

**Aus der Tierklinik für Fortpflanzung
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin**

**Untersuchungen zum Transitkuhmanagement in
ostdeutschen Milchviehbetrieben sowie zum Einfluss
der Vorbereitungsdauer unter Einsatz saurer Salze
auf die Gesundheit und Leistung von Milchkühen
in der Frühlaktation**

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

**vorgelegt von
Lisa-Katharina Neuhaus
Tierärztin aus Lippstadt**

**Berlin 2022
Journal-Nr.: 4322**

Aus der Tierklinik für Fortpflanzung
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

**Untersuchungen zum Transitkuhmanagement in ostdeutschen Milchviehbetrieben
sowie zum Einfluss der Vorbereitungsdauer unter Einsatz saurer Salze auf die
Gesundheit und Leistung von Milchkühen in der Frühlaktation**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades eines

Doktors der Veterinärmedizin

an der

Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Lisa-Katharina Neuhaus

Tierärztin

aus Lippstadt

Berlin 2022

Journal-Nr.: 4322

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Uwe Rösler
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Heuwieser
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Rudolf Staufenbiel
Dritter Gutachter: Prof. Dr. Holger Martens

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

dairy cows, dairy farms, animal nutrition, lactation, animal health, salts, calcium

Tag der Promotion: 13.05.2022

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

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

ISBN: 978-3-96729-162-9

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2022

Dissertation, Freie Universität Berlin

D188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

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

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

This document is protected by copyright law.

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

Alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2022 Choriner Str. 85 - 10119 Berlin

verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Für meine Familie

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	X
1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	2
2.1 Bedeutung der Transitperiode	2
2.2 Metabolische Stoffwechselstörungen in der Transitperiode	4
2.2.1 Störungen der Adaptation an die negative Energiebilanz	5
2.2.1.1 Ketose	5
2.2.1.1.1 Inzidenz	5
2.2.1.1.2 Pathophysiologie der hepatogene Ketogenese	6
2.2.1.1.3 Risikofaktoren	7
2.2.1.2 Lipomobilisationssyndrom	7
2.2.2 Peripartale Hypocalcämie.....	8
2.2.2.1 Inzidenz	10
2.2.2.2 Pathophysiologie	11
2.2.2.3 Risikofaktoren.....	13
2.2.2.4 Folgeerkrankungen	15
2.2.2.5 Prophylaxe	17
2.2.2.5.1 Fütterung einer calciumarmen Ration.....	17
2.2.2.5.2 Reduzierung der Calciumverfügbarkeit im Futter	18
2.2.2.5.3 Verabreichung von Vitamin D ₃ und seinen Metaboliten.....	18
2.2.2.5.4 Calciumgaben zur Kalbung.....	19
2.2.3 DCAD-Konzept als Prophylaxe der peripartalen Hypocalcämie.....	21
2.2.3.1 Wirkungsweise	22
2.2.3.2 Einflussfaktoren auf die Wirkung der sauren Salze.....	22
2.2.3.3 Überwachung des DCAD-Konzeptes	24

2.2.3.4	Empfehlungen für die Fütterung einer Anionenration.....	26
2.2.3.4.1	Vorbereitungsdauer beim Einsatz von sauren Salzen.....	28
2.3	Transitkuhmanagement	32
2.3.1	Stall und Haltung	32
2.3.2	Abkalbestall	34
2.3.3	Belegungsdichte	35
2.3.4	Fütterungsmanagement	38
2.3.4.1	Trockenmasseaufnahme.....	39
2.3.4.2	Körperkondition	42
2.3.4.3	TMR-Analyse.....	45
2.3.4.4	Futterselektion.....	46
2.3.4.5	Futtertischmanagement.....	48
2.3.5	Monitoring der Tiergesundheit in der Transitperiode.....	50
2.3.5.1	Beurteilung der Adaptation des Energiestoffwechsels	51
2.3.5.2	Überwachung des Calciumstoffwechsels.....	52
3.	Material und Methoden.....	54
3.1	Milchviehbetriebe	54
3.1.1	Allgemeine Betriebsdaten.....	54
3.1.2	Transitkuhmanagement.....	56
3.1.2.1	Stall und Haltung	56
3.1.2.2	Belegungsdichte	56
3.1.2.3	Stallfläche.....	56
3.1.2.4	Fressplatzangebot.....	57
3.1.2.5	Tränkeplatzangebot.....	57
3.2	Probanden und Probenmaterial	58
3.2.1	Überwachung des Fütterungsmanagements.....	58
3.2.1.1	TMR-Analyse.....	58
3.2.1.2	PennState Schüttelbox.....	59
3.2.1.2.1	Futterselektion	59
3.2.1.3	Trockenmasseaufnahme.....	59

3.2.1.4	Beurteilung der Körperkondition.....	60
3.2.1.5	Beurteilung des Futtertischmanagements.....	60
3.2.2	Untersuchung der Harnproben.....	61
3.2.2.1	Probenentnahme, -verarbeitung, -untersuchung.....	61
3.2.2.2	Säuren-Basen-Titration.....	63
3.2.3	Untersuchung der Blutproben.....	63
3.2.3.1	Probenentnahme.....	63
3.2.3.2	Probenverarbeitung und -untersuchung.....	64
3.3	Datenerhebung und statistische Auswertung.....	64
4.	Ergebnisse.....	67
4.1	Transitkuhmanagement.....	67
4.1.1	Stall und Haltung.....	67
4.1.1.1	Frühtrockensteher.....	67
4.1.1.2	Vorbereiter.....	67
4.1.1.3	Frischmelker.....	68
4.1.2	Belegungsdichte.....	69
4.1.2.1	Stallfläche.....	69
4.1.2.2	Fressplatzangebot.....	70
4.1.2.3	Tränkeplatzangebot.....	72
4.1.3	Überwachung des Fütterungsmanagements.....	74
4.1.3.1	TMR-Analyse.....	74
4.1.3.2	PennState Schüttelbox.....	78
4.1.3.3	Futterselektion.....	80
4.1.3.4	Trockenmasseaufnahme.....	81
4.1.3.5	Beurteilung der Körperkondition.....	83
4.1.3.6	Beurteilung des Futtertischmanagements.....	85
4.2	Untersuchung der Harnproben.....	87
4.2.1	Einzelproben.....	87
4.2.2	Poolproben.....	88

4.3	Untersuchung der Blutproben.....	89
4.3.1	Konzentration von NEFA.....	89
4.3.2	Konzentration von Calcium.....	90
4.3.3	Konzentration von BHB.....	92
4.4	Einfluss der Vorbereitungsdauer beim Einsatz saurer Salze.....	93
4.4.1	Vorbereitungsdauer.....	93
4.4.2	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Einsatzleistung.....	95
4.4.3	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den Fett-Eiweiß-Quotienten.....	97
4.4.4	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den somatischen Zellgehalt.....	97
4.4.5	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Totgeburtenrate.....	100
4.4.6	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Merzungsrate in der Frühlaktation..	100
4.4.7	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Länge der Gützeit.....	101
5.	Diskussion.....	102
5.1	Transitkuhmanagement.....	102
5.1.1	Stall und Haltung.....	102
5.1.2	Belegungsdichte.....	103
5.1.2.1	Stallfläche und Liegeplatzangebot.....	103
5.1.2.2	Fressplatzangebot.....	104
5.1.2.3	Tränkeplatzangebot.....	105
5.1.3	Überwachung des Fütterungsmanagement.....	106
5.1.3.1	TMR-Analyse.....	106
5.1.3.2	PennState Schüttelbox.....	108
5.1.3.2.1	Futterselektion.....	109
5.1.3.3	Trockenmasseaufnahme.....	110
5.1.3.4	Beurteilung der Körperkondition.....	112
5.1.3.5	Beurteilung des Futtertischmanagements.....	113
5.2	Untersuchung der Harnproben.....	114
5.2.1	Einzelproben.....	114
5.2.2	Poolproben.....	116

5.3	Untersuchung der Blutproben.....	117
5.3.1	Konzentration von NEFA	117
5.3.2	Konzentration von Calcium.....	118
5.3.3	Konzentration von BHB	122
5.4	Einfluss der Vorbereitungsdauer beim Einsatz saurer Salze	124
5.4.1	Vorbereitungsdauer	124
5.4.2	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Einsatzleistung	125
5.4.3	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den Fett-Eiweiß-Quotient	128
5.4.4	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den somatischen Zellgehalt	129
5.4.5	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Totgeburtenrate	130
5.4.6	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Merzungsrate in der Frühlaktation..	131
5.4.7	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Gützeit	132
5.5	Schlussfolgerungen	133
6.	Zusammenfassung	135
7.	Summary.....	138
	Literaturverzeichnis	141
	Anhang.....	180
	Danksagung.....	192
	Finanzierungsquellen	193
	Selbstständigkeitserklärung	194

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.	Prozentuale Verteilung der TMR von den Frühtrockensteher in der PennState Schüttelbox.....	79
Abbildung 2.	Prozentuale Verteilung der TMR von den Vorbereitern in der PennState Schüttelbox.....	79
Abbildung 3.	Prozentuale Verteilung der TMR von den Frischmelkern in den einzelnen Siebfraktionen der PennState Schüttelbox.....	80
Abbildung 4.	Verteilung der Körperkondition in den Frühtrockenstehergruppen am Tag des ersten Betriebsbesuches	83
Abbildung 5.	Verteilung des BCS in den Vorbereitergruppen am Tag des ersten Betriebsbesuches.....	84
Abbildung 6.	Verteilung des BCS in den Frischmelkergruppen am Tag des ersten Betriebsbesuches.....	84
Abbildung 7.	Beurteilung des Futtertischmanagements in der Vorbereitergruppe in 18 Milchviehbetrieben mittels einer Zeitrafferkamera.....	86
Abbildung 8.	Beurteilung des Futtertischmanagements in der Frischmelkergruppe in 13 Milchviehbetrieben mittels einer Zeitrafferkamera.....	87
Abbildung 9.	Der prozentuale Anteil erhöhter NEFA-Konzentration pro Betrieb (n=18) in einer Stichprobe von mindestens ≥ 12 Vorbereitern.....	90
Abbildung 10.	Prozentualer Anteil an Kühen mit einer Serumcalciumkonzentration $< 2,0$ mmol/L, von $2,0$ bis $2,2$ mmol/L und $> 2,2$ mmol/L in 18 Milchviehbetrieben.....	91
Abbildung 11.	Der prozentuale Anteil erhöhter BHB-Konzentrationen pro Betrieb (n = 18) in einer Stichprobe von mindestens ≥ 12 Kühen in den Gruppen der Frischmelker.....	92
Abbildung 12.	Verteilung der Tage in der Vorbereitergruppe von den Färsen (n = 4.474) und Kühen (n= 10.369) in den 18 untersuchten Milchviehbetrieben.....	93
Abbildung 13.	Verteilung der Tage in der Vorbereitergruppe von den Färsen (n = 4.474)	94
Abbildung 14.	Verteilung der Tage in der Vorbereitergruppe von den Mehrkalbskühen (n=10.369).....	94
Abbildung 15.	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Einsatzleistung (Mittelwert \pm einfachen Standardfehler) bei Erstlaktierenden (n = 3.081).....	95
Abbildung 16.	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Einsatzleistung (Mittelwert ± 1 SEM) bei Mehrkalbskühen (n = 7.731).....	96

Abbildung 17.	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den Fett-Eiweiß-Quotienten (Mittelwert \pm 1 SEM) am Tag der ersten MLP bei den Mehrkalbskühen (n = 7.731).....	97
Abbildung 18.	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den somatischen Zellgehalt (Mittelwert \pm 1 SEM) in der Milch am Tag der ersten MLP bei Erstlaktierenden (n = 3.082).....	99
Abbildung 19.	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den somatischen Zellgehalt (Mittelwert \pm 1 SEM) in der Milch am Tag der ersten MLP bei Mehrkalbskühen (n = 7.733).....	99
Abbildung 20.	Einfluss der Vorbereitungsdauer auf das Risiko für Mehrkalbskühe (n = 9.338) in den ersten 60 Tagen in Milch gemerzt zu werden.....	101
Abbildung 21.	Hickman, Feedbunk Score, GPS Dairy Consulting	180

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.	Klassifizierung der subklinischen Hypocalcämie (SCH) anhand der Konzentration von Calcium im Serum an Tag 1 und 2 p.p. bei Färsen und an Tag 1 und 4 p.p. bei Kühen (McArt and Neves, 2020).	10
Tabelle 2.	Allgemeine Betriebsdaten während des Beobachtungszeitraumes (Mittelwert \pm Standardabweichung).....	55
Tabelle 3.	Parameter der Futtermittelanalyse	58
Tabelle 4.	Bewertung des Futtertisches (modifiziert nach Hickman, Feedbunk Score, GPS Dairy Consulting (siehe Anhang: Abbildung 21)).....	61
Tabelle 5.	Messverfahren der Harnparameter	62
Tabelle 6.	Formeln zur Berechnung der Parameter des Säuren-Basen-Status.....	63
Tabelle 7.	Haltung der Trockensteher, Vorbereiter und Frischmelker (n=18 Betriebe)....	68
Tabelle 8.	Tieranzahl in den Gruppen der Frühtrockensteher, Vorbereiter und Frischmelker	69
Tabelle 9.	Tier-Liegeplatz-Verhältnis bei der Haltung in Liegeboxenlaufställen und Stallfläche pro Tier bei der Haltung in Tiefstreulaufställen in den entsprechenden 3 Gruppen.....	70
Tabelle 10.	Fressplatzangebot in Gruppen ohne Fressgitter, Tier-Fressplatz-Verhältnis und Fressgitterbreite in Gruppen mit Fressgittern	71
Tabelle 11.	Fressplatzangebot pro Tier in Gruppen ohne Fressgitter und des Tier-Fressplatz-Verhältnisses und der Fressgitterbreite in Gruppen mit Fressgittern	72
Tabelle 12.	Tränkeplatzangebot pro Tier	73
Tabelle 13.	Nährstoffgehalte der analysierten Futterrationen der Frühtrockensteher (Zeitraum vom Trockenstellen bis \approx 21d a.p.)	75
Tabelle 14.	Nährstoffgehalte der analysierten Anionenrationen der Vorbereiter (\approx 21-0d a.p.)	76
Tabelle 15.	Nährstoffgehalte der analysierten Futterrationen der Frischmelker (1-5d bis \approx 30d p.p.)	77
Tabelle 16.	Analysierte und berechnete DCAD in den Anionenrationen.....	78
Tabelle 17.	Anstieg des prozentualen Anteils großer Partikel im Restfutter in den Gruppen der Frühtrockensteher, Vorbereiter und Frischmelker.....	81
Tabelle 18.	Durchschnittliche Trockenmasseaufnahme pro Tier und Tag in kg in den Gruppen der Frühtrockensteher, Vorbereiter und Frischmelker.....	82
Tabelle 19.	Der Mittelwerte, die Standardabweichung und der Variationskoeffizient von den Harn-pH-Werte an dem Tag des ersten und zweiten Betriebsbesuches in den 18 untersuchten Betrieben	88

Tabelle 20.	Darstellung der analysierten Parameter pH, NSBA (mmol/L), Calciumkonzentration (mmol/L) und Kreatininkonzentration (g/L) in den Harn-Poolproben	89
Tabelle 21.	Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells zum Einfluss auf die Einsatzleistung der Erstlaktierenden (n = 3.081).....	181
Tabelle 22.	Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells zum Einfluss auf die Einsatzleistung der Mehrkalbskühe (n = 7.731).	182
Tabelle 23.	Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells zum Einfluss auf den Fett-Eiweiß-Quotienten der Erstlaktierenden (n = 3.081).	183
Tabelle 24.	Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells zum Einfluss auf den Fett-Eiweiß-Quotienten der Mehrkalbskühe (n = 7.733).	184
Tabelle 25.	Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells zum Einfluss auf den Somatischer Zellgehalt der Erstlaktierende (n = 3.082).	184
Tabelle 26.	Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells zum Einfluss auf den Somatischer Zellgehalt der Mehrkalbskühe (n = 7.733).	185
Tabelle 27.	Ergebnisse des logistisches Regressionsmodell zum Einfluss auf Totgeburten bei Erstlaktierenden (n = 3.863).	186
Tabelle 28.	Ergebnisse des logistisches Regressionsmodell zum Einfluss auf Totgeburten bei Mehrkalbskühen (n = 9.392).	187
Tabelle 29.	Ergebnisse des logistischen Regressionsmodell zum Einfluss auf das Merzungsrisiko innerhalb der ersten 60 Tage in Milch für Erstlaktierende (n = 3.192).	188
Tabelle 30.	Ergebnisse des logistischen Regressionsmodell zum Einfluss auf das Merzungsrisiko innerhalb der ersten 60 Tage in Milch für Mehrkalbskühe (n = 9.338).	189
Tabelle 31.	Ergebnisse des logistischen Regressionsmodell zum Einfluss auf die Länge der Gützeit innerhalb 150 Laktationstage für Erstlaktierende (n = 2.038).	190
Tabelle 32.	Ergebnisse des logistischen Regressionsmodell zum Einfluss auf die Länge der Gützeit innerhalb 150 Laktationstage für Mehrkalbskühe (n = 4.699).	191

Abkürzungsverzeichnis

a.p.	ante partum	MW	Mittelwert
ADF	Acid Detergent Fiber	MLP	Milchleistungsprüfung
BCS	Body-Condition-Score	n	Stichprobenzahl
BHB	β-Hydroxybutyrat	Na ⁺	Natrium
bzw.	beziehungsweise	NaOH	Natriumhydroxid
CaCl ₂	Calciumchlorid	NDF	Neutral Detergent Fiber
1,25-(OH) ₂ -	1,25-	NEB	negative Energiebilanz
Vitamin D ₃	Dihydroxycholecalciferol (=Calcitriol)	NEFA	Nonesterified Fatty Acids
CaSO ₄	Calciumsulfat	NEL	Netto-Energie-Laktation
Cl ⁻	Chlorid	NH ₄ Cl	Ammoniumchlorid
cm	Zentimeter	(NH ₄) ₂ SO ₄	Ammoniumsulfat
DCAD	Dietary-Cation-Anion- Difference	NSBA	Netto-Säuren-Basen- Ausscheidung
d.h.	das heißt	P	Signifikanzniveau
ECM	Energy-Corrected-Milk	p.p	post partum
FEQ	Fett-Eiweiß-Quotient	PTH	Parathormon
fmol	Femtomol	S ₂ -	Schwefel
g	Gramm	SD	Standard Deviation
H ⁺	Wasserstoffion	SEM	Standard Error of the mean
HCl	Salzsäure	Std.	Stunde
K ⁺	Kalium	TAG	Triacylglyceride
kg	Kilogramm	TD	Trächtigkeitsdauer
L	Liter	TM	Trockenmasse
m ²	Quadratmeter	TS	Trockensubstanz
ME	Metabolisierbare Energie	TMR	Totale-Misch-Ration
meq	Milligrammäquivalent	V	Volumen
mg	Milligramm	VLDL	Very Low Density Lipoproteins
MgCl ₂	Magnesiumchlorid	vs.	versus
MgSO	Magnesiumsulfat		
ml	Milliliter		
mmol	Millimol		

1. Einleitung

In den letzten Jahren verringerte sich sowohl die Anzahl der Milchviehbetriebe als auch die Anzahl der Milchkühe. Der Rückgang der Milchkühe lässt sich unter anderem auf die steigende Einzeltierleistung zurückführen. Durch den steigenden Bedarf für ein Management, welches dem genetischen Potential der heutigen Milchkuh gerecht wird, gerät das Transitkuhmanagement immer mehr in den Mittelpunkt. Die Transitphase stellt für die Milchkuh eine große Herausforderung an den Stoffwechsel dar. Die Inzidenz der subklinischen und klinischen Stoffwechselstörungen ist in dieser kritischen Phase am größten. Die negativen Folgen der Stoffwechselstörungen können die nachfolgende Laktation stark beeinflussen. So bestimmt die Transitperiode den Erfolg der Laktation und letztendlich die Profitabilität der gesamten Herde. Im Rahmen der Optimierung der Tiergesundheit und der Ökonomie der Milchproduktion steht ein den Anforderungen einer Transitkuh optimal angepasstes Management hinsichtlich Fütterung, Stallbau, Haltung und Kuhkomfort im Mittelpunkt.

Ziel dieser Studie war es, das Transitkuhmanagement beim Einsatz saurer Salze in 18 ostdeutschen Milcherzeugerbetrieben zu untersuchen. Dies sollte einen Einblick in die aktuelle Situation bezüglich der Fütterung, der Haltung und des Managements der Transitkuh in deutschen Milchviehbetriebe gewährleisten und praxisrelevante Schwachstellen des Herdenmanagements aufdecken.

Die Aufrechterhaltung der Homöostase des Calcium- und Energiestoffwechsels sind während der Transitphase von größter Wichtigkeit. Die peripartale Hypocalcämie stellt eine bedeutende Stoffwechselerkrankung der Milchkuh dar, welche negative Folgen für die Gesundheit und Leistung der Milchkuh hat und in schweren Fällen auch lebensbedrohlich für das Tier sein kann. Die klinische sowie subklinische Hypocalcämie prädisponiert die Milchkuh für metabolische und infektiöse Erkrankungen in der Früh-laktation und erhöht das Risiko für einen vorzeitigen Abgang und eine verminderte Fruchtbarkeit. Die Fütterung einer Anionenration vor der Kalbung stellt eine geeignete Prophylaxemaßnahme gegen die klinische und subklinische Hypocalcämie dar. Derzeitig gibt es wenige Studien, die die antepartale Fütterungsdauer einer Anionenration kritisch überprüft haben. Folglich besteht weiterhin Klärungsbedarf über die optimale Verweildauer in der Vorbereitergruppe bei dem Einsatz saurer Salze. Ziel des zweiten Teils der Arbeit war die Überprüfung des Einflusses der Vorbereitungsdauer beim Einsatz saurer Salze auf die Tiergesundheit und Milchleistung in der nachfolgenden Laktation.

2. Literaturübersicht

2.1 Bedeutung der Transitperiode

Die bedeutendste Zeit innerhalb des Laktationszyklus einer Milchkuh ist die Transitperiode, welche als der Zeitraum 3 Wochen ante partum (a.p.) bis 3 Wochen post partum (p.p.) definiert wird (Grummer, 1995, Drackley, 1999). Der Übergang vom tragenden, nicht-laktierenden Status zum nicht-tragenden, laktierenden Status stellt für die Milchkuh auf Stoffwechselebene eine große Herausforderung dar (Goff and Horst, 1997b). Das Risiko für metabolische (Hypocalcämie, Ketose, Leberverfettung) oder infektiöse (Klauenerkrankungen, Mastitis, Metritis, Endometritis) Erkrankungen ist in dieser Übergangsphase hoch (Goff and Horst, 1997b, Ingvarsen et al., 2003, Sundrum, 2015). Gegen Ende der Trächtigkeit benötigt die Kuh für die Entwicklung des Fetus täglich um die 0,82 Mcal Energie, 117 Gramm (g) Protein, 10,3 g Calcium, 5,4 g Phosphor und 0,2 g Magnesium (Goff and Horst, 1997b). Mit Beginn der Laktation und der damit einsetzenden Produktion von Kolostrum steigt der Nährstoffbedarf drastisch an. Für die Produktion von 10 kg Kolostrum benötigt die Milchkuh 11 Mcal Energie, 140 g Protein, 23 g Calcium, 9 g Phosphor und 1 g Magnesium (Goff and Horst, 1997b). Während der Nährstoffbedarf in der Transitphase steigt, sinkt die relative TM-Aufnahme zur Kalbung (Ingvarsen and Andersen, 2000, Grummer et al., 2004), wodurch der Bedarf für die einsetzende Milchproduktion nicht gedeckt werden kann (Bell and Bauman, 1997). Es entsteht ein Konflikt zwischen dem begrenzten Vermögen der Futteraufnahme und dem drastisch steigenden Nährstoffbedarf für die Milchleistung (Butler and Smith, 1989). Der Steigerung der Milchleistung, welche ihren Höhepunkt in der 4. bis 7. Woche nach dem Partus aufweist, folgt der Höhepunkt der TM-Aufnahme der Kuh mit 8 bis 11 Wochen p.p. zeitlich verzögert (Staufenbiel et al., 1989, Staples et al., 1990, Nebel and McGilliard, 1993). Als Folge entsteht eine negative Energiebilanz (NEB). Um das Missverhältnis zwischen Energieaufnahme über das Futter und der Energieabgabe über die Milch auszugleichen, findet eine Mobilisation der körpereigenen Fettreserven in Form von nicht-veresterten freien Fettsäuren (nonesterified fatty acids: NEFA) statt (Bauman and Currie, 1980, Grummer et al., 2004). Die Adaptationsfähigkeit des Stoffwechsels und die Aufrechterhaltung der physiologischen Mechanismen der Homöostase sind in dieser Phase von großer Bedeutung (Bauman and Currie, 1980, Bell, 1995). In der Zeit kurz vor der Kalbung bis 4 Wochen p.p., mit einem Tiefpunkt direkt nach der Kalbung, ist die Funktion der neutrophilen Granulozyten und Lymphozyten eingeschränkt und folglich die Immunabwehr supprimiert (Kehrli and Goff, 1989, Kehrli et al., 1989). Die neutrophilen Granulozyten von Transitzühen zeigen eingeschränkte Abwehrmechanismen gegenüber Bakterien (Nagahata et al., 1988, Kehrli et al., 1989). Des Weiteren ist während der peripartalen Phase die Proliferation und folglich auch die Fähigkeit der Lymphozyten zur spezifischen Reaktion auf ein Antigen beeinträchtigt (Kehrli et al., 1989).

Die Funktionalität der neutrophilen Granulozyten ist während der peripartalen Phase supprimiert (Kehrli et al., 1989, Cai et al., 1994). Es gibt einen Zusammenhang zwischen dieser Suppression und dem Auftreten von Nachgeburtsverhaltung (Gunnink, 1984, Kimura et al., 2002, Hammon et al., 2006) und akuter puerperaler Metritis (Cai et al., 1994, Hammon et al., 2006). Diese Immunsuppression und die negative Energiebilanz erklären die Prädisposition der Milchkuh während der Transitperiode für Erkrankungen, wie Nachgeburtsverhaltung, akute puerperale Metritis, Mastitis, Klauenerkrankungen, Hypocalcämie, Labmagenverlagerungen, Ketose und Leberverfettung (Goff and Horst, 1997b, Goff, 2008b, LeBlanc, 2010, Sundrum, 2015, Sordillo, 2016, Santos and Ribeiro, 2018).

Die Futterrationen während der Transitperiode sind in den meisten Betrieben durch große Veränderungen hinsichtlich der Inhaltsstoffe gekennzeichnet. Die Futterration von trockenstehenden Kühen und hochtragenden Färsen weist einen hohen Gehalt an Neutral Detergent Fiber (NDF) und eine geringe Energiedichte auf. Die frischlaktierende Kuh wird mit einer hochenergetischen Ration gefüttert, welche durch einen hohen Gehalt an Stärke und einen geringen Gehalt an Neutral Detergent Fiber (NDF) charakterisiert ist. Die Kuh reagiert auf diese Veränderungen mit einer Adaptation des Pansens. Für die Steigerung der Absorptionskapazität findet eine Vergrößerung der Papillen hinsichtlich ihrer Länge und Breite statt. Weiterhin findet eine Anpassung der Population der im Pansen vorhandenen Mikroorganismen zugunsten der Bakterien, welche Laktat verwerten können, statt (Grummer, 1995, Goff and Horst, 1997b). Diese Adaptation des Pansens benötigt 3 bis 4 Wochen (Huntington et al., 1981). Zu dieser Zeit befindet sich die Transitkuh in einer negativen Energiebilanz, in der die Absorptionskapazität des Pansens von großer Bedeutung ist.

Weitere Managementfaktoren während der Transitphase, welche die TM-Aufnahme stark beeinflussen können, sind die Belegungsdichte, gemeinsame Haltung von Färsen und Kühen und die Frequenz und Anzahl von Umstellungen (Cook and Nordlund, 2004a, Nordlund, 2006). Die Transitperiode hat großen Einfluss auf die Leistung und Gesundheit von Milchkühen (Drackley, 1999). Die negativen Folgen einer fehlenden Adaptation an die Veränderungen des Stoffwechsels und des Nährstoffbedarfes in dieser Phase können die nachfolgende Laktation stark beeinflussen (Ingvarsen and Moyes, 2013, Sordillo and Raphael, 2013, Sundrum, 2015). Aufgrund dessen bestimmt die Transitperiode den Erfolg der Laktation und letztendlich die Profitabilität der gesamten Herde (Ribeiro et al., 2018). Ein den Anforderungen einer Transitkuh optimal angepasstes Management hinsichtlich Fütterung, Stallbau, Haltung und Kuhkomfort ist für die Optimierung der Tiergesundheit und der Ökonomie der Milchproduktion von großer Wichtigkeit. Als Folge der Selektion auf hohe Milchleistung über die letzten Jahrzehnte produziert eine Kuh zehnmal mehr Milch als für die tägliche Versorgung eines Kalbes notwendig wäre (Grummer et al., 2004). Durch eine Optimierung des Managements, welches dem genetischen Potential der heutigen Milchkuh gerecht wird, können

Stoffwechselstörungen, Gesundheitsprobleme und damit verbundene ökonomische Verluste minimiert werden (Dann, 2017, Jones and Kammel, 2017).

2.2 Metabolische Stoffwechselstörungen in der Transitperiode

Von größter Bedeutung sind die physiologischen Mechanismen für die Aufrechterhaltung der Homöostase des Calcium- und Energiestoffwechsels. Calcium ist für die Funktion von Muskeln und Nerven, während der Transitphase auch für die Kolostragenese und die Uteruskontraktionen während der Geburt essentiell (Bell, 1995). Diese Prozesse bedeuten für das Muttertier einen großen Verlust an Calcium nach der Geburt. Mit Beginn der Laktation kann der Calciumverlust über die Milch 50 g/Tag/Kuh überschreiten, wobei der Calciumbedarf einer tragenden, nicht-laktierenden Milchkuh nur annähernd 30 g pro Tag beträgt (DeGaris and Lean, 2008). Dieser plötzlich ansteigende Calciumbedarf tritt in Zeiten einer verminderten TM-Aufnahme auf (Ingvarsen and Andersen, 2000, Grummer et al., 2004), wodurch eine negative Calciumbilanz entsteht. Bei vielen Milchkuhen steigt der Calciumbedarf schon vor der Kalbung für die Synthese von Kolostrum deutlich an (Goff, 2014). Durch physiologische Regulationsmechanismen zur Aufrechterhaltung der Calciumhomöostase wird die Calciumresorption im Darm, die Calciummobilisation aus dem Knochen und die renale Calciumreabsorption aktiviert (Goff, 2000, DeGaris and Lean, 2008, Martín-Tereso and Martens, 2014). Eine Adaptation des Stoffwechsels zur Aufrechterhaltung der Calciumhomöostase und Steigerung der Milchleistung sind zwingend erforderlich. Die Folge einer gestörten Adaptation kann eine hypocalcämische Stoffwechsellage sein (Goff and Horst, 1997b, Goff, 2006, 2008b). Der Hypocalcämie kommt im Rahmen des peripartalen Krankheitsgeschehens eine maßgebliche Bedeutung zu.

Durch den drastisch gesteigerten Nährstoffbedarf für die einsetzende Milchproduktion und dem begrenzten Vermögen der TM-Aufnahme während der Transitperiode (Bell and Bauman, 1997, Ingvarsen and Andersen, 2000, Grummer et al., 2004) entsteht wiederum auch eine negative Energiebilanz. Das Ausmaß und die Dauer sind Folge der Selektion auf hohe Milchleistung in der Milchviehzucht (Hart et al., 1975, Brade, 2013). Eine schnelle und erfolgreiche Adaptation an die negative Energiebilanz sind für die Gesundheit und Leistung der Milchkuh von großer Wichtigkeit (Ingvarsen and Andersen, 2000).

Störungen des Calcium- oder Energiestoffwechsel während der Transitperiode prädisponieren die Milchkuh für weitere metabolische und infektiöse Erkrankungen (Goff, 2008b), wie Metritis (Martinez et al., 2012) und Mastitis (Curtis et al., 1983). Des Weiteren sind diese Stoffwechselstörungen assoziiert mit dem vermehrten Auftreten von Labmagenverlagerungen (Chapinal et al., 2011, Seifi et al., 2011), einem Rückgang der Milchleistung (Chapinal et al.,

2012b, Venjakob et al., 2018), einem erhöhten Risiko für Merzungen (Seifi et al., 2011, Roberts et al., 2012, Venjakob et al., 2018) und einer verminderten Fruchtbarkeit (Wathes et al., 2007, Martinez et al., 2012, Ribeiro et al., 2013, Caixeta et al., 2017, Venjakob et al., 2018).

2.2.1 Störungen der Adaptation an die negative Energiebilanz

Um das Missverhältnis zwischen Energieaufnahme über das Futter und dem Energieverlust über die Milch auszugleichen, findet eine Mobilisation der körpereigenen Fettreserven in Form von NEFAs und Aminosäuren statt (Bauman and Currie, 1980, Grummer et al., 2004). Diese gelangen in die Zirkulation, werden in der Leber und in anderen Organen metabolisiert und in der Milchdrüse bei der Synthese von Milchfett verstoffwechselt (Bauman and Currie, 1980). Ist das NEFA-Angebot aus der Blutzirkulation größer als die Verwertungskapazität in den Hepatozyten, führt dies zur Ketogenese und fettigen Infiltration der Leber (Herdt, 2000, LeBlanc, 2006). Ketonkörper (β -Hydroxybutyrat (BHB), Acetoacetat, Aceton) sind die transportable Form von Acetyl-Coenzym A (Acetyl-CoA), welches ein Zwischenprodukt der Fettsäure-Oxidation in der Leber darstellt (Vernon, 2005). Die Ketonkörper können von der Muskulatur als alternative Energiequelle zu Glucose genutzt werden (Herdt, 2000). Die Ketose und Leberverfettung sind Folge einer unzureichenden Adaptation an die negative Energiebilanz (Herdt, 2000).

Die Konzentrationen von NEFA und BHB sind assoziiert mit dem Auftreten peripartaler Erkrankungen, erhöhtem Risiko für Merzungen und Fruchtbarkeitsstörungen (Duffield, 2000, Duffield, 2005, LeBlanc et al., 2005, Wathes et al., 2007, Chapinal et al., 2011, Seifi et al., 2011, Roberts et al., 2012).

2.2.1.1 Ketose

Unter Ketose oder Hyperketonämie versteht man eine erhöhte Konzentration an den Ketonkörpern β -Hydroxybutyrat (BHB), Acetoacetat und Aceton (Ingvarnsen, 2006).

Die Ketose ist eine der wichtigsten Stoffwechselerkrankungen der Hochleistungskuh während der frühen Laktation. Bei dieser Störung kann zwischen einer klinischen und einer subklinischen Form differenziert werden (Duffield, 2000).

2.2.1.1.1 Inzidenz

Die Erkrankungsinzidenz der klinischen Ketose in Europa und den USA wird mit einer Variation von 2 bis 20 % angegeben (Jordan and Fourdraine, 1993, Kelton et al., 1998, Ingvarnsen et

al., 2003, Berge and Vertenten, 2014). Diese klinische Form wird meistens im ersten Laktationsmonat diagnostiziert (Ingvartsen, 2006).

Die Prävalenz der subklinischen Ketose liegt in Europa bei 21,8 %, mit einer Variation von 11,2 % bis 36,6 % (Suthar et al., 2013). Die Milchkühe erkranken vorrangig in den ersten beiden Wochen nach dem Partus (Duffield et al., 1998), mit einem Höhepunkt der Prävalenz an Tag 2 bis 15 p.p. (Suthar et al., 2013) bzw. an Tag 5 p.p. (McArt et al., 2012, McArt et al., 2013).

2.2.1.1.2 Pathophysiologie der hepatogene Ketogenese

Die Ketose ist eine Folge von einer unzureichenden Adaptation an die negative Energiebilanz. In der Früh-laktation gehen enorme Mengen an Glucose für die Synthese von Laktose verloren (Drackley, 2004). Um diese Hypoglykämie auszugleichen, findet in der Leber eine Steigerung der Gluconeogenese statt. Dadurch wird dem Citratzyklus vermehrt Oxalacetat entzogen, welches dann den aus dem Fettstoffwechsel anfallenden C2-Bruchstücken Acetyl-CoA als Reaktionspartner fehlt. Als Folge der Hypoglykämie sinkt die Insulinkonzentration im Blut und die Lipolyse wird weiterhin begünstigt (Baird, 1982). Die aus dem Blut angefluteten NEFA werden in den Hepatozyten entweder zu Triacylglyceriden (TAG) reverestert oder im Rahmen der β -Oxidation zu Acetyl-CoA abgebaut (Zammit, 1990, Vernon, 2005). Die in großer Menge anfallenden Moleküle Acetyl-CoA werden zu den Ketonkörpern BHB, Acetoacetat und Aceton umgewandelt, welche anschließend in die Blutzirkulation entlassen werden. Die Ketonkörper stellen somit Zwischenprodukte einer unvollständigen Oxidation von Fettsäuren im Rahmen der β -Oxidation in den Mitochondrien der Hepatozyten dar (Vernon, 2005). Es kommt zu einem großen Anstieg der Ketonkörperkonzentration im Blut.

Folglich stellt die unzureichende Gluconeogenese in der Leber, welche den deutlich ansteigenden Glukosebedarf für die Milchproduktion nicht decken kann, eine Ursache für das Auftreten der Ketose dar. Eine weitere mögliche Ursache für die Stoffwechselstörung ist ein insuffizienter Rückkopplungsmechanismus der Freisetzung von NEFAs aus dem Fettgewebe (Herdt, 2000). Die Ketonkörper können in Zeiten eines Glukosemangels von der Skelettmuskulatur, dem Herzmuskel, der Niere, dem Magen-Darm-Trakt und von der Milchdrüse als Energiequelle genutzt werden. Das zentrale Nervensystem von Wiederkäuern kann die Ketonkörper jedoch nicht verstoffwechseln, hohe Konzentrationen an Ketonkörpern schädigen sogar die Nervenzellen (Heitmann et al., 1987).

2.2.1.1.3 Risikofaktoren

Als die wesentlichen Risikofaktoren der bovinen Ketose sind die Laktationszahl, die Körperkondition, das Herdenmanagement und vorausgegangene Erkrankungen zu nennen (Gröhn et al., 1989, Duffield, 2000, Ingvarlsen, 2006). Dem Herdenmanagement wird eine große Wichtigkeit zugeschrieben. Ein an das genetische Potential der heutigen Milchkuh optimal angepasstes Management ist von großer Bedeutung. Hohe Milchleistung in Verbindung mit einem angemessenen Management prädisponiert die Milchkuh nicht für die Ketose. So weisen Milchviehbetriebe mit einer mittleren Herdenmilchleistung von 6000 bis 6500 kg/Jahr eine höhere Ketoseprävalenz auf als Betriebe mit höheren Leistungen (Staufenbiel, 2001).

