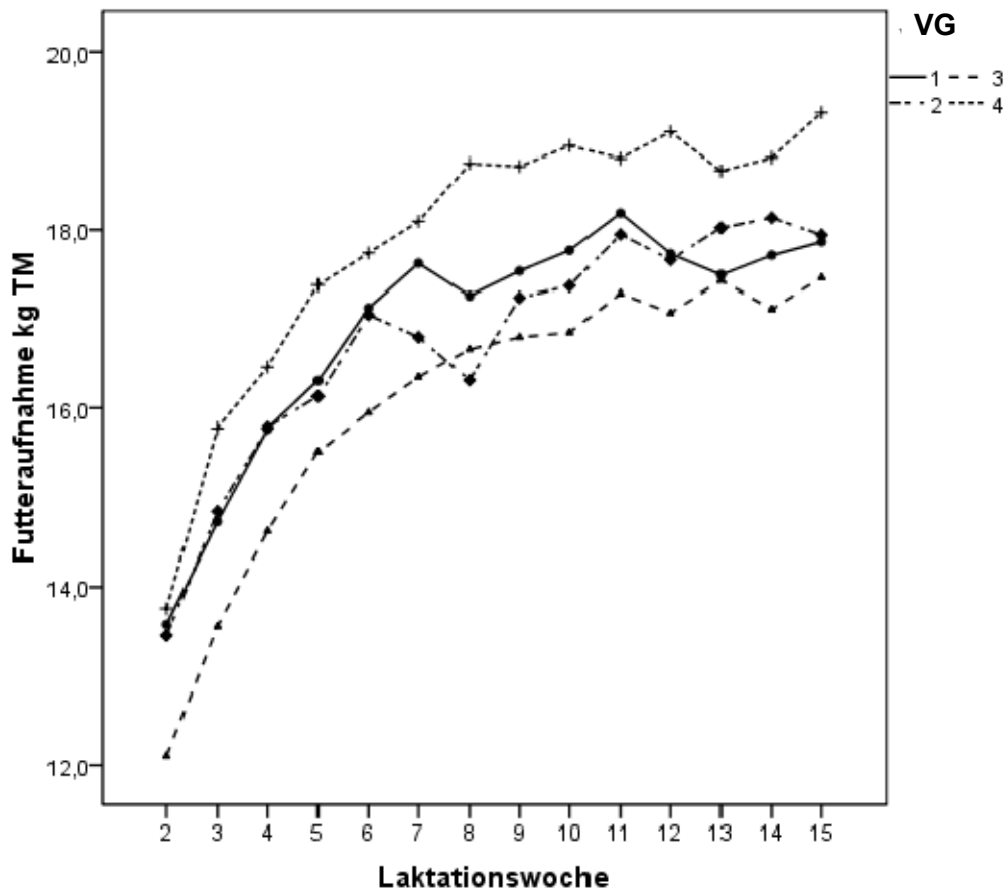


Abbildung 3: Tägliche Futteraufnahme der Erstkalbskühe der Versuchsgruppen in kg TM

4.2 Rückenfettdicke (RFD)

4.2.1 Rückenfettdicke der Gesamtstichprobe

Hinsichtlich der Rückenfettdicke gab es zwischen den einzelnen Versuchsgruppen keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 21).

Tabelle 21: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Rückenfettdicke in mm

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	13,6	14,4	14,0	14,2	p=0,711 F=0,46	p=0,00 F=40,43	p=0,634 F=0,86
SEM \bar{x}	0,5	0,3	0,3	0,3			
n	172	172	165	160			
	a	a	a	a			

4.2.2 Rückenfettdicke der Mehrkalbskühe

Auch die Rückenfettdicken der Mehrkalbskühe zeigten keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 22).

Tabelle 22: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Rückenfettdicke der Mehrkalbskühe in mm

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	14,5	13,9	14,5	14,6	p=0,101 F=2,09	p=0,00 F=63,96	p=0,416 F=1,05
SEM \bar{x}	0,4	0,4	0,4	0,4			
n	102	102	96	98			
	a	a	a	a			

4.2.3 Rückenfettdicke der Erstkalbskühe

Der Gesamtmittelwert der Rückenfettdicken der Erstkalbskühe in Gruppe 2 war signifikant höher als die Gesamtmittelwerte der anderen Gruppen (Tabelle 23).

Tabelle 23: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Rückenfettdicke der Erstkalbskühe in mm

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	13,1	15,1	13,4	13,5	p=0,00 F=7,67	p=0,00 F=16,87	p=0,984 F=0,40
SEM \bar{x}	0,3	0,3	0,3	0,3			
n	70	70	69	62			
	a	b	a	a			

4.3 Body-Condition-Score (BCS)

4.3.1 Body-Condition-Score der Gesamtstichprobe

Die BCS-Noten der Versuchsgruppen waren nicht statistisch signifikant verschieden (Tabelle 24).

4. Ergebnisse

Tabelle 24: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte des Bodey-Condition-Score

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	2,99	2,99	2,96	2,95	p=0,048 F=2,66	p=0,00 F=63,97	p=0,861 F=0,64
SEM \bar{x}	0,02	0,03	0,02	0,03			
n	168	170	161	157			
	a	a	a	a			

4.3.2 Body-Condition-Score der Mehrkalbskühe

Bei den Mehrkalbskühen war die BCS-Note der Tiere in Gruppe 4 (2,84) signifikant niedriger als die der Tiere in Gruppe 1 (2,97) (Tabelle 25). Es gab keine weiteren signifikanten Unterschiede.

Tabelle 25: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte des Body-Condition-Score der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	2,97	2,88	2,91	2,84	p=0,015 F=3,51	p=0,00 F=34,31	p=0,915 F=0,57
SEM \bar{x}	0,05	0,04	0,03	0,04			
n	101	101	96	96			
	a	ab	ab	b			

4.3.3 Body-Condition-Score der Erstkalbskühe

Die Erstkalbskühe aller Gruppen erhielten eine tendenziell etwas höhere BCS-Note als die Mehrkalbskühe. Der BCS der Erstkalbskühe in Gruppe 2 (3,14) war signifikant höher als bei den Erstkalbskühen in den Gruppen 1 (3,05) und 3 (3,00) (Tabelle 26). Die Tiere in Gruppe 3 (3,00) hatten den niedrigsten Wert, er lag signifikant unter denen der Gruppen 2 (3,14) und 4 (3,13).

Tabelle 26: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte des Body-Condition-Score der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,05	3,14	3,00	3,13	p=0,001 F=5,74	p=0,00 F=26,11	p=0,542 F=0,94
SEM \bar{x}	0,03	0,03	0,03	0,03			
n	67	69	65	61			
	ab	c	a	bc			

4.4 Körpergewicht

4.4.1 Körpergewicht der Gesamtstichprobe

Der Gesamtmittelwert für das Körpergewicht lag in Gruppe 3 (588 kg) signifikant unterhalb des Körpergewichts in den anderen Versuchsgruppen (Tabelle 27).

Tabelle 27: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte des Körpergewichts in kg

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	600	604	588	609	p=0,00 F=6,06	p=0,495 F=0,96	p=1,00 F=0,13
SEM \bar{x}	3,6	3,5	3,7	3,7			
n	305	318	281	286			
	a	a	b	a			

In Abbildung 4 ist zu sehen, dass in allen Versuchsgruppen der Mittelwert für das Körpergewicht in der 2. LW zwischen 600 und 610 kg lag. In den ersten Laktationswochen verloren alle Gruppen deutlich an Körpergewicht. In der zweiten Hälfte des Versuchszeitraums nahmen die Versuchstiere wieder an Gewicht zu. In der 15. LW, also am Versuchsende, lagen die Tiere der Gruppen 1, 2 und 4 in dem relativ engen Bereich zwischen 610 und 620 kg KGW. Die Tiere der Gruppe 3 jedoch verloren stark an Körpermasse und die Differenz zu den anderen Gruppen wurde bis zum Versuchsende deutlich größer.

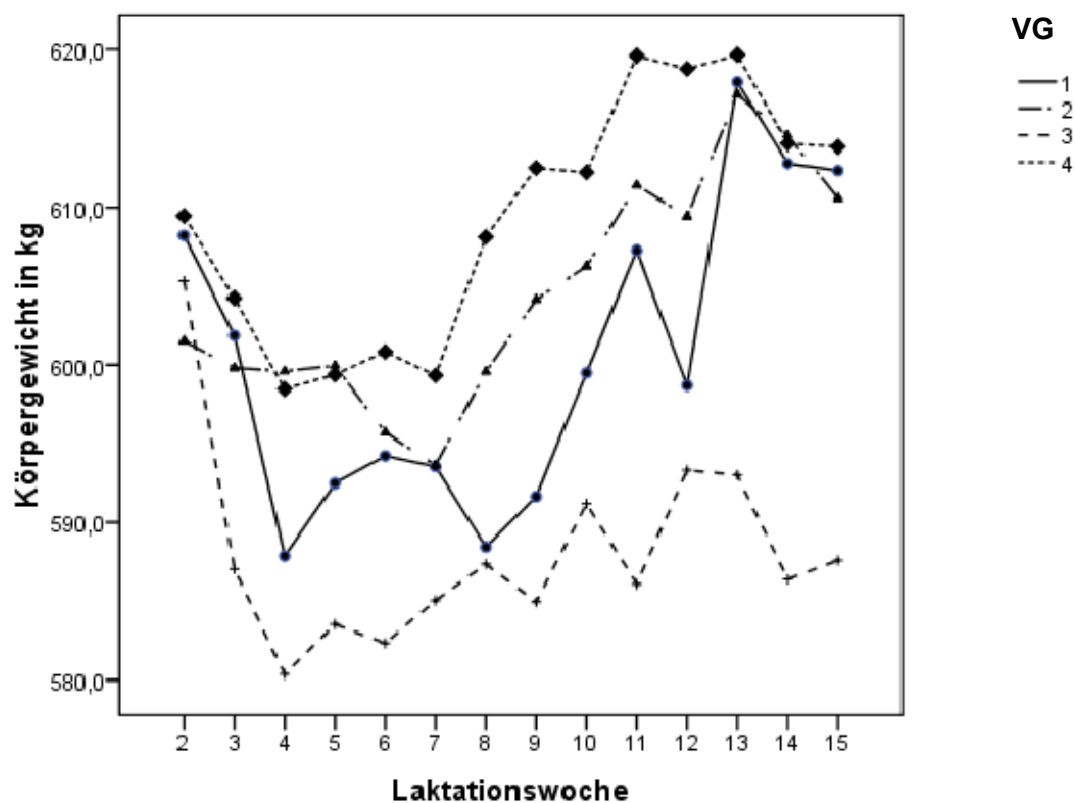


Abbildung 4: Körpergewicht der vier Versuchsgruppen in kg

4.4.2 Körpergewicht der Mehrkalbskühe

Bei alleiniger Betrachtung der Mehrkalbskühe hatten die Tiere in Gruppe 2 (638 kg) ein signifikant höheres Gewicht als die Tiere in Gruppe 1 (626 kg) (Tabelle 28). Es gab keine weiteren Gruppenunterschiede.

Tabelle 28: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte des Körpergewichts der Mehrkalbskühe in kg

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	626	638	633	629	p=0,170 F=1,68	p=0,867 F=0,58	p=1,00 F=0,23
SEM \bar{x}	4,0	3,9	4,2	4,0			
n	184	189	160	178			
	a	b	ab	ab			

In Abbildung 5 ist zu sehen, dass die Mehrkalbskühe in Gruppe 3 in der zweiten Laktationswoche deutlich schwerer waren (657 kg) und im Verlauf der Untersuchung stark an Körpermasse verloren. Am Ende der Untersuchung lagen sie mit 626 kg unter den Körpergewichten der anderen Gruppen.

Die Mehrkalbskühe der Gruppe 1 und 2 verloren zwar zu Laktationsbeginn auch an Körpermasse, nahmen im Versuchsverlauf jedoch wieder so zu, dass ihr Endgewicht leicht oberhalb des Ausgangsgewichts lag. Der Gewichtsverlust in Gruppe 2 war in den ersten Laktationswochen im Vergleich zu den anderen Gruppen sehr gering.

Die Tiere in Gruppe 4 schafften es nicht ihr in den ersten Versuchswochen verlorenes Gewicht wieder aufzuholen. In der zweiten Laktationswoche wogen sie 640 kg und am Versuchsende 629 kg.

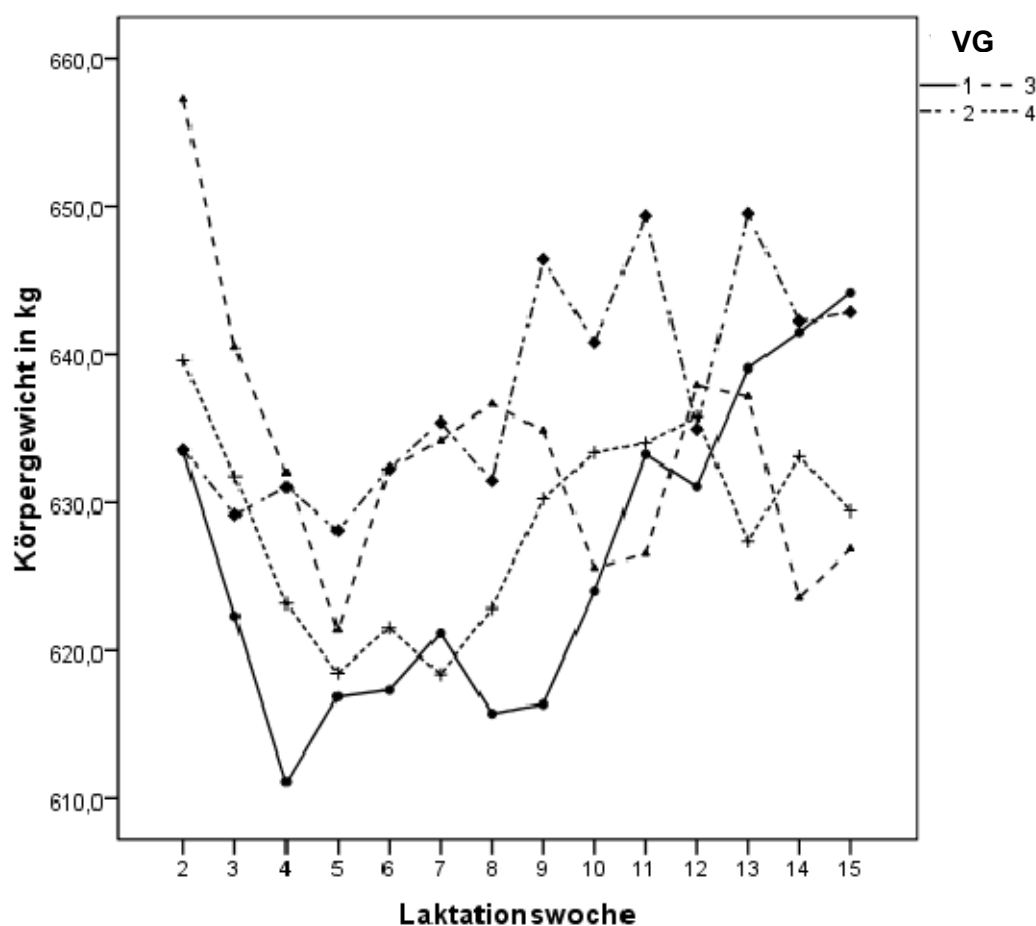


Abbildung 5: Körpergewicht der Mehrkalbskühe der Versuchsgruppen in kg

4.4.3 Körpergewicht der Erstkalbskühe

Die Körpergewichte der Erstkalbskühe lagen erwartungsgemäß deutlich unter denen der Mehrkalbskühe.

Wie bei den Gruppengesamtmittelwerten (Tabelle 27) zeigten die Erstkalbskühe in Gruppe 3 (528 kg) ein signifikant niedrigeres Gewicht als alle anderen Tiere (Tabelle 29). Dagegen waren die Erstkalbskühe in Gruppe 4 (577 kg) signifikant schwerer als die Tiere der anderen Gruppen.

Tabelle 29: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte des Körpergewichts der Erstkalbskühe in kg

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	561	556	528	577	p=0,00 F=26,74	p=0,085 F=0,71	p=1,00 F=0,43
SEM \bar{x}	3,8	3,7	3,9	4,1			
n	121	129	121	108			
	a	a	b	c			

Auch die Erstkalbskühe verloren in den ersten Laktationswochen an Körpermasse (Abbildung 6), jedoch weniger stark ausgeprägt als die Mehrkalbskühe. Zum Versuchsende waren die Tiere aller Gruppen etwas schwerer als zum Versuchsbeginn. Die Erstkalbskühe in Gruppe 4 starteten mit 569 kg und nahmen bis zum Versuchsende 21 kg zu.

Die anderen Gruppen zeigten deutlich geringere Zunahmen (Gruppe 1: 1kg; Gruppe 2: 12 kg; Gruppe 3: 5 kg).

Die Erstkalbskühe der Gruppe 3 waren in der zweiten Laktationswoche wesentlich leichter (543 kg) als die Erstkalbskühe der anderen Gruppen. Auch am Versuchsende lagen sie mit 548 kg deutlich unterhalb der anderen Gruppen.

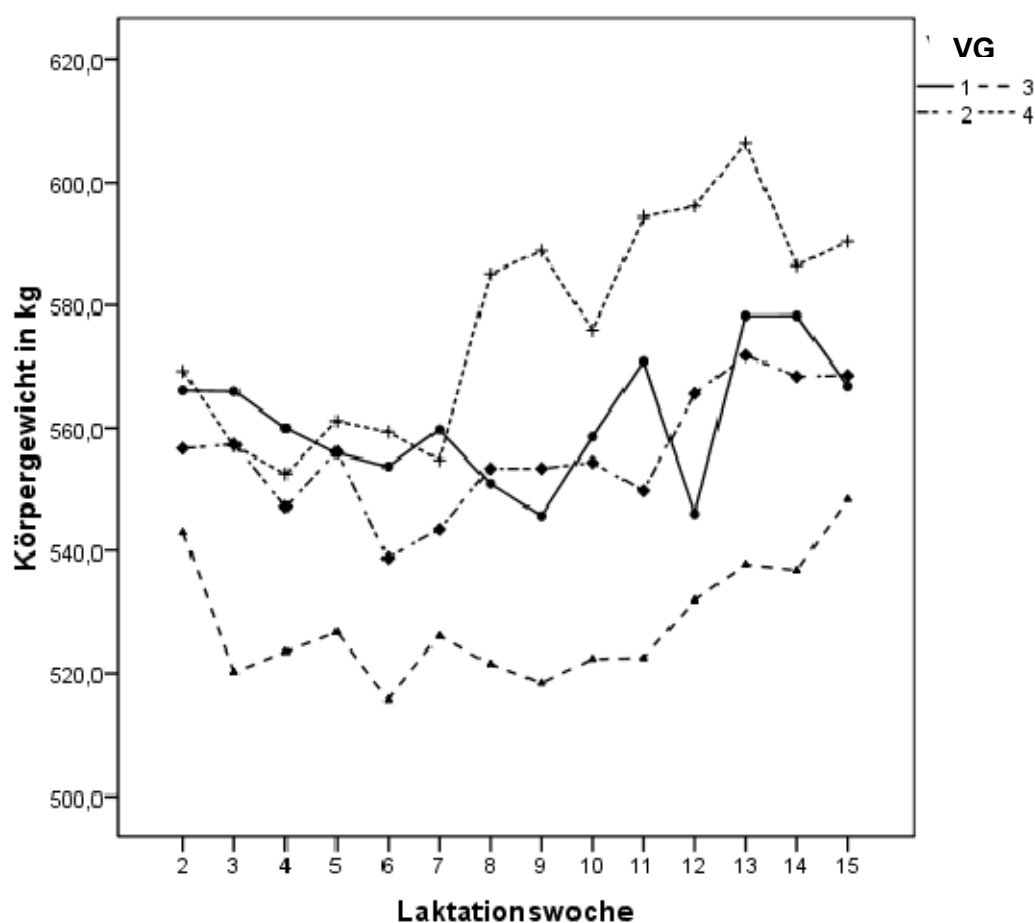


Abbildung 6: Körpergewicht der Erstkalbskühe der Versuchsgruppen in kg

4.5 Milchmenge und Milch Inhaltsstoffe

4.5.1 Milchmenge

4.5.1.1 Milchmenge der Gesamtstichprobe

Die Auswertung der Daten über die tägliche Milchmenge erfolgte mit dem Beginn der zweiten Laktationswoche.

Die durchschnittlichen täglichen Milchmengen der Gruppen 1, 2 und 3 zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede (Tabelle 30). Sie lagen zwischen 35,5 und 35,9 kg.

Die Tiere der Gruppe 4 hingegen gaben mit 37,0 kg signifikant mehr Milch pro Tag.

4. Ergebnisse

Tabelle 30: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die tägliche Milchmenge in kg der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	35,9	35,5	35,7	37,0	p=0,036 F=2,86	p=0,00 F=5,40	p=1,00 F=0,12
SEM $_{\bar{x}}$	0,39	0,39	0,40	0,41			
n	348	347	333	320			
	a	a	a	b			

In Abbildung 7 wird deutlich, dass Gruppe 4 bereits in der zweiten LW eine deutlich höhere Milchmenge hatte als die anderen Gruppen und sich dies bis zur 12. LW so fortsetzte. Gruppe 1 startete mit der niedrigsten Milchmenge und steigerte sich auch nur langsam, so dass der Höhepunkt dieser Gruppe erst in der 8. LW erreicht wurde. Sie zeigte dann aber eine gute Persistenz mit einem nur langsamen Milchmengenabfall bis zum Ende der Versuchszeit.

Die Gruppen 2 und 3 zeigten einen sehr ähnlichen Verlauf der Leistungskurven. Sie erreichten in der 5. LW ihre höchsten Milchmengen, die dann bis zum Versuchsende stetig abfielen.

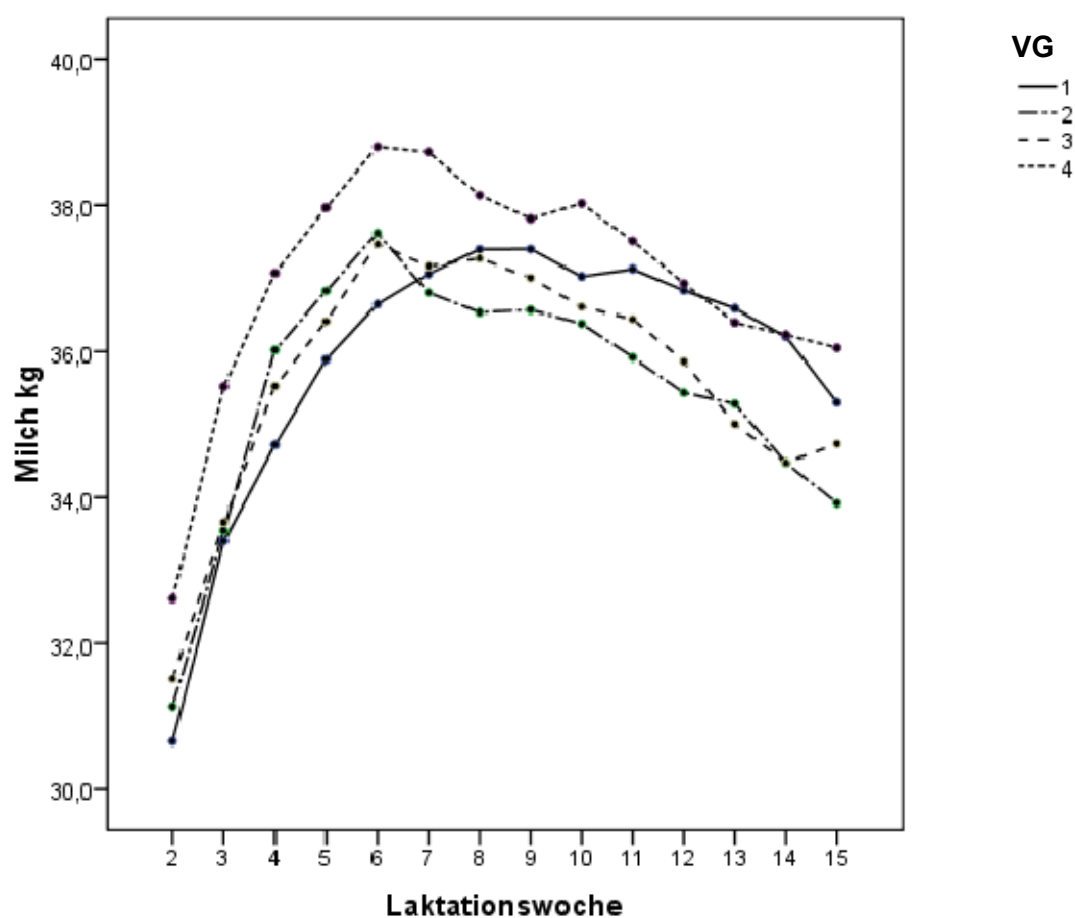


Abbildung 7: Tägliche Milchmenge der Versuchsgruppen in kg

4.5.1.2 Milchmenge der Mehrkalbskühe

Bei den Mehrkalbskühen war die tägliche Milchmenge von Gruppe 4 tendenziell ebenfalls die höchste, jedoch unterschied sie sich nicht signifikant von der Milchmenge der Gruppe 3. Gruppe 1 zeigte mit 39,6 kg tendenziell die niedrigste tägliche Milchmenge (Tabelle 31).

Tabelle 31: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die tägliche Milchmenge in kg der Mehrkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	39,6	40,2	40,7	41,4	p=0,006 F=4,17	p=0,000 F=8,10	p=1,00 F=0,25
SEM \bar{x}	0,36	0,37	0,38	0,38			
n	208	207	193	194			
	a	ab	bc	c			

4. Ergebnisse

Auch bei alleiniger Betrachtung der Mehrkalbskühe waren in der zweiten Laktationswoche deutliche Unterschiede sichtbar (Abbildung 8). Gruppe 4 zeigte auch hier die höchste Leistung (37,0 kg), während Gruppe 1 die niedrigste Leistung hatte (34,5 kg) und sich nur langsam steigerte. Gruppe 4 behielt über den gesamten Versuchszeitraum die höchste Leistung bei.

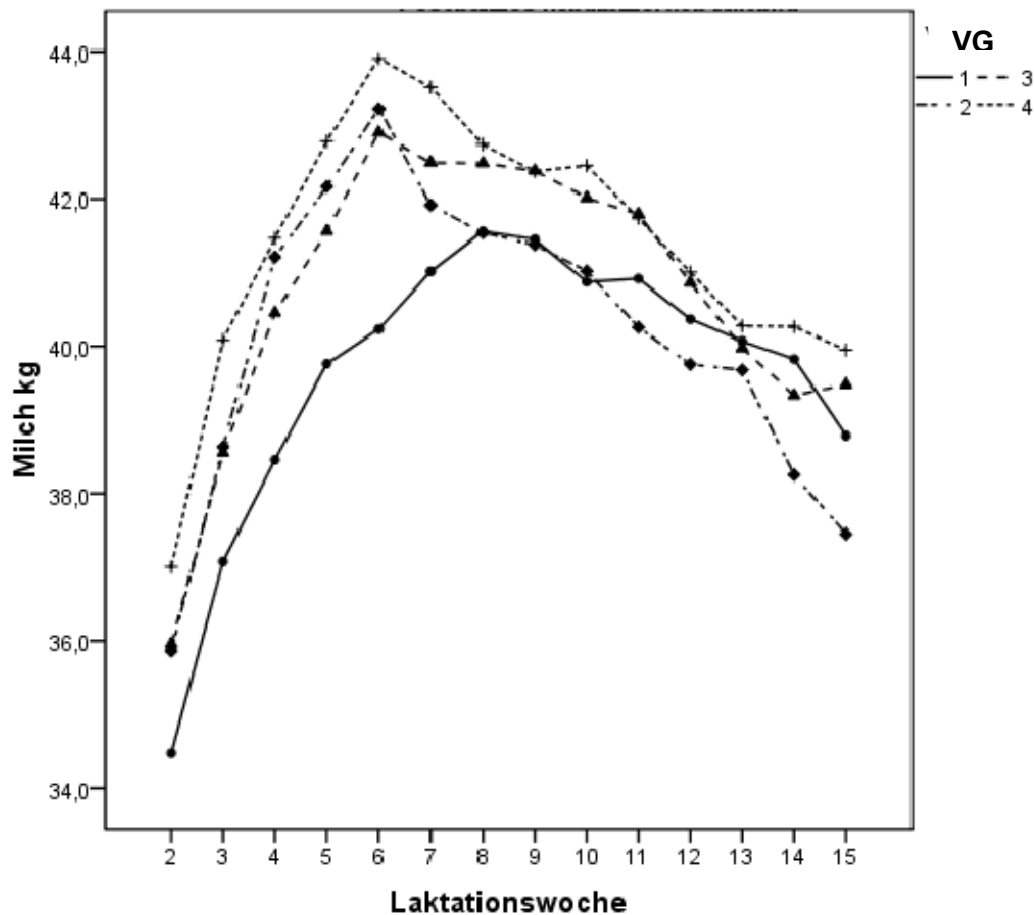


Abbildung 8: Tägliche Milchmenge der Mehrkalbskühe der Versuchsgruppen in kg

4.5.1.3 Milchmenge der Erstkalbskühe

Die tägliche Milchmenge der Erstkalbskühe lag in allen Versuchsgruppen 9,6 – 12 kg unterhalb der der Mehrkalbskühe. Die Erstkalbskühe der Gruppen 1 und 4 gaben signifikant mehr Milch als die Tiere der Gruppen 2 und 3 (Tabelle 32).

Tabelle 32: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die tägliche Milchmenge in kg der Erstkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	30,3	28,5	28,7	30,2	p=0,00 F=7,98	p=0,00 F=6,04	p=1,00 F=0,11
SEM $_{\bar{x}}$	0,34	0,34	0,34	0,35			
n	208	207	193	194			
	b	a	a	b			

In Abbildung 9 ist zu sehen, dass die Erstkalbskühe der Gruppen 1 und 4 einen sehr ähnlichen Verlauf der Milchleistungskurven aufwiesen, ebenso wie die Erstkalbskühe der Gruppen 2 und 3.

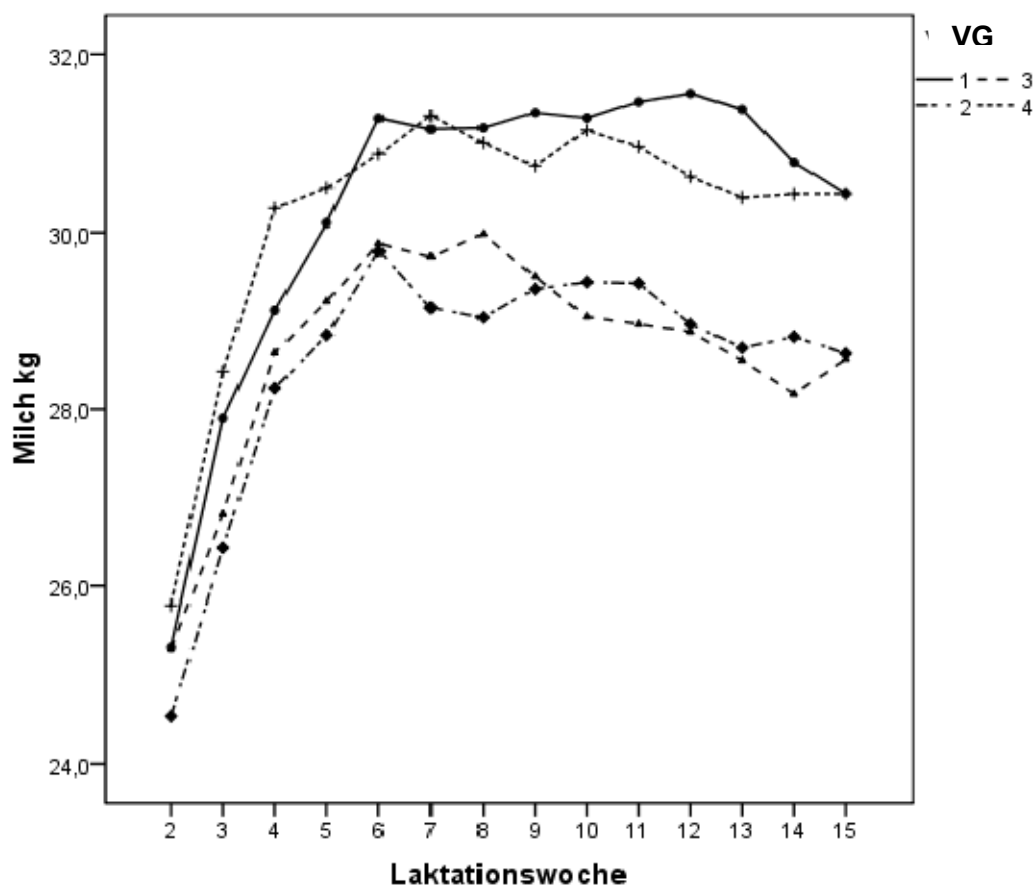


Abbildung 9: Tägliche Milchmenge der Erstkalbskühe der Versuchsgruppen in kg

4.5.2 Milchinhaltsstoffe

4.5.2.1 Milchfettgehalt

4.5.2.1.1 Milchfettgehalt der Gesamtstichprobe

Der Milchfettgehalt lag in Gruppe 2 mit 3,92% signifikant unter denen der Gruppen 3 (4,14%) und 4 (4,09%) (Tabelle 33). Die Milch der Gruppe 1 enthielt 4,0 % Fett.

