

**Aus dem Institut für Veterinär-Physiologie
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin**

**Parameter des Energiestoffwechsels, Milchleistung, Fruchtbarkeit und Tiergesundheit
in einer konventionellen Milchviehherde**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doctor medicinae veterinariae
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Sören Wilke
Tierarzt aus Steinheim

Berlin 2011

Journal-Nr.: 3487

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Leo Brunberg
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. H. Martens
Zweiter Gutachter: PD. Dr. C. Gabler
Dritter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. W. Heuwieser

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

cattle, dairy cows, energy balance, milk yield, fertility, animal health,
postpartum period, body condition, energy metabolism

Tage der Promotion: 09.12.2011

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

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

ISBN: 978-3-86387-214-4

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.

Coverbild vorne © focus finder - Fotolia.com

Alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2012 Choriner Str. 85 - 10119 Berlin

verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Für Gabi und Matthias

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Die Milchkuh in der Transitperiode	3
2.2	Die negative Nettoenergiebilanz	4
2.2.1	Bestimmung der Energiebilanz der Milchkuh	5
2.2.1.1	Die Messung der Rückenfettdicke per Ultraschall	5
2.2.1.2	Die Bestimmung metabolischer Blutparameter unter besonderer Berücksichtigung von NEFA und BHBS	5
2.2.1.3	Weitere Methoden zur Bestimmung der Energiebilanz	6
2.2.2	Ursachen der NEB	7
2.2.2.1	Energiebedarf des Foetus	7
2.2.2.2	Energiebedarf der Laktation	7
2.2.2.3	Reduktion der Futteraufnahme	8
2.2.3	Folgen der NEB	8
2.2.4	NEB und Erkrankungen	9
2.2.4.1	Fettleber	10
2.2.4.2	Ketose	10
2.2.4.3	Insulinresistenz	11
2.2.4.4	Labmagenverlagerung	12
2.2.4.5	Andere Erkrankungen	13
2.2.5	Negative Nettoenergiebilanz und Fruchtbarkeit	13
2.2.5.1	Physiologie der Fruchtbarkeit	14
2.2.5.2	Pathophysiologie der Fruchtbarkeit	17
2.2.5.3	Einfluss der negativen Energiebilanz auf die Fruchtbarkeit	18
2.2.6	Negative Nettoenergiebilanz und Milchleistung	22
2.3	Einfluss der Genetik auf die negative Nettoenergiebilanz	24
2.3.1	Genetisches Potential zu niedriger Mobilisation bei hoher Milchleistung	24
2.4	Ziel der Arbeit und Zusammenstellung von wichtiger Literatur	25
3	Material und Methoden	27
3.1	Versuchstiere	27
3.2	Versuchsgestaltung	27
3.3	Fütterung der Versuchstiere	28
3.4	Messung der Rückenfettdicke	33
3.5	Blutprobenentnahme	33
3.6	Analyse der Serumproben	33
3.7	Bestimmung der Milchmenge	33
3.8	Ermittlung der Krankheitsdaten	34
3.9	Fruchtbarkeitskennzahlen	34
3.10	Statistische Auswertung	34

4	Ergebnisse	36
4.1	Entwicklung der Rückenfettdicke bei allen Kühen und Färsen	36
4.1.1	Entwicklung der Rückenfettdicke bei allen Kühen.....	36
4.1.2	Entwicklung der Rückenfettdicke bei allen Färsen.....	38
4.2	Milchleistung aller Kühe und Färsen im Versuchszeitraum	40
4.2.1	Milchleistung aller Kühe.....	40
4.2.2	Milchleistung aller Färsen.....	41
4.3	Blutparameter aller Kühe und Färsen.....	42
4.3.1	NEFA	42
4.3.1.1	NEFA-Konzentration aller Kühe.....	42
4.3.1.2	NEFA-Konzentration aller Färsen	44
4.3.2	BHBS	45
4.3.2.1	BHBS-Konzentration aller Kühe	45
4.3.2.2	BHBS-Konzentration aller Färsen.....	46
4.4	Fruchtbarkeitsparameter aller Tiere	48
4.5	Erkrankungen aller Tiere.....	49
4.5.1	Labmagenverlagerung.....	49
4.5.2	Nachgeburtshaltung	50
4.5.3	Mastitis.....	50
4.5.4	Hypocalcämie.....	50
4.6	Aufteilung der Kühe in Gruppen nach der Mobilisation.....	51
4.6.1	Entwicklung der Rückenfettdicke in den einzelnen Gruppen.....	51
4.6.2	Milchleistung der einzelnen Gruppen.....	54
4.6.3	Blutparameter der einzelnen Gruppen.....	57
4.6.3.1	NEFA	57
4.6.3.2	BHBS	58
4.6.4	Fruchtbarkeitskennzahlen der einzelnen Gruppen.....	59
4.6.5	Erkrankungen der einzelnen Gruppen	61
4.7	Aufteilung der Kühe in Gruppen nach Mobilisation und Milchleistung.....	63
4.7.1	Entwicklung der Rückenfettdicke in den einzelnen Gruppen.....	63
4.7.2	Milchleistung der verschiedenen Gruppen.....	66
4.7.3	Blutparameter der verschiedenen Gruppen	68
4.7.3.1	NEFA	68
4.7.3.2	BHBS	69
4.7.4	Fruchtbarkeitskennzahlen der verschiedenen Gruppen.....	69
4.7.5	Erkrankungsraten der verschiedenen Gruppen	72
5	Diskussion.....	74
5.1	Die negative Energiebilanz der Milchkuh.....	74
5.2	Die Entwicklung der Rückenfettdicke als Indikator der NEB.....	75
5.3	Wechselwirkungen zwischen Milchleistung und NEB	76
5.4	Die Entwicklung der Blutparameter NEFA und BHBS als Ausdruck des Stoffwechselstatus während der negativen Energiebilanz.....	80
5.4.1	NEFA	80

5.4.2	BHBS	81
5.5	Wechselwirkungen zwischen NEB und Fruchtbarkeit.....	82
5.6	Wechselwirkungen zwischen NEB und Tiergesundheit.....	84
5.7	Die genetische Selektion auf höhere Milchleistung als Ursache der stark ausgeprägten NEB und die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion und das Wohlbefinden der Tiere.....	85
5.8	Züchterische Optionen zur zukünftigen Verbesserung der Energiebilanz.....	87
6	Zusammenfassung	88
7	Summary	90
8	Abbildungsverzeichnis.....	92
9	Tabellenverzeichnis.....	95
10	Literaturverzeichnis.....	96
11	Danksagung	112
12	Selbständigkeitserklärung	114

Abkürzungsverzeichnis

ADF	Acid Detergent Fiber [englisch]; Säure-Detergenzien-Faser
ADR	Arbeitsgemeinschaft deutscher Rinderzüchter e. V.
a.p.	ante partum [lat.]; vor der Abkalbung
BCS	Body Condition Score
BHBS	β -Hydroxybuttersäure
BHV	bovines Herpesvirus
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa [lat.]; ungefähr
Ca	chemisches Symbol für Calcium
Cl	chemisches Symbol für Chlorid
CO ₂	chemisches Symbol für Kohlendioxid
d	day [englisch]; Tag
DCAB	dietary cation anion balance [englisch]; Kationen-Anionen Bilanz
DMI	Dry Matter Intake [englisch]; Trockensubstanzaufnahme
et al.	et alii [lat.]; und andere
etc.	et cetera [lat.]; und so weiter
Fa.	Firma
FCM	Fat Corrected Milk
FSH	Follikel-stimulierendes Hormon
g	Gramm, Maßeinheit
GH	Growth Hormon
GnRH	Gonadotropin Releasing Hormon
HVL	Hypophysenvorderlappen
IGF	Insulin-like Growth Factor
K	chemisches Symbol für Kalium
kg	Kilogramm, Maßeinheit
l	Liter, Maßeinheit
LH	luteinisierendes Hormon
ME	metabolizable Energy [englisch]; umsetzbare Energie
Meq	Milliequivalent, Maßeinheit
Mg	chemisches Symbol für Magnesium
mg	Milligramm, Maßeinheit
MHz	Megahertz, Einheit
MJ	Megajoule, Einheit
ml	Milliliter, Maßeinheit
mm	Millimeter, Maßeinheit
mmol	Millimol, Maßeinheit
μ mol	Micromol, Maßeinheit
Na	chemisches Symbol für Natrium
NEB	negative Energiebilanz
NEFA	non-esterified fatty acids [englisch]; nicht-veresterte Fettsäuren

NEL	Netto-Energie-Laktation
P	chemisches Symbol für Phosphat
p.p.	post partum [lat.]; nach der Abkalbung
RFD	Rückenfettdicke
S	chemisches Symbol für Schwefel
TAG	Triacylglycerid
TMR	totale Mischration
U/min	Umdrehungen pro Minute
VLDL	Very Low Density Lipoprotein
z.B.	zum Beispiel
ZTZ	Zwischentragezeit

1 Einleitung

In Westeuropa und Nordamerika ist die Milchleistung pro Kuh in den letzten Jahrzehnten gestiegen. Während die Milchleistung 1953/54 pro Kuh und Jahr in Deutschland 2934 kg betrug, lag die durchschnittliche Jahresleistung 2009 bei 7134 kg (Land- und Hauswirtschaftlicher Auswertungs- und Informationsdienst, 1966; ADR, 2009). Hierfür zeichnet sich, neben einer Optimierung der Fütterung und einer Rationalisierung der Haltung, vor allem die intensive genetische Selektion von Tieren mit hoher Milchleistung verantwortlich. Mit der Steigerung der Milchleistung ging eine Abnahme der Tiergesundheit, der Fruchtbarkeit und der Nutzungsdauer der Tiere einher (Martens, Stumpff *et al.*, 2006). Die Verbindung zwischen der Milchleistung und der Tiergesundheit und der Fruchtbarkeit liegt in der Energiebilanz (Schwerin, 2009). Diese ist durch die stark gestiegene Milchleistung in der Früh lactation bei Kühen mit einem hohen genetischen Potential zu hohen Milchleistungen stärker negativ (Chagas, Lucy *et al.*, 2009). Dies hat vielfältige negative Auswirkungen auf die Tiergesundheit und die Fruchtbarkeit.

Die Energiebilanz der früh lactierenden Milchkuh setzt sich aus der Energieaufnahme über das Futter und dem Energiebedarf für die Erhaltung und die Leistung zusammen (Grummer und Rastani, 2003). Die hohe Milchleistung in den ersten Wochen der Laktation bei der modernen Hochleistungskuh lässt den Bedarf an Energie in diesem Zeitraum stark ansteigen, so dass die Energiebilanz stark negativ wird. Zudem ist die Futteraufnahme in dieser Zeit auf physiologische Weise reduziert. In dieser Phase der negativen Energiebilanz nutzt die Milchkuh körpereigene Energiereserven um den Energiebedarf zu decken. Hierbei spielt vor allem das Fettgewebe eine herausragende Rolle (Bauman und Currie, 1980).

Im Bereich der Tiergesundheit ist eine stark ausgeprägte negative Energiebilanz vor allem Ursache für stoffwechselassoziierte Krankheiten wie Ketose oder Fettleber (Herdt, 2000), aber auch nicht-stoffwechselassoziierte Krankheiten werden durch die negative Energiebilanz über eine Schwächung des Immunsystems gefördert. Hiermit geht eine starke Beeinträchtigung des Wohlbefindens der Tiere einher.

Die Fruchtbarkeit wird durch eine stark negative Energiebilanz auf vielfältige Weise in den physiologischen Abläufen gestört (Kanitz, Becker *et al.*, 2003), was zu einer Verschlechterung der Fruchtbarkeitsparameter führt und damit die Wirtschaftlichkeit der Milchkuhhaltung herabsetzt.

In der vorliegenden Studie wurden die Stärke und die Dauer der negativen Energiebilanz in einer konventionellen Milchviehherde ermittelt. Dabei wurden 341 Tiere in den Versuch einbezogen. Die Entwicklung der Körperkondition wurde mittels regelmäßiger Rückenfettdickenmessung ermittelt. Außerdem wurden die Blutkonzentrationen der Stoffwechselparameter Non-esterified fatty acids und β -Hydroxybutyrat zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmt. Die Wechselwirkungen einer unterschiedlich stark ausgeprägten negativen Energiebilanz mit der Milchleistung, der Tiergesundheit und der Fruchtbarkeit

wurden ermittelt. Zudem wurde versucht, eine Gruppe von Tieren zu finden, die in der Lage ist, eine hohe Milchleistung mit einer nur mäßig ausgeprägten negativen Energiebilanz zu verbinden. Hier könnte ein genetisches Potential liegen, dass für die zukünftige züchterische Selektion von Nutzen sein könnte, um eine hohe Milchleistung in Verbindung mit einer zufriedenstellenden Tiergesundheit und Fruchtbarkeit zu ermöglichen. Dies würde sowohl die Wirtschaftlichkeit der Milchkuhhaltung erhöhen als auch das Wohlbefinden der Tiere verbessern.

2 Literaturübersicht

2.1 Die Milchkuh in der Transitperiode

Die Transitperiode ist der Zeitraum drei Wochen vor bis drei Wochen nach der Abkalbung (Grummer, 1995; Drackley, 1999).

Für die Milchkuh ist, wie für alle anderen Säugetiere auch, die Trächtigkeit und die Laktation ein Abschnitt mit vielfältigen Veränderungen für den Stoffwechsel. Die Trächtigkeit, die verminderte Futteraufnahme in der letzten Phase der Gestation, die einsetzende Laktogenese und die Abkalbung machen die Transitperiode zu einer besonderen Belastung für die Tiere (Grummer, 1995). In dieser Situation mit vielfältigen Veränderungen muss bei der Hochleistungsmilchkuh zudem die Wiederaufnahme des ovariellen Zyklus stattfinden, um eine möglichst kurze Zwischentragezeit zu ermöglichen (Kanitz, Becker *et al.*, 2003).

Bauman und Currie (1980) entwickelten das Modell der homeorhetischen Kontrolle des Stoffwechsels. Demnach kommt es mit dem Einsetzen der Laktation zur Umstellung des Stoffwechsels von Homeostase auf Homeorhese (Bauman und Currie, 1980). Homeostatische Kontrolle bedeutet, dass der Organismus ein physiologisches Gleichgewicht in der individuellen Entwicklung anstrebt und versucht, alle Organsysteme ihren Bedürfnissen entsprechend adäquat mit Nährstoffen zu versorgen. Demgegenüber findet bei der homeorhetischen Kontrolle eine Fixierung auf die Bedürfnisse einer einzelnen, besonderen physiologischen Aufgabe, in diesem Fall die Reproduktion, statt. Hintergrund des homeorhetischen Modells ist es, dass das Tier eine genetische Veranlagung hat, wichtige biologische Funktionen zu bevorzugen (Roche, Friggens *et al.*, 2009). Bei dem tragenden bzw. laktierenden Muttertier bedeutet dies eine einseitige Bevorzugung der reproduktiven Organe Plazenta bzw. Milchdrüse bei der Verteilung von Nährstoffen. Um dies zu erreichen, kommt es zu einer Vielzahl von metabolischen und endokrinologischen Veränderungen. So steigen mit dem Einsetzen der Laktation die Konzentrationen der homeorhetischen Hormone Growth Hormon (GH) und Prolaktin deutlich an und die Konzentrationen von homeostatischen Hormonen wie dem Insulin fallen ab (Ingvartsen und Andersen, 2000). Dies führt zu vielfältigen metabolischen Veränderungen wie z.B. einer gesteigerten Lipolyse, Gluconeogenese und Ketogenese (Ingvartsen und Andersen, 2000). Diese metabolischen Vorgänge wiederum führen zu messbaren Veränderungen im Profil der Stoffwechselfparameter im Blut.

Hier kommt es schon präpartal zu einem Anstieg der NEFA-Konzentration (non-esterified fatty acids) sowie postpartal zu einem Anstieg der Ketonkörper und einem Abfall der Glucosekonzentration (Ingvartsen und Andersen, 2000).

Anders als bei den meisten anderen Säugetieren fand bei der Milchkuh, besonders bei den Hochleistungsrasen, eine intensive Selektion auf eine möglichst hohe Milchleistung vor allem in der Frühphase der Laktation statt (Dillon, Buckley *et al.*, 2003; Miglior, Muir *et al.*, 2005). Andere wichtige Faktoren wie Langlebigkeit, Gesundheit und Fruchtbarkeit wurden in den meisten Ländern über Jahrzehnte bei der Selektion – ungewollt - vernachlässigt (Miglior, Muir *et al.*, 2005).

Diese einseitige genetische Determination bedeutet für den Stoffwechsel der Tiere eine besondere Herausforderung (Bauman und Currie, 1980; Grummer, 1995; Mulligan und Doherty, 2008).

Dies führt dazu, dass die Transitperiode bei Milchkühen der Zeitraum mit der höchsten Erkrankungsrate ist und somit weitreichende Konsequenzen für die Tiergesundheit, die Fruchtbarkeit, das Wohlbefinden der Tiere und nicht zuletzt für die Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion hat (Staufenbiel, Staufenbiel *et al.*, 1991; Ingvarlsen und Andersen, 2000; Mulligan und Doherty, 2008; Roche, Friggens *et al.*, 2009).

2.2 Die negative Nettoenergiebilanz

Die Energiebilanz eines Organismus ist die Differenz zwischen der aufgenommenen und der für die Erhaltung und die Leistung benötigten Energie (Staufenbiel, Langhans *et al.*, 1989; Grummer und Rastani, 2003). In der Frühlaktation und in vielen Fällen schon in den letzten Tagen vor der Geburt durchläuft die Milchkuh eine Phase der negativen Nettoenergiebilanz (Nebel und McGilliard, 1993), bei der die für den Erhaltungs- und Leistungsbedarf benötigte Nettoenergie die orale Nettoenergieaufnahme übersteigt (Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003). Die Milchleistung und die Nettoenergieaufnahme sind in dieser Phase die entscheidenden Faktoren, die die Energiebilanz beeinflussen (Grummer und Rastani, 2003), wobei die für die Milchleistung benötigte Energie nicht durch die Futtermittelaufnahme gedeckt werden kann (Schröder und Staufenbiel, 2006).

In dieser Situation ist das Tier gezwungen, auf im Körper akkumulierte Energiereserven zurückzugreifen (Friggens, Ingvarlsen *et al.*, 2004). Bei der Milchkuh spielt dabei das Fettgewebe als Energiereservoir eine überragende Rolle (Bauman und Currie, 1980; McNamara, 1991; Staufenbiel, 1992; Herdt, 2000). Durch lipolytische Prozesse wird das Fettgewebe abgebaut, um die hier gespeicherte Energie nutzen zu können. Andere mögliche Energiespeicher wie muskuläre Proteine oder hepatisches Glykogen sind hierbei mengenmäßig weniger relevant (Staufenbiel, Staufenbiel *et al.*, 1991).

Die negative Nettoenergiebilanz (NEB) der Milchkuh erstreckt sich nach Roche, Friggens *et al.* (2009), die verschiedene Studien auswerten, von 40 bis 100 Tage post partum (Roche, Friggens *et al.*, 2009). Grummer und Rastani (2003) werten 20 Studien zwischen 1988 und 2003 aus und ermittelten eine Dauer der NEB von 7 bis 105 Tagen bei einer mittleren Dauer von 45 Tagen (Grummer und Rastani, 2003). Im Verlauf der NEB wird massiv Fett abgebaut. Dies zeigt sich bei der Betrachtung der Körpergewichtsverluste während der NEB. Unterschiedliche Studien kommen bei der Betrachtung des Verlustes an Körpergewicht zu verschiedenen Ergebnissen. Auffällig ist hierbei, dass je aktueller die Studien sind, umso mehr Körpergewichtsverlust beobachtet wird. Während Berglund und Danell (1987) noch einen Körpergewichtsverlust von 15 kg in zwei Monaten registrierten, kamen Taminga, Luteijn *et al.* (1997) auf einen Körpergewichtsverlust von 41,7 kg in zwei Monaten. Im Jahr 2005 ermittelten van den Top *et al.* einen Körpergewichtsverlust von 118 kg in einem Monat (Van den Top, Van Tol *et al.*, 2005).

Nach dieser Phase der Fettmobilisation kommt es zur Wiederauffüllung der Energiereserven, indem im Fettgewebe durch den Ablauf der Lipogenese neue Fettdepots gebildet werden (Roche, Friggens *et al.*, 2009).

Die NEB nach der Abkalbung ist ein physiologischer Zustand. Eine sehr lange NEB oder eine NEB mit einem sehr raschen Abbau von Körperfett hat allerdings vielfältige negative Folgen für das Tier (Grummer und Rastani, 2003).

2.2.1 Bestimmung der Energiebilanz der Milchkuh

2.2.1.1 Die Messung der Rückenfettdicke per Ultraschall

Die Messung der Rückenfettdicke (RFD) per Ultraschall zur Ermittlung der Körperkondition der Milchkuh ist ein, vor allem in Deutschland, weit verbreitetes Verfahren im Herdenmanagement (Schröder und Staufenberg, 2006).

Gemessen wird hierbei das subkutane Fett, das zwischen der äußeren Haut und der Fascia trunci profunda liegt und die äußere Haut (Schröder und Staufenberg, 2006). Die Lokalisation der Messung liegt in der Sakralregion auf einer gedachten Linie zwischen dem Hüfthöcker und dem Sitzbeinhöcker (Staufenberg, 1997). In diesem Bereich besteht eine signifikante Korrelation der Rückenfettdicke mit dem Körperfettgehalt (Brethour, 1992; Klawuhn und Staufenberg, 1997; Staufenberg, 1997). Der Körperfettgehalt ist repräsentativ für die Energiereserven des Organismus (Herdt, 2000). Eine Veränderung der Rückenfettdicke von 1 mm entspricht hierbei einer Veränderung des Körperfettgehaltes von 5 kg (Klawuhn und Staufenberg, 1997). Auf diese Art und Weise ist es möglich, durch wiederholte Messungen der RFD präzise Rückschlüsse auf die Lipogenese- bzw. Lipolyseraten der Kühe zu ziehen (Staufenberg, 1997). Dies wiederum lässt Schlussfolgerungen auf die Energiebilanz zu (Herdt, 2000).

Neben einer Korrelation mit dem Körperfettgehalt korreliert der RFD-Verlauf während der Laktation auch mit der Milchleistung, den Milchinhaltsstoffen und mit Fruchtbarkeitsparametern (Schröder, 2000).

2.2.1.2 Die Bestimmung metabolischer Blutparameter unter besonderer Berücksichtigung von NEFA und BHBS

Eine weitere Methode zur Ermittlung der Energiebilanz ist die Auswertung verschiedener Parameter des Energiestoffwechsels in Milch- und Blutproben. Hierbei können viele verschiedene Parameter bei der Analyse des metabolischen Status berücksichtigt werden. Reist (2002) ermittelte für die Blutkonzentrationen von Glucose, Cholesterin, Harnstoff, Insulin, Insulin-like growth faktor-1 (IGF-1), Trijodthyronin und Thyroxin eine positive Korrelation zur Energiebilanz und für die Blutkonzentrationen von NEFA, Kreatinin, Albumin, BHBS und Growth Hormon eine negative Korrelation zur Energiebilanz (Reist, Erdin *et al.*, 2002). Die individuelle Bestimmung der Energiebilanz einer Kuh war bei all diesen Parametern allerdings ungenau, so dass sich diese Methode hauptsächlich zur Ermittlung der Energiebilanz auf Herdenbasis mit großen Tierzahlen eignet.

Ein Vorteil ist, dass bei der Bestimmung metabolischer Blutparameter eine Aussage über den aktuellen Stoffwechselstatus des Tieres gemacht werden kann (Schröder und Staufenberg, 2006).

NEFA: Ein besonders informativer Parameter ist die NEFA-Konzentration im Blut (Reist, Erdin *et al.*, 2002; Adewuyi, Gruys *et al.*, 2005). Während der NEB greift der Organismus auf

das Fettgewebe als Energiespeicher zurück, wobei es zum Abbau von in Fettzellen gespeicherten Triglyceriden kommt, was zur Freisetzung von NEFA führt (Herdt, 2000). Diese werden an das Blut abgegeben und stehen anderen Organen als Energiequelle zur Verfügung (Herdt, 2000). Die Plasma-NEFA-Konzentration korreliert in hohem Maße mit der NEB (Bauman und Currie, 1980; Kunz, Blum *et al.*, 1985; Pullen, Palmquist *et al.*, 1989; Cameron, Dyk *et al.*, 1998; LeBlanc, Leslie *et al.*, 2005). Die Erhöhung der Plasma-NEFA-Konzentration beginnt zehn Tage vor der Kalbung. Der Höhepunkt wird mit der Kalbung erreicht und nach der Kalbung fällt die Konzentration in der Regel schnell wieder ab (Grummer, 1995; Adewuyi, Gruys *et al.*, 2005).

BHBS: Im Gegensatz zu NEFA ist die Plasma-BHBS-Konzentration kein prä- sondern ein postpartaler und indirekter Messwert für die Ausprägung der NEB (LeBlanc, Leslie *et al.*, 2005).

Steht dem Organismus wenig Glucose zur Verfügung, wie dies während der peripartalen NEB der Milchkuh der Fall ist, werden in der Leber NEFA zu Acetyl-CoA abgebaut, das entweder zur Energiegewinnung in den Zitronensäurezyklus eingeschleust oder aber zu den Ketonkörpern Acetoacetat, BHBS und Aceton metabolisiert wird. Diese können nun von den Muskeln als Energiequelle genutzt werden, so dass der Glucosebedarf der Muskeln sinkt und so der Blutglucosespiegel steigt (Herdt, 2000). BHBS stellt den am häufigsten auftretenden Ketonkörper in der Früh-laktation dar und es besteht eine enge Korrelation zwischen der BHBS-Konzentration und der Konzentration von Acetoacetat (Kauppinen, 1983).

Ein ausgeprägter Anstieg der BHBS-Konzentration ist Ausdruck einer mangelhaften Adaptation an die NEB und ist mit vielen gesundheitlichen Problemen im weiteren Verlauf der Laktation assoziiert (Staufenbiel, Langhans *et al.*, 1989; Duffield, Lissemore *et al.*, 2009). Duffield (2009) definiert eine Hyperketonämie ab 1400 $\mu\text{mol/l}$ BHBS. In den ersten zwei Wochen post partum kommt es ab diesem Wert zu einem steigenden Krankheitsrisiko, z.B. für Labmagenverlagerung, Metritis oder klinische Ketose und außerdem zu einer Verringerung der Milchleistung (Duffield, Lissemore *et al.*, 2009).

2.2.1.3 Weitere Methoden zur Bestimmung der Energiebilanz

In den letzten Jahrzehnten wurden verschiedenste Methoden entwickelt, um die Energiebilanz von Milchkühen zu ermitteln (Schröder und Staufenbiel, 2006). Die genaueste Methode ist, neben der Bilanzierung der Futteraufnahme und der Erfassung der Ausscheidungen über Harn, Kot und Milch, die Respirationskalometrie, die aber unter Feldbedingungen nicht durchführbar ist (Schröder und Staufenbiel, 2006).

Eine unter Feldbedingungen praktikable Methode ist die Körpergewichtsbestimmung. Verschiedene Faktoren wie Körpergröße, Laktationsstatus, Trächtigkeit, Inhalt des Magen-Darm-Traktes sowie das unterschiedliche Gewicht verschiedener Gewebe machen diese Methode allerdings sehr ungenau (Roche, Dillon *et al.*, 2004; Schröder und Staufenbiel, 2006).

Die Feststellung des Body Condition Scores (BCS) ist eine weltweit verbreitete Methode, die Kondition und die Konditionsentwicklung bei Milchkühen zu ermitteln (Roche, Dillon *et al.*,

2004). Dabei existieren verschiedene BCS-Systeme mit unterschiedlichen Skalen (Roche, Dillon *et al.*, 2004). Es werden von der visuellen oder taktilen Beschaffenheit bestimmter Körperregionen Rückschlüsse auf die Körperfettreserven gezogen (Roche, Dillon *et al.*, 2004; Schröder und Staufenbiel, 2006).

In zahlreichen Studien wurde die Genauigkeit und die Reproduzierbarkeit des BCS-Systems nachgewiesen (Edmonson, Lean *et al.*, 1989; Ferguson, Galligan *et al.*, 1994; Kristensen, Dueholm *et al.*, 2006). Bei untrainierten Personen scheint die Genauigkeit bei der Durchführung des BCS allerdings weniger hoch zu sein (Ferguson, Galligan *et al.*, 1994; Kristensen, Dueholm *et al.*, 2006). Das BCS-System ist vor allem für mäßig konditionierte Kühe geeignet. Eine weniger große Genauigkeit wird bei über- bzw. unterkonditionierten Tieren beobachtet (Ferguson, Galligan *et al.*, 1994).

2.2.2 Ursachen der NEB

Zu den Ursachen, die zur Entstehung der NEB beitragen, gehören der Energiebedarf des Fötus und vor allem die einsetzende Laktation sowie die reduzierte Futteraufnahme im peripartalen Zeitraum (Grummer, 1995).

2.2.2.1 Energiebedarf des Fötus

In den letzten drei Wochen der Trächtigkeit erreicht der Energie- und Proteinbedarf des Fötus und der Plazenta sein Maximum (Bell, 1995) und wird über die Absorption von Glucose und Aminosäuren aus dem Blut gedeckt. Bell (1995) errechnet, dass die uterine Absorption am 250. Tag der Trächtigkeit 46 % des maternalen Blutglucosevorkommens und 72 % der im Blut zirkulierenden Aminosäuren beträgt (Bell, 1995). Hieraus resultiert eine Steigerung des Bedarfes des Muttertieres an diesen Nährstoffen um 30 – 50 %. Eine 725 kg schwere Kuh wendet zwei Tage vor der Abkalbung 13,8 MJ/d für die Trächtigkeit, bei einem Erhaltungsbedarf von 46,9 MJ/d, auf (Drackley, Dann *et al.*, 2005). Eine Anpassung des maternalen Metabolismus an diese Anforderungen ist nötig (Bell, 1995).

2.2.2.2 Energiebedarf der Laktation

Die Produktion des Kolostrums ist mit einem noch größeren Energieaufwand verbunden als die Versorgung des Fötus (Goff und Horst 1997).

Nach der Kalbung steigt, durch das Einsetzen der Milchsynthese und den starken Anstieg der Milchproduktion, der Energiebedarf um ein Vielfaches an (Bell, 1995; Drackley, Dann *et al.*, 2005). Der Gesamtenergiebedarf einer 725 kg schweren Kuh steigt von 60,7 MJ/d zwei Tage ante partum auf 120,4 MJ/d zwei Tage post partum bei einer Milchleistung von 25 kg pro Tag. Der Erhaltungsbedarf ist mit 46,9 MJ/d zwei Tage vor der Abkalbung nur wenig höher als am zweiten Tag nach der Kalbung, an dem der Erhaltungsbedarf 42,2 MJ/d beträgt (Drackley, Dann *et al.*, 2005). Der Energiebedarf für die Milchproduktion dieser Größenordnung (25 kg/d) ist also etwa dreimal so groß wie der Erhaltungsbedarf (Butler und Smith, 1989).

Die in den letzten Jahrzehnten stark auf die Milchleistung fokussierte Selektion hat den Energiebedarf pro Laktation stark steigen lassen, so dass die für die Milchleistung in der

Frühlaktation benötigte Energie bei der modernen Hochleistungsmilchkuh die entscheidende Ursache für die Entstehung der NEB ist (Drackley, Dann *et al.* 2005).

2.2.2.3 Reduktion der Futtermittelaufnahme

Trotz des gesteigerten Bedarfs an Energie am Ende der Trächtigkeit und zu Beginn der Laktation kommt es zu diesem Zeitpunkt zu einem Abfall der Trockenmasseaufnahme (DMI) von 10 bis 30 %, verglichen mit der frühen Trockenstehphase (Drackley, Dann *et al.*, 2005). Die Trockenmasseaufnahme geht besonders stark ab der dritten Woche ante partum zurück. Eine Verringerung der Futtermittelaufnahme beginnt aber schon weitaus eher. So geht Ingvartsen (1992) davon aus, dass die Trockenmasseaufnahme bei Färsen schon ab der 26. Woche der Trächtigkeit um 1,5 % pro Woche bis zur dritten Woche vor der Abkalbung verringert wird (Ingvartsen, Andersen *et al.*, 1992). Etwa sieben Tage ante partum verstärkt sich der Abfall des DMI noch einmal (McNamara 2003). Ein Anstieg des DMI findet erst ein bis zwei Wochen nach der Kalbung statt und steigt dann kontinuierlich bis etwa zur 20. Woche an (Ingvartsen und Andersen, 2000). Das Energiedefizit ergibt sich dadurch, dass die Milchleistung typischerweise zwischen der fünften und siebten Woche am höchsten ist, die maximale Trockensubstanzaufnahme aber erst zwischen der 8. und 22. Woche nach der Kalbung erreicht wird (Ingvartsen und Andersen, 2000).

Die Regulierung der Futtermittelaufnahme ist ein sehr komplexer Vorgang und bis heute ist der genaue Ablauf nicht abschließend geklärt (Ingvartsen und Andersen, 2000). Mehrere physiologische Mechanismen werden als mögliche Ursache der Abnahme der Futtermittelaufnahme im peripartalen Zeitraum diskutiert.

Ein nahe liegender Mechanismus ist die mechanische Kompression des Pansens durch den graviden Uterus, der jedoch häufig überbewertet wird (Ingvartsen und Andersen, 2000). Auch eine Vielzahl endokrinologischer und metabolischer Veränderungen spielen bei dem peripartalen Rückgang des DMI eine entscheidende Rolle (Ingvartsen und Andersen, 2000). Beeinflussende Faktoren können verschiedene Metabolite z.B. NEFA oder Ketonkörper, Hormone des Reproduktionstraktes z.B. Östrogen, Cortisol, Leptin, Insulin, Cytokine und Neuropeptide wie z.B. das Neuropeptid Y sein (Ingvartsen und Andersen, 2000). Breves (2007) geht davon aus, dass die in der Transitperiode ansteigende Östrogenkonzentration entscheidenden Einfluss auf die Futtermittelaufnahme hat (Breves, 2007).

2.2.3 Folgen der NEB

Der Energiemangel in der Transitperiode und frühen Laktation hat vielfältige Veränderungen für den Organismus zur Folge. Es wird massiv Körperfett eingeschmolzen und im Muskelgewebe dominieren katabole Prozesse, um den Energiebedarf der reproduktiven Organe, vor allem des Euters, zu decken (Roche, Friggens *et al.*, 2009).

Das Euter absorbiert in besonderem Maße die für die Laktosesynthese benötigte Glucose aus dem Blut, da Lactose die osmotisch wichtigste gelöste Substanz in der Milch darstellt (Bell, 1995; Bell und Bauman, 1997; Drackley, Dann *et al.*, 2005). Die Aufnahme der Glucose durch das Euter ist unabhängig von Insulin (Herdt, 2000). Der Glucosebedarf steigt mit dem Zeitpunkt der Kalbung rapide an (Bell, 1995).

Aufgrund der Fermentierung der Kohlenhydrate im Pansen wird, anders als bei vielen Monogastriern, nur wenig Glucose direkt aus dem Verdauungstrakt absorbiert (Herdt, 2000; Drackley, Dann *et al.*, 2005). Hieraus resultiert, dass ein Großteil der benötigten Glucose durch Gluconeogenese in der Leber gebildet werden muss (Herdt, 2000; Drackley, Dann *et al.*, 2005). Propionsäure ist hierbei die einzige der im Zuge der Pansenfermentation gebildeten Fettsäuren, die für die Gluconeogenese genutzt werden kann (Herdt, 2000). Weder aus dem Fettgewebe freigesetzte NEFA, noch die aus dem Pansen absorbierten Essig- und Buttersäure sind hierzu geeignet. Dies verdeutlicht, dass die Bereitstellung von Glucose während der NEB eine besondere Herausforderung für den Metabolismus der Kuh darstellt (Herdt, 2000).

Die Veränderungen des Stoffwechsels und insbesondere die Veränderungen der Substratflüsse bedingen, dass der Stoffwechsel der Kühe in dieser Phase homeorhetisch reguliert wird. Dies bedeutet unter anderem, dass die Lipolyse gegenüber lipogenetischen Prozessen im Fettgewebe dominiert (McNamara, 1989). Die Lipolyse wird endokrin und durch das sympathische Nervensystem kontrolliert (Sumner und McNamara, 2007). So kommt es zu einer Zunahme der Konzentration von GH und zu einer Abnahme der Insulinkonzentration im Blut (Ingvarsen und Andersen, 2000), aber auch zur vermehrten Expression lipolytischer Gene, z.B. beta-adrenerger Rezeptoren oder der hormonsensitiven Lipase, im Fettgewebe (Sumner und McNamara, 2007). Ferner wird die Lipolyserate durch die Sensitivität des Fettgewebes auf lipolytische Stimuli wie das Absinken des Blutglucosespiegels, den Abfall der Insulinkonzentration im Blut und den Anstieg der GH- und Katecholaminkonzentration beeinflusst (Herdt, 2000). Die Sensitivität des Fettgewebes wird durch Faktoren wie Verfettung oder Insulinresistenz gesteigert. Dies kann während der NEB zu einer überschießenden Fettmobilisation mit einer exzessiven Freisetzung von NEFA mit weitreichenden negativen Konsequenzen, wie z.B. Ketose oder Fettleber (siehe unten), führen (Herdt, 2000).

Es gibt jedoch auch Anhaltspunkte dafür, dass nicht alle Kühe in derselben Art und Weise auf die NEB reagieren. So stellten Sumner und McNamara (2007) fest, dass einige Tiere mit einer Lipolyserate reagieren, die über der eigentlich für den Erhaltungsbedarf und die Milchleistung benötigten liegt (Sumner und McNamara, 2007).

Manche Kühe wiederum sind in der Lage, die Futteraufnahme nach der Kalbung schnell zu steigern (McNamara, 1989). Kühe, bei denen die Lipolyserate reduziert ist, können mit einer Erhöhung der Futteraufnahme reagieren (McNamara und Valdez, 2005). Dies stellt das Potenzial zu einer hohen Milchleistung bei guter Tiergesundheit in der Transitperiode dar (Drackley, 1999) und ermöglicht die Option, Kühe zu selektieren, die besser auf die besonderen metabolischen Anforderungen der Transitperiode reagieren können (McNamara, 1989; Sumner und McNamara, 2007).

2.2.4 NEB und Erkrankungen

In der Transitperiode kommt es zu einem Anstieg der Prävalenz verschiedener Krankheiten mit entscheidenden Auswirkungen für die Tiergesundheit und die Produktivität in der folgenden Laktation (Grummer, 1995; Mulligan und Doherty, 2008).

Die negative Energiebilanz ist ein wichtiger Faktor bei der Entstehung von stoffwechsellassozierten Krankheiten (Markusfeld, Galon *et al.*, 1997; Duffield, Bagg *et al.*, 2002; Roche, Berry *et al.*, 2006), spielt aber auch bei anderen Krankheitskomplexen, wie z.B. Infektionskrankheiten über eine Schwächung des Immunsystems und weiteren Faktoren, eine wichtige Rolle (Kremer, Noordhuizenstassen *et al.*, 1993).

2.2.4.1 Fettleber

Die Fettleber ist eine der wichtigsten metabolischen Erkrankungen der modernen Milchkuh (Goff und Horst, 1997; Bobe, Young *et al.*, 2004). Die Erkrankung geht mit einer Verschlechterung des Gesundheitsstatus und der Fruchtbarkeit, aber auch der Produktivität der Tiere einher, so dass es zu erheblichen wirtschaftlichen Einbußen durch die Erkrankung kommt (Bobe, Young *et al.*, 2004). Die Ätiologie der Fettleber ist eng mit dem Auftreten einer NEB in der Transitperiode verbunden (Herdt, 2000).