Es gibt Vermutungen über einen Zusammenhang zwischen Hypocalcämie und Ketose (Curtis et al., 1983). Es besteht eine Verbindung zwischen der Höhe der extrazellulären Calciumkonzentration und der Stimulation der Gluconeogenese in den Hepatozyten (Koike et al., 1992). Des Weiteren wird die Sekretion von Insulin durch eine hypocalcämische Stoffwechsellage negativ beeinflusst (Goff and Horst, 1997b). Es wurden außerdem bei Kühen mit erniedrigter Calciumkonzentration im Blut erhöhte Konzentrationen an BHB nachgewiesen (Martinez et al., 2012, Rodríguez et al., 2017). So besitzen Kühe mit einer subklinischen Hypocalcämie (Calciumkonzentration < 2,14 mmol/L im Serum, 24 bis 48 Stunden p.p.) ein 5,5fach erhöhtes Ketoserisiko (Rodríguez et al., 2017). Chamberlin et al. (2013) konnten zeigen, dass Kühe mit einer hypocalcämischen Stoffwechsellage (ionisiertes Calcium < 1,0 mmol/L am ersten Tag p.p.) erhöhte NEFA-Konzentrationen im Blut und erhöhte Leberfettgehalte aufweisen. Es bleibt jedoch fraglich, ob die niedrige Calciumkonzentration im Serum eine Folge einer inadäquaten TM-Aufnahme der Kühe, welche an Ketose erkranken, (Jawor et al., 2012) oder eine Ursache der Ketose darstellt. Verschiedene Untersuchungen deuten darauf hin, dass eine hypocalcämische Stoffwechsellage in einer verringerten TM-Aufnahme sowie Pansenmotilität resultiert (Martinez et al., 2014, Amanlou et al., 2016).

2.2.1.2 Lipomobilisationssyndrom

Die Aufnahme der NEFAs in die Hepatozyten unterliegt keiner Regulation, sondern ist abhängig von der Konzentration im Blut (Grummer, 1993, Drackley et al., 2001). Im Zeitraum um die Kalbung herum ist eine gewisse fettige Infiltration der Leberzellen physiologisch und reversibel (Ingvarlsen, 2006). Durch die in Zeiten der negativen Energiebilanz exzessive Mobilisation von körpereigenen Fettreserven steigt die Konzentration von NEFA im Blut rapide an (Bauman and Currie, 1980, Grummer, 1993). Überschreitet dieses NEFA-Angebot die Verwertungs Kapazitäten der NEFA in den Hepatozyten, kommt es neben der Ketogenese zur

Fetteinlagerung in den Hepatozyten (Herdt, 2000). Die aus den NEFA synthetisierten Triacylglyceride (TAG) werden durch very low density lipoprotein (VLDL) aus der Leber in die Zirkulation entlassen. Dieser Export ist bei Wiederkäuern nur langsam und deshalb eine Hauptursache für die Entstehung der Fettleber. Vor allem überkonditionierte Kühe zeigen zur Kalbung eine stärkere Depression der TM-Aufnahme und folglich eine größere negative Energiebilanz als Kühe mit einer angepassten Körperkondition. Aufgrund dessen weisen überkonditionierte Kühe eine stark überschießende Lipolyse und folglich erhöhte Leberfettgehalte auf (Grummer, 1993, Rukkamsuk et al., 1999). Deshalb ist das Lipomobilisationssyndrom auch als Fettlebersyndrom oder „Fat Cow Syndrom“ bekannt (Gruffat et al., 1996). Eine Akkumulation freier Fettsäuren in Form von TAGs ist mit einer verringerten Stoffwechselfunktion der Leber (Grummer, 1993, Drackley, 1999) sowie mit einer supprimierten Immunantwort assoziiert (Wensing et al., 1997). Dadurch ist das Risiko für nachfolgende infektiöse oder metabolische Erkrankung erhöht (Wensing et al., 1997, Rukkamsuk et al., 1999, Bobe et al., 2004). Des Weiteren gehen erhöhte Leberfettgehalte mit einer verminderten Fruchtbarkeit einher (Wensing et al., 1997, Jorritsma et al., 2000, Bobe et al., 2004).

2.2.2 Peripartale Hypocalcämie

Die Hypocalcämie stellt eine bedeutende Stoffwechselerkrankung der Milchkuh dar, welche ernste Folgen für die Gesundheit und Leistung der Milchkuh haben kann und in schweren Fällen auch lebensbedrohlich für das Tier sein kann (Oetzel, 1988). Die Hypocalcämie ist die Folge einer gestörten Adaptation der physiologischen Regulationsmechanismen zur Aufrechterhaltung der Homöostase an den Calciumverlust mit Einsetzen der Laktation (Goff and Horst, 1997b, Goff, 2006, 2008b). Kann durch die gesteigerte Calciumresorption im Darm, aktivierte Calciummobilisation aus dem Knochen und vermehrte renale Calciumreabsorption der Calciumverlust über das Kolostrum und die Milch nicht gedeckt werden und somit die Calciumkonzentration im Blut nicht normalisiert werden, entsteht eine hypocalcämische Stoffwechsellaage (Goff, 2000, DeGaris and Lean, 2008).

Physiologisch sollte bei einer adulten Milchkuh die Serumkonzentration von Calcium über 2,0 mmol/L liegen (Martín-Tereso and Martens, 2014). Folglich ist die peripartale Hypocalcämie definiert durch eine Calciumkonzentration im Blut $< 2,0$ mmol/L (Oetzel, 2004, Cook et al., 2006b, DeGaris and Lean, 2008, Reinhardt et al., 2011, Venjakob et al., 2017).

Ein Calciummangel im Blut führt zu einer eingeschränkten Nerven- und Muskelfunktion (Oetzel, 1988, Murray et al., 2008) und kann in der Folge auch in Störungen des Sensoriums resultieren (Oetzel, 1988). Es wird zwischen der klinisch manifesten Hypocalcämie, gekennzeichnet durch Serumcalciumkonzentrationen $< 2,0$ mmol/L verbunden mit klinischen

Symptomen eines Calciummangels (Venjakob et al., 2017), und der subklinischen Hypocalcämie, gekennzeichnet durch Serumcalciumkonzentrationen $< 2,0$ mmol/L in Abwesenheit klinischer Symptome, unterschieden (DeGaris and Lean, 2008, Reinhardt et al., 2011, Venjakob et al., 2017). Nach DeGaris and Lean (2008) ist die klinische Hypocalcämie definiert durch eine Konzentration von Calcium im Serum unter 1,4 mmol/L. Für die klinisch manifeste Hypocalcämie sind noch andere Bezeichnungen wie Gebärpause, Gebärlähmung, Gebärkoma, puerperales Festliegen, Paresis puerperalis sowie Milch- oder Kalbefieber, gebräuchlich.

Fast jede Milchkuh zeigt unter physiologischen Bedingungen aufgrund des plötzlichen Calciumdefizits eine Erniedrigung der Calciumkonzentration im Blut, welche im Normalfall jedoch durch Einsetzen der Regulation des Calciumhaushaltes in den ersten Tagen der Laktation wieder normalisiert wird (Horst et al., 1994, DeGaris and Lean, 2008, Martín-Tereso and Martens, 2014, McArt and Neves, 2020). Von großer Wichtigkeit ist die Dauer der Hypocalcämie, welche das Risiko für weitere Erkrankungen erhöht und die Milchleistung negativ beeinflussen kann (Caixeta et al., 2017, Neves et al., 2018a). McArt and Neves (2020) konnten zeigen, dass Kühe mit einer transienten subklinischen Hypocalcämie eine gute Adaptation des Calciumhaushaltes aufweisen (**Tabelle 1**). In der Folge haben diese Kühe weniger Erkrankungen, ein geringeres Risiko für das frühzeitige Ausscheiden aus der Herde und geben durchschnittlich in den ersten 10 Laktationswochen mehr Milch als normocalcämische Kühe oder Kühe mit einer persistenten oder verzögerten subklinischen Hypocalcämie (McArt and Neves, 2020). Die Klassifizierung der subklinischen Hypocalcämie anhand der Calciumkonzentration im Serum nach McArt and Neves (2020) ist in **Tabelle 1** dargestellt.

Tabelle 1. Klassifizierung der subklinischen Hypocalcämie (SCH) anhand der Konzentration von Calcium im Serum an Tag 1 und 2 p.p. bei Färsen und an Tag 1 und 4 p.p. bei Kühen (McArt and Neves, 2020).

Art der Calcämie	Serumcalciumkonzentrationen in mmol/L	
	Erstlaktierende	Mehrkalbskühe
Normocalcämie	>2,15 mmol/L an Tag 1 + 2 in Laktation	>1,77 mmol/L an Tag 1 + >2,2 mmol/L an Tag 4 in Laktation
Transiente SCH	≤2,15 mmol/L an Tag 1 + >2,15 mmol/L an Tag 2 in Laktation	≤1,77 mmol/L an Tag 1 + >2,2 mmol/L an Tag 4 in Laktation
Persistente SCH	≤2,15 mmol/L an Tag 1 + Tag 2 in Laktation	≤1,77 mmol/L an Tag 1 + ≤2,2 mmol/L an Tag 4 in Laktation
Verzögerte SCH	>2,15 mmol/L an Tag 1 + ≤2,15 mmol/L an Tag 2 in Laktation	>1,77 mmol/L an Tag 1 + ≤2,2 mmol/L an Tag 4 in Laktation

Die peripartale Hypocalcämie stellt einen Risikofaktor für viele bedeutende Erkrankungen der Milchkuh wie Nachgeburtsverhaltung, Uterusprolaps, Mastitis, Ketose und Labmagenverlagerung dar (Curtis et al., 1983, DeGaris and Lean, 2008, Goff, 2008b, Martinez et al., 2012). Zudem ist die Stoffwechselstörung mit einer verminderten Fruchtbarkeit (Martinez et al., 2012, Ribeiro et al., 2013, Caixeta et al., 2017, Rodríguez et al., 2017, Venjakob et al., 2018) und einem erhöhten Risiko für Merzungen (Seifi et al., 2011, Roberts et al., 2012, Wilhelm et al., 2017, Venjakob et al., 2018) verbunden.

Die in der Literatur angegebenen Grenzwerte der subklinischen Hypocalcämie reichen von 1,88 bis 2,35 mmol/L (Serrenho et al., 2021).

2.2.2.1 Inzidenz

In Europa liegt die Inzidenz der klinischen Hypocalcämie bei 6,17 % (0 – 10 %) (DeGaris et al., 2008). In einer 2016 durchgeführten Studie lag die Prävalenz der subklinischen Hypocalcämie in Deutschland bei 40,7 % und die Prävalenz klinischer Hypocalcämie bei 7,2 % (Venjakob et al., 2017). Das Risiko für das Auftreten der Hypocalcämie ist in dem Zeitraum von 48 Stunden nach der Abkalbung am größten (Megahed et al., 2018). Der Abfall der Calciumkonzentration im Blut beginnt mindestens 9 Stunden vor dem Partus und erreicht im

Durchschnitt 24 bis 48 Stunden nach dem Partus seinen Tiefpunkt (Oetzel, 2004, Martinez et al., 2012, Oetzel, 2013, Megahed et al., 2018). In der Studie von Venjakob et al. (2019) wurde bei 2.584 Mehrkalbskühen und 1.053 Erstlaktierenden direkt zur Kalbung (Tag 0), innerhalb 24 Stunden nach der Kalbung (Tag 1) und innerhalb 48 bis 72 Stunden nach der Kalbung (Tag 3) die Calciumkonzentration im Blut gemessen. Es konnte gezeigt werden, dass die Calciumkonzentration 24 Stunden und 72 Stunden nach der Kalbung ihren niedrigsten Wert im Blut erreichte.

2.2.2.2 Pathophysiologie

Die Calciumhomöostase wird durch die Hormone Calcitonin, Parathormon (PTH) und 1,25-(OH)₂-Vitamin D₃ (Calcitriol) reguliert. Die Sekretion von Calcitonin wird durch eine erhöhte Calciumkonzentration im Blut aktiviert. Die physiologischen Mechanismen zur Aufrechterhaltung der Calciumhomöostase werden hauptsächlich durch die Nebenschilddrüse kontrolliert, welche als Antwort auf eine erniedrigte Calciumkonzentration im Blut das Parathormon sezerniert. Das Parathormon (PTH) hat 3 Hauptfunktionen zur Erhöhung des Calciumspiegels. Die Zielzellen von PTH sind die Epithelzellen der Nierentubuli, vor allem die des proximalen Tubulus, die Osteoblasten und die Osteozyten. Eine direkte Wirkung von PTH bei Monogastrier ist die Regulierung der Reabsorption von Calcium in der Niere. Jedoch scheint dieser Mechanismus bei Wiederkäuern keine bedeutende Rolle zu spielen (Herm et al., 2015). PTH aktiviert zusätzlich die Hydroxylierung von 25-OH zu 1,25-(OH)₂-Vitamin D₃ (DeGaris and Lean, 2008, Goff, 2014). Diese aktivierte Form von Vitamin D erhöht die Calciumresorption im Darm. Bei nicht nachlassendem PTH-Signal hat 1,25-(OH)₂-Vitamin D₃ (Calcitriol) auch eine direkte Wirkung auf die Calciummobilisation im Knochen (Martín-Tereso and Martens, 2014). Der Knochenkatabolismus im Rahmen der Calciumhomöostase spielt bei einer unzureichenden Calciumabsorption im Darm eine Rolle (Erben, 2001).

Die dritte Funktion von PTH ist die direkte Mobilisation von Calcium aus dem Knochen durch Aktivierung von Osteoklasten (Goff, 2014).

Die physiologische Calciumkonzentration im Blut beträgt 2,1 – 2,5 mmol/L. Dies entspricht bei einer 600 kg schweren Kuh einem Gesamtplasmagehalt von 3 – 3,5 g Calcium. Eine Milchkuh benötigt für die Synthese von Kolostrum (1,7 – 2,3 g Calcium/kg) 20 – 30 g Calcium. Diese Calciummenge reicht ebenfalls für die Produktion von bis zu 28 kg Milch/Tag (1,1g/kg Milch) (Goff, 2000). Der tägliche Calciumverlust über die Milch kann jedoch bei entsprechender Milchleistung 50 g pro Tag überschreiten (DeGaris and Lean, 2008). Bei vielen Milchkühen steigt der Calciumbedarf schon vor der Kalbung für die Synthese von Kolostrum deutlich an (Goff, 2014). Eine gestörte Adaptation der physiologischen Regulationsmechanismen zur Aufrechterhaltung der Calciumhomöostase ist die Ursache für die Entstehung einer

subklinischen oder klinisch manifesten Hypocalcämie. Die Reabsorption von Calcium in der Niere setzt durch ein positives PTH-Signal schnell ein, jedoch können durch diesen Mechanismus keine großen Calciumdefizite korrigiert werden. Eine Calciumabsorption aus dem Darm findet verstärkt jedoch erst Tage nach dem 1,25-(OH)₂-Vitamin D₃ – Signal statt (DeGaris and Lean, 2008, Martín-Tereso and Martens, 2014). Es gibt Beweise dafür, dass die Aktivierung der intestinalen Absorption mehr als 2 Tage dauern kann (Martín-Tereso et al., 2010, Martín-Tereso et al., 2011). Auch im Knochen setzt die Mobilisation von Calcium aufgrund von Zelldifferenzierungen erst 48 Stunden nach der PTH-Stimulation ein (Goff et al., 1986). Somit erreichen die gastrointestinale Calciumabsorption und die Mobilisation von Calcium aus dem Knochen erst nach 2 Tagen ihre vollständige Effektivität, um die Calciumdefizite zu decken und die Konzentration von Calcium im Blut zu normalisieren. Dies sind die Gründe dafür, warum fast jede Milchkuh im Übergang von der Trächtigkeit zur Laktation eine transiente Hypocalcämie entwickelt, welche im Normalfall in den ersten Tagen der Laktation durch die physiologischen Regulationsmechanismen der Calciumhomöostase wieder korrigiert wird. Ist die Adaptation des Calciumhaushaltes erfolgreich, kann schließlich der hohe Calciumbedarf für die weiter ansteigende Milchleistung durch eine effiziente Calciumabsorption aus dem Darm und Calciummobilisation aus dem Knochen gedeckt werden (Goff, 2000, Martín-Tereso and Martens, 2014).

Laut Goff (2006) wird die Calciumhomöostase auf zellulärer Ebene von folgenden Faktoren beeinträchtigt:

- Metabolische Alkalose
- Hypomagnesiämie
- Hyperphosphatämie

Metabolisch Alkalose

Kühe mit einer metabolischen Alkalose sind prädisponiert für eine subklinische und klinische Hypocalcämie (Craigie and Stoll, 1947). Eine metabolische Alkalose schränkt die Antwort der Kuh auf ein PTH-Signal ein (Gaynor et al., 1989, Goff et al., 1991). Während einer alkalischen Stoffwechsellage ist die PTH-Rezeptorsensitivität stark verringert (Horst et al., 1997). Durch eine verminderte PTH-Aktivität wird die Hydroxylierung von 25-Hydroxycholecalciferol zum stoffwechselaktiven 1,25-(OH)₂- Vitamin D₃ nicht aktiviert. In Folge der geringen Menge an 1,25-(OH)₂- Vitamin D₃ kommt es nicht zu einer Steigerung der Calciumabsorption im Intestinaltrakt. Die physiologischen Regulationsmechanismen setzen nicht ein und die Calciumhomöostase kann nicht aufrechterhalten werden (Goff, 2006).

Eine metabolische Alkalose wird vor allem durch hohe Kaliumgehalte im Futter ausgelöst (Goff and Horst, 1997a, Goff, 2006, Constable et al., 2010).

Hypomagnesiämie

In Folge einer Hypomagnesiämie ist die PTH-Sekretion als Antwort auf eine Erniedrigung der Calciumkonzentration im Blut und schließlich auch die Synthese von 1,25-(OH)₂-Vitamin D₃ stark vermindert. Eine weitere Folge ist die verminderte Sensitivität des Gewebes, vor allem Knochen und Niere, auf ein PTH-Signal (Rude et al., 1978, Sansom et al., 1983, Goff, 2000). Durch die Bindung von PTH an seinen Rezeptor werden Second-Messenger produziert, welche für ihre vollständige Aktivität Magnesium als Co-Faktor benötigen (Goff, 2000). Folglich zeigen Kühe mit einer hypomagnesiämischen Stoffwechsellage eine reduzierte Calciummobilisation (Contreras et al., 1982, Van de Braak et al., 1987).

Hyperphosphatämie

Die Aktivität des renalen Enzyms, welches die Reaktion von 25-Hydroxycholecalciferol zum stoffwechselaktiven 1,25-(OH)₂- Vitamin D₃ katalysiert, wird durch Phosphorkonzentrationen im Blut > 2,0 mmol/L (Normalwert) direkt gehemmt. Obwohl die Sekretion von PTH stattfindet und die Zielgewebe sensibel gegenüber einem PTH-Signal sind, findet folglich die Produktion von 1,25-(OH)₂-Vitamin D₃ nicht statt und damit auch keine Aktivierung der Calciumabsorption im Darm. Demnach kann die Kuh eine stark beeinträchtigte Calciumhomöostase aufweisen (Barton, 1978, Kichura et al., 1982, Goff, 2006).

2.2.2.3 Risikofaktoren

Die wichtigsten Risikofaktoren der Hypocalcämie sind zum einen Kuh-assoziert und zum anderen fütterungsbedingt (Houe et al., 2001).

Kuh-assozierte Faktoren

Die Inzidenz von Milchfieber ist bei Kühen der Rasse Jersey höher als bei der Rasse Holstein Friesian (Lean et al., 2006).

Für ältere Kühe ist die Aufrechterhaltung der Calciumhomöostase eine größere Herausforderung als für jüngere Kühe (Goff, 2014). Mit zunehmender Laktationszahl steigt die Milchfieber-Prävalenz (Goff and Horst, 1997a, Reinhardt et al., 2011, Goff, 2014, Venjakob et al., 2017). Das Risiko für das Auftreten einer klinischen Hypocalcämie liegt während der ersten Laktation bei < 1 % und steigt für Mehrkalbskühe auf 4 bis 10 % an (Reinhardt et al., 2011, Caixeta et al., 2015, Venjakob et al., 2017). Ein Grund dafür ist, dass mit steigendem Alter der Kuh die Anzahl an 1,25-(OH)₂-Vitamin D₃-Rezeptoren im Darm abnimmt (Horst et al., 1990). Die Osteoklasten müssen bei Färsen nicht erst rekrutiert werden, sondern sind bei einem sich im Wachstum befindenden Tier bereits vorhanden und müssen nur durch PTH aktiviert werden. Mit zunehmendem Alter ist die Anzahl an aktivierten Osteoblasten als auch

Osteoklasten reduziert und folglich findet auch eine verringerte Calciummobilisation aus dem Knochen statt (Goff, 2014). Des Weiteren nimmt auch die Anzahl der PTH-Rezeptoren in der Niere mit steigendem Alter ab (Hanai et al., 1990). Auch die Fähigkeit für die Magnesiumabsorption nimmt mit steigendem Alter ab (Van Mosel et al., 1991). Ältere Kühe produzieren größere Mengen an Kolostrum und erfahren somit einen größeren Verlust an Calcium. Die hinzukommende eingeschränkere intestinale Calciumabsorption sowie Calciummobilisation aus dem Knochen könnte die multiparen im Vergleich zu den primiparen Kühen für das Auftreten einer Hypocalcämie begünstigen (DeGaris and Lean, 2008, Santos, 2018).

Überkonditionierte Kühe haben ein erhöhtes Erkrankungsrisiko für die subklinische und klinische Hypocalcämie (Heuer et al., 1999, Houe et al., 2001, Mulligan et al., 2006, Mulligan et al., 2008, Mulligan and Doherty, 2008, Roche et al., 2013). Kühe, welche einen Body-Condition-Score (BCS) >3,5 (auf einer 5-Punkte-Skala; 1=kachektisch und 5=fettleibig) zur Kalbung aufweisen, haben ein um 30 % erhöhtes Risiko, an einer klinischen Hypocalcämie zu erkranken als Kühe mit einem BCS von 3,0 zur Kalbung (Roche et al., 2013). Überkonditionierte Kühe haben sowohl antepartal (letzte Woche vor der Kalbung) also auch postpartal (ersten Wochen nach der Kalbung) eine geringere TM-Aufnahme. Des Weiteren haben solche Tiere, unterstützt durch den Abbau der Körperreserven, eine gesteigerte Milchleistung und folglich einen größeren Calciumverlust über die Milch. Die verringerte TM-Aufnahme und gesteigerte Milchleistung werden als Ursache für das erhöhte Erkrankungsrisiko vermutet (Roche et al., 2005, Mulligan et al., 2006, Roche et al., 2007b, Roche et al., 2009).

Studienergebnisse deuten darauf hin, dass eine Assoziation zwischen Hochleistungskühen und einer steigenden Inzidenz für diese Stoffwechselerkrankung existiert (Payne, 1977).

Fütterungsbedingte Faktoren

Durch die Reduzierung der DCAD (Dietary-Cation-Anion-Difference) in der Futtermischung vor der Kalbung kann die Aufrechterhaltung der Calciumhomöostase zu Beginn der Laktation verbessert werden (Ender et al., 1971, Dishington, 1975) und folglich die Inzidenz der Hypocalcämie verringert werden. Block (1984) konnte zeigen, dass die Inzidenz von Milchfieber für Kühe drastisch ansteigt, wenn sich die Futtermischungen lediglich in dem Gehalt an Chlorid, Schwefel und Natrium unterscheiden. Hohe Gehalte an Kalium im Futter verursachen eine Hypocalcämie, da Kationen eine metabolische Alkalose bewirken, welche die Calciumhomöostase stark beeinträchtigt (Goff and Horst, 1997a).

Eine unzureichende Versorgung mit Magnesium über das Futter führt zu einer Hypomagnesiämie, welche einen der Hauptrisikofaktoren für die Hypocalcämie darstellt (Van Mosel et al., 1991, DeGaris and Lean, 2008).

Die antepartale Fütterung einer Ration mit einem geringen Gehalt an Calcium verringert das Risiko für das Auftreten von Milchfieber (Boda and Cole, 1954, Goings et al., 1974). Wenn die Calciumversorgung über das Futter nicht den Calciumbedarf der Kuh deckt, entsteht eine negative Calciumbilanz. Dies führt zu einem Abfall des Calciumspiegels im Blut, wodurch die Sekretion von PTH aktiviert wird. Durch eine verlängerte Phase erhöhter PTH-Konzentration im Blut werden die Absorptionsmechanismen im Knochen und die renale Produktion von 1,25-(OH)₂-Vitamin D₃ aktiviert. Diese Stimulation steigert die Calciummobilisation aus dem Knochen und bereitet den Darm auf eine effiziente Calciumabsorption vor (Goings et al., 1974, Goff, 2000, Goff, 2014). So wird der Calciumstoffwechsel schon vor dem Beginn der Laktation aktiviert und die physiologischen Regulationsmechanismen zur Aufrechterhaltung der Calciumhomöostase ausgelöst, wodurch der deutlich ansteigende Calciumbedarf zur Kalbung besser kontrolliert werden kann (Martín-Tereso and Martens, 2014).

Hohe Phosphorkonzentrationen im Futter beeinträchtigen die Calciumhomöostase und steigern folglich das Risiko von Milchfieber (Barton, 1978, Kichura et al., 1982, DeGaris and Lean, 2008). Die Verfütterung einer phosphorarmen Ration während der Spätträchtigkeit hat positive Effekte auf die Calciumhomöostase. Es konnte eine Steigerung der Calciummobilisation aus dem Knochen und folglich der Calciumkonzentration im Blut um die Kalbung beobachtet werden (Cohrs et al., 2018).

2.2.2.4 Folgeerkrankungen

Eine hypocalcämische Stoffwechsellage prädisponiert die Milchkuh für metabolische und infektiöse Erkrankungen in der Früh-laktation (Goff, 2008b), wie Nachgeburtsverhaltung (Curtis et al., 1983, Melendez et al., 2004, Rodríguez et al., 2017, Wilhelm et al., 2017), akute puerperale Metritis (Curtis et al., 1983, Martinez et al., 2012, Rodríguez et al., 2017, Wilhelm et al., 2017, Venjakob et al., 2019), Mastitis (Curtis et al., 1983), Ketose (Curtis et al., 1983, Gröhn et al., 1989, Rodríguez et al., 2017) und Labmagenverlagerung (Curtis et al., 1983, Gröhn et al., 1989, Chapinal et al., 2011, Seifi et al., 2011, Rodríguez et al., 2017).

Eine erniedrigte Konzentration von Calcium im Blut führt zu einer eingeschränkten Funktionalität und verringerten Anzahl der neutrophilen Granulozyten und folglich zu einer Suppression des Immunsystems (Kimura et al., 2006, Martinez et al., 2012, Martín-Tereso and Martens, 2014). Dies könnte eine mögliche Ursache für die erhöhte Infektionsanfälligkeit sein. Kühe, welche an einer akuten puerperalen Metritis erkrankt sind, weisen eine schwerere und länger andauernde Hypocalcämie auf als gesunde Kühe (Martinez et al., 2012). In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass eine bei gesunden Kühen induzierte Hypocalcämie eine verringerte TM-Aufnahme und eine Beeinträchtigung des Immunsystems verursacht (Martinez et al., 2014). Wiederum führt eine Infusion von Lipopolysacchariden, was

die Antwort eines vollständig funktionsfähigem Immunsystem erfordert, zu einem Abfall der Calciumkonzentration im Serum (Waldron et al., 2003, Kvidera et al., 2017). Aufgrund dessen bleibt weiterhin unklar, ob die Hypocalcämie eine Ursache oder eine Begleiterscheinung von infektiösen Erkrankungen ist (Venjakob et al., 2021). Venjakob et al. (2021) konnten zeigen, dass bei Erstlaktierenden eine verzögerte Hypocalcämie (an Tag 3 und 7 p.p.) und bei Mehrkalbskühen eine hypocalcämische Stoffwechsellage an Tag 1 und 3 p.p. mit dem Auftreten von Erkrankungen innerhalb der ersten 30 Tage in Milch assoziiert ist.

Des Weiteren zeigen hypocalcämische Kühe erhöhte Konzentrationen an NEFA und BHB im Blut und somit eine vermehrte Mobilisation von körpereigenen Fettreserven (Martinez et al., 2012, Chamberlin et al., 2013, Rodríguez et al., 2017). So besitzen Kühe mit einer subklinischen Hypocalcämie (Konzentration von Calcium $< 2,14$ mmol/L im Serum, 24 bis 48 Stunden p.p.) ein 5,5fach erhöhtes Ketoserisiko (Rodríguez et al., 2017). Chamberlin et al. (2013) konnten zeigen, dass Kühe mit einer hypocalcämischen Stoffwechsellage (ionisiertes Calcium $< 1,0$ mmol/L am ersten Tag p.p.) erhöhte NEFA-Konzentrationen im Blut und erhöhte Leberfettgehalte aufweisen. Diese negativen Effekte können zum Beispiel das Risiko für das Auftreten von Labmagenverlagerungen (Chapinal et al., 2011, Seifi et al., 2011, Rodríguez et al., 2017) und für einen enormen Gewichtsverlust in der Frühaktation (Caixeta et al., 2015) erhöhen. Eine weitere mögliche Ursache für das vermehrte Auftreten von Labmagenverlagerungen bei hypocalcämischen Kühen ist eine verringerte gastrointestinale Motilität (Daniel, 1983) und folglich eine reduzierte Ruminationsleistung (Martinez et al., 2014, Goff et al., 2020). Zudem wurden Untersuchungen durchgeführt, welche andeuten, dass eine hypocalcämische Stoffwechsellage zu einer verringerten TM-Aufnahme führt (Martinez et al., 2014, Amanlou et al., 2016). Andererseits könnte die niedrige Konzentration von Calcium im Serum eine Folge einer inadäquaten TM-Aufnahme der Kühe, welche an Ketose erkranken, darstellen (Jawor et al., 2012). Es bleibt weiterhin fraglich, ob die hypocalcämische Stoffwechsellage eine Ursache oder Folge der Ketose ist (Venjakob et al., 2021).

Außerdem ist die Hypocalcämie mit einer verminderten Fruchtbarkeit (Martinez et al., 2012, Ribeiro et al., 2013, Caixeta et al., 2017, Rodríguez et al., 2017, Venjakob et al., 2018) und einem erhöhten Risiko für Merzungen innerhalb von 60 Tage p.p. assoziiert (Seifi et al., 2011, Roberts et al., 2012, Venjakob et al., 2018).

Die klinische Hypocalcämie resultiert in einem Rückgang der Milchleistung (Rajala-Schultz et al., 1999a, Venjakob et al., 2018).

Über die Beziehung zwischen subklinischer Hypocalcämie und der Höhe der Milchleistung gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben. Zum einen gibt es Belege, dass Tiere, welche in der ersten, zweiten und dritten Woche nach der Kalbung eine Hypocalcämie aufweisen, weniger Milch produzieren (Chapinal et al., 2012a). Zudem konnte ein Zusammenhang zwischen der antepartalen Serumcalciumkonzentration und der Milchleistung nachgewiesen

werden. Folglich spekulierten die Autoren aufgrund des langen Risikozeitraums, dass der beobachtete Calciummangel vielmehr ein Indikator für eine inadäquate TM-Aufnahme als für eine metabolische Stoffwechselstörung ist. Diese Annahme wird auch durch Pinedo et al. (2017) unterstützt, welche vermuteten, dass die Hypocalcämie durch eine verminderte TM-Aufnahme, bevor postpartale klinische Erkrankungen in Erscheinung treten, verursacht werden könnte. Zum anderen gibt es auch Studien, die zeigen konnten, dass Kühe mit einer hypocalcämischen Stoffwechsellage zeitnah nach der Kalbung (24 bis 48 Stunden) mehr Milch während der Früh-laktation produzieren (Jawor et al., 2012, Gild et al., 2015, Neves et al., 2018a, Neves et al., 2018b, Venjakob et al., 2018). Zwei weitere Studie konnten keine Assoziation zwischen der Hypocalcämie und der Milchleistung finden (Østergaard and Larsen, 2000, Martinez et al., 2012). Eine transiente und frühe postpartale Hypocalcämie hat keinen negativen Effekt auf die Milchleistung, sondern ist vielmehr mit einer gesteigerten Milchleistung assoziiert (Jawor et al., 2012, Gild et al., 2015, Neves et al., 2018a, Venjakob et al., 2018, McArt and Neves, 2020).

2.2.2.5 Prophylaxe

Eine Adaptation des Calciumstoffwechsels schon vor dem Beginn der Laktation kann das Ausmaß der Hypocalcämie zur Kalbung verringern (Martín-Tereso and Martens, 2014). Werden die physiologischen Regulationsmechanismen schon während der Trockenstehperiode aktiviert, weisen sie zum Zeitpunkt der Kalbung ihre volle Effektivität auf (DeGaris and Lean, 2008, Goff, 2014, Martín-Tereso and Martens, 2014).

Venjakob et al. (2017) konnte zeigen, dass in Deutschland im Jahr 2016 nur in 50 von 115 Betrieben Prophylaxemaßnahmen gegen Hypocalcämie durchgeführt wurden. Davon war in 40 Betrieben die orale Calciumsupplementierung zur Kalbung etabliert und in 10 Betrieben wurde den Vorbereiterkühen und hochtragenden Färsen eine Anionenration gefüttert.

2.2.2.5.1 Fütterung einer calciumarmen Ration

Die Fütterung einer calciumarmen Ration während der Spätträchtigkeit kann das Auftreten der klinischen Hypocalcämie verhindern (Goings et al., 1974, Green et al., 1981, Kichura et al., 1982, Block, 1984). Der tägliche Calciumbedarf einer hochtragenden, nicht-laktierenden Milchkuh beträgt 30 g (DeGaris and Lean, 2008). Durch die Fütterung von 20 g pro Tier und Tag entsteht eine negative Calciumbilanz (Goff, 2000, Thilsing-Hansen et al., 2002b), welche zu einem Abfall der Calciumkonzentration im Blut führt. Daraufhin wird die Sekretion von Parathormon stimuliert, was wiederum zur Aktivierung der Knochenabsorption durch Osteoklasten und zur renalen Produktion von 1,25-(OH)₂-Vitamin D₃ führt. Folglich sind zum

Zeitpunkt der Kalbung die Osteoklasten aktiviert und die vorherige Aktivierung der Enterozyten durch 1,25-(OH)₂-Vitamin D₃ ermöglicht eine effiziente Nutzung des im Futter enthaltenen Calciums. Diese vorzeitige Adaptation des Calciumhaushaltes verhindert die zeitliche Verzögerung von bis zu 2 Tagen, welche die Mechanismen zur Aktivierung benötigen, und kann somit die Milchkuh vor einer verlängerten hypocalcämischen Stoffwechsellage während der ersten Tage in Laktation bewahren (Goings et al., 1974, Green et al., 1981, Kichura et al., 1982, Goff, 2000, Thilsing-Hansen et al., 2002b).

Die empfohlene Fütterung einer Vorbereiterration, welche einen geringen Energiegehalt hat, scheint schwer vereinbar mit einer calciumarmen Ration zu sein. Die gewöhnlichen Grundfuttermittel, welche in der Vorbereiterration eingesetzt werden, enthalten relativ große Mengen an Calcium. Somit stellt diese Prophylaxemaßnahme in der Praxis ein Problem dar und ist kaum zu realisieren (Goff, 2000, Thilsing-Hansen et al., 2002b, Martín-Tereso and Martens, 2014).

2.2.2.5.2 Reduzierung der Calciumverfügbarkeit im Futter

Die Reduzierung der Verfügbarkeit von Calcium im Futter hat die gleiche Wirkungsweise wie die calciumarme Fütterung. Als Calciumantagonisten finden zum Beispiel Zeolith A oder Phytinsäure in der Zufütterung Anwendung. Diese führen durch die Bindung von Calcium im Pansen zur Senkung des resorbierbaren Anteils an Calcium in der Ration (Siener et al., 2001, Thilsing-Hansen et al., 2002a, Pallesen et al., 2008)

Ein negativer Nebeneffekt der Verfütterung von Zeolith A kann eine verminderte TM-Aufnahme sein (Grabherr et al., 2008, Grabherr et al., 2009). Des Weiteren besitzt dieses Silikat einen negativen Einfluss auf den Magnesium- und Phosphorstoffwechsel, wodurch Phosphor supplementiert werden müsste. Dadurch würde sich jedoch die prophylaktische Wirkung an sich stark reduzieren (Pallesen et al., 2008).

Phytinsäure, welche in großen Mengen in Reiskleie enthalten ist, hat negative Effekte auf die Pansenphysiologie, welche jedoch durch technische Aufbereitung der Reiskleie verhindert werden können (Clark Jr et al., 1986, Martín-Tereso et al., 2009). Die Verfütterung von 2 kg fettummantelter Reiskleie in der Vorbereiterration hat einen positiven Einfluss auf die Calciumhomöostase und auf die TM-Aufnahme in den ersten Tagen nach dem Partus (Martín-Tereso et al., 2014).

2.2.2.5.3 Verabreichung von Vitamin D₃ und seinen Metaboliten

Erhöhte Gaben von Vitamin D₃ führen zu einer hohen Konzentration an 25-Hydroxycholecalciferol im Blut, welche direkt eine Steigerung der intestinalen

Calciumabsorption und ebenso eine Steigerung der Synthese von der aktiven Form des Vitamin D₃ (1,25-(OH)₂- Vitamin D₃) bewirkt. Folglich kann mithilfe einer intramuskulären Injektion von Vitamin D₃ das Risiko für eine Hypocalcämie verringert werden (Littledike and Horst, 1982, Horst et al., 2003, Goff, 2014). Eine große Herausforderung der Nutzung von Vitamin D₃ als Prophylaxemaßnahme der Hypocalcämie stellt dessen toxische Wirkung dar. Dosierungen, welche das Hypocalcämierisiko effektiv verringern, führen zu einer persistenten Hypercalcämie und können eine metastatische Verkalkung verursachen (Littledike and Horst, 1982). Geringere Dosierungen (500.000 bis 1 Million IE) von Vitamin D₃ führen zur Suppression der PTH-Sekretion und durch eine verringerte 1 α -Hydroxylase-Aktivität auch zur Suppression der renalen Produktion von 1,25-(OH)₂- Vitamin D₃, wodurch zur Kalbung eine subklinische oder auch klinisch manifeste Hypocalcämie hervorgerufen werden kann (Littledike and Horst, 1980, Goff, 2008a). Ein weiteres Problem liegt in der Schwierigkeit, den Abkalbetermin akkurat vorherzusagen (DeGaris and Lean, 2008). In der Literatur werden für die Supplementierung von Vitamin D₃ Dosierungen von 10 Millionen IE empfohlen. Einerseits gibt es Empfehlungen für eine Verabreichung 10 bis 14 Tage vor dem errechneten Kalbetermin (Hibbs and Conrad, 1976, Littledike and Horst, 1980, Goff, 2000) und andererseits für eine Verabreichung 2 bis 8 Tage vor dem errechneten Kalbetermin (Staufenbiel, 2010, Gelfert, 2011). Sollte also die Kuh am errechneten Tag nicht kalben, muss die Vitamin D₃ Injektion wiederholt werden, was jedoch mit einem großen Risiko der metastatischen Verkalkung behaftet ist und sogar zum Tod des Tieres führen kann (Littledike and Horst, 1982). Erfolgt jedoch keine Wiederholungsinjektion werden in hohem Maße Gegenregulationsmechanismen wirksam (Suppression der PTH-Sekretion und 1 α -Hydroxylase-Aktivität), so dass die Hypocalcämieinzidenz ansteigt (Littledike and Horst, 1980, Goff, 2008a).