Die tägliche Milchfettmenge in kg spiegelte diese Unterschiede wieder (Tabelle 34). Auch hier war zu sehen, dass die Milchfettmenge in kg in den Gruppen 3 (1,46 kg) und 4 (1,48 kg) deutlich höher lag und die tägliche Milchfettmenge von Gruppe 2 geringer war (1,35 kg). Gruppe 1 befand sich mit 1,41 kg Milchfettmenge im Mittelfeld.

Tabelle 33: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Milchfettgehalt in % der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	4,0	3,92	4,14	4,09	p=0,00 F=5,56	p=0,00 F=14,62	p=0,846 F=0,752
SEM \bar{x}	0,42	0,40	0,42	0,42			
n	284	302	282	275			
	ab	a	c	bc			

Referenzbereich: 3,5-4,5%

Tabelle 34: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Milchfettmenge in kg der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,41	1,35	1,46	1,48	p=0,00 F=5,38	p=0,00 F=3,03	p=0,95 F=0,63
SEM \bar{x}	0,03	0,03	0,03	0,03			
n	249	261	244	241			
	ab	a	bc	c			

In Abbildung 10 ist zu sehen, dass Gruppe 3 mit einem deutlich höheren Fettgehalt (5,1 %) in die Laktation startete als die anderen Gruppen. Versuchsgruppe 2 dagegen fiel schon in der zweiten Laktationswoche durch einen niedrigeren Milchfettgehalt (4,6 %) auf und lag fast die gesamte Versuchszeit unterhalb der Milchfettgehalte der Gruppen 1, 3 und 4.

In allen vier Gruppen kam es zu Laktationsbeginn (bis etwa zur 7. Laktationswoche) zu einem starken Abfall des Milchfettgehaltes.

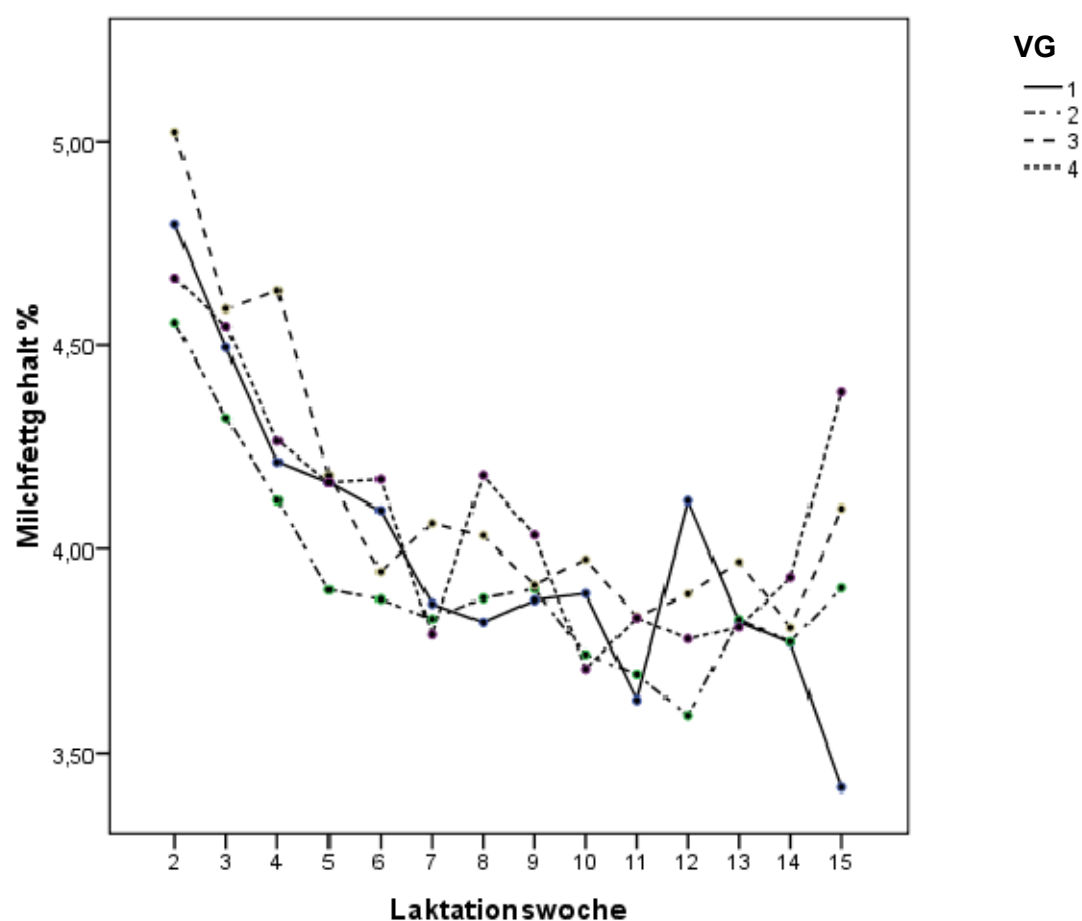


Abbildung 10: Milchfettgehalt der vier Versuchsgruppen in %

4.5.2.1.2 Milchfettgehalt der Mehrkalbskühe

Bei der Betrachtung des Milchfettgehaltes der Mehrkalbskühe in % (Tabelle 35) lag der Wert der Versuchsgruppe 2 signifikant unter den Werten der drei anderen Versuchsgruppen. Die Milchfettgehalte in % dieser Gruppen unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Tabelle 35: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Milchfettgehalt in % der Mehrkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	4,16	3,89	4,23	4,30	p=0,00	p=0,00	p=0,278
SEM $_{\bar{x}}$	0,06	0,06	0,06	0,06	F=10,42	F=14,13	F=1,17
n	171	176	162	164			
	a	b	a	a			

Referenzbereich: 3,5-4,5%

4. Ergebnisse

Zu Laktationsbeginn lagen die Milchfettgehalte der Gruppen 1 (5,2%), 3 (5,2%) und 4 (4,8%) oberhalb des Referenzbereichs (Abbildung 11). Sie fielen in den ersten Laktationswochen deutlich ab. Gruppe 2 wies in der zweiten LW mit 4,5% den niedrigsten Milchfettgehalt auf und zeigte über den gesamten Versuchszeitraum die geringsten Werte.

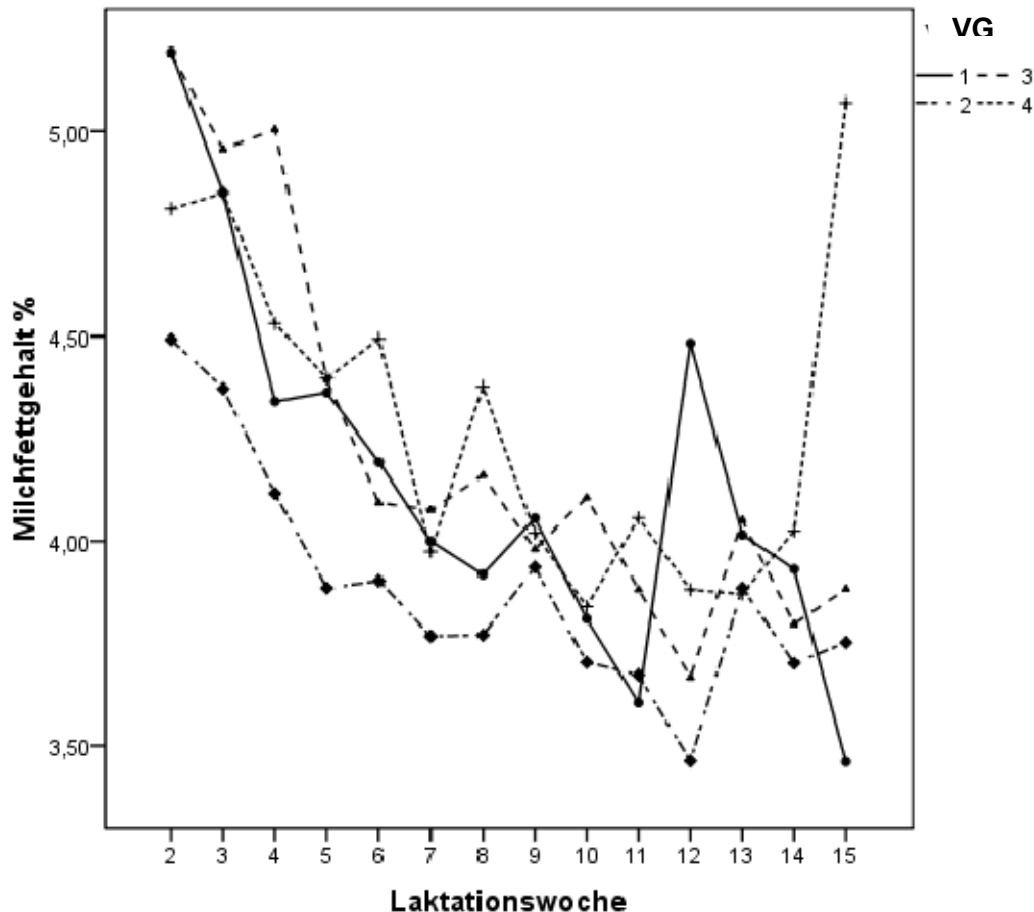


Abbildung 11: Milchfettgehalt der Mehrkalbskühe der Versuchsgruppen in %

Die tägliche Milchfettmenge in kg (Tabelle 36) war bei den Mehrkalbskühen in den Gruppen 3 (1,69 kg) und 4 (1,72 kg) signifikant höher als in den Gruppen 1 (1,59 kg) und 2 (1,53 kg).

Tabelle 36: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Milchfettmenge in kg der Mehrkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,59	1,53	1,69	1,72	p=0,00 F=10,68	p=0,00 F=7,03	p=0,296 F=1,17
SEM \bar{x}	0,03	0,03	0,03	0,03			
n	150	150	140	143			
	a	a	b	b			

4.5.2.1.3 Milchfettgehalt der Erstkalbskühe

Die Milch der Erstkalbskühe enthielt in den Gruppen 1, 3 und 4 deutlich weniger Milchfett als die Milch der Mehrkalbskühe (Tabellen 35 und 37). In Gruppe 2 lag der Milchfettgehalt in % der Erstkalbskühe etwas über dem der Mehrkalbskühe.

Beim Vergleich des prozentualen Milchfettgehaltes der Erstkalbskühe der vier Versuchsgruppen (Tabelle 37) zeigten die Gruppen 1 (3,77%) und 4 (3,78%) signifikant niedrigere Werte als die Gruppen 2 (3,96%) und 3 (4,02%).

Tabelle 37: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Milchfettgehalt in % der Erstkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,77	3,96	4,02	3,78	p=0,00 F=5,99	p=0,00 F=3,77	p=0,91 F=0,66
SEM \bar{x}	0,06	0,05	0,05	0,05			
n	113	126	120	111			
	a	b	b	a			

Referenzbereich: 3,5-4,5%

Aus Abbildung 12 ist ersichtlich, dass sich die geringeren Milchfettgehalte in den Gruppen 1 und 4 über den gesamten Versuchszeitraum erstrecken. Beide Gruppen wiesen schon in der zweiten LW geringere Fettgehalte auf als die Gruppen 2 und 3.

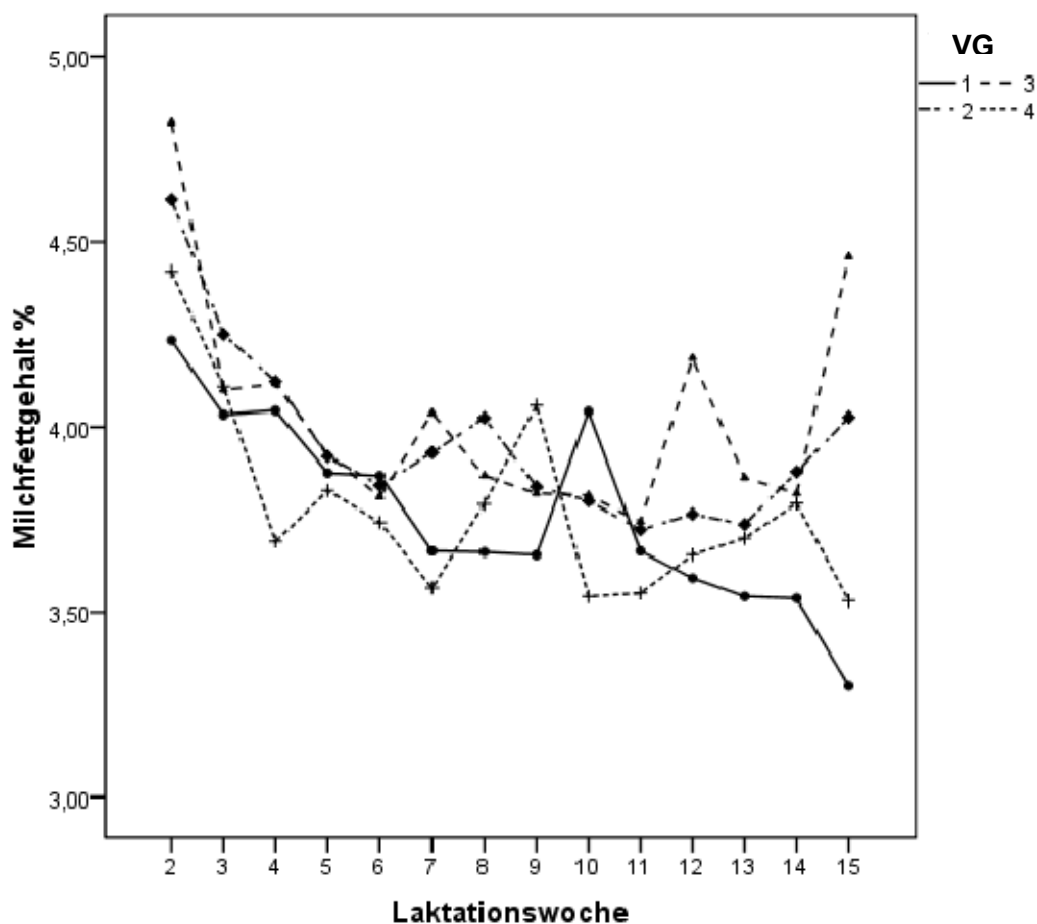


Abbildung 12: Milchfettgehalt der Erstkalbskühe der Versuchsgruppen in %

Keine signifikanten Unterschiede gab es bei den Erstkalbskühen der vier Versuchsgruppen im Hinblick auf die tägliche Milchfettmenge in kg (Tabelle 38).

Tabelle 38: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Milchfettmenge in kg der Erstkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,13	1,12	1,15	1,13	p=0,82 F=0,30	p=0,91 F=0,50	p=0,83 F=0,73
SEM \bar{x}	0,03	0,02	0,03	0,02			
n	99	111	104	98			
	a	a	a	a			

4.5.2.2 Milcheiweißgehalt

4.5.2.2.1 Milcheiweißgehalt der Gesamtstichprobe

Die Versuchsgruppen 1, 3 und 4 zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede in Bezug auf den prozentualen Milcheiweißgehalt (Tabelle 39). Mit 3,15% war der Milcheiweißgehalt der Gruppe 2 statistisch signifikant höher als in den anderen Gruppen.

Tabelle 39: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Milcheiweißgehalt in % der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,12	3,15	3,07	3,12	p=0,00 F=5,98	p=0,00 F=21,58	p=0,997 F=0,465
SEM $_{\bar{x}}$	0,13	0,13	0,13	0,13			
n	287	302	285	275			
	a	b	a	a			

Referenzbereich: 3-4%

Die tägliche Milcheiweißmenge in kg (Tabelle 40) lag in Gruppe 4 (1,13 kg) signifikant über dem Eiweißgehalt der Gruppe 3 (1,08 kg).

Tabelle 40: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Milcheiweißmenge in kg der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,10	1,09	1,08	1,13	p=0,180 F=1,64	p=0,945 F=0,45	p=1,00 F=0,36
SEM $_{\bar{x}}$	0,14	0,14	0,14	0,14			
n	249	261	244	241			
	ab	ab	a	b			

Bei Betrachtung von Abbildung 13 fällt auf, dass Gruppe 2 zum Beginn der Laktation einen deutlich höheren Eiweißgehalt zeigte als Gruppe 4.

In allen vier Gruppen kam es bis etwa zur 6. Versuchswoche zu einem Abfall des prozentualen Milcheiweißgehaltes. In der zweiten Hälfte des Versuchszeitraumes stieg dieser in allen Gruppen leicht wieder an.

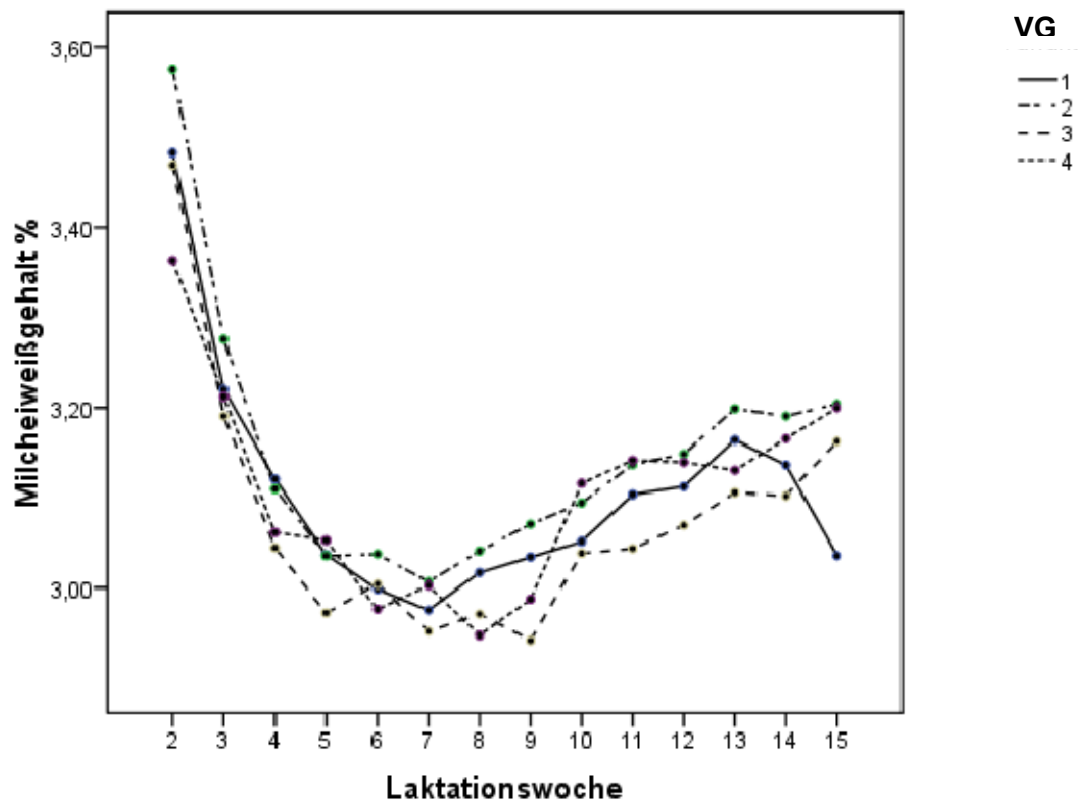


Abbildung 13: Milcheiweißgehalt der vier Versuchsgruppen in %

4.5.2.2.2 Milcheiweißgehalt der Mehrkalbskühe

Auch hier lag der Milcheiweißgehalt in % der Gruppe 2 (3,15%) tendenziell höher als in Gruppe 1 (3,10%) und signifikant höher als in den Gruppen 3 (3,07%) und 4 (3,09%) (Tabelle 41).

Tabelle 41: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Milcheiweißgehalt in % der Mehrkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,10	3,15	3,07	3,09	p=0,015 F=3,52	p=0,00 F=16,59	p=0,996 F=0,582
SEM \bar{x}	0,17	0,17	0,18	0,18			
n	173	176	164	164			
	ab	a	b	b			

Referenzbereich: 3-4%

Die tägliche Milcheiweißmenge in kg zeigte signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe 1 (1,21 kg) und der Gruppe 4 (1,26 kg) (Tabelle 42).

Tabelle 42: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Milcheiweißmenge in kg der Mehrkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,21	1,24	1,23	1,26	p=0,075 F=2,33	p=0,667 F=0,79	p=0,994 F=0,612
SEM \bar{x}	0,13	0,15	0,14	0,14			
n	150	150	140	143			
	a	ab	ab	b			

4.5.2.2.3 Milcheiweißgehalt der Erstkalbskühe

Die Milcheiweißgehalte in % der Erstkalbskühe (Tabelle 43) waren denen der Mehrkalbskühe sehr ähnlich. Wie bei den Mehrkalbskühen hatte auch hier Gruppe 2 (3,16%) den höchsten Milcheiweißgehalt und unterschied sich signifikant von dem Wert der Gruppe 3 (3,08%).

Tabelle 43: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Milcheiweißgehalt in % der Erstkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,11	3,16	3,08	3,14	p=0,032 F=2,97	p=0,000 F=6,88	p=0,971 F=0,55
SEM \bar{x}	0,02	0,02	0,02	0,02			
n	114	126	121	111			
	ab	a	b	ab			

Referenzbereich: 3-4%

Die tägliche Milcheiweißmenge in kg wies bei den Erstkalbskühen (Tabelle 44) deutlich geringere Werte auf als bei den Mehrkalbskühen.

Mit 0,94 kg hatten die Tiere der Gruppe 1 eine statistisch signifikant höhere tägliche Milcheiweißmenge als die Gruppen 2 und 3.

Tabelle 44: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Milcheiweißgehalt in kg der Erstkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	0,94	0,90	0,88	0,93	p=0,004 F=4,68	p=0,0,273 F=1,27	p=0,994 F=0,44
SEM \bar{x}	0,14	0,12	0,14	0,13			
n	99	111	104	98			
	a	bc	b	ac			

4.5.2.3 Fett/Eiweiß-Quotient

4.5.2.3.1 Fett/Eiweiß-Quotient der Gesamtstichprobe

Über den gesamten Versuchszeitraum betrachtet, zeigte der Fett/Eiweiß-Quotient der Gruppe 2 (1,25) den statistisch signifikant niedrigsten Wert. In Gruppe 3 (1,35) war er signifikant höher als in den Gruppen 1 und 2 (Tabelle 45).

Tabelle 45: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Fett/Eiweiß-Quotienten der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,29	1,25	1,35	1,32	p=0,00 F=10,51	p=0,00 F=10,10	p=0,768 F=0,814
SEM \bar{x}	0,14	0,13	0,14	0,14			
n	284	302	282	275			
	a	c	b	ab			

Referenzbereich: 1,0-1,5

In Abbildung 14 ist zu erkennen, dass die Tiere der Gruppe 2 schon zu Beginn der Laktation einen deutlich niedrigeren Fett/Eiweiß-Quotienten aufwiesen. Über den gesamten Versuchszeitraum blieb der FEQ in dieser Gruppe niedrig.

Gruppe 3 dagegen startete mit einem deutlich höheren FEQ als die anderen Gruppen. Die Kurve näherte sich in den folgenden Laktationswochen zwar denen der anderen Gruppen an, blieb aber tendenziell über ihnen.

Die Kurven der Gruppen 1 und 4 zeigen einen recht ähnlichen Verlauf mit einigen Schwankungen.

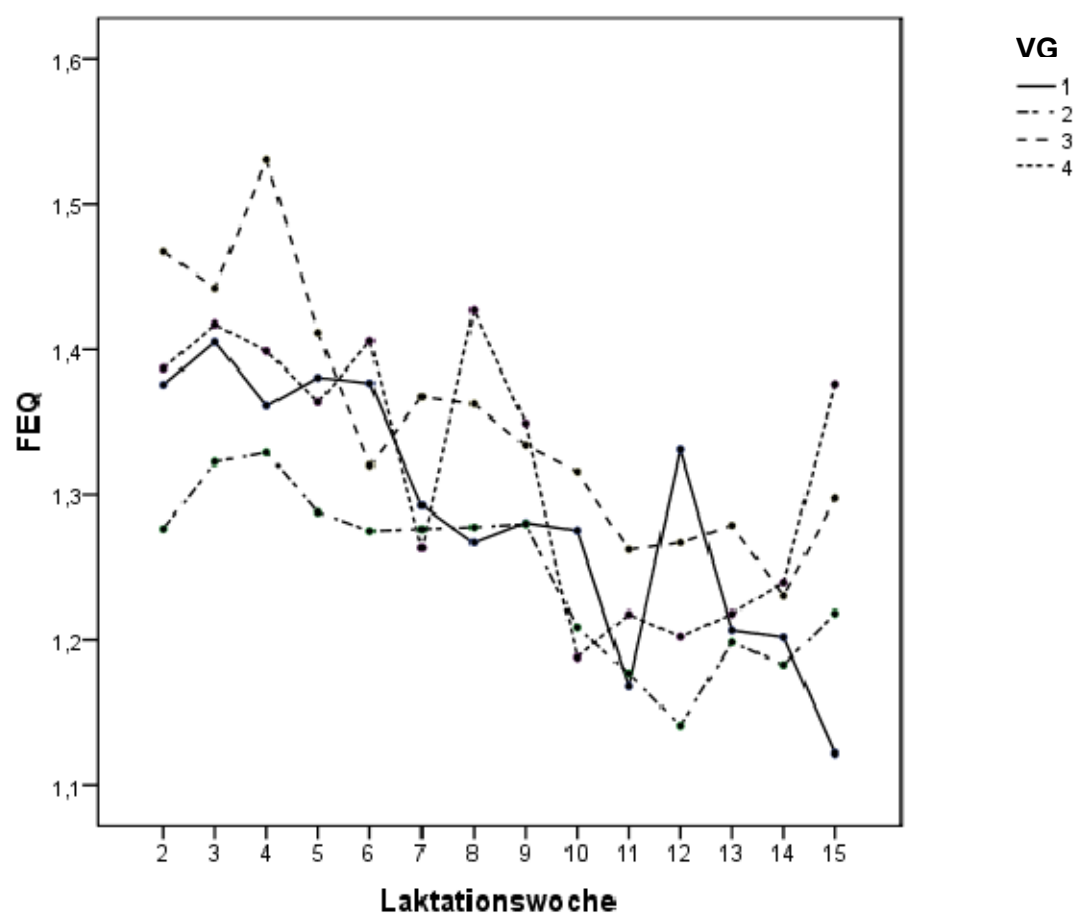


Abbildung 14: Fett/Eiweiß-Quotient der vier Versuchsgruppen

4.5.2.3.2 Fett/Eiweiß-Quotient der Mehrkalbskühe

Auch bei alleiniger Betrachtung des Fett/Eiweiß-Quotienten der Mehrkalbskühe liegt der Wert von Gruppe 2 (1,24) signifikant unter denen der anderen Gruppen (Tabelle 46).

Die Werte der Gruppen 3 (1,38) und 4 (1,39) waren die höchsten und unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Tabelle 46: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Fett/Eiweiß-Quotienten der Mehrkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,34	1,24	1,38	1,39	p=0,00 F=15,17	p=0,00 F=9,43	p=0,331 F=1,13
SEM $_{\bar{x}}$	0,18	0,18	0,18	0,18			
n	171	176	162	164			
	b	a	bc	c			

Referenzbereich: 1,0-1,5

4. Ergebnisse

Auch bei den Mehrkalbskühen lag der Fett/Eiweiß-Quotient von Gruppe 2 über den gesamten Versuchszeitraum deutlich unter den Werten der übrigen Gruppen (Abbildung 15).

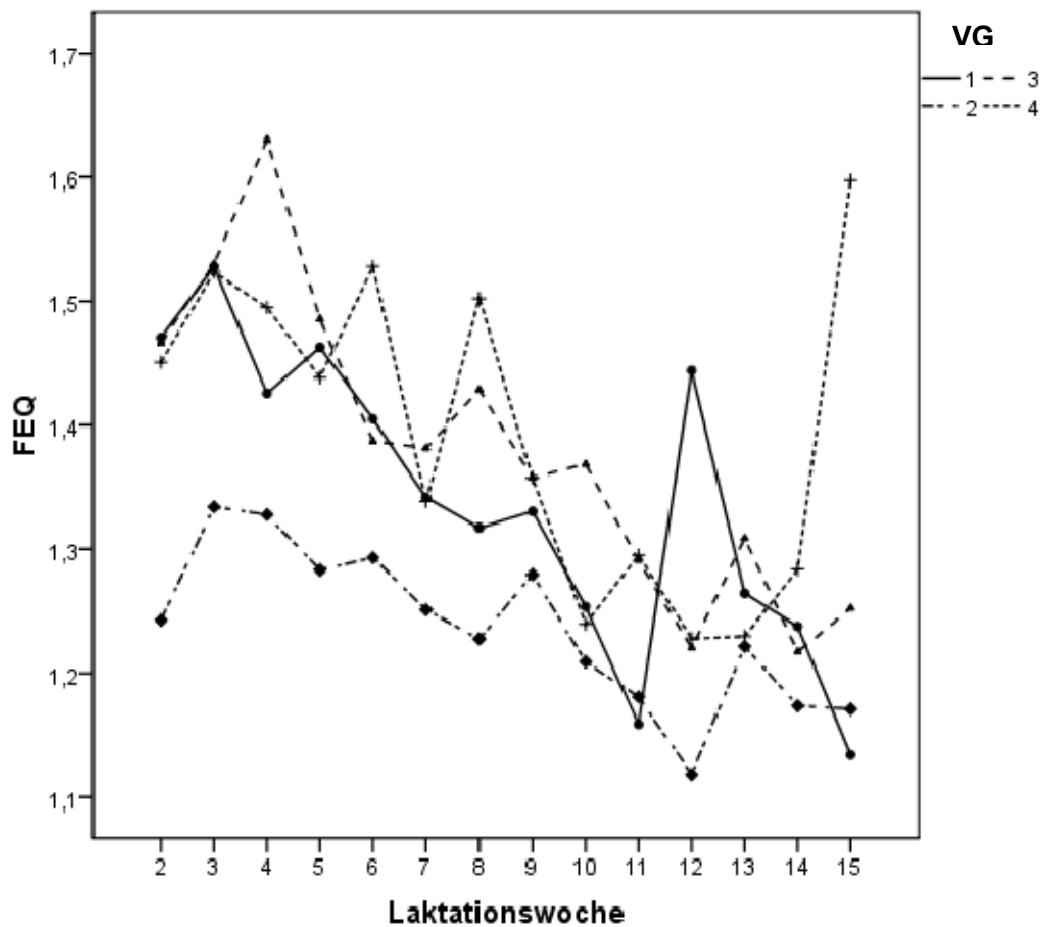


Abbildung 15: Fett/Eiweiß-Quotient der Mehrkalbskühe der Versuchsgruppen

4.5.2.3.3 Fett/Eiweiß-Quotient der Erstkalbskühe

Die Fett/Eiweiß-Quotienten der Erstkalbskühe (Tabelle 47) lagen deutlich unterhalb der Fett/Eiweiß-Quotienten der Mehrkalbskühe.

Bei den Erstkalbskühen hatte Gruppe 3 mit 1,31 den signifikant höchsten Fett/Eiweiß-Quotienten. Die anderen Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

Tabelle 47: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Fett/Eiweiß-Quotienten der Erstkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,21	1,26	1,31	1,21	p=0,00 F=6,52	p=0,013 F=2,49	p=0,942 F=0,61
SEM \bar{x}	0,19	0,17	0,18	0,19			
n	113	126	120	111			
	a	a	b	a			

Referenzbereich: 1,0-1,5

Die in Abbildung 16 dargestellten Kurvenverläufe des Fett/Eiweiß-Quotienten der Erstkalbskühe unterschieden sich nicht so stark wie die Kurven der Mehrkalbskühe. Auffällig war auch hier Gruppe 3, die fast über den gesamten Versuchszeitraum die höchsten Werte aufwies.

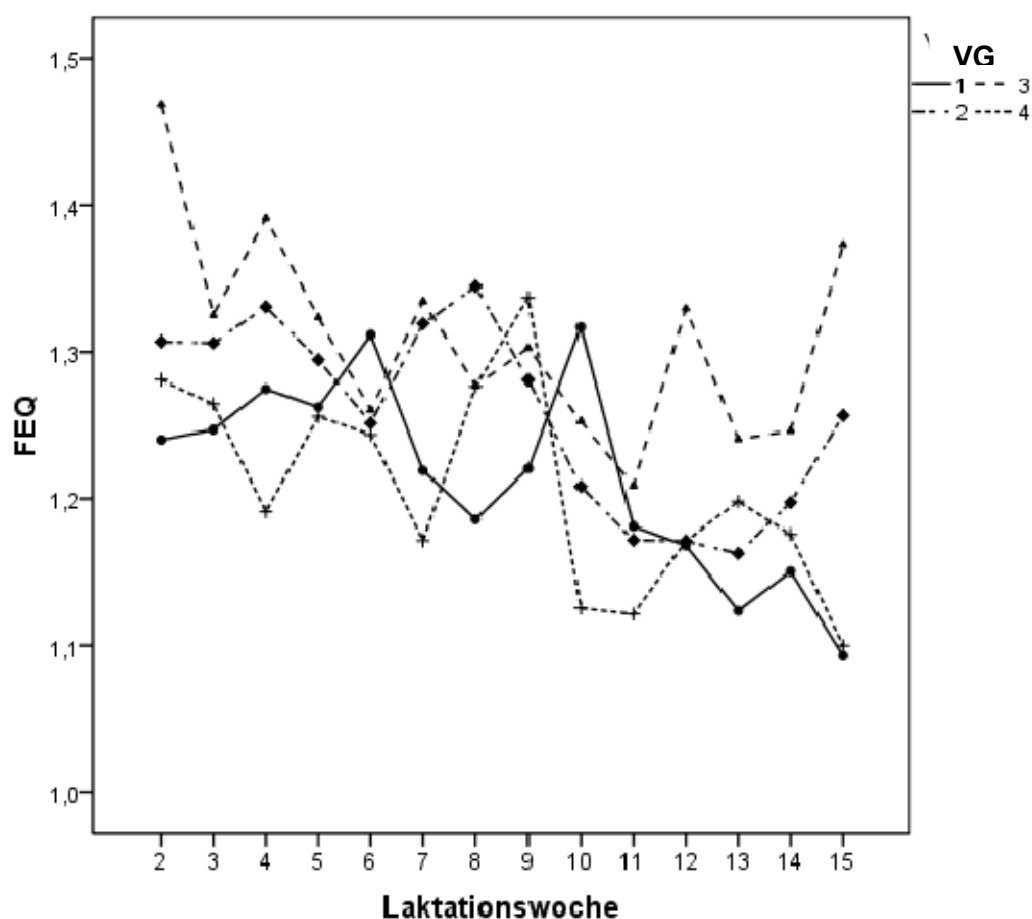


Abbildung 16: Fett/Eiweiß-Quotient der Erstkalbskühe der vier Versuchsgruppen

4.5.2.4 Milchlaktosegehalt

4.5.2.4.1 Milchlaktosegehalt der Gesamtstichprobe

Der Milchlaktosegehalt zeigte zwischen den Versuchsgruppen 1, 3 und 4 keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 48). Allerdings war der Milchlaktosegehalt in Gruppe 2 signifikant höher.