In einer Phase der NEB werden als Folge der Lipolyse massiv NEFA aus dem Fettgewebe freigesetzt (Herdt, 2000; Adewuyi, Gruys *et al.*, 2005). Die NEFA zirkulieren im Blut und werden vom Euter resorbiert und in Milchfett umgewandelt oder von der Leber aufgenommen und zu CO₂ oxidiert (Drackley, 1999; Reynolds, Aikman *et al.*, 2003). Bei starkem Anfall von NEFA werden überschüssige NEFA in der Leber entweder zu Ketonkörpern metabolisiert (siehe unten) oder verestert und zu Triacylglycerid (TAG) umgebaut (Herdt, 2000; Grummer, 2008). Die in der Leber produzierten TAG können als very low density lipoproteins (VLDL) an das Blut abgegeben werden, so dass diese anderen Geweben zur Verfügung stehen. Wiederkäuer können allerdings nur in reduziertem Umfang VLDL produzieren und an das Blut abgeben, so dass TAG akkumulieren und somit die Entstehung der Fettlebererkrankung begünstigen (Grummer, 2008). Der Anstieg des Plasma-NEFA-Spiegels ist proportional mit der Anhäufung von TAG in der Leber verbunden (Grummer, 1993).

Überwiegend tritt die Fettleber bei der Milchkuh in den ersten vier Wochen nach der Kalbung auf (Grummer, 1993). Jorritsma (2000) kommt zu dem Ergebnis, dass es bei bis zu 50 % der Milchkuhe in dieser Zeit zu vermehrten Fettablagerungen in der Leber kommt (Jorritsma, Jorritsma *et al.*, 2000).

Die Fettlebererkrankung kann entsprechend dem prozentualen Anteil an TAG an dem Lebergewebe in vier Schweregrade (normale Leber, leichte Fettleber, moderate Fettleber, schwere Fettleber) eingeteilt werden (Bobe, Young *et al.*, 2004).

Die unterschiedlichen Schweregrade der Fettleber gehen sukzessive mit vermehrtem Auftreten von Ketonkörpern im Blut und Urin, Beeinträchtigungen von Gesundheitsstatus und Fruchtbarkeit sowie histopathologischen Veränderungen einher. Ein Abfall von Milchleistung und Futteraufnahme ist nur im Stadium der schweren Fettleber zu beobachten (Bobe, Young *et al.*, 2004).

2.2.4.2 Ketose

Der Begriff Ketose beschreibt die Anreicherung der „Ketonkörper“ Acetoacetat, BHBS und Aceton im Blut (Littledike, Young *et al.*, 1981; Kronfeld, 1982). Am häufigsten tritt die Ketose bei Hochleistungsmilchkuhen in der Phase der höchsten Milchleistung sechs bis acht

Wochen nach der Abkalbung auf. Es kommt dabei immer zu einem Anstieg der Ketonkörperkonzentration und zu einem Abfall der Glucosekonzentration im Blut (Littledike, Young *et al.*, 1981). Die negative Nettoenergiebilanz stellt die Ausgangssituation für die Entstehung einer Ketose dar (Littledike, Young *et al.*, 1981; Veenhuizen, Drackley *et al.*, 1991), weil hier eine Situation entsteht, in der der Abbau und die Metabolisierung der NEFA in der Leber die Kapazität des Zitronensäurezyklus überschreitet (Baird, 1982). Die biochemischen Zusammenhänge sind seit vielen Jahren bekannt und dadurch charakterisiert, dass durch die β -Oxidation der NEFA Acetyl-CoA entsteht, das im Zitratzyklus oxidiert werden muss. Um allerdings das anfallende Acetyl-CoA in den Zitratzyklus einzuspeisen, muss Oxalacetat zu Verfügung stehen. Da dieses aber in großem Maße für den Aufbau von Glucose in der Gluconeogenese benötigt wird, steht nicht genug Oxalacetat zur Verfügung und Acetyl-CoA wird zu Ketonkörpern verstoffwechselt. Kommt es also zu einer ausgeprägten NEFA-Freisetzung in das Blut, wird überschüssiges Acetyl-CoA zu Ketonkörpern umgebaut.

Der Anstieg der Ketonkörperkonzentration im Blut ist nach der Kalbung ein physiologischer Vorgang (Duffield, Lissemore *et al.*, 2009) und ein für viele Organsysteme wichtiger Energieträger, weil ein Großteil der Glucose vom Euter absorbiert wird und so dem Gesamtorganismus nicht zur Verfügung steht (Bell, 1995; Roche, Friggens *et al.*, 2009). Kommt es allerdings zu einer übermäßigen Anhäufung von Ketonkörpern im Blut (> 1.4 mmol/l), ist dies eine pathologische Veränderung (Duffield, Lissemore *et al.*, 2009). Es entsteht eine typische Stoffwechselsituation, in der die NEFA-Konzentration im Blut erhöht ist, eine Hyperketonämie, Hypoglykämie und Hypoinsulinämie vorliegt und das Glycogenvorkommen in der Leber reduziert und der Gehalt an TAG in der Leber gegenüber dem physiologischen Zustand erhöht ist (Baird, 1982; Veenhuizen, Drackley *et al.*, 1991). Die klinischen Symptome reichen von einer Reduzierung der Futteraufnahme und der Milchleistung mit einer rapiden Verschlechterung der Körperkondition bis zu nervösen Symptomen wie Lethargie oder erhöhter Reizbarkeit (Baird, 1982; Veenhuizen, Drackley *et al.*, 1991).

2.2.4.3 Insulinresistenz

Insulin ist eines der wichtigsten metabolisch anabol wirksam werdenden Hormone, das sowohl den Glucose- als auch den Lipidstoffwechsel beeinflusst (Herdt, 2000). Die Blutkonzentration von Insulin wird von der Konzentration an Glucose und Vorgängerstufen von Glucose sowie der Konzentration von NEFA und Ketonkörpern im Blut beeinflusst (Herdt, 2000). Insulin steigert die Glucoseaufnahme des Muskels und senkt die Gluconeogeneserate in der Leber, so dass der Blutglucosespiegel sinkt (Herdt, 2000). Im Fettstoffwechsel steigert Insulin die Lipogenese und senkt die Lipolyse, was zu einer Absenkung der NEFA-Blutkonzentration führt (Herdt, 2000).

Insulinresistenz ist definiert als Zustand, in dem eine veränderte Reaktion des Gewebes auf Insulin (Sensitivity) oder eine veränderte Reaktion des Insulins auf Glucose (Responsiveness) vorliegt (Kahn, 1978).

In der Frühlaktation steigt der Glucosebedarf der Milchkuh für die Milchproduktion stark an. Die Tiere befinden sich in einer homeorhetischen Stoffwechsellage, in der die Priorität

vorgegeben wird, Glucose für das Euter zur Verfügung zu stellen. Deshalb wird die Glucoseaufnahme aus dem Blut in das Muskel- und Fettgewebe reduziert. Die Aufnahme von Glucose im Euter ist insulinunabhängig und der dieser Aufnahme zugrundeliegende Mechanismus erfolgt über den insulinunabhängigen GLUT-1 Transporter (Zhao und Keating, 2007; Chagas, Lucy *et al.*, 2009). In der Früh-laktation werden die GLUT-1 Transporter heraufreguliert, so dass eine Herabsetzung der Insulinantwort das Eutergewebe nicht betrifft, die anderen Gewebe aber auf die Insulinresistenz mit einer verringerten Absorption von Glucose aus dem Blut reagieren (Zhao und Keating, 2007).

Die Insulinresistenz steht in enger Beziehung zur Fettlebererkrankung und zur erhöhten Blut-NEFA-Konzentration (Martens, 2007). Diese zwei Faktoren sind wiederum unmittelbare Folgeerscheinungen der NEB. Oikawa und Oetzel (2006) beschreiben, dass die durch 4-tägiges Fasten angestiegenen Blut-NEFA-Konzentrationen zu einer verstärkten Insulinresistenz führen (Oikawa und Oetzel, 2006). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt eine Studie von Pires *et al.* (2007), wonach es nach der intravenösen Infusion von Triacylglycerol bei nichtlaktierenden Kühen zum Anstieg der NEFA-Konzentration und im Anschluss zur Ausbildung einer Insulinresistenz kommt (Pires, Souza *et al.*, 2007).

Als Verbindung zwischen der erhöhten NEFA-Konzentration und der Insulinresistenz könnte der Toll-like-receptor 4 dienen, der durch eine erhöhte NEFA-Konzentration im Blut aktiviert wird und in den Adipozyten eine Entzündungskaskade auslöst, die an der Entstehung der Insulinresistenz beteiligt zu sein scheint (Shi, Kokoeva *et al.*, 2006).

Chagas (2009) beschreibt die intensive genetische Selektion auf Milchproduktion als einen Grund für das Auftreten von Insulinresistenz bei Hochleistungskühen, da die Bereitstellung von Energie für die Milchproduktion bei diesen Tieren besonders ausgeprägt ist (Chagas, Lucy *et al.*, 2009).

2.2.4.4 Labmagenverlagerung

Die Labmagenverlagerung ist eine häufige, vornehmlich in der frühen Laktation auftretende, Erkrankung der modernen Hochleistungskuh (Martens, 2000), die infolge der Behandlungskosten, verringerter Milchleistung und einer erhöhten Abgangsrate als eine wirtschaftlich sehr bedeutende Erkrankung anzusehen ist (LeBlanc, Leslie *et al.*, 2005).

Fleischer (2001) ermittelte eine Inzidenz der Labmagenverlagerung der Rasse Holstein in Niedersachsen von 1,1 % (Fleischer, Metzner *et al.*, 2001). Auch Poike und Füll (2000) kamen bei Untersuchungen in Mitteldeutschland zu einem ähnlichen Ergebnis. In einzelnen Beständen war die Inzidenz mit Werten von bis zu 7,5 % aber erheblich höher (Poike und Füll, 2000). In Nordamerika wird von einer noch höheren Erkrankungsrate berichtet (Pehrson und Stengärde, 2000).

Die Ätiologie der Labmagenverlagerung ist sehr komplex und bis heute nicht abschließend diskutiert. Neben anderen Risikofaktoren wie Schweregeburten, Milchfieber, Metritis, Ketose, Rasse, Alter, Fütterung, Haltung und Genetik spielt die negative Nettoenergiebilanz eine Schlüsselrolle (Cameron, Dyk *et al.*, 1998; LeBlanc, Leslie *et al.*, 2005; Doll, Sickinger *et al.*, 2009).

In mehreren Versuchen wurde eine Korrelation zwischen einer erhöhten NEFA-Konzentration antepartal und einer erhöhten BHBS-Konzentration postpartal mit vermehrtem

Auftreten von Labmagenverlagerungen nachgewiesen, was einen Zusammenhang zwischen der negativen Nettoenergiebilanz und dem Auftreten von Labmagenverlagerungen beweist (Cameron, Dyk *et al.*, 1998; LeBlanc, Leslie *et al.*, 2005).

Fürll und Krüger (2000) wiesen nach, dass Kühe mit Labmagenverlagerung in den ersten zwei Wochen post partum eine signifikant höhere Abnahme der RFD aufweisen (Fürll und Krüger, 2000).

2.2.4.5 Andere Erkrankungen

Auch weitere häufige Erkrankungen der Milchkuh wie Mastitis, Klauenerkrankungen, Metritis Nachgeburtsverhaltung und hypocalcämische Gebärparese werden in der Literatur im Zusammenhang mit der NEB diskutiert, wenn auch nicht so häufig wie die oben genannten vorwiegend stoffwechselassoziierten Erkrankungen.

Es gibt nur eine überschaubare Anzahl von Studien, die den Zusammenhang der Stärke der NEB und dem Mastitisrisiko untersuchen. Kremer (1993) beobachtete eine Beeinträchtigung des Immunsystems und einen verschärften Verlauf der Mastitis bei Tieren in einer NEB (Kremer, Noordhuizenstassen *et al.*, 1993). Moyes (2009) stellte ebenfalls eine geringe Beeinträchtigung des Immunsystems durch die NEB fest, konnte aber keinen Einfluss auf den Verlauf der Mastitis beobachten (Moyes, Drackley *et al.*, 2009).

Verschiedene Autoren erwähnen einen Zusammenhang zwischen NEB und Klauenerkrankungen (Wells, Trent *et al.*, 1993; Boettcher, Dekkers *et al.*, 1998; Collard, Boettcher *et al.*, 2000), wobei von einer gegenseitigen Beeinflussung der beiden Komplexe ausgegangen werden muss, da neben einem erhöhten Risiko für Klauenerkrankungen bei größerer NEB, die NEB häufig durch eine Klauenerkrankung verschärft wird (Collard, Boettcher *et al.*, 2000).

Kaneene *et al.* (1997) und Markusfeld *et al.* (1997) zeigten in ihren Studien, dass das postpartale Energiedefizit das Risiko für Nachgeburtsverhaltung und Metritis erhöht (Kaneene, Miller *et al.*, 1997; Markusfeld, Galon *et al.*, 1997). Kaneene *et al.* (1997) erwähnen die Serum-NEFA-Konzentration als potentiellen Indikator für dieses erhöhte Risiko (Kaneene, Miller *et al.*, 1997).

2.2.5 Negative Nettoenergiebilanz und Fruchtbarkeit

In den letzten Jahrzehnten ist die Fruchtbarkeit bei Hochleistungsmilchkühen zurückgegangen (Butler, 1998; Lucy, 2001).

Es handelt sich dabei um ein Problem, das zeitgleich mit der Intensivierung der Milchkühhaltung und der damit einhergehenden Steigerung der Milchleistung auftrat (Butler, 1998; Lucy, 2001; Kanitz, Becker *et al.*, 2003; Wiltbank, Lopez *et al.*, 2006). Es liegen Veröffentlichungen aus fast allen Ländern mit intensiver Milchproduktion vor, die von dieser Verschlechterung berichten (Friggens, 2003). So beispielsweise aus Nordamerika (Butler und Smith, 1989; Butler, 1998), Irland (Roche, Mackey *et al.*, 2000), Großbritannien (Royal, Mann *et al.*, 2000; Friggens, 2003), Australien (MacMillan, Lean *et al.*, 1996), den Niederlanden (Jorritsma, Jorritsma *et al.*, 2000) und Deutschland (Kanitz, Becker *et al.*, 2003). Es handelt sich somit um ein weitreichendes Problem von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung (Wiltbank, Lopez *et al.*, 2006).

Die nachteilige Wechselwirkung zwischen negativer Energiebilanz und Fruchtbarkeit ist von grundlegender Bedeutung (Chagas, Bass *et al.*, 2007), weil in der Phase der Frühlaktation die oben beschriebene homeorhetische Kontrolle des Stoffwechsels die Verteilung der Nährstoffe einseitig auf die Milchleistung und damit das Überleben des Nachwuchses ausrichtet und die Fruchtbarkeit in dieser Phase des Energiemangels vernachlässigt wird (Lucy, 2001; Schröder und Staufenbiel, 2003). Die Zunahme dieses Trends ergibt sich aufgrund einer einseitigen genetischen Fokussierung auf eine hohe Milchleistung zu Lasten der Reproduktion (Chagas, Bass *et al.*, 2007).

2.2.5.1 Physiologie der Fruchtbarkeit

2.2.5.1.1 Sexualzyklus

Als Sexualzyklus wird das regelmäßige Auftreten von Brunsterscheinungen in exakten Zeitintervallen verstanden (Bostedt, 2003). Die in Europa und Nordamerika in der intensiven Milchproduktion genutzten Rassen zeichnen sich durch ganzjährig polyöstrisch auftretende Sexualzyklen aus (Grunert, 1999). Der erste Zyklus setzt mit dem Auftreten der Pubertät bei den hier besprochenen Rassen zwischen dem siebten und zwölften Lebensmonat ein (Grunert, 1999).

Ein Sexualzyklus beginnt mit dem Östrus und endet mit dem Auftreten der folgenden Brunst (Meinecke, 2000). Der im Durchschnitt 21 (18-24) Tage dauernde Zyklus wird in die vier Phasen Östrus, Postöstrus, Interöstrus und Präöstrus gegliedert (Grunert, 1999).

Der Östrus wird als Tag 0 des Zyklus gewertet und dauert etwa 18 Stunden. In dieser Zeit duldet das weibliche Tier die Begattung (Grunert, 1999).

Die Ovulation findet beim Rind meist im Postöstrus statt. Er reicht vom Zeitpunkt, an dem keine Begattung mehr geduldet wird, bis zum Verschwinden jeglicher innerer und äußerer Brunstsymptome (Grunert, 1999).

Der nun folgende Interöstrus dauert etwa 16 Tage und ist von sexueller Ruhe geprägt (Grunert, 1999). An den Ovarien dominiert der Gelbkörper, neben dem aber auch 2-3 Follikelwellen ablaufen. Der Gelbkörper produziert Progesteron, welches dazu führt, dass es an der Gebärmutter Schleimhaut zur sogenannten Sekretionsphase kommt (Grunert, 1999).

Wenn sich kein Embryo in die Gebärmutter eingenistet hat, bildet der Uterus Prostaglandin und leitet so die Gelbkörperregression und damit den Übergang vom Interöstrus zum Präöstrus ein.

Der Präöstrus dauert von dem Einsetzen von Verhaltensänderungen, zum Beispiel das Aufspringen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Begattung das erste Mal geduldet wird. Auf den Ovarien ist in dieser Phase ein in Ausbildung befindlicher Graafscher Follikel zu beobachten (Grunert, 1999; Bostedt, 1983).

Der ovarielle Zyklus besteht aus der Follikelreifungsphase, der Ovulationsphase und der Gelbkörperphase (Grunert, 1999). Die Follikelreifungsphase erstreckt sich vom 19. Tag des alten bis zum ersten Tag des neuen Zyklus. Es liegt an den Ovarien ein dominanter Follikel vor, der unter FSH- und LH-Einfluss wächst. Er bildet Östradiol, LH-Rezeptoren und IGF-1-Rezeptoren (Roche und Diskin, 1996; Grunert, 1999). Der Follikel wird größer und auch die Zahl der östrogenbildenden Granulosazellen nimmt zu, was zu einer vermehrten Ausbildung von LH-Rezeptoren an den Granulosazellen des Follikels führt und den dominanten Follikel

somit in die Lage versetzt, auf die ovulationsauslösende LH-Ausschüttung des Hypophysenvorderlappens (HVL) zu reagieren (Meinecke, 2000).

Das von dem HVL freigesetzte LH löst die Ovulation aus und führt zur Luteinisierung der Theka- und Granulosazellen.

Bei der Ovulation öffnet sich der Follikel an einer präformierten Stelle, so dass die Eizelle von dem Eileitertrichter aufgenommen werden kann (Grunert, 1999). Hier findet dann auch die Befruchtung der Eizelle statt. An den Ovarien kommt es an der Stelle, an der sich der gesprungene Follikel befindet, zur Anbildung des Gelbkörpers (Grunert, 1999).

Die Gelbkörperphase reicht vom 2. bis zum 19. Zyklustag. Der Gelbkörper produziert Progesteron, welches die GnRH-Produktion des Hypothalamus über ein negatives Feedback hemmt, so dass zwar eine Follikelentwicklung stattfindet, aber keine Ovulation. Wenn keine Konzeption stattfindet, wird die Gelbkörperphase durch vom Endometrium gebildetes Prostaglandin beendet (Meinecke, 2000).

2.2.5.1.2 Gravidität

Die Gravidität beginnt mit der Konzeption und endet mit dem Partus. Die Dauer beträgt beim Rind je nach Rasse 278-288 Tage (Hoffmann, 1999). Das vom Gelbkörper abgegebene Progesteron stimuliert den Uterus zur Bildung der Embryotrophe zur Ernährung der frühen Stadien des Embryos. Der Embryo seinerseits produziert Interferon Tau, welches eine immunologische Abwehrreaktion des Muttertieres verhindert und die Prostaglandinproduktion des Uterus unterdrückt, so dass keine Luteolyse stattfindet (Hoffmann, 1999). Beim Rind unterhält der Trächtigkeitsgelbkörper bis zur Geburt die Progesteronproduktion (Meinecke, 2000).

2.2.5.1.3 Kalbung und Puerperium

Die Abkalbung wird durch die Freisetzung von fetalen Glukokortikoiden eingeleitet, welche die Freisetzung von uterinem Prostaglandin bewirken und so die präpartale Luteolyse auslösen. Außerdem hat das Prostaglandin eine kontraktile Wirkung auf die Uterusmuskulatur (Hoffmann, 1999). Des Weiteren bewirken die fetalen Glukokortikoide die Bildung und Ausschüttung von Östrogenen durch die Plazenta, die ihrerseits ebenfalls eine stimulierende Wirkung auf die Gebärmuttermuskulatur haben. Die Östrogene fördern des Weiteren die Durchblutung und Schleimbildung in den Geweben, die den Geburtskanal bilden und bewirken eine Auflockerung der Bänder und Gelenke im Beckenbereich (Bostedt, 2003). Die Wehen werden durch das im Hypophysenhinterlappen gebildete Oxytocin ausgelöst. Der Geburtsvorgang kann in ein Öffnungsstadium, ein Austreibungsstadium und ein Nachgeburtsstadium eingeteilt werden (Bostedt, 2003).

Während des Puerperiums soll es zu einer Wiederherstellung der reproduktiven Funktionen kommen. Nach der Kalbung tritt eine kurzzeitige Azyklie auf. Man nimmt an, dass diese durch ein Ausbleiben der positiven Rückkopplung von Östrogen auf die LH- und FSH-Produktion in den ersten fünf bis zehn Tagen nach dem Partus zustande kommt (Hoffmann, 1999). Mit zunehmendem Abstand zum Partus setzt die positive Rückkopplung des Östrogen und somit die zyklische Ovarfunktion wieder ein (Hoffmann, 1999). LH und FSH sind also die

limitierenden Faktoren für die Wiederaufnahme des ovariellen Zyklus (Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003).

2.2.5.1.4 Neuroendokrine Mechanismen

Der Sexualzyklus wird endokrinologisch maßgeblich durch das gonadotrope System gesteuert (Chagas, Bass *et al.*, 2007). An erster Stelle dieses hierarchischen Systems steht der Hypothalamus. Nachgeschaltete Sekretionsorgane sind der Hypophysenvordertappen und die Ovarien. Es findet eine Kommunikation und gegenseitige Beeinflussung der drei Ebenen statt, bei der vor allem Rückkopplungsmechanismen eine Rolle spielen (Meinecke, 2000).

Der Hypothalamus produziert GnRH, welches die Synthese und Ausschüttung der Gonadotropine LH und FSH im HVL stimuliert (Roche und Diskin, 1996). Die Ausschüttung von GnRH und damit auch von LH und FSH erfolgt pulsatil (Meinecke, 2000).

Die Gonadotropine nehmen entscheidend Einfluss auf das Wachstum und die Entwicklung der ovariellen Follikel (Vanholder, Leroy *et al.*, 2006). Das vom Ovar gebildete Östrogen wiederum nimmt über verschiedene Rückkopplungsmechanismen Einfluss auf die Gonadotropinfreisetzung aus dem HVL (Diskin, Mackey *et al.*, 2003). Während der frühen Phasen des Sexualzyklus hat die zu diesem Zeitpunkt geringe Östrogenproduktion einen negativen Effekt auf die LH- und FSH-Freisetzung. Mit zunehmender Follikelreifung steigt die Östrogenkonzentration an und es kommt zu einer fördernden Wirkung auf die LH-Freisetzung und zu einer Hemmung der FSH-Freisetzung, was schlussendlich zur Ovulation des Follikels führt (Meinecke, 2000). Stattfinden und Zeitpunkt der Ovulation werden also durch die Östrogenproduktion des Follikels und damit durch den Follikel selbst kontrolliert (Meinecke, 2000).

Nach der Ovulation bilden sich aus den Theka- und Granulosazellen des Follikels Luteinzellen, so dass der Gelbkörper entsteht. Dieser bildet Progesteron, das hemmend auf die GnRH- und Gonadotropinausschüttung wirkt (Hoffmann, 1999).

Der physiologische Ablauf der Reproduktion wird von zahlreichen weiteren endokrinologischen Faktoren beeinflusst, so z.B. IGF-1. IGF-1 wirkt synergistisch mit den Gonadotropinen, indem es das Wachstum und die Hormonproduktion der ovariellen Zellen unterstützt (Lucy, 2000). IGF-1 ist Teil der somatotropen Achse, die aus vom Hypothalamus gebildetem GH-Releasing Hormon, hypophysärem Growth Hormon und von der Leber gebildetem IGF-1 besteht.

Die GH-Freisetzung aus dem HVL wird durch die antagonistisch wirkenden hypothalamischen Hormone GH-Releasing Hormon und Somatostatin kontrolliert und stellt einen entscheidenden Faktor in der homeorhetischen Koordination der Bereitstellung von Energie durch die Nutzung von Körperreserven dar (Roche, Friggens *et al.*, 2009). Die Wirkung von GH wird durch GH-Rezeptoren an den Zielzellen vermittelt (Roche, Friggens *et al.*, 2009). Die GH-Konzentration steigt zur Kalbung und ermöglicht so die Energiefreisetzung aus dem Fettgewebe (Liesman, McNamara *et al.*, 1995). In der Leber bewirkt GH die Synthese und Freisetzung von IGF-1 (Roche, Friggens *et al.*, 2009). Mit der Kalbung und dem Beginn der Laktation sinkt die IGF-1 Konzentration ab (Lucy, 2000). Das Absinken der IGF-1 Konzentration zur Kalbung beträgt bis zu 70 % und ist eine Folge der Abkopplung der

somatotropen Achse (Roche, Friggens *et al.*, 2009). Das bedeutet, dass es zu diesem Zeitpunkt zu einer massiven Verminderung der GH-Rezeptoren in der Leber kommt und auf diesem Wege die IGF-1 Freisetzung durch die Leber reduziert wird. Es wird vermutet, dass die NEB die IGF-1 Konzentration beeinflusst und diese wiederum Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit hat (Lucy, 2000).

2.2.5.2 Pathophysiologie der Fruchtbarkeit

Das Zusammenspiel von verschiedenen physiologischen Funktionen, das für einen reibungslosen Ablauf eines Reproduktionszyklus notwendig ist, kann durch viele unterschiedliche Faktoren gestört werden (Roche, Friggens *et al.*, 2009). Alle an der Reproduktion beteiligten Organe können von pathologischen Veränderungen betroffen sein. Besonders häufig treten bei der modernen Hochleistungskuh endokrin bedingte Störungen der Ovarfunktion, Zyklus- und Brunststörungen sowie Uteruserkrankungen auf.

2.2.5.2.1 Endokrin bedingte Störungen der Ovarfunktion

Das Fehlen oder die geringe Ausprägung von hypophysären Impulsen ist die Hauptursache ovarieller Dysfunktionen und hat Funktionsstörungen der Ovarien zur Folge (Grunert, 1999). Die Gründe für endokrinologische Störungen der Fruchtbarkeit sind vielfältig. Schweregeburten, Puerperalstörungen, klimatische und jahreszeitliche Einflüsse, Fütterungsfehler, chronische Erkrankungen, Haltungsmängel, Stress, Alter, hohe Milchleistung und im Verbund damit eine negative Energiebilanz werden als ätiologische Faktoren diskutiert (Grunert, 1999; Opsomer und de Kruif, 1999).

Zu den endokrinologisch verursachten pathologischen Veränderungen der Ovarfunktion zählt die Ovardystrophie. Es handelt sich hierbei um die Afunktion ursprünglich leistungsfähiger Eierstöcke als Folge belastender endogener oder exogener Faktoren (Grunert, 1999). Im Blut ist eine sehr niedrige Progesteronkonzentration festzustellen und bei der rektalen Palpation werden sehr kleine Eierstöcke vorgefunden (Opsomer und de Kruif, 1999). Ätiologisch wird von einem Mangel an FSH und LH oder einer geringeren Ansprechbarkeit der Ovarien auf diese Hormone ausgegangen (Grunert, 1999).

Ein häufiges durch Störungen der hypothalamischen-hypophysären-ovariellen-Achse verursachtes Problem sind ovarielle Zysten (Vanholder, Opsomer *et al.*, 2006). 10-13 % der Milchkühe, in einigen Herden auch bis zu 40 %, sind von zystösen Veränderungen der Ovarien betroffen (Garverick, 1997; Grunert, 1999). Besonders häufig treten Zysten bei Tieren mit hoher Milchleistung und dem vermehrten Auftreten von Zysten wird durch die NEB und die damit verbundenen metabolischen und hormonellen Veränderungen hergestellt (Vanholder, Opsomer *et al.*, 2006).

Unter ovariellen Zysten versteht man nicht-ovulierte, persistierende folliculäre Strukturen, die, so lange sie vorhanden sind, zur Infertilität des Tieres führen (Garverick, 1997).

Es kommen zwei unterschiedliche Zystenformen und des Weiteren Übergangsformen zwischen diesen beiden Formen vor (Grunert, 1999). Die unterschiedlichen Zystenformen können als unterschiedliche Manifestationen ein und derselben Krankheit angesehen werden (Opsomer und de Kruif, 1999; Vanholder, Opsomer *et al.*, 2006). Ihnen ist gemein, dass sie

entstehen, weil die Ovulation aufgrund ungenügender, fehlender oder nicht zeitgemäßer LH-Ausschüttung durch die Hypophyse nicht stattfindet (Grunert, 1999). Es sind dynamische Strukturen, die in eine andere Form übergehen oder sich spontan zurückbilden können (Opsomer und de Kruif, 1999). Die häufiger auftretende Form ist die Follikel-Theca-Zyste. Sie ist dünnwandig und produziert kein oder geringe Mengen an Progesteron. Die Follikel-Lutein-Zyste dagegen hat eine Wand von mehr als 3 mm Dicke und produziert Progesteron in unterschiedlichem Ausmaß (Garverick, 1997; Grunert, 1999; Vanholder, Opsomer *et al.*, 2006).

Die Entstehung von Zysten findet meist zwischen dem 30. und 60. Tag post partum statt. Dies ist ein für die weitere Fruchtbarkeit sehr wichtiger Zeitraum und so kommt es zu einer Verschlechterung der Fruchtbarkeitsparameter, wie etwa einer Verlängerung der Zwischenkalbezeit (Opsomer und de Kruif, 1999).

2.2.5.2.2 Uteruserkrankungen

Die Endometritis ist eine der am häufigsten auftretenden Krankheiten der Milchkuh im postpartalen Zeitraum und ist mit Einschränkungen der Milchleistung und der Fertilität verbunden (De Kruif, 1994; De Kruif, 1999).

In der Zeit um den Partus herum kommt es zur Öffnung der Cervix, so dass Keime in die Gebärmutter eindringen und eine Endometritis verursachen können (De Kruif, 1999). Ein besonderes Risiko für die Entwicklung einer Endometritis stellt ein langes Verbleiben der Nachgeburt im Uterus dar. Bei einer Nachgeburtshaltung entsteht immer eine Endometritis (De Kruif, 1999). Bei einer eitrigen Endometritis entwickelt sich eine Pyometra, bei der es zur Ansammlung großer Mengen Eiter im Uterus kommen kann. Die Chancen auf eine spontane Heilung sind bei der Pyometra deutlich schlechter als bei einer Endometritis ohne Eiterbildung (De Kruif, 1999).

Bei der Metritis sind nicht nur das Endometrium, sondern alle Schichten des Uterus von entzündlichen Veränderungen betroffen (De Kruif, 1999). Man beobachtet sie nach schweren Puerperalstörungen, Verletzungen des Uterus oder Infektionen mit Gasbranderregern. Bei der akuten Metritis ist das Allgemeinbefinden eingeschränkt (De Kruif, 1999). Die Prognose auf vollständige Heilung und ungestörte Fruchtbarkeit ist wesentlich schlechter als bei der Endometritis.

2.2.5.3 Einfluss der negativen Energiebilanz auf die Fruchtbarkeit

Die NEB beeinflusst den physiologischen Ablauf der Reproduktion in vielfältiger Weise (Friggens, 2003; Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003; Chagas, Bass *et al.*, 2007). Dabei spielen viele verschiedenen Hormone und Metabolite eine Rolle (Vanholder, Leroy *et al.*, 2006). Eine negative Beeinflussung der verschiedenen Fruchtbarkeitsparameter durch die NEB konnte in vielen Studien nachgewiesen werden (Butler, 2003).

Zum Beispiel konnten Patton, McNamara *et al.* (2007) einen direkten Zusammenhang zwischen der Energiebilanz und dem Beginn der lutealen Aktivität, der Günstzeit und der Konzeptionsrate bei der Erstbesamung herstellen (Patton, McNamara *et al.*, 2007). Butler (2000) zeigte eine direkte Beziehung zwischen der Ausprägung der errechneten NEB und der Zeit zwischen der Kalbung und der ersten Ovulation auf (Butler, 2000).

Auf welchem Wege die Beeinflussung der Fruchtbarkeit durch die NEB konkret stattfindet, ist Thema zahlreicher Publikationen und nicht abschließend geklärt.

Abbildung 1 zeigt drei unterschiedliche Wege auf, wie ein Energiedefizit zu Störungen im physiologischen Ablauf von Follikelwachstum, Follikelreifung und Ovulation führen kann.



Abbildung 1: Schematische Darstellung von Beziehungen zwischen Energiemangel und Ovarfunktion nach Kanitz, Becker et al. (2003)

2.2.5.3.1 Endokrines System

Es wird davon ausgegangen, dass Beziehungen zwischen dem metabolischen Status und dem reproduktiven endokrinen System bestehen (Butler und Smith, 1989; Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003). Wie oben erläutert, sind die Gonadotropine ein entscheidender Faktor im physiologischen Ablauf des Sexualzyklus. Die Hypothalamus-Hypophysen-Ovar-Achse kann durch viele unterschiedliche Faktoren gestört werden (Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003). Auch der metabolische Status des Tieres ist eng mit dieser Achse verknüpft (Wade und Jones, 2004).

Wie in Abbildung 1 (Abschnitt 2) dargestellt, haben Glucose und Insulin in diesem Zusammenhang eine wichtige Signalfunktion (Vanholder, Leroy *et al.*, 2006), denn sowohl Glucose (Diskin, Mackey *et al.*, 2003) als auch Insulin (Miller, Blache *et al.*, 1998) scheinen die GnRH-Freisetzung des Hypothalamus zu beeinflussen. Verringerte Konzentrationen dieser Stoffe bewirken eine Verringerung der Synthese und Sekretion von GnRH (Kanitz, Becker *et al.*, 2003).

Wade und Jones (2004) erklären diesen Mechanismus durch das Vorhandensein von speziellen Zellen im Hirnstamm, die als "fuel detectors" bezeichnet werden. Diese registrieren das Absinken von oxidierbaren Metaboliten wie Glucose. Diese Informationen werden über die Botenstoffe Neuropeptid Y und Katecholamine an den Hypothalamus weitergeben. Hier wird die GnRH Freisetzung direkt über Nervenzellen und indirekt über corticotropin-releasing Hormon produzierende Zellen gehemmt (Wade und Jones, 2004).

Ein weiterer wichtiger Mediator ist Leptin (Diskin, Mackey *et al.*, 2003). Leptin ist ein Peptidhormon, das im Fettgewebe synthetisiert wird und neben zahlreichen anderen Funktionen eine regulierende Wirkung auf die Fruchtbarkeit ausübt (Chilliard, Delavaud *et al.*, 2005). Barash (1996) stellte bei mit Leptin behandelten Mäusen, höhere Serumkonzentrationen von LH sowie ein höheres Gewicht von Ovar und Uterus, verglichen mit Kontrolltieren fest (Barash, Cheung *et al.*, 1996). Spicer (2001) stellte den Bezug zwischen dem Energiehaushalt und der Reproduktion auch für das Rind heraus (Spicer, 2001). Die Plasmaleptinkonzentration hängt linear von dem Fettgehalt des Schlachtkörpers bei Färsen bzw. dem BCS bei Milchkühen ab (Ehrhardt, Slepatis *et al.*, 2000). Die peripartale NEB bewirkt also eine Reduktion des Plasmaleptinspiegels (Block, Butler *et al.*, 2001). Der reduzierte Plasmaleptinspiegel ist mit einer verringerten Sekretion von Gonadotropin, FSH und LH verbunden (Cunningham, Clifton *et al.*, 1999). Als Mediator der Leptinwirkung auf die GnRH-produzierenden Zellen wird das Neuropeptid Y vermutet (Cunningham, Clifton *et al.*, 1999; Diskin, Mackey *et al.*, 2003). Leptin kann also als metabolisches Signal an das neuroendokrine System des Reproduktionsapparates eingestuft werden. Bei negativer Energiebilanz vermittelt ein niedriger Leptinspiegel eine Hemmung der Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-Achse (siehe Abbildung 1 Abschnitt 3) (Cunningham, Clifton *et al.*, 1999).

2.2.5.3.2 Ovarfunktion

Die NEB hat negative Auswirkungen auf das folliculäre Wachstum und die folliculäre Entwicklung (Lucy, 2001; Kanitz, Becker *et al.*, 2003; Chagas, Bass *et al.*, 2007). Es wurde beobachtet, dass der dominante Follikel in einer NEB nicht ausreichend Östrogen produziert, um über einen Anstieg der Gonadotropine die eigene Ovulation auszulösen (Roche, Mackey *et al.*, 2000; Lucy, 2001). Als mögliche Ursache dieser Wechselwirkung werden viele Faktoren diskutiert.

Beim Rind existiert ein direkter Einfluss von metabolischen Faktoren auf das Ovar (Chagas, Bass *et al.*, 2007). Zwei wichtige Mediatoren (Abbildung 1 Abschnitt 1) zwischen dem Energiestatus und der Fortpflanzung werden in diesem Zusammenhang diskutiert: Insulin und IGF-1 (Diskin, Mackey *et al.*, 2003; Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003; Vanholder, Leroy *et al.*, 2006; Chagas, Bass *et al.*, 2007).

Eine ausgeprägte NEB beeinflusst die IGF-1-Konzentration negativ (Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003). So wiesen Lucy, Beck *et al.* (1992) und Yung, VandeHaar *et al.* (1996) einen Zusammenhang zwischen einer ausgeprägteren NEB und einer niedrigeren IGF-1-Konzentration nach (Lucy, Beck *et al.*, 1992; Yung, VandeHaar *et al.*, 1996).

In vielen Studien wurde eine Korrelation zwischen der IGF-1-Blutkonzentration und der Fruchtbarkeit nachgewiesen. So beschreiben Patton, Kenny *et al.* (2007) und Falkenberg, Haertel *et al.* (2008) positive Effekte eines höheren gegenüber eines niedrigeren IGF-1-Serumspiegels auf verschiedene Fruchtbarkeitsparameter (Patton, Kenny *et al.*, 2007; Falkenberg, Haertel *et al.*, 2008).

IGF-1 stimuliert die ovarielle Funktion, indem es an IGF-Bindungsproteine, die am Ovar lokalisiert sind, bindet und durch die eine synergistische Wirkung zu den Gonadotropinen

vermittelt wird, so dass Wachstum und Hormonsynthese der ovariellen Zellen gefördert werden (Spicer und Echternkamp, 1995; Lucy, 2000).

Ebenso wie bei IGF-1 sind auch Rezeptoren für Insulin auf den Ovarien lokalisiert. Insulin ist genau wie IGF-1 ein potenter Stimulator der Steroidproduktion und der Proliferation von Follikelzellen (Spicer und Echternkamp, 1995; Vanholder, Leroy *et al.*, 2006).