Die Behandlung mit 1,25-(OH)₂- Vitamin D₃ (Calcitriol) und dessen Analoga scheinen effektiver und sicherer als die Applikation von Vitamin D₃ zu sein. Jedoch stellt der richtige Zeitpunkt der Verabreichung weiterhin eine Herausforderung dar (Bar et al., 1985, Goff et al., 1988).

Durch eine Kombination dieses Konzeptes mit der Verfütterung einer Anionenration lässt sich der Vitamin-D₃-Stoffwechsel der Milchkuh verbessern (Weiss et al., 2015).

2.2.2.5.4 Calciumgaben zur Kalbung

Die intravenöse Calciumsubstitution zur Kalbung stellt eine einfache Möglichkeit zur Korrektur der Hypocalcämie dar und ist vor allem in Fällen der klinisch manifesten Hypocalcämie als lebensrettende Maßnahme notwendig. Diese Calciumapplikation zur Kalbung stellt viel mehr eine Behandlung als eine Prophylaxemaßnahme dar (Martín-Tereso and Martens, 2014). Die intravenöse Calciuminfusion beeinträchtigt stark die Calciumhomöostase, so dass sich nach einem schnellen Anstieg der Konzentration von Calcium im Serum (innerhalb 1 Stunde nach

der Verabreichung) die Milchkuh spätestens nach 24 Stunden wieder in einer hypocalcämischen Stoffwechsellage befindet (Albright and Blosser, 1957, Blanc et al., 2014, Wilms et al., 2019).

Die weitverbreiteten Applikationsprogramme zur Prävention sollten eine drei- bis viermalige orale Verabreichung beinhalten und in dem Zeitraum 24 bis 12 Stunden vor dem Partus bis 24 Stunden nach dem Partus erfolgen (Goff et al., 1996, Oetzel, 1996).

Der aktive Calciumtransport im Darm ist zur Kalbung aufgrund der zeitlich verzögerten Aktivierung nicht effizient genug, um die Calciumhomöostase aufrechtzuerhalten. Durch die orale Verabreichung großer Mengen Calciums findet aufgrund des Konzentrationsgradienten eine erhöhte parazelluläre Resorption statt (Martín-Tereso and Martens, 2014). Empfohlen werden Dosierungen von 50-125 g Calcium/Bolus (Goff, 2006).

Laut Melendez et al. (2002) hat die Calciumsubstitution zur Kalbung keinen Effekt auf den postpartalen Stoffwechsel der Milchkühe, wenn während der Vorbereitungsphase eine Anionenration verfüttert wurde. Oetzel and Miller (2012) konnten bestätigen, dass die orale Applikation von einem Bovikalc-Bolus (Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH, 43 g Calcium, davon 71 % Calciumchlorid und 29 % Calciumsulfat) in Herden mit Fütterung einer Anionenration keinen positiven, aber auch keinen negativen Effekt auf die mittlere Serumcalciumkonzentration hatte. Allerdings profitierten Kühe mit einer hohen Milchleistung in der vorherigen Laktation und lahme Kühe von der zweimaligen Bovikalc-Applikation. Bei Kühen, welche während der Späträchtigkeit keine Anionenration erhielten, führt eine zweimalige Bovikalc-Verabreichung direkt zum Partus und 12 Stunden nach dem Partus zu einem Anstieg des ionisierten Calciums im Blut und zu einem Abfall des Harn-pH-Wertes (Sampson et al., 2009).

Nach neuen Erkenntnissen kann eine orale Substitution großer Mengen an Calcium zur Kalbung die Merzungsrate bei Zweitkalbinnen erhöhen, wenn diese während der Vorbereiterphase mit einer negativen DCAD gefüttert wurden. Folglich sollte bei Anwendung dieses Konzeptes eine Fütterung einer neutralen bis leicht positiven DCAD in der Vorbereitergruppe in Erwägung gezogen werden (Domino et al., 2017).

Eine weitere Prophylaxemaßnahme stellt die subcutane Calciuminfusion zur Kalbung dar. Mithilfe dieser Calciumapplikation kann sowohl der Calciumstoffwechsel zur Kalbung verbessert als auch die TM-Aufnahme innerhalb der ersten 24 Stunden p.p. gesteigert werden. Des Weiteren scheint diese Prophylaxemaßnahme das Risiko für das Auftreten einer akuten puerperalen Metritis und einer klinischen sowie subklinischen Endometritis zu verringern (Amanlou et al., 2016).

2.2.3 DCAD-Konzept als Prophylaxe der peripartalen Hypocalcämie

Schon lange ist bekannt, dass die Reduzierung der Dietary Cation-Anion Differenz (= DCAD; Synonym: Dietary Cation-Anion Balance = DCAB) in der antepartalen Futtermittellration zur Erhöhung der Calciumkonzentration um die Kalbung und folglich zur Reduzierung des Risikos für eine Hypocalcämie führt (Ender et al., 1962, Dishington, 1975, Block, 1984). In vielen Studien konnte gezeigt werden, dass allein die Konzentrationen der Kationen Kalium und Natrium und die Konzentrationen der Anionen Schwefel und Chlorid im Futter die Inzidenz der Hypocalcämie bestimmen. Hohe Gehalte an Schwefel und Chlorid im Futter verringern das Auftreten der Hypocalcämie (Dishington, 1975, Block, 1984, Oetzel, 1988, Gaynor et al., 1989, Goff et al., 1991). Ein erhöhter Gehalt an Kalium im Futter verursacht die Hypocalcämie (Horst et al., 1997).

Die DCAD ist die Differenz der Summe der im Futter enthaltenen Kationen Natrium und Kalium und der Summe von den Anionen Chlorid und Schwefel. Sie gibt die metabolisch azidotische oder alkalotische Wirkung eines Futtermittels oder einer Futtermittellration an (Block, 1984, Goff and Horst, 1997a). Die Einheit der DCAD ist Milliäquivalent pro kg Trockensubstanz (mEq/kg TS). Die gebräuchlichste Formel ist die von Ender et al. (1971):

$$\text{DCAD (mEq/kg TS)} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{S}^{2-})$$

Sie wird weitverbreitet in der Fütterung von Milchkühen verwendet und hat eine gute Korrelation zum Harn-pH und zur Hypocalcämieinzidenz (Charbonneau et al., 2006).

Die Formel wurde von Goff et al. (2004) wie folgt modifiziert:

$$\text{DCAD (mEq/kg TS)} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + 0,6\text{S}^{2-})$$

Die azidierende Wirkung von Chlorid ist um das 1,6fache größer als die von Schwefel und hat folglich einen stärkeren Einfluss auf den Säure-Basen-Haushalt (Goff et al., 2004). Deswegen besitzt diese Gleichung eine höhere Korrelation zum Harn-pH-Wert (Charbonneau et al., 2006).

Die Reduzierung der DCAD in der antepartalen Ration wird durch die Zugabe von anionischen Salzen erreicht (Dishington, 1975, Block, 1984, Oetzel, 1988). Zur Supplementierung stehen verschiedene anionische Salze wie MgSO_4 , MgCl_2 , NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, CaCl_2 und CaSO_4 zu Verfügung (Moore et al., 2000). Die in Deutschland meist verwendeten und zugelassenen Anionensupplemente sind CaCl_2 und CaSO_4 (Staufenbiel, 2010, Gelfert, 2011).

Im deutschen Sprachgebrauch werden diese anionischen Salze auch „saure Salze“ genannt.

2.2.3.1 Wirkungsweise

Während einer metabolischen Alkalose ist die PTH-Rezeptor-Ankopplung stark eingeschränkt und die Fähigkeit der Kuh bei einem Calciummangel die Calciumhomöostase aufrechtzuerhalten reduziert (Goff, 2000, Goff et al., 2014). Wohingegen bei einer azidotischen Stoffwechsellage die PTH-Rezeptorsensitivität deutlich erhöht ist (Horst et al., 1997).

Eine Reduzierung der DCAD im Futter induziert eine metabolische Azidose, welche den Calciumstoffwechsel anregt (Block, 1984). Die in hoher Konzentration vorhandenen H^+ -Ionen verdrängen das Calcium aus den Proteinbindungen im Blut (Moore, 1970). Die metabolische Azidose wird zum Teil durch einen Calciumefflux aus dem Knochen im Austausch mit Wasserstoffionen (H^+) kompensiert (Lemann Jr et al., 2003). Dieser Anstieg der ionisierten Calciumkonzentration im Blut und die metabolische Azidose führen zu einer Steigerung der Calciumexkretion über den Harn (Schonewille et al., 1997, Suzuki et al., 2008). Im Rahmen einer metabolischen Azidose steigt die Calciumausscheidung über den Harn von 0,5 g/ Tag auf 5 bis 6 g/Tag an (Schonewille et al., 1997, Goff, 2014). Die Calciumexkretion über die Niere bewirkt wiederum durch einen Anstieg der 1,25-(OH)₂-Vitamin D₃-Konzentration eine aktivierte Calciumresorption in Darm (Gaynor et al., 1989, DeGaris and Lean, 2008). Es ist bewiesen, dass eine metabolische Azidose direkt zu einer Erhöhung der Calciummobilisation aus dem Knochen führt, aber auch die PTH-Wirkung am Knochen verstärkt (Beck and Webster, 1976). Folglich ist während einer azidotischen Stoffwechsellage die Mobilisation aus dem Knochen und die Absorption im Darm von Calcium erhöht, dies ermöglicht eine höhere Konzentration des ionisierten Calciums (DeGaris and Lean, 2008). Zusammenfassend aktiviert die verringerte DCAD in der Vorbereiterration die physiologischen Regulationsmechanismen des Calciumhaushaltes schon vor der Kalbung. Dies führt zum Zeitpunkt der Kalbung zu einer höheren Konzentration des Gesamtcalciums (Leno et al., 2017) als auch des ionisierten Calciums im Blut (Lopera et al., 2018). Mithilfe des DCAD-Konzeptes und der dadurch induzierten metabolischen Azidose wird der physiologische Abfall der Calciumkonzentration vermindert und die Inzidenz der Hypocalcämie kann verringert werden (Dishington, 1975, Block, 1984, Oetzel, 1988, Gaynor et al., 1989, Goff et al., 1991).

2.2.3.2 Einflussfaktoren auf die Wirkung der sauren Salze

In der Vergangenheit wurde angenommen, dass der schlechte Geschmack der sauren Salze den Abfall der TM-Aufnahme im Zeitraum um die Kalbung verstärkt und eine bedeutende Nebenwirkung der sauren Salze darstellt (Oetzel et al., 1991, Moore et al., 2000, Goff, 2004). Nach neuen Erkenntnissen hat die Zugabe von geschmacksneutralen Salzen, wie CaSO₄, mikrokapseltem CaCl₂ oder Bio-Chlor (salzsäurebehandeltes Proteinhydrolysat) in Kombination mit einer Ration, welche reduzierte Mengen an Kationen enthält, keinen

negativen Effekt auf die TM-Aufnahme (DeGroot et al., 2010, Staufenbiel, 2010, Gelfert, 2011, Weich et al., 2013, Wu et al., 2014).

Entsprechend der Studie von Zimpel et al. (2018) scheint der Abfall der TM-Aufnahme durch die metabolische Azidose an sich und nicht durch die Zugabe von azidotisch wirkenden Produkten bedingt zu sein.

Die Beziehung zwischen dem Rückgang der TM-Aufnahme und der Reduzierung der DCAD wird weiterhin kontrovers diskutiert. So bleibt weiterhin unklar, ob die Ursache die reduzierte Schmachthaftigkeit der sauren Salze (Oetzel et al., 1991) oder die Azidose selbst ist (Vagnoni and Oetzel, 1998, Zimpel et al., 2018).

Der Effekt der Anionenration auf den Organismus kann durch einen antepartalen Energiemangel verstärkt werden. Durch die negative Energiebilanz werden körpereigene Fettreserven in Form von NEFAs mobilisiert, welche ebenfalls eine azidotische Wirkung besitzen. Durch diese sich gegenseitig verstärkende Wirkung kann eine nicht kompensierte metabolische Azidose entstehen (Gelfert et al., 2008, Gelfert, 2011). Gründe für eine negative Energiebilanz können eine nicht ausreichende TM-Aufnahme sowie eine nicht ausreichende Energiekonzentration der Ration sein.

Auch ein zu geringer Gehalt an strukturwirksamer Rohfaser und eine dadurch ausgelöste Veränderung des Pansenmilieus in Richtung einer Pansenazidose kann zu einer zusätzlichen Ansäuerung im Intermediärstoffwechsel führen, welche den Effekt der Anionenration verstärkt (Staufenbiel et al., 2003, Staufenbiel et al., 2004b, Goebbels, 2006).

Die Fütterung einer Anionenration führt zu einer Steigerung der Calciummobilisation aus dem Knochen (Gaynor et al., 1989) und zu einer Steigerung der Calciumexkretion über den Harn. Ender et al. (1971) konnten zeigen, dass bei der Fütterung einer Anionenration zusätzlich eine Calciumversorgung stattfinden sollte. Folglich werden die Calciumreserven der Kuh nicht übermäßig beansprucht und eine positive Calciumbilanz kann aufrechterhalten werden (Oetzel, 1988, Gelfert and Staufenbiel, 2008, Goff, 2008a). Evidenz besteht jedoch darüber, dass die Wirkung einer Anionenration unabhängig von der enthaltenen Menge an Calcium in der Futtration ist (Gelfert and Staufenbiel, 2008, Santos et al., 2019).

Zu einer Neutralisation der Wirkung von sauren Salzen kann es kommen, wenn Pansenpuffer, wie Natriumbikarbonat, Natriumkarbonat und Kaliumkarbonat, und saure Salze gemeinsam verfüttert werden (Gelfert et al., 2006a).

Sind die sauren Salze nicht gleichmäßig in die Futtration eingemischt oder können aufgrund sehr unterschiedlicher Struktur der Ration leicht aussortiert werden, bleibt deren Wirkung aus (Husband et al., 2002, Gelfert et al., 2004, Gelfert, 2011, Nydam et al., 2017). Unangepasste Rationszusammensetzungen können die Wirkung einer Anionenration negativ beeinflussen. Deshalb müssen Anionenrationen wiederkäuer- und bedarfsgerecht gestaltet sein (Staufenbiel et al., 2003, Staufenbiel et al., 2004b).

Eine nicht optimale Aufnahme der sauren Salze kann auch durch weitere Haltungs- und Managementfaktoren wie Überbelegung der Gruppe oder sozialer Stress und folglich Konkurrenz am Futtertisch bedingt sein. Aufgrund dessen kann individuell verschieden, die azidotische Wirkung ausbleiben (Nydam et al., 2017).

2.2.3.3 Überwachung des DCAD-Konzeptes

Ein erfolgreicher Einsatz der Anionenration ist anhand der geringen Milchfieberinzidenz von Mehrkalbskühen (<3 %) und anhand der geringen Nachgeburtverhältnissen (<5 %) erkennbar (Staufenbiel, 2010, Gelfert, 2011). Da jedoch trotz einer geringen Milchfieberinzidenz die subklinische Hypocalcämie gegenwärtig sein kann, sollte beim Einsatz von sauren Salzen deren erwünschte Wirkung durch verschiedene Methoden abgesichert werden.

Eine Analyse der totalen Mischration (TMR) von den Vorbereitern ist hinsichtlich der Überprüfung der Kennwerte einer Anionenration unverzichtbar und findet Verwendung im Rahmen der Rationsberechnung und Überprüfung der Mischgenauigkeit. Als routinemäßige Kontrolle der Anionenration ist die Bestimmung der DCAD in den einzelnen Futtermitteln und/oder der totalen Mischration der Vorbereiter aufgrund der hohen Untersuchungskosten (≈ 40,00 €) nicht geeignet. Deshalb sollte die Überwachung der Ansäuerung in der Herde erfolgen. Zur Beurteilung des Säure-Basen-Haushalts bei Rindern stellt die Messung des pH-Wertes im Harn die kosteneffizienteste und praktikabelste Methode dar (Jardon, 1995, Staufenbiel et al., 2004b, Staufenbiel, 2010).

Weiterhin sollte in regelmäßigen Abständen die TM-Aufnahme der Vorbereiter erfasst werden (Gelfert, 2011).

Bei der Anwendung einer Anionenration ist die Bestimmung des Harn-pH zur Kontrolle des erreichten Ansäuerungsgrad in der Herdenüberwachung von großer Wichtigkeit. Der Harn wird entweder durch Auffangen von Spontanharn, durch Auslösen des Harnabsatzes durch Reiben oberhalb des Euterspiegels oder mithilfe eines Harnkatheters gewonnen. Die Harnproben sollten frei von Kot sein und es sollte ausschließlich der Mittelstrahlurin aufgefangen werden, um eine Alkalität, welche durch den Vaginalsekret verstärkt werden könnte, zu vermeiden (Staufenbiel et al., 2004b, Gelfert, 2011, Goff, 2014). Die Beprobung sollte wöchentlich bei 12 bis 15 Tieren in der Vorbereitergruppe stattfinden (Nydam et al., 2017). Vor der Probenentnahme sollten die Kühe die Anionenration schon mindestens 5 Tage lang erhalten haben (Goff, 2014). Der Harn-pH kann mithilfe von pH-Teststreifen bestimmt werden (Cook et al., 2006b).

Rinder fressen natürlicherweise Futterrationen mit einer deutlich positiven DCAD von 200 bis 350 meq/kg TS. Diese Tendenz zu einer alkalischen Stoffwechsellage spiegelt sich im Referenzbereich für den Harn-pH Wert von 7,8 bis 8,4 und für die NSBA von 100 bis 200

mmol/L wider (Staufenbiel et al., 2016). Die Fütterung einer Anionenration kann die Aufrechterhaltung der Calciumhomöostase zur Kalbung nur verbessern, wenn eine azidotische Stoffwechsellage hervorgerufen wird und der Harn-pH geringer als 7,5 ist (Goff and Koszewski, 2018a). Für eine optimale Kontrolle der Hypocalcämie sollte ein durchschnittlicher Harn-pH von ungefähr 6,0 bis 7,0 in der Vorbereitergruppe angestrebt werden (Jardon, 1995, Oetzel, 2000, Lean et al., 2013, Goff, 2014, Overton et al., 2018). Nach Charbonneau et al. (2006) scheint ein durchschnittlicher Harn-pH um 7 in der Vorbereitergruppe als angemessen und eine weitere Absenkung ist mit einem Rückgang der TM-Aufnahme ohne zusätzliche Vorteile bezüglich der Milchfieberprophylaxe assoziiert. Ein durchschnittlicher Harn-pH von 5,0 bis 5,5 (Goff, 2008a) oder unter 5,8 (Overton et al., 2018) führt zu einer unkompenzierten metabolischen Azidose und ist mit einem drastischen Rückgang der TM-Aufnahme assoziiert. Demgegenüber stehen Studien, welche zeigen konnten, dass durch das Aufrechterhalten eines durchschnittlichen Harn-pH von 5,5 bis 6,0 der Calciumhaushalt zur Kalbung, die Milchleistung und die postpartale TM-Aufnahme erfolgreich verbessert werden können (Leno et al., 2017, Diehl et al., 2018, Glosson et al., 2020). Eine große Variation der Harn-pH-Werte innerhalb einer wöchentlichen Stichprobe beziehungsweise einzelne Ausreißer können ein Hinweis auf eine nicht adäquate Futteraufnahme sein. Gründe hierfür könnten eine zu hohe Belegungsdichte sowie sozialer Stress innerhalb der Vorbereitergruppe sein. Außerdem kann eine Variation der Harn-pH-Werte zwischen den beprobten Tieren ein Indikator für eine schlechte Durchmischung der TMR oder eine übermäßige Futterselektion sein. Eine große Variation der Harn-pH-Werte zwischen den wöchentlichen Stichproben kann auf ein Fütterungsproblem hindeuten. Bei diesem könnte es sich um eine Veränderung der Mischgenauigkeit oder Inhaltsstoffe der einzelnen Futtermittel handeln (Nydam et al., 2017, Stone and Mosley, 2017),

Die Netto-Säure-Basen-Ausscheidung kann als Parameter subklinischer Störungen des Säure-Basen-Haushaltes herangezogen werden (Kutas, 1965). Zwischen der DCAD und der NSBA besteht ein linearer Zusammenhang (Gelfert et al., 2004, Staufenbiel et al., 2004b). Der Zusammenhang zwischen dem Harn-pH und der DCAD ist nicht linear (Charbonneau et al., 2006, DeGaris and Lean, 2008). Im Gegensatz zum Harn-pH gibt die NSBA die Effekte der Fütterung einer Anionenration zuverlässiger und genauer wieder (Vagnoni and Oetzel, 1998, Gelfert et al., 2004, Goff, 2004). Zudem zeichnet sich eine azidotische Stoffwechsellage deutlich schneller in der NSBA als im pH-Wert ab (Schröder et al., 2003). Die NSBA stellt eine gute Methode zur Überprüfung der Wirksamkeit von Anionenrationen dar (Block, 1994). Auf die Senkung der NSBA folgt die Calciumkonzentration im Harn mit einer signifikanten Erhöhung. Bei dem Einsatz von sauren Salzen sollte die NSBA zwischen -50 und 50 mmol/L (Bender et al., 2003, Gelfert et al., 2004, Staufenbiel, 2010, Gelfert, 2011) und die Calciumkonzentration im Harn $> 7,5$ mmol/L liegen (Gelfert, 2011). Für die

Calciumausscheidung über den Harn wird ein Referenzbereich von 7 bis 15 mmol/L angegeben (Staufenbiel, 2010).

Mit dem Messen der Blutcalciumkonzentration nach der Kalbung können sowohl die klinische als auch die subklinische Hypocalcämie in einer Herde kontrolliert werden (Cook et al., 2006b). So kann der Einsatz saurer Salze und dessen Wirkung auf den Calciumstoffwechsel zur Kalbung kontrolliert werden.

2.2.3.4 Empfehlungen für die Fütterung einer Anionenration

Eine Reduzierung der DCAD in der Vorbereiterration führt zu einer Verbesserung des Calciumhaushaltes zur Kalbung und zu einer Steigerung der postpartalen TM-Aufnahme. Durch die Fütterung einer Anionenration kann das Risiko für eine Hypocalcämie (Risk Ratio (RR) = 0,60), Nachgeburtsverhaltung (RR = 0,59), Metritis (Odds Ratio (OR) = 0,61) und die Gesamtheit aller Erkrankungen (OR = 0,61) deutlich minimiert werden. Hinsichtlich des Einflusses auf die Milchleistung durch den Zusatz saurer Salze besteht jedoch ein Unterschied zwischen Mehrkalbskühen und Färsen (Lean et al., 2019, Santos et al., 2019). Die Fütterung einer geringen DCAD führt bei Mehrkalbskühen zu einer Steigerung der Milchleistung um 1,1 kg/Tag (Lean et al., 2019) beziehungsweise um 1,7 kg/Tag (Santos et al., 2019), während sie bei Färsen in einem Abfall der Milchleistung um 1,28 kg/Tag resultiert (Lean et al., 2019). Klarheit besteht darüber, dass Mehrkalbskühe bezüglich ihrer Gesundheit und Produktivität in der nachfolgenden Laktation von der antepartalen Anionenration profitieren. Es sind jedoch weitere Studien notwendig, damit geklärt werden kann, warum eine Reduzierung der DCAD bei Färsen zu einer Verbesserung der Gesundheit führt, aber die Milchleistung negativ beeinflusst (Lean et al., 2019, Santos et al., 2019).

Von großer Relevanz ist die Bestimmung der DCAD (K, Na, Cl, S) und der Gehalte an Calcium, Phosphor und Magnesium in den Grundfuttermitteln und/oder in der TMR (Staufenbiel et al., 2004b).

Eine vollständige Anionenration hat einen DCAD-Zielwert zwischen -100 und -150 meq/kg TS und eine partielle Anionenration zwischen -50 und 0 meq/kg TS (Dann, 2017). Von der NRC (2001) wird für die DCAD in der Vorbereiterration ein Zielbereich von -50 bis -150 meq/kg TS empfohlen. DeGaris and Lean (2008) konnten zeigen, dass eine Reduzierung der DCAD unter - 100 meq/kg TS in der Vorbereiterration gut geeignet als Prophylaxemaßnahme der klinischen Hypocalcämie ist. Dahingegen empfiehlt Staufenbiel (2010) einen DCAD-Bereich von -50 bis +50 meq/kg TS. Gelfert et al. (2007) ist der Meinung, dass eine ausreichende Wirkung der sauren Salze schon bei einer DCAD von unter +100 meq/kg TS eintritt. Jedoch besteht weiterhin Klärungsbedarf über den optimalen DCAD-Wert zur Verbesserung der

Tiergesundheit und Leistung in der nachfolgenden Laktation (Lopera et al., 2018, Santos et al., 2019).

In der Literatur sind unterschiedliche Empfehlungen bezüglich des Calciumgehaltes in einer Vorbereiterration mit einer reduzierten DCAD zu finden. Beede et al. (2001) führten eine Fütterung einer Anionenration mit unterschiedlichen Calciumgehalten (0,47 %-, 0,98 %-, 1,52 %-, 1,95 %-Calcium) in der Spätträchtigkeit zur Verringerung des Milchfiebersrisikos durch. Die Kühe, welche mit einem Calciumgehalt von 1,52 % in der Ration gefüttert wurden, zeigten im Vergleich zu der Kontrollgruppe eine leicht reduzierte TM-Aufnahme während bei den Kühen, welche die Ration mit dem 1,95 %-Calciumgehalt erhielten, ein drastischer Rückgang der Trockenmassenaufnahme beobachtet werden konnte. Aufgrund dessen scheint für viele Autoren ein Calciumgehalt von 8,5 bis 15 g Ca/kg TS in der Vorbereiterration optimal zu sein (NRC, 2001, Staufenbiel et al., 2003, Gelfert and Staufenbiel, 2008, Staufenbiel, 2010, Dann, 2017). Wohingegen Goff (2006) der Meinung ist, dass der Calciumgehalt in einer Anionenration zwischen 8,5 bis 10 g Ca/kg TS liegen sollte. Über die Erhöhung des Calciumgehaltes in der Ration bei der Fütterung von sauren Salzen gibt es derzeit keine Übereinstimmung in der Literatur. Nach Overton et al. (2016) sollte der Calciumgehalt in einer Anionenration 0,9 - 1,1 % betragen und Oetzel (2000) empfiehlt einen Calciumgehalt zwischen 1,1 % und 1,5 % in Verbindung mit einer DCAD um -150 meq/ kg TS. Jedoch kann diese Empfehlung durch seine Metaanalyse nicht gestützt werden, da bei einem Calciumgehalt von 1,16 % das Milchfiebersrisiko am größten ist (Oetzel, 1991). Auch Lean et al. (2006) konnte diese Assoziation zwischen dem Calciumgehalt in der Vorbereiterration und dem Milchfiebersrisiko, mit dem größten Milchfiebersrisikos bei einem Gehalt von 1,10 % Calcium, zeigen. Das geringste Risiko konnte bei Calciumkonzentrationen unter 0,5 % und über 1,6 % beobachtet werden (Lean et al., 2006). Durch eine weitere Metaanalyse konnte gezeigt werden, dass durch das Erhöhen des Calciumgehaltes von 0,6 % auf 1,6 % in einer Ration mit einer DCAD von -100 meq/ kg TS das Milchfiebersrisiko von 2,0 % auf 7,7 % ansteigt (Santos et al., 2019). Demgegenüber steht die Studie von Ryan et al. (2020), in der festgestellt wurde, dass durch die Erhöhung des Calciumgehaltes in einer Anionenration (226,6 ± 96,0 g Ca/Tag, 2,0 %-Calcium, -240 meq/ kg TS) die postpartale Uterusgesundheit positiv beeinflusst werden kann. In der Metaanalyse von Lean et al. (2019) besteht keine Evidenz über eine optimale Calciumzufuhr bei der Anwendung von sauren Salzen. Eine Anionenration führt sowohl mit als auch ohne eine Erhöhung des Calciumgehaltes zu einer Verbesserung des Calciumhaushaltes zur Kalbung und der Tiergesundheit (Goff and Koszewski, 2018b, Glosson et al., 2020). Der optimale Calciumgehalt in einer Anionenration zur Minimierung des Hypocalcämierisikos ist demnach fraglich und es sind weitere Studien notwendig. Jedoch könnten geringe Calciumgehalte von 0,4 % bis 0,6 % (<60 g Ca/ Tag) in einer Anionenration nach derzeitigem Wissensstand als Prophylaxemaßnahme der Hypocalcämie effektiv sein

(DeGaris and Lean, 2008, Lean et al., 2013, Dann, 2017, Lean et al., 2019, Santos et al., 2019).

Hinsichtlich der Beeinflussung des Milchfiebrerisikos ist der Magnesiumgehalt in der Futtermation von großer Bedeutung. Für eine sichere Wirkung der Anionenration sollte die Magnesiumkonzentration in der Futtermation 3,5 bis 4,0 g/kg TS betragen (Overton, 2004, DeGaris and Lean, 2008, Lean et al., 2013, Goff, 2014, Martín-Tereso and Martens, 2014, Dann, 2017). Wohingegen Overton et al. (2016) einen Magnesiumgehalt von 4,5 bis 5,0 g/kg TS für die Vorbereiterraion empfehlen. Eine Erhöhung des Natriumgehaltes und Reduzierung des Kaliumgehaltes in der Ration führt zu einer Verbesserung der Magnesiumresorption im Pansen (Goff, 2006, Lean et al., 2013, Schonewille, 2013).

Die Phosphorkonzentration sollte für eine sichere Wirkung der Anionenration um 3,5 g/kg TS betragen (Overton, 2004, Peterson et al., 2005, DeGaris and Lean, 2008, Goff, 2014, Dann, 2017). Eine Menge von 80 g Phosphor pro Tag erhöht das Milchfiebrerisiko drastisch. Eine Aufnahme von 50 g pro Tag scheint sicher zu sein und eine Aufnahme von < 35 g pro Tag und Tier führt zu einer Verbesserung der Calciumhomöostase (Peterson et al., 2005).

Der Schwefelgehalt sollte über 2,2 g/kg TS betragen, jedoch nicht die Obergrenze von 4,0 g/kg TS überschreiten, um mögliche Nebenwirkungen aufgrund der Schwefeltoxizität zu vermeiden (Gould et al., 1991, Goff, 2014). Diese Schwefelobergrenze ist vor allem beim Einsatz von CaSO_4 , welches das saure Salz der ersten Wahl darstellt, von Bedeutung (Staufenbiel et al., 2004b, Gelfert, 2011).

Der Chloridgehalt sollte 5 bis 13 g/kg TS betragen oder bei dem Einsatz einer vollständigen Anionenration höchstens den Wert der Differenz von dem prozentualen Kaliumgehalt minus 0,5 % erreichen (Lean et al., 2013, Van Saun and Sniffen, 2014, Dann, 2017). Nach Gelfert (2011) sollte bei dem Einsatz von CaCl_2 darauf geachtet werden, dass der Chloridgehalt in der Gesamtraion nicht 10 g/kg TS überschreitet.

Kalium und Natrium sind die beiden Kationen, welche zu einer Erhöhung der DCAD führen und hinsichtlich der Hypocalcämieprophylaxe eine zentrale Rolle spielen (Goff and Horst, 1997a). Für eine sichere Wirkung der Anionenration sollte sich der Gehalt an Natrium um 1,2 g/kg TS bewegen (Gelfert, 2011). Goff (2006) empfiehlt für Kalium einen Gehalt von 10 g/kg TS (NRC, 2001). Der Kaliumgehalt sollte jedoch nicht 15 g/kg TS überschreiten (Staufenbiel, 1999).

2.2.3.4.1 Vorbereitungsdaer beim Einsatz von sauren Salzen

Es wurden bisher nur wenige Studien zur Evaluierung der antepartalen Fütterungsdaer einer Anionenration und deren Auswirkungen durchgeführt (Corbett, 2002, Gelfert et al., 2006b, DeGaris et al., 2008, DeGaris et al., 2010a, DeGaris et al., 2010b, Weich et al., 2013, Wu et

al., 2014, Lopera et al., 2018, Chebel, 2021, Vieira-Neto et al., 2021). Die Studien konnten nachweisen, dass die Fütterung einer Anionenration über die Dauer von 21 Tagen zu einer Verbesserung der Calciumhomöostase führt. Durch die Vorbereitungsdauer von 21 Tagen beim Einsatz saurer Salze konnte die Milchleistung der Mehrkalbskühe im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche keine antepartale Anionenration erhielten, um 5,6 kg/Tag gesteigert werden (Weich et al., 2013). In der Studie von DeGroot et al. (2010) konnte durch eine Vorbereitungsdauer von 28 Tagen die Milchleistung der Mehrkalbskühe um 6,5 kg/Tag gesteigert werden, wobei die Milchleistung der Erstlaktierende nicht beeinflusst wurde. DeGaris et al. (2008) konnten zeigen, dass durch eine verlängerte Vorbereitungsdauer beim Einsatz saurer Salze die Milchleistung (ECM) sowie der Proteinertrag (kg/Tag) signifikant steigt. Die optimale Vorbereitungsdauer betrug in dieser Studie 22 bis 25 Tage (+ 3,75 L ECM/Tag; + 100 g Milchprotein/Tag). In einer aktuellen Arbeit von Vieira-Neto et al. (2021) konnte durch eine Verlängerung der Verweildauer in der Vorbereitergruppe von 7 auf 28 Tage eine Steigerung der Milchleistung von 3,5 kg/Tag bei Mehrkalbskühen gezeigt werden. In einer weiteren Studie stieg die Einsatzleistung der Mehrkalbskühe bis zu einer Vorbereitungsdauer von 42 Tagen kontinuierlich an (Chebel, 2021).

Hinsichtlich der Milchleistung scheint eine Interaktion zwischen den Paritäten und dem Zusatz von sauren Salzen zu bestehen (Lean et al., 2019, Santos et al., 2019). In 2 aktuellen Arbeiten konnte gezeigt werden, dass die Fütterung einer niedrigen DCAD ($- 50 \pm 121,7$ meq/kg TS) bei Mehrkalbskühen zu einer Steigerung der Milchleistung um 1,1 kg/Tag (Lean et al., 2019) beziehungsweise um 1,7 kg/Tag (Santos et al., 2019) führt, während sie bei Färsen in einem Abfall der Milchleistung um 1,28 kg/Tag resultiert (Lean et al., 2019).

Lopera et al. (2018) konnten bei einer Verlängerung der Vorbereitungsdauer von 21 auf 42 Tage eine Tendenz für eine verlängerte Günstzeit aufgrund eines reduzierten Trächtigkeitsindex zeigen. Vieira-Neto et al. (2021) konnten nachweisen, dass bei einer zunehmenden Vorbereitungsdauer der Erstbesamungserfolg sinkt. Jedoch bestand zwischen der Trächtigkeitsrate und der Vorbereitungsdauer eine quadratische Assoziation. So stieg mit zunehmender Verweildauer in der Vorbereitungsdauer zunächst die Wahrscheinlichkeit für eine Trächtigkeit innerhalb 300 Tage in Milch, während die Anzahl tragender Tiere bei einer längeren Vorbereitungsdauer ≥ 42 Tage wieder abnahm. Einen positiven Effekt der verlängerten Fütterung einer Anionenration auf die Fruchtbarkeit konnten DeGaris et al. (2010a) herausfinden. Es konnte eine lineare Assoziation zwischen der Verweildauer in der Vorbereitergruppe und der Trächtigkeitsrate, welche jedoch stark von dem jeweilig untersuchten Betrieb abhängig war, gezeigt werden. Die Autoren konnten jedoch keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Vorbereitungsdauer und dem Erstbesamungserfolg feststellen.

Die derzeitige Studienlage bezüglich des Einflusses der Vorbereitungsdauer auf das Merzungsrisiko ist gering. In der Arbeit von Lopera et al. (2018) konnte bei einer Verlängerung der Vorbereitungsdauer von 21 auf 42 Tagen kein Einfluss auf das Merzungsrisiko innerhalb 42 und 305 Tage in Milch für Mehrkalbskühe festgestellt werden. In der aktuellen Arbeit von Vieira-Neto et al. (2021) hatten Jungkühe und Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer von 15 bis 28 Tagen das geringste Risiko für einen vorzeitigen Abgang aus der Herde. Chebel (2021) konnte zeigen, dass Jungkühe als auch Mehrkalbskühe mit einer Fütterungsdauer ≤ 10 Tagen ein deutlich erhöhtes Merzungsrisiko innerhalb 300 Tage in Laktation aufwiesen. In den beiden zuletzt genannten Studien erhielten die Jungkühe jedoch während der Vorbereitungsphase keine Anionenration.

Des Weiteren scheint das Risiko für eine klinische Mastitis mit einer verlängerten Vorbereitungsdauer zu steigen (DeGaris and Lean, 2008, DeGaris et al., 2010a, Vieira-Neto et al., 2021).

Demgegenüber steht die Studie von Weich et al. (2013), in welcher eine Verlängerung der Fütterungsdauer einer Anionenration (-150 meq/ kg TS) von 21 auf 42 Tagen keinen signifikanten Effekt bezüglich der Tiergesundheit und Leistung in der nachfolgenden Laktation hatte. Sowohl die Vorbereitungsdauer von 21 Tagen als auch die von 42 Tagen haben einen positiven Effekt auf die Calciumhomöostase, die postpartale TM-Aufnahme und die Milchleistung. Dies konnte auch durch die Studie von Wu et al. (2014) belegt werden, indem gezeigt wurde, dass durch die Fütterung einer Anionenration (-200 meq/kg TS) über einen Zeitraum von 3, 4 oder 5 Wochen vor dem errechneten Kalbetermin keine Unterschiede hinsichtlich der Tiergesundheit, Milchleistung oder der Milchinhaltsstoffe bestehen. Corbett (2002) stellte fest, dass das Auftreten von metabolischen Stoffwechselstörungen geringer war bei Kühen, welche eine Verweildauer bis zu 21 Tage in der Vorbereitergruppe hatten. Die Daten einer weiteren Studie deuten jedoch darauf hin, dass eine verlängerte Gabe von sauren Salzen (-70 meq/kg TS oder -180 meq/kg TS) über 21 Tage hinaus nicht notwendig ist oder sogar negative Auswirkungen für die Milchkuh hat. Eine Verlängerung des Einsatzes saurer Salze von 21 auf 42 Tagen führt zu einer Reduzierung der Trächtigkeitsdauer (TD) um 2 Tage sowie zu einer Abnahme der Milchleistung um 2,5 kg/Tag (Lopera et al., 2018).

Es gibt Hinweise darauf, dass eine lang andauernde metabolische Azidose, wie sie durch den Einsatz saurer Salze hervorgerufen wird, zu einer Erschöpfung der Pufferkapazität des Organismus führt und diese Kühe trotz dieser Prophylaxemaßnahme aufgrund des erschöpften Calciumspeichers aus dem Knochen nach der Kalbung zum Festliegen kommen (Phelps and House, 2001, Gelfert et al., 2006b, Lean et al., 2006). Demgegenüber steht jedoch die Studie von Weich et al. (2013), in der eine Tendenz für eine erhöhte Calciumkonzentration im Blut p.p. bei der Fütterungsdauer von 42 Tagen im Vergleich zu 21 Tagen festgestellt werden konnte. In den Arbeiten von Wu et al. (2014) und Lopera et al. (2018) wurde die

postpartale Konzentration von Calcium im Serum durch eine Verlängerung der Vorbereitungsdauer nicht beeinflusst. Nach Gelfert et al. (2006b) sollte die Fütterung von sauren Salzen zur Sicherstellung einer ausreichenden Wirkung auf die Calciumhomöostase einen Zeitraum von 3 Wochen nicht überschreiten, da eine längere Gabe das Risiko einer schwerwiegenden metabolischen Azidose und einer Hypocalcämie erhöht. Die Ergebnisse der beiden aktuellen Arbeiten untermauern die derzeitige Empfehlung einer Vorbereitungsdauer von 21 bis 28 Tagen (Chebel, 2021, Vieira-Neto et al., 2021).