Tabelle 48: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Laktosegehalt (in %) der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	4,88	4,94	4,90	4,87	p=0,00 F=13,87	p=0,00 F=6,19	p=0,998 F=0,53
SEM \bar{x}	0,009	0,009	0,009	0,009			
n	287	302	285	275			
	a	b	a	a			

4.5.2.4.2 Milchlaktosegehalt der Mehrkalbskühe

Auch bei den Mehrkalbskühen enthielt die Milch der Kühe in Gruppe 2 signifikant mehr Laktose (Tabelle 49).

Tabelle 49: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Laktosegehalt (in %) der Mehrkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	4,82	4,91	4,86	4,80	p=0,00 F=22,41	p=0,031 F=2,06	p=0,97 F=0,57
SEM \bar{x}	0,01	0,01	0,01	0,01			
n	173	176	164	164			
	a	b	a	a			

4.5.2.4.3 Milchlaktosegehalt der Erstkalbskühe

Der Milchlaktosegehalt der Erstkalbskühe lag in allen Gruppen höher als bei den Mehrkalbskühen. Die Gruppen unterschieden sich jedoch nicht signifikant voneinander (Tabelle 50)

Tabelle 50: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Laktosegehalt (in %) der Erstkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	4,98	4,99	4,95	4,97	p=0,138 F=1,87	p=0,00 F=5,98	p=0,996 F=0,42
SEM \bar{x}	0,01	0,01	0,01	0,01			
n	114	126	121	111			
	a	a	a	a			

4.5.2.5 Milchwarnstoffgehalt

4.5.2.5.1 Milchwarnstoffgehalt der Gesamtstichprobe

Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen im Hinblick auf den Milchwarnstoffgehalt (Tabelle 51).

Tabelle 51: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Milchwarnstoffgehalt in mg/l der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	144	140	140	144	p=0,298 F=1,23	p=0,00 F=4,37	p=0,951 F=0,632
SEM \bar{x}	2,3	2,2	2,3	2,3			
n	287	302	285	275			
	a	a	a	a			

4.5.2.5.2 Milchwarnstoffgehalt der Mehrkalbskühe

Ebenfalls keine signifikanten Unterschiede gab es bei den Milchwarnstoffwerten der Mehrkalbskühe (Tabelle 52).

Tabelle 52: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Milchwarnstoffgehalt in mg/l der Mehrkalbskühe der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	136	136	134	136	p=0,887 F=0,21	p=0,00 F=4,43	p=0,975 F=0,56
SEM \bar{x}	3,0	3,1	3,1	3,1			
n	173	176	164	164			
	a	a	a	a			

4. Ergebnisse

4.5.2.5.3 Milchharnstoffgehalt der Erstkalbskühe

Bei den Erstkalbskühen der Gruppe 2 war der Milchharnstoffwert mit 145 mg/l signifikant niedriger als in den Gruppen 1 (156 mg/l) und 4 (155 mg/l) (Tabelle 53).

Gruppe 3 (148 mg/l) zeigte keinen signifikanten Unterschied zu den anderen Gruppen.

Tabelle 53: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Milchharnstoffgehalt in mg/l der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	156	145	148	155	p=0,052 F=2,63	p=0,267 F=1,27	p=0,727 F=0,83
SEM \bar{x}	3,4	3,0	3,2	3,2			
n	114	126	121	111			
	b	a	ab	b			

4.5.2.6 Energiekorrigierte Milchleistung

4.5.2.6.1 Energiekorrigierte Milchleistung der Gesamtstichprobe

Beim Betrachten der ECM-Leistung der Versuchstiere (Tabelle 54) gaben die Tiere der Gruppe 4 (35,7 kg) statistisch signifikant mehr Milch als die Tiere der Gruppe 2 (33,4 kg).

Die Gruppen 1 und 3 unterschieden sich nicht signifikant von Gruppe 4, hatten aber eine etwas geringere ECM-Leistung.

Tabelle 54: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die tägliche Milchmenge (ECM) in kg der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	34,4	33,4	34,8	35,7	p=0,017 F=3,45	p=0,095 F=1,60	p=0,998 F=0,44
SEM \bar{x}	0,51	0,50	0,51	0,51			
n	249	261	244	241			
	ab	a	ab	b			

Die ECM-Leistung von Gruppe 2 lag schon zu Versuchbeginn deutlich unter den Leistungen der anderen Gruppen (Abbildung 17). Sie näherte sich in den weiteren Versuchswochen zwar den Leistungen der anderen Gruppen an, blieb aber im gesamten Versuchszeitraum darunter.

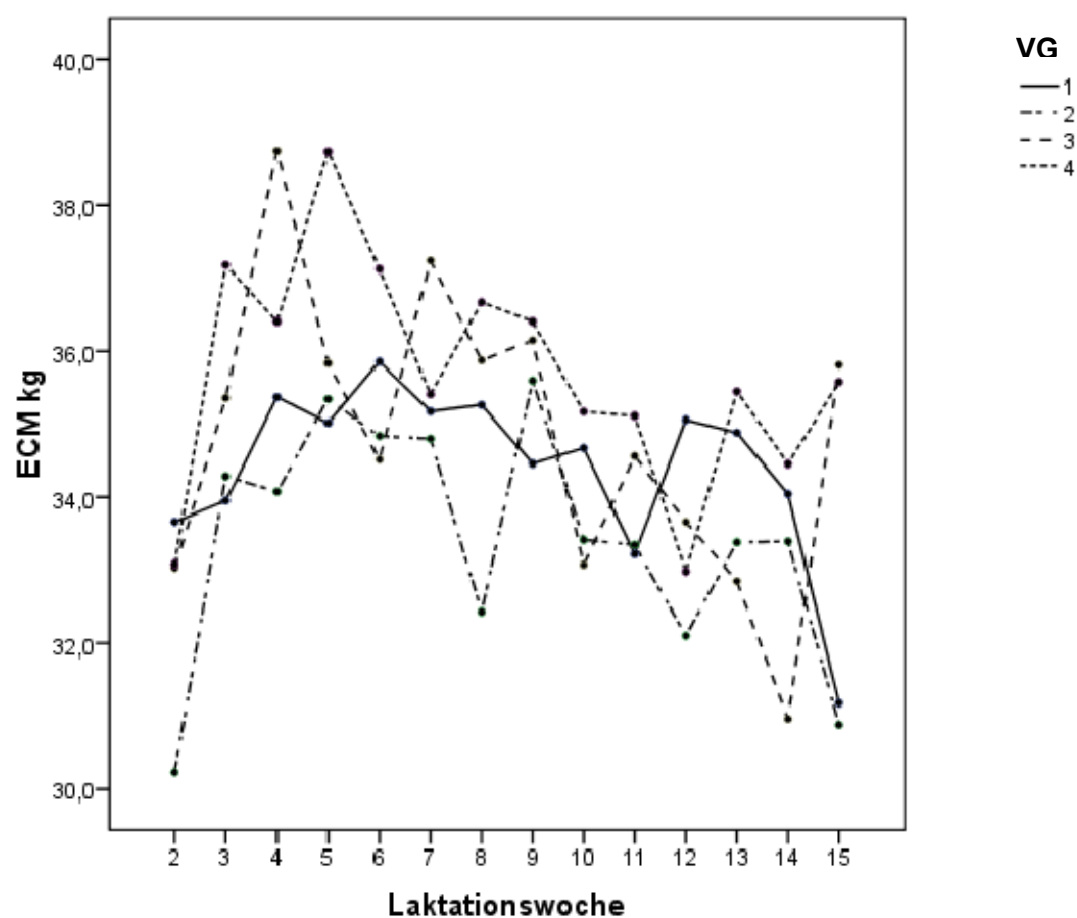


Abbildung 17: Energiekorrigierte Milchleistung der vier Versuchsgruppen in kg

4.5.2.6.2 Energiekorrigierte Milchleistung der Mehrkalbskühe

Die ECM-Leistungen der Mehrkalbskühe der Gruppen 3 und 4 (40,1 kg bzw. 40,8 kg) lagen signifikant über denen der Gruppen 1 und 2 (38,3 kg bzw. 38,0 kg) (Tabelle 55).

Tabelle 55: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die tägliche Milchmenge (ECM) in kg der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	38,3	38,0	40,1	40,8	p=0,000	p=0,000	p=0,758
SEM \bar{x}	0,48	0,52	0,48	0,48	F=7,69	F=3,85	F=0,81
n	150	150	140	143			
	a	a	b	b			

4. Ergebnisse

In den ersten Versuchswochen war die ECM-Leistung der Mehrkalbskühe der Gruppen 3 und 4 deutlich höher als die der Mehrkalbskühe der Gruppen 1 und 2 (Abbildung 18). In der zweiten Versuchshälfte nähern sich die Leistungen aller vier Gruppen einander an.

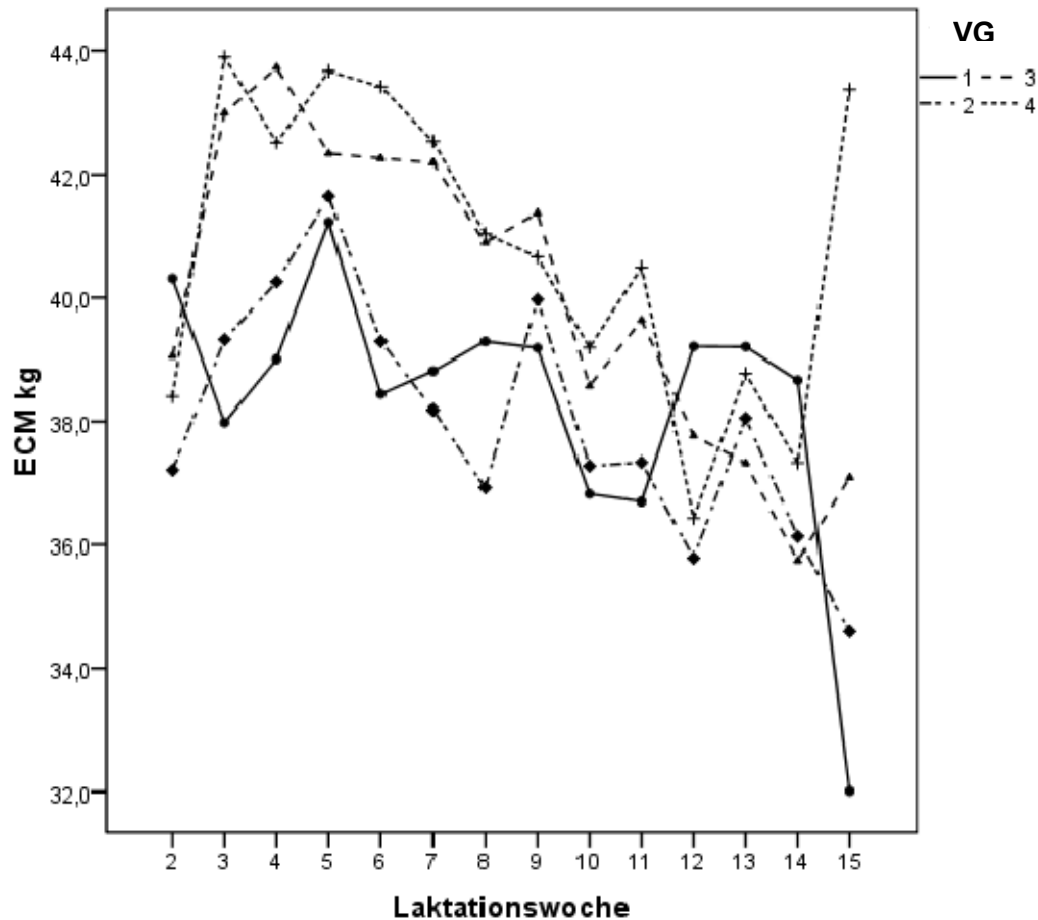


Abbildung 18: Energiekorrigierte Milchleistung der Mehrkalbskühe der Versuchsgruppen in kg

4.5.2.6.3 Energiekorrigierte Milchleistung der Erstkalbskühe

Bei den Erstkalbskühen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den vier Versuchsgruppen hinsichtlich der ECM-Leistung (Tabelle 56).

In allen Gruppen lag die Leistung der Erstkalbskühe 9,8 bis 12,5 kg unter der Leistung der Mehrkalbskühe.

Tabelle 56: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die tägliche Milchmenge (ECM) in kg der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	28,5	27,5	27,7	28,3	p=0,44 F=0,91	p=0,463 F=1,01	p=0,927 F=0,62
SEM \bar{x}	0,51	0,43	0,50	0,46			
n	99	111	104	98			
	a	a	a	a			

Die Kurven der ECM-Leistung der Erstkalbskühe zeigten in allen Gruppen einen relativ ähnlichen Verlauf (Abbildung 19).

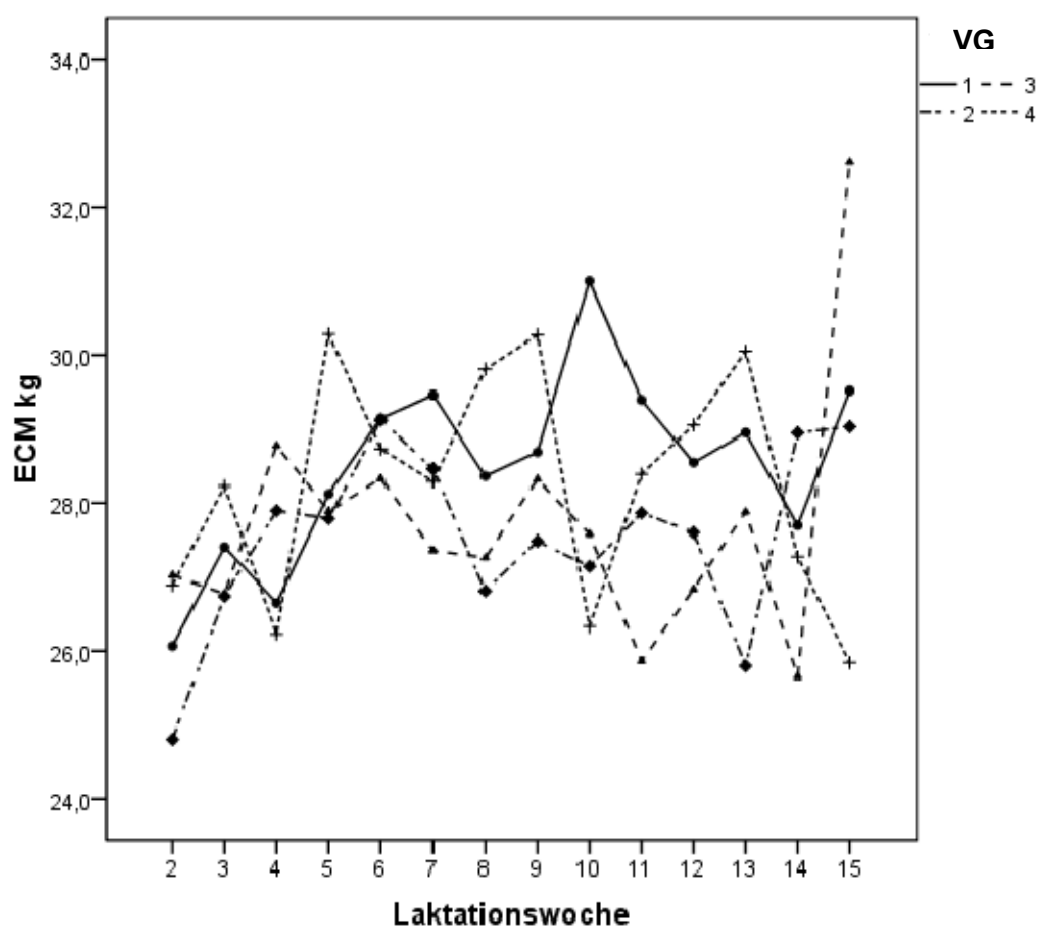


Abbildung 19: Energiekorrigierte Milchleistung der Erstkalbskühe der Versuchsgruppen in kg

4.6 Analyse der Serumparameter

4.6.1 Glucosekonzentration

4.6.1.1 Glucosekonzentration im Serum der Gesamtstichprobe

Die Tiere der Gruppe 2 hatten signifikant höhere Glucosekonzentrationen im Serum (3,82 mmol/l) als die Tiere der Gruppe 1 (3,68 mmol/l) (Tabelle 57). Es gab keine weiteren signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

In allen vier Versuchsgruppen lag der Glucose-Wert oberhalb des Referenzbereichs.

Tabelle 57: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Glucosekonzentration in mmol/l im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,68	3,82	3,70	3,73	p=0,185 F=1,61	p=0,00 F=8,27	p=0,999 F=0,30
SEM \bar{x}	0,05	0,05	0,05	0,05			
n	193	187	185	180			
	a	b	ab	ab			

Referenzwert: 2,2-3,3 mmol/l

4.6.1.2 Glucosekonzentration im Serum der Mehrkalbskühe

Bei den Mehrkalbskühen zeigte Gruppe 2 einen signifikant höheren Glucose-Wert (3,75 mmol/l) als alle anderen Gruppen (Tabelle 58).

Auch hier lagen alle Gruppenmittelwerte oberhalb des Referenzbereichs.

Tabelle 58: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Glucosekonzentration in mmol/l im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,51	3,75	3,55	3,55	p=0,022 F=3,24	p=0,000 F=4,23	p=0,956 F=0,519
SEM \bar{x}	0,06	0,06	0,06	0,06			
n	116	111	106	109			
	a	b	a	a			

Referenzwert: 2,2-3,3 mmol/l

4.6.1.3 Glucosekonzentration im Serum der Erstkalbskühe

Im Serum der Erstkalbskühe waren die Glucosekonzentration deutlich höher als im Serum der Mehrkalbskühe. Zwischen den vier Gruppen gab es keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 59).

Tabelle 59: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Glucosekonzentration in mmol/l im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,95	3,91	3,89	4,00	p=0,701 F=0,47	p=0,000 F=7,66	p=0,874 F=0,64
SEM \bar{x}	0,07	0,07	0,07	0,07			
n	77	76	79	71			
	a	a	a	a			

Referenzwert: 2,2-3,3 mmol/l

4.6.2 Insulinkonzentration

4.6.2.1 Insulinkonzentration im Serum der Gesamtstichprobe

Hinsichtlich der Insulinkonzentrationen im Serum gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Tabelle 60).

Tabelle 60: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Insulinkonzentration in IU/l im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,94	4,16	3,72	4,22	p=0,610 F=0,608	p=0,00 F=18,79	p=0,713 F=0,803
SEM \bar{x}	0,28	0,28	0,29	0,30			
n	190	183	179	175			
	a	a	a	a			

4.6.2.2 Insulinkonzentration im Serum der Mehrkalbskühe

Auch bei den Mehrkalbskühen unterschied sich die Insulinkonzentration im Serum der einzelnen Gruppen nicht signifikant (Tabelle 61).

Tabelle 61: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Insulinkonzentration in IU/l im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,55	3,83	3,41	3,95	p=0,732 F=0,43	p=0,00 F=12,02	p=0,54 F=0,94
SEM \bar{x}	0,37	0,38	0,39	0,39			
n	114	109	103	106			
	a	a	a	a			

4.6.2.3 Insulinkonzentration im Serum der Erstkalbskühe

Auch bei den Erstkalbskühen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Tabelle 62). Die Insulinkonzentrationen im Serum der Erstkalbskühe lagen deutlich über denen der Mehrkalbskühe.

Tabelle 62: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Insulinkonzentration in IU/l im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	4,52	4,67	4,15	4,69	p=0,330 F=0,80	p=0,00 F=9,31	p=0,763 F=0,75
SEM \bar{x}	0,43	0,43	0,43	0,45			
n	76	74	76	69			
	a	a	a	a			

4.6.3 β -Hydroxybutyrat-Konzentration

4.6.3.1 β -Hydroxybutyrat-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe

Die BHB-Konzentrationen variierten deutlich zwischen den vier Versuchsgruppen (Tabelle 63). Mit 1049 $\mu\text{mol/l}$ hatten die Tiere in Gruppe 3 signifikant höhere BHB-Konzentrationen im Serum als alle anderen Gruppen und lagen leicht oberhalb des Referenzbereiches.

Gruppe 2 hingegen zeigte mit 786 $\mu\text{mol/l}$ signifikant geringere Werte als die anderen Gruppen.

Die Gruppen 1 und 4 unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Tabelle 63: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die β -Hydroxybutyrat-Konzentration in $\mu\text{mol/l}$ im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	931	786	1049	907	p=0,00 F=9,79	p=0,00 F=13,58	p=0,203 F=1,26
SEM $_{\bar{x}}$	34	34	35	35			
n	199	193	189	184			
	a	b	c	a			

Referenzwert: <1000 $\mu\text{mol/l}$

In Abbildung 20 ist zu sehen, dass die BHB-Konzentrationen im Serum in allen Versuchsgruppen zu Laktationsbeginn ähnliche Werte zeigten und in den ersten Laktationswochen in allen Gruppen anstiegen.

In Gruppe 2 blieb die Konzentration während des gesamten Versuchszeitraumes innerhalb des Referenzbereichs und deutlich unterhalb der der anderen Gruppen. Dagegen waren die Kurvenverläufe der anderen Gruppen deutlich steiler und gingen – zumindest zeitweise – über den Referenzbereich hinaus.

Schon vor der 8. Laktationswoche fiel die BHB-Konzentration in allen Gruppen wieder ab.

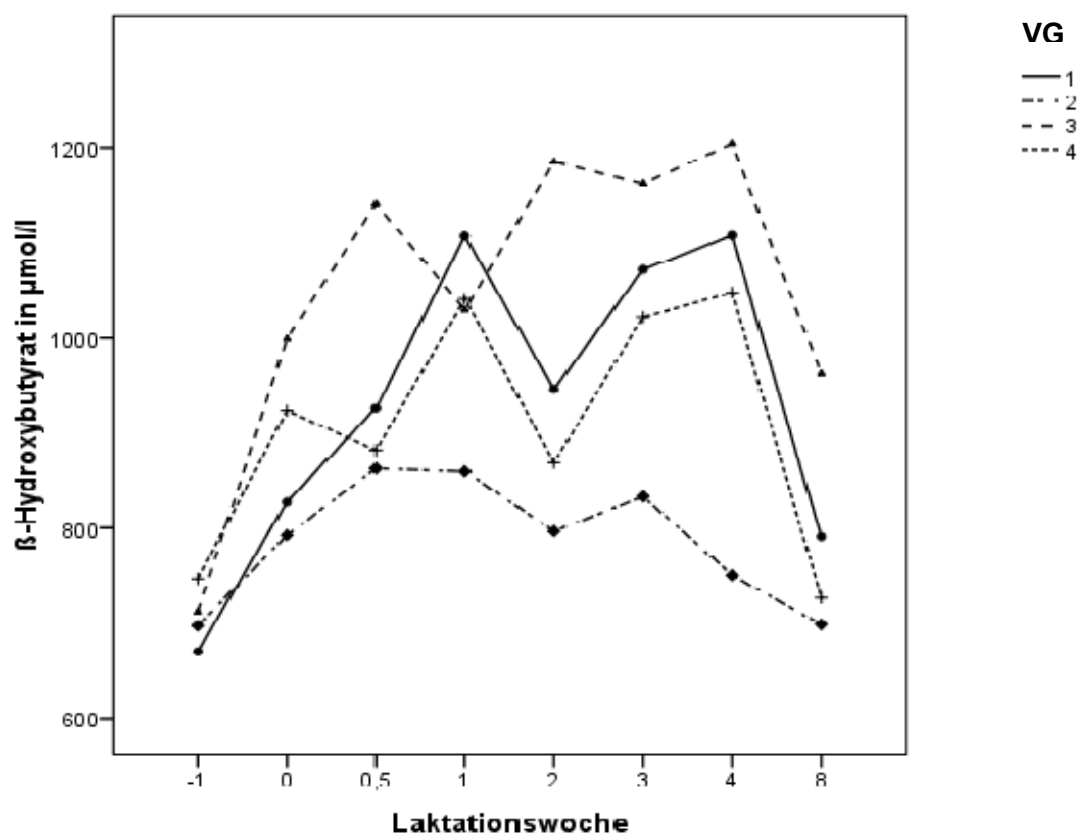


Abbildung 20: β -Hydroxybutyrat-Konzentration im Serum

4.6.3.2 β -Hydroxybutyrat-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe

Auch bei alleiniger Betrachtung der Mehrkalbskühe (Tabelle 64) war die BHB-Konzentration in Gruppe 2 (815 $\mu\text{mol/l}$) signifikant niedriger als in den anderen Gruppen. Sie blieb als einzige Gruppe über den gesamten Versuchszeitraum im Referenzbereich (Abbildung 21).

Die Gruppen 1 (1048 $\mu\text{mol/l}$), 3 (1112 $\mu\text{mol/l}$) und 4 (1035 $\mu\text{mol/l}$) unterschieden sich nicht voneinander.

Tabelle 64: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die β -Hydroxybutyrat-Konzentration in $\mu\text{mol/l}$ im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1048	815	1112	1035	p=0,00 F=8,95	p=0,00 F=12,40	p=0,106 F=1,46
$\text{SEM}_{\bar{x}}$	42	43	44	43			
n	119	113	109	112			
	a	b	a	a			

Referenzwert: <1000 $\mu\text{mol/l}$

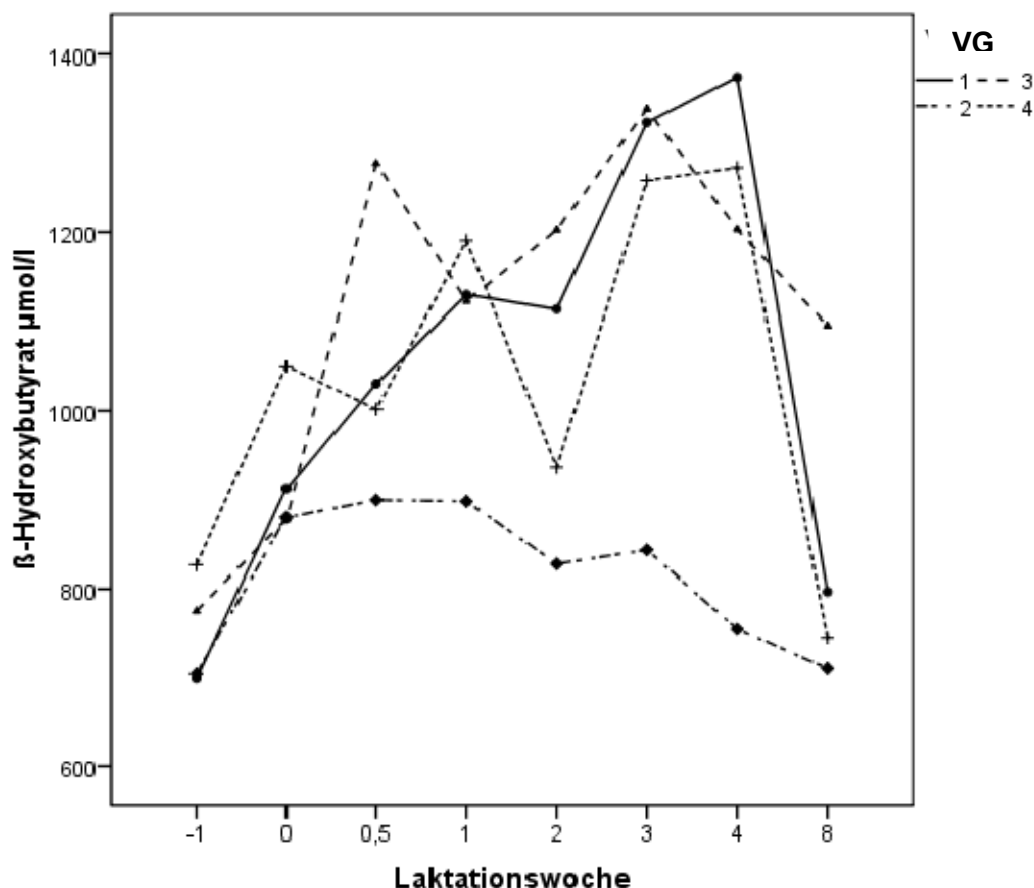


Abbildung 21: β -Hydroxybutyrat-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe der vier Versuchsgruppen in $\mu\text{mol/l}$

4.6.3.3 β -Hydroxybutyrat-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe

Die Erstkalbskühe wiesen deutlich geringere BHB-Konzentrationen im Serum auf als die Mehrkalbskühe (Tabelle 65). Die Gruppen 1, 2 und 4 unterschieden sich nicht voneinander. Gruppe 3 zeigte mit 966 $\mu\text{mol/l}$ einen signifikant höheren Wert als die anderen Gruppen. Die BHB-Konzentrationen lagen in allen Gruppen innerhalb des Referenzbereichs.

Tabelle 65: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die β -Hydroxybutyrat-Konzentration in mmol/l im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	759	746	966	709	p=0,003 F=4,77	p=0,003 F=3,33	p=0,556 F=0,93
$\text{SEM}_{\bar{x}}$	53	53	53	55			
n	80	80	80	72			
	a	a	b	a			

Referenzwert: <1000 $\mu\text{mol/l}$

Vor der Abkalbung waren die BHB-Konzentration der Erstkalbskühe in allen Gruppen nahezu gleich (Abbildung 22). Schon bei der Abkalbung kam es in Gruppe 3 zu einem starken Anstieg. In allen anderen Gruppen erreichten die BHB-Konzentrationen in der vierten LW ihren Höhepunkt.

In der achten LW näherten sich die BHB-Konzentrationen der vier Gruppen wieder einander an.