Niedrige systemische IGF-1-Konzentrationen im frühen postpartalen Zeitraum können zum Ausbleiben der Ovulation und zur Entstehung von Zysten führen (Zulu, Sawamukai *et al.*, 2002). Eine ähnliche Rolle bei der Entstehung ovarieller Dysfunktionen spielt ein niedriger Insulinspiegel (Vanholder, Leroy *et al.*, 2005).

Neueren Untersuchungen zur Folge hat auch Leptin neben der Wirkung auf die gonadotrope Achse einen direkten Einfluss auf die ovarielle Funktion. Beim Schaf wurde nachgewiesen, dass Leptin die ovarielle Steroidgenese beeinflusst (Kendall, Gutierrez *et al.*, 2004). Auch bei anderen Wiederkäuern kann von einer solchen Beeinflussung des Ovars durch Leptin ausgegangen werden (Chagas, Bass *et al.*, 2007).

Insulin, IGF-1 und Leptin sind also Mediatoren, die den metabolische Zustand des Tieres mit dem Reproduktionssystem verknüpfen. Die möglichen negativen Auswirkungen der ausschließlichen Fokussierung auf eine höhere Milchleistung auf Kosten der reproduktiven Funktion werden hier deutlich (Chagas, Bass *et al.*, 2007).

Die genannten Folgen der NEB können sich am Ovar in Form von ovariellen Zysten oder einer Ovardystrophie manifestieren (Zulu, Sawamukai *et al.*, 2002; Vanholder, Opsomer *et al.*, 2006). Die hormonellen und metabolischen Veränderungen durch die NEB betreffen alle Ebenen der gonadotropen Achse. Vanholder, Opsomer *et al.* (2006) gehen davon aus, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der Länge und Ausprägung der NEB und dem vermehrten Auftreten von Zysten besteht. Es wird von einer genetischen Korrelation zwischen der Milchleistung, der NEB und dem Auftreten von Zysten ausgegangen (Vanholder, Opsomer *et al.*, 2006).

2.2.5.3.3 Qualität der Eizelle

Auch die Qualität der Eizelle zum Zeitpunkt der Insemination wird durch den Konditionszustand und die Futteraufnahme beeinflusst (Adamiak, Mackie *et al.*, 2005; Chagas, Bass *et al.*, 2007).

Adamiak, Mackie *et al.* (2005) beobachteten einen positiven Effekt auf die Qualität der Eizellen bei Färsen, die mit hochenergetischem Futter gefüttert wurden und in schlechter Körperkondition waren. Bei Tieren in guter Kondition wurden jedoch schädliche Effekte auf die Eizelle bei hochenergetischer Fütterung beobachtet (Adamiak, Mackie *et al.*, 2005). Auch Kendrick, Bailey *et al.* (1999) beobachteten, dass Tiere, die weniger stark von der NEB betroffen waren, eine größere Zahl an qualitativ hochwertigen Eizellen aufwiesen als Tiere mit einer ausgeprägteren NEB (Kendrick, Bailey *et al.*, 1999).

Eine Verlängerung der NEB führt zu einer verminderten Qualität der Eizelle (Dominguez, 1995; Kendrick, Bailey *et al.*, 1999). Als Mediator zwischen dem metabolischen Status und der Eizelle wird auch hier IGF-1 diskutiert (Kendrick, Bailey *et al.*, 1999; Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003).

2.2.6 Negative Nettoenergiebilanz und Milchleistung

In einer hohen Anzahl von Studien wurde eine Korrelation zwischen dem Verlauf der Körperkondition (BCS oder RFD) und der Milchleistung nachgewiesen (Dechow, Rogers *et al.*, 2001).

Der Abbau von Körperfett nimmt demnach, wie in Abbildung 2 dargestellt, mit einer Erhöhung der Milchleistung in der Frühphase der Laktation zu (McNamara, 1989; Domecq, Skidmore *et al.*, 1997; Schröder, 2000; Schröder und Staufenbiel, 2002; Roche, Friggens *et al.*, 2009). Auch die Dauer, in der sich die Kühe in einer negativen Energiebilanz befinden, verlängert sich mit steigender Milchmenge (Gallo, Carnier *et al.*, 1996; Schröder, 2000; Schröder und Staufenbiel, 2002). Umgekehrt bedeutet dies, dass mit dem Ausmaß der Körperfettmobilisation der Kuh in der Früh-laktation auch die Milchleistung zunimmt (Roche, Friggens *et al.*, 2009). Die Laktationskurve korreliert also sowohl mit der Ausprägung als auch der Dauer der NEB positiv (Roche, Berry *et al.*, 2006; McCarthy, Berry *et al.*, 2007).

Dieser Zusammenhang kann mit der erhöhten Nutzung der infolge der Lipolyse freigesetzten Lipide für die Milchfettproduktion erklärt werden (Drackley, 1999). Außerdem wird durch eine gesteigerte Lipolyse Energie für die nicht-mammären Organe zur Verfügung gestellt. Diese nutzen nun vornehmlich die freigesetzten Lipide anstatt von Glucose als Energiequelle. So werden große Mengen an Glucose, die das Euter zur Lactoseproduktion benötigt, bereitgestellt (Bauman und Currie, 1980).

Bei der Verminderung der Glucoseaufnahme durch die extramammären Organe spielt die Insulinresistenz eine wichtige Rolle, da hier insulinabhängige Glucosetransporter vorkommen, während das Eutergewebe mit einem insulinunabhängigen Glucosetransporter ausgestattet ist (Chagas, Lucy *et al.*, 2009). Durch die Insulinresistenz wird also weniger Glucose von extramammären Organen aufgenommen, so dass mehr Glucose für die Milchsynthese zur Verfügung steht (Chagas, Bass *et al.*, 2007).

Dies ist eine wichtige Folge der intensiven Selektion zu Gunsten der Milchleistung und zeigt auf, wie der Metabolismus der Milchkuh auf die Herausforderung der immer weiter steigenden Milchproduktion des Einzeltieres in den letzten Jahrzehnten reagiert hat (Chagas, Lucy *et al.*, 2009).

McNamara wies schon 1989 nach, dass die Ansprechbarkeit des Fettgewebes auf adrenerge Stimulation bei Hochleistungskühen höher ist als bei Kühen mit mäßiger Milchleistung (McNamara, 1989). Dies führt zu höheren Lipolyseraten bei Tieren mit höherer Leistung. Die Expression von lipolytischen Genen im Fettgewebe steigt im Verlauf der Früh-laktation an (Sumner und McNamara, 2007). Es kann davon ausgegangen werden, dass die metabolische Aktivität des Eutergewebes mit der metabolischen Aktivität des Fettgewebes korreliert (McNamara, 1991). Während die Lipolyse stark von der Milchleistung beeinflusst wird, ist zu beobachten, dass die Lipogenese stärker von der Energieaufnahme mit dem Futter als von dem Energieverlust über die Milch beeinflusst wird (McNamara, 1989; McNamara, 1991).

Als Ausgangspunkt für die Entwicklung der Körperkondition in der Laktation spielt auch die Kondition zum Zeitpunkt der Kalbung eine Rolle (Roche, Friggens *et al.*, 2009).

Hierbei gilt, dass sowohl überkonditionierte als auch unterkonditionierte Kühe eine geringere Milchleistung erbringen als moderat konditionierte Kühe (Waltner, McNamara *et al.*, 1993).

Bei Kühen, die mit zu großen Reserven an Körperfett in die Laktation gehen, kommt es zu einer Reduktion der Trockenmasseaufnahme, was wiederum die geringere Milchleistung begründet (Garnsworthy und Topps, 1982).

Auch zwischen dem Eiweißgehalt der Milch und dem Verlauf der Körperkondition wurden Beziehungen festgestellt. Schröder und Staufenberg (2002) stellten einen sinkenden Eiweißgehalt bei einer stärker ausgeprägten negativen Energiebilanz fest (Schröder und Staufenberg, 2002). Demnach ist ein mittlerer Eiweißgehalt der Milch von unter 3,2 % mit einem starken Energiedefizit verbunden. Der Grund hierfür ist, dass es in Phasen der energetischen Unterversorgung zu einer Reduzierung der mikrobiellen Proteinsynthese, die dem Wiederkäuer als Haupteiweißquelle dient, kommt.

Im Gegensatz zum sinkenden Eiweißgehalt der Milch steigt der Fettgehalt nach Ansicht der meisten Autoren während eines Energiedefizits an (Heuer, Schukken *et al.*, 1999). Als Begründung hierfür kann eine vermehrte Nutzung des abgebauten Körperfetts für die Milchfettsynthese angegeben werden (Roche, Friggens *et al.*, 2009). Es gibt allerdings auch Studien, die von einem Absinken des Milchfettgehaltes bei einem verstärkten Energiedefizit berichten (Schröder und Staufenberg, 2002).

Abbildung 2 zeigt die Konditionskurven von vier Gruppen von Kühen. Die Einteilung in die Gruppen wurde entsprechend der hochgerechneten 305-Tage-Milchleistung vorgenommen. Die Abbildung verdeutlicht, dass die jeweiligen Konditionskurven der Gruppen umso niedrigere Verläufe nehmen je höher die Milchleistung der Kühe der Gruppen ist. Die Mobilisation von Rückenfett nimmt also mit steigender Milchleistung zu (Schröder, 2000).

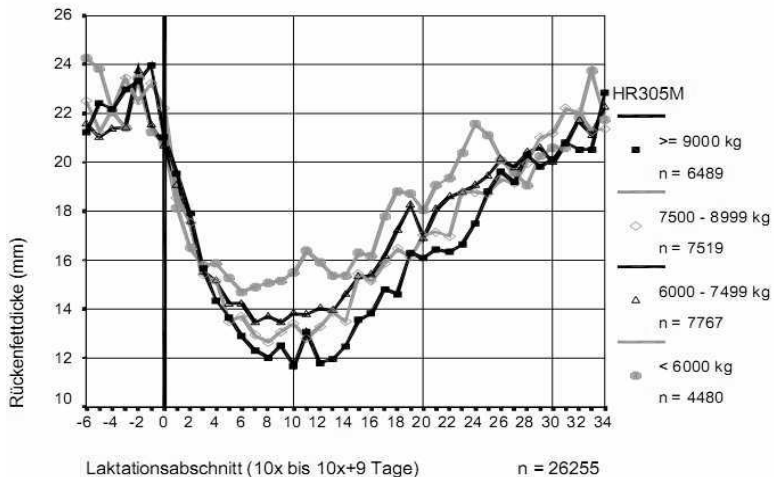


Abbildung 2: Empirische Konditionskurven in Abhängigkeit von der hochgerechneten 305-Tage-Milchleistung nach Schröder (2000)

2.3 Einfluss der Genetik auf die negative Nettoenergiebilanz

In den letzten Jahrzehnten fand bei der genetischen Selektion von Milchkühen weltweit eine einseitige Fokussierung auf eine Steigerung der Milchproduktion statt (Rauw, Kanis *et al.*, 1998; Miglior, Muir *et al.*, 2005).

Dies führte indirekt zu einer Verstärkung und Verlängerung der NEB und damit zu einer stärkeren Mobilisation von Körperfett, da die Futteraufnahme nicht proportional zur Milchleistung anstieg (Veerkamp, Koenen *et al.*, 2001). Negative Auswirkungen sowohl für die Tiergesundheit (Rauw, Kanis *et al.*, 1998; Heringstad, Chang *et al.*, 2003) als auch die Fruchtbarkeit (Coffey, Emmans *et al.*, 2001; Veerkamp, Koenen *et al.*, 2001; Chagas, Bass *et al.*, 2007) waren die Folge.

Eine genetische Determination der Ausprägung und des Verlaufes der Energiebilanz wurde in zahlreichen Studien belegt (Koenen und Veerkamp, 1998; Veerkamp und Goddard, 1998; Coffey, Emmans *et al.*, 2001). Untersuchungen von McNamara und Hillers (1986) ergaben, dass Kühe mit einem größeren genetischen Potential für Milchleistung, präpartal und dann über die komplette Laktation hinweg, höhere Lipolyseraten hatten als Tiere mit geringerem genetischen Potential für Milchleistung (McNamara und Hillers, 1986).

Die Lipogeneserate war während der Laktation bei Kühen mit niedrigem Potential deutlich höher (McNamara und Hillers, 1986).

Eine genetisch determinierte Fettmobilisation kann aus dem evolutionären Vorteil im Bezug auf den Reproduktionserfolg geschlussfolgert werden, der durch die Nutzung von Körperfettdepots entsteht (Friggens, Ingvarsen *et al.*, 2004). Dies ist Teil der homeorhetischen Kontrolle des Stoffwechsels, die zur energetischen Nutzung von Körperreserven zugunsten des reproduktiven Erfolges führt (Bauman und Currie, 1980). Diese genetische Determination wurde in der Selektion auf Milchleistung ausgenutzt, was zur Folge hatte, dass die Milchleistung auf Kosten einer stärkeren Fettmobilisation stieg (Chagas, Lucy *et al.*, 2009). Es kommt durch diese einseitige Selektion zu einer stärkeren Ausprägung der homeorhetischen Kontrolle des Stoffwechsels und damit einhergehend zur Erhöhung der Konzentration von GH bei verringerter Konzentration von Insulin mit den oben beschriebenen Folgen für die Fruchtbarkeit und die Tiergesundheit (Nebel und McGilliard, 1993).

Verdeutlicht wird die Tatsache der genetisch determinierten Fokussierung der Hochleistungsmilchkuh auf die Leistung dadurch, dass es bei einer Erhöhung der Energiezufuhr lediglich zu einer weiteren Steigerung der Milchleistung kommt und in der Früh-laktation die zusätzliche Energie nicht für das Auffüllen der körpereigenen Energiereserven oder die Verbesserung der Fruchtbarkeit verwendet wird (Horan, Mee *et al.*, 2004; Chagas, Bass *et al.*, 2007).

2.3.1 Genetisches Potential zu niedriger Mobilisation bei hoher Milchleistung

In der aktuellen Literatur liegen zur Zeit wenig Untersuchungen vor, die sich damit beschäftigen, ob eventuell eine bestimmte Gruppe von Kühen existiert, die in der Lage ist, eine hohe Milchleistung zu erbringen, ohne dabei übermäßig viel Fett mobilisieren zu müssen.

1989 formulierte McNamara das Ziel, Tiere mit einer „overall metabolic efficiency“ zu selektieren (McNamara, 1989). Breves (2007) stellt fest, dass gewisse Tiere einer Gesamtpopulation von Hochleistungskühen hohe Leistungen erbringen, ohne pathophysiologische Auffälligkeiten zu zeigen (Breves, 2007). Schwerin (2009) sieht die Gründe für schlechtere Fruchtbarkeitsergebnisse und mangelnde Tiergesundheit bei Kühen mit höheren Leistungen nicht in der höheren Leistung, sondern in dem ausgeprägteren Energiedefizit zu Beginn der Laktation und sieht hier die Möglichkeit zu einer züchterischen Verbesserung, um hohe Leistung mit einer besseren Tiergesundheit zu erreichen (Schwerin, 2009). Ansatzpunkte sieht Schwerin (2009) dabei bei den Regulationsmechanismen der Futteraufnahme und der Verwertungs Kapazität des Futters (Schwerin, 2009).

Sumner und McNamara (2007) beschreiben die großen Unterschiede bezüglich der Lipolyse und der Ausprägung von Erkrankungen und Fruchtbarkeitsstörungen bei Hochleistungsmilchkühen. Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, Tiere zu selektieren, die eine höhere metabolische Effizienz zeigen und in der Lage sind, ein der Situation angemessenes Ausmaß der Lipolyse zu erreichen (Sumner und McNamara, 2007).

Die Ergebnisse einer Studie von Wenning (2008) deuten darauf hin, dass es in der Gesamtpopulation Kühe gibt, die auch mit einer weniger stark ausgeprägten NEB eine ähnlich hohe Milchleistung erzielen können wie Tiere mit einer stärker ausgeprägten NEB (Wenning, 2008).

2.4 Ziel der Arbeit und Zusammenstellung von wichtiger Literatur

Erstes Ziel dieser Arbeit ist es, die Tiefe und die Dauer der postpartalen NEB in der hier untersuchten kommerziellen Hochleistungsmilchviehherde festzustellen. Dabei ist es wichtig, die hier erhobenen Daten über die Ausprägung der NEB mit anderen Studien zu vergleichen. Wichtige Quellen sind hierbei die Arbeiten von Roche und Friggens (2009) und Grummer und Rastani (2003). Die Herde wurde des Weiteren bezüglich der Milchleistung, verschiedener Stoffwechsellparameter, der Fruchtbarkeit und der Tiergesundheit untersucht. Im Anschluss hieran wurden die Folgen einer unterschiedlich stark ausgeprägten NEB auf die anderen hier aufgenommenen Parameter untersucht. Das eine stark ausgeprägte NEB vielfältige negative Folgen hat, stellten Grummer und Rastani (2003) heraus.

Wichtige Arbeiten bezüglich des Zusammenhangs zwischen der NEB und der Tiergesundheit kommen von Kremer, Noordhuizenstassen et al. (1993), Duffield, Bagg et al. (2002) und Roche, Friggens et al. (2009).

Noch häufiger wurde der negative Einfluss einer stark negativen Energiebilanz auf das Fruchtbarkeitsgeschehen untersucht. Wichtige Beiträge stammen in diesem Gebiet von Butler (2003), Jorritsma, Wensing et al. (2003), Schröder und Staufenbiel (2003), Chagas, Bass et al. (2007) und Patton, Kenny et al. (2007).

Ein weiterer wichtiger Schritt dieser Arbeit ist es, eine Gruppe von Kühen zu finden, die eine hohe Milchleistung mit einer weniger stark ausgeprägten NEB und damit verbundenen besseren Fruchtbarkeitsergebnissen und einer höheren Tiergesundheit aufweist. Anhaltspunkte dafür, dass es solche Tiere in der Population von Hochleistungskühen gibt, zeigt die Arbeit von Wenning (2008) auf.

Die negativen Folgen der einseitigen Fokussierung in der Selektion hin zu einer immer höheren Milchleistung wurden in den Arbeiten von Rauw (1998) und Oltenacu (2010) aufgezeigt und sollen auch hier diskutiert werden (Rauw, Kanis *et al.*, 1998; Oltenacu und Broom, 2010). Mögliche Auswege durch die Züchtung hin zu einer weniger negativen Energiebilanz, beispielsweise durch die Selektion von Tieren mit einer höheren Futteraufnahme, sollen aufgezeigt werden. Hierbei bieten die Arbeiten von Rauw (1998) und Schwerin (2009) eine wichtige Grundlage für die Diskussion (Rauw, Kanis *et al.*, 1998; Schwerin, 2009).

3 Material und Methoden

3.1 Versuchstiere

Der Versuch wurde in der Milchviehanlage Becker, Jäkel, Seever GbR in Schwabhausen/Thüringen durchgeführt. Der Versuchszeitraum erstreckte sich von Dezember 2008 bis Oktober 2009.

In dem Betrieb werden ca. 1200 Milchkühe, 300 Färsen sowie 130 Kälber der Rasse Holstein Schwarzbunt gehalten.

Die Milchkühe sind in einem Boxenlaufstall mit Vollspaltenboden untergebracht. Die Tiere sind nach Laktationsstadium in Gruppen von 50 bis 90 Tieren aufgeteilt. Die Abkalbung findet in separaten, mit Stroh eingestreuten, Boxen statt. Nach der Abkalbung verbleiben die Kühe mindestens drei Tage unter tierärztlicher Kontrolle im Abkalbbereich und werden dann, wenn es der gesundheitliche Zustand zulässt, in die Laktationsgruppen aufgeteilt. Gemolken wird je nach Laktationsstadium 2-3mal täglich in einem Melkkarussel.

Es handelt sich um einen kontrollierten BHV-1 Impfbestand.

In den Versuch wurden 341 Tiere einbezogen, davon waren 211 Kühe und 130 Färsen. Es handelt sich dabei um alle Kühe und Färsen, die in dem Zeitraum von Januar bis Mai 2009 gekalbt haben.

3.2 Versuchsgestaltung

In dem vorliegenden Versuch wird die Konditionsentwicklung der Studientiere von der Trockenstehphase bis zum Ende der ersten Hälfte der Laktation mit Hilfe der Bestimmung der Rückenfettdicke per Ultraschall zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt. Die Milchleistung der einzelnen Tiere wurde ebenfalls während dieser Zeit gemessen. Des Weiteren wurden die Stoffwechselfparameter NEFA und BHBS im Plasma im selben Zeitraum bestimmt, um einen Einblick in den Fettstoffwechsel der Tiere zu erhalten.

Der Gesundheitsstatus der Herde wird über die Betrachtung verschiedener typischer Krankheitskomplexe dokumentiert.

Um eine Einschätzung des Fruchtbarkeitsstatus der Herde zu erhalten, wird auf verschiedene, häufig verwendete Fruchtbarkeitskennzahlen zurückgegriffen.

Bei allen in den Versuch aufgenommenen Tieren wurde zunächst die Bestimmung der Rückenfettdicke sowie die Blutprobenentnahme an identischen Zeitpunkten der Laktation durchgeführt.

Nach Abschluss der Erhebung dieser Daten wurde eine Einteilung der Tiere in drei Gruppen vorgenommen. Die Einteilung erfolgte auf Grundlage der RFD-Entwicklung zwischen dem 3. Tag post partum und dem 84. Tag post partum.

Es entstanden so die Gruppe der Hochmobilisierer mit einer RFD-Entwicklung in diesem Zeitraum von -32 mm bis -16 mm, die Gruppe der Mittelmobilisierer mit einer RFD-Entwicklung von -15 mm bis -12 mm und die Gruppe der Niedrigmobilisierer mit einer RFD-Entwicklung von -11 mm bis +2 mm.

Im Anschluss hieran wurden die Kühe der Gruppe der Niedrigmobilisierer nach der mittleren Milchleistung der Einzeltiere in den ersten 168 Tagen der Laktation in die beiden gleich

großen Gruppen der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung und der Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung geteilt. Diese beiden neu entstandenen Gruppen wurden im Anschluss miteinander und mit der Gruppe der Hochmobilisierer verglichen.

Die Einteilung der Tiere in die verschiedenen Gruppen wurde also erst nach Auswertung der RFD-Daten am Ende des Versuches vorgenommen.

3.3 Fütterung der Versuchstiere

Es wurde eine totale Mischration (TMR) verfüttert. Die Fütterung fand 8-10 mal täglich mit Hilfe einer computergesteuerten Hochbandfütterung statt. Je nach Laktationsstadium wurden vier verschiedene Rationen verfüttert. Dabei handelte es sich um zwei unterschiedliche Trockensteherrationen (Trockensteher 1: 6. Woche ante partum bis 3. Woche ante partum; Trockensteher 2: 3. Woche ante partum bis zur Abkalbung), eine Starterration (Abkalbung bis ca. 10. Woche post partum) und eine Hochleistungsration. Es wurde wöchentlich eine Futterprobe entnommen und getrocknet. Die getrockneten Proben von vier aufeinander folgenden Wochen wurden vermischt und zur Analyse an das Analytiklabor für Landwirtschaft und Umwelt, Bgg Deutschland GmbH, in Parchim geschickt. Die Ergebnisse des Bgg sind den Tabellen 1 bis 7 zu entnehmen.

Die Tränke erfolgte ad libitum.

Tabelle 1: Analyseergebnis der Ration „Trockensteher2“ vom 06.02.2009

Chemisch analytische Prüfung				
Untersuchungsparameter		Frischmasse	Trockenmasse	Methode
Trockensubstanz	(g/kg)	432	1000	VDLUF A III 3.1
Rohasche	(g/kg)	35	80	VDLUF A III 8.1
Rohprotein	(g/kg)	61	141	VDLUF A III 4.1.1
Rohfaser	(g/kg)	87	202	VDLUF A III 6.1.4
Zucker	(g/kg)	19,3	44,7	Neocuproine
Stärke	(g/kg)	67,3	155,9	VDLUF A III 7.2.1
ADF org.	(g/kg)	104	242	VDLUF A III 6.5.2
Ca	(g/kg)	3,06	7,09	VDLUF A VII 2.2.2.6
P	(g/kg)	1,64	3,80	VDLUF A VII 2.2.2.6
Mg	(g/kg)	1,53	3,55	VDLUF A VII 2.2.2.6
K	(g/kg)	7,71	17,86	VDLUF A VII 2.2.2.6
Na	(g/kg)	1,70	3,93	VDLUF A VII 2.2.2.6
Cl	(g/kg)	6,08	14,07	DIN 38405 D 1
S	(g/kg)	0,57	1,33	VDLUF A VII 2.2.2.6
pH-Wert		4,75		
Auswertung				
		Frischmasse	Trockenmasse	
Umsetzbare Energie	ME (MJ/kg)	4,7	10,9	
Nettoenergie-Laktation	NEL(MJ/kg)	2,9	6,6	
DCAB	meq/kg		+148	

Tabelle 2: Analyseergebnis der Ration „Trockensteher2“ vom 19.03.2009

Chemisch analytische Prüfung				
Untersuchungsparameter		Frischmasse	Trockenmasse	Methode
Trockensubstanz	(g/kg)	479	1000	VDLUF A III 3.1
Rohasche	(g/kg)	42	89	VDLUF A III 8.1
Rohprotein	(g/kg)	68	141	VDLUF A III 4.1.1
Rohfaser	(g/kg)	96	200	VDLUF A III 6.1.4
Zucker	(g/kg)	17,2	36,0	Neocuproine
Stärke	(g/kg)	90,3	188,5	VDLUF A III 7.2.1
ADF org.	(g/kg)	110,2	230	VDLUF A III 6.5.2
Ca	(g/kg)	3,88	8,10	VDLUF A VII 2.2.2.6
P	(g/kg)	1,85	3,86	VDLUF A VII 2.2.2.6
Mg	(g/kg)	2,32	4,85	VDLUF A VII 2.2.2.6
K	(g/kg)	7,10	14,81	VDLUF A VII 2.2.2.6
Na	(g/kg)	2,36	4,93	VDLUF A VII 2.2.2.6
Cl	(g/kg)	6,15	12,83	DIN 38405 D 1
S	(g/kg)	0,45	0,93	VDLUF A VII 2.2.2.6
pH-Wert		4,55		
Auswertung				
		Frischmasse	Trockenmasse	
Umsetzbare Energie	ME (MJ/kg)	5,4	10,9	
Nettoenergie-Laktation	NEL(MJ/kg)	3,2	6,7	
DCAB	meq/kg		+174	

Tabelle 3: Analyseergebnis der Ration „Starter“ vom 22.04.2009

Chemisch analytische Prüfung				
Untersuchungsparameter		Frischmasse	Trockenmasse	Methode
Trockensubstanz	(g/kg)	425	1000	VDLUF A III 3.1
Rohasche	(g/kg)	37	87	VDLUF A III 8.1
Rohprotein	(g/kg)	58	136	VDLUF A III 4.1.1
Rohfaser	(g/kg)	82	194	VDLUF A III 6.1.4
Zucker	(g/kg)	13,1	30,7	Neocuproine
Stärke	(g/kg)	79,5	187,0	VDLUF A III 7.2.1
ADF org.	(g/kg)	100	235	VDLUF A III 6.5.2
Ca	(g/kg)	3,17	7,46	VDLUF A VII 2.2.2.6
P	(g/kg)	1,62	3,82	VDLUF A VII 2.2.2.6
Mg	(g/kg)	1,08	2,54	VDLUF A VII 2.2.2.6
K	(g/kg)	6,22	14,63	VDLUF A VII 2.2.2.6
Na	(g/kg)	1,47	3,45	VDLUF A VII 2.2.2.6
Cl	(g/kg)	2,76	6,49	DIN 38405 D 1
S	(g/kg)	0,42	0,99	VDLUF A VII 2.2.2.6
Auswertung				
		Frischmasse	Trockenmasse	
Umsetzbare Energie	ME (MJ/kg)	4,7	11,0	
Nettoenergie-Laktation	NEL(MJ/kg)	2,8	6,7	
DCAB	meq/kg		+280	

Tabelle 4: Analyseergebnis der Ration „Starter“ vom 25.05.2009

Chemisch analytische Prüfung				
Untersuchungsparameter		Frischmasse	Trockenmasse	Methode
Trockensubstanz	(g/kg)	418	1000	VDLUF A III 3.1
Rohasche	(g/kg)	29	68	VDLUF A III 8.1
Rohprotein	(g/kg)	52	125	VDLUF A III 4.1.1
Rohfaser	(g/kg)	93	222	VDLUF A III 6.1.4
Zucker	(g/kg)	12,0	28,6	Neocuproine
Stärke	(g/kg)	76,4	182,7	VDLUF A III 7.2.1
ADF org.	(g/kg)	109	262	VDLUF A III 6.5.2
Ca	(g/kg)	2,9	6,8	VDLUF A VII 2.2.2.6
P	(g/kg)	1,5	3,5	VDLUF A VII 2.2.2.6
Mg	(g/kg)	0,9	2,1	VDLUF A VII 2.2.2.6
K	(g/kg)	6,1	14,6	VDLUF A VII 2.2.2.6
Na	(g/kg)	1,0	2,4	VDLUF A VII 2.2.2.6
Auswertung				
		Frischmasse	Trockenmasse	
Umsetzbare Energie	ME (MJ/kg)	4,3	10,4	
Nettoenergie-Laktation	NEL(MJ/kg)	2,6	6,2	

Tabelle 5: Analyseergebnis der Ration „Hochleistung“ vom 01.07.2009

Chemisch analytische Prüfung				
Untersuchungsparameter		Frischmasse	Trockenmasse	Methode
Trockensubstanz	(g/kg)	413	1000	VDLUF A III 3.1
Rohasche	(g/kg)	30	72	VDLUF A III 8.1
Rohprotein	(g/kg)	58	141	VDLUF A III 4.1.1
Rohfaser	(g/kg)	84	204	VDLUF A III 6.1.4
Zucker	(g/kg)	9,7	23,5	Neocuproine
Stärke	(g/kg)	74,8	181,3	VDLUF A III 7.2.1
ADF org.	(g/kg)	106	258	VDLUF A III 6.5.2
Ca	(g/kg)	3,0	7,3	VDLUF A VII 2.2.2.6
P	(g/kg)	1,6	3,8	VDLUF A VII 2.2.2.6
Mg	(g/kg)	1,0	2,3	VDLUF A VII 2.2.2.6
K	(g/kg)	6,2	14,9	VDLUF A VII 2.2.2.6
Na	(g/kg)	0,9	2,1	VDLUF A VII 2.2.2.6
Auswertung				
		Frischmasse	Trockenmasse	
Umsetzbare Energie	ME (MJ/kg)	4,5	10,8	
Nettoenergie-Laktation	NEL(MJ/kg)	2,7	6,6	

Tabelle 6: Analyseergebnis der Ration „Hochleistung“ vom 12.08.2009

Chemisch analytische Prüfung				
Untersuchungsparameter		Frischmasse	Trockenmasse	Methode
Trockensubstanz	(g/kg)	441	1000	VDLUF A III 3.1
Rohasche	(g/kg)	32	73	VDLUF A III 8.1
Rohprotein	(g/kg)	72	164	VDLUF A III 4.1.1
Rohfaser	(g/kg)	87	197	VDLUF A III 6.1.4
Zucker	(g/kg)	13,4	30,5	Neocuproine
Stärke	(g/kg)	73,5	166,9	VDLUF A III 7.2.1
ADF org.	(g/kg)	110	249	VDLUF A III 6.5.2
Ca	(g/kg)	3,24	7,35	VDLUF A VII 2.2.2.6
P	(g/kg)	1,84	4,17	VDLUF A VII 2.2.2.6
Mg	(g/kg)	1,03	2,33	VDLUF A VII 2.2.2.6
K	(g/kg)	6,72	15,24	VDLUF A III 4.8.1
Na	(g/kg)	0,82	1,87	VDLUF A VII 2.2.2.6
Cl	(g/kg)	2,16	4,90	DIN 38405 D 1
S	(g/kg)	1,03	1,26	VDLUF A VII 2.2.2.6
NH ₃	(g/kg)	0,71		VDLUF A III 4.8.1
pH-Wert		4,55		VDLUF A III 18.1
Auswertung				
		Frischmasse	Trockenmasse	
Umsetzbare Energie	ME (MJ/kg)	4,9	11,1	
Nettoenergie-Laktation	NEL(MJ/kg)	3,0	6,7	
DCAB	(meq/kg)		+ 255	

Tabelle 7: Analyseergebnis der Ration „Hochleistung“ vom 06.10.2009

Chemisch analytische Prüfung				
Untersuchungsparameter		Frischmasse	Trockenmasse	Methode
Trockensubstanz	(g/kg)	413	1000	VDLUF A III 3.1
Rohasche	(g/kg)	31	75	VDLUF A III 8.1
Rohprotein	(g/kg)	67	162	VDLUF A III 4.1.1
Rohfaser	(g/kg)	81	196	VDLUF A III 6.1.4
Zucker	(g/kg)	13,1	31,8	Neocuproine
Stärke	(g/kg)	74,1	179,3	VDLUF A III 7.2.1
ADF org.	(g/kg)	98	236	VDLUF A III 6.5.2
Ca	(g/kg)	3,30	7,99	VDLUF A VII 2.2.2.6
P	(g/kg)	1,77	4,29	VDLUF A VII 2.2.2.6
Mg	(g/kg)	1,11	2,68	VDLUF A VII 2.2.2.6
K	(g/kg)	6,54	15,83	VDLUF A VII 2.2.2.6
Na	(g/kg)	1,01	2,44	VDLUF A VII 2.2.2.6
Cl	(g/kg)	2,44	5,91	DIN 38405 D 1
S	(g/kg)	0,42	1,02	VDLUF A VII 2.2.2.6
Auswertung				
		Frischmasse	Trockenmasse	
Umsetzbare Energie	ME (MJ/kg)	4,6	11,1	
Nettoenergie-Laktation	NEL(MJ/kg)	2,8	6,7	
DCAB	meq/kg		+281	

3.4 Messung der Rückenfettdicke

Die Messung der Rückenfettdicke (RFD) wurde mit Hilfe des tragbaren Ultraschallgerätes PU-400 der Firma Proxima mit einem Linearschallkopf 5 MHz durchgeführt.

Die Messung erfolgte am 28. Tag ante partum sowie am 3., 28., 56., 84., 112., 140., und 168. Tag post partum nach der von Staufenbiel (1997) beschriebenen Methode (Staufenbiel, 1997). Hierbei wird in der Sakralregion auf einer gedachten Linie zwischen dem Hüftbeinhöcker und dem Sitzbeinhöcker die Dicke des subkutanen Fettes und der äußeren Haut bestimmt.

3.5 Blutprobenentnahme

Die Entnahme der Blutproben fand am 8. Tag ante partum, sowie am 3., 28., 56., 84., 112., 140. und 168. Tag post partum an der Vena coccygea der Tiere statt.

Es wurde pro Entnahme ca. 20ml Blut in Serumröhrchen (Kabevette-N; Firma Kabe) entnommen.

Die Proben wurden direkt nach der Entnahme für 10 Minuten bei 3500 U/min zentrifugiert (Zentrifuge: EBA 12; Firma Hettich).

Das so gewonnene Serum wurde anschließend in Eppendorfgefäße (Firma Kisker) pipettiert. Daraufhin wurde das Serum bei -20° C bis zur weiteren Analyse tiefgefroren.

3.6 Analyse der Serumproben

Die Analyse der Serumproben wurde durch das Labor der Klinik für Klautiere der Freien Universität Berlin durchgeführt. Es wurden die Konzentrationen der Non-esterified fatty acids (NEFA) sowie von β -Hydroxybuttersäure (BHBS) im Serum bestimmt und in mmol/l angegeben. Die Bestimmung erfolgte mit dem Laborgerät Roche Cobas Mira plus. Als Reagenz zur BHBS-Bestimmung wurde Ranbut RB1007 der Firma Randox Laboratories Limited, Großbritannien verwendet. Bei der NEFA-Bestimmung wurde das Reagenz FA115 der Firma Randox Laboratories Limited, Großbritannien verwendet.

3.7 Bestimmung der Milchmenge

Das Melken der Kühe erfolgte zweimal täglich in einem Melkkarussell mit ca. 40 Plätzen. Im Melkkarussell fand eine automatische Aufnahme der Milchleistung jedes einzelnen Tieres bei jedem Melkdurchgang statt. Die Erkennung und richtige Zuordnung der Tiere erfolgte über einen an den Füßen der Kühe angebrachten Transponder. Die hier gesammelten Daten wurden dann an das betriebseigene Computersystem Herde ZMS (Firma Agrossoft) weitergeleitet und hier gespeichert. Für die Ermittlung der Milchleistung der hier untersuchten Kühe wurden die Daten dem betriebseigenen Computersystem entnommen und in Form von Excel-Tabellen weiterverarbeitet.

Um eine bessere Vergleichbarkeit der Milchleistung zu gewährleisten und eine höhere Aussagekraft bezüglich der Belastung des Stoffwechsels der Tiere zu erreichen, wurde der Fettgehalt bei der weiteren Analyse der Milchleistungsdaten einbezogen. Dies wurde über

die Errechnung der fat corrected milk (FCM) erreicht. Die FCM wurde nach folgender Formel errechnet: $FCM = \text{Milch (kg)} \times (0,4 + (\text{Fett\%} \times 0,15))$.

3.8 Ermittlung der Krankheitsdaten

Auftretende Krankheiten wurden von dem den Betrieb betreuenden Tierarzt im betriebseigenen Computersystem Herde ZMS (Firma Agrosoft) dokumentiert. Die Häufigkeiten des Auftretens der Krankheitskomplexe Labmagenverlagerung, Nachgeburtshaltung, Mastitis und Hypocalcämie bei den Studentieren wurden diesem entnommen.

3.9 Fruchtbarkeitskennzahlen

Die Aufnahme der Fruchtbarkeitskennzahlen erfolgte mit Hilfe des betriebseigenen Computerprogramms Herde ZMS der Firma Agrosoft. Auf dieser Grundlage wurden die Fruchtbarkeitskennzahlen Erstbesamungserfolg, Besamungsindex, Trächtigkeitsindex, Zwischentragezeit und Prozentsatz der Tiere mit einer Zwischentragezeit von weniger als 115 Tagen ermittelt.

3.10 Statistische Auswertung

Die Aufnahme der Daten wurde mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel für Windows 2003 durchgeführt.

Die weitere Bearbeitung der Daten fand mit Hilfe der Statistikprogramme Sigma Plot 11.0 und SPSS 18.0 statt.

Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der untersuchten Parameter wurden mit Excel errechnet und in Sigma Plot 11.0 in Form von Diagrammen graphisch dargestellt. Die Erstellung der Boxplotdiagramme erfolgte mit SPSS 18.0.

Die statistische Ermittlung von signifikanten Unterschieden zwischen den Gruppen wurde mit SPSS 18.0 durchgeführt.

Die statistischen Tests wurden nach der Ermittlung der Verteilungsform und der Stichprobenart durchgeführt. Beim Vergleich der nach der Mobilisation aufgeteilten Gruppen liegen unabhängige Stichproben vor. Die Verteilungsform wurde durch den Vergleich mit anderen Studien und durch Durchführung des Kolmogorov-Smirnov-Tests festgelegt. Bei den Parametern Rückenfettdicke, Milchleistung, NEFA, BHBS und Zwischentragezeit handelt es sich um nicht normalverteilte Parameter. Es werden drei verschiedene Gruppen miteinander verglichen. Auf Grund dieser Information wurde als Testverfahren zur Ermittlung von signifikanten Unterschieden zwischen den Gruppen auf den Test nach Kruskal-Wallis zurückgegriffen.