Folglich besteht weiterhin Klärungsbedarf über die optimale Verweildauer in der Vorbereitergruppe bei dem Einsatz saurer Salze bezüglich der Tiergesundheit und Produktivität in der nachfolgenden Laktation.

2.3 Transitkuhmanagement

In Deutschland sinkt sowohl die Zahl der Milchviehbetriebe als auch die Anzahl der Milchkühe (Statistisches Bundesamt, 2020). Neben den größer werdenden Herden steigt als Folge der Selektion auf hohe Milchleistung auch die Produktivität der Milchkuh an (Grummer et al., 2004), wodurch auch die Anforderungen an das Herdenmanagement steigen (Cook, 2019a). Ein, den Anforderungen einer Transitkuh optimal angepasstes Management hinsichtlich Fütterung, Stallbau, Haltung und Kuhkomfort ist für die Optimierung der Tiergesundheit und der Ökonomie der Milchproduktion von großer Wichtigkeit (Ribeiro et al., 2018).

Feldbeobachtungen sprechen dafür, dass die Haltung und das Management eine genauso große Rolle bezüglich der Gesundheit und Leistung der Milchkuh spielen wie die Gestaltung der Futtration (DeVries, 2017).

Bach et al. (2008) berichteten, dass die Variation der durchschnittlichen Milchleistungen (20,6 bis 33,8 kg/Tag) in 47 verschiedenen Herden, welche alle dieselbe TMR erhielten, zu mehr als 50 % dem Management zu zuschreiben war.

2.3.1 Stall und Haltung

Durch eine Optimierung der Haltung während der Transitphase hinsichtlich des sozialen Verhaltens und erforderlichen Kuhkomforts können die mit dem Rückgang der Trockenmasseaufnahme zur Kalbung assoziierten metabolischen Stoffwechselstörungen minimiert werden (Jones and Kammel, 2017).

Die Auswirkung des Stallbaus auf das Kuhverhalten und folglich dessen Beeinflussung der Tiergesundheit und Milchproduktion sind von großem Interesse. Es war nicht unüblich, dass die Transitzühe in den „veralteten“ Stallgebäuden gehalten wurden, wo die Ställe nur einen begrenzten Futtertisch aufwiesen. In dem Glauben diese Tiere hätten über den Tag verteilt genug Zeit, ausreichend Futter zu sich zu nehmen, da sie sich nicht für längere Zeit, aufgrund des Melkens, außerhalb der Gruppe befinden. Die Bedürfnisse der Kuh bezüglich ihres Sozialverhaltens wurden außer Acht gelassen (Cook, 2019a).

Der Transitstall und das entsprechende Management sollte so gestaltet sein, dass der Kuhkomfort aller Kühe, einschließlich der rangniedrigen und unterwürfigen Tiere, gesteigert wird. Vor allem rangniedrige Tiere sind einem erhöhten Risiko für metabolische Stoffwechselerkrankungen ausgesetzt, wenn aufgrund einer Überbelegung nicht sichergestellt werden kann, dass sie permanent Zugang zu Futter und Liegeplätzen haben (Jones and Kammel, 2017). Eine Minimierung des sozialen Stresses als auch ein adäquater Zugang zu Futter, Wasser und Liegeplätzen sind hinsichtlich der Tiergesundheit und Produktivität der

nachfolgenden Laktation von großer Bedeutung (Cook and Nordlund, 2004b, Dann, 2017, Jones and Kammel, 2017, Nordlund, 2017, Nydam et al., 2017, Tyson, 2017).

Die am weitverbreitetsten Gruppeneinteilungen der Kühe und Färsen während der Transitperiode sehen wie folgt aus (Stone, 2000, Kammel and Graves, 2007, Smith Thomas, 2012):

- „Far-off“ - Trockensteher (Frühtrockensteher): 60 bis 22 Tage a.p.
- Hochtragende Färsen: 60 bis 29 Tage a.p.
- „Close-up“- Färsen (Vorbereiter): 28 bis 21 Tage a.p.
- „Close-up“ - Trockensteher (Vorbereiter, Färsen und Kühe): ab 21 Tage a.p.
- Frischabkalber (1 bis 3 Tage)
- Frischlaktierende Mehrkalbskühe: 1 (bis 3) bis 14 – 21 Tage p.p.
- Frische Erstlaktierende: 1 (bis 3) 14 – 21 Tage p.p.

In Milchviehbetrieben mit einer großen Tieranzahl besteht die Möglichkeit für separate Färsengruppen während der Vorbereitungsphase und nachfolgenden Laktation. Diese Separierung kann den sozialen Stress, welcher bei der Umstellung von jungen oder rangniedrigen Tieren in neue Gruppen entsteht, minimieren (Grant and Albright, 2001, Van Saun and Sniffen, 2014, Dann, 2017, Jones and Kammel, 2017).

Managemententscheidungen bezüglich der Länge der Trockenstehperiode haben einen Einfluss auf die Gruppeneinteilung. Bei der am häufigsten angewendeten und als „Goldstandard“ angesehenen Trockenstehdauer von ungefähr 50 bis 60 Tagen (Funk et al., 1987, Makuza and McDaniel, 1996) werden die Kühe während dieser Phase in eine Frühtrockenstehergruppe und in eine Spättrockenstehergruppe (ab ungefähr 3 Wochen vor der Kalbung) eingeteilt. Einige Wissenschaftler ziehen für eine Minimierung von metabolischen Stoffwechselstörungen eine Verkürzung der traditionellen Trockenstehdauer von 50 bis 60 Tagen in Erwägung. Die Vorteile einer verkürzten Trockenstehperiode sind vor allem eine Erhöhung der Gesamtlaktationsleistung, eine Verbesserung der Energiebilanz, Gesundheit sowie Fruchtbarkeit nach der Kalbung (Annen et al., 2004, Collier et al., 2004, Grummer and Rastani, 2004). Die Metaanalyse von van Knegsel et al. (2013) zeigt, dass durch eine Verkürzung der Trockenstehdauer die Milchleistung verringert wird, während die Energiebilanz verbessert und folglich das Risiko für eine Ketose verringert wird. Bei einer kürzeren Trockenstehperiode (35 bis 45 Tage vor der Kalbung) findet während dieser Phase meist keine Gruppeneinteilung statt, um zum Beispiel das Fütterungsmanagement zu erleichtern, eine möglichst konstante Nährstoffzufuhr für die Kühe sicherzustellen und den sozialen Stress aufgrund von Umstellungen zu reduzieren (Van Saun and Sniffen, 2014, Dann, 2017).

Die Verwendung einer Frischmelkergruppe zur Erleichterung der Überwachung der Gesundheit und der Behandlung von Erkrankungen wird empfohlen. Hinsichtlich eines

optimierten Fütterungsmanagement erweist sich die Anwendung von mindestens vier Gruppen (Frühtrockensteher, Spättrockensteher, Frischmelker, Hochleistungskühe) als ideal und stellt die Grundlage einer erfolgreichen Futterumstellung dar, welche folglich das Risiko für Erkrankungen minimieren kann (Dann, 2017).

Eine Umstallung in eine neue Gruppe bedeutet für die Kühe sozialer Stress, denn die Rangordnung muss erneut hergestellt werden. Gruppenbewegungen, welche zeitnah zur Kalbung stattfinden, können aufgrund des damit verbundenen Stresses zu einer verringerten Trockenmasseaufnahme, Liegezeit sowie Milchproduktion führen (Grant and Albright, 1995, Bøe and Færevik, 2003, Schirmann et al., 2011, Jones and Kammel, 2017). Zur Optimierung der Trockenmasseaufnahme sollte eine Umstallung 2 bis 7 Tage vor der Kalbung vermieden werden (Cook and Nordlund, 2004b, Nordlund, 2006, Schirmann et al., 2011, Cook, 2019a). Des Weiteren sollte auch eine Umstallung von einzelnen Kühen oder Färsen in eine neue Gruppe vermieden werden. Eine gemeinsame Umstallung von 3 bis 5 Tieren kann das Stressniveau bezüglich der sozialen Integration in die neue Gruppe minimieren (Cook and Nordlund, 2004b).

Es wird in Erwägung gezogen, dass ein optimales Stalldesign, insbesondere die zur Verfügung stehende Liegefläche und das vorhandene Fressplatzangebot, die negativen Auswirkungen von Umstellungen reduzieren kann (Cook, 2019a). So konnten Talebi et al. (2014) zeigen, dass eine geringe Belegungsdichte die negativen Effekte von Umstellungen verringern kann.

2.3.2 Abkalbestall

Ein Abkalbestall kann entweder eine Einzelbucht sein, in welche die Kühe einige Stunden vor ihrer Kalbung gebracht werden oder ein Vorbereiterstall, in welchen die Kühe einige Tage oder sogar bis einige Wochen vor ihrem erwarteten Kalbetermin verbracht werden. Trotz des Wissens, dass eine Isolierung von der Herde für eine Kuh Stress bedeutet (Rushen et al., 1999), ist die Separierung zur Kalbung eine weitverbreitete Strategie und so kann der Kuh ein ruhiger und abgelegener Bereich ohne sozialen Stress geboten werden (Nordlund, 2017, Proudfoot, 2019). Mit der Arbeit von Creutzinger et al. (2021) konnte gezeigt werden, dass sich in Gruppenhaltungen viele Kühe während der Kalbung von der Herde isolieren und durch diese Separierung den Tieren in der heutigen Milchviehhaltung das natürliche Kalbeverhalten ermöglicht werden kann. Während des letzten Jahrzehntes haben sich bezüglich des Abkalbemanagements 3 Hauptstrategien in den Milchviehbetrieben manifestiert. Ein empfohlenes Konzept ist das sogenannte „Just-in-time“-Abkalbemanagement, bei dem die Tiere aufgrund von unmittelbaren Geburtsanzeichen, wie dem Einsetzen der Wehentätigkeit oder der Sichtbarkeit von Fruchtteilen oder der Amnionblase, in eine Einzelbucht gebracht werden (Cook and Nordlund, 2004b, Carrier et al., 2006, Schuenemann et al., 2015, Cook,

2019a). Die zweite Strategie sieht eine kurzzeitige Verweildauer von bis zu 2 Tagen in dem Abkalbestall vor. Bei dem dritten Managementkonzept ist der Abkalbestall meist viel größer und stellt eine Gruppenhaltung dar. Bei diesem Konzept weisen die Tiere im Abkalbestall meist eine Verweildauer von mehr als 3 Tagen auf (Cook, 2019a). Eine zu frühe Umstallung der Vorbereiterkuh oder Färse im Rahmen des „Just-in-Time“-Managements kann das Risiko für eine Dystokie oder andere metabolische Erkrankungen erhöhen. Des Weiteren ist die frühzeitige Umstallung in eine Einzelbucht (2 bis 5 Tage a.p.) mit einem Rückgang der Trockenmasseaufnahme assoziiert (Jones and Kammel, 2017). Stellen die Abkalbeställe Gruppenhaltungen dar, sollten die Tiere nach weniger als 2 Tagen nach der Umstallung in dieser Gruppe Abkalben. Dies ist jedoch oftmals schwer zu erreichen, da die akkurate Vorhersage des Kalbetermins ein Problem darstellt. Kühe, welche eine Verweildauer von 3 bis 10 Tagen im Abkalbestall aufweisen, haben ein doppelt so hohes Risiko für das Ausscheiden aus der Herde bis zum 60 Tag p.p. sowie für das Auftreten von Ketose und Labmagenverlagerungen. Deshalb sollten die Tiere maximal 2 Tage a.p. oder mindestens mehr als 10 Tage vor ihrer Kalbung oder sogar besser bereits mehr als 20 Tage a.p. umgestallt werden. Eine weitere Möglichkeit für eine Separierung von der Gruppe zur Kalbung ist das Abtrennen innerhalb einer Vorbereitergruppe durch Stallgatter (Cook and Nordlund, 2004b, Nordlund, 2006).

Es wird für Abkalbeställe eine Stallfläche von mindestens 13 m² bis 14 m² oder sogar 16 m² pro Kuh empfohlen (Council, 2009, Schuenemann et al., 2015, Jones and Kammel, 2017, Proudfoot, 2019).

2.3.3 Belegungsdichte

Eine Überbelegung in den Gruppen während der Transitperiode führt zu einem unzureichenden Fressplatz-, Tränkeplatz- und Liegeplatzangebot pro Tier. Die daraus resultierende Konkurrenz um Futter, Wasser und Liegeplätze erhöht das Stresslevel und hat negative Auswirkungen, vor allem für rangniedrige, kleinere und jüngere Färsen und Kühe, auf ihre Gesundheit und Leistung (Cook and Nordlund, 2004b, Dann, 2017, Jones and Kammel, 2017, Nydam et al., 2017, Cook, 2019a, Grant et al., 2019). Der Transitstall sollte ein ausreichendes Fressplatzangebot aufweisen, so dass alle Tiere in den einzelnen Gruppen gleichzeitig fressen können, die Konkurrenz am Futtertisch minimiert wird und jedes Tier kontinuierlich 24 Stunden freien Zugang zu Futter hat. Durch eine mögliche Futterselektion kann sich der Nährwert der TMR über den Tag verändern, vor allem einige Stunden nach der Frischfutternvorlage. Folglich sind Tiere, welche aufgrund großer Konkurrenz zu den Zeiten der Frischfutternvorlagen keinen Zugang zum Futtertisch haben, nicht in der Lage eine adäquate Menge an Nährstoffen zu sich zu nehmen (DeVries et al., 2004, DeVries and Von Keyserlingk,

2005, Krause and Oetzel, 2006, Hosseinkhani et al., 2008, DeVries, 2017). Zudem nehmen solche Tiere durchschnittlich 14 % weniger Futter auf, was in einer geringeren Trockenmasseaufnahme und folglich erhöhten Krankheitsinzidenz resultiert (Grant and Albright, 2001, Luchterhand et al., 2016). Huzzey et al. (2007) konnten zeigen, dass Kühe, welche nach der Kalbung eine Metritis entwickelten, vor der Kalbung aufgrund vorhandener Konkurrenz am Futtertisch im Vergleich zu gesunden Kühen geringere Fresszeiten und folglich eine geringere Trockenmasseaufnahme aufwiesen. Außerdem zeigten diese Kühe in der Woche vor der Kalbung ein geringeres Aggressionsverhalten am Futtertisch als die gesundbleibenden Kühe. Eine weitere Studie konnte zeigen, dass die Länge der Fresszeiten, die Trockenmasseaufnahme und das Sozialverhalten für die Gesundheit von Transitzühen von großer Wichtigkeit sind. Durch einen Rückgang der durchschnittlichen Trockenmasseaufnahme pro Tag in dem Zeitraum 1 bis 2 Wochen vor der Kalbung haben die Kühe ein 2,2-fach erhöhtes Risiko für eine subklinische Ketose in der Woche nach der Kalbung (Goldhawk et al., 2009). In einer Studie von Kaufman et al. (2016) ist durch eine Erhöhung der Belegungsdichte um 5 % während der Woche vor der Kalbung das Ketoserisiko um 10 % gestiegen. Des Weiteren kann eine Erhöhung der Belegungsdichte um 10 % in der Vorbereitergruppe bei Erstlaktierenden zu einem Rückgang der Milchleistung um 0,7 kg/Tag führen (Oetzel et al., 2007). Zudem führt eine Konkurrenz am Futtertisch zu einer Veränderung des Steh- und Fressverhaltens. In der Studie von Proudfoot et al. (2009) zeigten Mehrkalbskühe in der Woche vor der Kalbung und in der Woche nach der Kalbung reduzierte Fresszeiten (min/d) und erhöhte Konsumraten (kg TS/min) sowie verringerte Liegezeiten. Die negativen Effekte des veränderten Fressverhaltens aufgrund von Konkurrenz innerhalb der Gruppe und das Risiko für eine reduzierte Trockenmasseaufnahme sind vor allem für Transitzühe fatal (Proudfoot et al., 2009).

Ein weiterer das Fressplatzangebot limitierender Faktor in Bezug auf die Konkurrenz am Futtertisch ist die Gestaltung der Futtertischabtrennung (Cook, 2019a). Durch eine Studie von Huzzey et al. (2006) wurde ersichtlich, dass das „Wegdrängen“ vom Futtertisch durch andere Kühe in Gruppen mit Fressfanggittern geringer war als in Gruppen, welche nur ein Nackenrohr als Abtrennung zum Futtertisch hatten. Ebenso konnten Endres et al. (2005) zeigen, dass rangniedere Kühe in Gruppen mit Fressfanggittern im Vergleich zu rangniederen Tieren in Gruppen mit einem Nackenrohr längere Fresszeiten aufwiesen. Diese Ergebnisse legen nahe, dass Fressfanggitter die Aggressionen am Futtertisch minimieren und für rangniedere Tiere den Zugang zu Futter zu Zeiten großer Aktivitäten am Futtertisch sicherstellen.

Bei der Haltung in Liegeboxenlaufställen ist die Anzahl der Reihen an Liegeboxen ein weiterer das Fressplatzangebot limitierender Faktor. Ein 3-reihiger Liegeboxenlaufstall begrenzt die Fressplatzbreite pro Kuh. Die Liegeboxen sind hinter dem Futtertisch, von welchem sie durch einen Laufgang getrennt sind, aufgereiht. Dadurch ist die Länge des Futtertisches im

Verhältnis zu der Anzahl an Liegeboxen zu gering und bei einer Belegungsdichte von 100 % würde nicht jedem Tier ein Fressplatz zur Verfügung stehen (Jones and Kammel, 2017). Ein 3-reihiger Liegeboxenlaufstall kann für Frühtrockensteher oder Färsen genutzt werden, dabei sollte jedoch ein Fütterungsmanagement, welches dem begrenzten Fressplatzangebot gerecht wird, Anwendung finden. Beispielsweise eine mehrmalige Fütterung pro Tag oder häufigerer Futternvorschub können den negativen Effekt des limitierten Fressplatzangebots minimieren. Des Weiteren sollte die Belegungsdichte der limitierten Fressplatzbreite pro Kuh angepasst werden. Ein 2-reihiger Liegeboxenlaufstall stellt die effizienteste Gestaltung des Stalls dar, weil durch ein besseres Verhältnis von Fress- und Liegeplätzen auch bei einer Belegungsdichte von 100 % das empfohlene Fressplatz- und Liegeplatzangebot durch bestmögliche Ausnutzung der Stallfläche sichergestellt werden kann. Diese Anordnung der Liegeboxen sollte vor allem für die Gruppen der Frischmelker verwendet werden (DeVries, 2017, Jones and Kammel, 2017).

Durch eine angemessene Belegungsdichte kann ein permanent freier Zugang zu Futter und Wasser sowie ein ausreichendes Liegeplatzangebot und eine angemessene Stallfläche (m² pro Tier) gewährleistet werden. Dadurch kann der Kuhkomfort optimiert und der Rückgang der Trockenmasseaufnahme im Zeitraum um die Kalbung und folglich das Risiko für metabolische Stoffwechselstörungen minimiert werden (Jones and Kammel, 2017, DeVries, 2019).

Lange wurde eine Fressplatzbreite von 61 cm pro Kuh als optimal angesehen (Grant and Albright, 2001, DeVries, 2017). Für unsere heutigen „modernen“ Milchkühe (Holstein Friesian) und vor allem für die Kühe, welche sich in der kritischen Transitperiode befinden, wird ein größeres Fressplatzangebot von ≥ 76 cm pro Kuh empfohlen (Cook and Nordlund, 2004b, Nordlund, 2011, Oetzel, 2014, Nordlund, 2017, Overton et al., 2018). So ist es auch für diese Kühe möglich eine ausreichende Menge an Trockenmasse aufzunehmen, um das Risiko für Erkrankungen zu minimieren. Für laktierende Kühe sind Fressfanggitter mit einer Breite von 61 cm weitverbreitet. Jedoch sind, wie schon erwähnt, die heutigen Milchkühe großrahmiger und breiter (≈ 76 cm breit) (Oetzel, 2020), wodurch man bei der Verwendung solch schmaler Fressfanggitter häufig beobachten kann, dass mindestens 2 von 10 Fressfanggittern frei sind, da nicht alle Kühe bei der geringen Breite Platz haben (10 Kühe in 10 Fressfanggitter) (DeVries, 2017). So gilt auch für diese Kühe die Empfehlung für eine Fressplatzbreite von ≥ 76 cm pro Kuh (Oetzel, 2014, DeVries, 2017, Nordlund, 2017, Cook, 2019a).

DeVries et al. (2004) berichten von einem signifikant geringeren Konkurrenzverhalten am Futtertisch und längeren Fresszeiten durch eine Fressplatzbreite von 1 Meter (m) im Vergleich zu 0,5 m.

Die Länge der Trogtränke sollte mindestens 6,5 bis 9 cm pro Kuh betragen (Tyson, 2017). Viele Autoren empfehlen jedoch ein Tränkeplatzangebot von mindestens 10 cm pro Kuh (Smith et al., 2006, Hayton et al., 2012, Oetzel, 2014). Weiterhin sollten pro Gruppe

mindestens 2 Wassertränken vorhanden sein (Oetzel, 2014, Jones and Kammel, 2017). Über eine Ventiltrogtränke können 15 Tiere adäquat versorgt werden (Winckler and Knierim, 2002, Döhler and Döhler, 2009). Eine eingeschränkte Wasseraufnahme kann negative Effekte auf die Futteraufnahme, Leistung und Gesundheit haben (Burgos et al., 2001, Hayton et al., 2012, McFarland et al., 2014). Eine Kuh muss 80 bis 90 % ihres Wasserbedarfs durch die reine Aufnahme von Wasser decken (Tyson, 2017). Eine regelmäßige Überprüfung der Wasserversorgung und Sauberkeit der Tränken sind von großer Bedeutung, denn eine Verschmutzung der Tränken verringert die Tränkwasserqualität und folglich auch die Wasseraufnahme (Hayton et al., 2012, Oetzel, 2014).

Außerdem sollte jede Kuh innerhalb der Gruppe jederzeit Zugang zu einer adäquat großen Liegefläche haben (Cook, 2019a). So besteht Klarheit darüber, dass bei einer vorhandenen Überbelegung das Liegeverhalten der Kuh negativ beeinflusst wird und zu geringeren Liegezeiten (min/ Tag) führt (Fregonesi et al., 2007). Eine Verlängerung der Stehzeit stellt für die Milchkuh einen bedeutenden Risikofaktor für das Auftreten von Lahmheiten dar (Greenough and Vermunt, 1991). Die Vermeidung übermäßiger Stehzeiten ist vor allem während der Laktation von großer Bedeutung, jedoch scheint auch die Phase vor der Kalbung eine entscheidende Rolle bezüglich des Auftretens von Lahmheiten zu spielen (Proudfoot et al., 2009). Proudfoot et al. (2010) konnten zeigen, dass Kühe mit einer diagnostizierten Klauenerkrankung während der Laktation 2 Wochen vor der Kalbung verlängerte Stehzeiten aufwiesen.

Bei der Haltung in Tiefstreuställen sollte die mit Stroh eingestreute Fläche (Liegefläche) mindestens 10 m² pro Kuh betragen (Jones and Kammel, 2017). Empfohlen wird jedoch eine Fläche von 12 bis zu 14 m² pro Kuh (Graves, 2006, Smith et al., 2006, Bewley et al., 2013, Jones and Kammel, 2017). Für laktierende Kühe gilt ein Minimum von 9,3 m² pro Kuh und sollte bei einer Milchproduktion über 23 kg pro Tag entsprechend erhöht werden (Bewley et al., 2013, Tyson, 2017).

Bei der Haltung in Liegeboxenlaufställen sollte das Tier-Liegeplatz-Verhältnis mindestens 1:1 sein (Cook, 2019b, Cook, 2019a, Krawczel and Lee, 2019, Tucker et al., 2020).

2.3.4 Fütterungsmanagement

Das Fütterungsmanagement ist für einen erfolgreichen Übergang von dem nicht-laktierenden zum laktierenden Status sowie für die Verbesserung der Gesundheit, der Produktivität und Reproduktion der Milchkuh von Bedeutung (Cardoso et al., 2020).

Fütterungskonzepte, welche die Dauer und den Schweregrad der negativen Energiebilanz während der Transitperiode beeinflussen, spielen eine wichtige Rolle hinsichtlich der Gesundheit und Produktivität der Milchkühe (Herdt, 2000, Dann et al., 2006, Janovick and

Drackley, 2010, Van Saun and Sniffen, 2014, Mann et al., 2015). Des Weiteren können Fütterungskonzepte, welche das Ausmaß der NEB kontrollieren, einen vorteilhaften Effekt auf die Funktion des Immunsystems und die systemische Entzündungsantwort haben (Sordillo and Raphael, 2013, Sordillo, 2016). Denn eine systemische Entzündungsantwort, welche über einen längeren Zeitraum andauert, besonders während der Frühlaktation, kann zu einer Veränderung des Energiestoffwechsels führen. Dadurch kann die Anfälligkeit der Milchkuh gegenüber Erkrankungen steigen und die Futtereffizienz sinken, weil ein Teil der Energiezufuhr für das aktivierte Immunsystem statt für die Milchproduktion und Reproduktion verbraucht wird (Bradford et al., 2015). Deshalb stellt die Optimierung der Trockenmasse- und Energieaufnahme während der Frühlaktation durch eine kontrollierte Energiezufuhr während der Trockenstehperiode und folglich die Optimierung des BCS in der Spätträchtigkeit den Schlüsselfaktor der Aufrechterhaltung der Gesundheit dar (Dann, 2017).

Eine Einteilung der Kühe in Gruppen während des Laktationszyklus stellt eine wichtige Managementstrategie dar. In Verbindung mit einer entsprechenden Rationsberechnung kann dadurch der Nährstoffbedarf, entsprechend dem jeweiligen physiologischen Status der Kuh, gedeckt werden (Dann, 2017).

Wie bereits dargestellt, erweist sich bezüglich eines optimalen Fütterungsmanagement die Verwendung von mindestens vier Gruppen (Spättrockensteher, Frühtrockensteher, Frischmelker, Hochleistungskühe) als angemessen und stellt die Grundlage für eine erfolgreiche Futterumstellung während der Transitperiode dar, welche folglich das Risiko für Erkrankungen minimieren kann (Stone, 2000, Kammel and Graves, 2007, Smith Thomas, 2012). Färsen werden oft 21 bis 28 Tage vor ihrer Kalbung in die Vorbereitergruppe der Kühe gestellt. Zur Minimierung des sozialen Stresses und für eine adäquate Nährstoffversorgung hinsichtlich ihres eigenen Wachstums und das des Fetus sollten sie separat von den adulten Kühen gehalten werden (Dann, 2017). Auch für die gesamte Laktation wird für die Erstlaktierenden eine separate Haltung empfohlen (Grant and Albright, 2001, Jones and Kammel, 2017).

2.3.4.1 Trockenmasseaufnahme

Während der Nährstoffbedarf in der Transitperiode steigt, sinkt die TM-Aufnahme zur Kalbung (Ingvarsen and Andersen, 2000, Grummer et al., 2004), wodurch der Bedarf für die einsetzende Milchproduktion nicht gedeckt werden kann (Bell and Bauman, 1997). Am Tag vor der Kalbung sinkt die relative TM-Aufnahme von 1,7 % (relativer Anteil des Körpergewichts) auf 1,3 % für Färsen und von 2,0 % auf 1,4 % für Mehrkalbskühe (Grummer et al., 2004). Es entsteht ein Konflikt zwischen dem begrenzten Vermögen der Futteraufnahme und dem drastisch steigenden Nährstoffbedarf für die Milchleistung (Butler and Smith, 1989).

Der Steigerung der Milchleistung, welche ihren Höhepunkt in der 4. bis 7. Woche nach dem Partus aufweist, folgt der Höhepunkt der TM-Aufnahme der Kuh mit 8 bis 11 Wochen p.p. zeitlich verzögert (Staufenbiel et al., 1989, Staples et al., 1990, Nebel and McGilliard, 1993). Eine schnelle und erfolgreiche Adaptation an die negative Energiebilanz sind für die Gesundheit und Leistung der Milchkuh von großer Wichtigkeit (Ingvarsen and Andersen, 2000). So führt ein größerer Rückgang der TM-Aufnahme vor der Kalbung zu einer vermehrten Fettmobilisation nach der Kalbung und erhöht das Risiko für Erkrankungen. Deshalb sollte das Ziel sein, die TM-Aufnahme und Energiezufuhr während der Trockenstehperiode zu optimieren, um den Rückgang der TM-Aufnahme zur Kalbung möglichst gering zu halten (Drackley, 1999, Overton and Waldron, 2004).

Die Haltungs- und Managementfaktoren während der Transitperiode, welche die TM-Aufnahme stark beeinflussen können, wurden im vorherigen Kapitel erläutert. Dabei spielen zum Beispiel die Belegungsdichte, gemeinsame Haltung von Färsen und Kühen und die Frequenz und Anzahl von Umstellungen eine entscheidende Rolle (Cook and Nordlund, 2004a, Nordlund, 2006).

Die Verhaltensänderungen, welche mit Erkrankungen während der Transitperiode assoziiert sind, umfassen eine Reduzierung der Aktivität, des Fressverhaltens sowie des Sozialverhaltens (Proudfoot and Huzzey, 2017). Kühe, welche an einer Metritis (Pérez-Báez et al., 2019a), Mastitis (Fogsgaard et al., 2012, Pérez-Báez et al., 2019b), Klauenerkrankung (Almeida et al., 2008, González et al., 2008) oder Ketose (González et al., 2008, Goldhawk et al., 2009, Pérez-Báez et al., 2019b) erkranken, zeigen eine reduzierte Trockenmasseaufnahme. Zudem weisen Kühe, welche nach der Kalbung eine Metritis (Huzzey et al., 2007, Pérez-Báez et al., 2019a), eine Mastitis oder eine Ketose (Pérez-Báez et al., 2019b) entwickeln, im Vergleich zu gesunden Kühen schon vor der Kalbung eine geringere Trockenmasseaufnahme auf (Huzzey et al., 2007, Pérez-Báez et al., 2019a).

Durch die Ergänzung von Stroh oder anderen Futtermitteln (Grassilage, Heu), welche durch einen hohen Gehalt an NDF eine geringe Verdaulichkeit besitzen, kann das Pansenvolumen aufrechterhalten und folglich die TM-Aufnahme zur Kalbung verbessert werden (Allen and Piantoni, 2014, Van and Sniffen, 2014). Allerdings führt ein hoher NDF-Gehalt in der Frischmelkerration aufgrund einer langen Passagezeit im Gastrointestinaltrakt zu einer Limitierung der TM-Aufnahme (Piantoni et al., 2015). Somit wird für die Futterration von trockenstehenden Kühen und hochtragenden Färsen ein hoher Gehalt an NDF und eine geringe Energiedichte empfohlen. Die frischlaktierende Kuh sollte mit einer hochenergetischen Ration gefüttert werden, welche durch einen hohen Gehalt an fermentierbarer Stärke und einen geringen Gehalt an NDF charakterisiert ist (Allen and Piantoni, 2014). Die Kuh reagiert auf diese Futterumstellung mit einer Adaptation des Pansens. Für die Steigerung der Absorptionskapazität findet eine Vergrößerung der Papillen hinsichtlich ihrer Länge und Breite

statt. Weiterhin findet eine Anpassung der Population der im Pansen vorhandenen Mikroorganismen zugunsten der Bakterien, welche Laktat verwerten können, statt (Grummer, 1995, Goff and Horst, 1997b). Diese Adaptation des Pansens benötigt 3 bis 4 Wochen (Huntington et al., 1981) und ist in Zeiten der negativen Energiebilanz von großer Bedeutung. Dieser deutliche Anstieg der Energiedichte durch hohe Gehalte an fermentierbaren Kohlenhydraten in der Frischlaktierendenration kann jedoch ein schwerwiegendes Problem während der Frühaktation darstellen, weil es die Milchkuh für die subakute Pansenazidose („subacute ruminal acidosis“; SARA) prädisponiert, welche einen Rückgang der TM-Aufnahme und eine herabgesetzte Verdauung nach sich zieht (Dann and Nelson, 2011, Williams et al., 2015, Dann, 2017, Cardoso et al., 2020). Weiterhin verursacht eine subakute Pansenazidose und eingeschränkte Pansenfunktion eine lokale Entzündung, was wiederum zu einer verringerten Futtereffizienz führt (Zebeli and Metzler-Zebeli, 2012, Zebeli et al., 2015).

Des Weiteren resultiert die Fütterung großer Mengen an leicht fermentierbarer Stärke in einer Anflutung großer Mengen an Propionat in der Leber. Entsprechend der Theorie der „hepatischen Oxidation“ führt dies bei frischlaktierenden Kühen, welche durch die Mobilisation von körpereigenen Fettreserven eine erhöhte Konzentration an NEFAs im Blut aufweisen, zu einem Rückgang der TM-Aufnahme (Allen et al., 2009, Allen and Piantoni, 2014).

Es wurde lange angenommen, dass eine zweiphasige Fütterungsstrategie hinsichtlich der Energiezufuhr während der Trockenstehperiode von Vorteil ist. Die Vorbereiter sollten eine Ration mit einer höheren Energiedichte als die Früh trockensteher erhalten. Einerseits, um eine adäquate Energiezufuhr in Zeiten des Rückgangs der Trockenmasseaufnahme gewährleisten zu können, und andererseits, um die Futterumstellung auf die Frischmelkerration, welche eine hohe Energiedichte und einen hohen Gehalt an fermentierbaren Kohlenhydraten aufweist, zu optimieren (Grummer, 1995, McNamara et al., 2003). Von der NRC (2001) wurde ein Energiegehalt von 1,25 Mcal NE_L/ kg TS für die Früh trockensteheration und für die Vorbereiterration ein Energiegehalt von 1,62 Mcal NE_L/ kg TS empfohlen.

Jedoch kann diese Fütterungsstrategie einen negativen Effekt auf den metabolischen Stoffwechsel während der Transitperiode haben (Dann et al., 2006) und zu gesundheitlichen Problemen führen (Rukkwamsuk et al., 1999, Drackley and Cardoso, 2014, Mann et al., 2015, Richards et al., 2020). Durch die Verwendung von Futtermitteln während der gesamten Trockenstehperiode, welche einen geringen Energiegehalt und einen hohen NDF-Gehalt aufweisen (Stroh oder Heu) kann eine kontrollierte Energiezufuhr sichergestellt werden. Eine kontrollierte Energiezufuhr während der gesamten Trockenstehperiode (einphasige Trockensteherfütterung) führt zu einer erfolgreichen Adaptation an die Laktation. Dies scheint sowohl die präpartale als auch postpartale TM-Aufnahme zu verbessern sowie die Fettmobilisation, die Konzentration an NEFAs und BHB und folglich das Risiko für

metabolische Erkrankungen zu verringern (Dann et al., 2006, Douglas et al., 2006, Janovick and Drackley, 2010, Janovick et al., 2011, Cardoso et al., 2013, Mann et al., 2015).

Des Weiteren verbessert eine kontrollierte Energiezufuhr während der Trockenstehperiode die postpartale Funktion der neutrophilen Granulozyten (Graugnard et al., 2012) sowie die Fruchtbarkeit der Milchkuh (Cardoso et al., 2013, Roche et al., 2013). Hinsichtlich der Milchleistung besteht kein Unterschied zwischen der Fütterungsstrategie einer hochenergetischen Vorbereiterration und der kontrollierten Energiezufuhr während der gesamten Trockenstehdauer (Douglas et al., 2006, Janovick and Drackley, 2010, Mann et al., 2015). Der Fettgehalt in der Milch steigt durch die Fütterung einer hochenergetischen Vorbereiterration (Dann et al., 2006, Mann et al., 2015) aufgrund einer gesteigerten Fettmobilisation in Form von NEFAs (Pullen et al., 1989, Palmquist et al., 1993, Rukkamsuk et al., 2000). Empfohlen wird eine kontrollierte Energiezufuhr (1,32 bis 1,45 Mcal NE_L/ kg TS, 15 bis 16 Mcal/ Tag für Holstein Friesian), welche den Energiebedarf der trockenstehenden Kuh oder hochtragenden Färse deckt, jedoch nicht groß überschreitet (Cardoso et al., 2013, Mann et al., 2015, Dann, 2017, Nydam et al., 2017, Cardoso et al., 2020, Richards et al., 2020). Eine zu geringe Nährstoffzufuhr, welche den Bedarf nicht deckt, führt wiederum zu einer erhöhten Inzidenz von Nachgeburtsverhaltung und akuter puerperaler Metritis (Mulligan et al., 2006).

Die durchschnittliche TM-Aufnahme pro Kuh sollte in den unterschiedlichen Leistungsgruppen regelmäßig bestimmt werden. Der Fokus sollte auf der Vorbereiter- und Frischmelkergruppe liegen (LeBlanc, 2010). Für eine akkurate Bestimmung der TM-Aufnahme benötigt man nicht nur die Trockenmasse der TMR (%), die Tieranzahl und die Menge der Frischfuttermaterie (kg), sondern auch die Menge des Restfutters (kg) (Stone and Mosley, 2017). Eine möglichst genaue Abschätzung der TM-Aufnahme in den unterschiedlichen Leistungsgruppen ist Voraussetzung für eine bedarfsdeckende Rationsberechnung und optimierte Futtermateriemenge und somit ein wichtiger Bestandteil des Fütterungsmanagements. Weicht die aktuelle TM-Aufnahme mehr als 5 % von der erwarteten TM-Aufnahme ab, welche für die Rationsberechnung verwendet wurde, sollte die Ursache für diese Veränderung der TM-Aufnahme untersucht oder die Futtermateriemenge angepasst werden (Stone and Mosley, 2017).