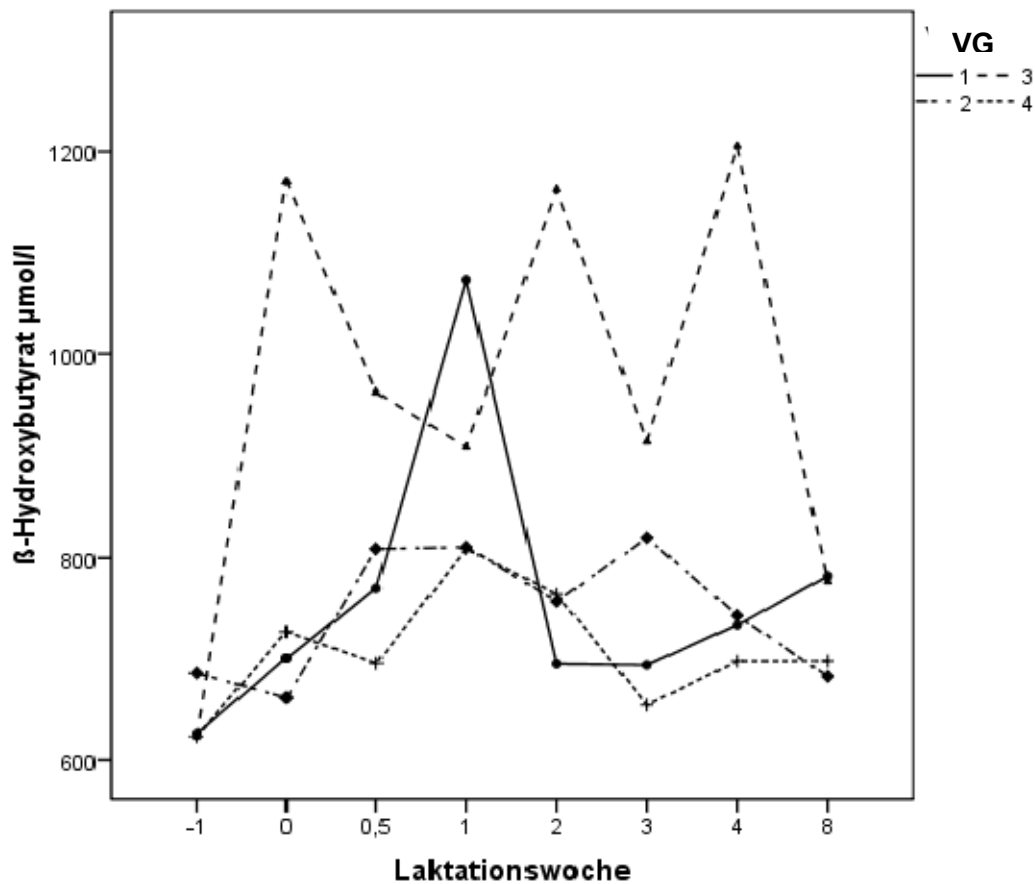


Abbildung 22: β -Hydroxybutyrat-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe der vier Versuchsgruppen in $\mu\text{mol/l}$

4.6.4 Konzentration der freien Fettsäuren

4.6.4.1 Konzentration der freien Fettsäuren im Serum der Gesamtstichprobe

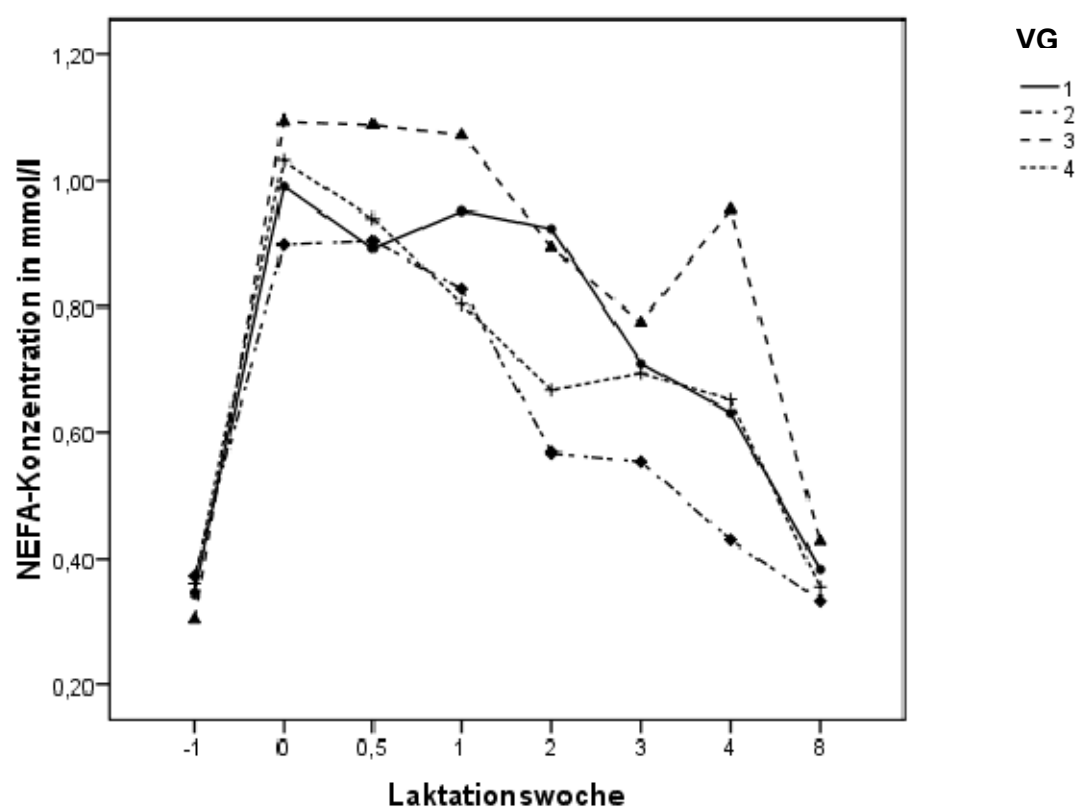
Auch die NEFA-Konzentration im Serum war in Gruppe 3 (0,826 mmol/l) signifikant hoger als in den anderen Gruppen (Tabelle 66). Gruppe 2 (0,611 mmol/l) zeigte die niedrigste Konzentration, unterschied sich jedoch nicht signifikant von Gruppe 4 (0,688 mmol/l). Die Werte aller Gruppen lagen oberhalb des Referenzwertes.

Tabelle 66: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Konzentration der freien Fettsäuren in $\mu\text{mol/l}$ im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	0,728	0,611	0,826	0,688	p=0,00 F=6,60	p=0,00 F=44,1	p=0,258 F=1,20
SEM $_{\bar{x}}$	0,034	0,035	0,035	0,035			
n	193	187	185	180			
	a	b	c	ab			

Referenzwert: <0,6 mmol/l

In Abbildung 23 wird der Verlauf der NEFA-Konzentrationen im Serum der vier Versuchsgruppen dargestellt. In allen Gruppen stieg die Konzentration zum Geburtszeitpunkt stark an und fiel dann bis zum Versuchsende stetig ab. Die Kurve von Gruppe 2 verlief den gesamten Versuchszeitraum unterhalb der Kurven der anderen Gruppen, während die Kurve von Gruppe 3 über den gesamten Zeitraum oberhalb der anderen Kurven verlief.

**Abbildung 23: Konzentration der freien Fettsäuren (NEFA) im Serum der Versuchsgruppen in mmol/l**

4.6.4.2 Konzentration der freien Fettsäuren im Serum der Mehrkalbskühe

Die Mehrkalbskühe in Gruppe 2 wiesen eine signifikant niedrigere NEFA-Konzentration im Serum auf als die der anderen Gruppen (Tabelle 67). Die Gesamtmittelwerte aller Gruppen lagen oberhalb des Referenzbereiches.

Tabelle 67: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Konzentration der freien Fettsäuren in $\mu\text{mol/l}$ im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	0,834	0,626	0,902	0,799	p=0,001 F=5,78	p=0,00 F=30,57	p=0,159 F=1,35
SEM \bar{x}	0,048	0,049	0,050	0,049			
n	116	111	106	109			
	a	b	a	a			

Referenzwert: <0,6 mmol/l

Auch hier lag die Kurve der Mehrkalbskühe aus Gruppe 2 deutlich unterhalb der Kurven der anderen Gruppen (Abbildung 24). Gruppe 4 wies zwar zum Zeitpunkt der Abkalbung die höchste NEFA-Konzentration auf, jedoch fiel sie in den ersten Laktationswochen stark wieder ab.

Die NEFA-Konzentrationen in den Gruppen 1 und 3 sanken nur langsam ab, in der achten LW lagen aber alle Gruppen wieder innerhalb des Referenzbereichs.

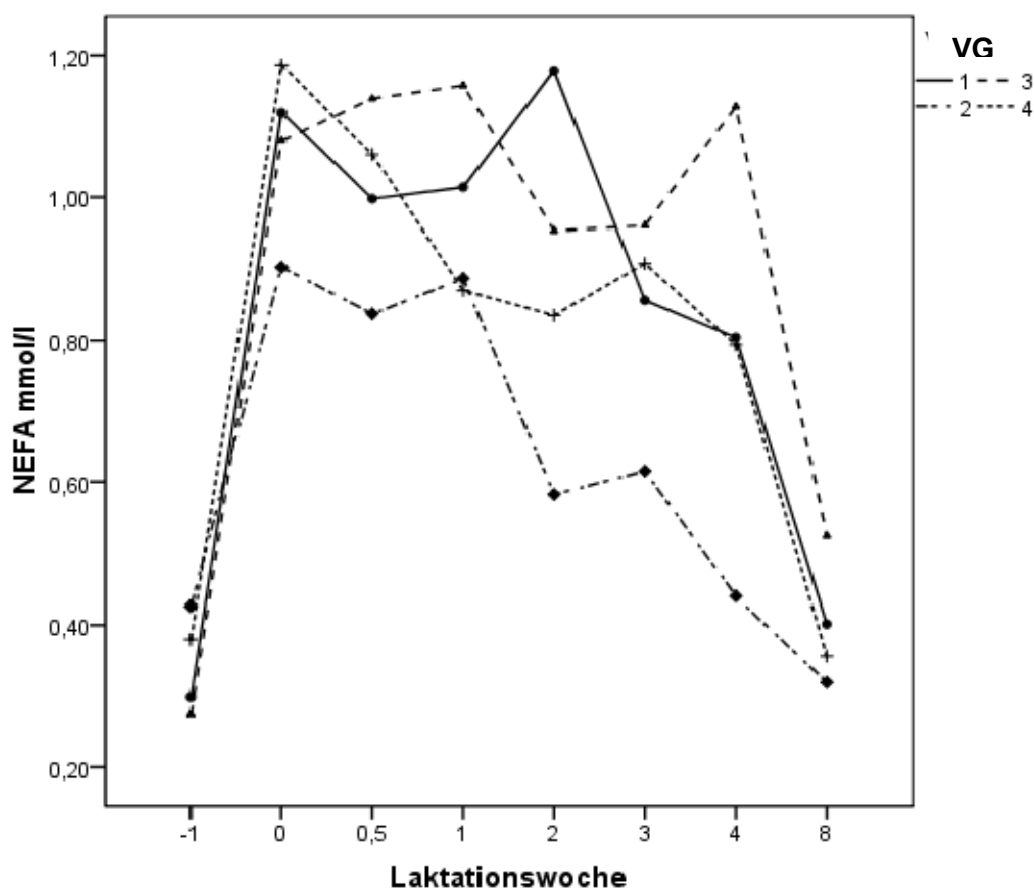


Abbildung 24: Konzentration der freien Fettsäuren (NEFA) im Serum der Mehrkalbskühe der Versuchsgruppen in mmol/l

4.6.4.3 Konzentration der freien Fettsäuren im Serum der Erstkalbskühe

Bei den Erstkalbskühen lagen die Werte der Gruppen 1, 2 und 4 im Referenzbereich. Gruppe 3 zeigte mit 0,722 mmol/l die signifikant höchste NEFA-Konzentration (Tabelle 68).

Tabelle 68: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Konzentration der freien Fettsäuren in $\mu\text{mol/l}$ im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	0,571	0,590	0,722	0,517	p=0,011 F=3,85	p=0,00 F=15,54	p=0,56 F=0,93
SEM $_{\bar{x}}$	0,045	0,044	0,043	0,046			
n	77	76	79	71			
	a	a	b	a			

Referenzwert: <0,6 mmol/l

4. Ergebnisse

In Abbildung 25 ist zu sehen, dass Gruppe 3 ab dem Zeitpunkt der Kalbung die höchsten NEFA-Konzentrationen im Serum aufwies. Vor der Kalbung waren die Werte in allen Versuchsgruppen ähnlich. Die Gruppen 1 und 4 zeigten einen relativ flachen Kurvenverlauf.

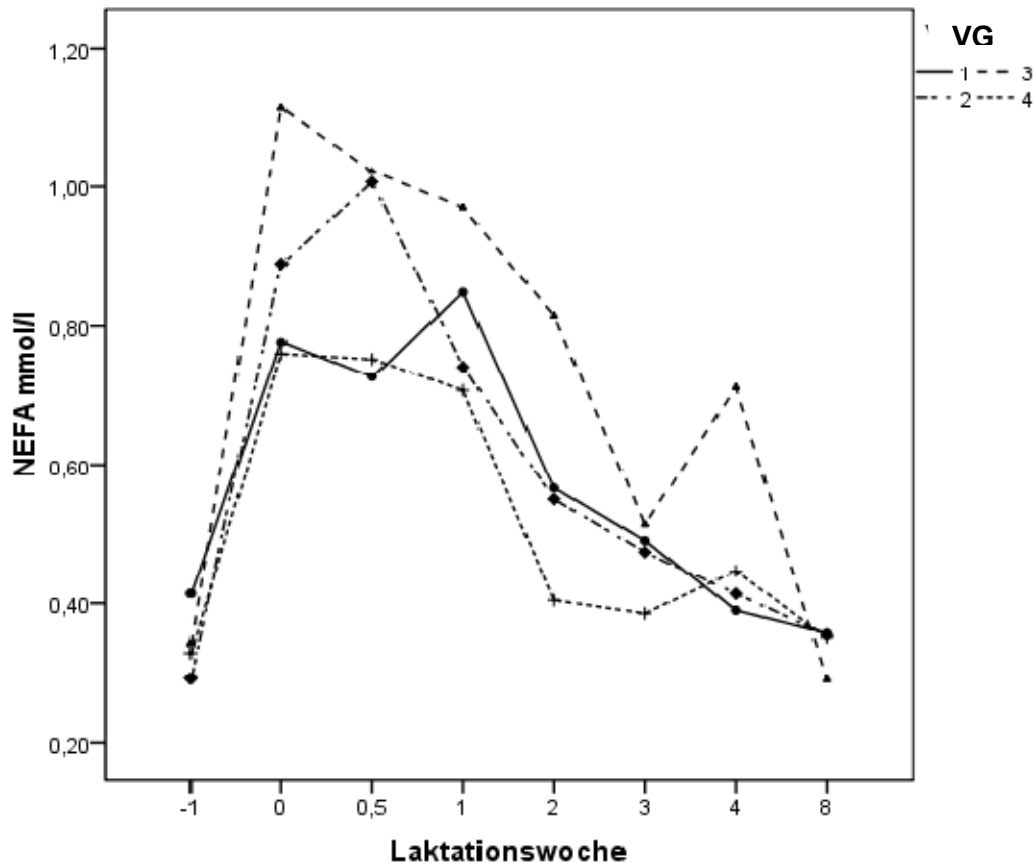


Abbildung 25: Konzentration der freien Fettsäuren (NEFA) im Serum der Erstkalbskühe der Versuchsgruppen in mmol/l

4.6.5 Bilirubin-Konzentration

4.6.5.1 Bilirubin-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe

Die Tiere in Gruppe 3 ($3,38 \mu\text{mol/l}$) hatten eine signifikant höhere Bilirubin-Konzentration als die Tiere in Gruppe 2 ($2,84 \mu\text{mol/l}$) und 4 ($2,88 \mu\text{mol/l}$) (Tabelle 69). Die Bilirubin-Konzentration in Gruppe 1 war nicht signifikant unterschiedlich zu den anderen Gruppen. Alle Werte lagen im Referenzbereich.

Tabelle 69: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Bilirubin-Konzentration in $\mu\text{mol/l}$ im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,09	2,84	3,38	2,88	p=0,089 F=2,12	p=0,00 F=28,37	p=0,454 F=1,01
SEM \bar{x}	0,16	0,17	0,17	0,17			
n	199	193	189	184			
	ab	a	b	a			

Referenzbereich: <5,0 $\mu\text{mol/l}$ **4.6.5.2 Bilirubin-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe**

Bei den Mehrkalbskühen unterschieden sich nur die Bilirubinkonzentrationen der Gruppen 3 und 2 signifikant. Hier zeigte Gruppe 3 ebenfalls den höchsten Wert (3,59 $\mu\text{mol/l}$) (Tabelle 70).

Tabelle 70: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Bilirubin-Konzentration in $\mu\text{mol/l}$ im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,51	2,88	3,59	3,25	p=0,126 F=1,92	p=0,00 F=18,26	p=0,539 F=0,94
SEM \bar{x}	0,22	0,23	0,24	0,23			
n	119	113	109	112			
	ab	a	b	ab			

Referenzbereich: <5,0 $\mu\text{mol/l}$ **4.6.5.3 Bilirubin-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe**

Bei den Erstkalbskühen war die Bilirubin-Konzentration in Gruppe 3 (3,08 $\mu\text{mol/l}$) signifikant höher als in Gruppe 4 (2,3 $\mu\text{mol/l}$) (Tabelle 71).

Die Gruppen 1 und 2 zeigten keine signifikanten Unterschiede zu den anderen Gruppen.

Tabelle 71: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Bilirubinkonzentration in $\mu\text{mol/l}$ im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	2,47	2,79	3,08	2,30	p=0,084 F=2,26	p=0,00 F=11,54	p=0,800 F=0,72
SEM \bar{x}	0,23	0,23	0,23	0,24			
n	80	80	80	72			
	ab	ab	a	b			

Referenzbereich: <5,0 $\mu\text{mol/l}$

4.6.6 Cholesterin-Konzentration

4.6.6.1 Cholesterin-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe

Die Cholesterin-Konzentration im Serum lag in allen Versuchsgruppen innerhalb des Referenzbereichs (Tabelle 72). Die Tiere in Gruppe 2 wiesen mit 2,85 mmol/l signifikant höhere Werte auf als die Tiere in den anderen Gruppen. Die Gruppen 1 (2,62 mmol/l), 3 (2,65 mmol/l) und 4 (2,71 mmol/l) unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Tabelle 72: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Cholesterin-Konzentration in mmol/l im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	2,62	2,85	2,65	2,71	p=0,001 F=5,28	p=0,00 F=262,25	p=0,912 F=0,604
SEM \bar{x}	0,04	0,05	0,05	0,05			
n	199	193	189	184			
	a	b	a	a			

Referenzbereich: >2,0 mmol/l

4.6.6.2 Cholesterin-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe

Auch bei den Mehrkalbskühen lagen die Cholesterin-Konzentrationen innerhalb des Referenzbereichs (Tabelle 73). Gruppe 2 wies ebenfalls signifikant höhere Werte auf als alle anderen Gruppen.

Tabelle 73: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Cholesterin-Konzentration in mmol/l im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	2,72	3,11	2,63	2,73	p=0,00 F=14,11	p=0,00 F=238,86	p=0,970 F=0,49
SEM \bar{x}	0,06	0,06	0,06	0,06			
n	119	113	109	112			
	a	b	a	a			

Referenzbereich: >2,0 mmol/l

4.6.6.3 Cholesterin-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe

Bei den Erstkalbskühen war die Cholesterin-Konzentration im Serum in Gruppe 3 (2,68 mmol/l) signifikant höher als in den Gruppen 1 (2,48 mmol/l) und 2 (2,50 mmol/l) (Tabelle 74). Der Wert von Gruppe 4 (2,67 mmol/l) lag signifikant über dem von Gruppe 1.

Alle Cholesterin-Konzentrationen lagen im Referenzbereich.

Tabelle 74: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Cholesterin-Konzentration in mmol/l im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	2,48	2,50	2,68	2,67	p=0,039 F=2,84	p=0,00 F=78,50	p=0,940 F=0,54
SEM \bar{x}	0,06	0,06	0,06	0,07			
n	80	80	80	72			
	a	ab	c	bc			

Referenzbereich: >2,0 mmol/l

4.6.7 Harnstoff-Konzentration

4.6.7.1 Harnstoff-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe

Die Harnstoff-Konzentrationen im Serum lagen in allen Versuchsgruppen unterhalb des Referenzbereiches (Tabelle 75). Gruppe 4 (2,86 mmol/l) wies signifikant niedrigere Werte auf als die Gruppen 1 (3,07 mmol/l) und 2 (3,13 mmol/l). Die Harnstoff-Konzentration in Gruppe 3 (3,00 mmol/l) unterschied sich nicht signifikant von denen der anderen Gruppen.

Tabelle 75: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Harnstoff-Konzentration in mmol/l im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,07	3,13	3,00	2,86	p=0,010 F=3,82	p=0,00 F=34,57	p=0,553 F=0,93
SEM \bar{x}	0,06	0,06	0,06	0,06			
n	199	193	189	184			
	a	a	ab	b			

Referenzbereich: 3,3-5,0 mmol/l

4.6.7.2 Harnstoff-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe

Hier wiesen die Tiere in Gruppe 4 ebenfalls die niedrigsten Werte auf (2,83 mmol/l) und lagen somit signifikant unter den Werten der Gruppen 1 (3,07 mmol/l), 2 (3,07 mmol/l) und 3 (3,16 mmol/l) (Tabelle 76).

Tabelle 76: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Harnstoff-Konzentration in mmol/l im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,07	3,07	3,16	2,83	p=0,051 F=2,61	p=0,00 F=21,33	p=0,73 F=0,79
SEM \bar{x}	0,08	0,09	0,09	0,09			
n	119	113	109	112			
	a	a	a	b			

Referenzbereich: 3,3-5,0 mmol/l

4.6.7.3 Harnstoff-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe

Bei den Erstkalbskühen lagen die Werte von den Gruppen 3 (2,79 mmol/l) und 4 (2,87 mmol/l) signifikant unter dem Wert von Gruppe 2 (3,21 mmol/l) (Tabelle 77). Gruppe 1 (3,07 mmol/l) unterschied sich nicht signifikant von den Gruppen 2 und 4 hatte aber eine signifikant höhere Harnstoff-Konzentration als Gruppe 3.

Es lagen ebenfalls alle Gruppenmittelwerte unterhalb des Referenzbereichs.

Tabelle 77: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Harnstoff-Konzentration in mmol/l im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	3,07	3,21	2,79	2,87	p=0,001 F=5,60	p=0,00 F=16,99	p=0,657 F=0,84
SEM \bar{x}	0,08	0,08	0,08	0,08			
n	80	80	80	72			
	ba	a	c	cb			

Referenzbereich: 3,3-5,0 mmol/l

4.6.8 Glutamatdehydrogenase-Aktivität

4.6.8.1 Glutamatdehydrogenase-Aktivität im Serum der Gesamtstichprobe

Die GLDH-Aktivität in den Gruppen 1, 3 und 4 unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Tabelle 78). Gruppe 2 hatte mit 13,2 U/l die signifikant höchste Aktivität. Alle Werte lagen im Referenzbereich.

Tabelle 78: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Glutamatdehydrogenase-Aktivität in U/l im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	11,0	13,2	11,0	10,7	p=0,071 F=2,36	p=0,00 F=12,19	p=0,483 F=0,99
SEM \bar{x}	0,73	0,74	0,75	0,76			
n	199	193	189	184			
	a	b	a	a			

Referenzwert: <30 U/l

4.6.8.2 Glutamatdehydrogenase-Aktivität im Serum der Mehrkalbskühe

Bei den Mehrkalbskühen gab es keine signifikanten Gruppenunterschiede im Hinblick auf die GLDH-Aktivität im Serum (Tabelle 79).

Tabelle 79: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Glutamatdehydrogenase-Aktivität in U/l im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	12,2	12,1	10,7	10,8	p=0,529 F=0,740	p=0,00 F=8,09	p=0,892 F=0,62
SEM \bar{x}	0,90	0,93	0,93	0,93			
n	119	113	109	112			
	a	a	a	a			

Referenzwert: <30 U/l

4.6.8.3 Glutamatdehydrogenase-Aktivität im Serum der Erstkalbskühe

Bei den Erstkalbskühen variierten die GLDH-Aktivität von Gruppe zu Gruppe deutlich (Tabelle 80). Die Tiere in Gruppe 2 hatten den höchsten Wert (14,7 U/l) und lagen signifikant über den Werten der Gruppen 1 und 4.

Gruppe 1 lag mit 9,2 U/l unterhalb der Werte der anderen Gruppen, unterschied sich jedoch nicht signifikant von Gruppe 3 (11,4 U/l) und Gruppe 4 (10,6 U/l).

Tabelle 80: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Glutamatdehydrogenase-Aktivität in U/l im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	9,2	14,7	11,4	10,6	p=0,016 F=3,53	p=0,00 F=4,47	p=0,316 F=1,16
SEM \bar{x}	1,23	1,23	1,23	1,32			
n	80	80	80	72			
	a	b	ab	a			

Referenzwert: <30 U/l

4.6.9 Aspartat-Amino-Transferase-Aktivität

4.6.9.1 Aspartat-Amino-Transferase-Aktivität im Serum der Gesamtstichprobe

Die AST-Aktivität aller vier Versuchsgruppen lagen oberhalb des Referenzbereichs (Tabelle 81). Gruppe 3 zeigte den signifikant höchsten Gesamtmittelwert (96,9 U/l). Die anderen Gruppen wiesen keine signifikanten Unterschiede auf.

Tabelle 81: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Aspartat-Amino-Transferase-Aktivität in U/l im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	90,4	86,5	96,9	88,8	p=0,003 F=4,664	p=0,00 F=24,71	p=0,552 F=0,95
SEM \bar{x}	2,0	2,0	2,1	2,1			
n	199	193	189	184			
	a	a	b	a			

Referenzwert: <50 U/l (1 Woche a.p.-1 Woche p.p. <100 U/l)

In Abbildung 26 ist der starke Anstieg der AST-Aktivität zum Geburtszeitpunkt zu sehen. Obwohl die Werte in allen Gruppen in den ersten LW wieder abfielen, blieben sie bis zum Versuchsende deutlich oberhalb des Referenzbereichs.

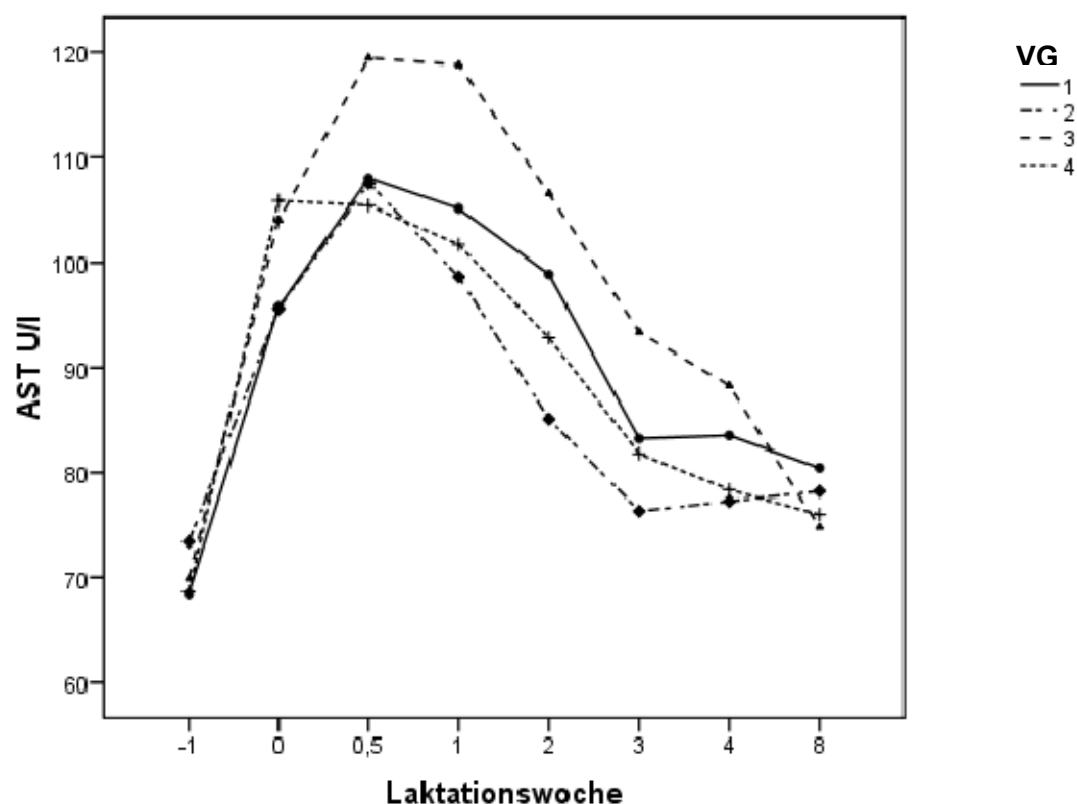


Abbildung 26: Aspartat-Amino-Transferase-Aktivität im Serum in U/l

4.6.9.2 Aspartat-Amino-Transferase-Aktivität im Serum der Mehrkalbskühe

Bei alleiniger Betrachtung der Mehrkalbskühe war die AST-Aktivität in Gruppe 1 (95,2 U/l) signifikant höher als in den Gruppen 2 (82,5 U/l) und 4 (87,6 U/l) (Tabelle 82). Gruppe 3 (88,5 U/l) zeigte keine signifikanten Unterschiede zu den anderen Gruppen.

Alle Gesamtmittelwerte lagen auch hier oberhalb des Referenzbereiches.

Tabelle 82: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Aspartat-Amino-Transferase-Aktivität in U/l im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	95,2	82,5	88,5	87,6	p=0,003 F=4,86	p=0,00 F=12,83	p=0,975 F=0,474
SEM \bar{x}	2,3	2,4	2,5	2,4			
n	119	113	109	112			
	a	b	ab	b			

Referenzwert: <50 U/l (1 Woche a.p.-1 Woche p.p. <100 U/l)

4.6.9.3 Aspartat-Amino-Transferase-Aktivität im Serum der Erstkalbskühe

Die Erstkalbskühe in Gruppe 1 hatten eine niedrigere AST-Aktivität als die Mehrkalbskühe derselben Gruppe. In den anderen drei Gruppen lagen die Werte der Erstkalbskühe deutlich über denen der Mehrkalbskühe. Vor allem die Erstkalbskühe in Gruppe 3 wiesen sehr hohe AST-Werte auf und unterschieden sich signifikant von den anderen Gruppen (Tabelle 83). Keine Gruppe lag innerhalb des Referenzbereiches.

Tabelle 83: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Aspartat-Amino-Transferase-Aktivität in U/l im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	83,4	92,3	108,1	90,7	p=0,00 F=9,39	p=0,00 F=13,56	p=0,298 F=1,17
SEM \bar{x}	3,4	3,4	3,4	3,6			
n	80	80	80	72			
	a	a	b	a			

Referenzwert: <50 U/l (1 Woche a.p.-1 Woche p.p. <100 U/l)

4.6.10 Creatinkinase-Aktivität

4.6.10.1 Creatinkinase-Aktivität im Serum der Gesamtstichprobe

Die CK-Aktivitäten zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen (Tabelle 84).

Tabelle 84: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Creatinkinase-Aktivität in U/l im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	171	161	148	136	p=0,621 F=0,59	p=0,003 F=3,21	p=0,765 F=0,76
SEM \bar{x}	19	19	20	20			
n	199	193	189	184			
	a	a	a	a			

Referenzbereich: <100 U/l (1 Woche p.p. <200 U/l)

4.6.10.2 Creatinkinase-Aktivität im Serum der Mehrkalbskühe

Die Mehrkalbskühe der vier Versuchsgruppen wiesen Werte auf, die sich nicht signifikant unterschieden (Tabelle 85).

Tabelle 85: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Creatinkinase-Aktivität in U/l im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	184	165	126	132	p=0,431 F=0,93	p=0,135 F=1,64	p=0,539 F=0,94
SEM \bar{x}	28	28	30	29			
n	109	111	106	109			
	a	a	a	a			

Referenzbereich: <100 U/l (1 Woche p.p. <200 U/l)

4.6.10.3 Creatinkinase-Aktivität im Serum der Erstkalbskühe

Auch bei den Erstkalbskühen unterschieden sich die CK-Aktivitäten im Serum nicht signifikant voneinander (Tabelle 86).

Tabelle 86: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Creatinkinase-Aktivität in U/l im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	150	155	178	145	p=0,741 F=0,42	p=0,007 F=3,08	p=0,613 F=0,88
SEM \bar{x}	22	22	22	23			
n	80	80	80	72			
	a	a	a	a			

Referenzbereich: <100 U/l (1 Woche p.p. <200 U/l)

4.6.11 Phosphat-Konzentration

4.6.11.1 Phosphat-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe

In allen vier Gruppen war die Phosphat-Konzentration im Serum gleich (Tabelle 87) und alle Werte lagen innerhalb des Referenzbereichs.

Tabelle 87: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Phosphat-Konzentration in mmol/l im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,72	1,74	1,68	1,72	p=0,399 F=0,99	p=0,00 F=18,34	p=0,873 F=0,65
SEM \bar{x}	0,03	0,03	0,03	0,03			
n	199	193	189	184			
	a	a	a	a			

Referenzbereich: 1,6-2,3 mmol/l (1 Tag a.p. bis 2 Tage p.p. Absenkung bis 1,25 mmol/l)

4.6.11.2 Phosphat-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe

Auch bei alleiniger Betrachtung der Mehrkalbskühe zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den vier Versuchsgruppen (Tabelle 88). Die Gesamtmittelwerte lagen am unteren Rand des Referenzbereichs.

Tabelle 88: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Phosphat-Konzentration in mmol/l im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,67	1,67	1,59	1,63	p=0,303 F=1,22	p=0,00 F=11,20	p=0,587 F=0,90
SEM \bar{x}	0,04	0,04	0,04	0,04			
n	119	113	109	112			
	a	a	a	a			

Referenzbereich: 1,6-2,3 mmol/l (1 Tag a.p. bis 2 Tage p.p. Absenkung bis 1,25 mmol/l)

4.6.11.3 Phosphat-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe

Die Phosphat-Konzentrationen im Serum der Erstkalbskühe (Tabelle 89) lagen deutlich über denen der Mehrkalbskühe. Auch hier gab es keine Gruppenunterschiede.

Tabelle 89: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Phosphat-Konzentration in mmol/l im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,80	1,83	1,80	1,87	p=0,315 F=1,12	p=0,00 F=10,85	p=0,796 F=0,72
SEM \bar{x}	0,03	0,03	0,03	0,03			
n	80	80	80	72			
	a	a	a	a			

Referenzbereich: 1,6-2,3 mmol/l (1 Tag a.p. bis 2 Tage p.p. Absenkung bis 1,25 mmol/l)

4.6.12 Calcium-Konzentration

4.6.12.1 Calcium-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe

Die Tiere in Gruppe 2 (2,43 mmol/l) hatten eine signifikant höhere Ca-Konzentration im Serum als die Tiere in den Gruppen 3 (2,37 mmol/l) und 4 (2,38 mmol/l), unterschieden sich aber nicht von den Tieren in Gruppe 1 (2,40 mmol/l) (Tabelle 90).

Die Gesamtmittelwerte aller Gruppen lagen innerhalb des Referenzbereichs. In Abbildung 26 ist jedoch zusehen, dass die Ca-Konzentrationen zum Zeitpunkt der Geburt stark abfielen und vor allem in Gruppe 4 unterhalb des Referenzbereichs lagen.

Durch die sehr unterschiedlichen Werte zum Zeitpunkt der Geburt bestand eine signifikante Wechselwirkung zwischen der Versuchsgruppe und der Laktationswoche (Tabelle 90).