Bei der Untersuchung von signifikanten Unterschieden in der Differenz der Rückenfettdicke zum 3. Tag post partum zwischen den verschiedenen Messzeitpunkten handelt es sich um eine verbundene Stichprobe. Aus diesem Grund wurde hier der Wilcoxon-Test durchgeführt um signifikante Unterschiede aufzuweisen.

Die Erkrankungshäufigkeiten der verschiedenen Gruppen wurden mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson auf signifikante Unterschiede untersucht.

Bei der Durchführung aller Tests dieser Studie wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ festgelegt. Ein Testergebnis mit einem p-Wert von $< 0,05$ wurde dementsprechend als statistisch signifikant gewertet.

In den Boxplotdarstellungen reicht die Box, die die mittleren 50 % der Werte erhält, vom ersten bis zum dritten Quartil. Die restlichen Werte befinden sich zu 25 % oberhalb und zu 25% unterhalb der Box. Der Median ist innerhalb der Box eingezeichnet. Die Whisker oberhalb und unterhalb der Box geben den größten bzw. kleinsten nicht extremen Wert an. Die Ausreißer (o) liegen im Bereich der 1,5-fachen bis 3-fachen Boxenlänge oberhalb oder unterhalb der Box. Werte die im Bereich über drei Boxenlängen Entfernung liegen sind als Extremwerte (*) dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Entwicklung der Rückenfettdicke bei allen Kühen und Färsen

4.1.1 Entwicklung der Rückenfettdicke bei allen Kühen

Zur Ermittlung des Verlaufes der Körperkondition wurde die Rückenfettdicke per Ultraschall bestimmt. Durch diese Messungen ist es möglich, wichtige Rückschlüsse auf die Tiefe und die Länge der NEB zu ziehen (Staufenbiel, Langhans *et al.*, 1989).

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Mittelwerte und die Standardabweichung der Rückenfettdicke bei den Kühen. Die mittlere Rückenfettdicke aller Kühe am 28. Tag vor der Kalbung beträgt bei den untersuchten Kühen 23,4 mm. Bis zum dritten Tag nach der Kalbung verbessert sich die Kondition auf 25,1 mm RFD. Im folgenden Zeitraum findet ein starker und lang anhaltender Abfall der Rückenfettdicke statt. Der Mittelwert am 28. Tag post partum liegt bei 18,0 mm, fällt dann auf 12,9 mm am 56. Tag post partum und erreicht schließlich den Tiefpunkt mit 10,2 mm am 112. Tag post partum. Bis zum 168. Tag post partum setzt dann eine leichte Verbesserung der Kondition ein.

In Abbildung 4 ist die Differenz der RFD zum 3. Tag post partum an den verschiedenen Messzeitpunkten in Form von Boxplots dargestellt. Der Unterschied in der Differenz der RFD zum 3. Tag post partum ist am 28. Tag ante partum gegenüber dem 3. Tag post partum signifikant ($p < 0,05$; Wilcoxon-Test). Vom 3. Tag post partum bis zum 112. Tag post partum wird die Differenz der Rückenfettdicke zum 3. Tag post partum immer negativer. Dieser Unterschied in der Differenz der RFD zum 3. Tag post partum ist zwischen dem 3. Tag post partum und dem 28. Tag post partum sowie zwischen dem 28. Tag post partum und dem 56. Tag post partum, dem 56. Tag post partum und dem 84. Tag post partum und dem 84. Tag post partum und dem 112. Tag post partum signifikant ($p < 0,05$; Wilcoxon-Test). Auch der Unterschied in der Differenz der Rückenfettdicke zum 3. Tag post partum zwischen dem 140. Tag post partum und dem 168. Tag post partum ist signifikant ($p < 0,05$; Wilcoxon-Test).

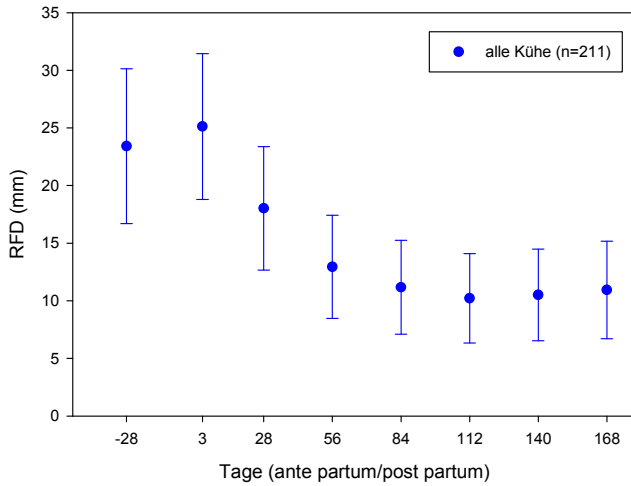


Abbildung 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Rückenfettdicke aller Kühe; Signifikanzen siehe Abbildung 4

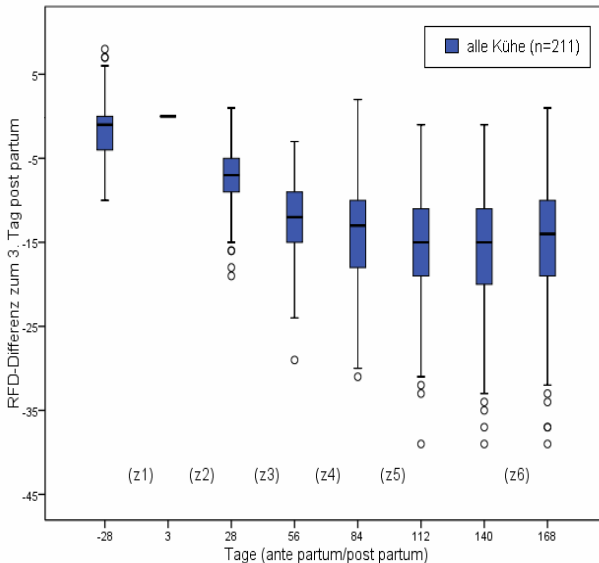


Abbildung 4: Boxplotdarstellung der Rückenfettdickendifferenz zum 3. Tag p.p.; (z1)= $p < 0,05$ zwischen 28. Tag a.p. und 3. Tag p.p.; (z2)= $p < 0,05$ zwischen 3. Tag p.p. und 28. Tag p.p.; (z3)= $p < 0,05$ zwischen 28. Tag p.p. und 56. Tag p.p.; (z4)= $p < 0,05$ zwischen 56. Tag p.p. und 84. Tag p.p.; (z5)= $p < 0,05$ zwischen 84. Tag p.p. und 112. Tag p.p.; (z6)= $p < 0,05$ zwischen 140. Tag p.p. und 168. Tag p.p.; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer

4.1.2 Entwicklung der Rückenfettdicke bei allen Färsen

Der Verlauf der RFD-Kurve bei den Färsen unterscheidet sich, wie aus Abbildung 5 zu entnehmen, von der der Kühe in einigen Punkten.

In der Zeit vom 28. Tag ante partum bis zum 3. Tag post partum liegt der RFD-Mittelwert fast unverändert bei 24,32 mm bzw. 24,35 mm. Bis zum 28. Tag post partum fällt der Wert auf 17,9 mm, dann auf 13,7 mm am Tag 56 post partum und am 84. Tag post partum auf 11,7 mm. Der Tiefpunkt in der Entwicklung ist bei den Färsen erst am 140. Tag nach der Abkalbung mit einem Wert von 11,1 mm erreicht. Der Anstieg vom 140. bis 168. Tag post partum ist mit 0,3 mm nur gering.

Der Verlust an RFD ist bei den Färsen insgesamt weniger stark ausgeprägt als bei den Kühen, allerdings kommt es erst spät (ca. 112. Tag) zur Beendigung der Mobilisation von Fettgewebe und bis zum 168. Tag post partum fast überhaupt nicht zu einem signifikanten Auffüllen der Fettdepots.

In Abbildung 6 wurde die Differenz der RFD zum 3. Tag post partum an den verschiedenen Messzeitpunkten errechnet und in Form von Boxplots dargestellt. Die Differenz wird ähnlich

wie bei den Kühen vom 3. Tag post partum bis zum 112. Tag post partum immer stärker negativ. Diese Entwicklung drückt sich auch in den signifikanten Unterschieden in der Differenz zum 3. Tag post partum zwischen dem 3. Tag post partum und dem 28. Tag post partum, dem 28. Tag post partum und dem 56. Tag post partum, dem 56. Tag post partum und dem 84. Tag post partum sowie zwischen dem 84. Tag post partum und dem 112. Tag post partum aus ($p < 0,05$; Wilcoxon-Test).

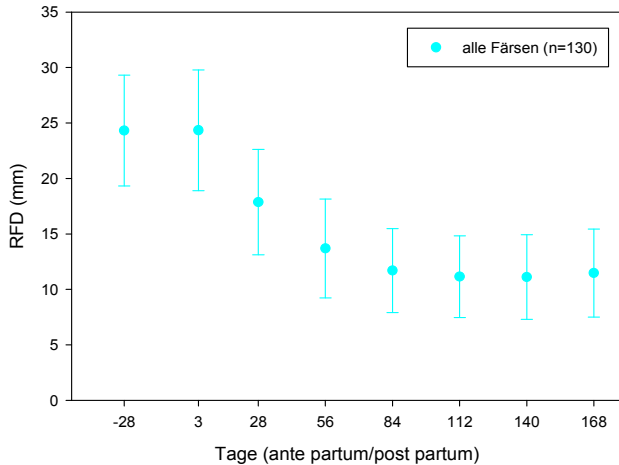


Abbildung 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der Rückenfettdicke aller Färsen; Signifikanzen siehe Abbildung 6

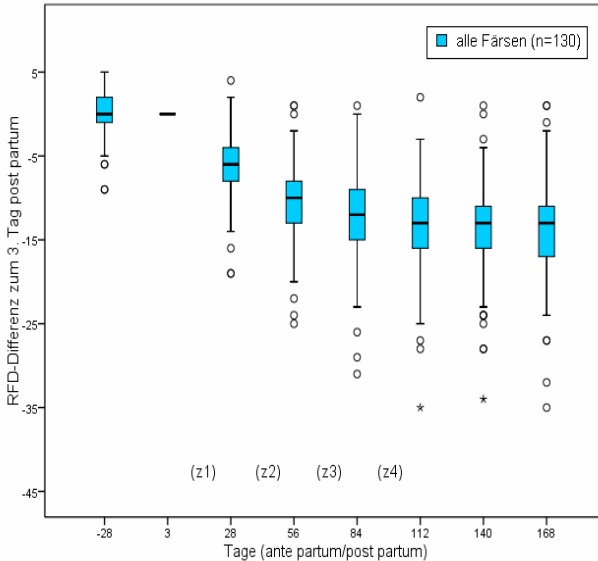


Abbildung 6: Boxplotdarstellung der Rückenfettdickendifferenz zum 3. Tag p.p.;
 (z1)= $p < 0,05$ zwischen 3. Tag p.p. und 28. Tag p.p.; (z2)= $p < 0,05$ zwischen 28. Tag p.p. und 56. Tag p.p.; (z3)= $p < 0,05$ zwischen 56. Tag p.p. und 84. Tag p.p.; (z4)= $p < 0,05$ zwischen 84. Tag p.p. und 112. Tag p.p.; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer

4.2 Milchleistung aller Kühe und Färsen im Versuchszeitraum

Die Fat corrected milk (FCM) wurde für alle in den Versuch einbezogenen Tiere für die ersten 168 Tage der Laktation bestimmt.

4.2.1 Milchleistung aller Kühe

Die durchschnittliche Milchleistung der Kühe pro Tier und Tag betrug im Mittel FCM 36,92 während des Versuchszeitraumes von 168 Tagen. Die Milchleistungskurve der Kühe ist in Abbildung 7 dargestellt. Sie steigt in den ersten Tagen der Laktation steil an. Der Höhepunkt der Milchleistung liegt schon am 26. Tag mit einer durchschnittlichen Milchleistung von FCM 41,86. In der Folge fällt die Milchleistung konstant bis auf FCM 31,00 am 168. Tag ab.

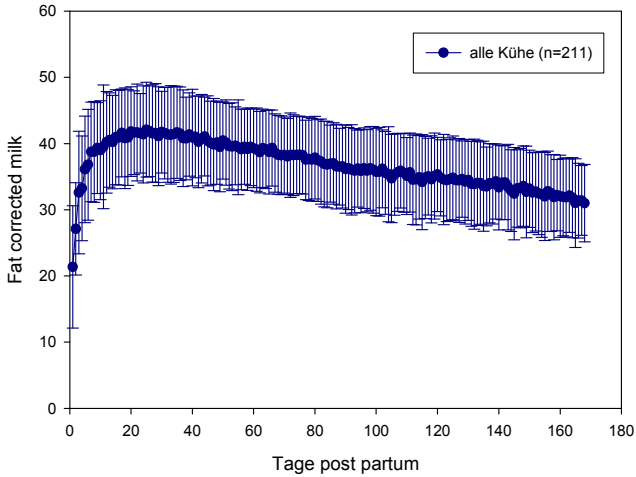


Abbildung 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Milchleistung aller Kühe

4.2.2 Milchleistung aller Färsen

Die durchschnittliche Milchleistung der Färsen lag im Mittel bei FCM 28,41 pro Tag während des Versuchszeitraumes von 168 Tagen. Die Abbildung 8 zeigt die Laktationskurve der Färsen.

Der Anstieg der Milchleistung in den ersten Tagen ist nicht so steil wie bei den Kühen. Die höchste durchschnittliche Milchleistung pro Tag konnte am 38. Tag post partum mit FCM 31,11 gemessen werden. In der Folgezeit sinkt das Niveau der Milchleistung nur langsam ab, so dass am 168. Tag der Laktation noch eine Milchleistung von FCM 26,35 ermittelt wurde.

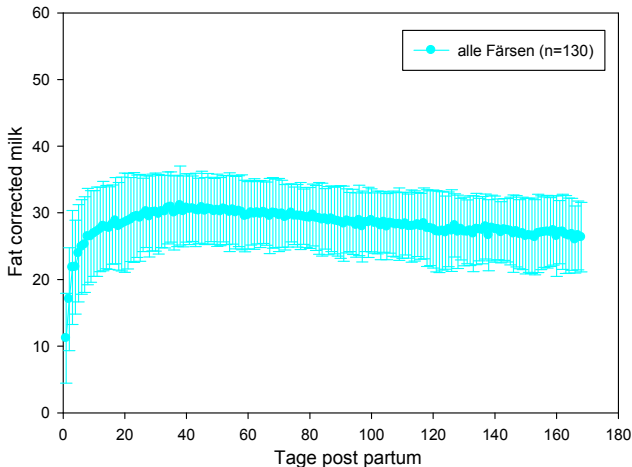


Abbildung 8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Milchleistung aller Färsen

4.3 Blutparameter aller Kühe und Färsen

4.3.1 NEFA

Die NEFA-Konzentration im Serum spiegelt das Ausmaß der Lipomobilisation wider (Herdt, 2000) und lässt so Rückschlüsse auf die Stärke der NEB zu (Bauman und Currie, 1980).

4.3.1.1 NEFA-Konzentration aller Kühe

In Abbildung 9 werden die Mittelwerte und die Standardabweichungen der NEFA-Konzentrationen im Plasma der Kühe an den Zeitpunkten der Probeentnahme zwischen dem 8. Tag ante partum und dem 168. Tag post partum dargestellt.

Der Mittelwert der NEFA-Konzentration aller Kühe liegt acht Tage vor der Kalbung bei 0,12 mmol/l. Da die Erhöhung der NEFA-Konzentration etwa zehn Tage vor der Abkalbung beginnt (Grummer, 1995), kann davon ausgegangen werden, dass der Wert am 8. Tag ante partum schon leicht über dem Ausgangswert liegt. Wie zu erwarten ist, steigt die Konzentration zur Kalbung hin an, so dass die Konzentration am 3. Tag mit 0,62 mmol/l den höchsten hier gemessenen Wert erreicht. Bis zum 28. Tag post partum sinkt die Konzentration wieder auf 0,35 mmol/l ab. Im weiteren Verlauf sinkt die Konzentration weiter ab, so dass am 56. Tag noch 0,17 mmol/l und am letzten Messtermin, dem 168. Tag der Laktation, 0,05 mmol/l gemessen wurden.

Da die Standardabweichung an einigen Messpunkten sehr hoch ist, wurde in Abbildung 10 eine Boxplotdarstellung der NEFA-Konzentrationen vorgenommen. Hieraus kann entnommen werden, dass am 3. Tag post partum das obere Quartil bei 0,81 mmol/l liegt und damit 25 % der Kühe eine NEFA-Konzentration über diesem Wert aufweisen.

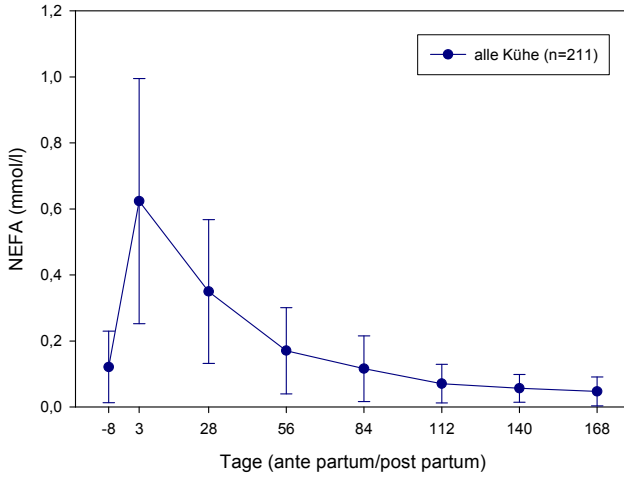


Abbildung 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der NEFA-Konzentration im Plasma aller Kühe

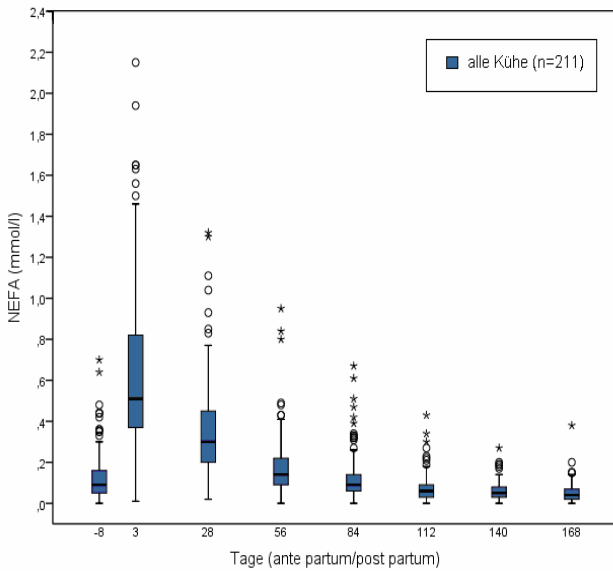


Abbildung 10: Boxplotdarstellung der NEFA-Konzentration im Plasma aller Kühe; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer

4.3.1.2 NEFA-Konzentration aller Färsen

Der Verlauf der Mittelwerte der NEFA-Konzentration der Färsen ähnelt, wie in Abbildung 11 zu erkennen, dem der Kühe. Der Ausgangswert am 8. Tag ante partum beträgt 0,16 mmol/l. Der Höchstwert am 3. Tag post partum liegt mit 0,73 mmol/l über dem der Kühe. Es folgt ein rascher Abfall auf 0,31 mmol/l am 28. Tag. Im weiteren Verlauf fällt die Konzentration stetig bis auf 0,04 mmol/l am 168. Tag der Laktation ab.

In Abbildung 12 wurde eine Boxplotdarstellung der NEFA-Konzentration der Färsen vorgenommen. Ähnlich wie bei den Kühen hat auch hier eine Gruppe von Tieren sehr hohe Werte am 3. Tag post partum. Das vierte Quartil liegt in diesem Fall bei 0,9 mmol/l.

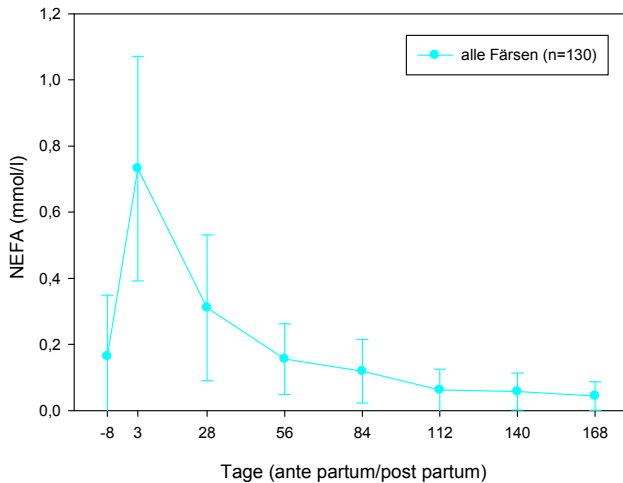


Abbildung 11: Mittelwerte und Standardabweichungen der NEFA-Konzentration im Plasma aller Färsen

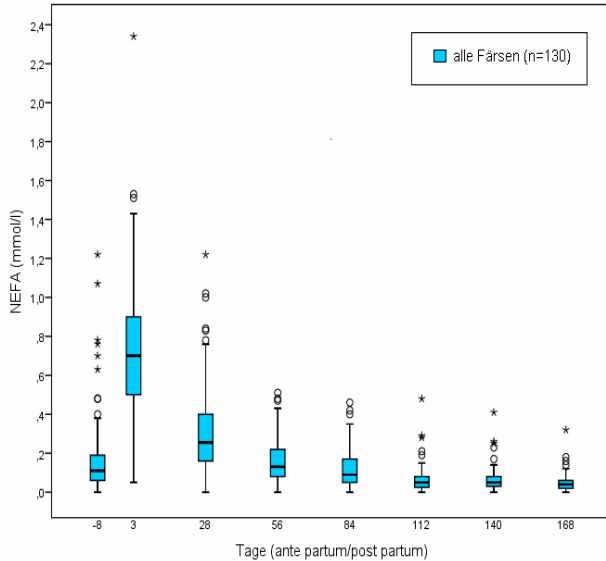


Abbildung 12: Boxplotdarstellung der NEFA-Konzentration im Plasma aller Färsen; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer

4.3.2 BHBS

4.3.2.1 BHBS-Konzentration aller Kühe

Der Verlauf der Mittelwerte und die Standardabweichung der BHBS-Konzentration im Plasma der Kühe ist in Abbildung 13 dargestellt. Die erste ermittelte mittlere BHBS-Konzentration aller Kühe liegt am 8. Tag ante partum bei 0,66 mmol/l. Im weiteren zeitlichen Verlauf folgt ein Anstieg der BHBS-Konzentration über 0,87 mmol/l am 3. Tag post partum bis auf 1,06 mmol/l am 28. Tag post partum. Die hohe Standardabweichung von 0,68 mmol/l am 28. Tag post partum weist darauf hin, dass einzelne Kühe sehr hohe BHBS-Konzentrationen aufweisen. Dies unterstreicht die Boxplotdarstellung in Abbildung 14. Hier liegt das obere Quartil am 3. Tag post partum bei 1,2 mmol/l. Im weiteren Verlauf sinkt die Kurve der mittleren BHBS-Konzentration wieder ab (56. Tag: 0,75 mmol/l; 112. Tag: 0,62 mmol/l; 168. Tag: 0,65 mmol/l).

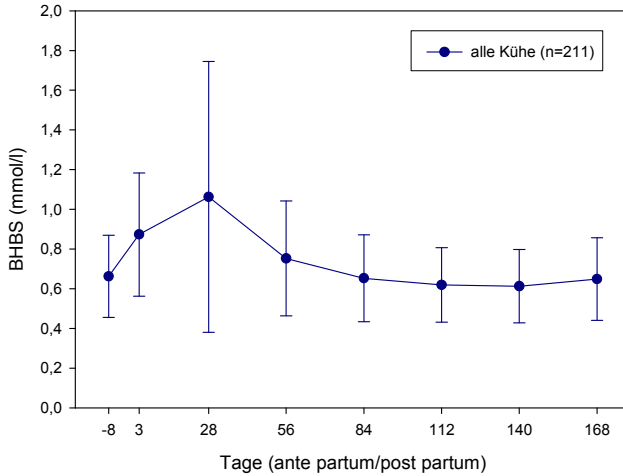


Abbildung 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der BHBS-Konzentration im Plasma aller Kühe

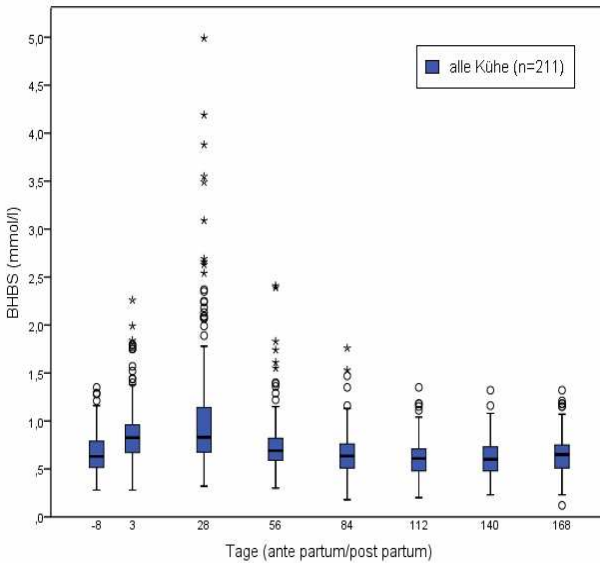


Abbildung 14: Boxplotdarstellung der BHBS-Konzentration im Plasma aller Kühe; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer

4.3.2.2 BHBS-Konzentration aller Färsen

Abbildung 15 zeigt, dass bei den Färsen keine ähnlich hohen mittleren BHBS-Konzentrationen erreicht werden wie bei den Kühen. Allerdings ist die Konzentration am 3. Tag post partum mit 0,81 mmol/l ähnlich hoch wie bei den Kühen. Zum 28. Tag sinkt die Konzentration aber wieder auf 0,80 mmol/l ab. Die Standardabweichung ist jedoch am 28. Tag post partum auch hier groß. Abbildung 16 stellt deshalb die BHBS-Konzentrationen in Form von Boxplots dar.

In der Folgezeit sinkt die Konzentration auf ein etwa gleich bleibendes Niveau zwischen 0,58 mmol/l und 0,68 mmol/l ab.

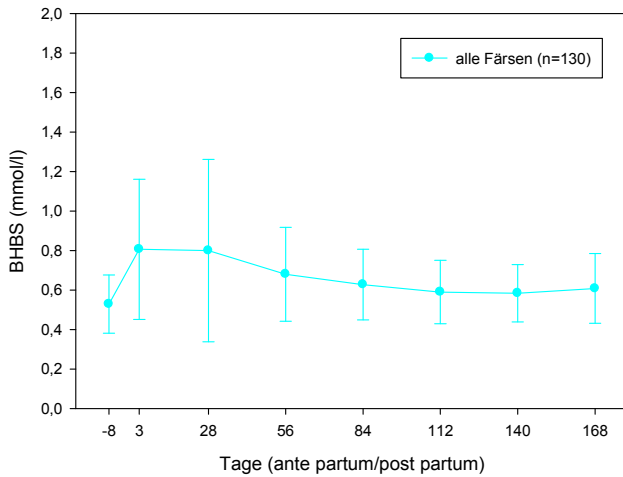


Abbildung 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der BHBS-Konzentration im Plasma aller Färsen

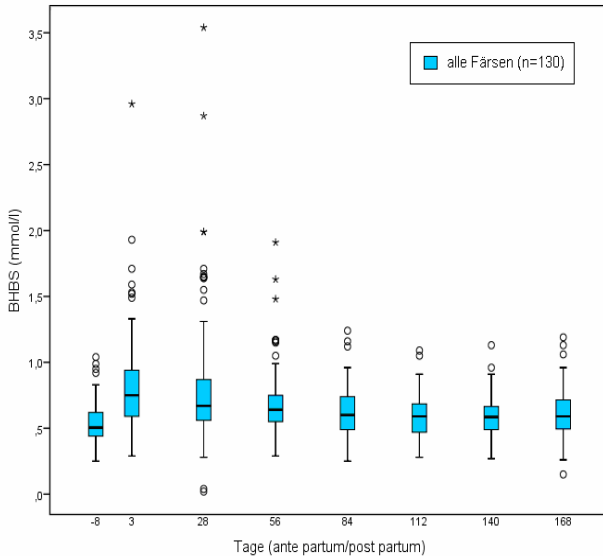


Abbildung 16: Boxplotdarstellung der BHBS-Konzentration im Plasma aller Färsen; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer

4.4 Fruchtbarkeitsparameter aller Tiere

Die Fruchtbarkeitsparameter der untersuchten Tiere sind in Tabelle 8 aufgelistet. Um die Fertilität der in die Studie einbezogenen Tiere zu beurteilen, wurden die Fruchtbarkeitskennzahlen Erstbesamungserfolg, Besamungsindex, Trächtigkeitsindex, Zwischentragezeit (ZTZ) und prozentualer Anteil der Tiere mit einer Zwischentragezeit von weniger als 115 Tagen ermittelt.

Von den 211 in die Studie aufgenommenen Kühen wurden 195 besamt. Bei den Färsen wurden 129 der 130 Versuchstiere besamt.

Von den 195 Kühen wurden 68 Tiere durch die erste Besamung tragend, was einem Erstbesamungserfolg von 34,87 % entspricht. Dieser Wert liegt deutlich unter dem von Hoedemaker (2007) geforderten Wert von 50 %, der eine befriedigende Fruchtbarkeit einer Herde ausdrückt (Hoedemaker, Mansfeld *et al.*, 2007). Auch die Färsen erreichen den geforderten Wert mit einem Erstbesamungserfolg von 46,36 % nicht.

Zur Ermittlung des Besamungsindex wird die Anzahl aller Besamungen durch die Anzahl der tragenden Tiere geteilt. Sowohl die Kühe mit einem Besamungsindex von 3,18 als auch die Färsen mit einem Wert von 2,42 erreichen den geforderten Wert von weniger als 1,9 nicht. Anders stellt sich das Bild bei dem Trächtigkeitsindex dar, der die Anzahl der Besamungen der tragenden Tiere durch die Anzahl tragender Tiere teilt. Sowohl die Kühe als auch die

Färsen erreichen mit einem Ergebnis von jeweils 1,68 den geforderten Wert von weniger als 1,7.

Die mittlere Zwischentragezeit liegt bei Kühen und Färsen mit 131,4 Tagen bzw. 129,2 Tagen in einer ähnlichen Größenordnung und verfehlt den von Hoedemaker (2007) geforderten Zielwert von 105 Tagen oder weniger (Hoedemaker, Mansfeld *et al.*, 2007).

Noch deutlicher stellt sich das Bild bei dem Prozentsatz der Tiere mit einer ZTZ von weniger als 115 Tagen dar. Kühe (38,86 %) und Färsen (46,15 %) liegen unter dem geforderten Wert von 75 %.

Tabelle 8: Fruchtbarkeitsparameter von Kühen und Färsen

	Kühe	Färsen
Anzahl Versuchstiere	211	130
Anzahl der besamten Tiere	195	129
Erstbesamungserfolg	34,87%	46,36%
Besamungsindex	3,18	2,42
Trächtigkeitsindex	1,68	1,68
Zwischentragezeit in Tagen	131,4	129,2
% Tiere mit ZTZ<115 Tage	38,86	46,15

4.5 Erkrankungen aller Tiere

Der Gesundheitsstatus der untersuchten Herde wird anhand einiger häufig auftretender Krankheitskomplexe untersucht. Hierzu gehören Labmagenverlagerung, Nachgeburtshaltung, Mastitis und Hypocalcämie.

4.5.1 Labmagenverlagerung

Tabelle 9 zeigt, dass im Untersuchungszeitraum insgesamt bis zum 168. Tag nach der Abkalbung vier Labmagenverlagerungen bei den 341 Kühen und Färsen auftraten. Die hieraus folgenden prozentualen Werte betragen 0,95 % bei den Kühen und 1,5 % bei den Färsen.

Tabelle 9: Häufigkeit des Auftretens von Labmagenverlagerungen bei Kühen und Färsen

	Kühe	Färsen
N	211	130
Labmagenverlagerung absolut	2	2
Labmagenverlagerung prozentual	0,95%	1,5%

4.5.2 Nachgeburtsverhaltung

Wie in Tabelle 10 angegeben, beträgt die Inzidenz der Nachgeburtsverhaltung bei den Kühen 14,2 % und bei den Färsen 6,9 %.

Tabelle 10: Häufigkeit des Auftretens von Nachgeburtsverhaltung bei Kühen und Färsen

	Kühe	Färsen
N	211	130
Nachgeburtsverhaltung absolut	30	9
Nachgeburtsverhaltung prozentual	14,2%	6,9%

4.5.3 Mastitis

Die Mastitisinzidenz lag in den ersten 168 Tagen der Laktation, wie aus Tabelle 11 ersichtlich, bei den Kühen bei 41,7 % und bei den Färsen bei 16,2 %. Hierbei wurden alle Tiere berücksichtigt, die ein- oder mehrmals an einer Mastitis erkrankten.

Tabelle 11: Häufigkeit des Auftretens von Mastitis bei Kühen und Färsen

	Kühe	Färsen
N	211	130
Mastitis absolut	88	21
Mastitis prozentual	41,7%	16,2%

4.5.4 Hypocalcämie

Aus Tabelle 12 geht hervor, dass 69 der 211 Kühe postpartal aufgrund von Symptomen der Hypocalcämie (Kreislaufzentralisation, Ataxien, Apathie, Festliegen etc.) behandelt wurden. Dies entspricht einer Inzidenz von 32,7 %. Wie zu erwarten, entwickelten nur Kühe diese Symptome. Bei den Färsen wurden diese nicht festgestellt und es erfolgte deshalb keine Behandlung.

Tabelle 12: Häufigkeit des Auftretens von Hypocalcämie bei den Kühen

	Kühe
N	211
Hypocalcämie absolut	69
Hypocalcämie prozentual	32,7%

4.6 Aufteilung der Kühe in Gruppen nach der Mobilisation

Um die Auswirkungen der NEB auf die verschiedenen während des Versuchszeitraumes aufgenommenen Parameter, hierzu zählen die Milchleistung, die Fruchtbarkeitsparameter, die Inzidenz verschiedener Erkrankungen und die Stoffwechselfparameter NEFA und BHBS, abschätzen zu können, wurde die Gruppe aller Kühe in drei Gruppen aufgeteilt. Die Färsen wurden hierbei nicht berücksichtigt.

Die Aufteilung der Tiere in die drei Gruppen erfolgte aufgrund der Intensität der Mobilisation von Körperfett zwischen dem 3. Tag post partum und dem 84. Tag post partum. Zur Einschätzung der Mobilisation von Körperfett wurde der Verlust an Rückenfettdicke in diesem Zeitraum herangezogen. So entstanden die Gruppen der Hochmobilisierer (Δ RFD 3.-84. Tag p.p.: -32 mm bis -16 mm), der Mittelmobilisierer (Δ RFD 3.-84. Tag p.p.: -15 mm bis -12 mm) und der Niedrigmobilisierer (Δ RFD 3.-84. Tag p.p.: -11 mm bis +2 mm).

Aufgrund der unterschiedlich starken Mobilisation der drei Gruppen kann davon ausgegangen werden, dass die NEB in der Gruppe der Hochmobilisierer am stärksten ausgeprägt ist und in der Gruppe der Niedrigmobilisierer am wenigsten stark. Auf diese Weise wird es möglich, einen Eindruck zu bekommen, welche Folgen das Ausmaß der NEB auf Herdenbasis für die Milchleistung, die Tiergesundheit und die Fruchtbarkeit hat.

4.6.1 Entwicklung der Rückenfettdicke in den einzelnen Gruppen

Die Gruppen der Hochmobilisierer, Mittelmobilisierer und Niedrigmobilisierer weisen entsprechende Unterschiede in der Abnahme der mittleren RFD auf (Abbildung 17 und Tabelle 13). Während die Gruppe der Hochmobilisierer von einer mittleren RFD von 30,2 mm um 19,6 mm auf 10,6 mm abfällt, beträgt der Verlust an RFD in diesem Zeitraum bei den Niedrigmobilisierern nur 8,5 mm bei einem Abfall von 20,2 mm auf 11,7 mm. Die Mittelmobilisierer liegen mit einem Abfall der RFD von 13,3 mm zwischen den beiden anderen Gruppen.

Der Verlauf der RFD ist prinzipiell bei allen drei Gruppen gleich. Es kommt zu einer leichten Zunahme der RFD vom 28. Tag a.p. bis zum 3. Tag p.p.. In der nun folgenden postpartalen Periode sinkt die RFD in allen drei Gruppen ab, allerdings mit unterschiedlicher Intensität, so dass der Tiefpunkt am 112. Tag p.p. erreicht wird. Ab dem 112. Tag p.p. steigt die RFD in allen Gruppen wieder leicht an.

Der erste ermittelte Mittelwert der Hochmobilisierer am 28. Tag a.p. liegt mit 28,2 mm deutlich über denen der anderen beiden Gruppen, die bei 22,9 mm (Mittelmobilisierer) bzw. 18,8 mm (Niedrigmobilisierer) starten. Zu diesem Zeitpunkt kann ein signifikanter Unterschied zwischen allen drei Gruppen festgestellt werden ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis). Auch am 3. Tag p.p. kann ein signifikanter Unterschied der RFD zwischen den drei Gruppen ermittelt werden ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis).

In der Folge kommt es bei den Hochmobilisierern zu einer Reduzierung der RFD auf 20,8 mm am 28. Tag p.p.. Die Mittelmobilisierer erreichen zu diesem Zeitpunkt einen Wert von 17,6 mm, die Niedrigmobilisierer liegen bei 15,5 mm. Es kann ein signifikanter Unterschied zwischen den Hochmobilisierern und den Mittelmobilisierern sowie den Hochmobilisierern

und den Niedrigmobilisierern an diesem Messpunkt ermittelt werden ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis).

Ab dem 84. Tag p.p. liegt die mittlere RFD der Niedrigmobilisierer mit 11,7 mm durch den moderateren Abfall erstmals über dem der Hochmobilisierer (10,6 mm). Am 112. Tag p.p. erreicht die RFD in allen drei Gruppen ihren Tiefpunkt (Hochmobilisierer 9,9 mm; Mittelmobilisierer 9,8 mm; Niedrigmobilisierer 10,8 mm) und steigt dann bis zum 168. Tag p.p. auf 10,5 mm bei den Hochmobilisierern, 10,9 mm bei den Mittelmobilisierern und 11,6 mm bei den Niedrigmobilisierern an.