2.3.4.2 Körperkondition

Zur Beurteilung des Energiestoffwechsels und der Energiebilanz kann das subkutane Fettgewebe, welches die Hauptreserve zur Kompensation von Energiemängeln und für laktationsbedingte Konditionsveränderungen darstellt, quantitativ untersucht, beziehungsweise gemessen werden (Bauman and Currie, 1980, Staufenbiel, 1992b, Schröder and Staufenbiel, 2006, Roche et al., 2009, Bell et al., 2010). Eine praktikable, kostengünstige

und einfach in das Herdenmanagement integrierbare Methode ist das sogenannte „Body-Condition-Scoring“ (Edmonson et al., 1989, Ferguson et al., 1994). Bei dieser Methode besteht eine enge Korrelation zur subkutanen Fettauflage und dem Körperfettgehalt (Garnsworthy and Jones, 1987). Es findet eine Bewertung der Körperkondition durch visuelle und palpatorische Beurteilung der subkutanen Fettauflagen an definierten Körperpartien statt. Es gibt weltweit verschiedene Bewertungsschlüssel von einer 5-Punkte-Skala über eine 8-Punkte-Skala bis hin zu einer 10-Punkte-Skala (Roche et al., 2009). Alle haben gemeinsam, dass die niedrigste Zahl für einen kachektischen Zustand und die höchste Zahl für einen fettleibigen Zustand steht. In der weitverbreiteten 5-Punkte-Skala von Wildman et al. (1982) und Edmonson et al. (1989) kann man für eine genauere Beurteilung auch Viertelpunkte vergeben werden. Aufgrund der Subjektivität dieser Methode sind die ermittelten Werte schwerer vergleichbar und die Beurteilung sollte möglichst von derselben Person durchgeführt werden (Staufenbiel et al., 1993c, Stone and Mosley, 2017). Die bedeutendsten Zeitpunkte für die Beurteilung der Körperkondition sind das Trockenstellen, die Umstallung in die Vorbereitergruppe, die Kalbung, die Früh-laktation (30 Tage p.p.), der Höhepunkt der Milchleistung (75 bis 100 Tage p.p.) sowie die Spät-laktation (> 200 Tage p.p.) (Stone and Mosley, 2017). Für jede Gruppe wird der arithmetische Mittelwert (Körperkonditionsindex) berechnet und mit den empfohlenen Zielwerten für die jeweiligen Leistungsgruppen verglichen. Durch die Gruppierung der Herde nach Laktationsabschnitt oder Leistungsniveau kann durch diese Methode leicht das Management und die Fütterung überwacht werden (Lean et al., 1989, Stone and Mosley, 2017).

Eine weitere Methode zur Konditionsbeurteilung von Milchkühen stellt die sonographische Rückenfettdickenmessung (RFD-Messung) dar (Staufenbiel et al., 1993a, Staufenbiel, 1997). Zwischen dem BCS und dem RFD-Wert besteht eine hohe Korrelation (Fietze, 2004). Die beiden Messgrößen können einander zugeordnet werden. Eine BCS-Einheit entspricht ungefähr 10 mm RFD (Staufenbiel et al., 1993c, Schröder and Staufenbiel, 2003, Staufenbiel et al., 2004a). Die Dicke der subkutanen Fettauflage im Rückenbereich spiegelt mit hoher Genauigkeit den Körperfettgehalt des Rindes wider. Bei dieser Methode wird die Strecke von der Hautoberfläche bis zur Fascia profunda mit Hilfe eines Ultraschallgerätes ausgemessen und in mm RFD angegeben. Der Messpunkt befindet sich auf der Linie zwischen dem dorsalen Rand des Tuber coxae und dem dorsalen Rand des Tuber ischiadicum. Auf dieser Linie wird am Übergang des caudalen Viertel zum caudalen Fünftel die RFD gemessen (Klawuhn, 1991, Staufenbiel, 1992a, Staufenbiel et al., 1993a, Klawuhn and Staufenbiel, 1997, Staufenbiel, 1997, Schröder, 2000).

Kühe, welche zur Kalbung eine übermäßige Körperkondition haben, werden in den ersten Wochen nach der Kalbung mehr körpereigene Fettreserven mobilisieren und einen größeren Verlust an Körpergewicht aufweisen. Überkonditionierte Kühe zeigen nach der Kalbung eine

stark beeinträchtigte Trockenmasseaufnahme, wodurch die Fettmobilisation weiterhin gesteigert wird und das Risiko für metabolische Erkrankungen steigt (Reid et al., 1986, Garnsworthy, 2006, Roche et al., 2007a, Roche et al., 2009, Santos and Staples, 2017).

Die genetische Selektion auf hohe Milchleistung hat dazu geführt, dass die Kühe während der frühen Laktation mehr Lebendmasse verlieren und somit empfänglicher für Erkrankungen nach der Kalbung sind (McNamara and Hillers, 1986, Uribe et al., 1995, Heuer et al., 1999, Ingvarsen et al., 2003, Hoedemaker et al., 2009, Roche et al., 2009). Die Kühe verlieren in dem Zeitraum 40 bis 100 Tage nach der Kalbung, während sie sich in einer negativen Energiebilanz befinden, an Körperkondition (McNamara and Hillers, 1986, Coffey et al., 2004, Friggens et al., 2004, Roche et al., 2007a). Überkonditionierte Kühe befinden sich aufgrund eines größeren Rückgangs der TM-Aufnahme während der Transitperiode in einer schwereren NEB (Heuer et al., 1999, Hoedemaker et al., 2009). Das größte Risiko für das Auftreten von Erkrankungen (kurz nach der Kalbung) entspricht dem Höhepunkt der NEB und der NEFA-Konzentration im Blut sowie der maximalen Steigung der Milchleistung (Drackley, 1999, Heuer et al., 1999, Hoedemaker et al., 2009). Mit der NEB assoziierte Stoffwechselstörungen, einschließlich Ketose und Leberverfettung, können die Fruchtbarkeit und Gesundheit der Milchkuh stark beeinträchtigen (Treacher et al., 1986, Heuer et al., 1999, Garnsworthy, 2006, Hoedemaker et al., 2009, McArt et al., 2012). Der Rückgang der Trockenmasseaufnahme und erhöhte NEFA-Konzentrationen im Blut sind mit einer supprimierten Funktionalität der neutrophilen Granulozyten assoziiert (Kehrli et al., 1989, Cai et al., 1994) und tragen somit zur peripartalen Immunsuppression bei (Bell, 1995, Rukkwamsuk et al., 1999). Zudem scheinen auch erhöhte BHB-Konzentrationen bei der peripartalen Beeinträchtigung des Immunsystems mitzuwirken (Kluciński et al., 1988, Kremer et al., 1993). Weiterhin weist ein aktiviertes Immunsystem einen gesteigerten Glucoseverbrauch auf (Kvidera et al., 2017). Das Ausmaß der negativen NEB und in der Folge die Intensität der Fettmobilisation sind hinsichtlich der Funktion des Immunsystems während der Transitperiode von großer Bedeutung (Sordillo, 2016).

Sowohl über- als auch unterkonditionierte Kühe besitzen ein größeres Risiko für das Auftreten von Erkrankungen in der Früh-laktation (Heuer et al., 1999, Roche et al., 2009). Durch eine übermäßige Körperkondition zur Kalbung ist das Risiko für eine Schweregeburt, eine Hypocalcämie, eine Nachgeburtshaltung, eine akute puerperale Metritis, eine Mastitis sowie für eine Klauenerkrankung erhöht (Treacher et al., 1986, Gearhart et al., 1990, Markusfeld et al., 1997, Garnsworthy, 2006).

Deshalb ist das Management der Körperkondition während der Trockenstehperiode und frühen Laktation für die Optimierung der Tiergesundheit, Leistung und Fruchtbarkeit von großer Bedeutung (Nebel and McGilliard, 1993, Jorritsma et al., 2003, Drackley et al., 2005, Roche et al., 2009, Drackley and Cardoso, 2014, Van Saun and Sniffen, 2014, Sordillo, 2016,

Santos and Staples, 2017, Stone and Mosley, 2017). Das Verhindern einer zu geringen oder übermäßigen Körperkondition der trockenstehenden Kühe und hochtragenden Färsen ist Teil des Fütterungsmanagement (Roche et al., 2013, Dann, 2017, Santos and Staples, 2017).

Der Schweregrad und die Länge der NEB können durch die Veränderung der Körperkondition abgeschätzt werden (Roche et al., 2013, Santos and Staples, 2017). Kühe, welche einen großen Verlust an Körperkondition nach der Kalbung aufweisen, zeigen eine verzögerte postpartale Ovulation, einen verringerten Besamungserfolg und ein erhöhtes Risiko für einen Trächtigkeitsverlust nach der ersten Besamung (Santos et al., 2010, Ribeiro et al., 2013, Santos and Staples, 2017). Ein negativer Energiestatus ist mit einer verzögerten, beziehungsweise beeinträchtigten Ovulation sowie mit einem reduzierten Brunstverhalten assoziiert (Hileman et al., 1999, Butler et al., 2003, Jorritsma et al., 2003, Santos and Staples, 2017). Die Abnahme des BCS sollte 0,5 bis 0,75 Einheiten nicht überschreiten (Santos and Staples, 2017). Kühe, welche ≥ 1 Einheit an BCS während den ersten 60 Tagen nach der Kalbung verlieren, haben einen geringeren Besamungserfolg und ein erhöhtes Risiko für einen Trächtigkeitsverlust (Santos et al., 2009). Des Weiteren konnte bei Kühen mit einem BCS-Verlust > 1 Einheit eine größere Inzidenz für eine akute puerperale Metritis, eine Nachgeburtsverhaltung und metabolische Erkrankungen, wie Labmagenverlagerungen, Ketose und Milchfieber, beobachtet werden als bei Kühen, welche weniger als eine BCS-Einheit verlieren (Kim and Suh, 2003). Zum Zeitpunkt des Trockenstellens und der Kalbung wird ein BCS von 3,0 bis 3,5 (auf einer 5-Punkte-Skala, 1= Abmagerung und 5= Fettleibigkeit) empfohlen (Dann, 2017, Santos and Staples, 2017). Roche et al. (2013) sind der Meinung, dass für Kühe ein BCS von 3,0 und für Färsen von 3,25 zur Kalbung optimal ist. Garnsworthy (2006) behauptet, der optimale durchschnittliche BCS hat sich in den letzten Jahrzehnten aufgrund der genetischen Selektion auf hohe Milchleistung verringert und ist ebenfalls der Meinung, dass ein BCS von 3,0 einen angemessenen Zielwert repräsentiert. Die Körperkondition der hochtragenden Tiere sollte, wenn nicht sogar während der gesamten Trockenstehperiode, vor allem während der zweiten Hälfte der Trockenstehperiode auf einem konstanten Niveau gehalten werden (Staufenbiel et al., 1993b, Drackley and Cardoso, 2014, Stone and Mosley, 2017). Ein BCS $< 3,0$ zur Kalbung ist assoziiert mit einer verringerten Milchleistung und Fruchtbarkeit, wohingegen ein BCS $> 3,5$ mit einem Rückgang der Trockenmasseaufnahme und einem erhöhten Risiko für metabolische Erkrankungen in der Früh lactation assoziiert ist (Gillund et al., 2001, Roche et al., 2009).

2.3.4.3 TMR-Analyse

Ein gutes Fütterungsmanagement sollte regelmäßige TMR-Analysen beinhalten. Durch die Beprobung der TMR, welche der Kuh auf dem Futtertisch zur Verfügung steht, können zum

Beispiel Probleme hinsichtlich des Futtermischwagens, wie die Beladung, die Mischgenauigkeit oder der Futterauswurf sowie Veränderungen der Nährstoffzusammensetzung der einzelnen Futterkomponenten aufgedeckt werden (Oelberg and Stone, 2014, Oelberg and Stone, 2017). Vor allem beim Einsatz saurer Salze ist die Analyse der DCAD in den einzelnen Futtermitteln als auch in der TMR der Vorbereiter von großer Wichtigkeit. Sie dient zur Überprüfung der Mischgenauigkeit (Staufenbiel et al., 2004b) und der Rationsberechnung (Staufenbiel, 2010). Weiterhin wird die Bestimmung der Trockenmasse der TMR als auch der einzelnen Grundfuttermittel im Labor als „Goldstandard“ betrachtet (Stone and Mosley, 2017). Die TMR-Probe sollte direkt nach der Frischfutternvorlage vom Futtertisch entnommen werden, bevor die Kühe die Möglichkeit zur Futterselektion haben (Oetzel, 2014). Es sollten über die gesamte Länge des Futtertischs verteilt, vom Anfang des TMR-Auswurfes aus dem Futtermischwagen bis zum Ende, an mindestens 10 Stellen Proben entnommen und in einem 20 Liter großen Eimer gesammelt werden (Oelberg and Stone, 2014, Oetzel, 2014, Stone and Mosley, 2017). Für die Analyse der Partikelgröße mithilfe der Schüttelbox („Penn State Forage Particle Size Separator“ = PSPS) sollten 300 bis 400 g verwendet werden und die optimale Menge für eine Laboranalyse sind 200 bis 250 g (Oetzel, 2014). Die Unterschiede zwischen den erwarteten und analysierten Gehalten der jeweiligen Nährstoffe in der TMR werden in einem Rahmen von $\pm 5\%$ als akzeptabel betrachtet (Oetzel, 2014).

2.3.4.4 Futterselektion

Die Untersuchung der Partikelgröße bzw. -länge der unterschiedlichen Grundfuttermittel sowie der TMR sollte in ein gutes Fütterungsmanagement integriert sein (Oetzel, 2014). Eine praktikable und im Milchviehbetrieb gut anwendbare Methode ist die Verwendung der Schüttelbox („Penn State Forage Particle Size Separator“ = PSPS). Die Schüttelbox besteht aus einem oberen Sieb (19 mm), einem mittleren Sieb (8 mm) und dem Boden. Zwischen dem mittleren Sieb und dem Boden kann noch ein drittes Sieb (1,8 mm) eingesetzt werden (Lammers et al., 1996, Kononoff et al., 2003, Oetzel, 2020). Nach der Anwendung der Schüttelbox ist die zu untersuchende Futterprobe entsprechend der Partikelgröße auf die verschiedenen Siebe aufgeteilt. Dadurch lässt sich der prozentuale Anteil von langen, mittleren und kurzen Partikeln im Futter bestimmen. Für die unterschiedlichen Grundfuttermittel, wie Silage, Stroh oder Heu, als auch für die TMR gibt es Richtwerte für die Partikelgröße (Heinrichs and Jones, 2016, Oetzel, 2020). Das Hauptziel dieser Bestimmung der Partikelgröße der TMR ist die Verteilung der einzelnen Futterkomponenten (Heinrichs and Kononoff, 1996, Kononoff et al., 2003).

Eine hilfreiche Verwendung dieser Beurteilung der TMR-Partikelgröße ist der Vergleich der Partikelgröße von der Frischfuttermahlzeit mit der des Restfutters. Im Idealfall sollte die Partikelgröße von beiden TMRs nahezu identisch sein. In der Praxis ist jedoch eine moderate Erhöhung des prozentualen Anteils größerer Partikel im Restfutter normal. Dieser Anstieg sollte nicht größer als 5 % sein. Ein Anstieg von 5 bis 10 % wird als eine moderate Futterselektion betrachtet. Ist der prozentuale Anteil großer Partikel im Restfutter um mehr als 10 % erhöht, wird die frischvorgelegte TMR von den Kühen stark selektiert (Oetzel, 2014, 2020). Milchkühe besitzen eine Präferenz für den Getreideanteil in der TMR und selektieren größere und längere Futterpartikel aus (Leonardi and Armentano, 2003, DeVries et al., 2007). Durch diese Futterselektion ist die Aufnahme leicht fermentierbarer Kohlenhydrate größer und die Rohfaseraufnahme geringer als durch die Rationsberechnung beabsichtigt, was zu einem Absinken des pH-Wertes im Pansen führt (DeVries et al., 2008). Das kann zu einer schweren Beeinträchtigung der Tiergesundheit und Leistung führen. In der Folge können viele gesundheitliche Probleme, wie metabolische Stoffwechselstörungen, eine subakute Pansenazidose, Labmagenverlagerungen, eine verringerte Trockenmasseaufnahme sowie Klauenerkrankungen, auftreten (Coppock et al., 1981, Heinrichs and Kononoff, 1996, Stone and Mosley, 2017). Durch eine veränderte Nährstoffzufuhr und eingeschränkte Pansenfermentation kann die Futterselektion zu einer verringerten Futtereffizienz und Milchproduktion führen (DeVries, 2017). So kann die Milchleistung (Sova et al., 2013) als auch der Proteingehalt in der Milch sinken (Miller-Cushon and DeVries, 2017).

Durch eine mögliche Futterselektion kann sich der Nährwert der TMR über den Tag verändern, vor allem einige Stunden nach der Frischfuttermahlzeit. Folglich sind Tiere, welche aufgrund großer Konkurrenz zu den Zeiten der Frischfuttermahlzeiten keinen Zugang zum Futtertisch haben, nicht in der Lage eine adäquate Menge an Nährstoffen zu sich zu nehmen (DeVries et al., 2004, DeVries and Von Keyserlingk, 2005, Krause and Oetzel, 2006, Hosseinkhani et al., 2008, DeVries, 2017).

Die Hauptursachen für die Futterselektion sind die Partikelgröße und die Trockenmasse der TMR. Eine große Rolle spielt hierbei die Partikellänge des Häckselstrohs (Havekes et al., 2020a, Oetzel, 2020). Als Richtlinie für eine gute Qualität des Häckselstrohs gilt, dass bei der Anwendung der Schüttelbox 1/3 auf dem oberen Sieb, 1/3 auf dem mittleren Sieb und 1/3 des gehäckselten Strohs auf dem Boden verbleiben (Stone and Mosley, 2017). Für eine Milchkuh ist es einfacher, Futter zu selektieren, wenn der prozentuale Anteil großer Partikel (oberes Sieb der Schüttelbox) im Futter erhöht ist (Stone and Mosley, 2017, Oetzel, 2020). Deshalb sollte eine TMR eine möglichst homogene Mischung aller Futtermittelkomponenten darstellen (Coppock et al., 1981) und es sollten keine Partikel ≥ 6 cm enthalten sein (Oetzel, 2020). Durch die Fütterung kleingehäckselten Strohs (2,54 cm) während der Trockenstehperiode konnte eine Verbesserung der Trockenmasseaufnahme und eine Reduzierung der Futterselektion

erzielt werden. Dies resultierte in einer verbesserten Pansenstabilität sowie Stoffwechselgesundheit der Kühe während der Früh lactation (Havekes et al., 2020a). Eine Erhöhung der Feuchtigkeit der TMR durch Hinzufügen von Melasse, Molke, Wasser oder anderen feuchte Nebenprodukte kann den Zusammenhalt der einzelnen Futterkomponente erhöhen und zu einer Reduzierung der Futterselektion führen (Oetzel, 2014, Stone and Mosley, 2017, Havekes et al., 2020b). Eine vermehrte Futterselektion kann bei einer Trockenmasse >50 % der TMR beobachtet werden (Oetzel, 2014). Oetzel (2014) gibt für die Trockenmasse der TMR einen Zielwert von 40 bis 45 % an.

2.3.4.5 Futtertischmanagement

Das Ziel eines optimalen Futtertischmanagement sollte eine TMR, welche möglichst homogen sowie konstant hinsichtlich der Inhaltsstoffe ist und den Tieren über den gesamten Tag permanent zur Verfügung steht, sein.

Mithilfe einer Reduzierung von Konkurrenzverhalten am Futtertisch durch ein ausreichendes Fressplatzangebot pro Kuh kann ein gesundes Fressverhalten gefördert werden, welches in einer hohen Trockenmasseaufnahme, Futtereffizienz sowie Produktivität der Milchkuh resultiert und entscheidend für die Tiergesundheit ist (DeVries, 2017, Oelberg and Stone, 2017, Grant et al., 2019). Die Menge der Trockenmasseaufnahme von einer Milchkuh an einem Tag (kg/Tag/ Kuh) setzt sich aus Anzahl und Größe der Mahlzeiten pro Tag sowie aus der Länge (min/Tag) und der Konsumrate (kg TS/ min) der einzelnen Fresszeiten zusammen. Das heißt, um die Trockenmasseaufnahme einer Milchkuh zu erhöhen, sollte eine Steigerung der Frequenz, in welcher die Milchkuh zum Fressen geht, als auch die Länge dieser einzelnen Fresszeiten verlängert werden (Johnston and DeVries, 2015, DeVries, 2017). Diese Fütterungsstrategie spielt auch für die Tiergesundheit eine wichtige Rolle, denn eine Erhöhung der Konsumrate (kg TS/ min) zu den einzelnen Fresszeiten und eine gleichzeitige Verringerung der Länge (min/ d) und Frequenz der einzelnen Fresszeiten ist mit einem erhöhten Risiko der subakuten Pansenazidose assoziiert (Krause and Oetzel, 2006). Der pH-Wert im Pansen verzeichnet nach der Futteraufnahme einen Abfall, welcher durch eine erhöhte Trockenmasseaufnahme pro Fresszeit stärker wird (Allen, 1997, Shabi et al., 1999). Eine erhöhte Konsumrate (kg TS/ min), jedoch geringe Fresszeit (min/ Tag) über den ganzen Tag verteilt, führt zu einer Reduzierung der Speichelproduktion (Beauchemin et al., 2008) und folglich zu einer Reduzierung der Pansenpufferung. Dieses, die Tiergesundheit negativ beeinflussende Fressverhalten wird auch aufgrund von Konkurrenzverhalten innerhalb der Gruppen durch eine zu hohe Belegungsdichte hervorgerufen (Collings et al., 2011, Grant et al., 2019). Des Weiteren kann dieses Fressverhalten auch nach einer über eine längere Zeit bestehenden Futterrestriktion beobachtet werden (French et al., 2005). Eine Überbelegung

kombiniert mit einer langen Futterrestriktion (14 Stunden) führt in den ersten 2 Stunden nach der Frischfuttermahlzeit zu einem drastischen Anstieg der Konsumrate (kg TS/ min) (Collings et al., 2011). Um den Abfall des pH-Wertes im Pansen und somit auch das Risiko für eine subakute Pansenazidose zu verringern, sollte das Futtermanagement so gestaltet sein, dass die Kühe viele kleine Mahlzeiten über den Tag verteilt zu sich nehmen (DeVries, 2017). Des Weiteren sollte sichergestellt werden, dass eine Kuh im Idealfall 24 Stunden lang die Möglichkeit hat, Futter aufzunehmen. Jedoch sollte der Futtertisch im Durchschnitt pro Tag nicht länger als 30 bis 60 Minuten (DeVries, 2017) beziehungsweise auf keinen Fall länger als 3 Stunden leer sein (Schütz et al., 2006, Grant et al., 2019). Abgesehen von der Erhöhung der Konsumrate (kg TS/ min) führt eine längere Futterrestriktion zu einem gesteigerten Konkurrenzverhalten innerhalb der Gruppe (Collings et al., 2011) sowie zu einer verringerten Futteraufnahme und Milchleistung (Martinsson and Burstedt, 1990).

Mit dem Ziel die Futterverschwendung und folglich die Menge des Restfutters möglichst gering zu halten, stellt der permanente Futterzugang eine große Herausforderung dar (DeVries, 2017). Für die Vorbereiter- und Frischmelkergruppe wird eine Restfuttermenge von 5 % und mehr empfohlen (Oelberg and Stone, 2017).

Abgesehen von der Menge der Frischfuttermahlzeit sind auch die Fütterungsfrequenz und der Futtervorschub hinsichtlich des permanenten Futterzugangs von großer Wichtigkeit. Klarheit besteht darüber, dass die Frischfuttermahlzeit einen wichtigen Stimulus für das Fressverhalten der Milchkuh darstellt. Im Unterschied zu weidenden Milchkuhen, welche ihre größte Futteraufnahme gegen Sonnenaufgang und -untergang zeigen, sind für Milchkuhe, welche mit einer TMR gefüttert werden, der Futtervorschub und das Melken weitere Stimuli für ihr Fressverhalten (DeVries et al., 2003, DeVries, 2017). Durch eine einmalige Fütterung pro Tag nehmen die Kühe nach der Frischfuttermahlzeit in kurzer Zeit große Mengen an Futter auf (DeVries et al., 2005). Wie schon erwähnt, führt dieses Fressverhalten zu einer großen Schwankung des Pansen-pH (Allen, 1997, Shabi et al., 1999) und prädisponiert die Kuh für eine subakute Pansenazidose (DeVries et al., 2005). Eine mehrmalige Fütterung resultiert in einem gleichmäßigeren Fressverhalten und einer Verlängerung der Fresszeiten (min/Tag) (DeVries et al., 2005, Mäntysaari et al., 2006). Im Vergleich zu einer einmaligen Fütterung pro Tag führt eine zweimalige Fütterung zu einer Erhöhung der Trockenmasseaufnahme um 1,4 kg TS/Tag sowie zu einer Reduzierung der Futterselektion und folglich zu einer Steigerung der Milchleistung um 2,0 kg/Tag (DeVries et al., 2005, Sova et al., 2013).

Des Weiteren ist es für eine Optimierung des Fressplatzangebotes und somit Reduzierung des Konkurrenzverhaltens wichtig, dass die gesamte Länge des Futtertisches für die Frischfuttermahlzeit ausgenutzt wird. Eine gleichmäßige Verteilung der TMR auf dem Futtertisch ist wiederum für die Konsistenz der TMR sowie für den permanenten Futterzugang von großer Bedeutung. In Kombination mit einem regelmäßigen Futtervorschub kann

sichergestellt werden, dass jede Kuh innerhalb der Gruppe über den Tag verteilt die Möglichkeit hat, Futter mit einem konstanten Nährstoffgehalt aufzunehmen. Mithilfe des Futtervorschubes kann im Laufe des Tages eine gleichmäßige Verteilung der TMR auf dem Futtertisch aufrechterhalten und in der Folge ein permanenter Zugang zu Futter gewährleistet werden (DeVries, 2017, Oelberg and Stone, 2017). Dadurch kann eine Limitierung der Trockenmasseaufnahme ausgeschlossen werden und die Milchleistung der Milchkuh gesteigert werden. So konnten Bach et al. (2008) zeigen, dass in Herden, bei welchen das Futtertischmanagement keinen Futtervorschub beinhaltete, die Milchleistung um 3,9 kg/Tag geringer war. Ein regelmäßiger Futtervorschub sollte vor allem innerhalb der ersten zwei Stunden nach der Frischfuttermahlzeit stattfinden, da hier die Aktivität am Futtertisch sehr groß ist (DeVries, 2017, Grant et al., 2019). Der Futtervorschub hat nicht denselben Stimulationseffekt für die Kühe hinsichtlich der Futteraufnahme wie die Frischfuttermahlzeit (DeVries et al., 2005). Sollte der Futtervorschub jedoch einen solch großen Stimulus darstellen, ist das ein Hinweis dafür, dass die Tiere über einen längeren Zeitraum keinen Zugang zu Futter hatten (DeVries, 2017).

Ein weiterer Aspekt eines guten Futtertischmanagement ist das Säubern des Futtertisches beziehungsweise das Entfernen von Restfutter vor der erneuten Frischfuttermahlzeit (DeVries, 2017, Oelberg and Stone, 2017).

Eine Überwachung des Futtertischmanagement kann mithilfe einer Zeitrackerkamera erfolgen. Es kann eine Beurteilung bezüglich der Frequenzen der Frischfuttermahlzeiten und des Futtervorschubes sowie der Säuberung des Futtertisches durchgeführt werden. Außerdem kann ermittelt werden, wie lange die Tiere innerhalb 24 Stunden keinen Zugang zu Futter haben. Mithilfe dieser Methode kann eine Optimierung des Fütterungsmanagement stattfinden (Oelberg and Stone, 2017).

2.3.5 Monitoring der Tiergesundheit in der Transitperiode

Ein routinemäßiges Monitoring der Stoffwechselgesundheit ist für die Optimierung des Transitkuhmanagements von großer Wichtigkeit. Einen Schlüsselfaktor bezüglich peripartaler Erkrankungen stellt die Trockenmasseaufnahme dar. Für den peripartalen Energiestoffwechsel und die Funktion des Immunsystems spielt ein uneingeschränkter Zugang zu Futter und Wasser eine wichtige Rolle. Der Schwerpunkt eines Transitkuhmanagements sollte auf der Minimierung der Faktoren bezüglich Fütterung, Stall, Haltung sowie sozialer Stress, welche den Zugang zu Futter und Liegeplätzen für einige Kühe oder sogar für alle Kühe innerhalb der Gruppe einschränken, liegen (LeBlanc, 2010).

2.3.5.1 Beurteilung der Adaptation des Energiestoffwechsels

Das Ausmaß der negativen Energiebilanz und die Fähigkeit der Adaptation an diese haben einen großen Einfluss auf die Tiergesundheit, Fruchtbarkeit und Produktivität (Herdt, 2000, Ingvarsen and Andersen, 2000, Hammon et al., 2006, Van Saun, 2008, LeBlanc, 2010, Ingvarsen and Moyes, 2013). In dem Übergang vom nicht-laktierenden, trächtigen zum laktierenden, nicht-trächtigen Stadium befindet sich jede Milchkuh in einer negativen Energiebilanz. In der Folge ist eine gewisse Erhöhung der Konzentrationen von NEFA und BHB im Blut Teil der physiologischen Anpassung an die NEB in der Früh-laktation (Bauman and Currie, 1980, Bell, 1995, Herdt, 2000, Ingvarsen and Andersen, 2000, Grummer et al., 2004). So ist ein gewisser Grad der NEB während der Transitperiode physiologisch, während das Ausmaß, die Dauer sowie die Länge der NEB für die Gesundheit und Produktivität der Milchkuh von großer Bedeutung sind. Tiere, mit stark erhöhten Konzentrationen an NEFA und BHB im Blut als Hinweis auf eine exzessive NEB haben ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von Erkrankungen und eine verringerte Milchleistung sowie Fruchtbarkeit (Duffield, 2000, Ospina et al., 2010b, Chapinal et al., 2011, Chapinal et al., 2012a, McArt et al., 2013, Ospina et al., 2013). Die Bestimmung der NEFA- und BHB-Konzentration im Blut stellt die am häufigsten angewandte Methode zur Beurteilung des peripartalen Energiestoffwechsels dar. Beim Einzeltier dient sie der Identifikation von Tieren, die einem erhöhten Risiko für peripartale Erkrankungen ausgesetzt sind. Auf Herdenebene wird die Überwachung der Stoffwechselgesundheit zur Beurteilung des Transitkuhmanagements (Fütterung, Haltung etc.) herangezogen (LeBlanc, 2006). Die Messzeitpunkte mit der größten Aussagekraft liegen für die NEFA in der antepartalen Transitperiode und die der BHB in der postpartalen Transitperiode (Staufenbiel et al., 1989, Jorritsma et al., 2003, Oetzel, 2004, LeBlanc et al., 2005, Duffield et al., 2009, McArt et al., 2013, Ospina et al., 2013). Insbesondere subklinische Stoffwechselstörungen, welche oft unentdeckt bleiben, besitzen einen großen Einfluss auf die Ökonomie der Milchproduktion einer Herde (Cook et al., 2006a). Bei der Optimierung der Herdengesundheit und Leistung von Milchkühen ist die Überwachung der Stoffwechselgesundheit während der Transitperiode von großer Wichtigkeit (Staufenbiel, 1999).

Der Grenzwert der antepartalen NEFA-Konzentration, welcher mit dem Auftreten von Erkrankungen in der Früh-laktation (klinische Ketose, Labmagenverlagerung, Nachgeburtshaltung, akute puerperale Metritis) (Cameron et al., 1998, LeBlanc et al., 2005, Hammon et al., 2006, Van Saun, 2006, Ospina et al., 2010b, Chapinal et al., 2011, Huzzey et al., 2011, McArt et al., 2012), einer erhöhten Merzungsrate (Duffield et al., 2009, Ospina et al., 2010b, Huzzey et al., 2011, Roberts et al., 2012), einer verringerten Milchleistung (Ospina et al., 2010a, Chapinal et al., 2012a) sowie eingeschränkter Fruchtbarkeit (Ospina et al., 2010a) assoziiert ist, bewegt sich zwischen 0,3 und 0,5 mmol/ L (McArt et al., 2013, Ospina et al.,

2013). Beprobt werden sollten Tiere, welche sich 2 bis 14 Tage vor der Kalbung befinden (Cook et al., 2006a, McArt et al., 2013, Ospina et al., 2013). Bei der Nutzung eines 75 % - Konfidenzintervall und einem Alarmlevel von 10 % scheint die Stichprobengröße von 12 Tieren für die Einteilung einer Herde in 3 Kategorien als angemessen (Cook et al., 2006a, LeBlanc, 2010):

- Negativ = 0 von 12 Tiere mit einer NEFA-Konzentration oberhalb des Grenzwertes
- Grenzbereich = ≤ 2 von 12 Tieren mit einer NEFA-Konzentration oberhalb des Grenzwertes
- Positiv = ≥ 3 von 12 Tieren mit einer NEFA-Konzentration oberhalb des Grenzwertes

Der Fokus der postpartalen Stoffwechselüberwachung liegt in dem Zeitraum von 5 bis 50 Tagen nach der Kalbung (Cook et al., 2006a) mit einem Fokus auf den ersten 1 bis 2 Wochen nach der Kalbung (LeBlanc, 2010). Als Grenzbereich der postpartalen BHB-Konzentration, welcher mit einem erhöhten Risiko für postpartale Erkrankungen (klinische Ketose, Labmagenverlagerung, akute puerperale Metritis) (Geishauser et al., 1997, LeBlanc et al., 2005, Duffield et al., 2009, Ospina et al., 2010b, Chapinal et al., 2011, Seifi et al., 2011, McArt et al., 2012, Suthar et al., 2013), einer erhöhten Merzungsrate (Ospina et al., 2010b, McArt et al., 2012, Roberts et al., 2012), einer verringerten Milchleistung (Duffield et al., 2009, Ospina et al., 2010a, Chapinal et al., 2012a, McArt et al., 2012) sowie eingeschränkten Fruchtbarkeit (Walsh et al., 2007) assoziiert ist, wird in der Literatur mehrheitlich mit 1,2 bis 1,4 mmol/L angegeben (McArt et al., 2013, Ospina et al., 2013). Die Stichprobengröße und Einteilung der Herde bezüglich der postpartalen BHB-Konzentration in 3 Kategorien wird, wie für die NEFA-Konzentration beschrieben wurde, vorgenommen (Cook et al., 2006a, LeBlanc, 2010).

2.3.5.2 Überwachung des Calciumstoffwechsels

Durch das Messen der Blutcalciumkonzentration nach der Kalbung kann sowohl die Prävalenz von klinischer als auch von subklinischer Hypocalcämie in einer Herde ermittelt werden (Cook et al., 2006b). So kann der Einsatz saurer Salze und dessen Wirkung auf den Calciumstoffwechsel zur Kalbung kontrolliert werden. Die peripartale Hypocalcämie ist durch eine Calciumkonzentration im Blut $< 2,0$ mmol/L definiert (Oetzel, 2004, Cook et al., 2006b, DeGaris and Lean, 2008, Reinhardt et al., 2011, Venjakob et al., 2017).

Das Risiko für das Auftreten der Hypocalcämie ist in dem Zeitraum von 48 Stunden nach dem Partus am größten (Megahed et al., 2018). Die Calciumkonzentration im Blut beginnt

mindestens 9 Stunden vor dem Partus abzufallen, erreicht im Durchschnitt 24 bis 48 Stunden nach dem Partus ihren Tiefpunkt (Oetzel, 2004, Cook et al., 2006b, Martinez et al., 2012, Megahed et al., 2018, Venjakob et al., 2019). Megahed et al. (2018) konnten zeigen, dass beim Einsatz saurer Salze in einer Herde die Calciumkonzentration im Blut durchschnittlich 28 Stunden nach der Kalbung ihren Tiefpunkt erreicht und zu diesem Zeitpunkt einen Mittelwert von 1,87 mmol/L hat.

Bei der Nutzung eines 75 % - Konfidenzintervalls und einem Alarmlevel von 30% scheint die Stichprobengröße von 12 Tieren für die Einteilung einer Herde in 3 Kategorien als angemessen (Cook et al., 2006a, Venjakob et al., 2017):

- Negativ = ≤ 2 von 12 Tieren mit einer Calciumkonzentration $< 2,0$ mmol/L
- Grenzbereich = 3 bis 5 von 12 Tieren mit einer Calciumkonzentration $< 2,0$ mmol/L
- Positiv = ≥ 6 von 12 Tieren mit einer Calciumkonzentration $< 2,0$ mmol/L

Das Auftreten einer Hypocalcämie kann durch den Einsatz saurer Salze und den anderen derzeit vorhandenen Prophylaxemaßnahmen nicht gänzlich vermieden werden. Jedoch besteht für eine Herde ein erhöhtes Risiko, an einer klinischen oder subklinischen Hypocalcämie zu erkranken, wenn die Prävalenz $> 41,7$ % in einer Stichprobe von 12 Tieren beträgt (Cook et al., 2006b, Venjakob et al., 2017).

Bei einer solch hohen Prävalenz der Hypocalcämie sollte die Ursache aufgedeckt werden und beim Einsatz saurer Salze sollte dieser kontrolliert werden. Dafür können folgende Untersuchungen herangezogen werden (Staufenbiel et al., 2004b, Staufenbiel, 2010, Stone and Mosley, 2017):

- Analyse von Harnproben aus der Vorbereitergruppe bezüglich des pH-Werts und gegebenenfalls Bestimmung der NSBA sowie Calciumkonzentration
- Analyse der DCAD in der antepartalen TMR und gegebenenfalls in den einzelnen Futtermitteln
- Bestimmung des Calciumgehalts in der antepartalen sowie postpartalen TMR
- Bestimmung des Magnesiumgehalts in der antepartalen TMR
- Bestimmung des Kaliumgehalts in der antepartalen TMR
- Ermittlung der Trockenmasseaufnahme in der Vorbereitergruppe
- Überprüfung der Mischgenauigkeit und der Futterselektion in der Vorbereitergruppe

3. Material und Methoden

3.1 Milchviehbetriebe

Der praktische Teil der Arbeit fand von Mai 2019 bis November 2019 statt. An der Studie haben 20 Milchviehbetriebe (Convenience Stichprobe) teilgenommen, die in Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen und Mecklenburg-Vorpommern lagen und Kühe der Rasse Holstein Friesian hielten. Jeder Betrieb wurde zweimal im Abstand von 14 Tagen besucht.

Die Milchviehbetriebe wurden hinsichtlich folgender Kriterien ausgewählt:

- Lokalisation im Osten Deutschlands (Convenience Stichprobe)
- Zweiphasige Trockensteherfütterung
- DCAD der Vorbereiterration < 0 meq/kg TS
- Verlässliche Dokumentation der Umstellungen von den Trockenstehern in die Vorbereitergruppen

Aufgrund einer fehlenden Dokumentation der Umstellungen in die Vorbereitergruppe wurden 2 von 20 Betrieben nachträglich von der Studie ausgeschlossen.

Die Beobachtungszeit betrug für jeden Betrieb ein Jahr nach der zweiten Betriebsbegehung. Während der zwei Betriebsbegehungen fand in den 18 Betrieben eine eingehende Charakterisierung statt. Es erfolgte eine Erhebung zu Tierhaltung und Management insbesondere zu Haltung, Stallform, Fütterung und Tiergesundheit von trockenstehenden Kühen, hochtragenden Färsen und Frischmelkern. Während des Beobachtungszeitraums fanden in den untersuchten Betrieben keine erheblichen Veränderungen im Fütterungsmanagement statt. Alle Tiere, die im Beobachtungszeitraum abgekalbt haben und von denen das Einstellungsdatum in die Vorbereitergruppe bekannt war, gingen in die Auswertung ein.

3.1.1 Allgemeine Betriebsdaten

Die **Tabelle 2** stellt eine Übersicht der 18 Betrieben während des Zeitraumes der Untersuchungen dar.