Tabelle 90: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Calcium-Konzentration in mmol/l im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	2,40	2,43	2,37	2,38	p=0,037 F=2,86	p=0,00 F=28,25	p=0,019 F=1,83
SEM \bar{x}	0,01	0,01	0,01	0,01			
n	199	193	189	184			
	ab	a	b	b			

Referenzbereich: 2,3-2,8 mmol/l (1 Tag a.p. bis 2 Tage p.p. >2,0 mmol/l)

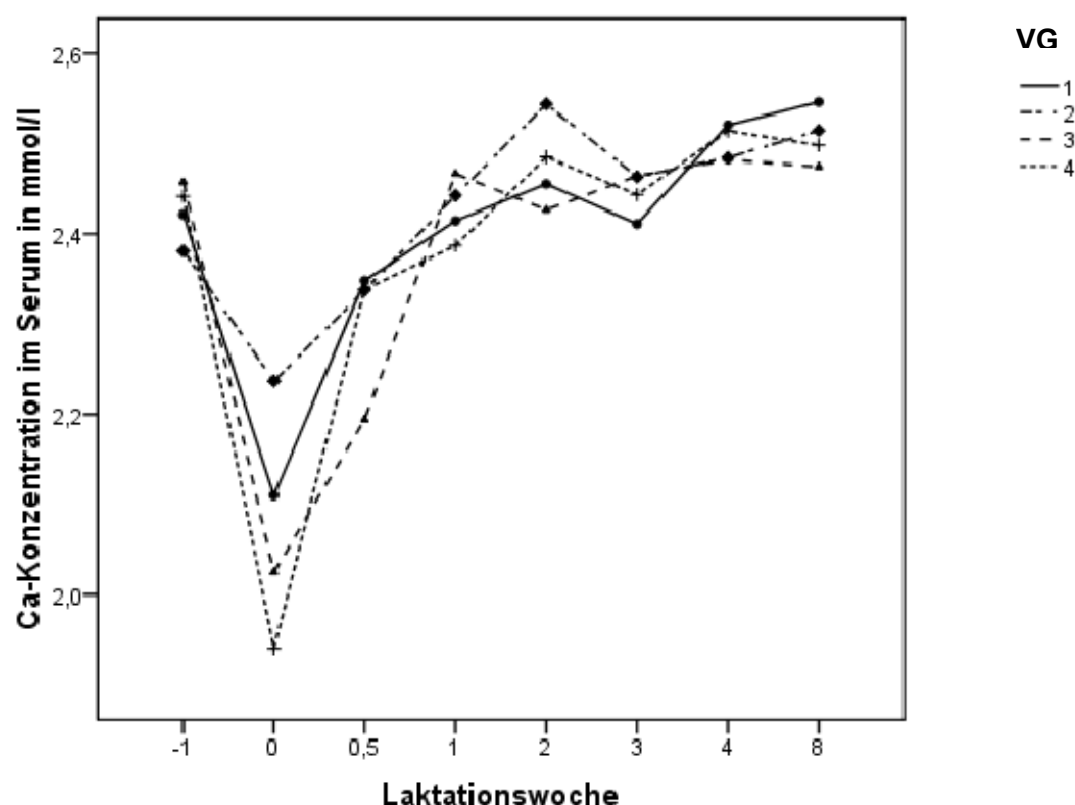


Abbildung 27: Calcium-Konzentration im Serum in mmol/l

4.6.12.2 Calcium-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe

Auch bei den Mehrkalbskühen lag die Ca-Konzentration in Gruppe 2 (2,44 mmol/l) signifikant über den Ca-Konzentrationen in Gruppe 3 (2,36 mmol/l) und Gruppe 4 (2,35 mmol/l) (Tabelle 91).

Tabelle 91: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Calcium-Konzentration in mmol/l im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	2,39	2,44	2,36	2,35	p=0,007 F=4,19	p=0,00 F=15,22	p=0,112 F=1,45
SEM \bar{x}	0,02	0,02	0,02	0,02			
n	119	113	109	112			
	ab	a	b	b			

Referenzbereich: 2,3-2,8 mmol/l (1 Tag a.p. bis 2 Tage p.p. >2,0 mmol/l)

Wie in Abbildung 27 war auch bei alleiniger Betrachtung der Mehrkalbskühe vor allem in Gruppe 4 zum Geburtszeitpunkt ein Absinken der Ca-Konzentration deutlich unter den Referenzbereich zu sehen (Abbildung 28).

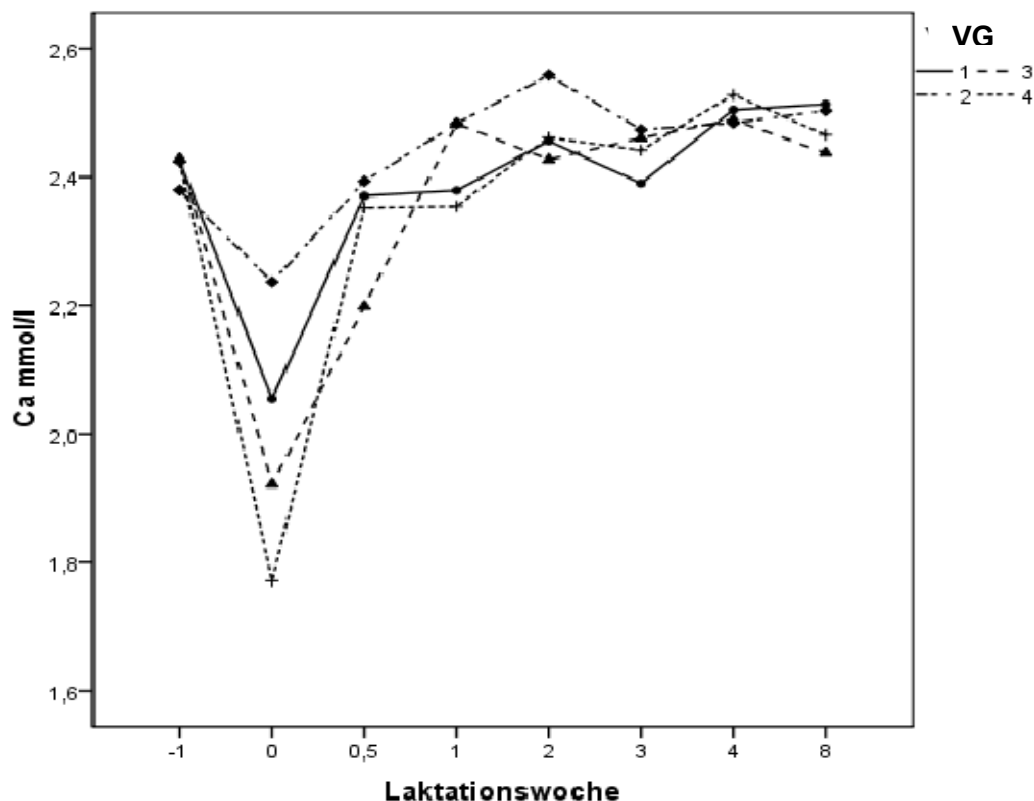


Abbildung 28: Calcium-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe der Versuchsgruppen in mmol/l

4.6.12.3 Calcium-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe

Bei den Erstkalbskühen gab es keine signifikanten Differenzen zwischen den einzelnen Versuchsgruppen (Tabelle 92).

Tabelle 92: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Calcium-Konzentration in mmol/l im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	2,43	2,41	2,40	2,43	p=0,436	p=0,00	p=0,735
SEM \bar{x}	0,02	0,02	0,02	0,02	F=0,91	F=30,74	F=0,78
n	80	80	80	72			
	a	a	a	a			

Referenzbereich: 2,3-2,8 mmol/l (1 Tag a.p. bis 2 Tage p.p. >2,0 mmol/l)

Auch hier fiel die Ca-Konzentration im Serum zum Geburtszeitpunkt in allen Gruppen deutlich ab (Abbildung 29). Es kam jedoch nicht zu einer Unterschreitung der Referenzwerte.

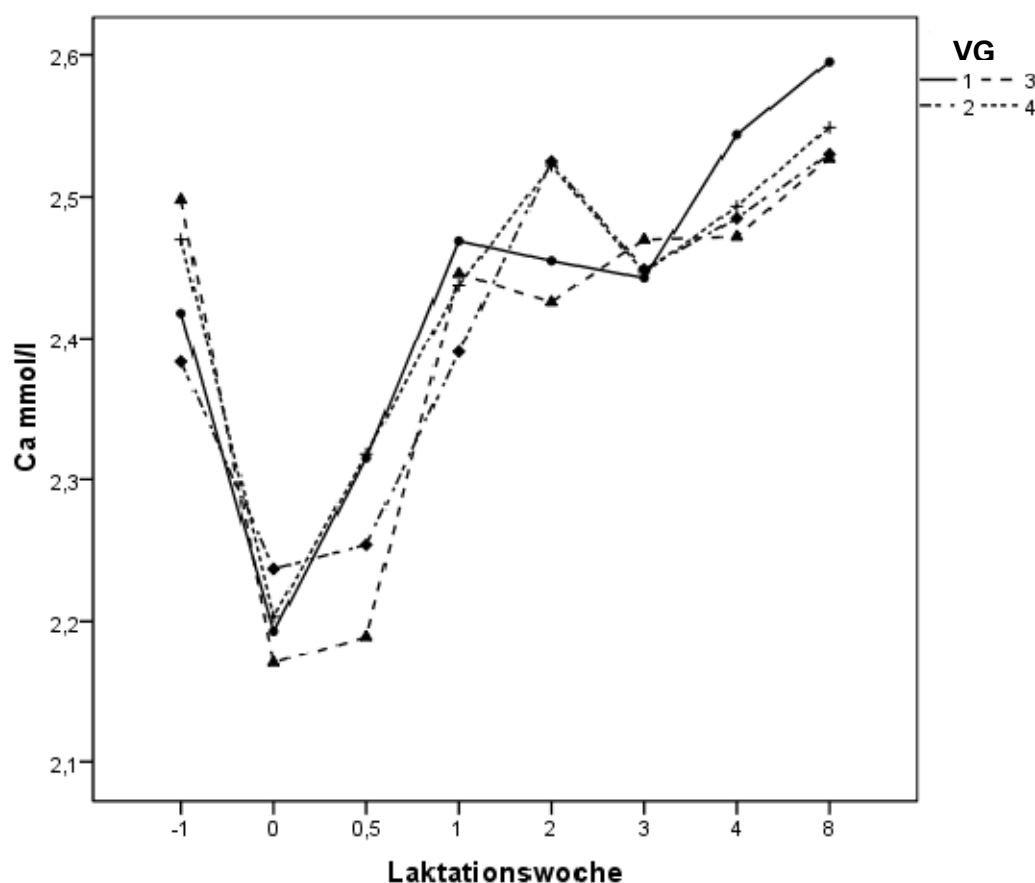


Abbildung 29: Calcium-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe der Versuchsgruppen in mmol/l

4.6.13 Magnesium-Konzentration

4.6.13.1 Magnesium-Konzentration im Serum der Gesamtstichprobe

Die Mg-Konzentration im Serum zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Tabelle 93).

Die Gesamtmittelwerte lagen innerhalb des Referenzbereichs.

Tabelle 93: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Magnesium-Konzentration in mmol/l im Serum

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,00	1,01	1,00	0,99	p=0,640 F=0,563	p=0,00 F=30,49	p=0,977 F=0,47
SEM \bar{x}	0,01	0,01	0,01	0,01			
n	199	193	189	184			
	a	a	a	a			

Referenzbereich: 0,8-1,3 mmol/l

4.6.13.2 Magnesium-Konzentration im Serum der Mehrkalbskühe

Die Mehrkalbskühe in Gruppe 4 (0,95 mmol/l) hatten eine signifikant geringere Mg-Konzentration im Serum als die Mehrkalbskühe in Gruppe 1 (1,00 mmol/l) und Gruppe 2 (0,99 mmol/l) (Tabelle 94). Gruppe 3 (0,98 mmol/l) unterschied sich von keiner Gruppe signifikant.

Tabelle 94: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Magnesium-Konzentration in mmol/l im Serum der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,00	0,99	0,98	0,95	p=0,044 F=2,73	p=0,00 F=15,31	p=0,707 F=0,81
SEM \bar{x}	0,01	0,01	0,01	0,01			
n	119	113	109	112			
	a	a	ab	b			

Referenzbereich: 0,8-1,3 mmol/l

4.6.13.3 Magnesium-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe

Die Mg-Konzentration im Serum der Erstkalbskühe in Gruppe 4 (1,05 mmol/l) war signifikant höher als die der Erstkalbskühe in Gruppe 1 (1,00 mmol/l) (Tabelle 95). Es gab keine weiteren signifikanten Gruppenunterschiede.

Die Werte der Erstkalbskühe lagen über denen der Mehrkalbskühe.

Tabelle 95: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte der Magnesium-Konzentration in mmol/l im Serum der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,00	1,03	1,03	1,05	p=0,015 F=3,58	p=0,00 F=21,90	p=0,736 F=0,78
SEM \bar{x}	0,01	0,01	0,01	0,01			
n	80	80	80	72			
	a	ab	ab	b			

Referenzbereich: 0,8-1,3 mmol/l

4.7 Analyse des Lebergewebes

4.7.1 Leberfettgehalt

4.7.1.1 Leberfettgehalt der Gesamtstichprobe

In Gruppe 2 lag der Gesamtmittelwert des Leberfettgehaltes im Schwimmtest signifikant unterhalb des Wertes von Gruppe 3 (Tabelle 96).

Tabelle 96: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte des Leberfettgehaltes in % im Schwimmtest

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	11,9	11,3	12,4	11,7	p=0,045 F=2,73	p=0,00 F=117,81	p=0,230 F=1,37
SEM \bar{x}	0,3	0,3	0,3	0,3			
n	72	72	70	69			
	ab	a	b	ab			

Bei der getrennten Betrachtung der einzelnen Probennahmetage gab es nur am Tag 21 p.p. (4. LW) signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Tabellen 97 und 98). Sowohl bei der Leberfettbestimmung mit dem Schwimmtest als auch bei der Gravimetrie zeigte Gruppe 2 (PG) an diesem Probennahmetag die signifikant niedrigsten Leberfettgehalte (11,5 % bzw. 6,5 %) (bei der Gravimetrie allerdings nicht signifikant zu Gruppe 1).

Auffallend waren die generell etwas geringeren Leberfettgehalte bei der gravimetrischen Bestimmung.

4. Ergebnisse

Tabelle 97: Mittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte des Leberfettgehaltes in % im Schwimmtest am Tag 21 p.p.

	Versuchsgruppe				Signifikanz
	1	2	3	4	
\bar{x}	12,8	11,5	13,2	12,9	p=0,08 F=2,33
SEM $_{\bar{x}}$	0,5	0,3	0,5	0,6	
n	24	24	23	23	
	b	a	b	b	

Tabelle 98: Mittelwerte (in %), Standardfehler und Signifikanzwerte des Leberfettgehaltes am Tag 21 p.p. (Gravimetrie nach AHMED)

	Versuchsgruppe				Signifikanz
	1	2	3	4	
\bar{x}	8,0	6,5	9,0	9,2	p=0,056 F=2,61
SEM $_{\bar{x}}$	0,72	0,57	0,65	1,02	
n	24	24	22	23	
	ab	a	b	b	

Abbildung 30 zeigt den Anstieg des Leberfettgehaltes nach der Kalbung in allen vier Gruppen. Der höchste Leberfettgehalt wurde etwa ein bis zwei Wochen p.p. erreicht und fiel dann relativ schnell wieder ab.

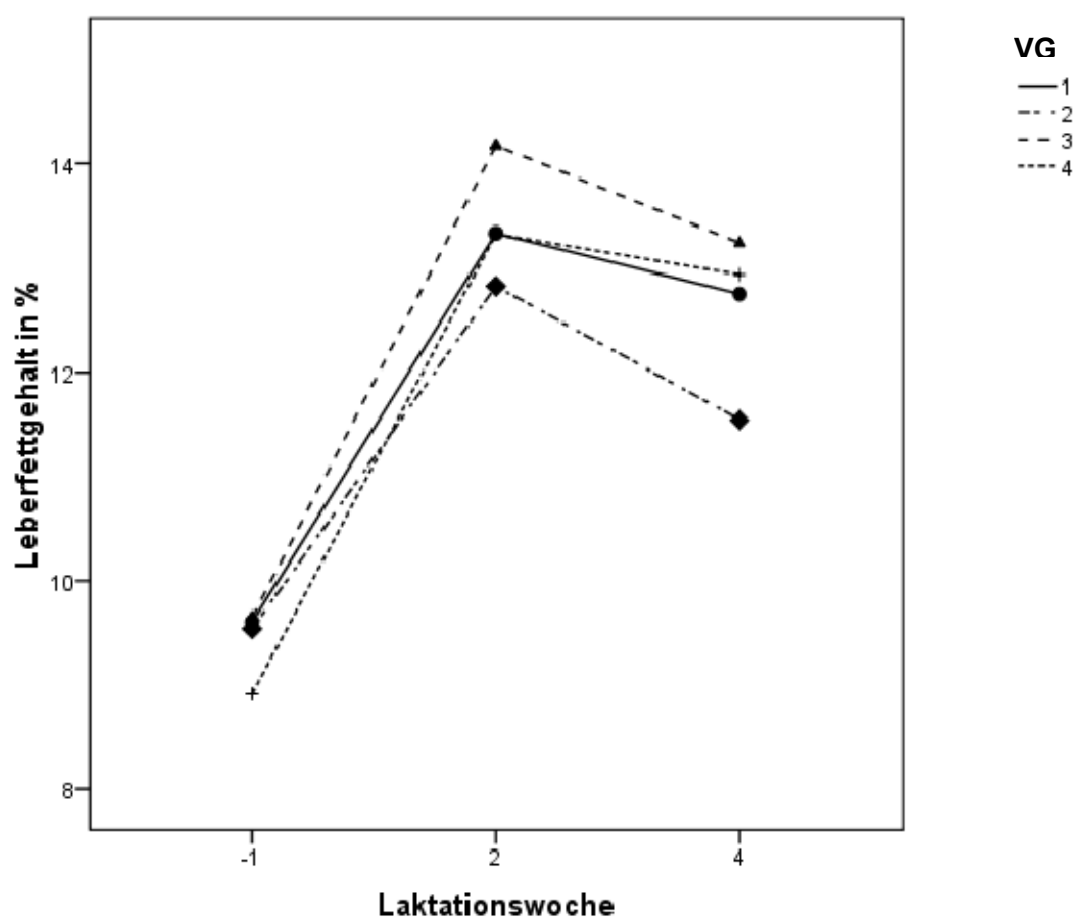


Abbildung 30: Verlauf der Leberfettgehalte der vier Versuchsgruppen (Schwimmtest)

4.7.1.2 Leberfettgehalt der Mehrkalbskühe

Bei den Mehrkalbskühen lag der Gesamtmittelwert des Leberfettgehaltes in Gruppe 2 signifikant unter den Werten der anderen Gruppen (Tabelle 99).

Tabelle 99: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte des Leberfettgehaltes der Mehrkalbskühe in % im Schwimmtest

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	12,5	11,3	12,8	12,3	p=0,011 F=3,87	p=0,00 F=109,23	p=0,015 F=2,77
SEM $_{\bar{x}}$	0,3	0,3	0,3	0,3			
n	42	42	40	42			
	a	b	a	a			

4. Ergebnisse

Die Auswertung der einzelnen Probenahmetage ergab, dass sich diese signifikanten Unterschiede nur zum Zeitpunkt 21 Tage p.p. zeigten (Tabellen 100 und 101). Der Schwimmtest ergab für Gruppe 2 einen Leberfettgehalt von 11,5 % und somit signifikant weniger als für die anderen Gruppen (Tabelle 100). Bei der gravimetrischen Bestimmung unterschied sich Gruppe 2 mit 7,2 % signifikant von Gruppe 4 (10,8 %), nicht jedoch von Gruppe 1 (7,9 %) und 3 (10,0 %) (Tabelle 101).

Tabelle 100: Mittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte des Leberfettgehaltes der Mehrkalbskühe in % 21 Tage p.p. (Schwimmtest)

	Versuchsgruppe				Signifikanz
	1	2	3	4	
\bar{x}	13,5	11,5	14,4	14,11	p=0,017 F=3,74
SEM \bar{x}	0,8	0,2	0,7	0,8	
n	14	13	13	14	
	b	a	b	b	

Tabelle 101: Mittelwerte (in %), Standardfehler und Signifikanzwerte der Leberfettwerte der Mehrkalbskühe am Tag 21 p.p. (Gravimetrie nach AHMED)

	Versuchsgruppe				Signifikanz
	1	2	3	4	
\bar{x}	7,9	7,2	10,0	10,8	p=0,063 F=2,59
SEM \bar{x}	0,97	0,80	0,85	1,5	
n	14	14	14	14	
	ab	a	ab	b	

In Abbildung 31 sind die Leberfettgehalte aller Versuchsgruppen an allen drei Probenahmetagen dargestellt. Hier lassen sich die signifikanten Differenzen am Tag 21 p.p. (4. LW) deutlich wiedererkennen.

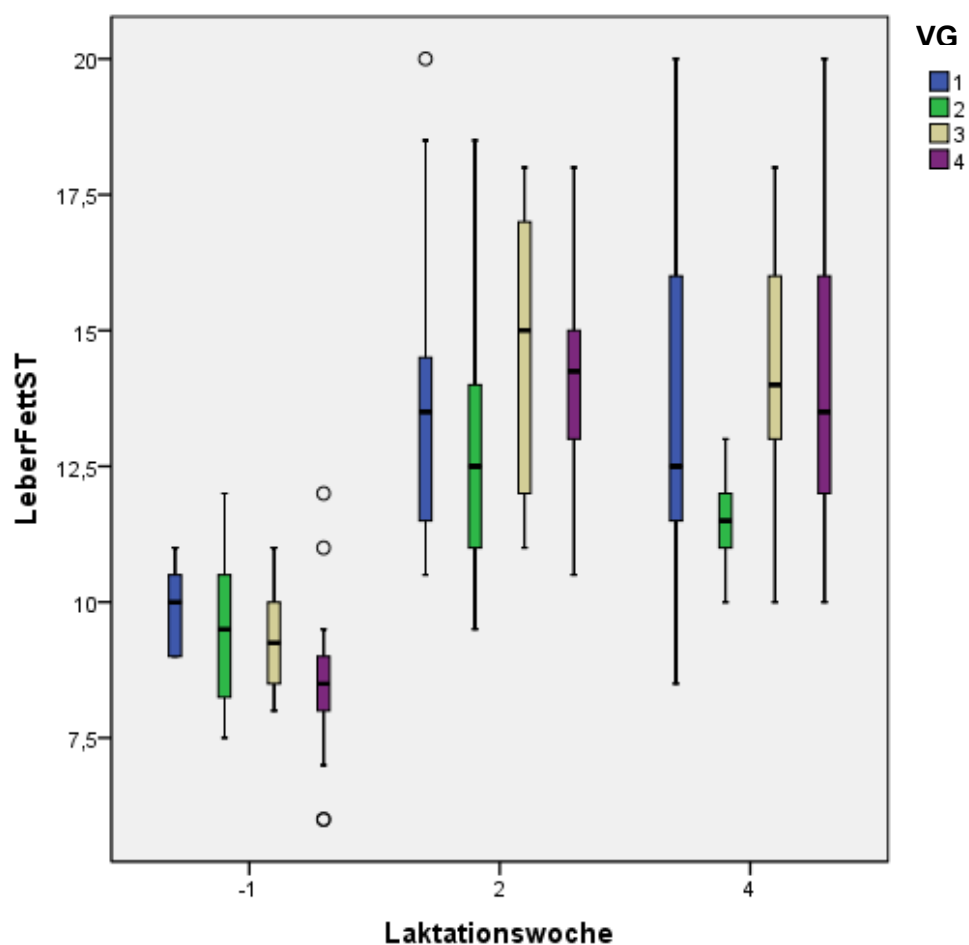


Abbildung 31: Leberfettgehalte (%) der Mehrkalbskühe an allen drei Untersuchungszeitpunkten (Schwimmtest)

4.7.1.3 Leberfettgehalt der Erstkalbskühe

Bei den Erstkalbskühen gab es hinsichtlich des Leberfettgehaltes weder bei den Gesamtmittelwerten (Tabelle 102) noch bei der einzelnen Auswertung der Probenahmetage signifikante Differenzen. Auf eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse wird aus diesen Gründen verzichtet.

Tabelle 102: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte des Leberfettgehaltes der Mehrkalbskühe in % im Schwimmtest

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	11,1	11,4	11,8	10,9	p=0,366 F=1,07	p=0,00 F=24,62	p=0,977 F=0,20
SEM \bar{x}	0,4	0,4	0,4	0,4			
n	30	30	30	27			
	a	a	a	a			

4.7.2 Lebertriglyceridgehalt

4.7.2.1 Lebertriglyceridgehalt der Gesamtstichprobe

Weder der absolute noch der relative Lebertriglyceridgehalt der Gesamtstichprobe wiesen signifikanten Differenzen zwischen den Versuchsgruppen auf. In Abbildung 32 ist ein Anstieg des absoluten Lebertriglyceridgehaltes nach der Geburt in allen Gruppen zu sehen.

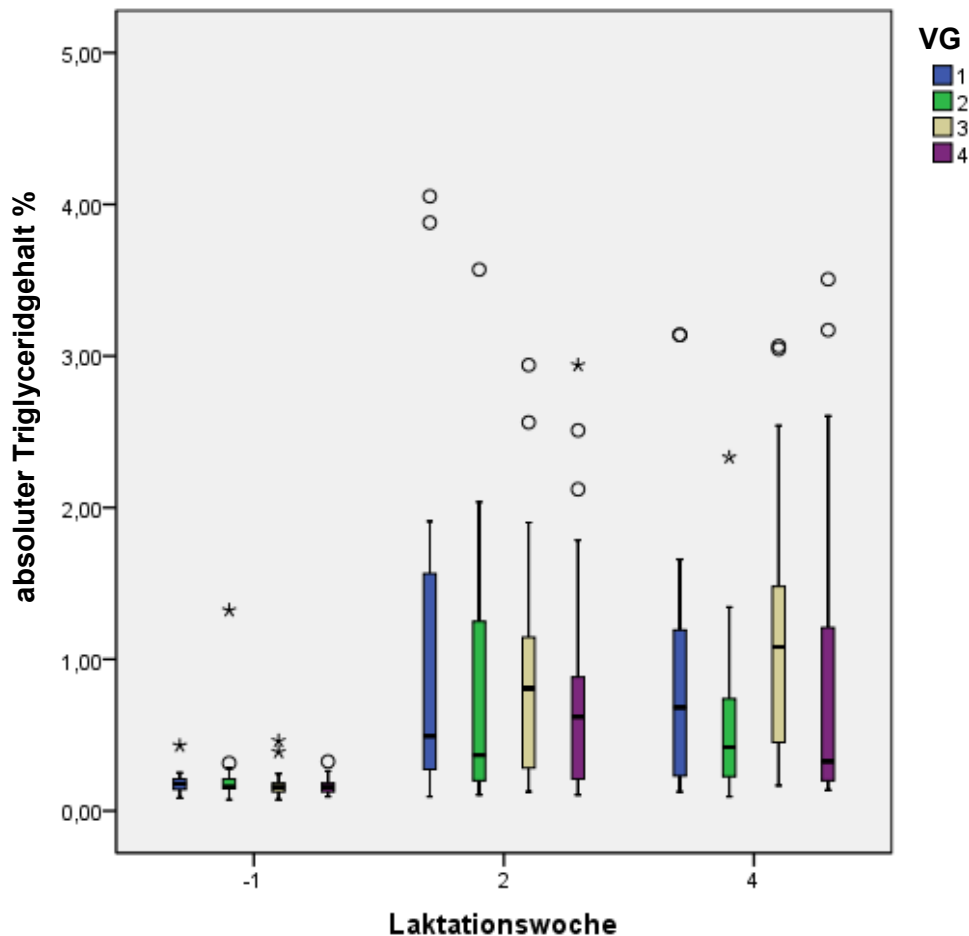


Abbildung 32: Absoluter Lebertriglyceridgehalt (%) an allen drei Untersuchungszeitpunkten

4.7.2.2 Lebertriglyceridgehalt der Mehrkalbskühe

Bei den Mehrkalbskühen gab es wie bei den Leberfettgehalten ebenfalls nur am Tag 21 p.p. signifikante Gruppenunterschiede (Tabellen 103 und 104). Die Kühe in Gruppe 2 (PG) zeigten hier ebenfalls die niedrigsten Werte (sowohl beim absoluten als auch beim relativen Lebertriglyceridgehalt). Signifikant war allerdings nur die Differenz zu Gruppe 3.

Tabelle 103: Mittelwerte (in %), Standardfehler und Signifikanzwerte der Triglyceridgehalte der Mehrkalbskühe am Tag 21 p.p. (Gravimetrie nach AHMED)

	Versuchsgruppe				Signifikanz
	1	2	3	4	
\bar{x}	1,17	0,70	1,48	1,21	p=0,178 F=1,70
SEM $_{\bar{x}}$	0,26	0,17	0,23	0,30	
n	13	13	14	14	
	ab	a	b	ab	

Tabelle 104: Mittelwerte (in %), Standardfehler und Signifikanzwerte der relativen Triglyceridgehalte der Mehrkalbskühe am Tag 21 p.p. (Gravimetrie nach AHMED)

	Versuchsgruppe				Signifikanz
	1	2	3	4	
\bar{x}	12,1	9,0	13,9	9,8	p=0,05 F=2,80
SEM $_{\bar{x}}$	1,72	1,24	1,21	1,26	
n	13	13	14	14	
	ab	a	b	a	

Mit der Zunahme des absoluten Triglyceridgehaltes nach der Abkalbung stieg auch der relative Anteil der Triglyceride in allen Gruppen an (Abbildungen 33 und 34).

4. Ergebnisse

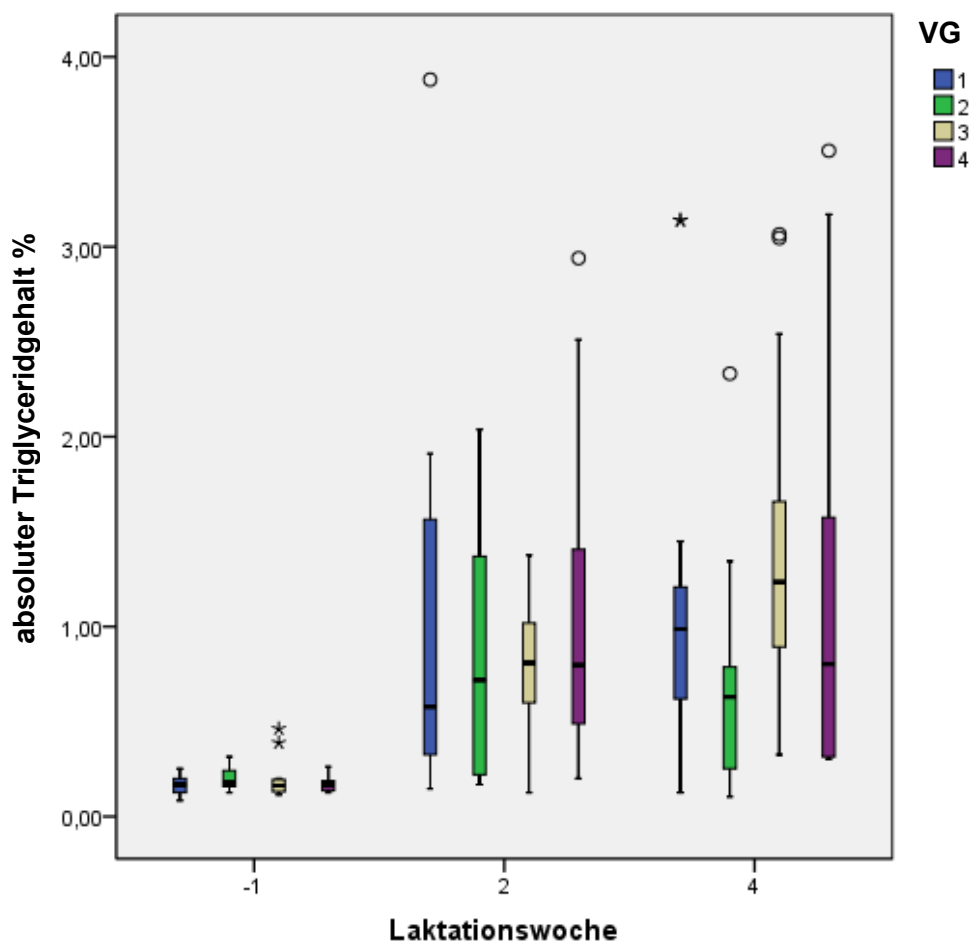


Abbildung 33: Absoluter Lebertriglyceridgehalt (%) der Mehrkalbskühe an allen drei Untersuchungszeitpunkten

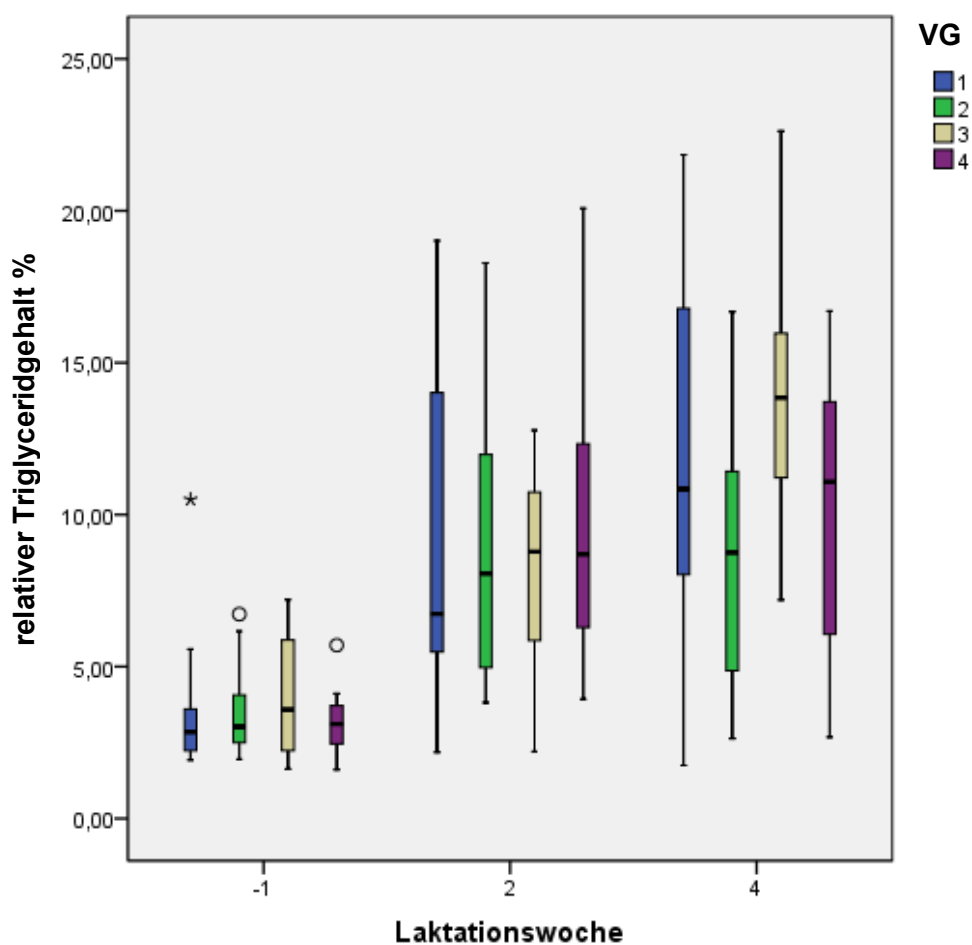


Abbildung 34: Relativer Lebertriglyceridgehalt (%) der Mehrkalbskühe an allen drei Untersuchungszeitpunkten

4.7.2.3 Lebertriglyceridgehalt der Erstkalbskühe

Es gab zu keinem Zeitpunkt signifikante Differenzen hinsichtlich des absoluten und relativen Lebertriglyceridgehaltes bei den Erstkalbskühen.