Tabelle 13: Verlauf der Mittelwerte der Rückenfettdicke und Veränderungen der Mittelwerte der Rückenfettdicke im Vergleich mit dem 3. Tag p.p. bei Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; Signifikanzen siehe Abbildung 17

	Hochmobilisierer (n=79)		Mittelmobilisierer (n=56)		Niedrigmobilisierer (n=76)	
	RFD in mm	Δ zum 3. Tag p.p.	RFD in mm	Δ zum 3. Tag p.p.	RFD in mm	Δ zum 3. Tag p.p.
28. Tag ante partum	28,2	-2,0	22,9	-1,6	18,8	-1,4
3. Tag post partum	30,2	0,0	24,5	0,0	20,2	0,0
28. Tag post partum	20,8	-9,4	17,6	-6,9	15,5	-4,7
56. Tag post partum	13,6	-16,6	12,7	-11,8	12,4	-7,8
84. Tag post partum	10,6	-19,6	11,2	-13,3	11,7	-8,5
112. Tag post partum	9,9	-20,3	9,8	-14,7	10,8	-9,4
140. Tag post partum	10,0	-20,2	10,6	-13,9	10,9	-9,3
168. Tag post partum	10,5	-19,7	10,9	-13,6	11,6	-8,6

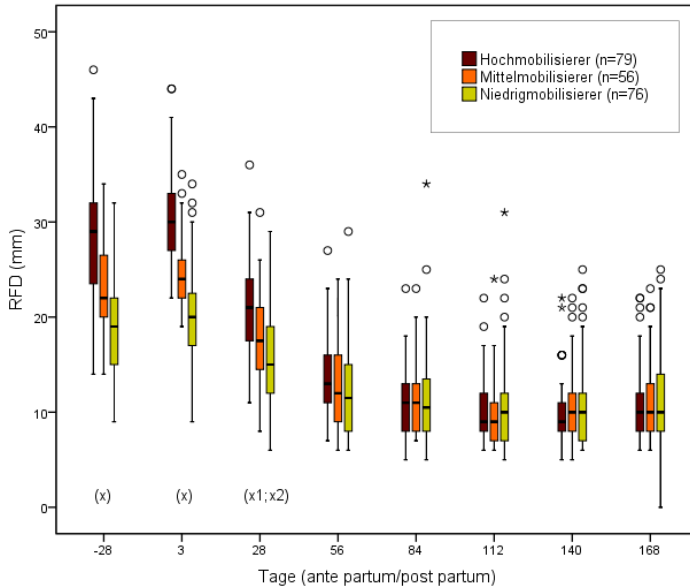


Abbildung 17: Boxplotdarstellung der Rückenfettdicke von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Mittelmobilisierern; (x2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer

Zur Veranschaulichung der unterschiedlich starken Abnahme wurden in Abbildung 18 die RFD-Werte des 3. Tages gleich 100 % gesetzt. An den folgenden postpartalen Messpunkten kann nun die unterschiedliche Entwicklung der Gruppen beschrieben werden.

Das unterschiedliche Ausmaß des Verlustes an RFD in den drei Gruppen wird hier deutlich. Die Niedrigmobilisierer verlieren am wenigsten RFD. Der Median dieser Gruppe liegt an keinem Messpunkt unterhalb von 50 %. Das bedeutet, dass die Hälfte der Tiere weniger als 50 % der Rückenfettdicke in der Laktation verlieren. Die beiden anderen Gruppen verlieren mehr Rücken fett. So liegt der Median bei den Mittelmobilisierern am 112. Tag bei 37,9 % und bei den Hochmobilisierern bei 31,7 %. Das obere Quartil liegt bei den Mittelmobilisierern am 112. Tag bei 41,7 % und bei den Hochmobilisierern nur bei 37,8 %. Das bedeutet, dass 75 % der Kühe dieser beiden Gruppen am 112. Tag p.p. nur noch weniger als 41,7 % bzw. 37,8 % an Rücken fett im Vergleich mit dem 3. Tag p.p. aufweisen können.

Am 28. Tag p.p. kann ein signifikanter Unterschied zwischen den Hochmobilisierern und den Niedrigmobilisierern festgestellt werden ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis). An allen weiteren postpartalen Messpunkten kann eine Signifikanz in der prozentualen RFD-

Entwicklung, bezogen auf den 3. Tag p.p., zwischen allen drei Gruppen ermittelt werden ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis).

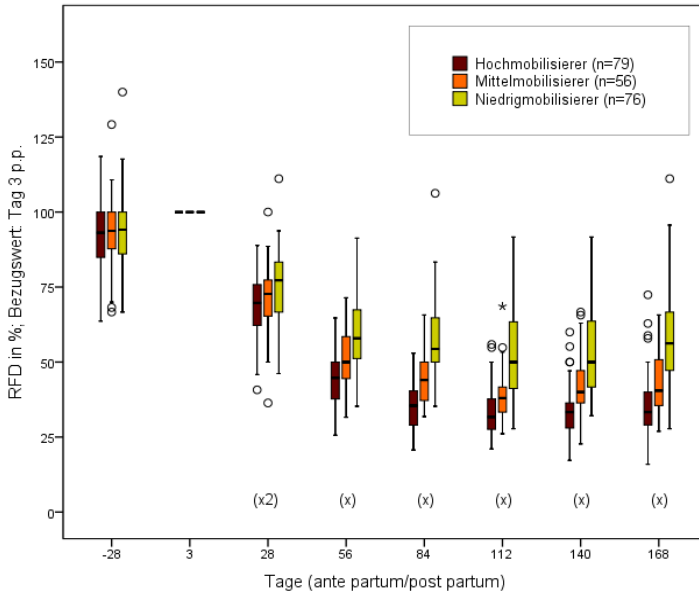


Abbildung 18: Prozentuale Darstellung der Rückenfettdicke von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; Ausgangspunkt der Berechnung ist der 3. Tag post partum; (x)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer

4.6.2 Milchleistung der einzelnen Gruppen

Abbildung 19 zeigt, dass die Milchleistungskurven der drei Gruppen unterschiedliche Verläufe aufweisen.

Die Milchleistungskurve der Hochmobilisierer verläuft insgesamt am höchsten, es folgt die Kurve der Mittelmobilisierer. Die Leistungskurve der Niedrigmobilisierer hat den niedrigsten Verlauf.

In Abbildung 20 wurde für die drei Gruppen die mittlere Milchleistung pro Tag und Kuh gebildet und diese, mit dem ersten Laktationstag beginnend, bis zum 168. Tag der Laktation aufaddiert.

In Tabelle 14 wurde die Milchleistung der einzelnen Gruppen in Schritten von jeweils 28 Tagen zusammengefasst. In den ersten 28 Tagen der Laktation erreichen die

Hochmobilisierer und die Mittelmobilisierer mit einer durchschnittlichen Leistung von 40,11 FCM bzw. 40,47 FCM pro Tag sehr ähnliche Werte. Die mittlere Leistung der Niedrigmobilisierer liegt mit durchschnittlich 37,83 FCM pro Tag deutlich niedriger. Dem entsprechend können in diesem Zeitraum signifikante Unterschiede zwischen den Hochmobilisierern und den Niedrigmobilisierern sowie zwischen den Mittelmobilisierern und den Niedrigmobilisierern festgestellt werden ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis).

In der nun folgenden Zeitspanne vom 29.-56. Tag p.p. ähneln sich die mittleren Leistungen der Hoch- und Mittelmobilisierer weiterhin und liegen deutlich über der der Niedrigmobilisierer. In diesem Zeitraum wird in allen drei Gruppen die höchste mittlere Milchleistung pro Tag erreicht (Hochmobilisierer 41,84 FCM; Mittelmobilisierer 41,11 FCM; Niedrigmobilisierer 38,78 FCM). Auch hier besteht ein signifikanter Unterschied zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern und zwischen Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis). Im weiteren Verlauf fällt die Leistung aller drei Gruppen ab. Die Leistung der Mittelmobilisierer fällt etwas stärker ab als die der Hochmobilisierer. Die mittlere Leistung der Niedrigmobilisierer liegt weiterhin deutlich darunter, so dass signifikante Unterschiede der mittleren Leistung zwischen den Hoch- und Niedrigmobilisierern sowie den Mittel- und Niedrigmobilisierern in den Zeitspannen vom 57.-84. Tag und 85.-112. Tag festgestellt werden können ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis). Etwa ab dem 112. Tag p.p. findet eine leichte Annäherung der drei Kurven statt. Die mittlere Leistung vom 141.-168. Tag p.p. liegt bei den Hochmobilisierern bei 33,09 FCM, den Mittelmobilisierern bei 33,00 FCM und den Niedrigmobilisierern bei 31,07 FCM. Signifikante Unterschiede können in den letzten beiden Zeitspannen vom 113.-140. Tag und 141.-168. Tag nur noch zwischen den Hochmobilisierern und den Niedrigmobilisierern ermittelt werden ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis).

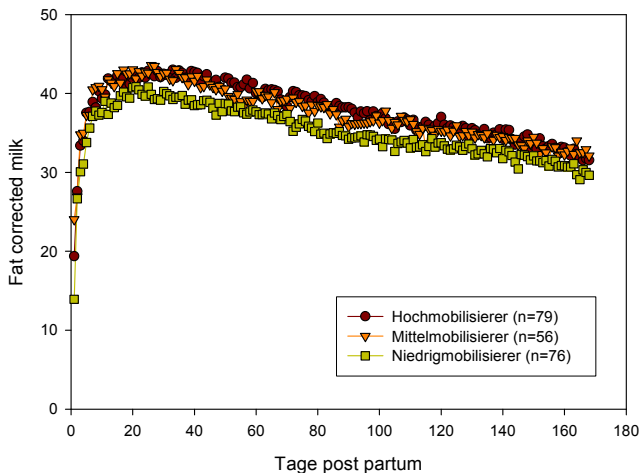


Abbildung 19: Verlauf der Mittelwerte der Milchleistung von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern

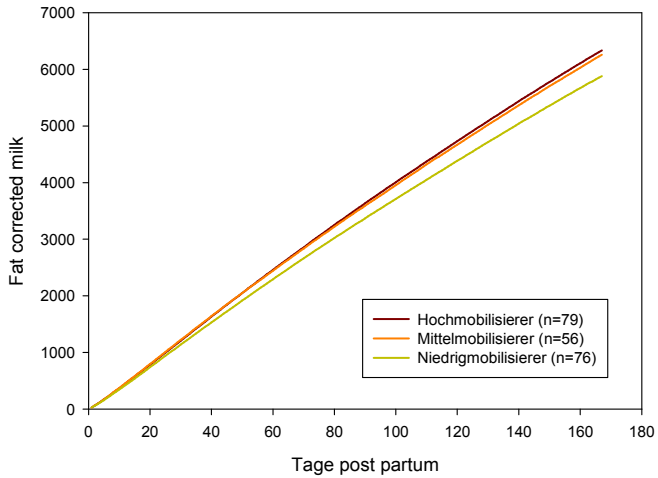


Abbildung 20: Mittlere Milchleistung pro Kuh und Tag akkumuliert bis zum 168. Tag post partum

Tabelle 14: Mittelwerte der Milchleistung pro Tag und Tier in den ersten 168 Tagen der Laktation von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x2)=p<0,05 zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x3)=p<0,05 zwischen Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern

	Gruppe	Mittelwert Milchleistung
Tag 1-28 (x2) (x3)	Hochmobilisierer	40,11
	Mittelmobilisierer	40,47
	Niedrigmobilisierer	37,83
Tag 29-56 (x2) (x3)	Hochmobilisierer	41,84
	Mittelmobilisierer	41,11
	Niedrigmobilisierer	38,78
Tag 57-84 (x2) (x3)	Hochmobilisierer	39,73
	Mittelmobilisierer	38,85
	Niedrigmobilisierer	36,49
Tag 85-112 (x2) (x3)	Hochmobilisierer	37,13
	Mittelmobilisierer	36,44
	Niedrigmobilisierer	34,19
Tag 113-140 (x2)	Hochmobilisierer	35,31
	Mittelmobilisierer	33,49
	Niedrigmobilisierer	32,96
Tag 141-168 (x2)	Hochmobilisierer	33,09
	Mittelmobilisierer	33,00
	Niedrigmobilisierer	31,07
Gesamtleistung	Hochmobilisierer	37,99
Tag 1-168 (x2) (x3)	Mittelmobilisierer	37,36
	Niedrigmobilisierer	35,27

4.6.3 Blutparameter der einzelnen Gruppen

4.6.3.1 NEFA

Der Verlauf der Kurven der mittleren NEFA-Konzentration im Serum weist zwischen den drei Gruppen deutliche Unterschiede auf (Abbildung 21). Während die Werte am 8. Tag a.p. noch fast gleich ausfallen, steigen die NEFA-Konzentrationen bis zum 3. Tag p.p. unterschiedlich stark an, so dass die Hochmobilisierer einen Wert von 0,77 mmol/l erreichen, die Mittelmobilisierer bei 0,63 mmol/l liegen und die Niedrigmobilisierer mit 0,47 mmol/l den niedrigsten Wert aufweisen. An diesem Messpunkt besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Hochmobilisierern und den Niedrigmobilisierern sowie den Mittelmobilisierern und den Niedrigmobilisierern ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis). Bis zum nächsten Messpunkt, dem 28. Tag post partum, sinkt die mittlere NEFA-Konzentration der drei Gruppen ab (Hochmobilisierer 0,43 mmol/l; Mittelmobilisierer 0,37 mmol/l; Niedrigmobilisierer 0,25 mmol/l). Hier besteht ein signifikanter Unterschied zwischen allen drei Gruppen ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis).

Im Folgenden fällt die NEFA-Konzentration weiter kontinuierlich ab. Ein signifikanter Unterschied zwischen Hoch- und Mittelmobilisierern kann am 56. Tag p.p. ermittelt werden ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis). Zwischen Hoch- und Niedrigmobilisierern besteht ein signifikanter Unterschied am 56., 84. und 112. Tag p.p. ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis).

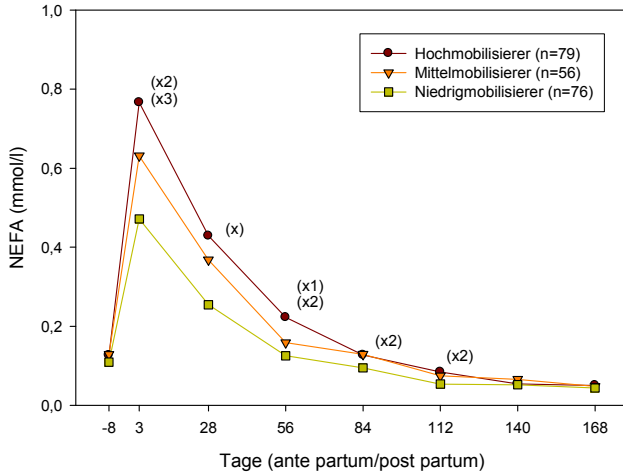


Abbildung 21: Verlauf der Mittelwerte der NEFA-Konzentration im Plasma von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Mittelmobilisierern; (x2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x3)= $p < 0,05$ zwischen Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern

4.6.3.2 BHBS

Der Verlauf der mittleren BHBS-Konzentration im Blut unterscheidet sich in den drei hier betrachteten Gruppen (Abbildung 22). Alle drei Gruppen weisen am 8. Tag ante partum mit 0,64 mmol/l (Niedrigmobilisierer), 0,67 mmol/l (Hochmobilisierer) und 0,68 mmol/l (Mittelmobilisierer) fast gleiche Konzentrationen auf. Der ab diesem Zeitpunkt folgende Anstieg der mittleren BHBS-Konzentration hat in den nach der Mobilisierung aufgeteilten Gruppen ein unterschiedliches Ausmaß. Während die Kurve der Niedrigmobilisierer über 0,76 mmol/l am dritten Tag p.p. auf 0,91 mmol/l steigt und dann wieder abfällt, steigt die BHBS-Konzentration bei den Mittelmobilisierern über 0,89 mmol/l am 3. Tag p.p. auf 0,97 mmol/l am 28. Tag p.p.. Den steilsten Verlauf nimmt die Kurve der Hochmobilisierer, die über 0,97 mmol/l am 3. Tag p.p. auf 1,28 mmol/l am 28. Tag p.p. steigt. Ein signifikanter Unterschied kann am 3. Tag p.p. sowohl zwischen den Hochmobilisierern und den

Niedrigmobilisierern als auch zwischen den Mittelmobilisierern und den Niedrigmobilisierern ermittelt werden ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis).

Vom 28. bis 56. Tag p.p. fällt die mittlere Konzentration in den drei Gruppen auf einen ähnlichen Wert zwischen 0,73 mmol/l (Niedrigmobilisierer) und 0,78 mmol/l (Hochmobilisierer).

Ab dem 56. Tag p.p. fällt die Konzentration nur noch leicht und in allen drei Gruppen auf ähnlichem Niveau ab.

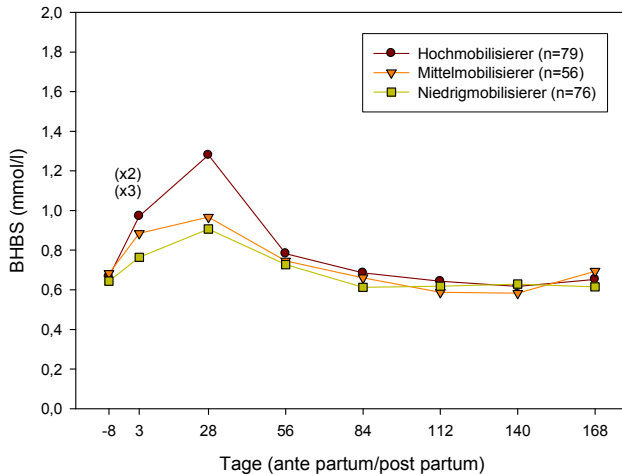


Abbildung 22: Verlauf der Mittelwerte der BHBS-Konzentration von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x3)= $p < 0,05$ zwischen Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern

4.6.4 Fruchtbarkeitskennzahlen der einzelnen Gruppen

In Tabelle 15 sind die Fruchtbarkeitsparameter der einzelnen Gruppen aufgelistet. Vergleicht man die Fruchtbarkeitskennzahlen der Gruppen, stellt man fest, dass bei jedem verglichenem Parameter die Niedrigmobilisierer die besten und die Hochmobilisierer die schlechtesten Werte aufweisen.

Bei dem Besamungsindex stellt sich die Situation ähnlich dar. Die Niedrigmobilisierer erreichen mit 2,77 den besten Wert gefolgt von den Mittelmobilisierern (3,28) und den Hochmobilisierern (3,56).

Der Trächtigkeitsindex der Niedrigmobilisierer beträgt 1,52, der Mittelmobilisierer 1,67 und der Hochmobilisierer 1,86.

Betrachtet man den aussagekräftigen und für die Wirtschaftlichkeit eines Betriebes wichtigen Fruchtbarkeitsparameter Zwischentragezeit, so bestätigt sich das oben gezeichnete Bild. Die Zwischentragezeit der Hochmobilisierer liegt bei durchschnittlich 146,42 Tagen. Nur 31,65 % der Kühe aus dieser Gruppe erreichen eine Zwischentragezeit von weniger als 115 Tagen. Die Mittelmobilisierer haben eine Zwischentragezeit von 129,2 Tage. Die Niedrigmobilisierer erreichen mit 117,91 Tagen den besten Wert im Vergleich der Zwischentragezeiten der drei Gruppen. 43,42 % der Kühe der Gruppe der Niedrigmobilisierer haben eine Zwischentragezeit von weniger als 115 Tagen.

Zur Verbesserung der Anschaulichkeit wurden die Zwischentragezeiten der unterschiedlichen Gruppen in Abbildung 23 graphisch in Form von Boxplots dargestellt. Dabei liegt das obere Quartil bei den Hochmobilisierern bei 187 Tagen und damit über dem der Mittelmobilisierer mit 151 Tagen und dem der Niedrigmobilisierer mit 150 Tagen. Der Median liegt bei den Hochmobilisierern bei 129 Tagen, bei den Mittelmobilisierern bei 111 Tagen und bei den Niedrigmobilisierern bei 109,5 Tagen.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen der Hochmobilisierer und der Niedrigmobilisierer kann bei der Betrachtung der mittleren Zwischentragezeiten ermittelt werden ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis).

Tabelle 15: Darstellung der Fruchtbarkeitsparameter von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x_2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern

	Hoch- mobilisierer (n=79)	Mittel- mobilisierer (n=56)	Niedrig- mobilisierer (n=76)
Anzahl der Versuchstiere	79	56	76
Anzahl der gesamten Tiere	68	56	71
Erstbesamungserfolg	23,5%	35,7%	45,0%
Besamungsindex	3,56	3,28	2,77
Trächtigkeitsindex	1,86	1,67	1,52
Zwischentragezeit in Tagen	146,4 (x_2)	129,2	117,9 (x_2)
% Tiere mit ZTZ < 115 Tage	31,7	42,9	43,4

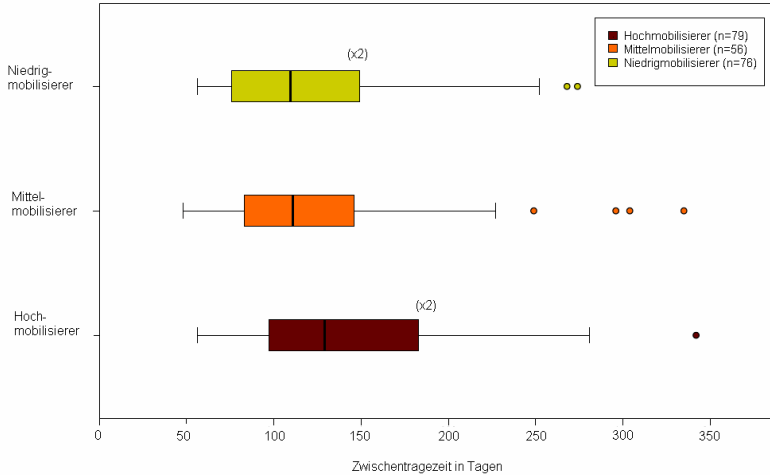


Abbildung 23: Darstellung der Zwischentragezeit von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern; o=milde Ausreißer

4.6.5 Erkrankungen der einzelnen Gruppen

Im Folgenden wird die Inzidenz der Krankheitskomplexe Labmagenverlagerung, Nachgeburtsverhaltung, Mastitis und Hypocalcämie in den nach der Mobilisierung aufgeteilten Gruppen erläutert (Tabelle 16).

Unter allen hier untersuchten Kühen trat nur zweimal eine Labmagenverlagerung auf. Beide Fälle traten in der Gruppe der Niedrigmobilisierer auf.

Der Krankheitskomplex der Nachgeburtsverhaltung wurde in der Gruppe der Hochmobilisierer 13-mal beobachtet, das entspricht 16,5 % der Tiere. 6 Kühe (10,7 %) aus der Gruppe der Mittelmobilisierer und 11 Tiere (14,5 %) aus der Gruppe der Niedrigmobilisierer waren hiervon betroffen. Die Unterschiede sind nicht signifikant.

Die Erkrankungsrate für Mastitis wies in den drei verglichenen Gruppen nur geringfügige Unterschiede auf. So erkrankten 43,0 % der Hochmobilisierer, 44,6 % der Mittelmobilisierer und 38,2 % der Niedrigmobilisierer.

Unterschiede wurden bei der Inzidenz der Hypocalcämie ermittelt. Bei den Hochmobilisierern wiesen 46,8 %, bei den Mittelmobilisierern 23,2 % und bei den Niedrigmobilisierern 25,0 % der Kühe eine Hypocalcämie auf. Die Unterschiede zwischen den Hochmobilisierern und den Mittelmobilisierern sowie zwischen den Hochmobilisierern und den Niedrigmobilisierern sind signifikant ($p < 0,05$ Chi-Quadrat nach Pearson).

**Tabelle 16: Auftreten verschiedener Krankheiten in den einzelnen Gruppen;
 (x1)=p<0,05 zwischen Hochmobilisierern und Mittelmobilisierern; (x2)=p<0,05
 zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern**

		Hoch- mobilisierer (n=79)	Mittel- mobilisierer (n=56)	Niedrig- mobilisierer (n=76)
Labmagen- verlagerung	absolut	0	0	2
	%	0	0	2,6
Nachgeburts- verhaltung	absolut	13	6	11
	%	16,5	10,7	14,5
Mastitis	absolut	34	25	29
	%	43,0	44,6	38,2
Hypocalcämie	absolut	37 (x1,x2)	13 (x1)	19 (x2)
	%	46,8	23,2	25,0

4.7 Aufteilung der Kühe in Gruppen nach Mobilisation und Milchleistung

Im folgenden Abschnitt wurden die Kühe nicht nur hinsichtlich der Mobilisation aufgeteilt, sondern zusätzlich die Milchleistung mit einbezogen. In Folge dessen wurde die Gruppe der Niedrigmobilisierer in zwei gleich große Gruppen von jeweils 38 Tieren aufgeteilt. Die Aufteilung erfolgte entsprechend der Milchleistung in den ersten 168 Tagen der Laktation. Auf diese Weise entstanden die neuen Gruppen der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung, in der sich die Hälfte der Kühe aus der ehemaligen Niedrigmobilisiererguppe befinden, die eine durchschnittliche Milchleistung in den ersten 168 Tagen der Laktation von mehr als 35,66 FCM pro Tag hatten. Die andere Hälfte der Kühe, die weniger als durchschnittlich 35,66 FCM Milch pro Tag in den ersten 168 Tagen der Laktation gab, wurde in die Gruppe der Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung eingeteilt. Diese beiden neu gebildeten Gruppen wurden nun bezüglich der Entwicklung der Rückenfettdicke, der Milchleistung, der NEFA-Konzentration im Plasma, der BHBS-Konzentration im Plasma, der Fruchtbarkeitsparameter und der Inzidenz verschiedener Erkrankungen miteinander und mit der Gruppe der Hochmobilisierer verglichen. Die Gruppe der Hochmobilisierer wurde gegenüber den Untersuchungen in Abschnitt 4.6 nicht verändert.

4.7.1 Entwicklung der Rückenfettdicke in den einzelnen Gruppen

Die RFD-Entwicklung in dem untersuchten Zeitraum ist nach Gruppen aufgeteilt in Abbildung 24 als Boxplotdiagramm dargestellt und in Tabelle 17 sind die Mittelwerte und die Unterschiede im Vergleich zum 3. Tag post partum aufgeführt. Die Hochmobilisierer haben an den ersten beiden Messtagen mit 28,2 mm am 28. Tag ante partum bzw. 30,2 mm am 3. Tag post partum etwa 10 mm höhere Mittelwerte als die beiden anderen Gruppen die auf ähnlichem Niveau liegen. Diese Unterschiede in den Mittelwerten am 28. Tag ante partum und am 3. Tag post partum zwischen der Gruppe der Hochmobilisierer und den beiden Niedrigmobilisiererguppen sind signifikant ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis). Bis zum 28. Tag post partum verlieren die Hochmobilisierer 9,4 mm im Vergleich zum 3. Tag und kommen so auf einen Mittelwert von 20,8 mm RFD. Die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung erreichen am 28. Tag post partum einen Mittelwert von 15,3 mm. Dies entspricht einer RFD-Abnahme von 4,9 mm. Die Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung verlieren bis zum 28. Tag post partum mit 4,6 mm ähnlich viel Rückenfett. Auch am 28. Tag post partum ist der Unterschied in der mittleren Rückenfettdicke zwischen den Hochmobilisierern und den Niedrigmobilisierern mit hoher bzw. niedriger Leistung signifikant ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis). Der Tiefpunkt in der RFD-Entwicklung liegt in allen drei Gruppen am 112. Tag. Zu diesem Zeitpunkt liegt die mittlere Rückenfettdicke der Hochmobilisierer bei 9,9 mm. Das entspricht einer Abnahme der Rückenfettdicke von 20,3 mm im Vergleich mit dem 3. Tag post partum. Die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung erreichen am 112. Tag post partum eine Rückenfettdicke von 10,1 mm. Damit verlieren die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung 10,1 mm zum 3. Tag post partum. Die Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung verlieren im selben Zeitraum 8,7 mm Rückenfett und erreichen einen Wert von 11,6 mm. Im weiteren Verlauf bis zum 168. Tag post partum nimmt die RFD in allen drei Gruppen leicht zu.

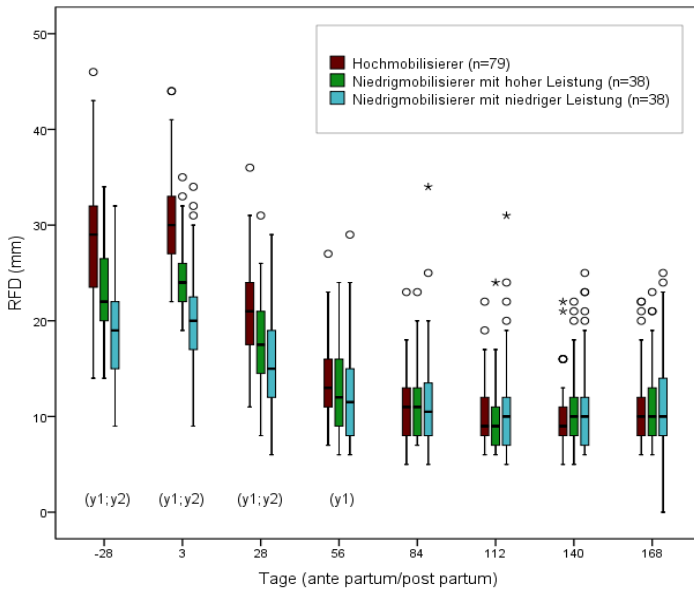


Abbildung 24: Boxplotdarstellung der Rückenfettdicke der verschiedenen Gruppen; (y1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung; (y2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer

Tabelle 17: Verlauf der Mittelwerte der Rückenfettdicke und Veränderungen der Mittelwerte der Rückenfettdicke im Vergleich mit dem 3. Tag p.p. in den verschiedenen Gruppen; Signifikanzen siehe Abbildung 24

	Hochmobilisierer (n=79)		Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung (n=38)		Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung (n=38)	
	RFD in mm	Δ zum 3. Tag p.p.	RFD in mm	Δ zum 3. Tag p.p.	RFD in mm	Δ zum 3. Tag p.p.
28. Tag ante partum	28,2	-2,0	18,9	-1,3	18,7	-1,6
3. Tag post partum	30,2	0,0	20,2	0,0	20,3	0,0
28. Tag post partum	20,8	-9,4	15,3	-4,9	15,6	-4,7
56. Tag post partum	13,6	-16,6	11,7	-8,5	13,1	-7,2
84. Tag post partum	10,6	-19,6	11,1	-9,1	12,3	-8,0
112. Tag post partum	9,9	-20,3	10,1	-10,1	11,6	-8,7
140. Tag post partum	10,0	-20,2	10,1	-10,1	11,8	-8,5
168. Tag post partum	10,5	-19,7	10,8	-9,4	12,1	-8,2

In Abbildung 25 wurden die Rückenfettdicken der einzelnen Gruppen am 3. Tag post partum gleich 100 % gesetzt und die anderen Messzeitpunkte entsprechend berechnet. Die Tendenz, dass die Gruppe der Hochmobilisierer mehr Rückenfett mobilisiert, wird auch hier deutlich. Die prozentualen Werte der Rückenfettdicken im Bezug zum 3. Tag post partum sind bei den Hochmobilisierern vom 28. Tag post partum bis zum 168. Tag post partum signifikant niedriger als die der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung und der Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis).

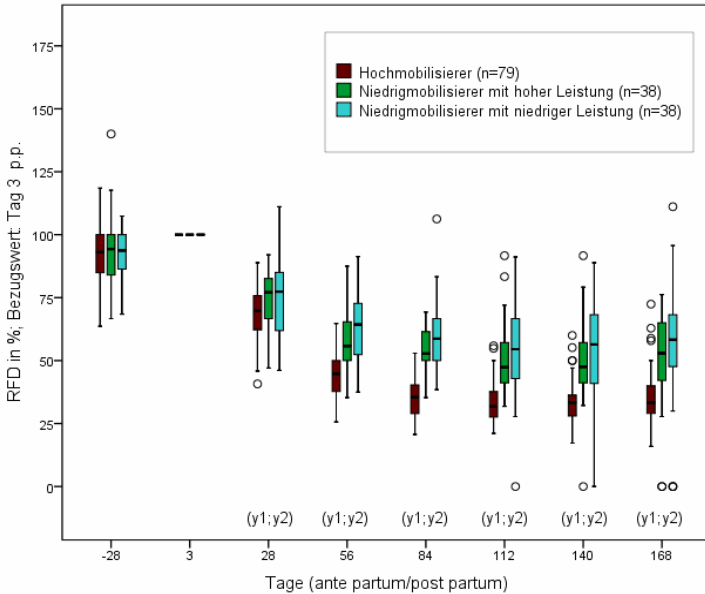


Abbildung 25: Prozentuale Darstellung der Rückenfettdicke der verschiedenen Gruppen; Bezugspunkt für die Berechnung ist der 3. Tag p.p.; (y1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung; (y2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer

4.7.2 Milchleistung der verschiedenen Gruppen

Die Laktationskurven bis zum 168. Tag post partum sind in Abbildung 26 dargestellt. Der Verlauf der Laktationskurven der Hochmobilisierer und der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung unterscheidet sich kaum. Die Kurve der Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung liegt unterhalb der beiden anderen Kurven. Bei allen drei Kurven wird die höchste Milchleistung pro Tag zwischen dem 20. Tag und dem 40. Tag der Laktation erreicht. Während allerdings die Hochmobilisierer und die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung zu diesem Zeitpunkt Werte um 43,0 FCM erreichen, liegt die höchste Milchleistung pro Tag bei den Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung mit Höchstwerten von 38,0 FCM deutlich darunter. Im weiteren zeitlichen Verlauf sinkt die Milchleistung in allen drei Gruppen kontinuierlich bis zum 168. Tag post partum ab. Um die erbrachte Milchleistung der Kühe über den Zeitraum der ersten 168 Tage der Laktation zu veranschaulichen, wurde die mittlere Milchleistung pro Kuh und Tag der verschiedenen Gruppen in Abbildung 27 vom ersten bis zum 168. Tag aufaddiert. Die Verläufe der Kurven von den Hochmobilisierern und den Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung ähneln sich auch in diesem Fall, während die Kurve der Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung darunter liegt, so dass die mittlere

Milchleistung pro Kuh bis zum 168. Tag bei den Hochmobilisierern 6332 FCM, bei den Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung 6294 FCM und bei den Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung 5461 FCM beträgt.

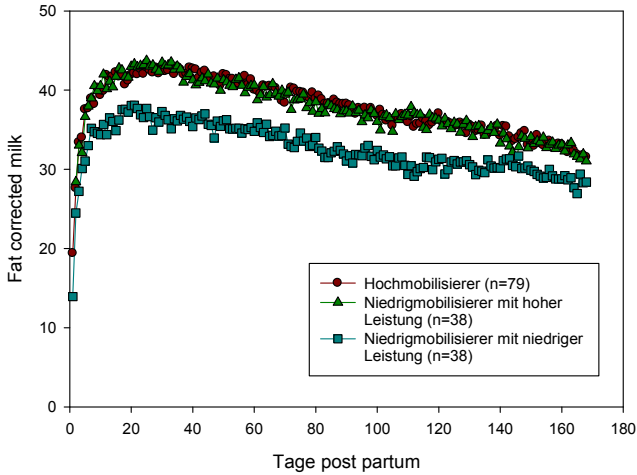


Abbildung 26: Laktationskurven der verschiedenen Gruppen

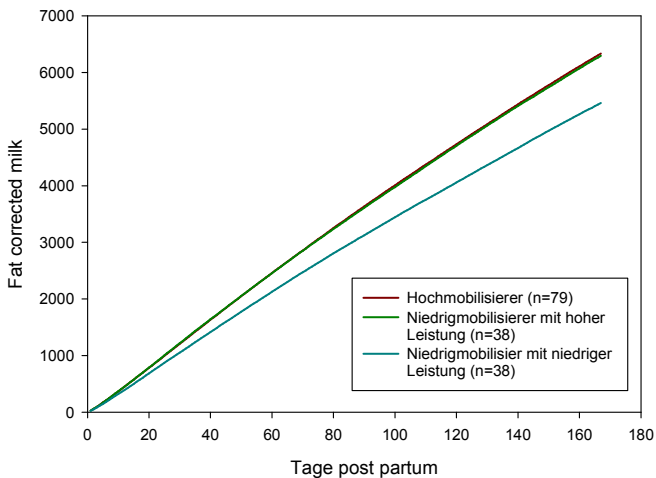


Abbildung 27: Mittlere Milchleistung der verschiedenen Gruppen pro Kuh und Tag akkumuliert bis zum 168. Tag post partum

4.7.3 Blutparameter der verschiedenen Gruppen

4.7.3.1 NEFA

In Abbildung 28 sind die Verläufe der mittleren NEFA-Konzentrationen im Plasma der hier untersuchten Kühe graphisch dargestellt. Am 8. Tag ante partum liegen die drei Gruppen mit Werten zwischen 0,09 mmol/l und 0,13 mmol/l in einer ähnlichen Größenordnung. Bis zum 3. Tag nach der Kalbung steigen die Konzentrationen in allen drei Gruppen an. Während allerdings die Gruppen der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung und die Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung Werte von 0,46 mmol/l bzw. 0,48 mmol/l erreichen, steigt die Konzentration bei den Hochmobilisierern auf 0,77 mmol/l an. Damit liegt die Konzentration der Hochmobilisierer zu diesem Zeitpunkt signifikant über der der beiden anderen Gruppen ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis). In der Folge sinkt die NEFA-Konzentration in allen drei Gruppen ab. Die Hochmobilisierer haben bis zum 140. Tag post partum eine höhere NEFA-Konzentration als die anderen beiden Gruppen. Dabei ist die Konzentration der Hochmobilisierer an den Messpunkten 28, 56 und 112 Tage post partum signifikant höher als in der Gruppe der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung und an den Messpunkten 28, 56 und 84 Tage post partum signifikant höher als in der Gruppe der Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis).

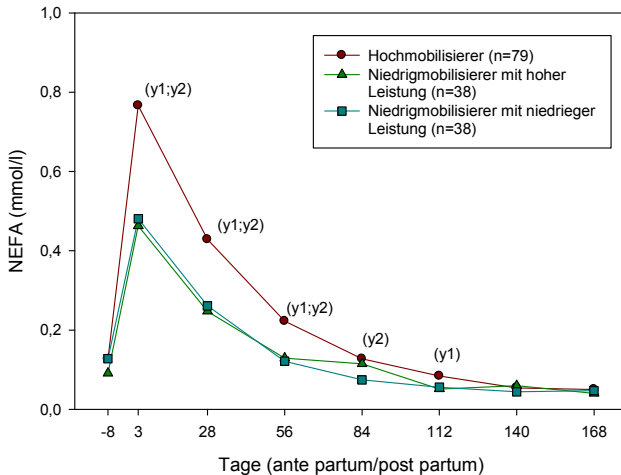


Abbildung 28: Verlauf der Mittelwerte der NEFA-Konzentration im Plasma der verschiedenen Gruppen;
 (y1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung;
 (y2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung

4.7.3.2 BHBS

Die Verläufe der mittleren Konzentrationen an BHBS im Plasma sind, wie in Abbildung 29 dargestellt, verschieden. Am 3. und 28. Tag post partum liegt die Konzentration an BHBS im Plasma der Hochmobilisierer mit Werten von 0,97 mmol/l bzw. 1,28 mmol/l signifikant höher als in den anderen beiden Gruppen ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis). Des Weiteren ist auffällig, dass die Konzentration der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung am 28. Tag post partum mit 1,02 mmol/l über der der Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung (0,79 mmol/l) liegt (nicht signifikant).