Tabelle 2. Allgemeine Betriebsdaten während des Beobachtungszeitraumes (Mittelwert \pm Standardabweichung)

Betrieb	Bundesland	Ø 305-Tage- Milchleistung, kg/ Kuh	Anzahl Abkal- bungen	Ø Vorbereitungs-		Ø Trächtigkeits-	
				dauer, Tage		dauer, Tage	
				Färsen	Kühe	Färsen	Kühe
1	Mecklenburg- Vorpommern	10.631	1.176	12,8 \pm	14,2 \pm	276,2 \pm	278,8 \pm
				9,9	8,3	6,8	6,2
2	Mecklenburg- Vorpommern	10.808	1.808	27,4 \pm	20,2 \pm	276,0 \pm	278,5 \pm
				9,4	9,5	5,8	5,6
3	Mecklenburg- Vorpommern	9.886	610	16,7 \pm	23,1 \pm	274,3 \pm	277,4 \pm
				12,8	12,5	7,3	7,5
4	Mecklenburg- Vorpommern	9.747	826	-	17,7 \pm	276,7 \pm	278,2 \pm
					7,8	6,1	6,3
5	Thüringen	10.322	973	12,1 \pm	12,8 \pm	275,8 \pm	276,7 \pm
				6,1	6,0	6,4	6,3
6	Brandenburg	10.785	1.324	30,8 \pm	19,2 \pm	276,3 \pm	277,7 \pm
				11,8	10,6	7,0	7,2
7	Mecklenburg- Vorpommern	9.420	1.266	27,3 \pm	31,1 \pm	275,8 \pm	276,0 \pm
				16,7	16,5	7,8	7,7
8	Mecklenburg- Vorpommern	9.982	1.118	22,0 \pm	22,6 \pm	276,3 \pm	277,0 \pm
				12,6	12,6	6,5	6,5
9	Brandenburg	8.844	898	17,0 \pm	19,5 \pm	276,6 \pm	279,1 \pm
				12,7	12,7	7,5	7,6
10	Brandenburg	8.579	1.279	31,0 \pm	28,0 \pm	277,4 \pm	280,1 \pm
				9,1	9,1	8,7	8,7
11	Brandenburg	9.435	1.066	1,9 \pm	19,7 \pm	274,1 \pm	275,6 \pm
				13,9	13,5	9,2	9,1
12	Sachsen	9.568	1.199	15,1 \pm	15,0 \pm	276,7 \pm	276,8 \pm
				9,9	9,6	6,2	6,1
13	Brandenburg	9.415	595	15,4 \pm	16,2 \pm	276,1 \pm	277,0 \pm
				6,5	6,3	6,5	8,2
14	Mecklenburg- Vorpommern	9.610	915	15,9 \pm	20,9 \pm	280,8 \pm	276,3 \pm
				9,6	7,3	7,0	6,5
15	Mecklenburg- Vorpommern	10.245	1.110	16,2 \pm	17,8 \pm	275,3 \pm	277,4 \pm
				5,6	6,1	8,0	6,5
16	Sachsen- Anhalt	9.972	1.102	18,5 \pm	18,3 \pm	279,3 \pm	281,0 \pm
				11,4	7,5	6,5	4,1
17	Mecklenburg- Vorpommern	10.308	1.124	22,7 \pm	20,9 \pm	273,8 \pm	278,5 \pm
				14,1	11,6	10,7	7,6
18	Thüringen	8.091	1.705	15,4 \pm	17,7 \pm	275,1 \pm	277,6 \pm
				9,4	9,2	7,7	7,4

3.1.2 Transitkuhmanagement

3.1.2.1 Stall und Haltung

In den 18 Milchviehbetrieben wurden für die Gruppen der Trockensteher, Vorbereiter und Frischmelker die Art der Haltungssysteme dokumentiert. Dabei war zwischen Tiefstreuställen, Liegeboxenlaufställen, Paddock- oder Weidehaltung zu unterscheiden. Zudem variierte bei der Haltung in Liegeboxenlaufställen die Anzahl der Reihen an Liegeboxen zwischen den Betrieben. Außerdem wurde vermerkt, wenn die getrennte Haltung von Färsen und Kühen während der Vorbereitungsdauer und nachfolgenden Laktation auf dem Betrieb etabliert war.

3.1.2.2 Belegungsdichte

In den 18 Milchviehbetrieben wurde an beiden Betriebsbesuchen (14-tägiger Abstand) die Belegungsdichte in den Gruppen der Frühtrockensteher, Vorbereiter und Frischmelker bestimmt. Für gewöhnlich stehen Milchkühe von dem Zeitpunkt des Trockenstellens bis ≈ 21 a.p. in sogenannten Frühtrockenstehergruppe. Anschließend werden die Tiere bei einer zweiphasigen Fütterung bis zur Kalbung in eine Vorbereitergruppe umgestellt. Im Laufe von 1 bis 5 Tagen nach der Kalbung werden die Kühe aus einer sogenannten Kolostrumgruppe in eine Frischmelkergruppe für 2 -3 Wochen umgestellt. Die Ställe der jeweiligen Gruppen wurden mithilfe eines Lasermessgerätes (MVPower Laser-Entfernungsmesser) vermessen. Folgende Parameter wurden zur Beurteilung der Belegungsdichte erhoben:

- Tieranzahl
- Reihen der Liegeboxen
- Tier-Liegeplatz-Verhältnis
- Stallfläche, m^2 / Tier
- Anzahl Fressgitter
- Tier-Fressplatz-Verhältnis
- Fressplatzbreite, cm / Tier
- Tränkeplatz, cm / Tier

3.1.2.3 Stallfläche

Es wurden in den Stallabteilen der 3 Gruppen die Tiere, die Reihen der Liegeboxen und die Anzahl der Liegeplätze gezählt. In Gruppen, welche in Liegeboxenlaufställen gehalten wurden, wurde das Tier-Liegeplatz-Verhältnis. Dahingegen wurde in Gruppen, welche in Tiefstreuställen gehalten wurden die Liegefläche in m^2 pro Tier berechnet. Folglich wurde die

Anzahl der Liegeboxen durch die Anzahl der Tiere dividiert und somit für jede Gruppe das Tier-Liegeplatz-Verhältnis berechnet. Bei der Haltung in Tiefstreulaufställen wurde die Stallfläche vermessen und das Platzangebot pro Kuh in m² ermittelt, indem die Quadratmeteranzahl der uneingeschränkt nutzbaren und eingestreuten Stallfläche durch die Tieranzahl dividiert wurde. Diese Berechnung des Tier-Liegeplatz-Verhältnis und der Stallfläche in m² pro Tier (Liegefläche) wurde an beiden Betriebsbesuchen vorgenommen.

3.1.2.4 Fressplatzangebot

Des Weiteren wurde das Fressplatzangebot in den oben genannten Gruppen an beiden Betriebsbesuchen (14-tägiger Abstand) erhoben. Dazu wurden die Fressgitter gezählt und die Länge des Futtertisches gemessen. Es wurden ausschließlich die Fressgitter gezählt und die Anteile des Futtertisches vermessen, welche den Tieren freien Zugang zum Futter gewährleisteten. Anschließend konnte dann in den Gruppen mit Fressgittern das Tier-Fressplatz-Verhältnis errechnet werden, indem die Anzahl der Fressgitter durch die Anzahl der Tiere dividiert wurde. Zudem wurde in diesen Betrieben die Breite der Fressgitter bestimmt. Dafür wurde die Länge des Futtertisches vermessen und diese anschließend durch die Anzahl der Fressgitter dividiert. In Gruppen ohne Einzelplatzbegrenzung (d.h. ohne Fressgitter) als auch in den Gruppen mit Fressgittern wurde die Länge des Futtertisches durch die Tieranzahl dividiert und dadurch das Fressplatzangebot pro Kuh in cm ermittelt.

3.1.2.5 Tränkeplatzangebot

Alle funktionsfähigen Schalen- und Ventiltrogtränken wurden gezählt und die Länge der Trogtränken gemessen. Nachfolgend wurden in den Gruppen mit Trogtränken, falls mehrere vorhanden waren, die Längen der einzelnen Tränken summiert und diese durch die Tieranzahl dividiert. So wurde das Tränkeplatzangebot pro Kuh in cm für jede Gruppe an beiden Betriebsbesuchen berechnet.

Es wurde angenommen, dass 7 Tiere ausreichend über eine einzelne Schalentränke und 15 Tiere über eine Ventiltrogtränke mit Wasser versorgt werden können (Winckler and Knierim, 2002, Döhler and Döhler, 2009). In den Stallabteilen, welche über einzelne Schalentränken verfügten, wurde die Tieranzahl durch die Anzahl der Schalentränken dividiert und somit berechnet, wie viele Tiere an einer Schalentränke mit Wasser versorgt werden. Das Tränkeplatzangebot für die Gruppen mit Ventiltrogtränken wurde ebenso berechnet.

3.2 Probanden und Probenmaterial

3.2.1 Überwachung des Fütterungsmanagements

3.2.1.1 TMR-Analyse

In allen Betrieben wurde eine Totale-Mischration (TMR) gefüttert. Es wurden die Futterrationen der Frühlaktställe (Trockenstellzeitpunkt bis ca. 21d a.p.), Vorbereiter- (21-0d a.p.) und Frischmelkergruppe (1-5d bis ca. 30d p.p) analysiert. Die TMR-Probe wurde einen Tag vor dem ersten Betriebsbesuch genommen. Die Probenahme erfolgte von der frisch vorgelegten TMR und wurde an mehreren Stellen des Futtertisches genommen. Es wurden ca. 500 g TMR in eine Versandtüte gefüllt und am gleichen Tag per Post an das LKS – Landwirtschaftliche Kommunikations- und Service GmbH, Boden- und Futtermittellabor, in 09577 Lichtenwalde zur Untersuchung verschickt (**Tabelle 3**).

Die verbliebene Menge der Futtermittelprobe wurde für die Untersuchung der Misch- und Verteilungsgenauigkeit des Futters mittels der PennState Schüttelbox („PennState Particle Separator“ (PSPS), PennState University, USA) verwendet.

Tabelle 3. Parameter der Futtermittelanalyse

Parameter	Messgröße
Trockensubstanz	%
Rohprotein	g / kg TS
Rohfaser	g / kg TS
NDF	g / kg TS
Rohfett	g / kg TS
Zucker	g / kg TS
Stärke	g / kg TS
Calcium	g / kg TS
Phosphor	g / kg TS
Natrium	g / kg TS
Magnesium	g / kg TS
Kalium	g / kg TS
Chlor	g / kg TS
Schwefel	g / kg TS
DCAD	meq / kg TS
NEL	MJ / kg TS
nutzbares Rohprotein	g / kg TS

3.2.1.2 PennState Schüttelbox

Die Überprüfung der Misch- und Verteilgenauigkeit der frisch vorgelegten TMR sowie die Bestimmung der Partikelgröße bzw. -länge erfolgte mithilfe der PennState Schüttelbox.

Es wurden ca. 300 g von der TMR (Probenentnahme siehe 3.2.1.1 TMR-Analyse) auf das oberste Sieb der Schüttelbox gelegt. Dabei wurde darauf geachtet, dass das Futter nicht verklumpt war. Anschließend wurde auf einer glatten, ebenen Fläche das Futter geschüttelt, indem die Schüttelbox in waagerechter Bewegung kräftig hin und her bewegt wurde. Die Box wurde fünfmal vor und zurückbewegt, daraufhin um 90 Grad gedreht und wiederum fünfmal geschüttelt. Insgesamt wurde das Schütteln achtmal durchgeführt (zwei Umdrehungen). Die Mengen an Futterbestandteilen in den einzelnen Sieben wurden gewogen und anschließend die prozentuale Verteilung der einzelnen Siebfraktionen berechnet, indem die Gewichte der einzelnen Siebe jeweils durch das Gewicht der gesamten Probe dividiert und mit 100 multipliziert wurde (Heinrichs and Kononoff, 1996, Heinrichs and Jones, 2016).

3.2.1.2.1 Futterselektion

Eine weitere hilfreiche Verwendung der Beurteilung der TMR-Partikelgröße ist der Vergleich der Partikelgröße von der Frischfuttermvorlage mit der des Restfutters (Oetzel, 2014, 2020).

Für die Überprüfung des Selektionsgrades der vorgelegten Futtermration wurde von dem Betriebspersonal vor der erneuten Frischfuttermvorlage ein Eimer des noch vorhandenen Restfutters in den jeweiligen Gruppen (Frühtrockensteher, Vorbereiter, Frischmelker) entnommen. Die Partikelgröße des Restfutters wurden mithilfe der PennState Schüttelbox bestimmt. Für die Berechnung des Grades der Futterselektion wurde der prozentuale Anteil vom Restfutter im ersten Sieb von dem prozentualen Anteil der dazugehörigen Frischfuttermvorlage subtrahiert.

3.2.1.3 Trockenmasseaufnahme

Die Trockensubstanz wurde im Rahmen der TMR-Analyse im Labor bestimmt. Um die durchschnittliche Trockenmasseaufnahme (Tier/Tag/kg TS) zu berechnen, wurde vom Betriebspersonal das Restfutter zurück gewogen und die Menge der dazugehörigen Frischfuttermvorlage dokumentiert. Die Tieranzahl in den jeweiligen Gruppen wurde ebenfalls dokumentiert. Anschließend wurde die Menge des Restfutters von der Menge der Frischfuttermvorlage abgezogen. Die Differenz wurde mit der im Labor bestimmten Trockensubstanz (in %) multipliziert und durch 100 dividiert. Dann wurde dieser Wert durch

die Tieranzahl dividiert und man erhielt die durchschnittliche Trockenmasseaufnahme pro Kuh und Tag in kg.

3.2.1.4 Beurteilung der Körperkondition

Der Zustand der Körperkondition wurde durch visuelle und palpatorische Beurteilung der subkutanen Fettauflagen an definierten Körperpartien bewertet (Body-Condition-Scoring). Die Bewertung erfolgte entsprechend der 5-Punkte-Skala nach (Wildman et al., 1982) und Edmonson et al. (1989). Die Methode des Body-Condition-Scoring wurde am Tag des ersten Betriebsbesuches in den 18 untersuchten Betrieben in den Gruppen der Früh trockensteher, Vorbereiter und Frischmelker durchgeführt. Es wurde in allen Transitgruppen eine der jeweiligen Tieranzahl entsprechende Stichprobe an Tieren beurteilt.





3.2.1.5 Beurteilung des Futtertischmanagements

Zur Überprüfung des Futtertischmanagements wurde eine Zeitrafferkamera (Brinno TLC200 Pro, Taiwan) aufgehängt. Die Kamera wurde am Tag des ersten Betriebsbesuches in der Gruppe der Vorbereiter oberhalb des Futtertisches positioniert. Geplant war, dass das Betriebspersonal die Kamera nach 7 Tagen in die Frischmelkergruppe umhängt und sie am Tag des zweiten Besuches (14 Tage Abstand) zur Auswertung wieder abgebaut wird. Dieses Ziel wurden in 13 Betrieben umgesetzt. Allerdings wurde die Kamera nicht in allen Betrieben exakt nach 7 Tagen umgehängt.

Bei der Auswertung der Kameraaufnahmen wurde die Menge und die Verteilung der TMR auf dem Futtertisch bewertet. Für diese Beurteilung wurde für jeden Tag eine Farbskala erstellt, welches entsprechend dem „GPS Feedbunk Score“ (GPS Dairy Consulting, Verona) modifiziert wurde (**Tabelle 4**). Die Farbe Rot bedeutet Score 0, Orange bedeutet Score 1, die Farbe Gelb wurde für den Score 2 und Grün für den Score 3 sowie 4 verwendet (**Tabelle 4**). Außerdem wurde die Säuberung des Futtertisches, die Frischfutternvorlagen und der Vorschub des Futters dokumentiert.

In wenigen Betrieben war die Stallbeleuchtung in der Nacht ausgeschaltet, wodurch in dieser Zeitspanne der Futtertisch nicht bewertet werden konnte.

Tabelle 4. Bewertung des Futtertisches (modifiziert nach Hickman, Feedbunk Score, GPS Dairy Consulting (siehe Anhang: **Abbildung 21**))

	Score 0: Der Futtertisch ist leer
	Score 1: Löcherfraß bis auf den Boden des Futtertisches und ein TMR-Wall über die gesamte Länge des Futtertisches und/oder TMR-Menge auf dem Futtertisch gering bzw. für die Tiere schlecht erreichbar Der Futtertisch soll vollständig mit frischer TMR bedeckt sein. Kühe „arbeiten“ mit dem Futter, selektieren und schieben es hin und her. Deshalb sollte, so häufig wie möglich, das Futter immer wieder nachgeschoben werden. Nur so kann den Tieren permanent freier Zugang zu Futter gewährleistet werden.
	Score 2: Der Futtertischboden und ein Wall von abgelegter TMR an der Nasenspitze der Kühe über die meiste Länge des Futtertisches sind sichtbar Häufiger, regelmäßiger und vor allem termingerecht vereinbarter Futternvorschub ist für einen permanenten Futterzugang essentiell. Die Frequenz und Zeitpunkte des Futternvorschubes sind von vielen Faktoren abhängig. Idealerweise sollte innerhalb der ersten zwei Stunden nach der Frischfutternvorlage ein regelmäßige Futternvorschub stattfinden, da hier die Aktivität am Futtertisch sehr groß ist (DeVries, 2017, Grant et al., 2019).
	Score 3 und 4: Futter ist für die Tiere erreichbar Score 3: Futter ist verfügbar, aber nicht gleichmäßig über die gesamte Länge des Futtertisches verteilt <ul style="list-style-type: none">- Der Futternvorschub sollte abwechselnd in beide Richtungen erfolgen, damit das Futter effektiv auch gleichmäßig über die gesamte Futtertischlänge nachgeschoben wird. Score 4: Futter ist über die gesamte Futtertischlänge gleichermaßen verfügbar <ul style="list-style-type: none">- Kontinuierliche Verteilung von frischer, hoch qualitativer und nicht selektierter TMR ohne Rangkämpfe am Futtertisch verbessert:<ul style="list-style-type: none">• Die Trockenmasseaufnahme und Futtereffizienz• Die Pansengesundheit• Die Liegedauer• Die Milchleistung und Milchinhaltsstoffe

3.2.2 Untersuchung der Harnproben

3.2.2.1 Probenentnahme, -verarbeitung, -untersuchung

Es wurde an dem Tag des ersten und des zweiten Besuches jeweils bei mindestens 12 Tieren in der Vorbereitergruppe eine Harnprobe entnommen (Cook et al., 2006b, Nydam et al., 2017).

Es wurden ausschließlich Tiere, die mindestens sieben Tage lang eine Anionenration gefressen haben und klinisch gesund waren, beprobt (Goff, 2014). Diese Auswahl der Tiere fand willkürlich in den Gruppen statt. Außerdem wurden 1/3 Färsen beprobt. Der Harn wurde entweder durch Auffangen von Spontanharn, durch Auslösen des Harnabsatzes durch Reiben oberhalb des Euterspiegels oder mithilfe eines Harnkatheters gewonnen. Bei dem Spontanharn und dem ausgelösten Harnabsatz wurde ausschließlich der Mittelstrahlurin aufgefangen. Der Harn wurde in sterilen Plastikbehältern mit 100 ml Volumen aufgefangen, welche mit einer dem Tier zugeordneten Nummer (letzte fünf Ziffern der Ohrmarke) beschriftet wurden. Der pH-Wert des Harns wurde direkt nach der Entnahme semi-quantitativ vor Ort mittels pH-Teststreifen (Pehanon der Firma Macherey-Nagel GmbH Co. KG, Deutschland) bestimmt. Für die Dauer des Transportes wurden die Proben in einer Transportkühltasche mit Kühlelementen gelagert. Innerhalb von bis zu 6 Stunden nach der Probenentnahme wurde aus den 12 Harnproben eine Poolprobe hergestellt und bei -18°C eingefroren. Für die Anfertigung der Poolproben wurde jedes Transportgefäß (100 ml) geschwenkt und 10 ml Harn jedes Tieres in ein sauberes Plastikgefäß pipettiert, sodass eine Poolprobe von jeweils 120 ml entstand.

Die Poolproben wurden auf folgende Parameter untersucht: NSBA, Calcium, Kreatinin (**Tabelle 5**).

Tabelle 5. Messverfahren der Harnparameter

Parameter	Ort der Analyse	Analysemethode
Einzelprobe pH	im Stall unmittelbar nach Gewinnung	pH-Teststreifen (Pehanon der Firma Macherey-Nagel GmbH Co.KG, Deutschland)
NSBA	Labor der Klauentierklinik der Freien Universität Berlin	Titrationmethode nach Kutas (1965)
Calcium	Labor der Klauentierklinik der Freien Universität Berlin	AAS (Atom-Absorbti- onsspektrometer)
Kreatinin	SYNLAB.vet GmbH Betriebstätte Berlin	Photometrisch

3.2.2.2 Säuren-Basen-Titration

Die Bestimmung der fraktionierten Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung erfolgte durch die Titrationsmethode nach Kutas (1965). Zu Beginn wurde jedes Probengefäß geschwenkt. Dann wurden 10 ml der Harnpoolprobe in einen Erlenmeyerkolben pipettiert. Der Harn wurde mit einer 1 n HCL Lösung auf den pH-Wert 3,5 titriert und anschließend 30 Sekunden auf einer Wärmeplatte gekocht. Die abgekühlte Flüssigkeit wurde mit 0,1 n NaOH bis zu dem pH-Wert 7,4 titriert. Dann wurden 10 ml 20 %-ige Formaldehydlösung zu der Probe hinzugegeben und die Flüssigkeit erneut mit 0,1 n NaOH auf den pH-Wert 7,4 titriert. Die titrierten Mengen an HCl (V_{HCL}) und an NaOH (V_{NaOH1} , V_{NaOH2}) sowie der pH-Wert wurden dokumentiert. Die Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung, der Basen- und Säuregehalt, der NH_4^+ -Gehalt und der Basen-Säuren-Quotient (BSQ) wurden mithilfe der in **Tabelle 6** angegebenen Formeln berechnet.

Tabelle 6. Formeln zur Berechnung der Parameter des Säuren-Basen-Status

Parameter	Formel
NSBA (mmol/l)	$[(V_{HCl} \times 10) - (V_{NaOH1} + V_{NaOH2})] \times 10$
Basengehalt (mmol/l)	$V_{HCl} \times 100$
Säuregehalt (mmol/l)	$V_{NaOH1} \times 10$
NH_4^+ (mmol/l)	$V_{NaOH2} \times 10$
Basen-Säuren-Quotient	Basengehalt : Säuregehalt

3.2.3 Untersuchung der Blutproben

3.2.3.1 Probenentnahme

Die Blutprobenentnahme erfolgte durch die Punktion der Vena oder Arteria coccygea mediana (syn.: A./V. caudalis mediana). Hierfür wurde ein VACUETTE Blutentnahmesystem (Firma greiner bio-one, Ös), bestehend aus einem Röhrchenhalter, einer Mehrfachentnahmekanüle (18 G x 1" rosa, steril, 1,20 x 25 mm) und einem Röhrchen (8ml CAT Serum Sep Clot Activator), verwendet. Die Serumröhrchen wurden mit einer dem Tier zugeordneten Nummer (letzte 5 Ziffern der Ohrmarke) versehen.

Zur Bestimmung der NEFA wurden in den Vorbereitergruppen 12 Tiere, welche mindestens 7 Tage eine Anionenration erhalten haben und klinisch gesund waren, beprobt (Cook et al., 2006a).

Weiterhin wurden an beiden Besuchen in den Betrieben alle Tiere, welche sich in dem Zeitraum 0 bis 48 Stunden p.p. befanden, beprobt, mit dem Ziel pro Betrieb eine

Stichprobengröße von 12 Tieren zu erreichen (Cook et al., 2006a). Diese Blutproben wurden in Bezug auf die Calciumkonzentration untersucht.

Zur Bestimmung der BHB-Konzentration im Serum wurden Blutproben von mindestens 12 Kühen in den Gruppen der Frischmelker entnommen (Cook et al., 2006a). Die Auswahl der Kühe fand willkürlich statt. Die Kühe in diesen Gruppen befanden sich überwiegend zwischen 3 und 14 (in einigen Betrieben bis zu 21 Tage) nach der Kalbung.

Bei der Entnahme der zwölf Blutproben bei den Vorbereitern und Frischmelkern wurde darauf geachtet, dass 4 Färsen und 8 Kühe beprobt wurden.

3.2.3.2 Probenverarbeitung und -untersuchung

Bis zur vollständigen Gerinnung wurden die Proben ca. 30 Minuten bei Raumtemperatur stehen gelassen. Für die Serumgewinnung wurden die Blutproben im Stall bei 4000 Umdrehungen pro Minute für 15 Minuten zentrifugiert. Die Bestimmung der BHB-Konzentration erfolgte vor Ort mittels eines Schnellmessgerätes (TaiDoc, Pharmadoc GmbH, Lüdersdorf, Deutschland). Die Proben wurden in Kühltransporttaschen mit Kühlelementen transportiert. Im Labor der Tierklinik für Fortpflanzung wurde der Überstand in Reaktionsgefäße abpipettiert und bei -18°C tiefgefroren.

Die Untersuchung auf den Gehalt an Calcium und NEFA in den Serumproben erfolgte durch SYNLAB.vet GmbH (Betriebsstätte Berlin). Die Bestimmung der Calcium-Konzentration erfolgte mittels Atomabsorptionsspektrometrie und die des NEFA-Gehaltes colorimetrisch.

3.3 Datenerhebung und statistische Auswertung

Die Fruchtbarkeits-, Milchleistungs-, Abkalbe- und Einstellungsdaten in die Vorbereitergruppe sowie die individuellen Kuhdaten wurden dem jeweiligen Herdenmanagementprogramm des Milchviehbetriebes entnommen und in eine Excel-Tabelle (MS Office 2013, Microsoft Deutschland Ltd., München, Deutschland) übernommen. In den Milchviehbetrieben wurden HerdeW (dsp-Agrosoft, Ketzin, Deutschland), HerdePlus (dsp-Agrosoft, Ketzin, Deutschland) oder DairyComp (Valley Agriculture Software, Tulare, USA) als Herdenmanagementprogramm verwendet. Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS (Version 22.0, SPPS Inc., Chicago, USA).

Während des Beobachtungszeitraums kalbten 20.373 Tiere ab. Die Daten der Umstellungen von der Gruppe der Frühtrockensteher in die Vorbereitergruppe lagen für 14.843 Tiere (4.474 Färsen und 10.369 Kühe) vor. Für insgesamt 14.255 Tiere waren zudem Daten zur Trächtigkeitsdauer vorhanden. Es konnte gezeigt werden, dass die TD mit der Milchleistung

und Tiergesundheit in der nachfolgenden Laktation assoziiert ist (Vieira-Neto et al., 2017, Olagaray et al., 2020). Da zwischen der Vorbereitungsdauer und TD eine hohe Autokorrelation besteht, wurde diese als Confounder betrachtet. Folglich wurde die TD in allen Modellen, unabhängig vom Signifikanzniveau, beibehalten. Zur Evaluierung der Assoziation zwischen der Vorbereitungsdauer und der Milchleistung und Tiergesundheit in der Früh-laktation unter Berücksichtigung der TD wurden folgende Schritte durchgeführt, um die Kollinearität der beiden Variablen zu berücksichtigen. Zunächst wurden alle Kühe ausgeschlossen, deren TD kürzer oder länger als die dreifache Standardabweichung vom Mittelwert war. Infolgedessen wurden Kühe mit einer TD < 262 Tagen ($n = 168$) und > 292 Tagen ($n = 104$) von der statischen Auswertung ausgeschlossen. Zudem wurden Kühe mit einer Vorbereitungsdauer von 0 Tagen ($n = 165$) ausgeschlossen, da in diesen Fällen nicht ausgeschlossen werden konnte, ob das Umstellungsdatum zuverlässig dokumentiert worden war. Weiterhin wurden Kühe mit einer Vorbereitungsdauer von > 42 Tagen ($n = 504$) ausgeschlossen. Nach Anwendung der Ausschlusskriterien verblieben 13.314 Tieren (3.871 Jungkühe und 9.443 Altkühen), welche in die statistische Auswertung eingeschlossen wurden. Um den Effekt der Vorbereitungsdauer auf die Folgelaktation zu ermitteln, wurde die TD in 3 Kategorien eingeteilt, mit dem Ziel die Autokorrelataion zwischen Vorbereitungs- und TD zu reduzieren. Eine TD, welche kürzer als die zwei- bis dreifache Standardabweichung vom Mittelwert (262 bis 271 Tage) war, wurde als kurz betrachtet. Kühe mit einer TD \pm einfache Standardabweichung vom Mittelwert (272 bis 282 Tage) hatten eine normale TD. Eine TD von 283 bis 292 Tagen (Mittelwert + zwei bis dreifache Standardabweichung) wurde als lang betrachtet. Diese Umwandlung der TD in eine kategoriale Variable resultierte in einem Spearman Korrelationskoeffizient von 0,13 zwischen der TD und Vorbereitungsdauer.

Für die Untersuchung der kontinuierlichen Variablen wie die Energie-korrigierte Milchmenge am Tag der ersten Milchleistungsprüfung (Einsatzleistung), den Fett-Eiweiß-Quotienten und den somatischen Zellgehalt in der Milch wurde ein generalisiertes lineares gemischtes Modell (GENLINMIXED-Prozedur in SPSS) verwendet. Es wurden alle Kühe mit einem Laktationstag zwischen 5 und 45 am Tag der ersten MLP (Milchleistungsprüfung) eingeschlossen. Die Kuh war die experimentelle Einheit und der Betrieb wurde als Zufallseffekt betrachtet. Das Modell berücksichtigte den Cluster-Effekt von Kühen innerhalb eines Betriebes. Die Entwicklung des Modells erfolgte gemäß Dohoo et al. (2009). Jeder Einflussfaktor wurde vor der Einbeziehung in ein gemischtes Model separat in einem univariaten Modell geprüft. Die Faktoren wurden als fixe Effekte (i.e. kategoriale Variable) oder als Kovariate (i.e. kontinuierliche Variable) getestet. Im finalen gemischten Modell verblieben die Variablen, welche in dem univariaten Modell einen P -Wert $\leq 0,10$ hatten. Das initiale Modell für Färsen beinhaltete die Variablen Abkalbesaison (Winter, Frühling, Sommer, Herbst), das Geschlecht des Kalbes (männlich vs. weiblich), Schweregeburten (0 = nicht beobachtet; 1 = Kalbung ohne Geburtshilfe; 2 =Kalbung mit einer

Geburtshilfe von 1 Personen; 3 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von mehr als 1 Person), Totgeburten (ja vs. nein), Zwillinge (ja vs. nein), Alter zur ersten Abkalbung, TD (kurz vs. normal vs. lang), Vorbereitungsdauer und die quadratische Betrachtung der Vorbereitungsdauer. Die Modelle zur Evaluierung der Assoziation zwischen der Vorbereitungsdauer und der Einsatzleistung sowie der Assoziation zwischen Vorbereitungsdauer und dem Fett-Eiweiß-Quotienten in der Milch beinhalteten zudem den somatischen Zellgehalt in der Milch (log-Transformation in $[\ln(\text{SCC}/100)/\ln(2)] + 3$ (Ali and Shook, 1980)). Das Modell zur Evaluierung der Assoziation zwischen der Vorbereitungsdauer und dem somatischen Zellgehalt beinhaltete ebenfalls die Variable Einsatzleistung. Für Altkühe wurden dieselben Modelle verwendet. Jedoch beinhalteten diese Modelle zusätzlich die 305-Tage-Milchleistung in der Vorlaktation (kontinuierlich) sowie die Laktationszahl (zweite vs. dritte vs. \geq vierte Laktation).

Für die Untersuchung der binären Daten, wie Totgeburten, Merzungen innerhalb der ersten 60 Tage in Milch und Trächtigkeiten innerhalb 150 Tage in Milch, wurden logistische Regressionsmodelle (GENLINMIXED-Prozedur in SPSS) verwendet. Wie oben schon beschrieben, wurden die kontinuierlichen Variablen als Kovariate und die kategorialen Variablen als fixe Effekte getestet. Im finalen gemischten Modell verblieben die Variablen, welche in dem univariaten Modell einen P -Wert $\leq 0,10$ hatten. Die Kuh innerhalb des jeweiligen Betriebes war die experimentelle Einheit. Das initiale Modell für Färsen beinhaltete die Abkalbesaison, das Geschlecht des Kalbes, Schweregeburten, Totgeburten, Zwillinge, TD, Vorbereitungsdauer, die quadratische Betrachtung der Vorbereitungsdauer und das Erstkalbealter. Für die Mehrkalbskühe beinhaltete das Modell: Abkalbesaison, Geschlecht des Kalbes, Schweregeburten, Totgeburten, Zwillinge, TD, Vorbereitungsdauer, die quadratische Betrachtung der Vorbereitungsdauer, die 305-Tage-Milchleistung in der Vorlaktation und die Laktationszahl.

Aufgrund der Betrachtung multipler Vergleiche wurde für den P -Wert die Bonferroni-Korrektur angewendet. Das Signifikanzniveau war mit $\alpha = 5\%$ ($P < 0,05$) festgelegt. Eine statistische Tendenz war mit $P \geq 0,05$ und $P \leq 0,100$ definiert.

4. Ergebnisse

4.1 Transitkuhmanagement

4.1.1 Stall und Haltung

4.1.1.1 Fröhrtrockensteher

Die trockenstehenden Kühe wurden überwiegend in Liegeboxenlaufställen (11/18) gehalten. In drei Betrieben wurden die Trockensteher in Tiefstreulaufställen, in zwei Betrieben auf der Weide (Betrieb Nr.3 und 5) und in zwei weiteren Betrieben (Betrieb 11 und 12) in einem draußen gelegenen Auslauf gehalten (**Tabelle 7**).

4.1.1.2 Vorbereiter

Die Vorbereitergruppen erhielten in den untersuchten Betrieben eine Anionenration. Sie wurden in 8 Betrieben (8/18) in Liegeboxenlaufställen gehalten. Eine separate Färsengruppe war in 4 von diesen 8 Betrieben vorhanden. In 4 von diesen 8 Betrieben wurden die Tiere aufgrund von unmittelbaren Geburtsanzeichen wie die Sichtbarkeit von Fruchtteilen oder der Amnionblase in einen separaten Abkalbbereich verbracht. In 3 der Betriebe, in denen dieses Abkalbmanagement etabliert war, bestand dieser Bereich aus mit Stroh eingestreuten Boxen für 1 bis 6 Tiere und in einem Betrieb aus planbefestigten Einzelboxen. In den restlichen vier Betrieben wurden die Vorbereiter zur Kalbung (≈ 1 bis 10 Tage a. p.) vom Betriebspersonal aus den Liegeboxenlaufställen in einen Tiefstreulaufstall umgestellt. In einem von diesen vier Betrieben wurden die Tiere unmittelbar zur Kalbung in eine weitere mit Stroh eingestreute Einzelbox gebracht und in 2 Betrieben durch Stallgatter von der restlichen Gruppe getrennt. Zehn Betriebe hielten die Tiere während der gesamten Vorbereitungsdauer in Tiefstreulaufställen. Zwei von den 10 Betrieben hatten einen weiteren Tiefstreulaufstall, in den die Tiere während der Vorbereitungsdauer für eine bessere Geburtsüberwachung umgestellt wurden. In 2 weiteren Betrieben, welche die Kühe während der gesamten Vorbereitungsdauer auf Tiefstreu hielten, wurden die Tiere während der Kalbung durch Stallgatter von der Gruppe separiert (**Tabelle 7**).

Zusammenfassend gab es in 5 von 18 Betrieben eine separate Vorbereitergruppe für Färsen. In 3 von 18 Betrieben wurden die Tiere während der Kalbung nicht von der Gruppe separiert. Abgesehen von den oben beschriebenen Abkalbbereichen in den Betrieben, in denen ein „Just in Time“-Abkalbmanagement erfolgte, gab es in fünf weiteren Betrieben einen Abkalbestall, welcher aus mit Stroh eingestreuten Boxen für 1 bis 15 Tieren bestand (**Tabelle 7**). Abgesehen von diesen Umstellungen zur Kalbung war in 6 von 18 Betrieben eine

Umstallung während der Vorbereitungsdauer (\approx 1 bis 10 Tage a.p.) fest in das Transitkuhmanagement etabliert.

4.1.1.3 Frischmelker

Im Laufe von 1 bis 5 Tagen nach der Kalbung wurden die Tiere aus der Kolostrumgruppe in eine Frischmelkergruppe für 2 -3 Wochen umgestellt. In 16 von 18 Betrieben wurden die frischlaktierenden Kühe in Liegeboxenlaufställen gehalten. Von denen hatten zwei Betriebe eine separate Gruppe für Erstlaktierende. In 6 von 16 Betrieben wurden die Frischmelker in einem einreihigen Liegeboxenlaufstall gehalten. In 3 von 16 Betrieben wies der Liegeboxenlaufstall zwei Reihen an Liegeboxen auf und folglich wurden in 7 Betrieben die Frischmelker in einem dreireihigen Liegeboxenlaufstall gehalten. In zwei Betrieben wurde die Gruppe der Frischmelker in Tiefstreulaufställen gehalten (**Tabelle 7**).

Tabelle 7. Haltung der Trockensteher, Vorbereiter und Frischmelker (n=18 Betriebe)

Gruppe	Haltungsparameter	Anzahl Betriebe
Trockensteher	Liegeboxenlaufstall	11
	Einreihiger	2
	Zweireihiger	2
	Dreireihiger	7
	Tiefstreustall	3
	Weide	2
	Paddock	2
Vorbereiter	Liegeboxenlaufstall	8
	„Just-in-Time“-Abkalbmanagement	4
	1 bis 10 a.p. Umstallung in Tiefstreulaufstall	4
	Tiefstreustall	10
	Färsengruppe	5
Frischmelker	Liegeboxenlaufstall	16
	Einreihiger	6
	Zweireihiger	3
	Dreireihiger	7
	Tiefstreustall	2
	Färsengruppe	2

4.1.2 Belegungsdichte

Der Mittelwert, das Minimum, das Maximum und die Standardabweichung (SD) der Tieranzahl in den entsprechenden 3 Gruppen der 18 Milchviehbetriebe ist in **Tabelle 8** dargestellt.

Tabelle 8. Tieranzahl in den Gruppen der Früh trockensteher, Vorbereiter und Frischmelker

	Früh trockensteher	Vorbereiter	Frischmelker
Tierzahl			
Mittelwert	66	39	72
Minimum	27	6	21
Maximum	138	120	155
SD	30,1	24,1	36,4

4.1.2.1 Stallfläche

Das Tier-Liegeplatz-Verhältnis und die Stallfläche (m²/Tier) in den 3 Gruppen (Früh trockensteher, Vorbereiter, Frischmelker) sind in **Tabelle 9** dargestellt. Die angegebenen Werte stellen die Mittelwerte der an beiden Tagen erhobenen Daten dar. In 11 Betrieben wurden die Früh trockensteher in Liegeboxenlaufställen gehalten, wobei von Betrieb 16 die Daten zum Tier-Liegeplatz-Verhältnis fehlen. In Betrieb 3 und 5 wurden die Früh trockensteher auf der Weide gehalten und in Betrieb 11 und 12 in einem großen Außengehege. Daher sind von diesen 4 Betrieben keine Daten zum Liegeplatzangebot oder zur Stallfläche vorhanden. In 6 Betrieben gab es zwei Vorbereitergruppen. Bei den Ergebnissen der Stallfläche (m²/Tier) in den Vorbereitergruppen sind sowohl die Haltung in Tiefstreuställen während der gesamten Vorbereitungsdauer als auch die Haltung während 1 bis 10 Tage a. p. dargestellt.