4.8 Analyse der Harnproben

4.8.1 pH-Wert und NSBA

4.8.1.1 pH-Wert und NSBA der Gesamtstichprobe

Der Harn-pH-Wert lag in den vier Versuchsgruppen zwischen 8,18 (Gruppen 2 und 4) und 8,22 (Gruppe 3) und zeigte somit keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen

4. Ergebnisse

(Tabelle 105). Die Gruppenmittelwerte befanden sich alle innerhalb des Referenzbereichs von 7,8 bis 8,4.

Auch die ermittelte NSBA war in allen vier Gruppen ähnlich und nicht signifikant verschieden (Tabelle 106).

Tabelle 105: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Harn-pH-Wert der vier Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	8,21	8,18	8,22	8,18	p=0,060 F=2,50	p=0,00 F=6,63	p=0,446 F=0,99
SEM \bar{x}	0,02	0,02	0,02	0,01			
n	90	86	92	81			
	a	a	a	a			

Referenzbereich: 7,0-8,4

Tabelle 106: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die NSBA der vier Versuchsgruppen in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	196	197	207	204	p=0,042 F=2,76	p=0,00 F=91,48	p=0,636 F=0,78
SEM \bar{x}	7	7	7	6			
n	90	86	92	81			
	a	a	a	a			

Referenzbereich: 80-220 mmol/l

4.8.1.2 pH-Wert und NSBA der Mehrkalbskühe

Bei den Mehrkalbskühe der Gruppe 3 war der Harn-pH-Wert mit 8,23 signifikant höher als in Gruppe 2 (8,16) (Tabelle 107). Die Gruppen 1 und 4 unterschieden sich nicht signifikant von den anderen.

Tabelle 107: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Harn-pH-Wert der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	8,18	8,16	8,23	8,18	p=0,119 F=1,99	p=0,218 F=1,46	p=0,836 F=0,55
SEM \bar{x}	0,02	0,02	0,02	0,01			
n	54	50	53	51			
	ab	a	b	ab			

Referenzbereich: 7,0-8,4

Auch bei der NSBA hatten die Mehrkalbskühe der Gruppe 3 höhere Werte (217 mmol/l) als die anderen Gruppen und unterschieden sich signifikant von Gruppe 1 (189 mmol/l) (Tabelle 108).

Tabelle 108: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die NSBA in mmol/l der Mehrkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	189	192	217	203	p=0,022 F=3,29	p=0,00 F=60,10	p=0,525 F=0,90
SEM \bar{x}	8	9	9	7			
n	54	50	53	51			
	a	ab	b	ab			

Referenzbereich: 80-220 mmol/l

4.8.1.3 pH-Wert und NSBA der Erstkalbskühe

Bei den Erstkalbskühen in Gruppe 1 war der Harn-pH-Wert mit 8,26 signifikant höher als in Gruppe 4 (8,18) (Tabelle 109). Es gab keine weiteren signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Die NSBA wies bei den Erstkalbskühen in allen Gruppen sehr ähnliche Werte auf (Tabelle 110).

Tabelle 109: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für den Harn-pH-Wert der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	8,26	8,20	8,21	8,18	p=0,093 F=2,19	p=0,062 F=2,56	p=0,232 F=1,34
SEM \bar{x}	0,02	0,02	0,02	0,02			
n	36	36	39	30			
	a	ab	ab	b			

Referenzbereich: 7,0-8,4

Tabelle 110: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die NSBA in mmol/l der Erstkalbskühe

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	210	204	193	183	p=0,28 F=1,30	p=0,00 F=6,92	p=0,234 F=1,34
SEM \bar{x}	10	10	10	11			
n	36	36	39	30			
	a	a	a	a			

Referenzbereich: 80-220 mmol/l

4. Ergebnisse

4.8.2 Natrium-, Kalium-, Calcium- und Magnesium-Gehalte im Harn

4.8.2.1 Natrium-, Kalium-, Calcium- und Magnesium-Gehalte im Harn der Gesamtstichprobe

In den Tabellen 111 bis 114 sind die Gehalte von Na, K, Ca und Mg im Harn in den vier Versuchsgruppen dargestellt. Bei keinem der Parameter zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Alle Gruppenmittelwerte lagen innerhalb der Referenzbereiche.

Tabelle 111: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Natrium-Gehalte im Harn in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	76	77	86	83	p=0,454 F=0,88	p=0,00 F=40,87	p=0,302 F=1,19
SEM \bar{x}	5	5	5	4			
n	90	85	92	81			
	a	a	a	a			

Referenzwert: > 8,0 mmol/l

Tabelle 112: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Kalium-Gehalte im Harn in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	259	251	249	242	p=0,512 F=0,77	p=0,001 F=4,57	p=0,309 F=1,18
SEM \bar{x}	9	9	9	11			
n	90	85	92	81			
	a	a	a	a			

Referenzwert: 140-320 mmol/l

Tabelle 113: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Calcium-Gehalte im Harn in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,01	1,13	1,26	1,05	p=0,242 F=1,40	p=0,00 F=10,81	p=0,378 F=1,08
SEM \bar{x}	0,13	0,13	0,13	0,11			
n	90	85	92	81			
	a	a	a	a			

Referenzwert: <1,5 mmol/l

Tabelle 114: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Magnesium-Gehalte im Harn in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	11,5	10,3	10,8	12,0	p=0,448 F=0,89	p=0,00 F=82,07	p=0,918 F=0,43
SEM \bar{x}	0,7	0,7	0,6	0,6			
n	90	85	92	81			
	a	a	a	a			

Referenzwert: 3,7-16,5 mmol/l

4.8.2.2 Natrium-, Kalium-, Calcium- und Magnesium-Gehalte im Harn der Mehrkalbskühe

Auch bei alleiniger Betrachtung der Mehrkalbskühe gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich der Na-, K-, Ca- und Mg-Gehalte im Harn (Tabellen 115 bis 118).

Es lagen ebenfalls alle Werte innerhalb der Referenzbereiche.

Tabelle 115: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Natrium-Gehalte im Harn der Mehrkalbskühe in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	83	84	89	85	p=0,88 F=0,22	p=0,00 F=16,2	p=0,486 F=0,85
SEM \bar{x}	7	8	8	4			
n	54	50	53	51			
	a	a	a	a			

Referenzwert: > 8,0 mmol/l

Tabelle 116: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Kalium-Gehalte im Harn der Mehrkalbskühe in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	246	239	261	234	p=0,24 F=1,41	p=0,001 F=5,00	p=0,858 F=0,52
SEM \bar{x}	11	12	12	10			
n	54	50	53	51			
	a	a	a	a			

Referenzwert: 140-320 mmol/l

4. Ergebnisse

Tabelle 117: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Calcium-Gehalte im Harn der Mehrkalbskühe in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	1,14	1,14	1,57	1,10	p=0,15 F=1,8	p=0,00 F=5,63	p=0,168 F=1,47
SEM \bar{x}	0,19	0,20	0,20	0,16			
n	54	49	53	51			
	a	a	a	a			

Referenzwert: <1,5 mmol/l

Tabelle 118: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Magnesium-Gehalte im Harn der Mehrkalbskühe in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	10,4	9,6	11,5	11,2	p=0,151 F=1,79	p=0,00 F=72,85	p=0,974 F=0,30
SEM \bar{x}	0,8	0,8	0,8	0,7			
n	54	50	53	51			
	a	a	a	a			

Referenzwert: 3,7-16,5 mmol/l

4.8.2.3 Natrium-, Kalium-, Calcium- und Magnesium-Gehalte im Harn der Erstkalbskühe

Die Na- und Ca-Gehalte im Harn der Erstkalbskühe waren in allen vier Gruppen sehr ähnlich (Tabellen 119 und 122).

Signifikante Unterschiede gab es bei den K-Gehalten (Tabelle 120): Hier lag der Wert in Gruppe 1 (280 mmol/l) signifikant über dem in Gruppe 3 (231 mmol/l).

Gruppe 1 zeigte ebenfalls signifikant höhere Mg-Gehalte im Harn (13,2 mmol/l) als Gruppe 3 (9,9 mmol/l) (Tabelle 122).

Auch hier lagen die Gruppenmittelwerte für alle Parameter innerhalb der Referenzbereiche.

Tabelle 119: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Natrium-Gehalte im Harn der Erstkalbskühe in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	70	73	87	78	p=0,495 F=0,80	p=0,00 F=23,5	p=0,71 F=0,70
SEM \bar{x}	9	9	8	10			
n	36	36	39	30			
	a	a	a	a			

Referenzwert: > 8,0 mmol/l

Tabelle 120: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Kalium-Gehalte im Harn der Erstkalbskühe in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	280	269	231	258	p=0,087 F=2,25	p=0,13 F=1,95	p=0,16 F=1,52
SEM \bar{x}	14	15	14	16			
n	36	36	39	30			
	a	ab	b	ab			

Referenzwert: 140-320 mmol/l

Tabelle 121: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Calcium-Gehalte im Harn der Erstkalbskühe in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	0,81	0,79	0,87	0,81	p=0,976 F=0,07	p=0,059 F=2,62	p=0,92 F=0,42
SEM \bar{x}	0,12	0,12	0,12	0,14			
n	36	36	39	30			
	a	a	a	a			

Referenzwert: <1,5 mmol/l

Tabelle 122: Gesamtmittelwerte, Standardfehler und Signifikanzwerte für die Magnesium-Gehalte im Harn der Erstkalbskühe in mmol/l

	Versuchsgruppe				Signifikanz		
	1	2	3	4	VG	LW	WW
\bar{x}	13,2	11,4	9,9	12,0	p=0,202 F=1,57	p=0,00 F=7,72	p=0,677 F=0,73
SEM \bar{x}	1,1	1,1	1,1	1,2			
n	36	36	39	30			
	a	ab	b	ab			

Referenzwert: 3,7-16,5 mmol/l

4.9 Krankheiten

Fast alle Versuchstiere mussten in den ersten 100 Tagen der Laktation aufgrund von Erkrankungen behandelt werden. Häufig traten in allen Gruppen vor allem Klauenerkrankungen und Erkrankungen der Fortpflanzungsorgane (Gebärmutterentzündungen und Zyklusstörungen) auf (Tabelle 123).

Gruppe 3 zeigt deutlich mehr Behandlungstage je Versuchstier in der Gruppe, während die anderen Versuchsgruppen sich nicht deutlich voneinander unterscheiden.

4. Ergebnisse

Tabelle 123: Erkrankungen und Behandlungstage in den Versuchsgruppen

	Versuchsgruppe			
	1	2	3	4
Anzahl Tiere in den Gruppen	25	25	24	23
Tiere, die innerhalb der ersten 100 LT behandelt wurden	23	24	24	23
Behandlungstage je VG	76	84	122	73
Erkrankungen				
Gebärparese	4	5	6	4
Nachgeburtverhalten	2	3	7	4
Endometritis/Pyometra	16	18	21	10
Zysten/Zyklusstörungen	8	7	10	9
Stoffwechsel	3	3	2	0
Mastitis	6	6	5	5
Klauen	9	13	19	11
Sonstiges (Fieber, ...)	0	2	1	0
Behandlungstage je erkranktes Tier	3,3	3,5	5,5	3,2
Behandlungstage je Versuchstier in der Versuchsgruppe	3,0	3,4	5,5	3,2

5 Diskussion

Die moderne Hochleistungskuh befindet sich in der Früh-laktation in einer sehr angespannten Stoffwechselsituation. Der Einsatz verschiedener Futterzusätze zur Stoffwechselstabilisierung wird zurzeit - auch bedingt durch den niedrigen Milchpreis - kontrovers diskutiert.

Bisher durchgeführte Studien kamen nicht zu einheitlichen Ergebnissen (Prange, 2001, Staufenbiel, 2001, Hoedemaker, 2004, DeFrain et al, 2004).

Ziel dieser Arbeit war es, die Einflüsse einer Verfütterung von Propylenglykol, Glycerin und Glycerin kombiniert mit L-Carnitin auf die Futteraufnahme, die Milchleistung und die Stoffwechselgesundheit zu vergleichen.

5.1 Futteraufnahme

Die Menge des aufgenommenen Futters und damit die Menge an aufgenommener Energie ist vor allem in der Früh- und Hochlaktation von großer Bedeutung für die Stoffwechselgesundheit der Milchkuh.

Propylenglykol beeinflusste trotz seiner eher negativen Geschmackseigenschaften (Johnson, 1954) in einigen durchgeführten Versuchen die TM-Aufnahme nicht (Studer et al., 1993, Emery et al., 1964, Pickett et al 2003, Moallem et al., 2007), während in anderen Versuchen das Einmischen von 518 g PG bzw. 688g PG in die Ration zu einem deutlichen Absinken der TM-Aufnahme führte (Miyoshi et al., 2001, Dhiman et al., 1993). Diese unterschiedlichen Ergebnisse lassen sich durch die Art der Verabreichung (per Drench oder als Top Dressing) und die eingesetzte Menge PG erklären. Vermutet wird auch, dass der durch PG hervorgerufene Anstieg der Insulin-Konzentration die TM-Aufnahme absinken lässt (Ingvarsen und Andersen, 2000).

Unterschiedliche Aussagen gibt es auch zum Einfluss des Glycerins auf die Futteraufnahme: Eine TMR mit einem Glyceringehalt von 3,3 % der TM und das Drenchen von 500 ml Glycerin/Tag führten zu einem Absinken der Futteraufnahme (Ogborn, 2006). Chung (2007) stellte keinen Einfluss von Glycerin auf die Futteraufnahme fest.

Zu bedenken ist hier, dass sich die Qualität und der Reinheitsgrad des Glycerins stark auf die geschmacklichen Eigenschaften auswirken.

In den Versuchen von Lacount et al. (1996), Carlson et al (2006) und Carlson et al. (2007) wurde die TM-Aufnahme durch die Verabreichung von L-Carnitin nicht verändert.

Um in dieser Untersuchung geschmackliche Vor- und Nachteile der vier Versuchsgruppen zu vermeiden, wurde der Ration Melasse hinzugefügt (500 g pro Tier und Tag).

Die Futteraufnahme war in den vier Versuchsgruppen signifikant verschieden. Gruppe 2 (PG) unterschied sich nicht von der Kontrollgruppe (Gruppe 1). Gruppe 4 (Glycerin und L-Carnitin) zeigte mit 20,3 kg die signifikant höchste TM-Aufnahme und lag somit 0,9 kg über Gruppe 1. Die Tiere der Gruppe 3 (Glycerin) dagegen nahmen mit 18,8 kg TM signifikant weniger Futter auf als die anderen Gruppen.

Die getrennte Auswertung nach Erstkalbskühen und Kühen zeigt ein ähnliches Bild. Auch hier war die TM-Aufnahme in Gruppe 3 signifikant niedriger. Eine mögliche Erklärung ist, dass in Gruppe 3 ein höherer Anteil der Tiere während der Versuchsphase erkrankte (Klauenprobleme, Milchfieber, Nachgeburtsverhalten) und somit weniger Futter aufnahm. Dass Glycerin zu der niedrigeren Futteraufnahme führte, ist unwahrscheinlich, denn die Tiere die Glycerin in Kombination mit L-Carnitin erhielten, hatten eine deutlich höhere Futteraufnahme. Da vorherige Versuche auch mit deutlich höheren L-Carnitin-Zugaben keinen Einfluss auf die Futteraufnahme zeigten, ist es fraglich, ob in dieser Untersuchung durch 2 g L-Carnitin/Tier/Tag eine derartige Steigerung der TM-Aufnahme hervorgerufen wurde.

5.2 Rückenfettdicke, Body-Condition-Score und Körpergewicht

Um die energetische Versorgung von Kühen in der Früh lactation zu bewerten, sind die Messung der RFD und die Bestimmung des BCS sowie des Körpergewichts geeignete Parameter (Hüttmann, 2007).

Allerdings muss beim Körpergewicht bedacht werden, dass das Gewicht des Verdauungstraktes bei Rindern je nach aufgenommener Futter- und Wassermenge deutlich variieren kann.

Die Rückenfettdicken waren in den vier Versuchsgruppen sehr ähnlich. Vor der Abkalbung lagen die Gruppenmittelwerte zwischen 18 mm (Gruppen 1, 2 und 3) und 19 mm (Gruppe 4). In allen Gruppen nahm die RFD in gleichem Maße ab und lag am Studienende zwischen 10 und 12 mm. Nach Rossow et al. (1989) und Staufenbiel (1997) sollten der Verlust der RFD nicht mehr als 15 mm betragen und eine RFD von 15 mm nicht unterschritten werden.

Die Veränderungen der RFD in dieser Untersuchung decken sich mit den Ergebnissen von Schröder (2000), der bei Hochleistungskühen einen mittleren Verlust der RFD von 10,3 mm und am konditionellen Tiefpunkt eine RFD von 11,5 mm feststellte.

Bei der Beurteilung des BCS waren die Gruppengesamtmittelwerte nicht signifikant verschieden.

Bei den Mehrkalbskühen wies Gruppe 4 zwar mit 2,84 einen signifikant niedrigeren Wert auf als Gruppe 1 (2,97), da aber normalerweise die BCS-Note in Abstufungen von 0,5 Punkten vergeben wird und nicht wie in dieser Studie in Abstufungen von 0,05 Punkten, wären diese geringfügigen Abweichungen der Gruppenmittelwerte mit der klassischen BCS-Bewertung gar nicht festgestellt worden. Bei den Erstkalbskühen waren die Werte ebenfalls sehr ähnlich, Gruppe 3 lag mit 3,00 jedoch signifikant unter den Gruppen 2 (3,14) und 4 (3,13).

Die Ergebnisse decken sich mit denen von Formigioni et al. (1996) und Prange (2001). Bei beiden Studien hatte die Verabreichung von PG keinen Einfluss auf die Entwicklung des BCS.

Die Gesamtmittelwerte für das Körpergewicht unterschieden sich in den Gruppen 1, 2, und 4 nicht. In Gruppe 3 (Glycerin) war der Gesamtmittelwert signifikant niedriger.

Bei alleiniger Betrachtung der Mehrkalbskühe fällt auf, dass die Tiere der Gruppe 3 in der 2. LW deutlich schwerer sind als die Tiere der anderen Gruppen und bis zur 5. LW deutlich an Körpermasse verlieren. Danach unterschieden sich die Mehrkalbskühe der einzelnen Gruppen nicht mehr voneinander.

Bei den Erstkalbskühen allerdings sind die Tiere der Gruppe 3 in der 2. LW deutlich leichter. Über den gesamten Versuchszeitraum liegt ihr Körpergewicht unter dem der anderen Gruppen, während jedoch der Kurvenverlauf ähnlich ist.

Der signifikant niedrigere Gruppengesamtmittelwert lässt sich dadurch erklären, dass die in Gruppe 3 eingruppierten Jungkühe im Allgemeinen kleiner und leichter waren als die anderen Jungkühe.

5.3 Milchmenge und Milchhaltsstoffe

Ein direkt gesicherter Einfluss von Propylenglykol auf die Milchleistung ist umstritten. In einigen Studien wurde keine Leistungssteigerung nachgewiesen (Pickett et al., 2003, Hoedemaker et al., 2004, Prange, 2001, Fisher et al., 1973), während in anderen Versuchen eine Steigerung der Milchleistung beobachtet wurde (Staufenbiel, 2001). Fisher et al. (1973) stellten einen leichten Rückgang des Milchfettgehaltes fest.

Die Verabreichung von Glycerin führte bei DeFrain (2004) und Ogborn (2006) nicht zu einer Leistungssteigerung.

Beim Einsatz von bis zu 7 g L-Carnitin pro Kuh und Tag kam es nicht zu einer Leistungssteigerung, und die Zusammensetzung der Milch änderte sich nicht (LaCount et al., 1995, LaCount et al., 1996).

In dieser Untersuchung gaben die Tiere, die Glycerin und L-Carnitin erhielten, mit 37,0 kg signifikant mehr Milch als alle anderen Gruppen. Die anderen drei Gruppen zeigten keine signifikanten Unterschiede. Somit werden die Ergebnisse von DeFrain (2004), Ogborn (2006), Pickett et al. (2003), Hoedemaker et al. (2004), Prange (2001) und Fisher et al. (1973) bestätigt, dass weder PG noch Glycerin zu einer signifikanten Leistungssteigerung führen.

Die höhere Milchleistung in Gruppe 4 lässt sich zum Teil durch die signifikant größere Futtermittelaufnahme erklären.

Betrachtet man jedoch nur die Mehrkalbskühe, fällt auf, dass die Kühe der Kontrollgruppe tendenziell die geringste Milchleistung hatten (39,6 kg). Bei den Erstkalbskühen zeigte sich dieses Bild nicht. Es wird vermutet, dass Effekte von PG und Glycerin erst bei Tieren in einer größeren negativen Energiebilanz zum Vorschein kommen.

Die Mehrkalbskühe in Gruppe 3 (Glycerin) gaben täglich 0,5 kg mehr Milch als die Mehrkalbskühe in Gruppe 2 und 1,1 kg mehr Milch (signifikant) als die Mehrkalbskühe der Kontrollgruppe. In Kombination mit der niedrigsten Futtermittelaufnahme müsste dies zu einer angespannten Stoffwechsellage geführt haben.

In Abbildung 7 wird deutlich, dass die Mehrkalbskühe in Gruppe 3 in den ersten 6 Laktationswochen einen starken Milchleistungsanstieg hatten und es danach zu einem schnellen Abfall der Milchmenge kam. Vermutlich waren die Ursachen hierfür die große negative Energiebilanz durch die schlechtere Futtermittelaufnahme und die dadurch bedingten vermehrten Erkrankungen.

Diese schlechte Stoffwechsellage wird bestätigt durch den signifikant höheren Milchfettgehalt in Gruppe 3 (4,14 %) im Vergleich zu Gruppe 1 (4,0 %) und Gruppe 2 (3,92 %). Auch Gruppe 4 (4,09 %) zeigte einen signifikant höheren Milchfettgehalt als Gruppe 2.

Milchfett wird in erster Linie aus Acetat, BHB und langkettigen Fettsäuren synthetisiert. Der Milchfettgehalt ist abhängig von der Fütterung, der Milchleistung und der Laktationsphase (De Kruif et al., 1998). In Energiemangelsituationen in der Früh-Laktation wird Körperfett mobilisiert. Dadurch erhöht sich im Blut der Anteil an NEFA und Glycerin. Dies führt zusammen mit einer Konzentrationssteigerung der Leberlipide und der Ketonkörper zu einer gesteigerten Milchfettsynthese (Kraft und Dürr, 2005, Enemark et al., 2004).

Steigt der Milchfettgehalt zu Beginn der Laktation über 5 %, ist dies ein Hinweis für das Auftreten subklinischer Ketosen (De Kruif et al., 1998). In dieser Untersuchung war das in keiner Versuchsgruppe der Fall.

Ebenfalls gab es keinen Hinweis auf das Vorliegen von subklinischen Pansenazidosen, die durch ein Absinken des Milchfettgehalts unter 3,5 % gekennzeichnet sind. Durch erhöhte Propionsäurekonzentrationen im Pansen und dadurch vermehrte Mengen von Propionat im Blut wird der Transport von Metaboliten für die Milchfettsynthese reduziert (Griinari u. Baumann, 2006).

Auch bewirkt ein Strukturmangel eine verminderte Azetatfermentation, und es kommt zu einem Mangel an Vorstufen für die Milchfettsynthese (Bandilla, 2009).

Der Milcheiweißgehalt lag in Gruppe 2 (PG) mit 3,15 % signifikant höher als in allen anderen Gruppen. Allerdings lagen die Eiweißgehalte in allen Gruppen unter 3,2 %. Dies ist ein Hinweis für eine mangelhafte Energieversorgung (Kümel-Möllering u. Rossow, 1994, Kraft u. Dürr, 2005). Die Ausgangssubstanzen für die Milchproteinsynthese sind zum größten Teil mikrobiellen Ursprungs. Erhalten die Pansenmikroorganismen nicht genügend Energie, um diese Substanzen zu synthetisieren, fällt der Milcheiweißgehalt ab.

Zur weiteren Beurteilung der Fütterung kann der Milchharnstoffgehalt genutzt werden. Der Milchharnstoffgehalt ist abhängig von der mit dem Futter aufgenommenen Menge an Protein und NPN-Verbindungen sowie deren Umsatz im Pansen durch die Mikroorganismen. Bei einem Energiemangel der Mikroorganismen entsteht im Pansen vermehrt Ammoniak, das in der Leber zu Harnstoff verstoffwechselt wird. Die Milchharnstoffkonzentration steigt an (Kaufmann, 1982).

Da in dieser Untersuchung alle Gruppen Harnstoffkonzentrationen leicht unterhalb des Referenzbereichs (150-300 mg/l) aufwiesen, ist das ein Hinweis für eine knappe Proteinversorgung der Milchkühe.

Der FEQ bestätigt die Vermutung der angespannten Stoffwechsellage in Gruppe 3, denn hier war er mit 1,35 tendenziell am höchsten. In Gruppe 2 (PG) (1,25) war er signifikant niedriger als in den anderen Gruppen. Allerdings lagen alle Gruppenmittelwerte trotz der niedrigen Milcheiweißgehalte innerhalb des Referenzbereichs.

Beim Betrachten der ECM-Leistung unterschieden sich die Gruppen 2, 3 und 4 nicht signifikant von der Kontrollgruppe. Allerdings gaben die Tiere der Gruppe 4 (35,7 kg) signifikant mehr ECM als die Tiere der Gruppe 2 (33,4 kg). Diese große Differenz von 2,1 kg lässt sich teilweise durch den signifikant höheren Milchfettgehalt in Gruppe 4 erklären.

Bei den Mehrkalbskühen waren die Differenzen noch ausgeprägter. Gruppe 3 (40,1 kg) und 4 (40,8 kg) hatten eine signifikant höhere ECM-Leistung als die Gruppen 2 (38,0 kg) und 1 (38,3 kg). Beide Gruppen erhielten Glycerin, Gruppe 4 zusätzlich L-Carnitin. Somit stimmen

die Ergebnisse von DeFrain (2004) und Ogborn (2006) im Hinblick auf die ECM-Leistung nicht mit den Ergebnissen dieser Untersuchung überein. Sie hatten durch den Einsatz von Glycerin keine Leistungssteigerung festgestellt.

Bei den Erstkalbskühen zeigten sich hinsichtlich der ECM-Leistung keine Unterschiede zwischen den Gruppen.

Zu bedenken ist hier, dass eine hohe ECM-Leistung bei stoffwechsellabilen Kühen oft durch einen sehr hohen Milchfettgehalt bedingt wird und somit kritisch zu sehen ist.

5.4 Analyse der Serumparameter

5.4.1 Glucose und Insulin

Die Tiere der Gruppe 2 (PG) wiesen signifikant höhere Glucosegehalte im Serum auf als die Tiere der Kontrollgruppe. Bei alleiniger Betrachtung der Mehrkalbskühe hatte Gruppe 2 signifikant höhere Werte als alle anderen Gruppen. Dies bestätigt die Ergebnisse der Versuche von Studer et al. (1993), Pickett et al. (2003), Butler et al. (2006) und Kristensen u. Raun (2007). Zu erklären ist die höhere Glucosekonzentration dadurch, dass PG zu geringen Anteilen zu Propionat und zum größten Teil zu Oxalacetat verstoffwechselt wird und diese beiden Metaboliten der Gluconeogenese dienen (Nielsen u. Ingvarsen, 2004).

Die Tiere, die Glycerin bzw. Glycerin und L-Carnitin erhielten, hatten ähnliche Glucosekonzentrationen im Serum wie die Tiere der Kontrollgruppe.

Glycerin wird zum größten Teil zu kurzkettigen Fettsäuren fermentiert, und nur ein geringer Teil wird zu Pyruvat und dann zu Oxalacetat umgewandelt (Trabue et al., 2007, Kijora et al., 1998).

Allerdings muss hier beachtet werden, dass in allen Gruppen die Glucosekonzentrationen oberhalb des Referenzbereichs lagen, die Tiere also nicht in einer Glucosemangelsituation waren.

Keine signifikanten Unterschiede gab es hinsichtlich der Insulinkonzentrationen der vier Versuchsgruppen.

5.4.2 β -Hydroxybutyrat und freie Fettsäuren

BHB wird als einer der aussagekräftigsten labordiagnostischen Parameter für die Energiebilanz und die Ketogenese (Russel u. Wright, 1983) sowie für die Fettleberdiagnostik beim Rind angesehen (Gröhn et al., 1983, Fürll, 1989, Roemer, 2004).

Allerdings sollte die BHB-Konzentration immer im Zusammenhang mit anderen Parametern des Fett- und Energiestoffwechsels beurteilt werden (Fürl, 2000). Es gibt viele Studien, die ein größeres Erkrankungsrisiko bei Tieren mit erhöhten BHB- und NEFA-Werten beschreiben (Tabelle 125).

Tabelle 125: Übersicht zu Grenzwerten der Konzentrationen der freien Fettsäuren (NEFA) und des β -Hydroxybutyrats (BHB) in der Früh-laktation (Auszug aus Borchardt, 2010)

Autor	Parameter	Zeitpunkt d	Grenzwert	Kommentar
Quiroz-Rocha et al. 2009	NEFA	1 bis 7	1,4mmol/l	$x \pm 2s$ bei gesunden Kühen
Carson 2008	NEFA	1 bis 7	1,0mmol/l	4,6faches Risiko einer Labmagenverlagerung
LeBlanc et al. 2005	NEFA	1 bis 7	1,0mmol/l	4,8faches Risiko einer Labmagenverlagerung
van Saun 2004	NEFA	3 bis 30	0,6mmol/l	1,9faches Risiko einer Erkrankung
Duffield et al. 2009	BHB	8 bis 14	2,0mmol/l	3,3kg/d geringere Milchleistung
Duffield et al. 2009	BHB	8 bis 14	1,8mmol/l	6,22faches Risiko einer Labmagenverlagerung
Duffield et al. 2009	BHB	8 bis 14	1,4mmol/l	5,98faches Risiko einer klinischen Ketose
Duffield et al. 2009	BHB	1 bis 7	1,4mmol/l	1,8kg/d geringere Milchleistung
Duffield et al. 2009	BHB	1 bis 7	1,4mmol/l	4,25faches Risiko einer klinischen Ketose
Geishauser et al. 1997	BHB	1 bis 7	1,4mmol/l	4faches Risiko einer Labmagenverlagerung
Duffield et al. 2009	BHB	1 bis 7	1,2mmol/l	2,5faches Risiko einer Labmagenverlagerung
Duffield et al. 2009	BHB	1 bis 7	1,2mmol/l	3,35faches Risiko einer Metritis
LeBlanc et al. 2005	BHB	1 bis 7	1,2mmol/l	8faches Risiko einer Labmagenverlagerung
Geishauser et al. 1997	BHB	1 bis 7	1,2mmol/l	3faches Risiko einer Labmagenverlagerung
Quiroz-Rocha et al. 2009	BHB	1 bis 7	1,17mmol/l	$x \pm 2s$ bei gesunden Kühen

Aus dieser Tabelle wird auch ersichtlich, dass eine absolute Festlegung von Grenzwerten bei diesen Stoffwechselfparametern schwierig ist.

Die BHB-Konzentrationen in Gruppe 2 (PG) lagen signifikant unter den Werten der anderen Gruppen. Gruppe 3 hingegen zeigte den signifikant höchsten Wert. Nach der Kalbung stieg die BHB-Konzentration in den Gruppen 1, 3 und 4 stark an. Bei den Tieren, die PG erhielten,

zeigte sich ein nur mäßiger Anstieg. In dieser Gruppe blieben die Werte zu jedem Zeitpunkt deutlich unterhalb des Grenzwertes.

Auch bei alleiniger Betrachtung der Mehrkalbskühe lag die BHB-Konzentration in Gruppe 2 signifikant unter allen anderen Gruppen.