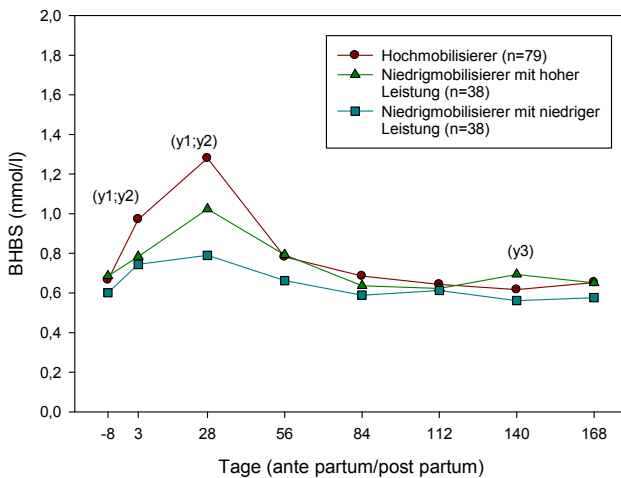


Abbildung 29: Verlauf der Mittelwerte der BHBS-Konzentration im Plasma der verschiedenen Gruppen;
(y1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung; (y2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung

4.7.4 Fruchtbarkeitskennzahlen der verschiedenen Gruppen

Die ermittelten Fruchtbarkeitskennzahlen der Hochmobilisierer, der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung und der Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung sind in Tabelle 18 aufgeführt. Der Erstbesamungserfolg weist in den drei Gruppen unterschiedliche Prozentzahlen auf. Die Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung erreichen mit 52,9 % den besten Wert und erfüllen als einzige Gruppe den Zielwert nach Hoedemaker et al. (2007). Es folgen die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung mit 37,8 % gefolgt von den Hochmobilisierern mit 23,5 %. Sowohl bei der Betrachtung des Besamungsindex der drei Gruppen als auch beim Trächtigkeitsindex erreichen die Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung die besten Werte. Die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung weisen in beiden

Kategorien bessere Werte auf als die Hochmobilisierer. Bei den Hochmobilisierern wurde eine Zwischentragezeit von 146,4 Tagen festgestellt. Damit benötigen die Hochmobilisierer im Schnitt ca. 20 Tage länger um nach der Kalbung wieder tragend zu werden als die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung, die eine Zwischentragezeit von 126,0 Tagen aufweisen. Die Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung haben mit 109,8 Tagen die kürzeste Zwischentragezeit und haben damit eine signifikant kürzere Zwischentragezeit als die Hochmobilisierer ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis). Abbildung 30 zeigt die Verteilung der Zwischentragezeit in den einzelnen Gruppen als Boxplotdarstellung. Hier wird deutlich, dass in der Gruppe der Hochmobilisierer im Vergleich mit den anderen beiden Gruppen viele Kühe mit sehr langen Zwischentragezeiten anzutreffen sind. So liegt das obere Quartil bei den Hochmobilisierern bei 187 Tagen. 50 % der Tiere dieser Gruppe haben eine Zwischentragezeit von mehr als 129 Tagen. In der Gruppe der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung liegt das obere Quartil bei 156 Tagen und damit deutlich unter dem der Hochmobilisierer. Der Median liegt hier bei 117 Tagen. Aus der Gruppe der Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung haben nur wenige Kühe sehr lange Zwischentragezeiten. Das obere Quartil liegt hier bei 120 Tagen, der Median bei 97 Tagen. Die Prozentzahl der Tiere mit einer Zwischentragezeit von weniger als 115 Tagen liegt in allen drei Gruppen unter dem von Hoedemaker et al. (2007) definierten Ziel von 75 % oder mehr. Wie auch bei der Betrachtung der vorhergehenden Parameter erreichen die Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung den besten Wert, gefolgt von den Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung. Den schlechtesten Wert erreichen die Hochmobilisierer. Es ist aber kein signifikanter Unterschied messbar.

Tabelle 18: Fruchtbarkeitskennzahlen der verschiedenen Gruppen; (y2)=p<0,05 zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung

	Hoch- mobilisierer (n=79)	Niedrig- mobilisierer mit hoher Leistung (n=38)	Niedrig- mobilisierer mit niedriger Leistung (n=38)	Ziel nach Hoedemaker et al. (2007)
Anzahl der Versuchstiere	79	38	38	
Anzahl der gesamten Tiere	68	37	34	
Erstbesamungs- erfolg	23,5%	37,8%	52,9%	≥50%
Besamungsindex	3,56	3,39	2,20	≤1,9
Trächtigkeits- index	1,86	1,74	1,24	≤1,7
Zwischentrage- zeit in Tagen	146,4 (y2)	126,0	109,8 (y2)	≤105Tage
% Tiere mit ZTZ<115 Tage	31,6	34,2	52,6	≥75

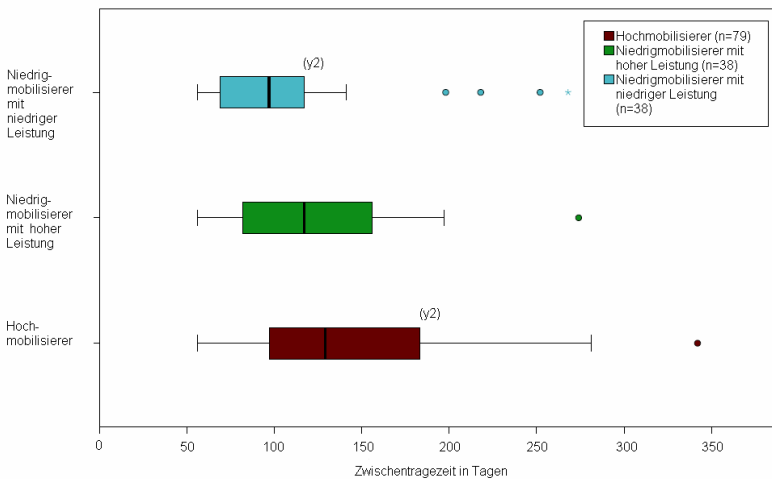


Abbildung 30: Zwischentragezeiten der verschiedenen Gruppen; (y2)=p<0,05 zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer

4.7.5 Erkrankungsraten der verschiedenen Gruppen

Tabelle 19 führt die Häufigkeit des Auftretens der Krankheiten Labmagenverlagerung, Nachgeburtsverhaltung, Mastitis und Hypocalcämie in den drei Gruppen auf. Labmagenverlagerung trat jeweils einmal in der Gruppe der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung und der Gruppe der Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung auf. Von Nachgeburtsverhaltung waren in der Gruppe der Hochmobilisierer 16,5 % der Kühe betroffen. Bei den Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung 10,5 % und bei den Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung 18,4 %. Bei der prozentualen Betrachtung der Häufigkeit des Auftretens von Mastitis weisen die drei Gruppen kaum Unterschiede auf. Signifikante Unterschiede zwischen den Hochmobilisierern und den beiden Niedrigmobilisiererguppen traten bei der Inzidenz der Hypocalcämie auf ($p < 0,05$; Test nach Kruskal und Wallis).

**Tabelle 19: Auftreten verschiedener Krankheiten in den Gruppen;
 (y1)=p<0,05 zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit hoher
 Leistung; (y2)=p<0,05 zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit
 niedriger Leistung**

		Hoch- mobilisierer (n=79)	Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung (n=38)	Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung (n=38)
Labmagen- verlagerung	absolut	0	1	1
	%	0	2,6	2,6
Nachgeburts- verhaltung	absolut	13	4	7
	%	16,5	10,5	18,4
Mastitis	absolut	34	14	15
	%	43,0	36,8	39,5
Hypocalcämie	absolut	37 (y1,y2)	9 (y1)	10 (y2)
	%	46,8	23,7	26,3

5 Diskussion

5.1 Die negative Energiebilanz der Milchkuh

In der vorliegenden Untersuchung wurde eine kommerzielle Milchviehherde hinsichtlich der NEB, der Milchleistung, der Fruchtbarkeit und einiger Krankheitskomplexe untersucht. Im Anschluss wurde versucht, die Auswirkungen einer unterschiedlich stark ausgeprägten NEB auf die anderen hier aufgenommenen Parameter herauszuarbeiten. Ein weiteres Anliegen dieser Untersuchung ist es, aufzuzeigen, dass es eine Untergruppe von Kühen gibt, die das Potential hat, eine hohe Milchleistung mit einer, im Vergleich zu anderen Kühen mit einer ähnlich hohen Milchleistung, weniger stark ausgeprägten NEB zu verbinden. Hinweise dafür, dass es eine solche Gruppe gibt, liefert die Arbeit von Wenning 2008 (Wenning, 2008). Mögliche Gründe für die unterschiedlich ausgeprägte NEB sowie Strategien für eine zukünftige Nutzung solcher Potentiale sollen diskutiert werden.

In Westeuropa und Nordamerika ist die durchschnittlich Milchleistung der Kühe in den letzten Jahrzehnten stark gestiegen. Die über viele Jahre wirksame züchterische Selektion hin zu Kühen mit einer hohen Milchleistung ist für diese gewünschte und wirtschaftlich zunächst notwendige Entwicklung verantwortlich. Die Steigerung der Milchleistung erfolgte vor allem durch eine Erhöhung der Milchleistung in den ersten Wochen der Laktation, die sich in der bekannten Hundert-Tage-Leistung widerspiegelt.

Der Energiestoffwechsel der Milchkuh steht in dieser Phase unter homeorhetischer Kontrolle. Dies bedeutet, dass die Milchproduktion, die für das Überleben des Nachwuchses essentiell ist, oberste Priorität besitzt. Es entwickelt sich eine NEB, da die für die Milchproduktion bereitgestellte Energie die über das Futter aufgenommene Energie übersteigt. Die Kuh entspricht dieser Stoffwechselsituation mit der Nutzung von im Körper gespeicherten Energiereserven. In der Tierzucht wurde die homeorhetische Stoffwechsellaage im postpartalen Zeitraum ausgenutzt, um Kühe mit der genetischen Veranlagung zu einer sehr hohen Milchleistung zu selektieren. Dies führt zu einer Verstärkung der NEB und zur vermehrten Nutzung von im Körper akkumulierten Energiedepsots. Das Fettgewebe spielt hierbei als Energieträger eine herausragende Rolle. Die Dauer der NEB wird in einigen Studien auf bis zu 100 Tagen beziffert (Roche, Friggens *et al.*, 2009). Während der NEB kommt es zu einer massiven Einschmelzung von Körperfett, die sich in einem Verlust an Körpergewicht ausdrückt. Van den Top, Van Tol *et al.* (2005) ermittelten einen Körpergewichtsverlust von 118 kg in einem Monat.

Die züchterische Selektion über viele Jahre primär hin zu einer möglichst hohen (Einsatz-) Leistung ist maßgeblich für die starke Ausprägung der NEB der Milchkuh im Anschluss an die Kalbung verantwortlich. Dies wird besonders deutlich, wenn man in die Überlegung einbezieht, dass das genetische Potential der Kühe zur Futteraufnahme in den letzten Jahrzehnten nicht adäquat mit der Milchleistung angestiegen ist, sondern nur etwa 50 % der Heritabilität für die Milchleistung entspricht (Veerkamp, 1998).

Die massive Einschmelzung von Körperfett führt zu einem Anstieg der NEFA-Konzentration im Blut. Die NEFA-Konzentration korreliert positiv mit der NEB. Von einer positiven Korrelation kann auch zwischen der NEB und der BHBS-Konzentration im Blut ausgegangen

werden, da die NEFA in der Leber zu Ketonkörpern, unter anderem auch BHBS, umgewandelt werden. Sowohl die NEFA-Konzentration im Blut als auch die BHBS-Konzentration im Blut können also als Indikatoren für die NEB bezeichnet werden.

Während der NEB in der Frühphase der Laktation findet bei der Milchkuh die Wiederaufnahme des sexuellen Zyklus bis hin zur Brunst statt. Ein ungestörter Ablauf dieses Prozesses ist die Voraussetzung für die erfolgreiche Besamung und damit einer kurzen Zwischentragezeit, die für die Wirtschaftlichkeit der Milchkuhhaltung eine wichtige Rolle spielt. Außerdem wird im selben zeitlichen Abschnitt ein gehäuftes Auftreten verschiedener Krankheitskomplexe beobachtet. Es gibt zahlreiche Untersuchungen, die einen Zusammenhang zwischen der Ausprägung der NEB und sowohl Fruchtbarkeitsproblemen (Butler, 2003) als auch einer gehäuften Erkrankungsrate (Duffield, Bagg *et al.*, 2002) nachweisen. Das Vorhandensein einer zu starken NEB auf Herdenebene ist eine wesentliche Ursache für viele in der modernen Milchviehhaltung auftretende gesundheitliche Probleme. Die sorgfältige Analyse von Ausmaß und Dauer der NEB und die Erarbeitung von Lösungsansätzen zur Verhinderung einer zu starken NEB ist als eine Voraussetzung anzusehen, um in der Milchviehhaltung eine bessere Fruchtbarkeit und höhere Tiergesundheit bei zufriedenstellender Milchleistung zu erreichen und damit die Voraussetzung einer wirtschaftlich effizienteren Milchproduktion zu schaffen und zusätzlich das Wohlbefinden der Tiere zu steigern.

5.2 Die Entwicklung der Rückenfettdicke als Indikator der NEB

Zur Beurteilung der Mobilisation an Körperfett und damit der Ausprägung der NEB wurde die Rückenfettdicke vor der Kalbung und in regelmäßigen Abständen im Anschluss an die Kalbung per Ultraschall gemessen. Da eine signifikante Korrelation zwischen der Rückenfettdicke und dem gesamten Körperfettgehalt besteht und der Körperfettgehalt repräsentativ für die Energiereserven des Körpers ist, können Rückschlüsse von Veränderungen der Rückenfettdicke im zeitlichen Verlauf auf die Energiebilanz eines Tieres gezogen werden. Klawuhn und Staufenbiel (1997) setzten eine Veränderung der RFD von 1 mm mit einer Zu- bzw. Abnahme von 5 kg Körperfett gleich (Klawuhn und Staufenbiel, 1997).

Bei der Betrachtung der ermittelten mittleren Rückenfettdicken der Kühe und Färsen in der hier untersuchten Herde zeigt sich eine sehr starke Mobilisation von Rückenfett im Zeitabschnitt vom 3. Tag post partum bis zum 112. Tag post partum. Vergleicht man die RFD-Verläufe von Kühen und Färsen mit der Referenzkurve von Staufenbiel, Schröder *et al.* (2003) kann eine zu schnelle, zu hohe und zu lang andauernde Abnahme des Rückenfettes beobachtet werden (Staufenbiel, Schröder *et al.*, 2003). Die geforderte Minimaldicke von 13 mm im Herdenmittel wird deutlich unterschritten. Es kann also von einer sehr ausgeprägten NEB im Durchschnitt der Herde sowohl bei den Färsen als auch bei den Kühen der Studienherde ausgegangen werden. Betrachtet man die Verläufe der Rückenfettdicke in den nach der Mobilisation aufgeteilten Gruppen, mobilisieren die Hochmobilisierer erwartungsgemäß am meisten und die Niedrigmobilisierer am wenigsten Rückenfett. Es muss allerdings festgehalten werden, dass die Hochmobilisierer mit einem deutlich höheren

Ausgangswert am 3. Tag p.p. in die Laktation starten. Der Verlust an Rücken fett gestaltet sich in den ersten Wochen nach der Kalbung in dieser Gruppe umso rasanter. Insgesamt kann festgestellt werden, dass alle drei hier gebildeten Gruppen die Referenzkurve nach Staufenbiel, Schröder et al. (2003) unterschreiten, allerdings ist das Ausmaß der Mobilisation in den Gruppen unterschiedlich ausgeprägt (Staufenbiel, Schröder *et al.*, 2003). So verlieren die Hochmobilisierer durchschnittlich 20,3 mm RFD, was einem Verlust an Körper fett von etwa 100 kg entspricht. Die Mittelmobilisierer verlieren bei dieser Betrachtung etwa 75 kg Körper fett und die Niedrigmobilisierer nur etwa 50 kg. Es kann also von einer unterschiedlich starken Nutzung des Körper fetts als Energiereserve und damit einer unterschiedlich ausgeprägten NEB gesprochen werden. Ein möglicher Grund für eine unterschiedlich starke Mobilisation von Körper fett liegt in der unterschiedlichen genetischen Ausstattung der verschiedenen Kühe. Schon McNamara und Hillers (1986) wiesen auf genetische Einflüsse auf die Lipolyserate hin (McNamara und Hillers, 1986). Auch Roche, Friggens et al. (2009) kommen zu der Überzeugung, dass die genetische Ausstattung der Kühe großen Einfluss auf den Verlauf der Körper kondition hat (Roche, Friggens *et al.*, 2009). Bei der Betrachtung der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung und der Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung fällt auf, dass sich die RFD-Verläufe dieser beiden Gruppen kaum unterscheiden. Im Vergleich mit den Hochmobilisierern kann aber eine deutlich geringere Mobilisation beobachtet werden. Dies drückt sich in einem ca. 10 mm geringeren RFD-Verlust und dementsprechend 50 kg weniger mobilisiertem Körper fett aus. Damit kann eine geringere Ausprägung der NEB in den Gruppen mit niedriger Mobilisation festgestellt werden. In der Regel wird neben den Fettreserven auch Protein mobilisiert (Bauman und Currie, 1980), was jedoch bei diesem Versuch nicht erfasst werden konnte.

Mit der Messung der RFD über den zeitlichen Verlauf hinweg kann die NEB in den unterschiedlichen Gruppen dieser Studie gut quantifiziert werden und so im Folgenden die Auswirkungen einer unterschiedlich starken NEB auf andere Parameter untersucht werden. Die Feststellung, dass eine genetische Beeinflussung der Lipomobilisation besteht, lässt die Möglichkeit für eine züchterische Beeinflussung des Verlaufes der Körper kondition bei Kühen offen.

5.3 Wechselwirkungen zwischen Milchleistung und NEB

Die Laktationskurve der untersuchten Kühe steigt in den ersten 20 Tagen steil an, erreicht am 26. Tag der Laktation den Höhepunkt und fällt anschließend stetig ab. Die durchschnittliche Milchleistung pro Kuh beträgt 36,92 FCM in den ersten 168 Tagen der Laktation. Bei der Betrachtung der Laktationskurven der nach Mobilisation aufgeteilten Gruppen liegt die Gruppe der Hochmobilisierer nur wenig über der der Mittelmobilisierer. Die Laktationskurve der Niedrigmobilisierer hat einen deutlich niedrigeren Verlauf. Die mittlere Gesamtleistung der Niedrigmobilisierer ist signifikant niedriger als die Leistung der Hoch- und Mittelmobilisierer. Eine stärkere Mobilisation von Rücken fett steht, in der hier untersuchten Herde, im Zusammenhang mit einer höheren Milchleistung. Eine Reihe weiterer Autoren kommt zu ähnlichen Ergebnissen betreffend des Zusammenhanges zwischen der Milchleistung und der Entwicklung der Körper kondition in der Laktation

(Waltner, McNamara *et al.*, 1993; Roche, Friggens *et al.*, 2009). Die hohe Milchleistung der Kühe wurde unter anderem durch die züchterische Fokussierung auf eine hohe Milchleistung erreicht. Die Heritabilität der Milchleistung liegt in verschiedenen Studien zwischen 0,16 und 0,50 (Veerkamp, 1998). Damit ging auch die genetische Fixation einer stärkeren Fettmobilisation und einer negativeren Energiebilanz zur Deckung der für die Milchleistung benötigten Energie einher (Veerkamp und Koenen, 1999), da die Züchtung auf eine höhere Milchleistung mit einer verstärkt homeorhetischen Stoffwechsellage verbunden ist. Hochleistungskühe haben eine höhere Bereitschaft Fett zu mobilisieren als Kühe, die weniger intensiv auf Milchleistung gezüchtet wurden (McNamara und Hillers, 1986). Es kann auf einen Einfluss der Höhe der Milchleistung auf die Entwicklung der RFD und damit die NEB geschlossen werden (McNamara, 1989; Gallo, Carnier *et al.*, 1996; Domezq, Skidmore *et al.*, 1997; Schröder, 2000; Dechow, Rogers *et al.*, 2001; Schröder und Staufenbiel, 2002; Roche, Friggens *et al.*, 2009).

Beim Vergleich der Gruppe der Hochmobilisierer mit den Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung und den Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung fällt auf, dass die Laktationskurven der Hochmobilisierer und der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung einen sehr ähnlichen Verlauf haben. Auch die mittlere Gesamtleistung der beiden Gruppen liegt auf ähnlichem Niveau. Die Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung haben in den ersten 168 Tagen zu jeder Zeit eine deutlich niedrigere Leistung als die beiden anderen Gruppen. Die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung sind also in der Lage, eine ähnlich hohe Milchleistung zu erbringen wie die Hochmobilisierer, obwohl sie deutlich weniger RFD einschmelzen. Die maximale Abnahme an RFD fällt bei den Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung im Durchschnitt um 10 mm geringer aus. Das bedeutet, dass die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung 50 kg weniger Körperfett mobilisieren, aber trotzdem ähnlich viel Energie für die Galaktogenese bereitstellen.

Futteraufnahme: Die Energiebilanz setzt sich aus dem Erhaltungsbedarf und dem Leistungsbedarf auf der einen Seite und der Futteraufnahme auf der anderen Seite zusammen. Der Leistungsbedarf an Energie dürfte in den Gruppen der Hochmobilisierer und der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung etwa die gleiche Größenordnung haben. Die weniger ausgeprägte NEB bei den Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung muss also Folge einer größeren Aufnahme an Energie (= erhöhte Futteraufnahme) oder einem geringeren Bedarf an Energie für die Erhaltung sein, der jedoch im Verhältnis zum Leistungsbedarf relativ gering ist und somit die Unterschiede nicht erklären kann.

Eine größere Futteraufnahme oder eine bessere Verwertung des aufgenommenen Futters kommen als Faktoren hierfür in Frage. Die genetische Selektion auf Milchleistung führte auch zu einer Erhöhung der Futteraufnahme (Veerkamp und Koenen, 1999). Allerdings deckt die Erhöhung der Futteraufnahme laut Veerkamp (1998) nur 40 bis 48 % des zusätzlichen Bedarfs für die gesteigerte Milchleistung ab (Veerkamp, 1998). Zu einer ähnlichen Feststellung kommen auch Van Arendonk, Nieuwhof *et al.* (1991). Besonders zu Beginn der Laktation scheint die Futteraufnahme unabhängig von der Milchleistung zu sein (Brandt, Papst *et al.*, 1985). Für das Verständnis der Entstehung der NEB während der Früh-laktation ist dies eine wichtige und maßgebliche Feststellung. Die sich stellende Frage

ist nun, ob einige Kühe in der Lage sind, die Futteraufnahme stärker zu steigern als andere. Da in der vorliegenden Studie keine Registrierung der Futteraufnahme des Einzeltieres oder der Gruppen erfolgte, kann für die hier untersuchte Herde über diesen Punkt keine Aussage gemacht werden. Es kann aber festgehalten werden, dass alle in den Versuch einbezogenen Tiere das gleiche Futter bekamen, dem gleichen Fütterungsregime unterstanden und den gleichen Umweltbedingungen ausgesetzt waren, so dass ausschließlich physiologische Aspekte Grund für eine unterschiedlich hohe Futteraufnahme sein können.

Die Futteraufnahme sinkt schon 1 – 2 Wochen antepartal ab und erreicht erst zwischen der 8. und der 22. Woche das Maximum (Ingvartsen und Andersen, 2000). Die Milchleistung dagegen hat ihren Höhepunkt schon deutlich früher in der Laktation (Gravert, 1985; Vanarendonk, Nieuwhof *et al.*, 1991; Ingvartsen und Andersen, 2000). Es werden verschiedene Metabolite und Hormone diskutiert, die bei der Regulierung der Futteraufnahme eine Rolle spielen könnten (Ingvartsen und Andersen, 2000). Für die hier untersuchte Herde ist eine Beeinflussung der Futteraufnahme durch höhere NEFA-Konzentrationen möglich, da die Hochmobilisierer am 3. Tag post partum deutlich höhere NEFA-Werte aufweisen als die anderen beiden Gruppen. Verschiedene weitere Wege der Beeinflussung der Futteraufnahme werden in der Literatur besprochen. In die Diskussion muss hier mit einbezogen werden, dass eine höhere Kondition zur Kalbung in vielen Studien einen negativen Einfluss auf die Trockensubstanzaufnahme und damit auch auf die Energiebilanz hatte (Broster und Broster, 1998; Tolkamp, Emmans *et al.*, 2006; Roche, Friggens *et al.*, 2009). In der hier untersuchten Herde ist es somit möglich, dass die Futteraufnahme und damit die Energiebilanz in der Gruppe der Hochmobilisierer negativ durch die höhere mittlere RFD der Kühe am 3. Tag post partum beeinflusst wurde.

Die Entwicklung der Kondition und der Milchleistung nur auf die Effekte einer unterschiedlichen Konditionierung zur Kalbung zurückzuführen, erklärt die gewonnenen Beobachtungen nicht, da bei der Betrachtung der Milchleistung der Niedrigmobilisierer mit hoher und mit niedriger Leistung enorme Unterschiede der Milchleistung bei einer ähnlichen Konditionierung zur Kalbung beobachtet werden. Die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung schaffen es, deutlich mehr Milch bei praktisch gleicher Mobilisation von Körperfett zu geben als die Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung. Die Energieaufnahme über das Futter muss also bei den Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung höher ausgefallen sein, da mehr Energie für die Galaktogenese bei gleicher Nutzung von körpereigenen Energiereserven zur Verfügung gestellt wird. Als möglicher Einflussfaktor dieser Unterschiede kann eine unterschiedliche genetische Ausstattung von Tieren bezüglich der Futteraufnahme angesehen werden. In mehreren Studien wurde die Heritabilität der Futteraufnahme untersucht. Sie lag bei Brandt, Papst *et al.* (1985) bei $0,17 \pm 0,04$ (Brandt, Papst *et al.*, 1985). Van Arendonk, Nieuwhof *et al.* (1991) ermittelten eine Heritabilität des DMI von 0,46 (Vanarendonk, Nieuwhof *et al.*, 1991). Veerkamp und Koenen (1999) werteten 12 verschiedene Studien aus und kamen auf eine mittlere Heritabilität von 0,33 bei einer Spannweite von 0,16 bis 0,49 (Veerkamp und Koenen, 1999). Es ist also möglich, dass die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung eine erblich bedingte höhere Futteraufnahme haben und diese sich positiv auf die Energiebilanz auswirkt. In diesem Fall könnte die zukünftige züchterische Nutzung solcher genetischer Potentiale zu höherer Futteraufnahme sinnvoll

sein. Diese Forderung wurde auch schon von Van Arendonk, Nieuwhof et al. (1991) formuliert (Vanarendonk, Nieuwhof *et al.*, 1991). Brandt, Papst et al. (1985) empfehlen, aufgrund der in ihrer Studie geringen Heritabilität der Futteraufnahme, die Nachkommenprüfung als Erfolg versprechende Methode entsprechend zu erweitern (Brandt, Papst *et al.*, 1985). Auf welchem Weg sich die genetische Determination zu einer unterschiedlich hohen Futteraufnahme bei Kühen ausdrückt ist nicht bekannt. Die Regulation der Futteraufnahme ist ein sehr komplexer biologischer Vorgang. Die physiologischen Gründe für das peripartale Absinken der Futteraufnahme werden vielfach diskutiert und es soll hier auf das umfassende Review von Ingvarsen und Andersen (2000) verwiesen werden (Ingvarsen und Andersen, 2000). Eine wichtige Feststellung macht Breves (2007), der den physiologischen Nutzen einer verringerten Futteraufnahme für eine ungestörte Kalbung betont und hier das Östrogen als entscheidendes, die Futteraufnahme beeinflussendes Hormon hervorhebt (Breves, 2007). Aufgrund der Komplexität der Futteraufnahmeregulation ist davon auszugehen, dass eine Vielzahl verschiedener Gene in die Regulation einbezogen ist. Als ein die Futteraufnahme regulierendes Hormon wird das vom Fettgewebe gebildete Leptin diskutiert (Zhang, Proenca *et al.*, 1994). Die Bestimmung dieses Hormons in einer Subgruppe dieser Tiere ergab aber keine die NEB erklärenden Unterschiede (Mösch, 2011). *Verwertung des Futters*: Eine unterschiedlich effektive Verwertung des aufgenommenen Futters im Verdauungstrakt oder im intermediären Stoffwechsel ist eine weitere mögliche Ursache für die unterschiedlich ausgeprägte NEB bei ähnlich hoher Milchleistung (Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003). Die genetische Variabilität der Effizienz der Futterverwertung wird von Veerkamp und Emmans (1995) diskutiert (Veerkamp und Emmans, 1995). Es kommen z.B. eine unterschiedlich gute Adaptation der Pansenflora und der Pansenpapillen (Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003) oder eine unterschiedlich hohe Pansenaktivität oder Speichelproduktion (Gravert, 1985) als Teilbereiche der Futtereffizienz in Frage. Veerkamp und Emmans (1995) und Veerkamp (1998) kommen allerdings zu der Ansicht, dass es keine großen genetischen Unterschiede zwischen den Tieren bezüglich der Effizienz der Futterverwertung gibt (Veerkamp und Emmans, 1995; Veerkamp, 1998). Auch Gravert (1985) konnte keine großen genetischen Variabilitäten bezüglich der Effizienz der Futterverwertung feststellen (Gravert, 1985).

Es ist ferner vorstellbar, dass es Unterschiede zwischen einzelnen Kühen bei der Verteilung von Energie an verschiedene Körperfunktionen gibt (Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003). So ist es möglich, dass einige Kühe mehr Energie für die Erhaltung, die Fruchtbarkeit oder das Immunsystem verwenden als andere Kühe. Dadurch kann es bei gleicher Leistung und gleicher Energieaufnahme zu einer unterschiedlich ausgeprägten NEB kommen (Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003). Yan, Mayne et al. (2006) stellten fest, dass Hochleistungskühe mehr von der aufgenommenen Energie für die Milchleistung und weniger für das Körpergewebe zur Verfügung stellen als Kühe mit einem geringeren genetischen Potential für Milchleistung (Yan, Mayne *et al.*, 2006). Auch hier liegt, neben der genetischen Fixierung einer unterschiedlich hohen Futteraufnahme, ein möglicher genetisch determinierter Faktor, der die Höhe der Milchleistung und die damit verbundene Ausprägung der NEB beeinflusst.

Der genaue Mechanismus, wie die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung die gleiche Menge an Energie für die Milchproduktion bei geringerer Mobilisation von Körperperfett gegenüber den

Hochmobilisierern erbringen, ist wegen der unter Praxisbedingungen nicht zu erfassenden Futteraufnahme abschließend nicht zu klären. Eine ähnliche Versuchsanordnung mit einer Aufnahme des DMI könnte hier Sicherheit bringen und die Option der züchterischen Selektion hin zu einer höheren Futteraufnahme und damit zu einer Begrenzung der NEB in der Früh-laktation eröffnen. Es wird aber jetzt schon deutlich, dass eine weitere Züchtung auf eine noch höhere Milchleistung ohne die Einbeziehung anderer genetischer Komponenten, die auch den Stoffwechselstatus der Milchkuh mit einbeziehen, nicht weiter zu verfolgen ist.

5.4 Die Entwicklung der Blutparameter NEFA und BHBS als Ausdruck des Stoffwechselstatus während der negativen Energiebilanz

5.4.1 NEFA

In der vorliegenden Studie zeigen die an den unterschiedlichen Zeitpunkten gemessenen NEFA-Konzentrationen sowohl bei den Kühen als auch bei den Färsen einen typischen Verlauf mit der höchsten Konzentration kurz nach der Kalbung. So ist die Konzentration sowohl bei den Kühen als auch bei den Färsen am 3. Tag post partum am höchsten. Die mittleren Konzentrationen übersteigen den Referenzwert, der nach Staufenbiel (2008) innerhalb der ersten Woche bei 0,8 mmol/l liegt, mit 0,62 mmol/l bei den Kühen und 0,73 mmol/l bei den Färsen, nicht (Staufenbiel, 2008). Die Erhöhung der NEFA-Konzentration im Blut der Milchkuh in der Transitperiode ist Folge der Mobilisation von Fettgewebe zur Deckung des durch das Einsetzen der Laktation stark gestiegenen Energiebedarfs der Kuh. Eine erhöhte NEFA-Konzentration im postpartalen Zeitraum ist Ausdruck der NEB der Milchkuh (Bauman und Currie, 1980; Adewuyi, Gruys *et al.*, 2005). Dies wird auch bei der Auswertung der Ergebnisse dieser Studie deutlich. Bei der Aufteilung der Kühe in Gruppen nach der Mobilisation von Rücken Fett haben die Hochmobilisierer postpartal die deutlich höchsten NEFA-Konzentrationen, die Mittelmobilisierer haben geringere NEFA-Konzentrationen als die Hochmobilisierer, aber immer noch deutlich höhere Konzentrationen als die Niedrigmobilisierer. Am 3. Tag post partum ist der Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigmobilisierern sowie zwischen Mittel- und Niedrigmobilisierern signifikant. Am 28. Tag post partum können sogar signifikante Unterschiede zwischen allen drei Gruppen festgestellt werden. Eine stark erhöhte NEFA-Konzentration hat eine toxische Wirkung auf verschiedene Gewebe (Adewuyi, Gruys *et al.*, 2005). Mehrere verschiedene Krankheitskomplexe wie Ketose und Fettleber hängen direkt mit erhöhten NEFA-Konzentrationen zusammen (Grummer, 1993). Des Weiteren kann die peripartale NEFA-Konzentration als Indikator für das Krankheitsrisiko bei weiteren postpartal auftretenden Krankheitskomplexen dienen (Kaneene, Miller *et al.*, 1997). Dies konnte in der vorliegenden Studie für die Hypocalcämie festgestellt werden, da signifikante Unterschiede zwischen den Hochmobilisierern, die hohe NEFA-Konzentrationen aufwiesen und den anderen beiden Gruppen mit niedrigeren NEFA-Konzentrationen in der Inzidenz der Hypocalcämie ermittelt wurden. Es konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede in der Inzidenz der anderen Krankheitskomplexe festgestellt werden.

In den letzten Jahren wurde die Wirkung einer erhöhten NEFA-Konzentration auf die Fruchtbarkeit verstärkt diskutiert. Verschiedene *in vitro* Studien kommen zu dem Ergebnis, dass eine erhöhte NEFA-Konzentration toxische Wirkungen auf ovarielle Zellen und befruchtete Eizellen hat (Jorritsma, Cesar *et al.*, 2004; Leroy, Vanholder *et al.*, 2005; Vanholder, Leroy *et al.*, 2005; Vanholder, Leroy *et al.*, 2006). In Feldversuchen kamen allerdings verschiedene Studien zu dem Ergebnis, dass keine Effekte einer erhöhten NEFA-Konzentration auf die Fruchtbarkeitsparameter existieren (Staples, Thatcher *et al.*, 1990; Patton, Kenny *et al.*, 2007). Es gibt keine überzeugenden Beweise aus *in vivo*-Studien für eine negative Beeinflussung des Fruchtbarkeitsgeschehens durch eine erhöhte NEFA-Konzentration (Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003). In der vorliegenden Studie können bessere Fruchtbarkeitsergebnisse in den Gruppen mit niedriger Mobilisation und dementsprechend auch niedrigere NEFA-Konzentrationen nachgewiesen werden. Dies auf die unterschiedlichen NEFA-Konzentrationen zurückzuführen, ist allerdings nicht möglich.

Seit einigen Jahren zeichnet sich ab, dass die Rolle der NEFA nicht auf die des Metaboliten zur Deckung des Energiebedarfs beschränkt ist, sondern dass den NEFA auch verschiedene pathophysiologische Funktionen zukommen. Es wird beispielsweise ein Einfluss der NEFA-Konzentration auf die Futteraufnahme diskutiert. Es gibt Untersuchungen bei Schafen und Ratten, aber auch bei Milchkühen, die eine reduzierte Trockenmasseaufnahme nach der Infusion von Fettsäuren feststellen (Ingvarsen und Andersen, 2000). Kasser, Harris *et al.* (1985) vermuten, dass die Änderungen in der Rate der Fettoxidation im Hypothalamus in Beziehung zur Änderung der Körperfettreserven stehen und so die Futteraufnahme auf die Änderung des Körperfettanteils abgestimmt wird (Kasser, Harris *et al.*, 1985; Ingvarsen und Andersen, 2000). Aus der vorliegenden Untersuchung können diesbezüglich keine Angaben gemacht werden. Allerdings fällt auf, dass die Gruppen mit höheren NEFA-Konzentrationen am 3. Tag post partum eine negativere Energiebilanz im weiteren Verlauf der Laktation aufweisen. Eine negative Beeinflussung der Futteraufnahme durch eine höhere NEFA-Konzentration und als Folge dessen eine negativere Energiebilanz wäre also möglich.

5.4.2 BHBS

Die bei der Lipomobilisation anfallenden NEFA werden in der Leber durch die β -Oxidation zu Acetyl-CoA abgebaut. Kommt es zu einer übermäßigen Mobilisation von Körperfett, wird Acetyl-CoA zu Ketonkörpern umgebaut (Roche, Friggens *et al.*, 2009). Eine gesteigerte Ketonkörperkonzentration im Blut ist Ausdruck einer NEB (Bell, 1995; Herdt, 2000). Eine Erhöhung der BHBS-Konzentration nach der Kalbung kann sowohl bei den hier beprobten Kühen als auch den Färsen festgestellt werden. Die von Duffield, Lissemore *et al.* (2009) ermittelten kritischen Konzentrationen mit negativen Auswirkungen für die spätere Laktation werden aber im Herdenmittel aller Kühe nicht erreicht (Duffield, Lissemore *et al.*, 2009). Anders gestaltet sich das Bild, wenn man nur die Hochmobilisierer betrachtet. Diese überschreiten den kritischen Wert von 1,2 mmol/l am 28. Tag post partum knapp. Die BHBS-Konzentrationen von Mittel- und Niedrigmobilisierern erreichen zu keinem Messzeitpunkt einen vergleichbar hohen Wert. Die Werte der Mittelmobilisierer liegen bis einschließlich des

84. Tag post partum leicht über denen der Niedrigmobilisierer. Die oben gemachte Aussage, dass eine gesteigerte Ketonkörperkonzentration Ausdruck einer bestehenden NEB ist, kann also bestätigt werden. Im Vergleich der Hochmobilisierer mit den Niedrigmobilisierern mit hoher bzw. niedriger Leistung können signifikant höhere Konzentrationen der Hochmobilisierer gegenüber den beiden anderen Gruppen am 3. und 28. Tag post partum ermittelt werden. Der Mittelwert der Kühe mit niedriger Mobilisation und hoher Leistung liegt am 28. Tag post partum deutlich über dem der Kühe mit niedriger Mobilisation und niedriger Leistung. Eine Signifikanz kann hier nicht ermittelt werden. Ein Zusammenhang zwischen der Milchleistung und der BHBS-Konzentration post partum muss allerdings in Betracht gezogen werden. Einen ähnlichen Zusammenhang zeigen auch Gröhn, Erb *et al.* (1989) und Fleischer, Metzner *et al.* (2001) auf (Grohn, Erb *et al.*, 1989; Fleischer, Metzner *et al.*, 2001). Sie erachten eine höhere Milchleistung als Risikofaktor für die Entwicklung einer klinischen Ketose.

5.5 Wechselwirkungen zwischen NEB und Fruchtbarkeit

Die Fruchtbarkeitskennzahlen von Kühen und Färsen dieser Herde zeigen, dass Probleme im Bereich der Fruchtbarkeit der untersuchten Herde existieren. Bis auf den Trächtigkeitsindex erreichen sowohl die Färsen als auch die Kühe die von Hoedemaker, Mansfeld *et al.* (2007) aufgestellten Referenzwerte nicht (Hoedemaker, Mansfeld *et al.*, 2007). Erstbesamungserfolg, Besamungsindex und Zwischentragezeit verfehlen deutlich die gewünschten Werte. Der Trächtigkeitsindex dagegen erfüllt den geforderten Wert. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass bei den Tieren, die tragend werden, relativ wenige Besamungen nötig sind. Im Umkehrschluss bedeutet dies, da der Besamungsindex hoch ist, dass viele Tiere häufig besamt wurden, ohne trächtig zu werden. Als die Fertilität maßgeblich beeinflussende Faktoren kommen Umweltbedingungen, die Betriebsführung und Kuhgebundene Faktoren in Frage (Hoedemaker, Mansfeld *et al.*, 2007). Die ausgeprägte und lang anhaltende NEB, wie sie in diesem Fall vorliegt, kann die Fruchtbarkeit einer Herde, neben anderen Faktoren, entscheidend beeinflussen (Hoedemaker, Mansfeld *et al.*, 2007). Es kann davon ausgegangen werden, dass die NEB wie sie bei der untersuchten Herde auftritt, deutliche negative Auswirkungen auf die Fertilität der Herde hat.