Tabelle 9. Tier-Liegeplatz-Verhältnis bei der Haltung in Liegeboxenlaufställen und Stallfläche pro Tier bei der Haltung in Tiefstreulaufläufen in den entsprechenden 3 Gruppen

Betrieb	Frühtrockensteher		Vorbereiter			Frischmelker	
	Tier-Liegeplatz-Verhältnis	Stallfläche, m ² /Tier	Anzahl Gruppen	Tier-Liegeplatz-Verhältnis	Stallfläche, m ² /Tier	Tier-Liegeplatz-Verhältnis	Stallfläche, m ² /Tier
1	1: 0,9		1		5,7	1: 1,2	
2	1: 1,2		1	1: 1,25		1: 1,9	
3			1		7,5	1: 1,5	
4	1: 1,2		2	1: 1,1	9,2	1: 0,95	
5			2	1: 2,1	12,4	1: 0,9	
6		5,9	1	1: 1,0		1: 1,4	
7	1: 1,2		2	1: 1,35	11,6	1: 1,0	
8	1: 0,8		1		9,3	1: 1,2	
9		9,8	1		12,5		7,8
10	1: 1,3		1		8,3	1: 0,9	
11			2		9,0		6,2
					15,6		
12			2	1: 1,1	8,7	1: 1,0	
13	1: 0,95		1		6,1	1: 1,9	
14		8,2	1		10,8	1: 0,9	
15	1: 1,25		2		11,3	1: 1,0	
					16,2		
16	-		1		11,1	1: 1,1	
17	1:1,6		1	1: 1,5		1: 1,0	
18	1: 0,9		1	1: 1,15		1: 1,3	

4.1.2.2 Fressplatzangebot

Die Ergebnisse des Fressplatzangebotes in den 3 Gruppen (Frühtrockensteher, Vorbereiter, Frischmelker) in den 18 untersuchten Milchviehbetrieben sind **Tabelle 10** und **Tabelle 11** zu entnehmen. Die angegebenen Werte stellen die Mittelwerte der an beiden Tagen erhobenen Daten dar. Für die Gruppe der Frühtrockensteher wurden nur in 16 Betrieben Daten zum Fressplatzangebot erhoben, da in 2 Betrieben diese Gruppe auf der Weide gehalten wurde. Für die Frühtrockensteher und Frischmelker entspricht die Anzahl der untersuchten

Stallabteile der Anzahl der Betriebe. Für die Gruppen der Vorbereiter ist dies nicht der Fall, da es in mehreren Betrieben zwei Vorbereitergruppen gab und diese sich wiederum bezüglich des Vorhandenseins von Fressgittern unterschieden. Für eine Frischmelkergruppe mit Fressgittern fehlt die Länge des Futtertisches und folglich die Daten zum Fressplatzangebot in cm pro Tier und zur Fressgitterbreite.

Tabelle 10. Fressplatzangebot in Gruppen ohne Fressgitter, Tier-Fressplatz-Verhältnis und Fressgitterbreite in Gruppen mit Fressgittern

Betrieb	Frühtrockensteher			Vorbereiter			
	Tier-Fressplatz-Verhältnis	Fressplatzangebot, cm/ Tier	Fressgitterbreite, cm	Anzahl Gruppen	Tier-Fressplatz-Verhältnis	Fressplatzangebot, cm/ Tier	Fressgitterbreite, cm
1	1: 0,65	42,2	65,0	1		57,8	
2	1: 0,8	52,8	67,0	1	1: 0,9	64,1	68,0
3				1	1: 0,76	54,0	71,0
4	1: 1,2	89,4	75,0	2	1: 0,8	65,1	77,5
					1: 1,65	125,0	76,0
5				2	1: 1,3	117,0	73,0
					1: 1,9	170,0	65,0
6	1: 1,1	58,0	54,0	1	1: 0,5	37,2	71,5
7		55,5		2		53,5	
						57,0	
8		55,0		1		48,0	
9		66,2		1		78,0	
10		52,8		1		41,4	
11		75,1		2		50,2	
						77,4	
12		51,0		2	1: 0,8	52,3	64,0
						40,8	
13		42,7		1		58,5	
14		30,4		1		61,0	
15		86,6		2		99,3	
						136,5	
16		38,0		1	1: 1,8	111,5	64,0
17		70,5		1		128,8	
18		42,0		1		62,5	

Tabelle 11. Fressplatzangebot pro Tier in Gruppen ohne Fressgitter und des Tier-Fressplatz-Verhältnisses und der Fressgitterbreite in Gruppen mit Fressgittern

Frischmelker			
Betrieb	Tier-Fressplatz- Verhältnis	cm/ Tier	Fressgitterbreite, cm
1	1: 1,85	129,7	70,0
2	1: 2,0	87,3	42,5
3		181,0	
4		44,4	
5		38,4	
6	1: 0,83	57,6	70,0
7		80,0	
8		33,0	
9		50,7	
10		79,2	
11	1: 0,72	52,8	70,0
12	1: 1,78	111,4	64,0
13		83,8	
14	1: 0,9	-	-
15		125,0	
16		87,6	
17	1: 1,0	49,3	50,6
18		55,0	

4.1.2.3 Tränkeplatzangebot

Die Ergebnisse des Tränkeplatzangebotes in den 3 Gruppen (Frühtrockensteher, Vorbereiter, Frischmelker) in den 18 untersuchten Milchviehbetrieben sind **Tabelle 12** zu entnehmen. Die angegebenen Werte stellen die Mittelwerte der an beiden Tagen erhobenen Daten dar.

Für die Gruppe der Frühtrockensteher wurden in 15 Betrieben Daten zum Tränkeplatzangebot erhoben, da in 2 Betrieben (Nr. 3 und 5) diese Gruppe auf der Weide gehalten wurde. Von Betrieb 16) fehlen die Daten bezüglich des Tränkeplatzangebots bei den Frühtrockenstehern. In einem Betrieb wurde diese Gruppe über Schalentränken mit Wasser versorgt. In diesem Stallabteil waren für 106 Tiere 4 Schalentränken vorhanden.

In vielen der untersuchten Betriebe gab es mehr als eine Vorbereitergruppe, so dass bezüglich des Tränkeplatzangebots Daten von 24 Vorbereitergruppen vorliegen.

In einem Betrieb fand die Wasserversorgung der Frischmelker über Ventiltrogtränken statt. In diesem Stallabteil standen 66 Tiere 3 Ventiltrogtränken zur Verfügung.

Tabelle 12. Tränkeplatzangebot pro Tier

Betrieb	Frühtrocken- steher	Vorbereiter		Frishmelker
	Tränkeplatz, cm/ Tier	Anzahl Gruppen	Tränkeplatz, cm/ Tier	Tränkeplatz, cm/ Tier
1	3,8	1	14,0	9,9
2	12,35	1	12,4	8,4
3	-	1	6,0	16,0
4	5,0	2	3,7 4,1	4,9
5	-	2	15,1 36,1	7,4
6	4 Schalentränken für 106 Tiere	1	3,1	4,6
7	5,35	2	3,25 4,0	5,0
8	5,8	1	6,4	10,0
9	3,7	1	5,4	2,4
10	3,0	1	2,5	3,6
11	1,25	2	7,8 4,1	3 Ventiltrogtränken für 65 Tiere
12	12,6	2	5,0 12,3	1,8
13	4,2	1	8,8	8,6
14	4,5	1	6,6	8,4
15	3,9	2	58,4 8,7	5,1
16	-	1	11,5	2,4
17	11,3	1	6,3	10,5
18	3,0	1	4,5	4,3

4.1.3 Überwachung des Fütterungsmanagements

4.1.3.1 TMR-Analyse

In **Tabelle 13 bis 15** sind die Nährstoffgehalte der Futtrationen der Früh trockensteher, Vorbereiter und Frischmelker dargestellt.

Bei zwei Betrieben (3 und 5) wurden nur die Vorbereiter- und Frischmelkerration untersucht, weil die Früh trockensteher auf der Weide gehalten wurden.

In **Tabelle 16** sind die analysierten DCAD-Werte der Anionenrationen den DCAD-Werten, welche sich aus der Berechnung der Futtrationen ergaben, gegenübergestellt. Zudem ist die niedrigste (Minimum) und höchste (Maximum) DCAD als auch der Mittelwert von den 18 untersuchten Vorbereiterrationen angegeben. Von 2 Betrieben fehlen die Werte der berechneten DCAD. Insgesamt lag die DCAD in 16 Betrieben im negativen Bereich. In dem Betrieb 9 lag der Wert bei +26 meq/kg TS und in dem Betrieb 11 bei +15 meq/kg TS. Teilweise gab es erhebliche Differenzen zwischen den analysierten DCAD-Werten und den DCAD-Werten der berechneten Ration. Die berechneten Werte ergaben sich zum einen aus der geschätzten oder auch analysierten DCAD in den einzelnen Futterkomponenten und zum anderen aus der gezielten DCAD-Absenkung mithilfe des Einsatzes saurer Salze. Sie stellen lediglich erwartete Werte dar. Von 2 Betrieben fehlen die berechneten DCAD-Werte. In 10 von 16 Vorbereiterrationen betrug die Differenz zwischen den analysierten und berechneten Werten mehr als 20 meq/kg TS. Zu 50 % (5/10) war die analysierten DCAD niedriger und zu 50 % (5/10) höher als erwartet.

Tabelle 13. Nährstoffgehalte der analysierten Futterrationen der Frühtrockensteher (Zeitraum vom Trockenstellen bis ≈21d a.p.)

Betrieb	TS, %	Rohprotein, g/kg TS	Rohfaser, g/kg TS	NDF, g/kg TS	ADF, g/kg TS	Rohfett, g/kg TS	Zucker, g/kg TS	Stärke, g/kg TS	Calcium, g/kg TS	Phosphor, g/kg TS	Natrium, g/kg TS	Magnesium, g/kg TS	Kalium, g/kg TS	Chlor, g/kg TS	Schwefel, g/kg TS	DCAD, meq/kg TS	NEL, MJ/kg TS	nXP, g/kg TS
1	36,0	144	205	449	240	33	79	165	4,3	4,2	0,8	1,8	20,8	5,2	2,1	293	6,5	147
2	31,3	148	201	475	257	38	63	80	5,0	2,7	2,6	1,9	23,5	9,6	3,0	263	6,7	151
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	26,0	210	309	450	318	21	17	27	13,3	2,4	4,1	2,8	24,2	12,6	2,4	292	4,6	138
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	35,2	151	255	433	284	30	0	175	6,0	3,2	5,7	2,2	19,4	13,6	2,9	183	5,8	139
7	41,5	174	236	450	274	47	28	73	8,1	3,9	4,9	3,0	32,1	12,9	3,2	471	6,4	154
8	39,2	172	226	410	261	41	21	105	11,1	3,1	6,4	3,2	19,6	16,0	3,1	137	6,6	155
9	43,8	142	196	398	241	36	73	115	8,9	3,3	3,6	4,7	14,1	8,6	2,3	137	6,7	149
10	27,0	167	289	466	310	31	0	120	8,1	3,0	0,4	2,6	21,4	2,5	2,5	337	5,4	137
11	39,9	124	244	580	320	33	41	62	7,7	2,9	1,7	2,2	20,0	7,7	2,0	245	5,9	133
12	41,5	154	261	474	286	26	27	111	5,4	4,3	1,3	4,4	15,4	3,6	3,0	157	5,5	136
13	38,9	115	249	468	275	26	17	194	8,7	2,4	0,6	2,8	19,3	3,7	1,7	313	5,4	124
14	41,8	142	219	411	267	35	56	142	7,8	3,0	2,5	4,6	15,2	7,3	2,7	127	6,5	145
15	51,1	148	222	477	269	37	72	115	7,4	2,9	1,6	2,5	12,9	6,9	2,3	64	6,5	147
16	46,0	125	192	396	221	26	58	255	9,3	3,4	1,0	2,6	13,1	4,0	2,8	92	6,2	138
17	36,1	171	225	383	252	39	20	127	7,7	4,3	2,2	6,1	23,0	11,6	3,4	146	6,5	155
18	33,7	121	255	463	280	24	11	184	6,8	2,7	0,6	1,7	19,0	3,4	1,4	332	5,3	124

Tabelle 14. Nährstoffgehalte der analysierten Anionenrationen der Vorbereiter (\approx 21-0d a.p.)

Betrieb	TS, %	Rohprotein, g/kg TS	Rohfaser, g/kg TS	NDF, g/kg TS	ADF, g/kg TS	Rohfett, g/kg TS	Zucker, g/kg TS	Stärke, g/kg TS	Calcium, g/kg TS	Phosphor, g/kg TS	Natrium, g/kg TS	Magnesium, g/kg TS	Kalium, g/kg TS	Chlor, g/kg TS	Schwefel, g/kg TS	DCAD, meq/kg TS	NEL, MJ/kg TS	nXP, g/kg TS
1	40,3	129	233	452	261	25	18	220	11,8	3,8	1,4	4,1	14,1	9,6	3,8	-84	5,7	132
2	42	148	231	475	268	28	28	197	13,6	3,7	1,4	4,5	17,7	10,2	4,0	-25	5,9	140
3	45,3	156	216	467	258	34	43	213	10,1	3,9	2,2	4,5	14,4	10,0	3,8	-51	6,4	150
4	46,0	135	228	444	263	38	42	183	11,4	3,2	1,7	3,4	11,3	7,6	3,1	-45	6,3	142
5	46,1	131	207	381	232	31	24	218	13,0	4,0	1,6	3,9	14,8	8,4	5,0	-96	6,3	141
6	46,5	144	205	366	243	28	17	261	13,3	3,7	2,8	4,1	13,0	12,6	3,9	-148	6,2	144
7	43,2	156	203	375	243	38	33	173	18,0	3,8	2,8	5,2	15,8	12,3	4,5	-101	6,7	153
8	43,3	154	232	426	268	36	29	130	11,0	3,0	2,6	4,0	16,6	12,9	3,7	-60	6,3	147
9	46,1	194	186	274	172	31	9	155	15,7	3,1	7,7	13,6	11,0	13,8	3,3	26	6,8	164
10	43,4	153	197	407	228	26	33	229	10,3	3,2	1,6	4,9	11,7	5,7	3,6	-18	6,3	147
11	38,2	136	215	417	238	26	46	170	11,1	3,1	1,5	3,9	17,2	9,9	3,4	15	6,0	138
12	38,8	156	212	402	242	30	17	217	12,4	4,7	1,4	4,2	15,6	6,4	4,9	-26	6,3	148
13	38,5	162	204	383	239	21	39	182	18,0	3,9	1,4	5,2	15,5	9,9	4,4	-96	6,0	144
14	39,1	155	199	370	241	40	35	193	13,2	3,5	1,7	4,5	17,5	10,2	4,2	-32	6,8	154
15	44,7	29	229	458	264	39	54	149	8,8	3,1	1,4	3,2	13,2	6,7	3,4	-4	6,3	140
16	44,9	131	233	451	270	27	45	145	14,0	3,0	1,0	3,7	11,9	6,3	4,6	-115	5,8	134
17	45,7	152	241	419	273	28	36	124	12,3	3,8	2,0	3,7	17,5	12,0	4,5	-86	5,9	140
18	45,7	139	173	326	227	31	36	266	17,3	3,3	1,9	4,7	12,5	13,1	3,7	-199	6,8	149

Tabelle 15. Nährstoffgehalte der analysierten Futterrationen der Frischmelker (1-5d bis ≈30d p.p.)

Betrieb	TS, %	Rohprotein, g/kg TS	Rohfaser, g/kg TS	NDF, g/kg TS	ADF, g/kg TS	Rohfett, g/kg TS	Zucker, g/kg TS	Stärke, g/kg TS	Calcium, g/kg TS	Phosphor, g/kg TS	Natrium, g/kg TS	Magnesium, g/kg TS	Kalium, g/kg TS	Chlor, g/kg TS	Schwefel, g/kg TS	DCAD, meq/kg TS	NEL, MJ/kg TS	nXP, g/kg TS
1	41,5	168	178	372	215	52	55	234	8,4	4,6	3,5	3,4	15,2	5,0	2,6	240	7,0	160
2	36,5	150	208	480	242	48	50	209	11,1	3,9	4,6	3,4	17,5	5,8	2,6	319	6,7	151
3	42,2	162	182	437	222	41	57	228	11,7	4,0	7,9	3,1	17,3	7,6	3,0	386	7,0	159
4	44,2	171	204	401	236	52	38	175	9,7	3,9	3,8	3,2	16,1	4,5	2,6	290	6,7	158
5	45,0	161	174	341	200	34	41	181	13,3	4,4	2,6	3,6	21,4	6,9	3,4	254	7,0	158
6	43,6	167	189	372	225	45	24	201	9,6	3,6	6,3	3,5	14,9	9,6	2,6	220	7,0	160
7	49,2	182	212	411	250	50	35	116	14,0	4,1	7,3	4,1	27,0	12,0	3,1	477	6,7	160
8	41,5	171	191	359	226	53	31	187	11,8	3,7	6,9	3,6	18,2	10,7	3,3	261	6,9	160
9	41,4	147	197	425	237	37	67	153	14,1	4,5	4,6	5,0	17,4	5,7	2,5	329	6,7	151
10	39,8	174	203	394	235	24	41	190	8,0	3,5	0,6	3,0	15,2	2,6	2,8	167	6,1	150
11	48,2	157	179	403	221	45	78	188	8,5	4,0	4,0	2,5	15,9	9,2	2,4	170	7,1	158
12	36,6	172	205	400	235	31	21	183	9,7	4,9	3,5	2,4	17,0	6,9	3,1	202	6,5	155
13	43,3	149	197	381	227	23	31	251	9,6	3,7	3,1	3,2	16,2	4,4	2,6	259	6,1	143
14	38,6	177	179	373	216	43	49	185	12,0	4,0	5,4	4,1	21,3	6,9	3,3	379	7,1	164
15	40,2	149	194	396	227	37	44	209	8,6	3,6	2,8	3,2	15,3	6,5	2,9	150	6,7	152
16	42,1	142	190	371	224	29	53	205	12,5	3,4	3,3	2,4	13,9	5,7	3,2	142	6,5	146
17	37,2	169	174	342	210	35	55	182	10,0	4,1	3,1	3,1	24,0	11,4	3,3	223	7,0	161
18	38,5	141	217	401	246	23	21	226	6,6	3,3	1,9	2,5	18,6	3,8	1,8	339	5,8	136

Tabelle 16. Analysierte und berechnete DCAD in den Anionenrationen

Betrieb	Analyse DCAD, meq/kg TS	Berechnung DCAD, meq/kg TS	Differenz, [Analyse- Berechnung]
1	-84	-58	-26
2	-25	-62	+37
3	-51	-44	-7
4	-45	-65	+20
5	-96	-111	+15
6	-148	-73	-75
7	-101	-90	-11
8	-60	-44	-16
9	+26	-187	+213
10	-18	+52	-70
11	+15	-	-
12	-26	-80	+54
13	-96	-80	-16
14	-32	-54	+22
15	-4	-81	+77
16	-115	-40	-75
17	-86	+60	-146
18	-199	-	-
Minimum	-199	-187	-7
Maximum	+26	+52	+213

4.1.3.2 PennState Schüttelbox

In 15 Betrieben wurde die Partikelgröße bzw. -länge der frischvorgelegten TMR von den Frühlrockenstehern, Vorbereitern und Frischmelkern mittels der PennState Schüttelbox beurteilt. Von den restlichen 3 Betrieben wurden die Daten für die Vorbereiter- und Frischmelkergruppen erhoben.

Die Ergebnisse der Untersuchung der Partikelgröße bzw. -länge der TMR sind in **Abbildung 1**, **Abbildung 2** und **Abbildung 3** dargestellt.

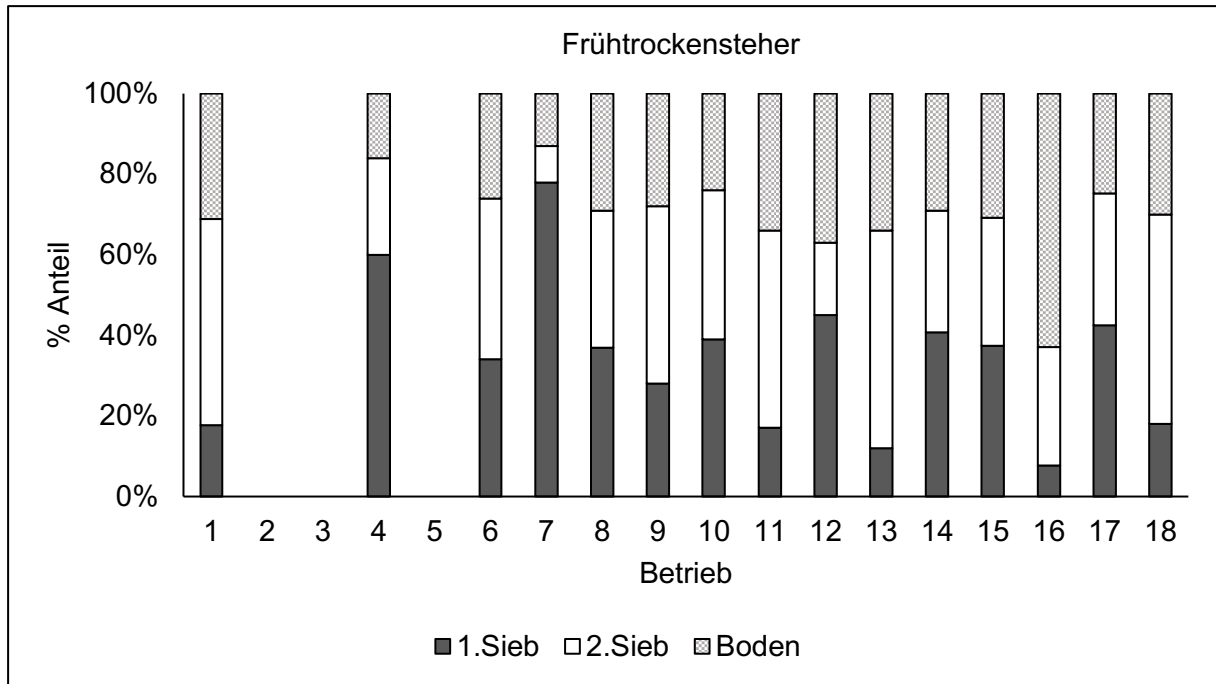


Abbildung 1. Prozentuale Verteilung der TMR von den Frühtrockensteher in der PennState Schüttelbox.

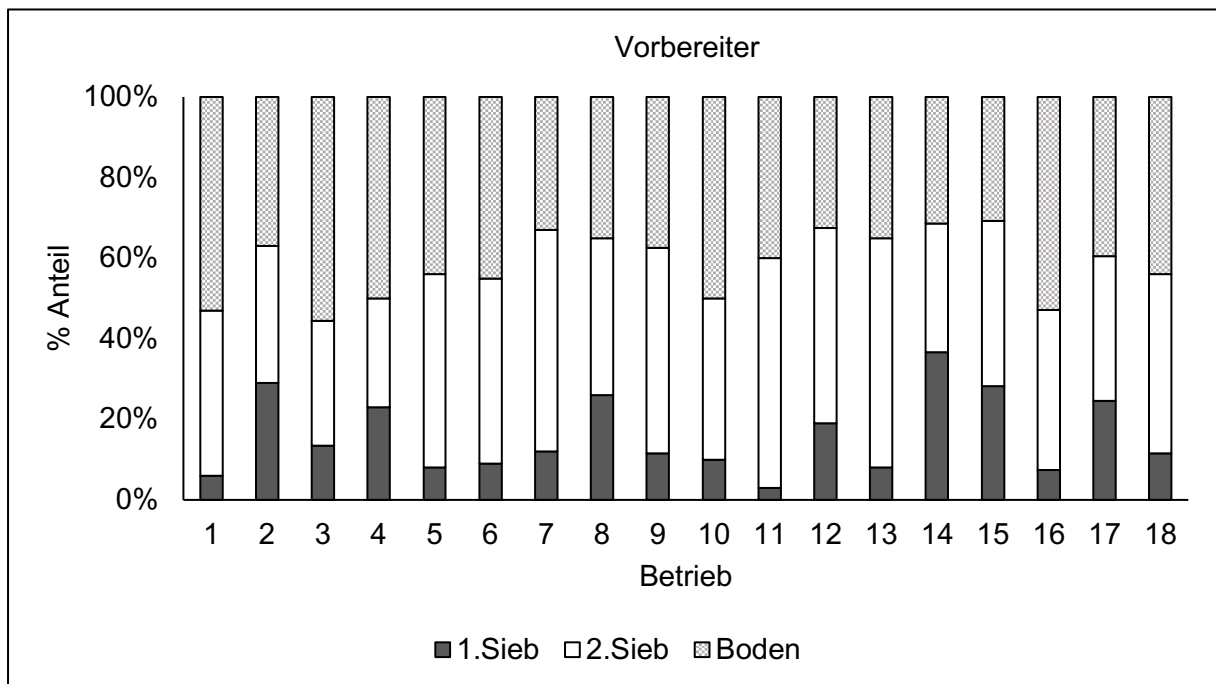


Abbildung 2. Prozentuale Verteilung der TMR von den Vorbereitern in der PennState Schüttelbox.

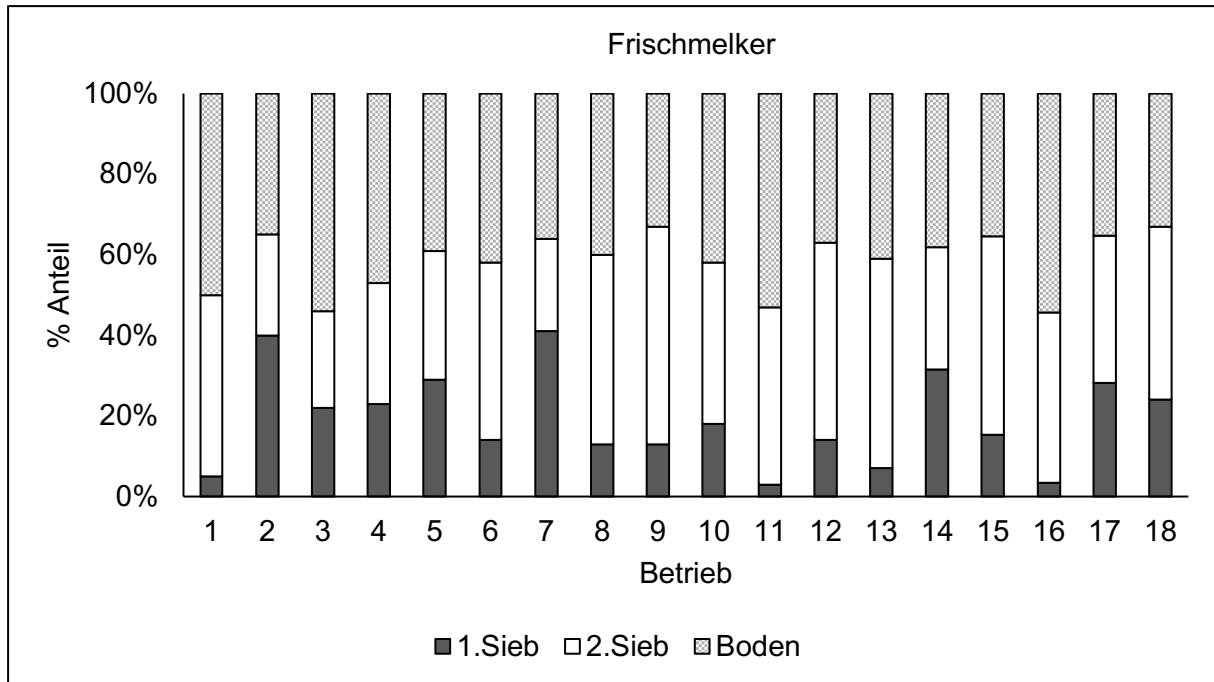


Abbildung 3. Prozentuale Verteilung der TMR von den Frischmelkern in den einzelnen Siebfractionen der PennState Schüttelbox.

4.1.3.3 Futterselektion

Eine weitere hilfreiche Verwendung der Beurteilung der TMR-Partikelgröße ist der Vergleich der Partikelgröße von der Frischfuttermvorlage mit der des Restfutters. Im Idealfall sollte die Partikelgröße von beiden TMRs nahezu identisch sein. In der Praxis ist jedoch eine moderate Erhöhung des prozentualen Anteils größerer Partikel im Restfutter normal (Oetzel, 2014, 2020).

Der Vergleich der Partikelgröße in Frisch- und Restfutter wurde in 8 Betrieben in den Gruppen der Früh trockensteher, Vorbereiter und Frischmelker erhoben. In 5 Betrieben wurden die Daten nur für die Vorbereiter- und Frischmelkergruppe erhoben. Bei den anderen 5 Betrieben konnte der Selektionsgrad nicht berechnet werden, weil von dem Betriebspersonal vor der Frischfuttermvorlage keine Probe des Restfutters von dem Futtertisch entnommen wurde. Die Ergebnisse der Futterselektion sind der **Tabelle 17** zu entnehmen.

Tabelle 17. Anstieg des prozentualen Anteils großer Partikel im Restfutter in den Gruppen der Fröhrtrockensteher, Vorbereiter und Frischmelker

Betrieb	Anstieg großer Partikel im Restfutter, %		
	Fröhrtrockensteher	Vorbereiter	Frischmelker
1	0	0	5,0
2	-	6,0	0
3	-	2,5	5,0
4	1,0	16,0	0
5	-	4,0	11,0
6	19,0	2,0	3,0
7	0	11,0	1,0
8	3,0	16,0	7,0
9	-	0	3,0
10	-	-	-
11	-	-	-
12	5,0	0	11,0
13	-	-	-
14	14,3	0	4,5
15	-	-	-
16	-	33,7	23,2
17	5,2	13,0	0
18	-	-	-
Anzahl Betriebe	8	13	13
Minimum	0	0	0
Maximum	19,0	33,7	23,2

4.1.3.4 Trockenmasseaufnahme

In 9 Betrieben wurde in der Gruppe der Fröhrtrockensteher (Altkühe), der Vorbereiter und der Frischmelker die durchschnittliche Trockenmasseaufnahme pro Tier und Tag in kg (kg TM/Tier/Tag) ermittelt (**Tabelle 18**). In einem Betrieb wurden die Daten nur für die Vorbereitergruppe und in einem anderen Betrieb nur für die Vorbereiter- und Frischmelkergruppe erhoben. In den untersuchten Gruppen der Vorbereiter und Frischmelker wurden Jung- und Altkühe zusammengehalten. In den verbliebenen 7 Betrieben hat das

Betriebspersonal das Restfutter nicht zurückgewogen, wodurch die durchschnittliche Trockenmasseaufnahme (in kg/Tier/Tag) nicht berechnet werden konnte.

Tabelle 18. Durchschnittliche Trockenmasseaufnahme pro Tier und Tag in kg in den Gruppen der Früh trockensteher, Vorbereiter und Frischmelker

Betrieb	TM-Aufnahme, kg TM/Tier/Tag		
	Früh trockensteher	Vorbereiter	Frischmelker
1	-	-	-
2	-	13,7	-
3	-	12,8	16,7
4	9,7	11,3	19,7
5	-	-	-
6	12,5	17,4	18,2
7	-	-	-
8	10,4	14,8	20,6
9	18,3	11,1	14,9
10	10,0	9,9	19,9
11	10,3	13,3	23,4
12	9,1	13,7	16,2
13	-	-	-
14	10,7	13,6	19,6
15	-	-	-
16	-	-	-
17	15,6	15,8	12,6
18	-	-	-
Anzahl Betriebe	9	11	10
Minimum	9,1	9,9	12,6
Maximum	18,3	17,4	23,4
Mittelwert	11,8	13,4	18,2

4.1.3.5 Beurteilung der Körperkondition

Die Körperkondition ist in den **Abbildungen 4 bis 6** dargestellt. In Betrieb 3 wurde die Körperkondition der Jungkühe in den 3 Transitgruppen nicht beurteilt. In Betrieb 4, 9, 12 und 13 wurden die tragenden Färsen auf einem anderen Betriebsstandort gehalten und konnten somit nicht beurteilt werden. In Betrieb 16 wurden sowohl die tragenden Färsen als auch die Frühl trockensteher auf einem anderen Standort gehalten und konnten nicht mit in die Bewertung eingeschlossen werden. In Betrieb 18 fehlen die Daten zu den tragenden Färsen. Die tragenden Färsen (n = 10 Gruppen) hatten in der Gruppe der Frühl trockensteher im Durchschnitt einen BCS von $3,67 \pm 0,30$. In den Vorbereitergruppen (n = 16 Gruppen) lag der BCS bei den Färsen durchschnittlich bei $3,66 \pm 0,32$ und in den Frischmelkergruppen bei $3,27 \pm 0,30$. Der Mittelwert des BCS von den hochtragenden Mehrkalbskühen der Frühl trockenstehergruppen (n = 17) betrug $3,36 \pm 0,24$ und $3,39 \pm 0,26$ in den Gruppen der Vorbereiter (n = 18). Der BCS der Mehrkalbskühe in den Frischmelkergruppen (n = 18) betrug $3,05 \pm 0,24$.

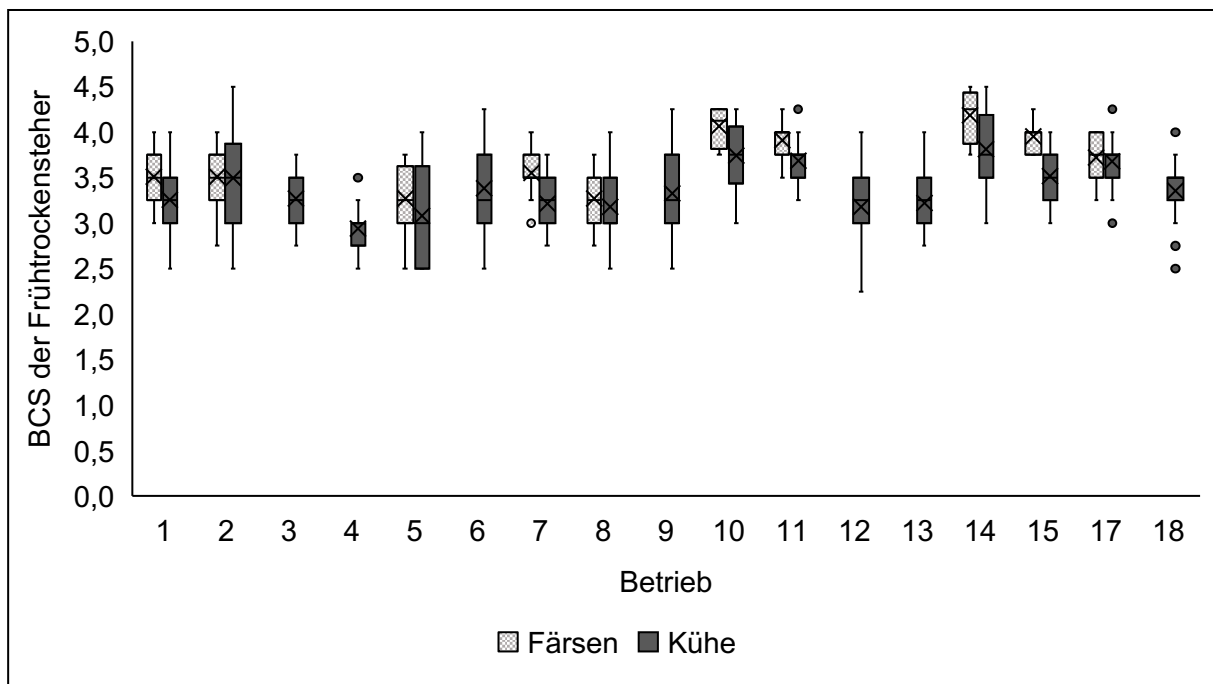


Abbildung 4. Verteilung der Körperkondition in den Frühl trockenstehergruppen am Tag des ersten Betriebsbesuches.

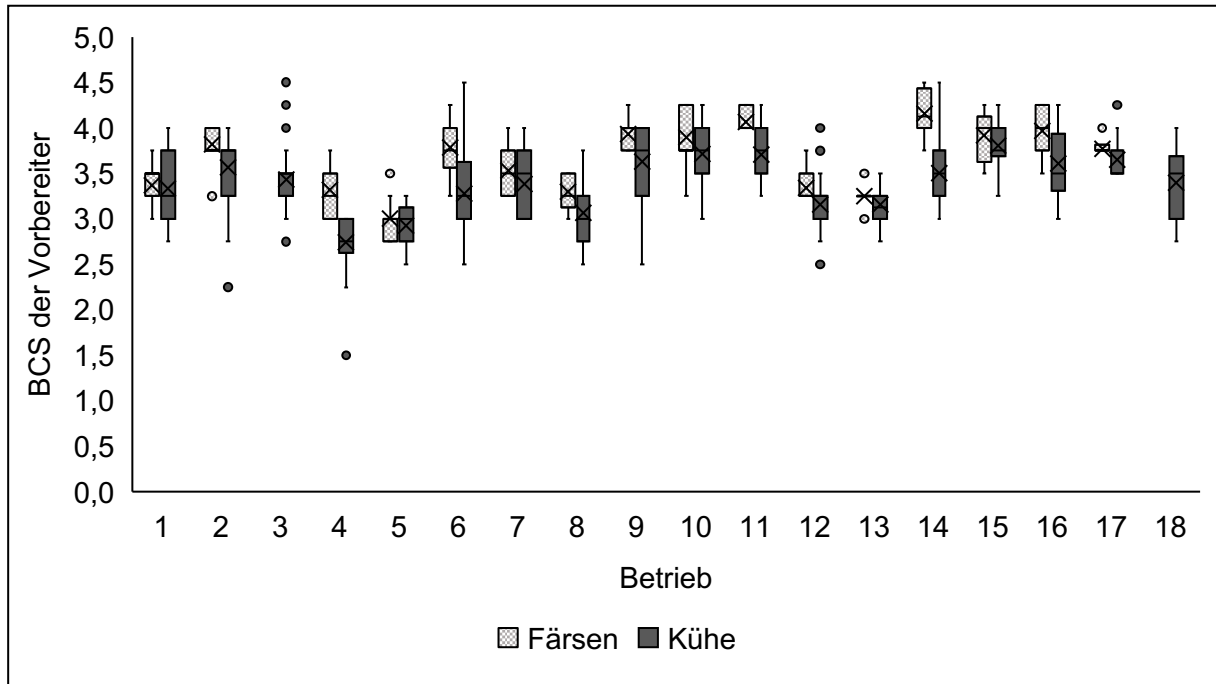


Abbildung 5. Verteilung des BCS in den Vorbereitergruppen am Tag des ersten Betriebsbesuches.