Bei den Erstkalbskühen unterschieden sich die Gruppen 1, 2 und 4 nicht voneinander, Gruppe 3 jedoch hatte eine signifikant höhere BHB-Konzentration im Serum.

Sowohl bei den Mehrkalbskühen als auch bei den Erstkalbskühen in Gruppe 3 scheint einerseits die geringere Futteraufnahme in Verbindung mit der hohen ECM-Leistung für die höhere Ketonkörperkonzentration verantwortlich zu sein. Andererseits führt die Verfütterung von Glycerin zu einem vermehrten Anfall von Buttersäure im Pansen. Buttersäure wird in der Pansenwand zu BHB umgewandelt und gelangt so ins Blut.

Ebenfalls einen Anstieg der BHB-Konzentration bei Verabreichung von Glycerin stellten DeFrain et al (2004) (860 g Glycerin täglich) und Ogborn (2006) (500 g Glycerin täglich) fest. Im Gegensatz dazu hatten bei Chung et al. (2007) Kühe, die 162,5 g Glycerin täglich erhielten, niedrigere BHB-Konzentrationen als die Kontrollgruppe. Diese Unterschiede lassen sich durch die doch sehr unterschiedlichen Mengen Glycerin, die die Tiere erhielten, erklären.

Im Hinblick auf PG stimmen die Ergebnisse dieser Untersuchung überein mit denen von Kristensen u. Raun (2007), Hoedemaker et al. (2004), Pickett et al. (2003) und Grummer et al. (1994). Bei allen führte die Verabreichung von PG zu einer geringeren BHB-Konzentration.

In Gruppe 3 lag der Gruppenmittelwert für BHB leicht oberhalb des hier angegebenen Referenzbereichs von 1000 $\mu\text{mol/l}$. Allerdings sind in der Literatur für die ersten Wochen nach der Abkalbung sehr unterschiedliche Grenzwerte zu finden (Duffield et al. (2009), Geishauser et al 1997), so dass in dieser Untersuchung keine deutlich erhöhten BHB-Konzentrationen im Serum der Versuchskühe vorlagen.

Die Konzentration der freien Fettsäuren (NEFA) im Serum gibt Hinweise auf die Mobilisierung von Körperfett und somit auf das Vorhandensein einer negativen Energiebilanz (Herdt, 2000).

Die NEFA-Konzentration lag in allen Gruppen in den ersten Wochen nach der Abkalbung deutlich oberhalb des hier angegebenen Referenzbereichs (<0,6 mmol/l). Es fand also in allen Gruppen vor allem in den ersten Wochen p.p. eine starke Mobilisierung von Körperfett statt.

Auch hier lagen die NEFA-Konzentrationen von Gruppe 2 wie bei BHB signifikant unterhalb der Werte der Kontrollgruppe. Gruppe 4 zeigte tendenziell ebenfalls niedrigere Werte, allerdings war dies nicht statistisch absicherbar.

Die NEFA-Konzentrationen in Gruppe 3 hingegen lagen signifikant über denen der anderen Gruppen. Diese starke Lipomobilisation lässt sich wieder auf die geringe Futteraufnahme und die hohe Milchleistung zurückführen. Aus der hohen NEFA-Konzentration wiederum kann die hohe BHB-Konzentration erklärt werden. Bei einer vermehrten Anflutung von NEFA in der Leber kommt es zur Bildung von Ketonkörpern (Filar, 1979).

Die geringeren NEFA-Konzentrationen in der PG-Gruppe stimmen mit den Ergebnissen von Studer et al. (1993), Pickett et al. (2002), Hoedemaker et al. (2004), Butler et al. (2006), Formigioni et al. (1996) und Moallem et al. (2007) überein.

Die Verabreichung von Glycerin führte in bisherigen Versuchen zu widersprüchlichen Ergebnissen: Einen positiven Einfluss von Glycerin auf die NEFA-Konzentration gab es bei Chung et al. (2007). Keinen Effekt von Glycerin auf die Lipomobilisation stellte Ogborn (2006) fest.

In bisherigen Versuchen hatte die Verabreichung von 6 bis 100 g L-Carnitin pro Tag keine Auswirkung auf die Konzentration der freien Fettsäuren (Carlson et al., 2007, LaCount et al., 1995).

5.4.3 Bilirubin

Die Bilirubinkonzentration im Serum von Milchkühen steigt beim Vorliegen von Hepathopathien an. Ebenfalls führt die vermehrte Anflutung von NEFA in der Leber zu einer Erhöhung der Bilirubinkonzentration, da Bilirubin und NEFA um bestimmte Transportproteine konkurrieren (Fürll u. Schäfer, 1992).

In allen vier Versuchsgruppen blieben die Bilirubin-Werte unterhalb des Referenzwertes. Allerdings zeigte Gruppe 3 (Glycerin) einen signifikant höheren Wert als die Gruppen 2 und 4. Zur Kontrollgruppe war jedoch kein signifikanter Unterschied gegeben. Die Gruppen 2 und 4 hatten zwar tendenziell eine geringere Bilirubin-Konzentration im Serum, dies war jedoch nicht statistisch absicherbar.

Die höheren Werte in Gruppe 3 lassen sich durch die ebenfalls signifikant höheren NEFA-Werte erklären.

5.4.4 Cholesterin

Die Cholesterinbestimmung eignet sich sehr gut als Screening für postpartal krankheitsgefährdete Kühe (Kraft u. Dürr, 2005, Kleiser u. Füll, 1998). Die Leber stellt den Hauptsynthese- und Sekretionsort für Cholesterin dar. Schwere Hepathopathien, wie z. B. das Fettlebersyndrom, haben eine ausgeprägte Hypocholesterinämie zur Folge (Füll et al., 1981).

Auch hier lagen die Gruppenmittelwerte alle im Referenzbereich. Gruppe 2 (PG) wies einen signifikant höheren Wert auf als alle anderen Gruppen. Dies steht im Widerspruch zu den Ergebnissen von Barthmann (2002), der durch die Verfütterung von PG keinen Einfluss auf die Cholesterinkonzentration im Serum erzielte.

5.4.5 Harnstoff

Harnstoff wird in der Leber aus Ammoniak synthetisiert und kann als das entgiftete Stoffwechselprodukt der Proteinverdauung betrachtet werden (Kraft u. Dürr, 2005). Wie schon die Harnstoffgehalte der Milch lagen in dieser Untersuchung auch die Harnstoffkonzentrationen im Serum leicht unterhalb des Referenzbereichs. Gruppe 4 (Glycerin u. L-Carnitin) wies signifikant geringere Werte auf als die Kontrollgruppe und Gruppe 2 (PG). Bei den Erstkalbskühen war dies ebenfalls in Gruppe 3 der Fall.

Die geringen Werte in allen Gruppen lassen sich durch die relativ knappe Rohproteinversorgung der Kühe erklären.

5.4.6 Glutamatdehydrogenase, Aspartat-Amino-Transferase und Creatinkinase

Die GLDH ist ein leberspezifisches Enzym und wird bei Leberzellschädigungen vermehrt im Serum nachgewiesen. Aktivitätssteigerungen sind schon bei geringen Schädigungen nachweisbar (Kraft u. Dürr, 2005).

Bei Wiederkäuern sind post partum bei GLDH-Aktivitätssteigerungen klinisch relevante Leberverfettungen abzuklären (Kraft u. Dürr, 2005).

In dieser Untersuchung lagen die GLDH-Aktivitäten im Gruppenmittelwert deutlich unterhalb der Obergrenze des Referenzbereichs. Gruppe 2 zeigte eine signifikant höhere GLDH-Aktivität als alle anderen Gruppen. Da jedoch auch dieser Wert im physiologischen Bereich lag und die GLDH sehr empfindlich reagiert, ist dieser Tatsache keine weitere Bedeutung beizumessen.

Die AST findet sich in unterschiedlicher Aktivität in mehreren Organen. Hohe Aktivitäten liegen im Herz- und Skelettmuskel und in der Leber vor. Bei hohen Aktivitäten sollte zur Abgrenzung von Muskelerkrankungen immer die CK-Aktivität bestimmt werden. Sie erhöht sich bei der Zerstörung von Muskelzellen (Kraft u. Dürr, 2005).

In den vier Versuchsgruppen unterschieden sich die CK-Werte nicht voneinander. Allerdings lagen die Gruppenmittelwerte leicht oberhalb des Referenzbereichs. Dies ist auf die Aktivitätssteigerung durch die Geburt in der ersten Woche p.p zurückzuführen.

Die AST-Werte lagen in allen Gruppen zu jedem Zeitpunkt oberhalb des Referenzbereichs. Im geburtsnahen Zeitraum kam es zu einem starken Anstieg, der sich in gewissem Maße durch eine Muskelschädigung erklären lässt (CK-Anstieg zum gleichen Zeitpunkt). Die AST-Aktivität sank allerdings nur langsam wieder ab und blieb bis zum Versuchsende erhöht.

Die Tiere in Gruppe 3 wiesen signifikant höhere AST-Werte auf als die anderen Gruppen. Bei der getrennten Betrachtung von Erst- und Mehrkalbskühen zeigt sich, dass diese signifikant höheren Werte bei den Mehrkalbskühen in Gruppe 3 nicht wiederzufinden sind, bei den Erstkalbskühen dafür aber umso ausgeprägter.

Zu beachten sind hier die sehr unterschiedlichen Referenzbereiche, die in der Literatur zu finden sind. So waren in älteren Studien relativ niedrige Referenzwerte angegeben (Baumgartner, 1979: <42 U/l; Rossow et al., 1987: <70 U/l), während neueren Studien deutlich höhere Werte zu entnehmen waren (Smith, 1996: <127 U/l).

Die hier genutzten Referenzwerte von Kraft u. Dürr (2005) lassen im Vergleich dazu nur sehr niedrige AST-Aktivitäten zu (<50 U/l, 1 Woche a.p. – 1 Woche p.p. <100 U/l).

Da in dieser Untersuchung die Kühe keine hohen Leberfettgehalte aufwiesen und auch die GLDH-Aktivitäten sehr niedrig waren, erscheint es nicht als sinnvoll, die vorliegenden AST-Werte als pathologisch einzuordnen.

Prange (2001) konnte keinen Einfluss von PG auf die GLDH- und die AST-Aktivität nachweisen.

5.4.7 Calcium, Phosphat und Magnesium

Die Gesamtmittelwerte der vier Versuchsgruppen lagen innerhalb des Referenzbereichs. Zum Zeitpunkt der Geburt kam es in allen Gruppen zu einem deutlichen Abfall der Ca-Konzentration, in Gruppe 4 sogar unterhalb des Referenzbereichs. Dennoch wurden in dieser Gruppe weniger Tiere (4) aufgrund von Gebärparese behandelt. In Gruppe 2 wurden 5 Tiere behandelt, obwohl die Ca-Konzentrationen in dieser Gruppe signifikant höher waren als in den Gruppen 3 und 4.

Die Phosphat- und Magnesiumkonzentrationen im Serum waren in allen Gruppen gleich und wiesen keine Auffälligkeiten auf.

5.5 Leberanalytik

In dieser Untersuchung konnten die Ergebnisse von Ahmed (2004) und Roemer (2004) bestätigt werden. Sie stellten eine gute Korrelation zwischen den Ergebnissen des Schwimmtests und der gravimetrischen Bestimmung des Fettgehaltes fest. Das war hier gegeben (Abbildungen 35 und 36). Generell lagen die bestimmten Fettgehalte im Schwimmtest zwar etwas höher als bei der Gravimetrie, dies lässt sich aber durch die insgesamt relativ niedrigen Leberfettgehalte der Tiere und den engen Wertebereich in dieser Untersuchung erklären.

In allen vier Versuchsgruppen lag zu jeder Zeit nach der Einteilung von Herdt et al. (1983) ein normaler Leberfettgehalt vor. Die Fettgehalte wurden in der Studie folgendermaßen gegliedert:

< 13 % : normaler Fettgehalt

13-25 %: milde Leberverfettung

25-34 %: moderate Leberverfettung

> 34 %: schwere Leberverfettung

Auch wenn keine pathologischen Leberfettgehalte vorlagen, gab es signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Sowohl bei der Gesamtstichprobe als auch bei den Mehrkalbskühen waren die Gesamtmittelwerte und die Werte am Tag 21 p.p. in Gruppe 2 signifikant niedriger als in den anderen Gruppen. Eine Erklärung hierfür sind die ebenfalls in dieser Gruppe signifikant geringeren NEFA-Konzentrationen. Durch die geringere Anflutung von NEFAs war das Lebergewebe in der Lage, sie als Triglyceride verestert über das Blut aus der Leber auszuschleusen.

Dadurch, dass es nicht zu einer vermehrten Einlagerung von Triglyceriden in das Lebergewebe kam, war in Gruppe 2 auch der Triglyceridgehalt signifikant niedriger als in Gruppe 3.

Diese Ergebnisse für Gruppe 2 entsprechen denen von Studer et al. (1993) und Butler et al. (2006). Sie erzielten durch die Gabe von Propylenglykol eine Reduktion des Lebertriglycerid- und des Leberfettgehaltes.

Die Verabreichung von Glycerin und L-Carnitin hatte in dieser Untersuchung keinen positiven Einfluß auf den Leberfett- und Lebertriglyceridgehalt. In den Studien von Ogborn (2006) und

DeFrain et al. (2004) war ebenfalls kein Effekt von Glycerin auf den Leberfettgehalt nachzuweisen.

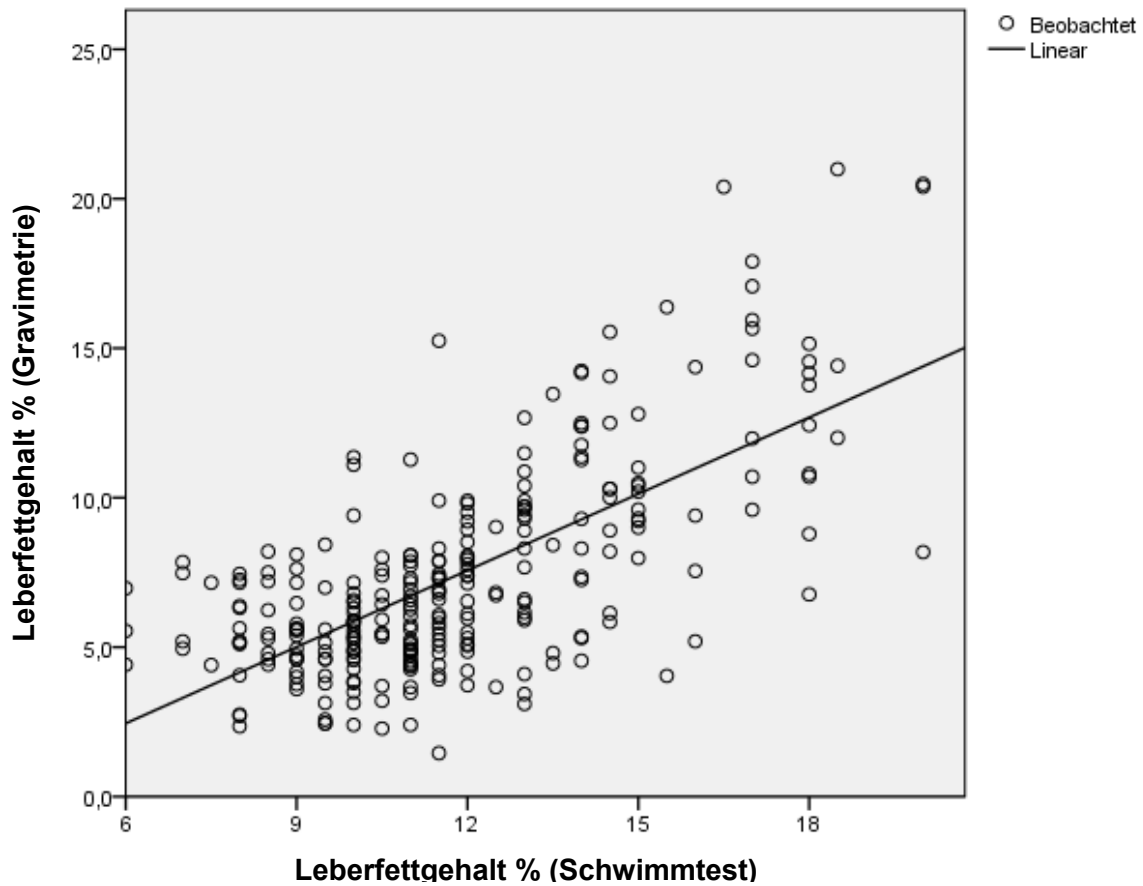


Abbildung 35: Lineare Regression zwischen Schwimmtest und Gravimetrie ($r=0,68$, $n=275$)

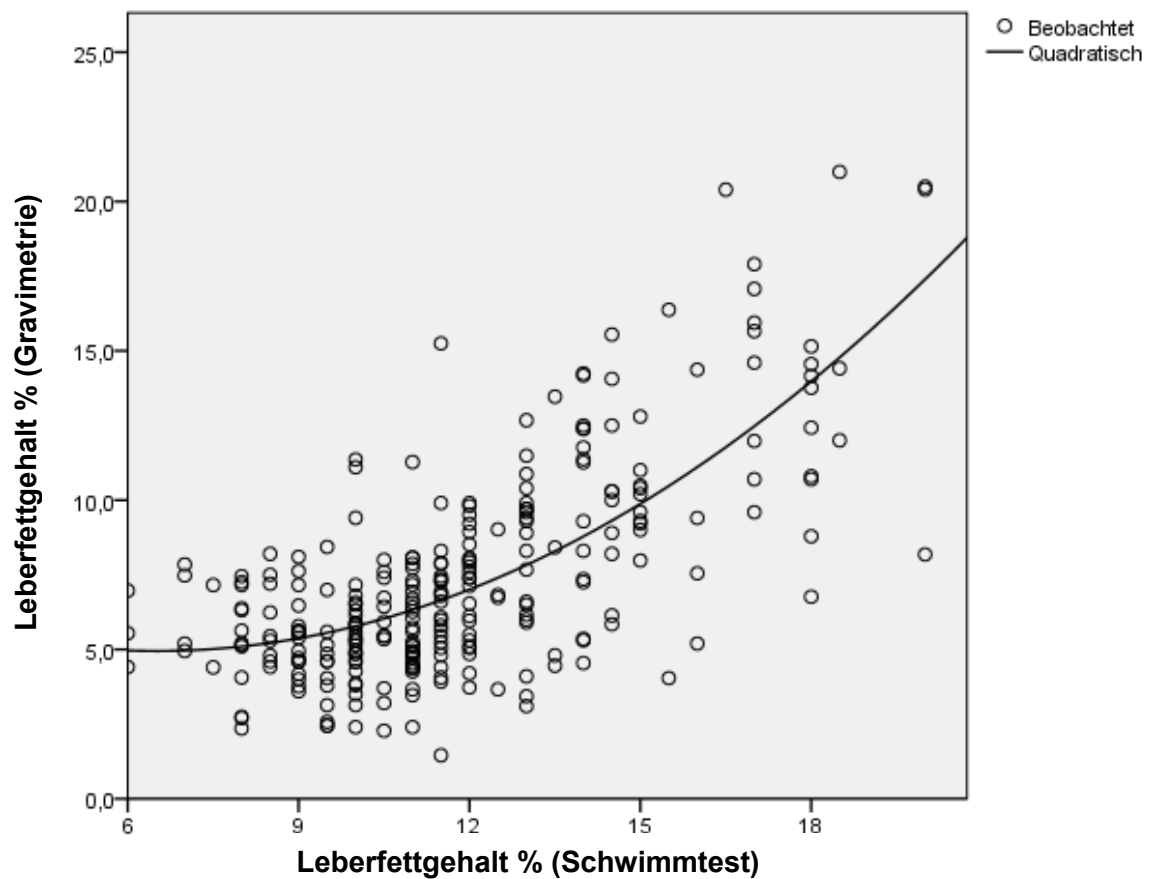


Abbildung 36: Quadratische Regression zwischen Schwimmtest und Gravimetrie ($r=0,709$, $n=275$)

Leberfettgehalte und absolute Lebertriglyceridgehalte wiesen eine sehr enge Korrelation auf (Abbildung 37).

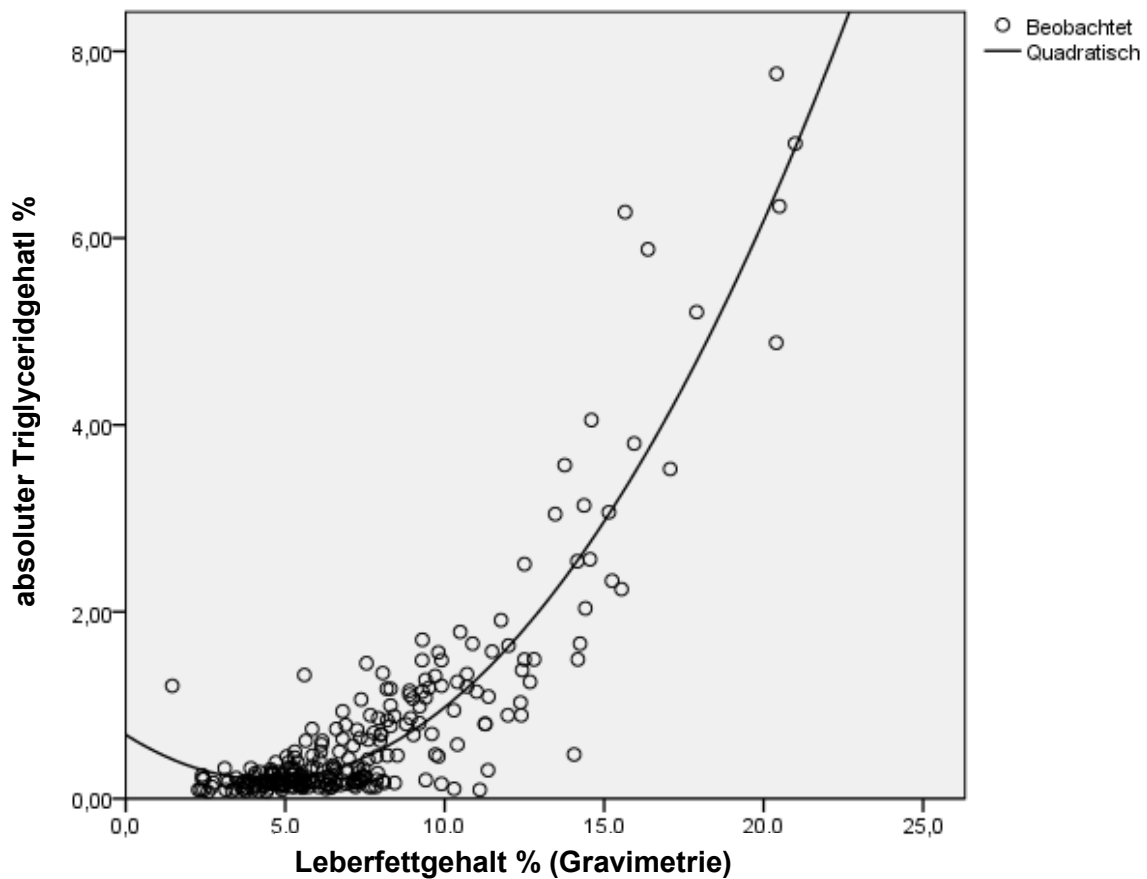


Abbildung 37: Korrelation zwischen Leberfettgehalt (%) und absolutem Lebertriglyceridgehalt (%) ($r=0,918$, $n=255$)

5.6 Harnanalytik

In allen vier Versuchsgruppen gab es hinsichtlich der zu bestimmenden Harnparameter keine bedeutsamen Unterschiede. Daraus lässt sich ableiten, dass in allen Gruppen die Bedingungen für den Säure-Basen-Haushalt gleich waren. Eine Beeinflussung der einzelnen Gruppen durch z.B. azidotische Belastungen kann somit ausgeschlossen werden.

5.7 Krankheiten

Die Erkrankungshäufigkeiten in allen vier Gruppen waren sehr hoch. Die große Anzahl der Endometritiden/Pyometren lässt sich durch die frühe rektale sonografische Untersuchung der Tiere erklären (40. Tag p.p.). Alle Tiere, bei denen zu diesem Zeitpunkt die Gebärmutter nicht absolut unauffällig war, erhielten Prostaglandin und wurden im Herdenmanagementprogramm unter diesen Diagnosen eingegeben.

5. Diskussion

Auffällig bei der Auswertung der Erkrankungen waren die Tiere in Gruppe 3. Sie hatten deutlich mehr Behandlungstage je Versuchstier und wiesen deutlich öfter Nachgeburtverhalten, Endometritiden und Klauenerkrankungen auf.

Hier bleibt die Frage offen, ob die zufällig vermehrt auftretenden Erkrankungen die Ursache für die schlechtere Stoffwechsellage in dieser Gruppe waren oder ob die schlechtere Stoffwechsellage zu einem vermehrten Auftreten von Erkrankungen führte.

6 Abschließende Diskussion

Eine abschließende Betrachtung aller Parameter führt zu dem Ergebnis, dass in dieser Untersuchung die Verabreichung von Propylenglykol die beste ketoseprophylaktische Wirkung erzielte. Die Tiere in dieser Gruppe zeigten eine bessere Futteraufnahme als die Tiere der Gruppen 1 und 3 und erreichten eine gute Milchleistung. Der signifikant niedrigere Milchfettgehalt und der ebenfalls signifikant niedrigere FEQ in Verbindung mit einem signifikant höheren Milcheiweißgehalt deuten auf eine ausgeglichene Energiebilanz hin.

Weitere Hinweise für eine gute Stoffwechselsituation ergaben sich in dieser Gruppe aus den Serumparametern. Die Konzentrationen von Ketonkörpern und freien Fettsäuren waren signifikant niedriger als in allen anderen Gruppen. In dieser Gruppe fand also keine starke Mobilisierung von Körperfett statt. Signifikant höhere Glucosekonzentrationen im Serum bestätigen die Annahme, dass PG die Gluconeogenese fördert. Durch diese sehr stabile Stoffwechselsituation kam es auch nicht zu einer vermehrten Fetteinlagerung im Lebergewebe (Lebergesamtfettgehalt und Lebertriglyceridgehalt waren in dieser Gruppe ebenfalls signifikant geringer als in allen anderen Gruppen).

Positive Auswirkungen von PG auf die Tiergesundheit waren im Vergleich zur Kontrollgruppe nicht gegeben, jedoch waren die Ergebnisse deutlich besser als in Gruppe 3 (Glycerin).

In dieser Untersuchung befanden sich die Tiere, die Glycerin erhielten, in einer sehr angespannten Stoffwechsellage. Durch die Verabreichung dieser glukoplastischen Verbindung gaben die Mehrkalbskühe zwar signifikant mehr Milch als die Kühe der Kontrollgruppe, sie nahmen aber signifikant weniger Futter auf als alle anderen Gruppen. Die geringere Futteraufnahme zeigte sich jedoch erst ab der 5. Laktationswoche, resultierte also vermutlich aus der schlechten Stoffwechsellage und dem vermehrten Auftreten von Erkrankungen. Sowohl die Milchhaltsstoffe, die Serumparameter und auch die Ergebnisse der Leberbiopsien spiegeln diese Stoffwechsellage wider, die durch den Einbruch in der Futteraufnahme noch verschlechtert wurde.

Ob das vermehrte Auftreten von Erkrankungen eine Ursache der schlechten Stoffwechsellage war oder ob die zufällig vermehrt in dieser Gruppe auftretenden Erkrankungen zu einer angespannten Stoffwechselsituation führten, ist nicht eindeutig zu klären.

Die Tiere in Gruppe 4 erhielten Glycerin und L-Carnitin und zeigten eine signifikant höhere Milchleistung und eine signifikant höhere Futteraufnahme als alle anderen Gruppen. Es gab

hinsichtlich aller weiteren Parameter keine statistisch absicherbaren bedeutenden Unterschiede zur Kontrollgruppe.

Trotz der höheren Leistung gerieten diese Tiere also nicht in eine angespanntere Stoffwechsellage. Ein Grund hierfür war sicher die bessere Futteraufnahme.

Da in dieser Untersuchung die Gabe von L-Carnitin keinen Einfluss auf den Leberfett- und den Lebertriglyceridgehalt im Vergleich zur Kontrollgruppe hatte, war eine Verbesserung der Verstoffwechslung von freien Fettsäuren in der Leber hier nicht gegeben. Zu bedenken ist allerdings, dass die Leberbelastung durch NEFAs in dieser Untersuchung nicht sehr hoch war.

Um die Effekte einer Verabreichung von Propylenglykol, Glycerin und L-Carnitin noch genauer zu untersuchen, sollten weitere Studien durchgeführt werden. Da die Effekte bei Jungkühen in dieser Untersuchung deutlich geringer waren, ist es sinnvoll, sich bei weiteren Studien auf Mehrkalbskühe zu beschränken.

Von Bedeutung wäre es, die Auswirkungen einer Kombination von Propylenglykol mit L-Carnitin im Vergleich zu der hier durchgeführten Kombination von Glycerin mit L-Carnitin zu prüfen. Eine Kontrollgruppe sollte ebenfalls vorhanden sein.

Da in angespannteren Stoffwechselsituationen mit stärkeren Auswirkungen einer Verabreichung dieser Substanzen zu rechnen ist, sollten die Versuchstiere in eine ausgeprägtere negative Energiebilanz gebracht werden.

7 Zusammenfassung

„Vergleichende Untersuchungen zu den Auswirkungen einer Verabreichung von Propylenglykol, Glycerin und L-Carnitin auf den Stoffwechsel und verschiedene Leistungsparameter von Milchkühen im Rahmen der Ketoseprophylaxe“

Das Auftreten von subklinischen Ketosen und Stoffwechselentgleisungen ist in modernen Milchviehbetrieben häufig eine Ursache für ungenügende Leistungen, hohe Erkrankungsraten und schlechte Fruchtbarkeitsergebnisse. Ziel dieser Untersuchung war es, die Auswirkungen einer Verabreichung von Propylenglykol, Glycerin und L-Carnitin auf verschiedene Leistungs- und Stoffwechselfparameter zu untersuchen.

97 Kühe und Jungkühe der Rasse Holstein Friesian wurden mindestens 5 Tage vor der Abkalbung in vier verschiedene Fütterungsgruppen eingeteilt. Alle vier Gruppen erhielten eine identische TMR. Gruppe 1 (Kontrolle) erhielt keinen Zusatz, Gruppe 2 erhielt 250 g Propylenglykol/Tier/Tag, Gruppe 3 erhielt 312,5 g Rohglycerin/Tier/Tag (entsprechend 250 g Reinglycerin/Tier/Tag) und Gruppe 4 erhielt 312,5 g Rohglycerin und 2 g L-Carnitin/Tier/Tag. Die Verabreichung erfolgte eingemischt in die TMR.

Bis zum Tag 100 p.p. wurden von jedem Tier täglich die Futteraufnahme, die Milchmenge und das Körpergewicht bestimmt. Einmal wöchentlich erfolgte die Prüfung der Milchhaltsstoffe. Blutproben wurden am Tag der Eingruppierung sowie an den Tagen 1, 3, 7, 14, 21, 28 und 56 p.p. entnommen und auf bestimmte Stoffwechselfparameter untersucht. Die Rückenfettdickenmessung und die Bestimmung des BCS fanden am Tag der Eingruppierung sowie an den Tagen 1, 14, 28, 56, 80, 100 p.p. statt. Harnproben wurden am Tag der Eingruppierung und an den Tagen 7, 21, und 56 p.p. gewonnen.

Tiergesundheitsdaten und Fruchtbarkeitskennzahlen wurden laufend ermittelt.

Die Kühe in Gruppe 2 (PG) wiesen signifikant niedrigere BHB- und NEFA-Konzentrationen im Serum auf. Die Glucosekonzentration war signifikant höher. Signifikant geringer waren ebenfalls der Fett/Eiweiß-Quotient und die Leberfett- und Lebertriglyceridgehalte.

Dagegen zeigten die Kühe in Gruppe 3 (Glycerin) signifikant höhere BHB- und NEFA-Konzentrationen. Sowohl der Fett/Eiweiß-Quotient als auch die ECM-Leistung waren signifikant höher als in den Gruppen 1 und 2. In dieser Gruppe waren die durchschnittlichen Behandlungstage und die Krankheitshäufigkeiten am höchsten.

Die signifikant höchste Milchleistung erbrachten die Tiere in Gruppe 4 (Glycerin und

7. Zusammenfassung

L-Carnitin). In dieser Gruppe war die Futteraufnahme ebenfalls signifikant größer. Trotz der höheren Leistung unterschieden sich alle weiteren Stoffwechselfparameter nicht von der Kontrollgruppe.

In dieser Untersuchung war die Verabreichung von Propylenglykol zur Ketoseprophylaxe und zur Verbesserung der gesamten Stoffwechselsituation am besten geeignet. Die Verabreichung von Glycerin und L-Carnitin führte zu einer signifikanten Leistungssteigerung ohne jedoch die Stoffwechselbelastung zu erhöhen.

8 Summary

“Examinations to investigate the effects of feeding propylene glycol, glycerin and L-carnitin on metabolism and parameters of efficiency of dairy cows concerning ketosis prevention”

The prevalence of subclinical ketosis and metabolic disorders caused by negative energy balance in many modern dairy farms often are a reason for insufficient milk yield, high rate of disease and impaired reproduction performance.

The aim of this study was to investigate the effects of feeding propylene glycol, glycerin, and L-carnitin on metabolism and milk production.

97 Holstein Friesian cows were divided into four groups, at least five days before calving. All four groups were fed with the same total-mixed-ration but with different additions. Group 1 (control) received no addition, group 2 received 250 g propylene glycol/cow/day, group 3 received 312,5 g raw glycerin/cow/day (corresponding to 250 g pure glycerin/cow/day), and group 4 received 312,5 g raw glycerin and 2 g L-carnitin/cow/day. The additions were mixed into the TMR.