Der für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Betriebes wichtige Parameter Zwischentragezeit überschreitet bei Kühen und Färsen den für eine zufriedenstellende Fruchtbarkeit geforderten Wert deutlich. Es gibt im Bereich der Fruchtbarkeit erheblichen Verbesserungsbedarf in der untersuchten Herde. Das die Ausprägung der NEB einen Einfluss auf die Fruchtbarkeitsergebnisse hat, wird bei der Betrachtung der Fruchtbarkeitskennzahlen der nach der Mobilisation aufgeteilten Gruppen deutlich. In jedem der hier ermittelten Fruchtbarkeitsparameter erreichten die Niedrigmobilisierer die besten Werte. Die Hochmobilisierer weisen in allen Fruchtbarkeitskategorien schlechtere Werte auf als die beiden anderen Gruppen. Negative Auswirkungen einer ausgeprägten NEB sind in der Literatur in vielen verschiedenen Studien belegt worden (Butler, 2003). Es wurde die Verschlechterung der Fruchtbarkeitsparameter parallel zu der Steigerung der Milchleistung in den letzten Jahrzehnten dokumentiert (Butler, 1998; Lucy, 2001; Wiltbank, Lopez *et al.*,

2006). Auf welchem Weg die Beeinflussung der Fruchtbarkeit durch die NEB stattfindet, wurde vielfach diskutiert. Es kann nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft von einer Beeinflussung des physiologischen Fruchtbarkeitsgeschehens in allen für die Fruchtbarkeit bedeutenden Organen ausgegangen werden (Diskin, Mackey *et al.*, 2003). Dies beginnt mit einer Beeinflussung des neuroendokrinen Systems durch Hormone und Metabolite des Energiestoffwechsels. Hier ist im Besonderen die GnRH-Produktion im Hypothalamus betroffen. Die Glucose- und Insulinkonzentration im Blut, die über so genannte Fuel-detector-Zellen im Hirnstamm registriert wird und über eine Änderung der Konzentration an Neuropeptid Y an den Hypothalamus weiter gegeben wird, ist ein wichtiger Mechanismus, der die Information über die aktuelle Stoffwechsellage der Kuh an das neuroendokrine System des Hypothalamus übermittelt (Wade und Jones, 2004). Auch die Leptin-Konzentration im Blut beeinflusst die GnRH-Produktion im Hypothalamus und somit die Gonadotropinausschüttung der Hypophyse. Die Funktionalität des Ovars ist ebenfalls mit dem Energiestoffwechsel verknüpft. So spielt die IGF-1-Konzentration im Blut eine wichtige Rolle bei der Hormonproduktion und dem Follikelwachstum des Ovars (Lucy, 2000). Ein ähnlicher Effekt wird für das Insulin angenommen (Vanholder, Leroy *et al.*, 2006). Die Qualität der entstehenden Eizellen hängt nach Jorritsma (2003) ebenfalls von der IGF-1-Konzentration und damit der Ausprägung der Energiebilanz ab (Jorritsma, Wensing *et al.*, 2003). Neuesten Untersuchungen zur Folge hat eine ausgeprägte NEB auch negative Auswirkungen auf den Uterus, da IGF-1 und Insulin positive Auswirkungen auf das Endometrium haben (Wathes, Cheng *et al.*, 2011).

Ein negativer Effekt einer ausgeprägten Energiebilanz kann aber nicht nur für den Zeitraum der NEB selber festgestellt werden, sondern es kommt auch zu einer Beeinträchtigung des Fruchtbarkeitsgeschehens zu späterer Zeit, wenn die NEB selber gar nicht mehr besteht (Staples, Thatcher *et al.*, 1990). Es kann von einer Art „Gedächtnis“ der Kuh bezüglich der Ausprägung der NEB gesprochen werden. Auf diese Weise findet eine Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit bei Tieren mit ausgeprägter NEB bis weit in die Laktation hinein auch bei schon wieder ausgeglichener oder sogar positiver Energiebilanz statt. Es besteht also eine vielfältige Beeinflussung des reproduktiven Systems durch den Energiestoffwechsel, wobei besonders IGF-1, aber auch andere Hormone und Metabolite eine wichtige Rolle spielen.

Ein wichtiges Ergebnis der hier durchgeführten Untersuchungen wird bei dem Vergleich der Hochmobilisierer mit den Niedrigmobilisierern mit hoher bzw. niedriger Leistung deutlich. Die Hochmobilisierer weisen bei allen hier ermittelten Fruchtbarkeitsparametern schlechtere Werte auf als die beiden Niedrigmobilisiererguppen. Besonders der wichtige Parameter Zwischentragezeit zeigt deutliche Unterschiede. Die Hochmobilisierer haben eine um 36,6 Tage längere Zwischentragezeit als die Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung. Dieser Unterschied ist signifikant. Der Unterschied in der ZTZ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung ist zwar nicht signifikant, aber mit 20,4 Tagen deutlich. Die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung kommen also bei einer ähnlich hohen Milchleistung wie die Hochmobilisierer auf bessere Fruchtbarkeitsergebnisse. Da schlechte Fruchtbarkeitsergebnisse, besonders eine lange Zwischentragezeit, zu erheblichen wirtschaftlichen Einbußen in der Milchviehhaltung führen können, ist dies eine wichtige Beobachtung.

Es kann somit geschlussfolgert werden, dass eine stärker negative Energiebilanz in dieser Studie negative Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit der Kühe hat. Dies ist durch vorhergehende Studien vielfach bestätigt worden. Besondere Aufmerksamkeit muss auf die Gruppe der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung gelegt werden. Diese Gruppe ist in der Lage, eine hohe Milchleistung mit besseren Fruchtbarkeitsergebnissen zu verbinden als die Gruppe der Hochmobilisierer mit einer vergleichbar hohen Milchleistung. Die Verbindung zwischen Milchleistung und Fruchtbarkeit stellt die Energiebilanz dar. Die Gruppe der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung hat trotz der hohen Milchleistung eine weniger negative Energiebilanz und vermag so bessere Fruchtbarkeitsergebnisse bei hoher Milchleistung zu erreichen. Die oben vorgeschlagene züchterische Fokussierung auf eine weniger stark ausgeprägte NEB würde also zu einer Verbesserung der Fruchtbarkeit führen. Eine wirtschaftlichere Milchviehhaltung durch eine Verkürzung der Zwischentragezeiten und eine Verlängerung der Nutzungsdauer der Kühe wäre auf diesem Weg möglich.

5.6 Wechselwirkungen zwischen NEB und Tiergesundheit

Eine Beeinflussung der Tiergesundheit durch die NEB wird von zahlreichen Autoren unterstellt (Herdt, 2000; Duffield, Bagg *et al.*, 2002; Roche und Berry, 2006). Im besonderen stoffwechselassoziierte Krankheiten wie Ketose oder Fettlebererkrankung sind ätiologisch eng mit der NEB verknüpft (Herdt, 2000). Aber auch für nicht stoffwechselassoziierte Krankheiten wird ein Zusammenhang zwischen der NEB und der Erkrankungsrate diskutiert. Vor allem eine Schwächung des Immunsystems kommt hier als ätiologischer Aspekt in Frage (Mösch, 2011).

In der vorliegenden Studie wurden hauptsächlich nicht-stoffwechselassoziierte Krankheiten aufgenommen. Bei der Betrachtung der Inzidenz der Labmagenverlagerung der kompletten Herde kann festgestellt werden, dass die Labmagenverlagerung im Vergleich mit der von Fleischer (2001), der eine große Tierzahl untersuchte, ermittelten Inzidenz durchschnittlich häufig auftritt (Fleischer, Metzner *et al.*, 2001). Da unter allen Kühen nur zwei Labmagenverlagerungen auftraten, hat die Ermittlung der Inzidenz in den nach der Mobilisation aufgeteilten Gruppen keine Aussagekraft. Aufgrund dieser Daten kann also keine Aussage über den Zusammenhang zwischen der peripartalen Entwicklung der Kondition und dem Auftreten von Labmagenverlagerung gemacht werden, wie dies bei Füll und Krüger (2000) der Fall ist (Füll und Krüger, 2000). Um eine Aussagekraft bezüglich dieses Punktes zu erhalten, müsste ein Versuch unter Einbeziehung einer noch größeren Tierzahl durchgeführt werden.

Die Inzidenz der Nachgeburtshaltung liegt bei allen Kühen mit 14,2 % etwas über dem von Fleischer (2001) ermittelten Durchschnitt von 8,9 % (Fleischer, Metzner *et al.*, 2001). Bei der Betrachtung der nach dem Ausmaß der Mobilisation gebildeten Gruppen können keine deutlichen Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden.

Bei 41,7 % der in den Versuch aufgenommenen 211 Kühe wurde die Diagnose Mastitis gestellt. Dieser Wert liegt deutlich über dem von Fleischer (2001) ermittelten Durchschnittswert von 21,6 % (Fleischer, Metzner *et al.*, 2001). Es muss also eine gesteigerte Problematik im Bereich der Eutergesundheit in der untersuchten Herde

festgestellt werden. Da in den untersuchten Gruppen keine wesentlichen Unterschiede in der Inzidenz der Mastitis ermittelt wurde, kann aufgrund der hier vorliegenden Daten kein Zusammenhang zwischen der Ausprägung der NEB und dem Mastitisrisiko hergestellt werden.

Die Diagnose Hypocalcämie wurde bei 32,7 % der Kühe gestellt. Deutliche Unterschiede können beim Vergleich der nach der Mobilisation aufgeteilten Gruppen festgestellt werden. Die Hochmobilisierer haben eine fast doppelt so hohe Erkrankungsrate wie die Mittelmobilisierer und die Niedrigmobilisierer. Dieser Unterschied ist signifikant. Auch bei dem Vergleich der Hochmobilisierer mit den Niedrigmobilisierern mit hoher bzw. niedriger Leistung liegt die Inzidenz der Hochmobilisierer deutlich über der der anderen beiden Gruppen. Auch hier sind diese Unterschiede signifikant. Besonderer Beachtung muss der Tatsache geschenkt werden, dass die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung eine etwa halb so hohe Inzidenz haben wie die Hochmobilisierer, obwohl sie in etwa die gleiche Menge Milch geben. Es kann also ausgeschlossen werden, dass die höhere Inzidenz in der Gruppe der Hochmobilisierer alleine auf die hohe Milchleistung zurückzuführen ist. Ein Effekt der Kondition zur Kalbung und der postpartalen Stärke der Fettmobilisation ist anzunehmen. Zu einer ähnlichen Einschätzung kommen auch die Studien von Heuer (1999) und Roche und Berry (2006), die ein häufigeres Auftreten von Milchfieber bei höher konditionierten Kühen feststellen (Heuer, Schukken *et al.*, 1999; Roche und Berry, 2006). Roche und Berry (2006) erklären den Zusammenhang zwischen der höheren Kondition zur Kalbung und der gesteigerten Inzidenz von Milchfieber mit der geringeren intestinalen Calciumaufnahme durch eine niedrigere Trockenmasseaufnahme, kombiniert mit der hohen Milchproduktion und damit dem gesteigerten Verlust von Calcium über die Milch (Roche und Berry, 2006). Folgt man dieser Argumentation könnten die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung eine höhere Trockenmasseaufnahme haben und deshalb eine hohe Milchleistung erreichen und weniger häufig unter Hypocalcämie leiden.

5.7 Die genetische Selektion auf höhere Milchleistung als Ursache der stark ausgeprägten NEB und die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion und das Wohlbefinden der Tiere

Die Steigerung der durchschnittlichen Milchleistung der Kühe hat sich beschleunigt. Hierfür zeichnet sich neben einer Optimierung der Fütterung und Rationalisierung der Haltung vor allem die Steigerung des Zuchtwertes bezüglich der Milchleistung verantwortlich. In den meisten westlichen Ländern wurde der Fokus in der Tierzucht über Jahrzehnte überwiegend auf die Milchleistung gelegt und andere wichtige Aspekte wie die Tiergesundheit oder die Fruchtbarkeit vernachlässigt (Miglior, Muir *et al.*, 2005). Dies führte zu einer deutlich stärker ausgeprägten NEB, da die Futteraufnahme nicht adäquat mit der Milchleistung angestiegen ist (Veerkamp, 1998). Eine insgesamt stärker ausgeprägte NEB bei Tieren mit höherer Milchleistung kann auch in dieser Studie, wie in vielen anderen, ermittelt werden. Die Fruchtbarkeit wird durch die NEB stark beeinflusst und verschlechterte sich deshalb in den letzten Jahrzehnten mit der Steigerung der Milchleistung und der damit einhergehenden negativeren Energiebilanz. Auch dieser Zusammenhang wurde in dieser Studie festgestellt.

Eine verminderte Fruchtbarkeit zeigt sich unter anderem durch eine Verlängerung der Zwischentragezeit. Dies ist für die Wirtschaftlichkeit eines Milchviehbetriebes nachteilig, da die Laktationsperiode verlängert wird und die Milchleistung am Ende der Laktation niedriger ist. Außerdem ist eine schlechte Fruchtbarkeit eine häufige Abgangsursache und trägt so dazu bei, dass die Nutzungsdauer der Milchkuh sehr niedrig ist (Martens, Stumpff *et al.*, 2006). Nach Wangler (2009) werden Milchkühe in Deutschland durchschnittlich nur 34,6 Monate zur Milchproduktion genutzt (Wangler, Blum *et al.*, 2009). Eine hohe Erkrankungsrate steht ebenfalls in enger Beziehung zu der geringen Nutzungsdauer. Auch hier ist die NEB ein wichtiger Faktor, da diese ätiologisch eng mit dem Auftreten verschiedener, vor allem stoffwechselassoziierter Krankheiten verbunden ist, aber auch eine Schwächung des Immunsystems bedingt und so auch nicht-stoffwechselassoziierte Krankheiten begünstigt. Eine geringe Nutzungsdauer ist ein wichtiger Faktor, der die Wirtschaftlichkeit der Milchviehhaltung einschränkt. Hierzu trägt vor allem eine hohe Remontierungsrate bei, die hohe Kosten für die Aufzucht des Nachwuchses verursacht. Außerdem liegt die natürliche höchste Milchleistung in der 3. und 4. Laktation, die aber in der aktuellen Milchviehhaltung nur von der Hälfte der Kühe erreicht wird (Wangler, Blum *et al.*, 2009). Essl (1998) kalkulierte eine optimale Profitabilität der Milchkuhhaltung, wenn die Kühe eine Nutzungsdauer von sechs Laktationen erreichen (Essl, 1998; Oltenacu und Broom, 2010). Zudem steht eine erhöhte Erkrankungsrate mit Leistungseinbußen und höheren Ausgaben, beispielsweise Tierarztkosten, in Verbindung.

Neben dem wirtschaftlichen Aspekt darf aus ethischen und gesellschaftlichen Gründen auch das Wohlbefinden der Tiere nicht außer acht gelassen werden. Die zu erheblichem Teil durch züchterische Selektion erreichte Steigerung der Milchleistung ist, wie oben beschrieben, mit einer verminderten Fruchtbarkeit, höheren Erkrankungsrate und einer geringeren Nutzungsdauer verbunden. Alle diese Aspekte sind mit einer Reduzierung des Wohlbefindens der Tiere verbunden (Oltenacu und Broom, 2010). Schrader (2009) vermutet in diesem Zusammenhang keine direkte genetische Kopplung zwischen der Milchleistung und der Erkrankungsrate, sondern sieht die metabolische Belastung, also die NEB, als Vermittler zwischen der Milchleistung und der Erkrankungshäufigkeit (Schrader, 2009). Auch Rauw (1998) sieht in dem zunehmenden Verlust der homeostatischen Balance durch die genetische Selektion den Grund für das häufigere Auftreten verschiedener Krankheiten und damit eine Einschränkung des Wohlbefindens (Rauw, Kanis *et al.*, 1998). Auch in der hier durchgeführten Studie steht eine höhere Milchleistung in Verbindung mit einer negativeren Energiebilanz. Gruppenübergreifend wurde eine hohe Inzidenz verschiedener Krankheiten wie Mastitis oder Hypocalcämie festgestellt, was zu einer Beeinträchtigung des Wohlbefindens der Tiere führt. Anhaltspunkte für ein höheres Wohlbefinden der Kühe bei geringerer Mobilisation geben die besseren Fruchtbarkeitsergebnisse, die geringere Inzidenz der Hypocalcämie und die geringeren β -Hydroxybuttersäurekonzentrationen postpartal. Sie sind Ausdruck einer geringeren Stoffwechselbelastung in den Gruppen mit niedrigerer Mobilisation von Rückenfett.

Abschließend muss festgestellt werden, dass die NEB und die dadurch bedingten schlechteren Fruchtbarkeitsergebnisse und die erhöhte Krankheitsanfälligkeit negative Effekte, sowohl auf die Wirtschaftlichkeit als auch auf das Wohlbefinden der Tiere, hat. Eine

höhere Milchleistung führt prinzipiell zu einer Verstärkung der NEB. Allerdings stellte Schwerin (2009) fest, dass „die Ursache der schlechteren Fruchtbarkeit und Gesundheit von Kühen mit höheren Laktationsleistungen (...) nicht primär die Milchleistung, sondern das bei Hochleistungskühen stärker ausgeprägte Energiedefizit zu Beginn der Laktation“ ist (Schwerin, 2009). Es ist jedoch zu bemerken, dass die Milchleistung die NEB bedingt. Dieser Zusammenhang wurde auch in der vorliegenden Studie bestätigt, indem jedoch eine Gruppe von Tieren ermittelt wurde, die eine hohe Milchleistung mit einer weniger stark ausgeprägten NEB und damit verbundenen besseren Fruchtbarkeitsergebnissen aufwies.

5.8 Züchterische Optionen zur zukünftigen Verbesserung der Energiebilanz

In den skandinavischen Ländern ist die Berücksichtigung funktionaler Merkmale, wie z. B. Fruchtbarkeit oder Tiergesundheit, in der Zucht seit Jahrzehnten üblich. Auch in Deutschland wurden in den letzten Jahren funktionale Merkmale vermehrt berücksichtigt. Allerdings konnte hierzulande nur ein geringer Zuchtfortschritt diesbezüglich erreicht werden (Schwerin, 2009).

In der Zukunft wird aufgrund der sich schnell weiter entwickelnden Reproduktionstechnik eine noch intensivere und genauere Selektion von genetischen Merkmalen möglich (Rauw, Kanis *et al.*, 1998). Wenn es hierbei nicht zu einer stärkeren und effizienteren Beachtung von Merkmalen, die nicht die Leistung betreffen, kommt, wird sich die Problematik der ausgeprägten NEB und den damit verbundenen Folgen weiter verstärken. Die verstärkte und konsequente Einführung so genannter „Multi-trait selection“ Programme mit einer angemessenen Berücksichtigung funktionaler Merkmale sollte erfolgen (Oltenacu und Broom, 2010). Des Weiteren sollte es zu einer Intensivierung der Forschung bezüglich der züchterischen Beeinflussbarkeit der NEB kommen. Hier sollte besonders die Rolle der Futteraufnahme bei der Entstehung der NEB und die Möglichkeit einer züchterischen Erhöhung der Futteraufnahme zur Verbesserung der Energiebilanz berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass sich eine hohe Milchleistung und eine weniger stark ausgeprägte NEB nicht ausschließen müssen. Hier könnte ein Ansatzpunkt für die zukünftige Selektion hochleistender Kühe mit einer weniger negativen Energiebilanz und damit verbundenen besseren Fruchtbarkeitsergebnissen und einer höheren Tiergesundheit liegen. Dies wiederum würde zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion und einer Erhöhung des Wohlbefindens der Tiere führen.

6 Zusammenfassung

Parameter des Energiestoffwechsels, Milchleistung, Fruchtbarkeit und Tiergesundheit in einer konventionellen Milchviehherde

Die Steigerung der Milchleistung in allen Ländern mit intensiver Milchkuhhaltung hat zu einer Zunahme von Erkrankungen und zu einer Abnahme der Fruchtbarkeit geführt. Als Konsequenz ergab sich eine Erhöhung der Abgangsraten und somit eine Verringerung der Nutzungsdauer, so dass sich die Lebensleistung der Kühe kaum verändert hat. Die sehr unterschiedlichen Erkrankungen wie z. B. Hypocalcämie, Labmagenverlagerung, Ketose, Nachgeburtverhalten, Fruchtbarkeitsstörungen unterschiedlicher Art oder Mastitis sind auf viele Faktoren wie beispielsweise unzureichende Haltungsbedingungen oder Fütterungs- und Managementfehler zurückzuführen. Ein wichtiger Faktor, der offensichtlich direkt oder indirekt die Gesundheit der Tiere gefährden kann, ist die negative Energiebilanz in den ersten Monaten der Laktation, die bei Kühen mit einer höheren Leistung in der Regel stärker ausgeprägt auftritt. Dies ist mit negativen Auswirkungen für die Tiergesundheit und die Fruchtbarkeit verbunden.

In der vorliegenden Studie wurde eine konventionelle Hochleistungsmilchviehherde bezüglich des Auftretens und der Ausprägung der NEB charakterisiert und deren Auswirkungen auf die Tiergesundheit und die Fruchtbarkeit untersucht.

In den Versuch wurden 341 Tiere einbezogen, 211 Kühe und 130 Färsen. Zur Ermittlung der NEB wurde die Rückenfettdicke am 8. Tag a.p. sowie am 3., 28., 56., 84., 112., 140. und 168. Tag p.p. gemessen und die Blutkonzentrationen an NEFA und BHBS am 8. Tag a.p. und am 3., 28., 56., 84., 112., 140. und 168. Tag p.p. bestimmt. Die Milchleistung wurde täglich von der Kalbung bis zum 168. Tag der Laktation ermittelt. Die Inzidenz der Krankheitskomplexe Labmagenverlagerung, Mastitis, Nachgeburtverhalten und Hypocalcämie und die Fruchtbarkeitskennzahlen Erstbesamungserfolg, Besamungsindex, Trächtigkeitsindex, Zwischentragezeit und Prozentzahl der Tiere mit einer Zwischentragezeit von weniger als 115 Tagen wurden in diesem Zeitraum erfasst.

Zur Einschätzung der Auswirkungen einer unterschiedlich stark ausgeprägten NEB auf die Tiergesundheit und die Fruchtbarkeit wurde die Gesamtheit der Kühe entsprechend der Mobilisation von Rückenfett zwischen dem 3. und dem 84. Tag p.p. in die drei Gruppen der Hochmobilisierer, der Mittelmobilisierer und der Niedrigmobilisierer aufgeteilt. Ferner wurden die Kühe der Gruppe der Niedrigmobilisierer entsprechend ihrer Milchleistung in eine Gruppe der Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung und der Niedrigmobilisierer mit niedriger Leistung aufgeteilt.

Die Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

- Bei der Betrachtung der postpartalen Konditionsentwicklung aller Kühe und Färsen wurde eine intensive und langanhaltende Mobilisation von Körperfett festgestellt (> 112 Tage).

- Die Fruchtbarkeitsparameter sind sowohl bei den Kühen als auch bei den Färsen unbefriedigend. Das Auftreten von Mastitiden und von Hypocalcämie ist überdurchschnittlich hoch.
- Kühe, die entsprechend der Abnahme der Rückenfettdicke mehr Eigenreserven mobilisieren, weisen eine höhere Milchleistung auf als Kühe, die wenig mobilisieren.
- Die durchschnittlichen NEFA- und BHBS-Konzentrationen sind peripartal bei den Hochmobilisierern am höchsten und bei den Niedrigmobilisierern am niedrigsten.
- Die Fruchtbarkeitsparameter sind in der Gruppe mit hoher Mobilisation schlechter als in der Gruppe mit niedriger Mobilisation. Ein signifikanter Unterschied lässt sich bei der Zwischentragezeit feststellen. Die Tiergesundheit lässt einen entsprechenden Trend nur beim Krankheitskomplex Hypocalcämie erkennen.
- Beim Vergleich der Hochmobilisierer mit den Niedrigmobilisierern mit hoher bzw. niedriger Leistung zeigt sich, dass die Hochmobilisierer und die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung in den ersten 168 Tagen der Laktation eine ähnlich hohe Milchleistung haben. Die Niedrigmobilisierer mit hoher Leistung haben gleichzeitig bessere Fruchtbarkeitsergebnisse und eine niedrigere Erkrankungsrate im Bereich der Hypocalcämie im Vergleich zu den Kühen mit hoher Mobilisation.

Die in der vorliegenden Studie ermittelten Ergebnisse bestätigen Angaben aus der Literatur, in denen wiederholt auf die reziproke Beziehung zwischen hoher Leistung und der Tiergesundheit hingewiesen wurde. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass es in der Gesamtpopulation eine Gruppe von Kühen gibt, die eine hohe Milchleistung mit einer weniger stark ausgeprägten NEB und besseren Fruchtbarkeitsergebnissen verbinden kann. Als mögliche Ursache ist eine höhere Futteraufnahme und/oder bessere Futterverwertung (Effizienz) dieser Tiere anzunehmen. Die phänotypische Charakterisierung dieser Tiere eröffnet die Option, die genetischen Grundlagen dieses Leistungsvermögens zu beschreiben, um für die Tierzucht neben den Leistungskriterien auch weitere für die Tiergesundheit wichtige Parameter zu erfassen. Diese Erweiterung der Zuchtziele könnte zu einer Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Milchviehhaltung führen und gleichzeitig das Wohlbefinden der Tiere verbessern.

7 Summary

Parameter of energy metabolism, milk yield, fertility and animal health in a dairy herd

The increase of the milk yield in all countries with intensive dairy cow husbandry has led to an increase of diseases and a decrease of fertility. Consequently this has resulted in increased culling rates and hence a reduction of life span and therefore the lifetime production did not change. The varying diseases, especially hypocalcaemia, displacement of the abomasum, ketosis, retained fetal membranes, reproductive failure or mastitis are caused by different factors, primarily husbandry conditions or feeding and management faults. An important factor, which can endanger the health of the animals in a direct or indirect way, is the negative energy balance in the first months of lactation. Generally, a higher milk yield is combined with a more severe negative energy balance and negative consequences for animal health and fertility.

In the present study a commercial herd of dairy cows was characterized regarding the extend and duration of the negative energy balance and the consequences for animal health and fertility.

341 animals were included into the trial, 211 cows and 130 heifers. To calculate the NEB, the back fat thickness was measured on 8 days a.p. and on 3, 28, 56, 84, 112, 140 and 168 days p.p. and the blood concentrations of NEFA and BHBS were determined on 8 days a.p. and on 3, 28, 56, 84, 112, 140 and 168 days p.p.. The daily milk yield was recorded from the calving up to the 168th day of lactation. The incidence of the disease complexes displaced abomasum, mastitis, retained fetal membranes and hypocalcaemia and the reproductive performance, which includes first service, insemination index, pregnancy index, days open and percentage of animals with days open of less than 115 days were also determined during this period.

To assess the effects of varying degrees of NEB for milk yield, animal health and fertility, the population of cows was divided into three groups, according to their mobilization of back fat between the 3rd and the 84th day p.p.: High (H), middle (M) and low rates (L) of back fat mobilization. Moreover, the L cows were divided according to their milk yield in a group with high milk yield (LH) and with low milk yield (LL). These new groups (LH and LL) were compared with the H cows regarding milk yield, concentrations of NEFA and BHBS, animal health and fertility.

The following results were obtained:

- The postpartal change of the backfat thickness of all cows and heifers showed an intensive and long-lasting mobilization of adipose tissue (> 112 days).
- The fertility parameters of the examined cows and heifers were unsatisfactory. The incidence of mastitis and hypocalcaemia was high.
- H cows had a significant higher milk yield than L cows.
- The average concentrations of NEFA and BHBS in the peripartur period are significantly higher in H than in L cows.

- The fertility parameters are worse in the group with high mobilization in comparison to the group with low mobilization. The H cows had a significant longer time of days open than the L cows.
- The incidence of hypocalcaemia was significant higher in the H group.
- Surprisingly the milk yield of the LH group was almost as high as in H cows during the first 168 days of lactation. Furthermore, the LH group exhibited a numerical shorter time of days open (20 days) and a lower incidence of hypocalcaemia compared with the H group.

The obtained results of the present study are in agreement with findings in the literature and confirm the repeatedly demonstrated reciprocal relationship between high milk yield and animal health. However, it could be shown that a group of cows exist, which can combine a high milk yield with a less severe NEB and minor health problems. A possible explanation of this observation could be a higher feed intake and/or better feed efficiency. The phenotypic description of these animals offers the opportunity of a genotypic characterization of this performance capability in addition to the usual traits of milk yield in animal breeding. This extension of breeding aims could increase the profitability of dairy cow husbandry and improve animal welfare.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung von Beziehungen zwischen Energiemangel und Ovarfunktion nach Kanitz, Becker et al. (2003).....	19
Abbildung 2: Empirische Konditionskurven in Abhängigkeit von der hochgerechneten 305-Tage-Milchleistung nach Schröder (2000).....	23
Abbildung 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Rückenfettdicke aller Kühe; Signifikanzen siehe Abbildung 4 ;	37
Abbildung 4: Boxplotdarstellung der Rückenfettdickendifferenz zum 3. Tag p.p.; (z1)= $p < 0,05$ zwischen 28. Tag a.p. und 3. Tag p.p.; (z2)= $p < 0,05$ zwischen 3. Tag p.p. und 28. Tag p.p.; (z3)= $p < 0,05$ zwischen 28. Tag p.p. und 56. Tag p.p.; (z4)= $p < 0,05$ zwischen 56. Tag p.p. und 84. Tag p.p.; (z5)= $p < 0,05$ zwischen 84. Tag p.p. und 112. Tag p.p.; (z6)= $p < 0,05$ zwischen 140. Tag p.p. und 168. Tag p.p.; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer	38
Abbildung 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der Rückenfettdicke aller Färsen; Signifikanzen siehe Abbildung 6.....	39
Abbildung 6: Boxplotdarstellung der Rückenfettdickendifferenz zum 3. Tag p.p. (z1)= $p < 0,05$ zwischen 3. Tag p.p. und 28. Tag p.p.; (z2)= $p < 0,05$ zwischen 28. Tag p.p. und 56. Tag p.p.; (z3)= $p < 0,05$ zwischen 56. Tag p.p. und 84. Tag p.p.; (z4)= $p < 0,05$ zwischen 84. Tag p.p. und 112. Tag p.p.; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer.....	40
Abbildung 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Milchleistung aller Kühe	41
Abbildung 8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Milchleistung aller Färsen	42
Abbildung 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der NEFA-Konzentration im Plasma aller Kühe	43
Abbildung 10: Boxplotdarstellung der NEFA-Konzentration im Plasma aller Kühe; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer	43
Abbildung 11: Mittelwerte und Standardabweichungen der NEFA-Konzentration im Plasma aller Färsen	44
Abbildung 12: Boxplotdarstellung der NEFA-Konzentration im Plasma aller Färsen; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer	45
Abbildung 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der BHBS-Konzentration im Plasma aller Kühe	46
Abbildung 14: Boxplotdarstellung der BHBS-Konzentration im Plasma aller Kühe; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer	46
Abbildung 15: Mittelwerte und Standartabweichungen der BHBS-Konzentration im Plasma aller Färsen	47
Abbildung 16: Boxplotdarstellung der BHBS-Konzentration im Plasma aller Färsen; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer	48
Abbildung 17: Boxplotdarstellung der Rückenfettdicke von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Mittelmobilisierern und	

	Niedrigmobilisierern; (x1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Mittelmobilisierern ;(x2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer53	53
Abbildung 18:	Prozentuale Darstellung der Rückenfettdicke von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; Ausgangspunkt der Berechnung ist der 3. Tag post partum; (x)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern, (x2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer54	54
Abbildung 19:	Verlauf der Mittelwerte der Milchleistung von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern55	55
Abbildung 20:	Mittlere Milchleistung pro Kuh und Tag akkumuliert bis zum 168. Tag post partum56	56
Abbildung 21:	Verlauf der Mittelwerte der NEFA-Konzentration im Plasma von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern (x1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Mittelmobilisierern, (x2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern, (x3)= $p < 0,05$ zwischen Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern58	58
Abbildung 22:	Verlauf der Mittelwerte der BHBS-Konzentration von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern, (x3)= $p < 0,05$ zwischen Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern59	59
Abbildung 23:	Darstellung der Zwischentragezeit von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern; o=milde Ausreißer;61	61
Abbildung 24:	Boxplotdarstellung der Rückenfettdicke der verschiedenen Gruppen; (y1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung, (y2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer64	64
Abbildung 25:	Prozentuale Darstellung der Rückenfettdicke der verschiedenen Gruppen; Bezugspunkt für die Berechnung ist der 3. Tag p.p.; (y1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung, (y2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer66	66
Abbildung 26:	Laktationskurven der verschiedenen Gruppen67	67
Abbildung 27:	Mittlere Milchleistung der verschiedenen Gruppen pro Kuh und Tag akkumuliert bis zum 168. Tag post partum67	67

Abbildung 28: Verlauf der Mittelwerte der NEFA-Konzentration im Plasma der verschiedenen Gruppen;
(y1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung, (y2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung.....68

Abbildung 29: Verlauf der Mittelwerte der BHBS-Konzentration im Plasma der verschiedenen Gruppen;
(y1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung, (y2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung.....69

Abbildung 30: Zwischentragezeiten der verschiedenen Gruppen;
(y2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung; o=milde Ausreißer; *=extreme Ausreißer71

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Analyseergebniss der Ration „Trockensteher2“ vom 06.02.200929

Tabelle 2: Analyseergebniss der Ration „Trockensteher2“ vom 19.03.200929

Tabelle 3: Analyseergebniss der Ration „Starter“ vom 22.04.200930

Tabelle 4: Analyseergebniss der Ration „Starter“ vom 25.05.200930

Tabelle 5: Analyseergebniss der Ration „Hochleistung“ vom 01.07.200931

Tabelle 6: Analyseergebniss der Ration „Hochleistung“ vom 12.08.200931

Tabelle 7: Analyseergebniss der Ration „Hochleistung“ vom 06.10.200932

Tabelle 8: Fruchtbarkeitsparameter von Kühen und Färsen49

Tabelle 9: Häufigkeit des Auftretens von Labmagenverlagerungen bei Kühen und Färsen.....49

Tabelle 10: Häufigkeit des Auftretens von Nachgeburtsverhaltung bei Kühen und Färsen50

Tabelle 11: Häufigkeit des Auftretens von Mastitis bei Kühen und Färsen.....50

Tabelle 12: Häufigkeit des Auftretens von Hypocalcämie bei den Kühen50

Tabelle 13: Verlauf der Mittelwerte der Rückenfettdicke und Veränderungen der Mittelwerte Rückenfettdicke im Vergleich mit dem 3. Tag p.p. bei Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; Signifikanzen siehe Abbildung 1552

Tabelle 14: Mittelwerte der Milchleistung pro Tag und Tier in den ersten 168 Tagen der Laktation von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x_2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern, (x_3)= $p < 0,05$ zwischen Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern.....57

Tabelle 15: Darstellung der Fruchtbarkeitsparameter von Hochmobilisierern, Mittelmobilisierern und Niedrigmobilisierern; (x_2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern60

Tabelle 16: Auftreten verschiedener Krankheiten in den einzelnen Gruppen; (x_1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Mittelmobilisierern, (x_2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern62

Tabelle 17: Verlauf der Mittelwerte der Rückenfettdicke und Veränderungen der Mittelwerte der Rückenfettdicke im Vergleich mit dem 3. Tag p.p. in den verschiedenen Gruppen; Signifikanzen siehe Abbildung 22.....65

Tabelle 18: Fruchtbarkeitskennzahlen der verschiedenen Gruppen; (y_2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung71

Tabelle 19: Auftreten verschiedener Krankheiten in den Gruppen; (y_1)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit hoher Leistung, (y_2)= $p < 0,05$ zwischen Hochmobilisierern und Niedrigmobilisierern mit niedriger Leistung73

10 Literaturverzeichnis

- Adamiak, S. J., K. Mackie, R. G. Watt, R. Webb und K. D. Sinclair (2005)
Impact of nutrition on oocyte quality: Cumulative effects of body composition and diet leading to hyperinsulinemia in cattle.
Biology of Reproduction **73**(5): 918-926.
- Adewuyi, A. A., E. Gruys und F. van Eerdenburg (2005)
Non esterified fatty acids (NEFA) in dairy cattle. A review.
Veterinary Quarterly **27**(3): 117-126.
- ADR (2009)
Rinderproduktion in Deutschland. Bonn, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e.V.
- Baird, G. D. (1982)
Primary ketosis in the high-producing dairy-cow-clinical and sub-clinical disorders, treatment, prevention, and outlook.
Journal of Dairy Science **65**(1): 1-10.
- Barash, I. A., C. C. Cheung, D. S. Weigle, H. P. Ren, E. B. Kabigting, J. L. Kuijper, D. K. Clifton und R. A. Steiner (1996)
Leptin is a metabolic signal to the reproductive system.
Endocrinology **137**(7): 3144-3147.
- Bauman, D. E. und W. B. Currie (1980)
Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation- a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis.
Journal of Dairy Science **63**(9): 1514-1529.
- Bell, A. W. (1995)
Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation.
Journal of Animal Science **73**(9): 2804-2819.
- Bell, A. W. und D. E. Bauman (1997)
Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation.
Journal of Mammary Gland Biol Neoplasia **2**(3): 265-278.
- Berglund, B. und B. Danell (1987)
Live weight changes, feed consumption, milk-yield and energy-balance in dairy-cattle during the 1st period of lactation.
Acta Agriculturae Scandinavica **37**(4): 495-509.
- Block, S. S., W. R. Butler, R. A. Ehrhardt, A. W. Bell, M. E. Van Amburgh und Y. R. Boisclair (2001)
Decreased concentration of plasma leptin in periparturient dairy cows is caused by negative energy balance.
Journal of Endocrinology **171**(2): 339-348.
- Bobe, G., J. W. Young und D. C. Beitz (2004)
Invited review: Pathology, etiology, prevention, and treatment of fatty liver in dairy cows.
Journal of Dairy Science **87**(10): 3105-3124.

- Boettcher, P. J., J. C. M. Dekkers, L. D. Warnick und S. J. Wells (1998)
Genetic analysis of clinical lameness in dairy cattle.
Journal of Dairy Science **81**(4): 1148-1156.
- Bostedt, H. (1983)
Ein Beitrag zur Betreuung der Milchkuh in der Pre-Service-Periode sowie im perikonzeptionellen Bereich unter dem Aspekt der Verbesserung der Inseminationsresultate.
Colleg.Vet.XIV, 51-56
- Bostedt, H. (2003). Fruchtbarkeitsmanagement beim Rind. Frankfurt am Main. **4**.
- Brandt, A., K. Papst, H. Schulte-Coerne und H. O. Gravert (1985)
Die Heritabilität der Futteraufnahme bei Milchkühen.
Züchtungskunde **57**, (5): 299-308.
- Brethour, J. R. (1992)
The repeatability and accuracy of ultrasound in measuring backfat of cattle.
Journal of Animal Science **70**(4): 1039-1044.
- Breves, G. (2007)
Züchtung und Stoffwechselstabilität beim Rind-Empfehlungen für die Zucht und Haltung.
Züchtungskunde **79**: 52-58.
- Broster, W. H. und V. J. Broster (1998)
Body score of dairy cows.
Journal of Dairy Research **65**(1): 155-173.
- Butler, W. R. (1998)
Review: Effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle.
Journal of Dairy Science **81**(9): 2533-2539.
- Butler, W. R. (2000)
Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle.
Animal Reproduction Science **60**: 449-457.
- Butler, W. R. (2003)
Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows.
Livestock Production Science **83**(2-3): 211-218.
- Butler, W. R. und R. D. Smith (1989)
Interrelationships between energy-balance and postpartum reproductive function in dairy-cattle.
Journal of Dairy Science **72**(3): 767-783.
- Cameron, R. E. B., P. B. Dyk, T. H. Herdt, J. B. Kaneene, R. Miller, H. F. Bucholtz, J. S. Liesman, M. J. Vandehaar und R. S. Emery (1998)
Dry cow diet, management, and energy balance as risk factors for displaced abomasum in high producing dairy herds.
Journal of Dairy Science **81**(1): 132-139.
- Chagas, L. M., J. J. Bass, D. Blache, C. R. Burke, J. K. Kay, D. R. Lindsay, M. C. Lucy, G. B. Martin, S. Meier, F. M. Rhodes, J. R. Roche, W. W. Thatcher und R. Webb (2007)
New perspectives on the roles of nutrition and metabolic priorities in the subfertility of high-producing dairy cows.
Journal of Dairy Science **90**(9): 4022-4032.

- Chagas, L. M., M. C. Lucy, P. J. Back, D. Blache, J. M. Lee, P. J. S. Gore, A. J. Sheahan und J. R. Roche (2009)
Insulin resistance in divergent strains of Holstein-Friesian dairy cows offered fresh pasture and increasing amounts of concentrate in early lactation.
Journal of Dairy Science **92**(1): 216-222.
- Chilliard, Y., C. Delavaud und M. Bonnet (2005)
Leptin expression in ruminants: Nutritional and physiological regulations in relation with energy metabolism.
Domestic Animal Endocrinology **29**(1): 3-22.
- Coffey, M. P., G. C. Emmans und S. Brotherstone (2001)
Genetic evaluation of dairy bulls for energy balance traits using random regression.
Animal Science **73**: 29-40.
- Collard, B. L., P. J. Boettcher, J. C. M. Dekkers, D. Petitclerc und L. R. Schaeffer (2000)
Relationships between energy balance and health traits of dairy cattle in early lactation.
Journal of Dairy Science **83**(11): 2683-2690.
- Cunningham, M. J., D. K. Clifton und R. A. Steiner (1999)
Leptin's actions on the reproductive axis: Perspectives and mechanisms.
Biology of Reproduction **60**(2): 216-222.
- De Kruif, A. (1994)
Postpartale Endometritis beim Rind.
Tierärztliche Praxis: 1071-1078.
- De Kruif, A. (1999)
Uteruserkrankungen.
Fertilitätsstörungen beim weiblichen Rind. E. Grunert und A. De Kruif. Berlin, Parey Buchverlag. **3**: 191-206.
- Dechow, C. D., G. W. Rogers und J. S. Clay (2001)
Heritabilities and correlations among body condition scores, production traits, and reproductive performance.
Journal of Dairy Science **84**(1): 266-275.
- Dillon, P., F. Buckley, P. O'Connor, D. Hegarty und M. Rath (2003)
A comparison of different dairy cow breeds on a seasonal grass-based system of milk production 1. Milk production, live weight, body condition score and DM intake.
Livestock Production Science **83**(1): 21-33.
- Diskin, M. G., D. R. Mackey, J. F. Roche und J. M. Sreenan (2003)
Effects of nutrition and metabolic status on circulating hormones and ovarian follicle development in cattle.
Animal Reproduction Science **78**(3-4): 345-370.
- Doll, K., M. Sickinger und T. Seeger (2009)
New aspects in the pathogenesis of abomasal displacement.
Veterinary Journal **181**(2): 90-96.
- Domecq, J. J., A. L. Skidmore, J. W. Lloyd und J. B. Kaneene (1997)
Relationship between body condition scores and milk yield in a large dairy herd of high yielding Holstein cows.
Journal of Dairy Science **80**(1): 101-112.

- Dominguez, M. M. (1995)
Effects of bodycondition, reproductive status and breed on follicular population and oocyte quality in cows.
Theriogenology **43**(8): 1405-1418.
- Drackley, J. K. (1999)
Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier?
Journal of Dairy Science **82**(11): 2259-2273.
- Drackley, J. K., H. M. Dann, G. N. Douglas, N. A. J. Guretzky, N. B. Litherland, J. P. Underwood und J. J. Loor (2005)
Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders.
Italian Journal of Animal Science **4**(4): 323-344.
- Duffield, T., R. Bagg, L. DesCoteaux, E. Bouchard, M. Brodeur, D. DuTremblay, G. Keefe, S. LeBlanc und P. Dick (2002)
Prepartum monensin for the reduction of energy associated disease in postpartum dairy cows.
Journal of Dairy Science **85**(2): 397-405.
- Duffield, T. F., K. D. Lissemore, B. W. McBride und K. E. Leslie (2009)
Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production.
Journal of Dairy Science **92**(2): 571-580.
- Edmonson, A. J., I. J. Lean, L. D. Weaver, T. Farver und G. Webster (1989)
A BODY CONDITION SCORING CHART FOR HOLSTEIN DAIRY-COWS.
Journal of Dairy Science **72**(1): 68-78.
- Ehrhardt, R. A., R. M. Slepetic, J. Siegal-Willott, M. E. Van Amburgh, A. W. Bell und Y. R. Boisclair (2000)
Development of a specific radioimmunoassay to measure physiological changes of circulating leptin in cattle and sheep.
Journal of Endocrinology **166**(3): 519-528.
- Essl, A. (1998)
Longevity in dairy cattle breeding: a review.
Livestock Production Science **57**(1): 79-89.
- Falkenberg, U., J. Haertel, K. Rotter, M. Iwersen, G. Arndt und W. Heuwieser (2008)
Relationships between the concentration of insulin-like growth factor-1 in serum in dairy cows in early lactation and reproductive performance and milk yield.
Journal of Dairy Science **91**(10): 3862-3868.
- Ferguson, J. D., D. T. Galligan und N. Thomsen (1994)
PRINCIPAL DESCRIPTORS OF BODY CONDITION SCORE IN HOLSTEIN COWS.
Journal of Dairy Science **77**(9): 2695-2703.
- Fleischer, P., M. Metzner, M. Beyerbach, M. Hoedemaker und W. Klee (2001)
The Relationship Between Milk Yield and the Incidence of Some Diseases in Dairy Cows.
Journal of Dairy Science **84**(9): 2025-2035.
- Fleischer, P., M. Metzner, M. Hoedemaker, S. Slosarkova und M. Skrivanek (2001)
Clinical disorders in Holstein cows: Incidence and associations among lactational risk factors.
Acta Veterinaria Brno **70**(2): 157-165.

- Friggens, N. C. (2003)
Body lipid reserves and the reproductive cycle: towards a better understanding.
Livestock Production Science **83**(2-3): 219-236.
- Friggens, N. C., K. L. Ingvarsten und G. C. Emmans (2004)
Prediction of body lipid change in pregnancy and lactation.
Journal of Dairy Science **87**(4): 988-1000.
- Fürl, M. und M. Krüger (2000)
Zur Ätiologie, Pathogenese und prophylaxe der geburtsnahen Labmagenverlagerung bei Kühen.
Ätiologie, Pathogenese, Diagnostik, Prognose, Therapie und Prophylaxe der Dislocatio abomasi. Proceedings International Workshop, 141-162, Leipzig, Leipziger Universitätsverlag.
- Gallo, L., P. Carnier, M. Cassandro, R. Mantovani, L. Bailoni, B. Contiero und G. Bittante (1996)
Change in body condition score of Holstein cows as affected by parity and mature equivalent milk yield.
Journal of Dairy Science **79**(6): 1009-1015.
- Garnsworthy, P. C. und J. H. Topps (1982)
The effect of body condition of dairy-cows at calving on their food-intake and performance when given complete diets.
Animal Production **35**(AUG): 113-119.
- Garverick, H. A. (1997)
Ovarian Follicular Cysts in Dairy Cows.
Journal of Dairy Science **80**(5): 995-1004.
- Goff, J. P. und R. L. Horst (1997)
Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders.
Journal of Dairy Science **80**(7): 1260-1268.
- Gravert, H. O. (1985)
Genetic-factors controlling feed-efficiency in dairy-cows.
Livestock Production Science **13**(2): 87-99.
- Grohn, Y. T., H. N. Erb, C. E. McCulloch und H. S. Saloniemi (1989)
Epidemiology of metabolic disorders in dairy-cattle-association among host characteristics, disease, and production.
Journal of Dairy Science **72**(7): 1876-1885.
- Grummer, R. R. (1993)
Etiology of Lipid-Related Metabolic Disorders in Periparturient Dairy-Cows.
Journal of Dairy Science **76**(12): 3882-3896.
- Grummer, R. R. (1993)
Etiology of Lipid-Related Metabolic Disorders in Periparturient Dairy Cows.
Journal of Dairy Science **76**(12): 3882-3896.
- Grummer, R. R. (1995)
Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy-cow.
Journal of Animal Science **73**(9): 2820-2833.

- Grummer, R. R. (2008)
Nutritional and management strategies for the prevention of fatty liver in dairy cattle.
Veterinary Journal **176**(1): 10-20.
- Grummer, R. R. und R. R. Rastani (2003)
When should lactating dairy cows reach positive energy balance?
Professional Animal Scientist **2003. 19**(ref): 3, 197-203.
- Grunert, E. (1999)
Ovarielle Dysfunktion.
Fertilitätsstörungen beim weiblichen Rind. E. Grunert und M. Berchthold. Berlin, Parey Verlag. **3**: 111-142.
- Grunert, E. (1999)
Physiologie der Fortpflanzung, Sexualzyklus.
Fertilitätsstörungen beim weiblichen Rind. Berlin. **3**: 3-11.
- Herd, T. H. (2000)
Ruminant Adaption to Negative Energy Balance: Influences on the Etiology of Ketosis and Fatty Liver.
Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract. **16**: 215-231.
- Heringstad, B., Y. M. Chang, D. Gianola und G. Klemetsdal (2003)
Genetic analysis of longitudinal trajectory of clinical mastitis in first-lactation Norwegian cattle.
Journal of Dairy Science **86**(8): 2676-2683.
- Heuer, C., Y. H. Schukken und P. Dobbelaar (1999)
Postpartum body condition score and results from the first test day milk as predictors of disease, fertility, yield, and culling in commercial dairy herds.
Journal of Dairy Science **82**(2): 295-304.
- Hoedemaker, M., R. Mansfeld, A. de Kruif und W. Heuwieser (2007)
Ergebnisinterpretation und Strategien - Betrachtung einzelner Kontrollbereiche.
Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind. A. de Kruif, R. Mansfeld und M. Hoedemaker. Stuttgart, Enke Verlag. **2**.
- Hoffmann, B. (1999)
Physiologie der Fortpflanzung, Regulation der Sexualfunktion.
Fertilitätsstörungen des weiblichen Rindes. Berlin.
- Horan, B., J. F. Mee, M. Rath, P. O'Connor und P. Dillon (2004)
The effect of strain of Holstein-Friesian cow and feeding system on reproductive performance in seasonal-calving milk production systems.
Animal Science **79**: 453-467.
- Ingvartsen, K. L., H. R. Andersen und J. Foldager (1992)
Effect of sex and pregnancy on feed-intake capacity of growing cattle.
Acta Agriculturae Scandinavica Section a-Animal Science **42**(1): 40-46.
- Ingvartsen, K. L. und J. B. Andersen (2000)
Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals.
Journal of Dairy Science **83**(7): 1573-1597.

- Jorritsma, R., M. L. Cesar, J. T. Hermans, C. Kruitwagen, P. Vos und T. A. M. Kruij (2004)
Effects of non-esterified fatty acids on bovine granulosa cells and developmental potential of oocytes in vitro.
Animal Reproduction Science **81**(3-4): 225-235.
- Jorritsma, R., H. Jorritsma, Y. H. Schukken und G. H. Wentink (2000)
Relationships between fatty liver and fertility and some periparturient diseases in commercial Dutch dairy herds.
Theriogenology **54**(7): 1065-1074.
- Jorritsma, R., T. Wensing, T. A. M. Kruij, P. Vos und J. Noordhuizen (2003)
Metabolic changes in early lactation and impaired reproductive performance in dairy cows.
Veterinary Research **34**(1): 11-26.
- Kahn, C. R. (1978)
Insulin resistance, insulin insensitivity, and insulin unresponsiveness- necessary distinction.
Metabolism-Clinical and Experimental **27**(12): 1893-1902.
- Kaneene, J. B., R. Miller, T. H. Herdt und J. C. Gardiner (1997)
The association of serum nonesterified fatty acids and cholesterol, management and feeding practices with peripartum disease in dairy cows.
Preventive Veterinary Medicine **31**(1-2): 59-72.
- Kanitz, W., F. Becker, G. Dietl, N. Reinsch und R. Staufenbiel (2003)
Beziehungen zwischen Milchleistung, Energieversorgung und Fruchtbarkeit unter den Bedingungen von Hochleistung beim Rind.
Züchtungskunde **75**: 489-498.
- Kasser, T. R., R. B. S. Harris und R. J. Martin (1985)
Level of satiety, fatty-acid and glucose-metabolism in 3 brain sites associated with feeding.
American Journal of Physiology **248**(4): R447-R452.
- Kauppinen, K. (1983)
Correlation of whole-blood concentrations of acetoacetate, beta-hydroxybutyrate, glucose and milk-yield in dairy-cows as studied under field conditions.
Acta Veterinaria Scandinavica **24**(4): 337-348.
- Kendall, N. R., C. G. Gutierrez, R. J. Scaramuzzi, D. T. Baird, R. Webb und B. K. Campbell (2004)
Direct in vivo effects of leptin on ovarian steroidogenesis in sheep.
Reproduction **128**(6): 757-765.
- Kendrick, K. W., T. L. Bailey, A. S. Garst, A. W. Pryor, A. Ahmadzadeh, R. M. Akers, W. E. Eyestone, R. E. Pearson und F. C. Gwazdauskas (1999)
Effects of Energy Balance on Hormones, Ovarian Activity, and Recovered Oocytes in Lactating Holstein Cows Using Transvaginal Follicular Aspiration.
Journal of Dairy Science **82**(8): 1731-1740.
- Klawuhn, D. und R. Staufenbiel (1997)
Aussagekraft der Rückenfettdicke zum Körperfettgehalt beim Rind.
Tierärztliche Praxis **25**: 133-138.

- Koenen, E. P. C. und R. F. Veerkamp (1998)
Genetic covariance functions for live weight, condition score, and dry-matter intake measured at different lactation stages of Holstein Friesian heifers.
Livestock Production Science **57**(1): 67-77.
- Kremer, W. D. J., E. N. Noordhuizenstassen, F. J. Grommers, Y. H. Schukken, R. Heeringa, A. Brand und C. Burvenich (1993)
Severity of experimental escherichia-coli mastitis in ketonemic and non-ketonemic dairy-cows.
Journal of Dairy Science **76**(11): 3428-3436.
- Kristensen, E., L. Dueholm, D. Vink, J. E. Andersen, E. B. Jakobsen, S. Illum-Nielsen, F. A. Petersen und C. Enevoldsen (2006)
Within- and across-person uniformity of body condition scoring in Danish holstein cattle.
Journal of Dairy Science **89**(9): 3721-3728.
- Kronfeld, D. S. (1982)
Major metabolic determinants of milk volume, mammary efficiency and spontaneous ketosis in dairy-cows.
Journal of Dairy Science **65**(11): 2204-2212.
- Kunz, P. L., J. W. Blum, I. C. Hart, H. Bickel und J. Landis (1985)
Effects of different energy intakes before and after calving on food-intake, performance and blood hormones and metabolites in dairy-cows.
Animal Production **40**(APR): 219-231.
- Land- und Hauswirtschaftlicher Auswertungs- und Informationsdienst (1966). Ergebnisse der Milchleistungsprüfungen. Hiltrup, Landw.-Verl.
- LeBlanc, S. J., K. E. Leslie und T. F. Duffield (2005)
Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle.
Journal of Dairy Science **88**(1): 159-170.
- Leroy, J., T. Vanholder, B. Mateusen, A. Christophe, G. Opsomer, A. de Kruijff, G. Genicot und A. Van Soom (2005)
Non-esterified fatty acids in follicular fluid of dairy cows and their effect on developmental capacity of bovine oocytes in vitro.
Reproduction **130**(4): 485-495.
- Liesman, J. S., J. P. McNamara, A. V. Capuco, M. Binelli, W. K. Vanderkooi, R. S. Emery, H. A. Tucker und W. M. Moseley (1995)
Comparison of growth hormone-releasing factor and somatotropin-lipid and glucose-metabolism in dairy-cows.
Journal of Dairy Science **78**(10): 2159-2166.
- Littledike, E. T., J. W. Young und D. C. Beitz (1981)
Common metabolic diseases of cattle-ketosis, milk fever, grass tetany, and downer cow complex.
Journal of Dairy Science **64**(6): 1465-1482.
- Lucy, M. C. (2000)
Regulation of ovarian follicular growth by somatotropin and insulin-like growth factors in cattle.
Journal of Dairy Science **83**(7): 1635-1647.

- Lucy, M. C. (2001)
ADSA Foundation Scholar Award - Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end?
Journal of Dairy Science **84**(6): 1277-1293.
- Lucy, M. C., J. Beck, C. R. Staples, H. H. Head, R. L. Delasota und W. W. Thatcher (1992)
Follicular dynamics, plasma metabolites, hormones and insulin-like growth factor-I (IGF-I) in lactating cows with positive or negative energy-balance during the preovulatory period.
Reproduction Nutrition Development **32**(4): 331-341.
- MacMillan, K. L., I. J. Lean und C. T. Westwood (1996)
The effects of lactation on the fertility of dairy cows.
Australian Veterinary Journal **73**(4): 141-147.
- Markusfeld, O., N. Galon und E. Ezra (1997)
Body condition score, health, yield and fertility in dairy cows.
Veterinary Record **141**(3): 67-72.
- Martens, H. (2000)
Beziehungen zwischen Fütterung, Physiologie der Vormägen und Pathogenese der Dislocatio abomasi.
Ätiologie, Pathogenese, Diagnostik, Prognose, Therapie und Prophylaxe der Dislocatio abomasi. Proceedings International Workshop, 81-101, Leipzig, Leipziger Universitätsverlag.
- Martens, H. (2007)
The dairy cow: Physiological facts and concerns.
Proceedings of the 13th International Conference of Production Diseases in Farm Animals. M. Füll. Leipzig: 26-42.
- Martens, H., F. Stumpff, U. Lodemann und B. Etschmann (2006)
Stand und Perspektive der Tiergesundheit.
21. Hülsenberger Gespräche 2006 / Wilhelm Schaumann Stiftung. Lübeck: 99-114.
- McCarthy, S., D. P. Berry, P. Dillon, M. Rath und B. Horan (2007)
Influence of Holstein-Friesian strain and feed system on body weight and body condition score lactation profiles.
Journal of Dairy Science **90**(4): 1859-1869.
- McNamara, J. P. (1989)
Regulation of bovine adipose-tissue metabolism during lactation. 5. Relationships of lipid-synthesis and lipolysis with energy-intake and utilization.
Journal of Dairy Science **72**(2): 407-418.
- McNamara, J. P. (1991)
Regulation of adipose-tissue metabolism in support of lactation.
Journal of Dairy Science **74**(2): 706-719.
- McNamara, J. P. und J. K. Hillers (1986)
Regulation of bovine adipose-tissue metabolism during lactation. 1. Lipid-synthesis in response to increased milk-production and decreased energy-intake.
Journal of Dairy Science **69**(12): 3032-3041.

- McNamara, J. P. und J. K. Hillers (1986)
Regulation of bovine adipose-tissue metabolism during lactation. .2. Lipolysis response to milk-production and energy-intake.
Journal of Dairy Science **69**(12): 3042-3050.
- McNamara, J. P. und F. Valdez (2005)
Adipose tissue metabolism and production responses to calcium propionate and chromium propionate.
Journal of Dairy Science **88**(7): 2498-2507.
- Meinecke, B. (2000)
Endokrinologie- Reproduktion beim Säugetier.
Physiologie der Haustiere. W. v. Engelhardt und G. Breves. Stuttgart: 514-552.
- Miglior, F., B. L. Muir und B. J. Van Doormaal (2005)
Selection indices in Holstein cattle of various countries.
Journal of Dairy Science **88**(3): 1255-1263.
- Miller, D. W., D. Blache, R. Boukhliq, J. D. Curlewis und G. B. Martin (1998)
Central metabolic messengers and the effects of nutrition on gonadotrophin secretion in sheep.
Journal of Reproduction and Fertility **112**(2): 347-356.
- Mösch, A. (2011)
Parameter des Energiestoffwechsels und Immunglobulin G im Blut von Milchkühen im peripartalen Zeitraum
Institut für Veterinärphysiologie, Freie Universität Berlin, Vet. Diss.
- Moyes, K. M., J. K. Drackley, J. L. Salak-Johnson, D. E. Morin, J. C. Hope und J. J. Looor (2009)
Dietary-induced negative energy balance has minimal effects on innate immunity during a *Streptococcus uberis* mastitis challenge in dairy cows during midlactation.
Journal of Dairy Science **92**(9): 4301-4316.
- Mulligan, F. J. und M. L. Doherty (2008)
Production diseases of the transition cow.
Veterinary Journal **176**(1): 3-9.
- Nebel, R. L. und M. L. McGilliard (1993)
Interactions of high milk-yield and reproductive-performance in dairy-cows.
Journal of Dairy Science **76**(10): 3257-3268.
- Oikawa, S. und G. R. Oetzel (2006)
Decreased Insulin Response in Dairy Cows Following a Four-Day Fast to Induce Hepatic Lipidosis.
Journal of Dairy Science **89**(8): 2999-3005.
- Oltencu, P. A. und D. M. Broom (2010)
The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows.
Animal Welfare **19**: 39-49.
- Opsomer, G. und A. de Kruif (1999)
Post partum anoestrus in dairy cattle - a review.
Tierärztliche Praxis Ausgabe Grosstiere Nutztiere **27**(1): 39-44.

- Patton, J., D. A. Kenny, S. McNamara, J. F. Mee, F. P. O'Mara, M. G. Diskin und J. J. Murphy (2007)
 Relationships among milk production, energy balance, plasma analytes, and reproduction in Holstein-Friesian cows.
 Journal of Dairy Science **90**(2): 649-658.
- Patton, J., S. McNamara, J. F. Mee, F. P. O'Mara, M. G. Diskin und J. J. Murphy (2007)
 Relationships among milk production, energy balance, plasma analytes, and reproduction in Holstein-Friesian cows.
 Journal of Dairy Science **90**(2): 649-658.
- Pehrson, B. und L. Stengårde (2000)
 Ursachen der unterschiedlichen Inzidenz von Dislocatio abomasi in den USA sowie in Schweden
 M. Füll, Ätiologie, Pathogenese, Diagnostik, Prognose, Therapie und Prophylaxe der Dislocatio abomasi. Proceedings International Workshop, Leipzig 1998, Leipzig, Leipziger Universitätsverlag, 41-47
- Pires, J. A. A., A. H. Souza und R. R. Grummer (2007)
 Induction of Hyperlipidemia by Intravenous Infusion of Tallow Emulsion Causes Insulin Resistance in Holstein Cows.
 Journal of Dairy Science **90**(6): 2735-2744.
- Poike, A. und M. Füll (2000)
 Zur Epidemiologie der Labmagenverlagerung in Mitteldeutschland.
 Ätiologie, Pathogenese, Diagnostik, Prognose, Therapie und Prophylaxe der Dislokatio abomasi. Proceedings International Workshop, Leipzig 1998., 29-39, Leipzig, Leipziger Universitätsverlag.
- Pullen, D. L., D. L. Palmquist und R. S. Emery (1989)
 Effect on days of lactation and methionine hydroxy analog on incorporation of plasma fatty-acids into plasma triglycerides.
 Journal of Dairy Science **72**(1): 49-58.
- Rauw, W. M., E. Kanis, E. N. Noordhuizen-Stassen und F. J. Grommers (1998)
 Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review.
 Livestock Production Science **56**(1): 15-33.
- Reist, M., D. Erdin, D. von Euw, K. Tschuemperlin, H. Leuenberger, Y. Chilliard, H. M. Hammon, C. Morel, C. Philipona, Y. Zbinden, N. Kuenzi und J. W. Blum (2002)
 Estimation of energy balance at the individual and herd level using blood and milk traits in high-yielding dairy cows.
 Journal of Dairy Science **85**(12): 3314-3327.
- Reynolds, C. K., P. C. Aikman, B. Lupoli, D. J. Humphries und D. E. Beever (2003)
 Splanchnic metabolism of dairy cows during the transition from late gestation through early lactation.
 Journal of Dairy Science **86**(4): 1201-1217.
- Roche, J. F. und M. G. Diskin (1996)
 Physiology and practice of induction and control of oestrus in cattle.
 World Association for Buiatrics - Xix Congress, Vols 1-3: 157-163.
- Roche, J. F., D. Mackey und M. D. Diskin (2000)
 Reproductive management of postpartum cows.
 Animal Reproduction Science **60**: 703-712.

- Roche, J. R. und D. P. Berry (2006)
Periparturient climatic, animal, and management factors influencing the incidence of milk fever in grazing systems.
Journal of Dairy Science **89**(7): 2775-2783.
- Roche, J. R., D. P. Berry und E. S. Kolver (2006)
Holstein-Friesian strain and feed effects on milk production, body weight, and body condition score profiles in grazing dairy cows.
Journal of Dairy Science **89**(9): 3532-3543.
- Roche, J. R., P. G. Dillon, C. R. Stockdale, L. H. Baumgard und M. J. VanBaale (2004)
Relationships among international body condition scoring systems.
Journal of Dairy Science **87**(9): 3076-3079.
- Roche, J. R., N. C. Friggens, J. K. Kay, M. W. Fisher, K. J. Stafford und D. P. Berry (2009)
Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare.
Journal of Dairy Science **92**(12): 5769-5801.
- Royal, M., G. E. Mann und A. P. F. Flint (2000)
Strategies for reversing the trend towards subfertility in dairy cattle.
Veterinary Journal **160**(1): 53-60.
- Schrader, L. (2009)
Animal welfare in the housing of dairy cows.
Züchtungskunde **81**(6): 414-420.
- Schröder, U. (2000)
Untersuchungen zur Konditionsbeurteilung mittels ultrasonographischer Messung der Rückenfettdicke als Grundlage zur Anwendung in der Bestandsbetreuung von Milchviehherden
Klinik für Kleintiere, Freie Universität Berlin, Vet. Diss.
- Schröder, U. und R. Staufenbiel (2002)
Ultrasonographic assessment of body condition in dairy herd management. Part 1: Backfat thickness and milk yield.
Tierärztliche Praxis Ausgabe Grosstiere Nutztiere **30**(6): 362-368.
- Schröder, U. und R. Staufenbiel (2003)
Konditionsbeurteilung per Ultraschall in der Herdenbetreuung Teil2: Rückenfettdicke und Fruchtbarkeit.
Tierärztliche Praxis **15**.
- Schröder, U. J. und R. Staufenbiel (2006)
Invited Review: Methods to Determine Body Fat Reserves in the Dairy Cow with Special Regard to Ultrasonographic Measurement of Backfat Thickness.
Journal of Dairy Science **89**(1): 1-14.
- Schwerin, M. (2009)
Breeding of high performance and healthy dairy cows - only a dream?
Züchtungskunde **81**(6): 389-396.
- Shi, H., M. V. Kokoeva, K. Inouye, I. Tzamelis, H. Yin und J. S. Flier (2006)
TLR4 links innate immunity and fatty acid-induced insulin resistance.
Journal of Clinical Investigation **116**(11): 3015-3025.

- Spicer, L. J. (2001)
Leptin: a possible metabolic signal affecting reproduction.
Domestic Animal Endocrinology **21**(4): 251-270.
- Spicer, L. J. und S. E. Echternkamp (1995)
The ovarian insulin and insulin-like growth-factor system with emphasis on domestic animals.
Domestic Animal Endocrinology **12**(3): 223-245.
- Staples, C. R., W. W. Thatcher und J. H. Clark (1990)
Relationship between ovarian activity and energy status during the early postpartum period of high producing dairy-cows.
Journal of Dairy Science **73**(4): 938-947.
- Staufenbiel, R. (1992)
Energie- und Fettstoffwechsel des Rindes - Untersuchungskonzept und Messung der Rückenfettdicke.
Monatshefte für Veterinärmedizin **47**: 467-474.
- Staufenbiel, R. (1997)
Konditionsbeurteilung von Milchkühen mit Hilfe der sonographischen Rückenfettdickenmessung.
Der praktische Tierarzt, coll. vet. **27**: 87-92.
- Staufenbiel, R. (2008)
Anwendung der Stoffwechselfeldiagnostik in der Überwachung von Milchkuhbeständen
Weiterbildungsveranstaltung der thüringer Tierseuchenkasse und der Landestierärztekammer Thüringen, Jena,
- Staufenbiel, R., J. Langhans, J. Bauer, D. Dargel, N. Rossow und G. Leuthold (1989)
Studies into assessment of postpartum energy-balance of dairy cows.
Monatshefte für Veterinärmedizin **44**(17): 594-598.
- Staufenbiel, R., J. Langhans, J. Bauer, D. Dargel, N. Rossow und G. Leuthold (1989)
Untersuchungen zur Beurteilung der postpartalen Energiebilanz der Milchkuh.
Monatshefte für Veterinärmedizin **44**: 594-598.
- Staufenbiel, R., U. Schröder, C.-C. Gelfert und L. Panicke (2003)
Körperkondition und Stoffwechselstabilität als Grundlage für eine hohe Milchleistung bei ungestörter Fruchtbarkeit und allgemeiner Gesundheit von Milchkühen.
Arch. Tierz. **46**: 513-526.
- Staufenbiel, R., B. Staufenbiel, I. Lachmann und H. Klukas (1991)
Fettstoffwechsel und Fruchtbarkeit bei der Milchkuh.
Prakt. Tierarzt Sonderheft Collegium Veterinarium XXII: 18-25.
- Sumner, J. M. und J. P. McNamara (2007)
Expression of lipolytic genes in the adipose tissue of pregnant and lactating holstein dairy cattle.
Journal of Dairy Science **90**: 5237-5246.
- Tamminga, S., P. A. Luteijn und R. G. M. Meijer (1997)
Changes in composition and energy content of liveweight loss in dairy cows with time after parturition.
Livestock Production Science **52**(1): 31-38.

- Tolkamp, B. J., G. C. Emmans und I. Kyriazakis (2006)
Body fatness affects feed intake of sheep at a given body weight.
Journal of Animal Science **84**(7): 1778-1789.
- Van den Top, A. M., A. Van Tol, H. Jansen, M. J. Geelen und A. C. Beynen (2005)
Fatty liver in dairy cows post partum is associated with decreased concentration of plasma triacylglycerols and decreased activity of lipoprotein lipase in adipocytes.
Journal of Dairy Research **72**(2): 129-137.
- Vanarendonk, J. A. M., G. J. Nieuwhof, H. Vos und S. Korver (1991)
Genetic-aspects of feed-intake and efficiency in lactation dairy heifers.
Livestock Production Science **29**(4): 263-275.
- Vanholder, T., J. Leroy, J. Dewulf, L. Duchateau, M. Coryn, A. de Kruif und G. Opsomer (2005)
Hormonal and metabolic profiles of high-yielding dairy cows prior to ovarian cyst formation or first ovulation post Partum.
Reproduction in Domestic Animals **40**(5): 460-467.
- Vanholder, T., J. Leroy, G. Opsomer und A. de Kruif (2006)
Interactions between energy balance and ovarian activity in high yielding dairy cows early postpartum: A review.
Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift **75**(2A): 79-85.
- Vanholder, T., J. Leroy, A. Van Soom, G. Opsomer, D. Maes, M. Coryn und A. de Kruif (2005)
Effect of non-esterified fatty acids on bovine granulosa cell steroidogenesis and proliferation in vitro.
Animal Reproduction Science **87**(1-2): 33-44.
- Vanholder, T., J. L. Leroy, A. Van Soom, D. Maes, A. Coryn, T. Fiers, A. de Kruif und G. Opsomer (2006)
Effect of non-esterified fatty acids on bovine theca cell steroidogenesis and proliferation in vitro.
Animal Reproduction Science **92**(1-2): 51-63.
- Vanholder, T., G. Opsomer und A. de Kruif (2006)
Aetiology and pathogenesis of cystic ovarian follicles in dairy cattle: a review.
Reproduction Nutrition Development **46**(2): 105-119.
- Veenhuizen, J. J., J. K. Drackley, M. J. Richard, T. P. Sanderson, L. D. Miller und J. W. Young (1991)
Metabolic changes in blood and liver during development and early treatment of experimental fatty liver and ketosis in cows.
Journal of Dairy Science **74**(12): 4238-4253.
- Veerkamp, R. F. (1998)
Selection for economic efficiency of dairy cattle using information on live weight and feed intake: A review.
Journal of Dairy Science **81**(4): 1109-1119.
- Veerkamp, R. F. und G. C. Emmans (1995)
Sources of genetic-variation in energetic efficiency of dairy-cows.
Livestock Production Science **44**(2): 87-97.

- Veerkamp, R. F. und M. E. Goddard (1998)
Covariance functions across herd production levels for test day records on milk, fat, and protein yields.
Journal of Dairy Science **81**(6): 1690-1701.
- Veerkamp, R. F. und E. P. C. Koenen (1999)
Genetics of food intake, live weight, condition score and energy balance.
Occasional Publication No. 24 - British Society of Animal Science: 63-73.
- Veerkamp, R. F., E. P. C. Koenen und G. De Jong (2001)
Genetic correlations among body condition score, yield, and fertility in first-parity cows estimated by random regression models.
Journal of Dairy Science **84**(10): 2327-2335.
- Wade, G. N. und J. E. Jones (2004)
Neuroendocrinology of nutritional infertility.
American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology **287**(6): R1277-R1296.
- Waltner, S. S., J. P. McNamara und J. K. Hillers (1993)
Relationships of body condition score to production variables in high producing holstein dairy-cattle.
Journal of Dairy Science **76**(11): 3410-3419.
- Wangler, A., E. Blum, I. Bottcher und P. Sanftleben (2009)
Productive life and longevity of dairy cows on the basis of efficiency of milk production.
Züchtungskunde **81**(5): 341-360.
- Wathes, D. C., Z. R. Cheng, M. A. Fenwick, R. Fitzpatrick und J. Patton (2011)
Influence of energy balance on the somatotrophic axis and matrix metalloproteinase expression in the endometrium of the postpartum dairy cow.
Reproduction **141**(2): 269-281.
- Wells, S. J., A. M. Trent, W. E. Marsh, P. G. McGovern und R. A. Robinson (1993)
Individual cow risk-factors for clinical lameness in lactation dairy-cows.
Preventive Veterinary Medicine **17**(1-2): 95-109.
- Wenning, P. (2008)
Einfluss einer Supplementation von Nicht-Stärke-Polysaccharid-hydrolysierenden Enzymen und einer Alpha-Amylase auf einige Leistungsparameter bei Milchkühen
Institut für Veterinärphysiologie, Freie Universität Berlin, Vet. Diss.
- Wiltbank, M., H. Lopez, R. Sartori, S. Sangsritavong und A. Gumen (2006)
Changes in reproductive physiology of lactating dairy cows due to elevated steroid metabolism.
Theriogenology **65**(1): 17-29.
- Yan, T., C. S. Mayne, T. W. J. Keady und R. E. Agnew (2006)
Effects of dairy cow genotype with two planes of nutrition on energy partitioning between milk and body tissue.
Journal of Dairy Science **89**(3): 1031-1042.
- Yung, M. C., M. J. VandeHaar, R. L. Fogwell und B. K. Sharma (1996)
Effect of energy balance and somatotropin on insulin-like growth factor I in serum and on weight and progesterone of corpus luteum in heifers.
Journal of Animal Science **74**(9): 2239-2244.

- Zhang, Y. Y., R. Proenca, M. Maffei, M. Barone, L. Leopold und J. M. Friedman (1994)
POSITIONAL CLONING OF THE MOUSE OBESE GENE AND ITS HUMAN
HOMOLOG.
Nature **372**(6505): 425-432.
- Zhao, F.-Q. und A. F. Keating (2007)
Expression and Regulation of Glucose Transporters in the Bovine Mammary Gland.
Journal of Dairy Science **90**(13_suppl): E76-86.
- Zulu, V. C., Y. Sawamukai, K. Nakada, K. Kida und M. Moriyoshi (2002)
Relationship among insulin-like growth factor-I, blood metabolites and postpartum
ovarian function in dairy cows.
Journal of Veterinary Medical Science **64**(10): 879-885.

11 Danksagung

Besonders möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Martens für die Überlassung des interessanten Themas und die Ermöglichung der spannenden Zeit in Thüringen danken. Die fachliche Betreuung und menschliche Unterstützung während der kompletten Zeit waren großartig. Vielen Dank!

Ich danke der Fa. DSM Nutritional Products und Herrn Dr. Wolfgang Steinberg sowie der Margarete-Markus-Charity für die finanzielle Unterstützung, die es erlaubt hat, die vorliegende Arbeit schnell und erfolgreich durchzuführen. Diese Untersuchungen waren Teil des Fugato Plus Programms (MeGA-M: Metabolomic and genomic analyses of milk for dairy cattle health; Principal Investigator: Prof. Dr. R. Fries, München).

Ein großer Dank geht an Herrn Dr. Lothar Jäkel für die Ermöglichung und die große Hilfsbereitschaft bei der Durchführung des Versuchs. Außerdem dafür, dass Du stets bereit warst, etwas von Deinem großen Wissen über die Rindermedizin weiterzugeben.

Des Weiteren danke ich Herrn Arnold Becker für die Ermöglichung des Versuchs in Schwabhausen und die Hilfestellung bei der Durchführung sowie den stets erhellenden Meinungsaustausch.

Danken möchte ich auch Herrn Dr. Gerhard Zechner für die tolle Einarbeitung in Schwabhausen und die ständige Bereitschaft bei der Lösung von auftretenden Problemen zu helfen.

Ein großer Dank geht auch an die Mitarbeiter der Milchviehanlage für die herzliche Aufnahme in Thüringen, die ständige Hilfsbereitschaft und die freundschaftliche Zusammenarbeit.

Ein weiterer Dank geht an Peggy und Rainer Niebergall für die freundliche Aufnahme und die tolle Unterstützung während der ganzen Zeit in Thüringen.

Danken möchte ich auch der Fußballabteilung des SV Schwabhausen für die tolle Aufnahme im Team und die große Kameradschaft. Viel Erfolg weiterhin in der ersten Kreisklasse!

Danksagung

Der größte Dank geht an meine Familie. An meine Eltern Gabi und Matthias und meinen Bruder Thore. Vielen Dank für die bedingungslose Unterstützung in allen Lebenslagen. Ihr seid die beste Familie der Welt.

12 Selbständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig und nur mit den aufgeführten Hilfsmitteln erstellt habe. Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Berlin, den 31.03.2011

Sören Wilke