Until day 100 post partum dry matter intake, milk yield and body weight were recorded daily. Milk components were checked weekly. Blood samples were collected on the day of division into the groups and on the days 1, 3, 7, 14, 21, 28 and 56 p.p. and examined for certain metabolism parameters. Determination of BCS and body-fat-thickness were taken on the day of division and on the days 1, 14, 28, 56, 80 and 100 p.p.. Urine samples were collected on the day of division and on the days 7, 21 and 56 p.p.. Liver biopsies were taken on the day of division and on the days 7 and 21 p.p..

The cows in group 2 (PG) had significant lower BHB- and NEFA-concentrations in serum. Significantly lower were as well the milk fat/protein-quotient, liver fat- and liver triyglyceride-content. In contrast to that group 3 (glycerin) showed significant higher BHB- and NEFA-concentrations. Both milk fat/protein-quotient and ECM-yield were significantly higher as in the groups 1 and 2. The cows in group 3 needed more medical treatment.

The cows in group 4 (glycerin and L-carnitin) had the significant highest milk yield. Feed intake was significantly greater in this group, too. In spite of the higher milk yield all the other determined metabolism parameters did not differ.

In this study administrating of propylene glycol had the best suitability for the prevention of ketosis and for the improvement of the whole metabolic status. The addition of glycerin and L-carnitin lead to an increased milk yield without making energy balance worse.

9 Literaturangaben

Ahmed, M. (2004)

Untersuchungen zur Diagnostik und Bedeutung der Fettleber bei klinisch kranken Milchkühen unter besonderer Berücksichtigung möglicher Beziehungen zur Hypophosphatämie.

Vet. Med. Diss., FU Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin

Baird, G. D., Hibbitt, K. G., Hunter, G. D., Lund, P., Stubbs, M., Krebs, H. A. (1968)

Biochemical aspects of bovine Ketosis.

Biochem. J., 186, 107, 683-689

Baird, G. D. (1982)

Primary ketosis in the high-producing dairy cow: clinical and subclinical disorders, treatment, prevention and outlook.

J. Dairy Sci., 65, 1-10

Bandilla, S. (2009)

Der Einfluss der Häcksellänge von Maissilage auf den Säuren-Basen-Haushalt von Milchkühen.

Vet. Med. Diss., FU Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin

Baumgartner, W. (1979)

Ein Beitrag zur Frühdiagnose von Stoffwechselerkrankungen bei Hochleistungskühen.

Dtsch. tierärztl. Wschr., 86, 333-376

Barthmann, J. (2002)

Einfluss von Propylenglycol und Huminsäuren auf klinische und klinisch-chemische Daten von Milchkühen im peripartalen Zeitraum.

Dissertation, Veterinärmedizinische Fakultät Universität Leipzig

Bertics, S.J., Grummer, R.R., Cadorniga-Valino, C., Stoddard, E. E. (1992)

Effect of prepartum dry matter intake on liver tryglyceride concentration and early lactation,

J. Dairy Sci., 75, 1914-1922

Birkenfeld, C. (2006)

Experimentelle Untersuchungen zur Wirkung von L-Carnitinsupplementierungen bei Sauen und deren Ferkeln.

Dissertation, Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg

Bogin, E. Avidar, Y., Merom, M., Soback, S., Brenner, G. (1988)

Biochemical changes associated with the fatty liver syndrome in cows.

J. Comp. Path., 98, 337-347

Borum, P. R. (1983)

Carnitine.

Ann. Rev. Nutr., 3, 233-239

Bremer, J. (1963)

Carnitine in intermediary metabolism – the biosynthesis of palmitoylcarnitine by cell subfractions.

J. Biol. Chem., 238, 2774-2779

Butler, W. R., Smith, R. D. (1989)

Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle.

J. Dairy Sci., 72, 767-783

Butler, S. T., Pelton, S. H., Butler, W. R. (2006)

Energy balance, metabolic status an the first postpartum ovarian follicle wave in cows administered propylene glycol.

J. Dairy Sci., 89, 2938-2951

Carlson, D. B., Litherland, N. B., Dann, H. M., Woodworth, J. C., Drackley, J. K. (2006)

Metabolic effects of abomasal L-carnitine infusion and feed restriction in lactating Holstein cows.

J. Dairy Sci., 89, 4819-4834

9. Literaturangaben

Carson, M., LeBlanc, S. J., Godden, S., Capel, M., Overton, M., Santos, S., Leslie, K., Duffield, T. (2008)

Serum non-esterified fatty acid and beta-hydroxybutyrate in the transition period and their associations with disease in dairy cows.

World Buiatric Congress, Budapest, Ungarn.

Carlson, D. B., McFadden, J. W., D'Angelo, A., Woodworth, J. C., Drackley, J. K. (2007)

Dietary L-carnitine affects periparturient nutrient metabolism and lactation in multiparous cows.

J. Dairy Sci., 90, 3422-3441

Chung, Y. H., Rico, D. E., Martinez, C. M., Cassidy, T. W., Noiro, V., Ames, A., Varga, G. A. (2007)

Effects of feeding dry glycerin to early postpartum Holstein dairy cows on lactational performance and metabolic profiles.

J. Dairy Sci., 90, 5682-5691

Collins, R. A., Reid, I. M. (1980)

A correlated biochemical and stereological study of periparturient fatty liver in dairy cow.

Res. Vet. Sci., 28, 373-376

Contreras, L. L., Ryan, C. M., Overton, T. R. (2004)

Effects of dry cow grouping strategy and prepartum body condition score on performance and health of transition dairy cow.

J. Dairy Sci., 87, 517-523

Dann, H. M., Lithel, J. P., Underwood, J. P., Bionaz, M., D'Angelo, A., McFadden, J. W., Drackley, J. K. (2006)

Diets during far-off and close-up dry periods affect periparturient metabolism and lactation in multiparous cows.

J. Dairy Sci., 89, 3563-3577

DeFrain, J. M., Hippen, A. R., Kalscheur, K. F., Jardon, P. W. (2004)

Feeding glycerol to transition dairy cows: effects on blood metabolites and lactation performance.

J. Dairy Sci., 87, 4195-4206

De Kruif, A., Mansfeld, R., Hoedemaker, M. (1998)

Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind.

Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

Dhiman, T. R., Cadorniga, C., Satter, L. D. (1993)

Protein and energy supplementation of high alfalfa silage diets during early lactation.

J. Dairy Sci., 76, 1945-1959

Dohoo, I. R., Martin, S. W (1984)

Subclinical ketosis: Prevalence and association with production and disease.

Can. J. comp. Med., 48, 1-5

Domecq, J. J., Skidmore, A. L., Lloyd, J., W., Kaneene, J. B. (1995)

Validation of body condition scores with ultrasound measurement of subcutaneous fat of dairy cows.

J. Dairy Sci., 78, 2308-2313

Drackley, J. K., Beitz, D. C., Young, J. W. (1991)

Regulation of in vitro palmitate oxidation in liver from dairy cows during early lactation.

J. Dairy Sci., 74, 1884-1892

Drackley, J. K., Richard, M. J., Beitz, D. C., Young, J. W. (1992)

Metabolic changes in dairy cows with ketonemia in response to feed restriction and dietary 1, 3-Butanediol

J. Dairy Sci., 75, 1622-1634

Drackley, J. K. (1999)

Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier?

J. Dairy Sci., 82, 2259-2273

Drackley, J. K. (2005)

Fütterung und Management der Milchkühe im peripartalen Zeitraum.

In: Pieper/Poppe, Tagungsbericht 2005, 9. Symposium Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen, 9-46

9. Literaturangaben

Duffield, T. F., Kelton, D. F., Leslie, K. E., Lissemore, K., Lumsden, J. H. (1997)
Use of test day milk fat and milk protein to detect subclinical ketosis in dairy cattle in Ontario.
Can. Vet. J., 38, 713-718

Duffield, T., LeBlanc, S. (2009)
Interpretation of serum metabolic parameters around the transition period.
The Southwest Nutrition and Management Conference, Arizona, USA

Edmonson A. J., Lean, I. J., Weaver, L. D., Farver, T., Webster, G. (1989)
A body condition scoring chart for holstein cows.
J. Dairy Sci., 72, 68-78

Emery, R. S., Burg, N., Brown, L.D., Blank, G. N. (1964)
Detection, occurrence and prophylactic treatment of borderline ketosis with propylene glycol
feeding.
J. Dairy Sci., 47, 1074-1079

Enemark, J.M., Jorgensen, R. J., Kristensen, N. B. (2004)
An evaluation of parameters for the detection of subclinical rumen acidosis in dairy herds.
Vet. Res. Commun., 28, 687-709

Filar, J. (1979)
Über den Gehalt an β -Hydroxybutyrat, Azezazetat und Azeton im Blut von gesunden und an
Ketose erkrankten Kühen.
Wien. Tierärztl. Mschr., 66, 377-380

Fisher, L. J., Erfle, J. D., Lodge, G. A., Sauer, F. D. (1973)
Effects of propylene glycol or glycerol supplementation of the diet of dairy cows on feed
intake, milk yield and composition, and incidence of ketosis.
Can. J. Anim. Sci., 53, 289-296

Formigioni, A., Cornil, M., Prandi, A., Mordenti, A., Rossi, A., Portetelle, D., Renaville, R.
(1996)
Effect of propylene glycol supplementation around parturition on milk yield, reproduction
performance and some hormonal and metabolic characteristics in dairy cows.
J. Dairy Res., 63, 11-24

Fronk, T. J., Schulz, L. H., Hardie, A. R. (1980)

Effect of a period of overconditioning on subsequent metabolic disorders and performance of dairy cows.

J. Dairy Sci., 63, 1080-1090

Fürll, M., Garlt, G., Lippmann, R. (1981)

Klinische Labordiagnostik.

Verlag Hirzel, Leipzig, 84

Fürll, M. (1989)

Vorkommen, Ätiologie, Pathogenese, Diagnostik und medikamentelle Beeinflussung von Leberschäden beim Rind.

Vet. Diss., Universität Leipzig

Fürll, M., Schäfer, M. (1992)

Lipolyse und Hyperbilirubinämie – ein Beitrag zur Pathogenese des Ikterus.

Mh. Vet. Med., 47, 181-186

Fürll, M., Deckert, W., Schäfer, M., Wehlitz, A. (1992)

Lipolyse und Ketogenese bei Milchkühen – Beobachtungen im Laktationsverlauf.

Mh. Vet.-Med., 47, 119-124

Fürll, M (2000)

Das Fettmobilisationssyndrom.

Großtierpraxis 1, 11, 24-34

Gaal, T., Roberts, C. J., Reid, I. M., Collins, R. A., Pike, B. V. (1983)

Comparison of biochemical and histological methods of estimating fat content of liver of dairy cows.

Res. Vet. Sci., 34, 245-248

Geishauser, T., Leslie, K., Duffield, T., Edge, V. (1997)

Evaluation of aspartate transaminase activity and beta-hydroxybutyrate concentration in blood as tests for prediction of left displaced abomasum in dairy cows.

Am. J. Vet Res., 58 (11), 1216-1220

9. Literaturangaben

Gelfert, C. C., Ahmed, M., Staufenbiel, R. (2003)

Der Leberfettgehalt bei Kühen mit unterschiedlichen Erkrankungen.

Vet. Med. Report, 27, 3

Gerloff, B. J. (2000)

Dry cow management for the prevention of ketosis and fatty liver in dairy cows.

Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract., 16, 283-292

Grant, R. J., Albright, J. L. (1995)

Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle.

J. Anim. Sci., 73, 2791-2803

Griinari, J. M., Baumann, D. E. (2006)

Milk fat depression: concepts, mechanisms and management applications.

In: K. Sejersen, T.H.a.M.O.N. (Ed.) Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism and Impact of Nutrition on gene expression, Immunology and stress.

Wageningen Acad. Publ, Wageningen, The Netherlands, 389-417

Gröhn, Y., Lindberg, L. A., Bruss, M. L., Farver, T. B. (1982)

Methodological aspects of the microscopy of bovine liver biopsies.

J. Comp. Path., 92, 567-578

Gröhn, Y., Bruss, M. L., Lindberg, L.A. (1983)

Fatty infiltration of liver in spontaneously ketotic dairy cows.

J. Dairy Sci., 66, 2320-2328

Gruber, L., Schwarz, F. J., Erdin, D., Fischer, B., Spiekens, H., Steingaß, H., Meyer, U., Chassot, A., Jilg, T., Obermaier, A., Guggenberger, T. (2004)

Vorhersage der Futtermittelaufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz.

VDLUFA-Schriftenreihe, Band 60 – Kongressband 2004, 484-504

Grummer, R. R. (1993)

Etiology of lipid-related metabolic disorders in periparturient dairy cows.

J. Dairy Sci., 76, 3882-3896

Hachenberg, S., Weinkauff, C., Hiss, S., Sauerwein, H. (2007)

Evaluation of classification modes potentially suitable to identify metabolic stress in healthy dairy cows during the peripartal period.

J. Anim. Sci., 85, 1923-1932

Harmeyer, J., Schlumbohm, C. (1997)

Die physiologische Bedeutung von L-Carnitin und Effekte von Carnitinzulagen bei Haustieren.

In: Schubert, R., Flachowsky, G., Bitsch, R., Jahreis, G.: Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier, 6. Symposium, Jena, 42-61

Harmeyer, J. (1998)

Die physiologische Rolle von L-Carnitin, Auswirkungen von Mangel und Zulagen bei Haustieren.

Aktuelle Themen der Tierernährung und Veredelungswirtschaft.

Nordwestdeutsche Verlagsgesellschaft mbH, Bremerhaven, 99-116

Harrison, R. O., Ford, S. P., Young, J. W., Conley, A. J., Freemann, A. E. (1990)

Increased milk production versus reproductive and energy status of high producing dairy cows.

J. Dairy Sci., 73, 2749-2758

Herd, T. H., Goeters, L., Liesman, J. S., Emery, R. S. (1983)

Test for estimation of bovine hepatic lipid content.

JAVMA, 182, 953-955

Herd, T. H. (1988)

Fuel homeostasis in ruminants.

Vet. Clin. North Am. Food Animal Practice, 4, 213-231

Herd, T. H. (2000)

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

Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract., 16, 215-230

9. Literaturangaben

Hoedemaker, M., Prange, D., Zerbe, H., Frank, J., Daxenberger, A., Meyer, H. H. (2004)
Peripartal propylene glycol supplementation and metabolism, animal health, fertility, and production in dairy cows.

J. Dairy Sci., 87, 2136-2145

Hünniger, F., Staufenbiel, R. (1999)

Einsatz von Propylenglykol in der Milchviehfütterung.

Der prakt. Tierarzt, 80, 694-697

Hüttmann, H. (2007)

Analyse der Futteraufnahme und der Energiebilanzmerkmale bei hochleistenden, erstlaktierenden Milchkühen.

Dissertation, CAU Kiel

Ingvartsen, K. L., Andersen, J. B. (2000)

Integration of metabolism and intake regulation: a review focusing on periparturient animals.

J. Dairy Sci., 83, 1573-1597

Jazbec, I. (1967)

Häufigkeit, Ätiologie und Therapie einer subklinischen Acetonämie in einem Rinderbestand.

Dtsch. tierärztl. Wochenschr., 74, 597-603

Johannsen, u., Fürll, M., Schäfer, M., Ehrentraut, W., Deckert, W., Geinitz, D. (1991)

Untersuchungen zum Lipidgehalt und zur Funktion der Leber von Kühen in Abhängigkeit vom Laktationsstadium.

Mh. Vet.-Med., 46, 670-674

Johnson, R. B. (1954)

The treatment of ketosis with glycerol and propylene glycol.

Cornell Vet., 44, 6-21

Kaneene, J. B., Miller, R. a., Herdt, T. H., Gardiner, J. C. (1997)

The association of of serum nonesterfied fatty acids and cholesterol, management and feeding practices with peripartum disease in dairy cows.

Prev. Vet. Med., 31, 59-72

Kaufmann, W, (1982)

Variation in der Zusammensetzung des Rohstoffes Milch unter besonderer Berücksichtigung des Harnstoffgehaltes.

Milchwissensch., 37, 6-9

Kerner, J., Froseth, J. A., Miller, E. R., Bieber, L. L. (1984)

A study of acylcarnitine content of sow's colostrum, milk and newborn piglet tissue:

Demonstration of high amounts of isovalerylcarnitine in colostrum and milk.

J. Nutr., 114, 854-861

Kijora, C., Bartelt, J., Bergner, H., Götz, K.-P., Sommer, A., Szakacs, J. (1998)

Investigation on the metabolism of glycerol in the rumen of bulls.

Arch. Tierern., 51, 341-348

Kleiser, L., Füll, M. (1998)

Screening einer Früherkennung für die Dislocatio abomasi bei Kühen.

In: M. Füll (Hrsg.): Stoffwechselbelastung, -diagnostik und -stabilisierung beim Rind.

Akademie für tierärztl. Fortbildung, Leipzig, 95-104

Klindworth, H. P. (2000)

Ovulationssynchronisation in hochleistenden Milchviehherden.

Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

Kraft, W. und Dürr, U. M. (2005)

Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin.

6. Auflage, Schattauer Verlag, Stuttgart

Kristensen, N. B., Raun, B. M. L. (2007)

Ruminal and intermediary metabolism of Propylene glycol in lactating holstein cows.

J. Dairy Sci., 90, 4707-4717

Kümel-Möllering, M., Rossow, N. (1994)

Einsatz von Daten der Milchleistungsprüfung zur indirekten Beurteilung der Stoffwechselsituation von Milchkühen.

Monatsh. Vet. Med., 49, 115-119

9. Literaturangaben

LaCount, D. W., Drackley, J. K., Weigel, D. J. (1995)

Responses of dairy cows during early lactation to ruminal or abomasal administration of L-carnitine.

J. Dairy Sci., 78, 1824-1836

LaCount, D. W., Ruppert, L. D., Drackley, J. K. (1996)

Ruminal degradation and dose response of dairy cows to dietary L-carnitine.

J. Dairy Sci., 79, 260-69

LeBlanc, S. J., Leslie, K. E., Duffield, T. F. (2005)

Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle.

J. Dairy Sci. 88(1), 159-170

Löffler, G., Petrides, P. (1998)

Biochemie und Pathobiochemie

Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York

Miettinen, P. V. A. (1993)

Propylene glycol in prevention of bovine ketosis.

Acta Vet. Scand. (Suppl.), 89, 135-136

Moallem, U., Katz, M., Arieli, A., Lehrer, H. (2007)

Effects of peripartum propylene glycol or fats differing in fatty acid profiles on feed intake, production, and plasma metabolites in dairy cows.

J. Dairy Sci., 90, 3846-3856

Miyoshi, S., Pate, J. L., Palmquist, D. L. (2001)

Effects of propylene glycol drenching on energy balance, plasma glucose, plasma insulin, ovarion function and conception in dairy cows.

Anim. Reprod. Sci., 68, 29-43

Nielen, M., Aarts, M. G. A., Jonkers, A. G. M., Wensing, T., Schukken, Y. H. (1994)

Evaluation of two cowside test for the detection of subclinical ketosis in dairy cows.

Can. Vet. J., 35, 229-232

Nielsen, N. I., Ingvarsen, K. L. (2004)

Propylene glycol for dairy cows. A review of the metabolism of propylene glycol and its effects on physiological parameters, feed intake, milk production and risk of ketosis.

Anim. Feed. Sci. Technol., 115, 191-213

Ogborn, K. (2006)

Effects of method of delivery of glycerol on performance and metabolism of dairy cows during the transition period.

Thesis, Cornell University

Pickett, M. M., Piepenbrink, M. S., Overton, T. R. (2003)

Effect of propylene glycol or fat drench on plasma metabolites, liver composition, and production of dairy cows during the periparturient period.

J. Dairy Sci., 86, 2113-2121

Prange, D. (2001)

Einfluss einer Zufütterung von Propylenglykol im peripartalen Zeitraum auf Tier- und Stoffwechselgesundheit sowie Reproduktions- und Milchleistung bei hochleistenden Milchkühen.

Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

Quiroz-Rocha, G. F., LeBlanc, S. J., Duffield, T. F., Wood, D., Leslie, K. E., Jacobs, R. M. (2009)

Reference limits for biochemical and hematological analytes of dairy cows one week before and one week after parturition.

Can. Vet J. 50(4), 383-388

Rajala-Schultz, P. J., Grohn, Y. T., McCulloch, C. E. (1999)

Effects of milk fever, ketosis and lameness on milk yield in dairy cows.

J. Dairy. Sci., 82, 288-294

Rizos, D., Kenny, D. A., Griffin, W., Quinn, K. M., Duffy, P., Mulligan, F. J., Roche, J. F., Boland, M. P., Lonergan, P. (2008)

The effect of feeding propylene glycol to dairy cows during the early postpartum period on follicular dynamics and on metabolic parameters related to fertility.

Theriogenology, 69, 688-699

9. Literaturangaben

Roemer, S. H. H. (2004)

Anwendung der Leberbiopsie und der Leberfettbestimmung in der Gesundheitsüberwachung von Milchviehherden.

Dissertation, Freie Universität Berlin

Rossow, N., Staufenbiel, R. (1983)

Störung des Lipidstoffwechsels bei der Milchkuh unter besonderer Berücksichtigung der Lipolyse.

Mh. Vet. Med., 38, 404-408

Rossow, N., Jacobi, U., Schäfer, M., Lippmann, R., Furcht, G., Slanina, L., Vrzgula, L., Ehrentraut, W. (1987)

Stoffwechselüberwachungen bei Haustieren – Probleme, Hinweise, Referenzwerte.

Tierhygiene Information, Eberswalde-Finow

Rossow, N., Ehrentraut, W., Furcht, G. (1989)

Stoffwechselüberwachung bei landwirtschaftlichen Nutztieren – Stand und Perspektiven in der DDR.

Mh. Vet. Med., 44, 145-148

Rossow, N., Staufenbiel, B., Jacobi, U. (1990)

Die Nutzung von Milchinhaltstoffen für die Stoffwechselüberwachung bei Milchkühen.

Mh. Vet. Med., 45, 686-690

Rossow, N., Bolduan, G. (1994)

Stoffwechselstörungen bei Haustieren

Gustav Fischer Verlag, Jena-Stuttgart

Rukkasmuk, T. (1999)

Negative energy balance in postparturient dairy cows: consequences and adaptations.

Ph.D. Thesis, Utrecht University

Russel, A. J. F., Wright, I. A. (1983)

The use of blood metabolites in the determination of energy status in beef cows.

Anim. Prod., 37, 335-343

Sachs, M. (1987)

Fütterungsprophylaxe von Stoffwechselstörungen bei Hochleistungskühen.

Prakt. Tierarzt, 68, CVXVIII, 68-70

Schröder, U. (2000)

Untersuchung zu Konditionsbeurteilung mittels ultrasosografischer Messung der Rückenfettdicke als Grundlage zur Anwendung in der Bestandsbetreuung von Milchviehherden.

Dissertation, Freie Universität Berlin

Schröder, U. J., Staufenbiel, R. (2006)

Invited Review: Methods to determine body fat reserves in the dairy cow with special regard to ultrasosographic measurement of backfat thickness.

J. Dairy Sci., 89, 1-14

Smith, J. A. (1996)

Liver function parameters in high-producing postpartum dairy cows.

American College of Veterinary Internal Medicine, Proceedings of the Fifth Annual Veterinary Medical Forum, 405-408

Spiekers, H., Menke, A., Grünwald, K.-H. (2004)

Untersuchungen zur energetischen Bewertung von Mischfutter mit Propylenglykol.

116. VDLUFA-Schriftenreihe, 60, 353-358

Staufenbiel, R., Lügner, D., Lügner, E., Dargel, D., Rossow, N. (1991)

Zur Beurteilung des Leberfettgehalts bei der Milchkuh.

Mh. Vet. Med., 46, 798-805

Staufenbiel, R., Staufenbiel, B., Rossow, N., Klukas, H., Johannsen, U. (1993)

Diagnostik der Leberverfettung bei der Milchkuh.

Dtsch. tierärztl. Wochenschr., 100, 225-230

Staufenbiel, R. (1997)

Konditionsbeurteilung von Milchkühen mit Hilfe der sonografischen Rückenfettdickenmessung.

Prakt. Tierarzt, 27, 87-92

9. Literaturangaben

Staufenbiel, R. (2001)

Erste Ergebnisse der Stoffwechselüberwachung von deutschen Hochleistungsherden in Großbetrieben aus Sicht zweier Forschungsaufenthalte in den USA und Kanada.

In: Pieper/Poppe, Tagungsbericht 5. Symposium: Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen, 50-90

Staufenbiel, R., Schröder, U. J. (2005)

Invited review: Methods to determine body fat reserves in the dairy cow with special regard to ultrasonographic measurement of backfat thickness.

J. Dairy Sci., 89, 1-14

Stöber, M., Dirksen, G. (1982)

Das Lipomobilisationssyndrom (Verfettungssyndrom) der Milchkuh.

Prakt. Tierarzt, 63, Colleg. Vet., 79-88

Stöber, M. (2002)

Ketose, Lipomobilisationssyndrom

Innere Medizin und Chirurgie des Rindes , 4. Auflage (Hrsg.: G. Dierksen, H.-D. Gründer, M. Stöber)

Paul Parey Verlag, Hamburg Berlin, 655

Studer, V.A., Grummer, R. R., Bertics, S. J., Reynolds, C. K. (1993)

Effect of prepartum propylene glycol administration on periparturient fatty liver in dairy cows.

J. Dairy Sci., 76, 2931-2939

Südekum, K.-H., Schröder, A. (1999)

Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants.

Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress.

Südekum, K.-H., Schröder, A. (2002)

Einfluss der Reinheit und Konzentration von Glycerin auf die Energiegehalte von Glycerin und die Nährstoffverdaulichkeiten gemischter Rationen für Wiederkäuer.

UFOP-Schriften 17, 37-50

Toth, L. P., Csendes, P., Gaal, T. (1989)

Untersuchung und Bedeutung der Ketonurie bei laktierenden Kühen.

Dtsch. tierärztl. Wochenschr., 96, 10-14

Trabue, S., Scoggin, K., Tjandrakusuma, S., Rasmussen, M. A., Reilly, P. J. (2007)
Ruminal fermentation of propylene glycol and glycerol.
J. Agric. Food Chem., 55, 7043-7051

Van den Top, A. M., Wensing, T., Geleen, M. J. H., Wentink, G. H., Van'T Klooster, A. T.,
Beynen, A. C. (1996)
Higher postpartum hepatic triacylglycerol concentration in dairy cows with free rather than
restricted access to feed during the dry period are associated with lower activities of hepatic
glycerolphosphate acyltransferase.
J. Nutr., 12, 76-85

Van Saun, R. J. (2004)
Metabolic profiling and health risk in transition cows.
Proceedings of American Association of Bovine Practitioners. 37, 212-213

Vaz, F. M., Wanders, R. J. A. (2002)
Carnitine biosynthesis in mammals.
Biochem. J., 361, 417-429

Veenhuizen, J. J., Drackley, J. K., Richard, M.J., Sanderson, T. P., Miller, L. D., Young, J. W.
(1991)
Metabolic changes in blood and liver during development and early treatment of
experimentally fatty liver and ketosis in cows.
J. Dairy Sci., 74, 4238-4253

Walsh, R. B., Walton, J. S., Kelton, D. F., LeBlanc, S. J., Leslie, K. E., Duffield, T. F. (2007)
The effect of subclinical ketosis in early lactation on reproductive performance of postpartum
dairy cows.
J. Dairy Sci., 90, 2788-2796

West, H. J. (1990)
Effect on liver function and acetonaemia and the fat cow syndrome in cattle.
Res. Vet. Sci., 48, 221-227

10 Anhang

Tabelle 126: Eckparameter der Futterrationen

Versuchszeitraum		1.10.-11.11.2007			12.11.07-23.01.2008		
		1	2	3 und 4	1	2	3 und 4
Versuchsgruppe							
XP	g/kg TM	158	156	156	159	157	157
nXP	g/kg TM	159	157	157	159	157	157
UDP	%	27	27	27	27	27	27
RNB	g	-2	-4	-4	1	1	1
XF	g/kg TM	163	161	161	166	164	163
strukt.XF	%	10,5	10,4	10,3	10,7	10,6	10,6
SW	je kg TM	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
ADF	g/kg TM	177	175	175	176	174	174
NDF	g/kg TM	336	332	331	337	333	333
Zucker	g/kg TM	69	68	68	69	68	68
Stärke	g/kg TM	239	236	236	228	225	225
Zucker+Stärke	%	30,8	30,5	30,5	29,7	29,4	29,3
NFC	%	40,2	40,9	40,9	40	40,6	40,6
beständige Stärke	%	2,4	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3
XL	%	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3
NEL	MJ/kg TM	7,0	7,0	7,0	6,9	7,0	6,9

Tabelle 127: Eckparameter der Futterrationen

Versuchszeitraum		24.1.-18.03.2008			19.3.-22.04.2008		
		1	2	3 und 4	1	2	3 und 4
Versuchsgruppe							
XP	g/kg TM	159	158	158	159	158	158
nXP	g/kg TM	158	156	156	160	158	158
UDP	%	27	27	27	27	27	27
RNB	g	6	6	6	-1	-1	-1
XF	g/kg TM	170	168	167	161	160	160
strukt.XF	%	11	10,9	10,9	10,4	10,3	10,3
SW	je kg TM	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
ADF	g/kg TM	187	185	185	176	174	173
NDF	g/kg TM	352	348	348	336	332	331
Zucker	g/kg TM	69	68	68	69	68	68
Stärke	g/kg TM	237	234	234	245	242	242
Zucker+Stärke	%	30,6	30,3	30,2	31,4	31,1	31
NFC	%	38,5	39,2	39,2	40,2	40,8	40,8
beständige Stärke	%	2,4	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4
XL	%	3,1	3,1	3,1	3,3	3,2	3,2
NEL	MJ/kg TM	6,9	6,9	6,9	7,0	7,0	7,0

Tabelle 128: Eckparameter der Futterrationen

Versuchszeitraum		23.-29.04.2009			30.4.-21.07.2008		
Versuchsgruppe		1	2	3 und 4	1	2	3 und 4
XP	g/kg TM	158	156	156	148	146	146
nXP	g/kg TM	159	157	157	153	152	151
UDP	%	27	27	27	28	28	28
RNB	g	-4	-4	-4	-19	-19	-19
XF	g/kg TM	163	161	161	173	171	171
strukt.XF	%	10,5	10,4	10,3	11,4	11,3	11,3
SW	je kg TM	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4
ADF	g/kg TM	177	175	175	189	187	186
NDF	g/kg TM	336	332	331	360	356	356
Zucker	g/kg TM	69	68	68	75	74	74
Stärke	g/kg TM	239	236	236	239	236	236
Zucker+Stärke	%	30,8	30,5	30,4	31,4	31	31
NFC	%	40,2	40,9	40,9	39,1	39,8	39,8
beständige Stärke	%	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
XL	%	3,2	3,2	3,1	2,9	2,9	2,9
NEL	MJ/kg TM	7,0	7,0	7,0	6,7	6,8	6,7

Tabelle 129: Eckparameter der Futterrationen

Versuchszeitraum		22.7.-19.08.2008			20.8.-31.09.08		
Versuchsgruppe		1	2	3 und 4	1	2	3 und 4
XP	g/kg TM	144	142	142	162	161	160
nXP	g/kg TM	157	155	155	158	156	156
UDP	%	28	28	28	26	26	26
RNB	g	-46	-46	-46	16	16	16
XF	g/kg TM	159	157	157	164	162	162
strukt.XF	%	10,1	10	10	11,1	11	11
SW	je kg TM	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4
ADF	g/kg TM	170	168	168	185	183	183
NDF	g/kg TM	329	325	325	356	352	352
Zucker	g/kg TM	86	85	85	98	97	97
Stärke	g/kg TM	239	236	236	186	184	184
Zucker+Stärke	%	32,5	32,2	32,1	28,4	28,1	28,1
NFC	%	42,9	43,5	43,5	38,3	38,9	38,9
beständige Stärke	%	2,4	2,4	2,4	1,5	1,5	1,5
XL	%	3	3	2,9	2,7	2,7	2,7
NEL	MJ/kg TM	7,0	7,0	7,0	6,9	6,9	6,9

11 Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Staufenbiel für die freundliche Überlassung des Themas und seine jederzeit gewährte Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit bedanken.

Ein weiterer großer Dank gilt Frau Dr. Mahlkow-Nerge von der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein für die unermüdliche Hilfe bei der Probennahme und die Beratung bei Problemen jeder Art.

Ebenfalls Unterstützung bei der Arbeit mit meinen Versuchskühen fand ich in Futterkamp bei allen Mitarbeitern des Kuhstalls, vor allem bei Bernd Siewers, Hans-Peter Westphal, Markus Schweigmann und Andreas Petersen. Danken möchte ich auch den Azubis (vor allem Ulrike) in diesem Jahr, die das aufwändige Füttern so genau ausgeführt haben.

Für die Hilfe bei allen Laborarbeiten und das Überstehen der Zeit in Berlin möchte ich mich ganz besonders herzlich bei Frau Waberowski bedanken.

Ohne meine wunderbaren Eltern wäre diese Arbeit sicher nicht zustande gekommen. Sie haben mich immer wieder motiviert und sowohl seelisch als auch finanziell unterstützt. Danke, dass Ihr immer für mich da seid!

Und last but not least danke ich allen 97 Kühen aus Futterkamp, die alles so geduldig über sich ergehen ließen.

12 Selbstständigkeitserklärung

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

Inke Malchau

Berlin, den 19.09.2010