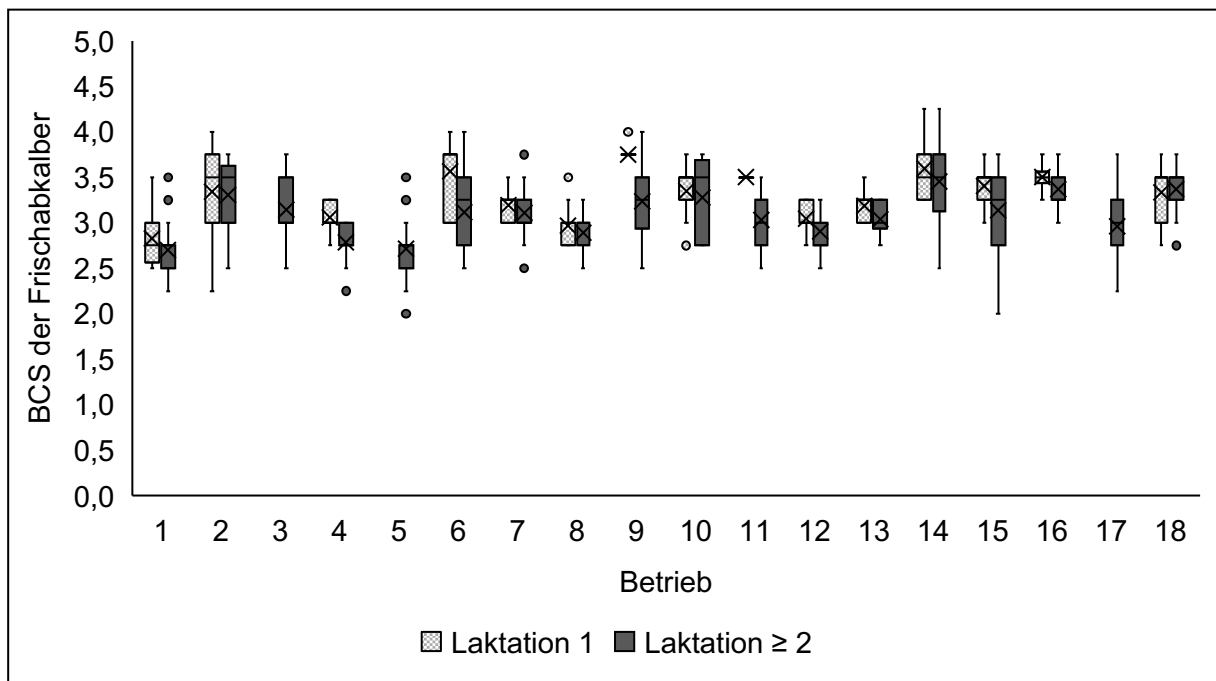


Abbildung 6. Verteilung des BCS in den Frischmelkerguppen am Tag des ersten Betriebsbesuches.

4.1.3.6 Beurteilung des Futtertischmanagements

Die Beurteilung des Futtertischmanagements erfolgte mittels Zeitrafferkamera. In 13 Betrieben wurde die Kamera umgehängt, allerdings nicht immer exakt nach 7 Tagen. Von 5 Betrieben sind nur Aufnahmen von dem Futtertisch der Vorbereiter vorhanden.

In jedem Betrieb wurde für jeden Tag eine Farbskala erstellt (**Tabelle 5**). Die dargestellten Werte für die Vorbereiter (**Abbildung 7**) und Frischmelker (**Abbildung 8**) stellen den Durchschnitt der beurteilten Tage (5 - 8 Tage) dar. Von Betrieb 12) liegen nur von 3 Tagen und von Betrieb 14 nur von 2 Tagen Kameraaufnahmen von der Frischmelkergruppe vor. Die Definition der Farben kann **Tabelle 4** entnommen werden.

In 6 von 18 Betrieben (4, 5, 8, 9, 10, 18) hatten die Vorbereiter an ≥ 2 Tagen über 10 Stunden keinen Zugang zu Futter. In den Betrieben 10 und 18 hatten Kühe dieser Gruppen durchschnittlich 12 Stunden pro Tag keinen Futterzugang. Der längste Futterentzug betrug 22,5 Stunden an jeweils 3 von 7 Tagen (Betrieb 18). In Betrieb 1 hatten die Vorbereiter an allen 7 Tagen permanenten Zugang zu Futter.

Neben dem leeren Futtertisch war in Betrieb 5 das Futter im Durchschnitt 12,8 Stunden pro Tag für die Vorbereiter schwer zu erreichen bzw. die Futtermenge gering, wobei die längste Dauer 21,5 Stunden pro Tag betrug. In den Betrieben 8, 13 und 16 lag der Durchschnitt bei ca. 6 Stunden/Tag, mit einem Maximum von 16,5 Stunden/Tag in Betrieb 13. Betrieb 10 verzeichnete in der Frischmelkergruppe mit 12 Stunden pro Tag den längsten Futterentzug. Im Durchschnitt hatten die Frischmelker in diesem Betrieb 10,3 Stunden/Tag kein Zugang zu Futter. In Betrieb 3, 12 und 13 lag das Maximum bei 10 Stunden pro Tag und das arithmetische Mittel bei 8,9 Std/Tag, 5,7 Std/Tag und 6 Std/Tag. Außer in den Betrieben 9 und 14 hatten die Frischmelker in allen Betrieben mindestens an einem Tag ≥ 6 Stunden keinen Zugang zu Futter.

Neben dem langen Futterentzug war in den Betrieben 10 und 13 das Futter zusätzlich im Durchschnitt 7 Std/Tag für die Tiere schwer erreichbar bzw. die Menge auf dem Futtertisch gering. Das Maximum lag bei 9,5 Std/Tag.

In Betrieb 13 wurden die laktierenden Gruppen mittels Förderband gefüttert. In der Frischmelkergruppe lag die Fütterungsfrequenz zwischen 5 bis 7mal ($\bar{\emptyset}$ 5,7) pro Tag. In Betrieb 18 war in den laktierenden als auch trockenstehenden Gruppen eine Fütterung mittels Förderband etabliert. In diesem Betrieb lag die Frequenz der Frischfuttermitteln zwischen 8 bis 11mal ($\bar{\emptyset}$ 9,8) pro Tag. In Betrieb 10 fand in der Frischmelkergruppe eine zweimalige Fütterung statt und in den restlichen Betrieben war grundsätzlich eine einmalige Fütterung sowohl in der Vorbereiter- als auch in der Frischmelkergruppe etabliert. Ausnahmen gab es in Betrieb 2, in dem die Frischmelkergruppe an 2 von 7 Tagen gegen Abend eine zusätzliche Frischfuttermitteln erhalten haben, und in Betrieb 12, in welchem die Vorbereitergruppe an 4 von 7 Tagen gegen Abend mit einer zusätzlichen geringen Menge an TMR versorgt wurden.

In den 2 Betrieben mit einer Förderbandfütterung wurde der Futtertisch einmal die Woche gesäubert. In den anderen Betrieben wurde mit wenigen Ausnahmen vor der erneuten Frischfuttermalage das Restfutter entfernt. In wenigen Betrieben fehlte 1 bis 2mal pro Woche vor der erneuten Frischfuttermalage die Entfernung des Restfutters.

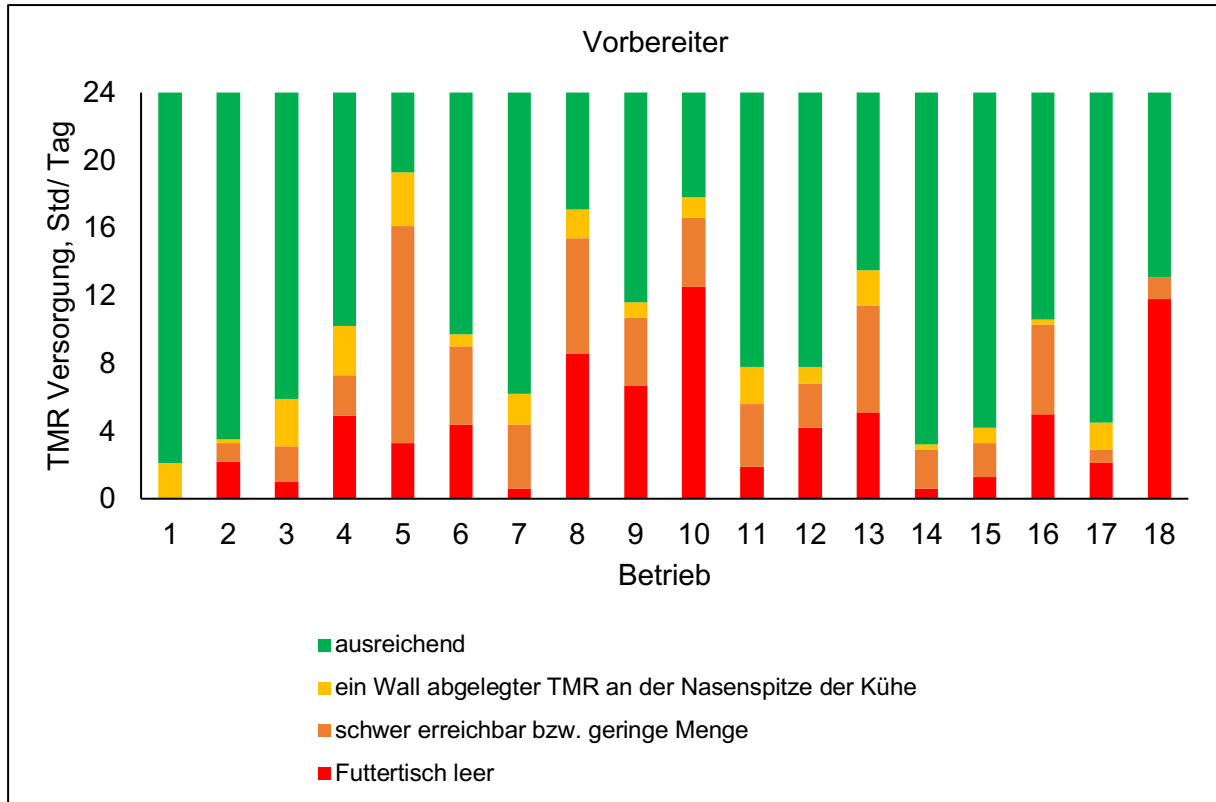


Abbildung 7. Beurteilung des Futtertischmanagements in der Vorbereitergruppe in 18 Milchviehbetrieben mittels einer Zeitrafferkamera.

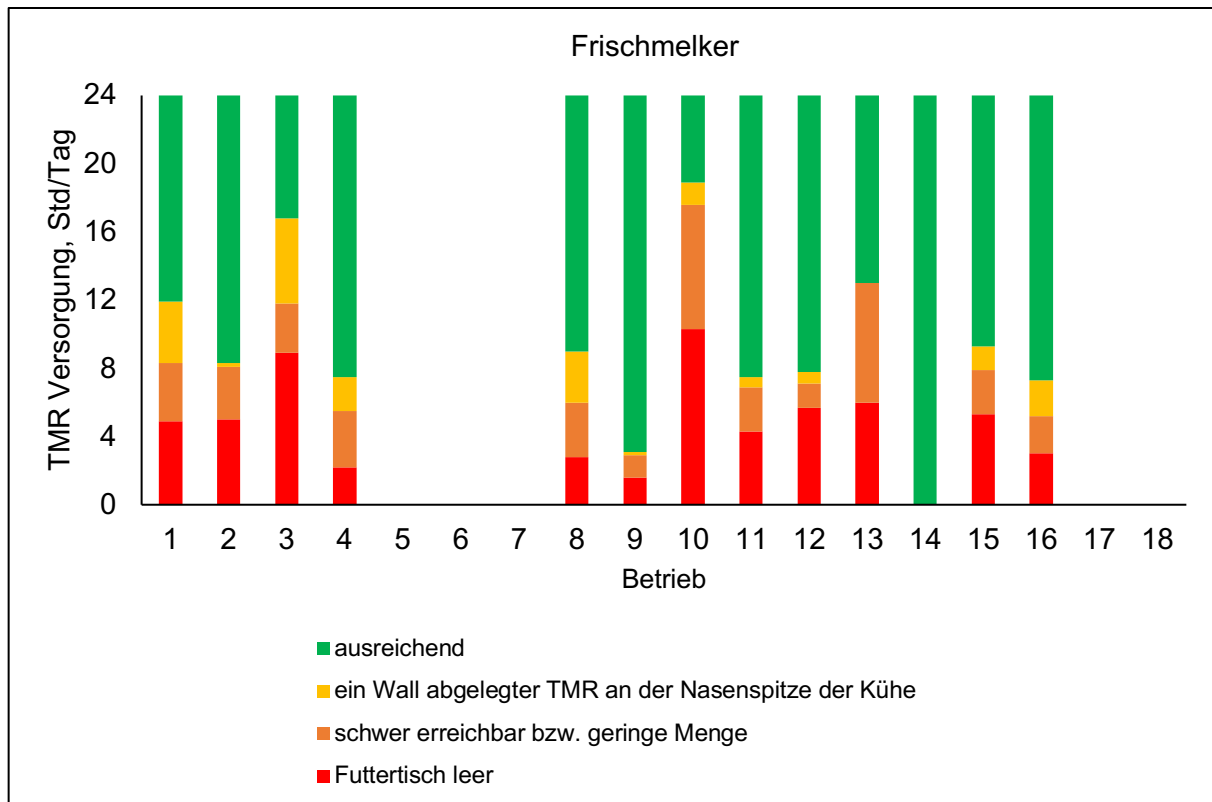


Abbildung 8. Beurteilung des Futtertischmanagements in der Frischmelkergruppe in 13 Milchviehbetrieben mittels einer Zeitrafferkamera.

4.2 Untersuchung der Harnproben

4.2.1 Einzelproben

Die Ergebnisse der Harn-pH-Messung mittels Teststreifen am Tag des ersten und des zweiten Betriebsbesuches sind in **Tabelle 19** dargestellt.

Tabelle 19. Der Mittelwerte, die Standardabweichung und der Variationskoeffizient von den Harn-pH-Werte an dem Tag des ersten und zweiten Betriebsbesuches in den 18 untersuchten Betrieben

Betrieb	1. Betriebsbesuch					2. Betriebsbesuch				
	MW	Min	Max	SD	CV, %	MW	Min	Max	SD	CV, %
1	5,7	5,0	7,5	0,75	13,16	7,7	7,5	8,0	0,37	4,81
2	6,4	6,0	7,5	0,7	10,94	6,8	6,0	7,5	0,9	13,24
3	6,3	5,0	7,5	0,88	13,97	6,0	4,5	7,5	0,98	16,33
4	6,9	5,0	8,0	1,02	14,78	7,5	5,0	8,5	0,44	5,87
5	6,3	5,5	7,5	0,69	10,95	6,9	5,5	7,5	0,71	10,29
6	6,8	5,0	7,5	0,78	11,47	6,5	5,0	8,0	0,84	12,92
7	7,0	4,5	8,0	0,9	12,86	8,2	8,0	8,5	0,24	2,93
8	7,5	6,0	8,0	0,61	8,13	7,0	5,0	8,0	0,97	13,86
9	8,2	8,0	8,5	0,25	3,05	5,6	5,0	6,5	0,36	6,43
10	7,6	7,0	8,5	0,46	6,05	8,0	8,0	8,0	0	0
11	7,4	6,0	8,0	0,65	8,78	6,8	5,5	7,5	0,75	11,03
12	7,2	6,0	8,0	0,8	11,11	7,6	6,5	8,0	0,57	7,50
13	6,4	5,0	8,0	0,98	15,31	7,8	7,5	8,0	0,23	2,95
14	7,8	6,5	8,0	0,45	5,77	7,3	5,5	8,0	1,03	14,11
15	7,9	7,5	8,0	0,19	2,41	6,8	5,5	7,5	0,91	13,38
16	5,8	5,0	8,0	0,9	15,52	6,8	5,5	8,5	0,72	10,59
17	7,9	7,5	9,0	0,41	5,19	8,0	8,0	8,5	0,13	1,63
18	5,8	5,0	8,0	0,77	13,28	6,2	5,5	7,5	0,78	12,58

4.2.2 Poolproben

Für 17 Betriebe wurde aus den Harnproben der Einzeltiere ($n \geq 12$) pro Betriebsbesuch eine Poolprobe angefertigt. Bei Betrieb 3 wurden nur von den Harnproben am Tag des ersten Betriebsbesuch eine Poolprobe angefertigt. Die Ergebnisse der untersuchten Parameter NSBA, Calcium- und Kreatiningehalt der Harn-Poolproben sind in **Tabelle 20** dargestellt. Zudem sind das Minimum (Min), das Maximum (Max), der Mittelwert (MW) und die Standardabweichung (SD) der **Tabelle 20** zu entnehmen.

Tabelle 20. Darstellung der analysierten Parameter NSBA (mmol/L), Calciumkonzentration (mmol/L) und Kreatininkonzentration (g/L) in den Harn-Poolproben

Betrieb	Poolprobe 1			Poolprobe 2		
	NSBA, mmol/L	Calcium, mmol/L	Kreatinin, g/L	NSBA, mmol/L	Calcium, mmol/L	Kreatinin, g/L
1	2,5	10,73	1,34	133,5	1,63	1,91
2	14,5	8,03	0,70	35,0	7,80	1,02
3	2,5	12,78	1,17	-	-	-
4	61,5	7,57	1,67	110,5	3,42	1,35
5	7,0	4,98	1,23	51,5	11,69	0,98
6	26	7,17	1,38	10,5	9,85	1,14
7	105,5	2,78	1,10	40,5	4,48	1,25
8	28,5	7,93	1,08	7,0	9,29	0,83
9	105,5	4,38	0,92	-48,5	17,81	1,28
10	93,5	6,68	1,19	63,5	5,88	1,46
11	19,0	9,99	1,37	1,0	11,96	0,96
12	43,0	11,41	1,43	43,5	4,95	0,79
13	-1,0	11,62	1,05	66,0	7,53	1,21
14	53,0	5,28	1,52	37,0	5,41	1,37
15	71,5	3,93	1,26	10,0	9,98	1,05
16	-13,0	11,61	0,99	-1,0	13,23	1,44
17	42,0	7,96	1,01	81,5	2,11	1,39
18	-15,0	15,31	1,01	-5,5	15,33	1,12
Min	-15,0	2,78	0,70	-48,50	2,11	0,79
Max	105,5	15,32	1,67	110,5	17,81	1,91
MW	35,92	8,34	1,19	37,41	8,37	1,21
SD	37,72	3,33	0,23	43,85	4,49	0,27

4.3 Untersuchung der Blutproben

4.3.1 Konzentration von NEFA

Bei den Vorbereitern wurde die NEFA-Konzentration im Serum bestimmt. Der prozentuale Anteil an erhöhten NEFA-Konzentrationen (> 0,3 mmol/L) in einer Stichprobe \geq 12 Tieren ist in **Abbildung 9** dargestellt. In 3 von 18 Betrieben wies keines der beprobten Tiere eine erhöhte

NEFA-Konzentration ($> 0,3$ mmol/L) auf. In 9 von 18 Betrieben lag der prozentuale Anteil der Vorbereiter mit erhöhten NEFA-Konzentrationen ($> 0,3$ mmol/L) unter 16,7 %. In 4 Betrieben wiesen ≥ 25 % der beprobten Tiere eine NEFA-Konzentration oberhalb des Grenzwertes auf. In Betrieb 1 wurden bei 36,4 % und in dem Betrieb 9 bei 66,7 % der beprobten Tiere eine erhöhte NEFA-Konzentration ermittelt.

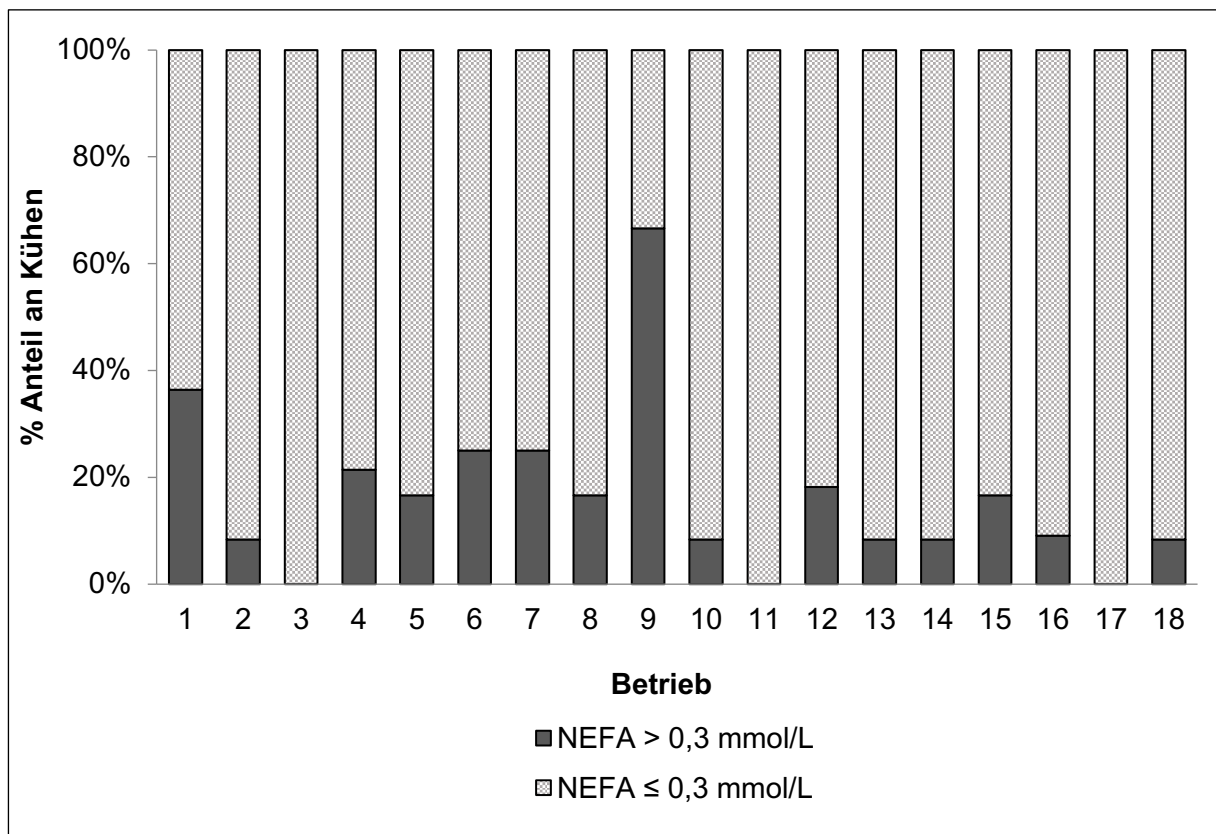


Abbildung 9. Der prozentuale Anteil erhöhter NEFA-Konzentration pro Betrieb (n = 18) in einer Stichprobe von mindestens ≥ 12 Vorbereitern.

4.3.2 Konzentration von Calcium

Die Ergebnisse der Bestimmung der Serumcalciumkonzentration sind in **Abbildung 10** dargestellt.

Zur Beurteilung der Calciumversorgung nach der Kalbung sollte eine Stichprobe von 12 Tieren im Zeitraum 0 – 48 Stunden nach der Kalbung beprobt werden. In 7 von 18 Herden konnte dieses Ziel während der beiden Betriebsbesuche nicht erreicht werden, da sich zu wenige Tiere in dem angestrebten Risikozeitraum befanden. In Betrieb 4 befanden sich an beiden Betriebsbesuchen insgesamt nur 5 Tiere in dem Zeitraum 0 bis 48 Stunden p. p., in Betrieb 13

7 Tiere, in Betrieb 3 und 16 8 Tiere. In Betrieb 5 konnten nur 9 Tiere, in Betrieb 11 und 14 konnten nur 10 Tiere bezüglich der Calciumkonzentration beprobt werden. In den restlichen 11 Betrieben konnte eine Stichprobengröße von mindestens 12 Tieren erzielt werden. Insgesamt wurden 192 Tiere in 18 unterschiedlichen Milchviehherden beprobt.

In 4 von 18 Betrieben lag der prozentuale Anteil der Tiere mit erniedrigten Calciumkonzentration ($< 2,0$ mmol/L) über 50 %. So zeigten in Betrieb 6) 54,5 %, in Betrieb 10) 81,8 % und in Betrieb 13) 57,1 % der beprobten Tiere eine hypocalcämische Stoffwechsellage ($< 2,0$ mmol/L). In 3 von 18 Betrieben wiesen $\leq 16,7$ % der beprobten Tiere eine erniedrigte Serumcalciumkonzentration ($< 2,0$ mmol/L) auf. In 6 von 18 Herden wiesen $\geq 40,0$ % der untersuchten Tiere eine Serumcalciumkonzentration von $2,0 - 2,2$ mmol/L auf. In 7 von 18 Betrieben lag der prozentuale Anteil der Tiere mit einer Serumcalciumkonzentration $> 2,2$ mmol/L bei ≥ 50 %.

In den untersuchten Milchviehbetrieben betrug die Prävalenz der Hypocalcämie ($< 2,0$ mmol/L) 32,8 % (63/192) und 29,7 % (57/192) der beprobten Tiere wiesen eine Konzentration von Calcium im Serum von $2,0$ bis $2,2$ mmol/L auf. Demnach zeigten 37,5 % (72/192) der untersuchten Tiere eine Serumcalciumkonzentration von $> 2,2$ mmol/L.

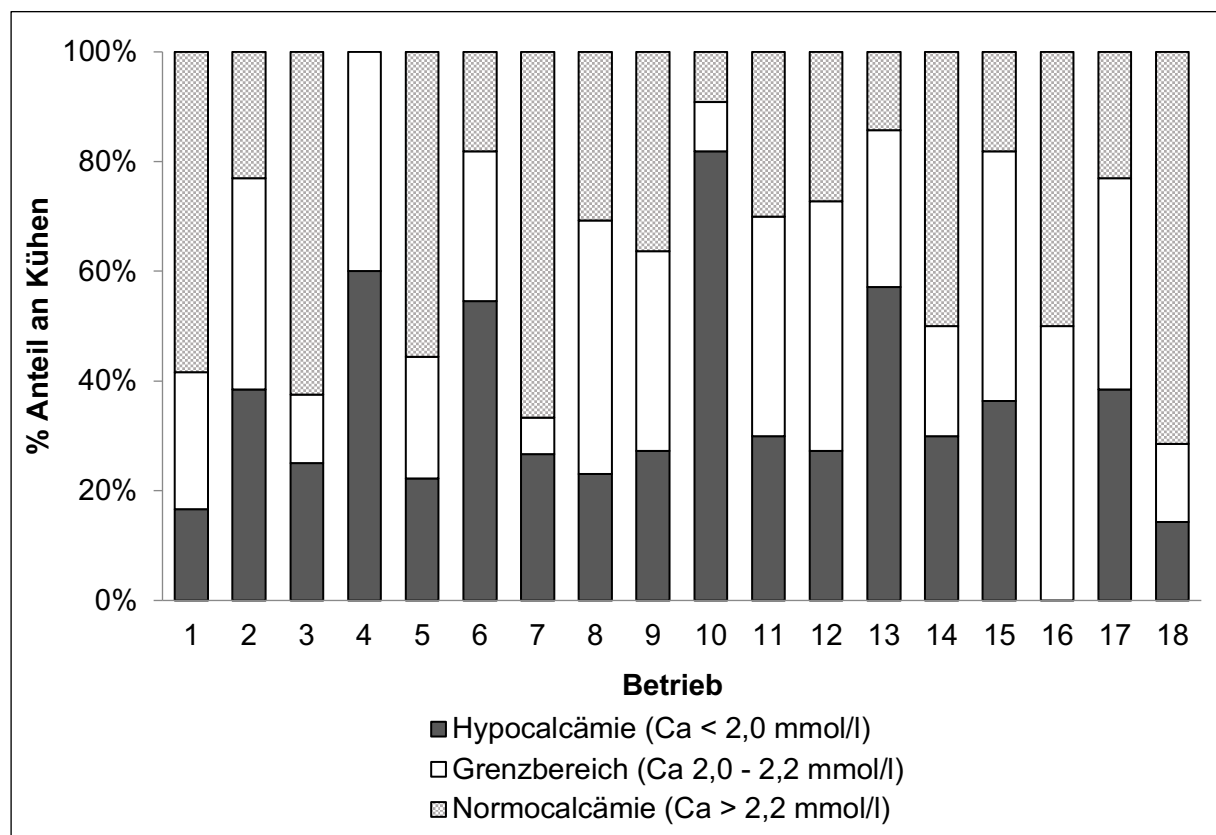


Abbildung 10. Prozentualer Anteil an Kühen mit einer Serumcalciumkonzentration $< 2,0$ mmol/L, von $2,0$ bis $2,2$ mmol/L und $> 2,2$ mmol/L in 18 Milchviehbetrieben.

4.3.3 Konzentration von BHB

Die Ergebnisse der Serumproben bezüglich der BHB-Konzentrationen sind in **Abbildung 11** dargestellt. Insgesamt wurden 232 Serumproben auf die BHB-Konzentration untersucht.

In 5 von 18 Betrieben lag der prozentuale Anteil der Kühe mit einer erhöhten BHB-Konzentration ($> 1,2$ mmol/L) unter 16,7 %. In 72,2 % (13/18) der Betriebe wiesen ≥ 25 % der beprobten Tiere eine erhöhte BHB-Konzentration auf. Zudem zeigten in 5 Betrieben über 50 % der Kühe erhöhte BHB-Konzentrationen.

Die Prävalenz erhöhter BHB-Konzentrationen im Blut ($> 1,2$ mmol/L) in der Gesamtheit der Betriebe betrug 38,4 % (89/232).

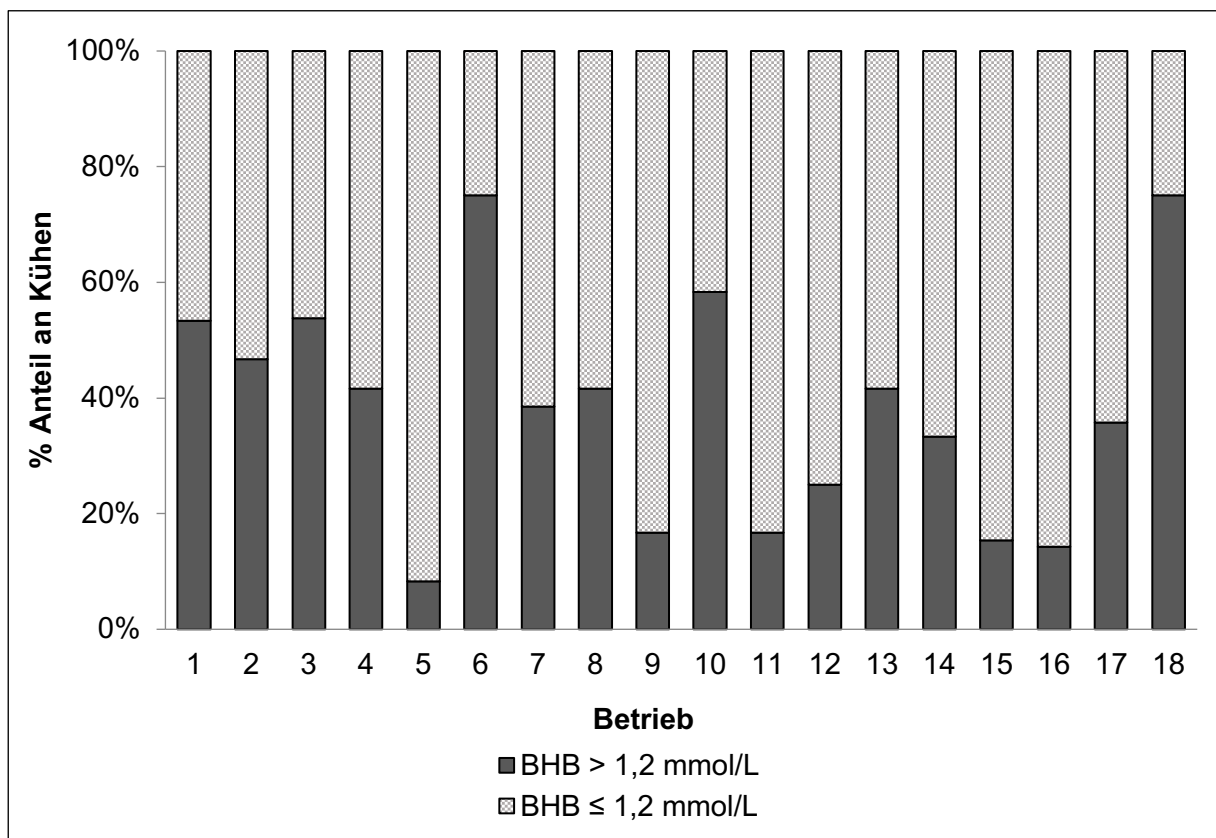


Abbildung 11. Der prozentuale Anteil erhöhter BHB-Konzentrationen pro Betrieb ($n = 18$) in einer Stichprobe von mindestens ≥ 12 Kühen in den Gruppen der Frischmelker.

4.4 Einfluss der Vorbereitungsdauer beim Einsatz saurer Salze

4.4.1 Vorbereitungsdauer

Insgesamt wurden 18 Milchviehbetriebe mit insgesamt 20.372 Tieren untersucht. Die Daten der Umstallung von der Gruppe der Fröhrtrockensteher in die Vorbereitergruppe lagen für 14.843 Tiere (4.474 Färsen und 10.369 Kühe) vor. In **Abbildung 12** ist die Verteilung der Vorbereitungsdauer von den Färsen und Kühen im jeweiligen Betrieb (n = 18) dargestellt.

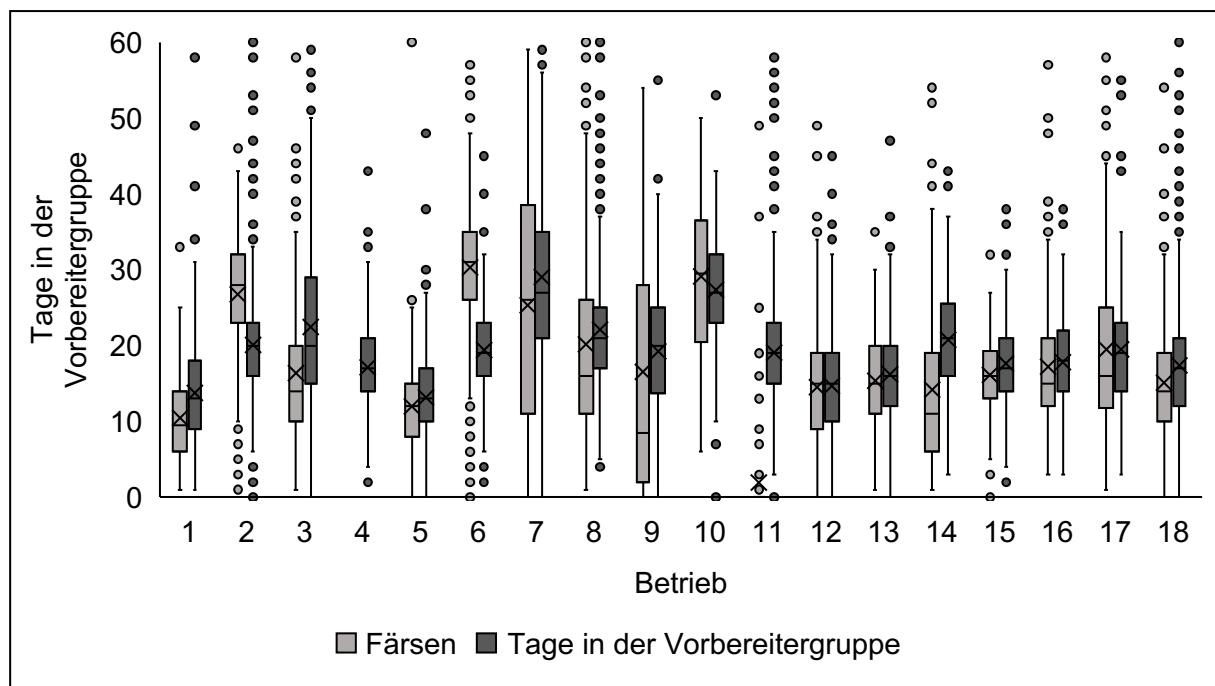


Abbildung 12. Verteilung der Tage in der Vorbereitergruppe von den Färsen (n = 4.474) und Kühen (n = 10.369) in den 18 untersuchten Milchviehbetrieben.

Die Verteilung der Vorbereitungsdauer von 4.474 Färsen ist in **Abbildung 13** dargestellt. Der Mittelwert der Verweildauer in der Vorbereitergruppe betrug bei den Färsen 19,8 Tage und der Median 17 Tage. 24,9 % der Färsen hatten eine Vorbereitungsdauer ≤ 10 Tage und 16,6 % der Färsen verblieben ≥ 31 Tage in der Vorbereitergruppe. Die hohe Anzahl von Färsen ohne Vorbereitungsdauer war zum größten Teil auf einen Betrieb zurückzuführen. Die Verteilung der Vorbereitungsdauer von 10.369 Mehrkalbskühen ist der **Abbildung 14** zu entnehmen. Bei den multiparen Kühen betrug die durchschnittliche Verweildauer in der Vorbereitergruppe 19 Tage und der Median lag bei 18 Tagen. Eine Vorbereitungsdauer von ≤ 10 Tage hatten 12,7 % der Kühe und 7,5 % der Kühe verblieben ≥ 31 Tage in der Vorbereitergruppe.

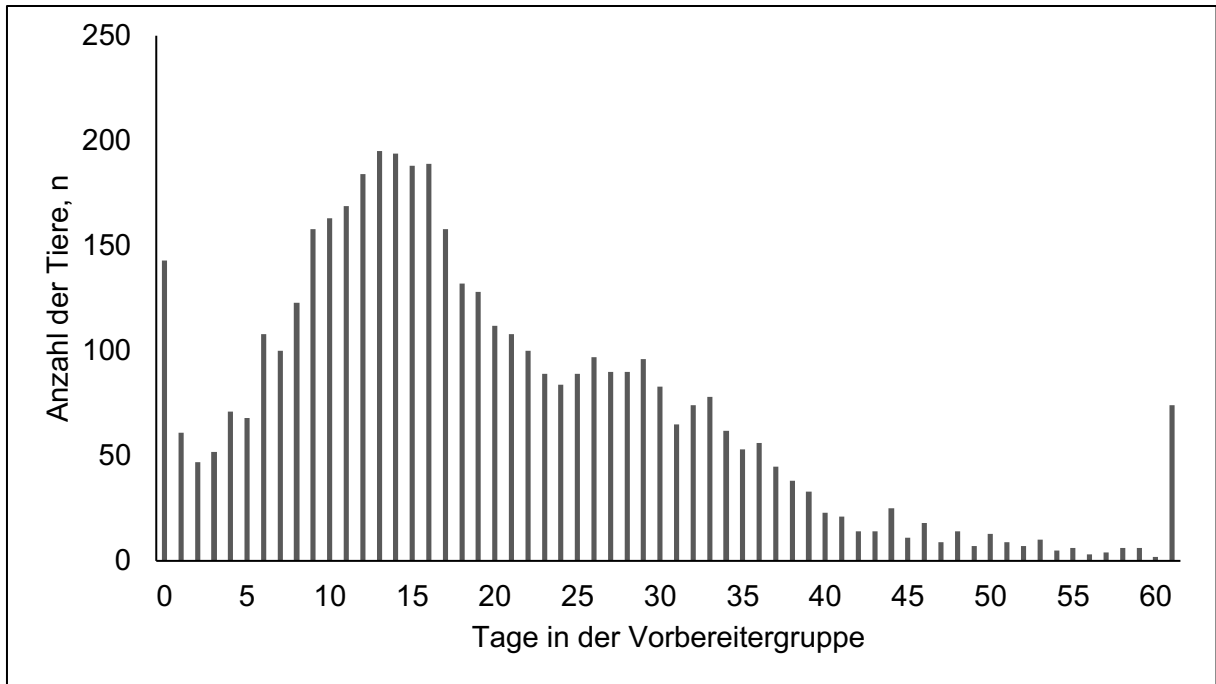


Abbildung 13. Verteilung der Tage in der Vorbereitergruppe von den Färsen (n = 4.474).

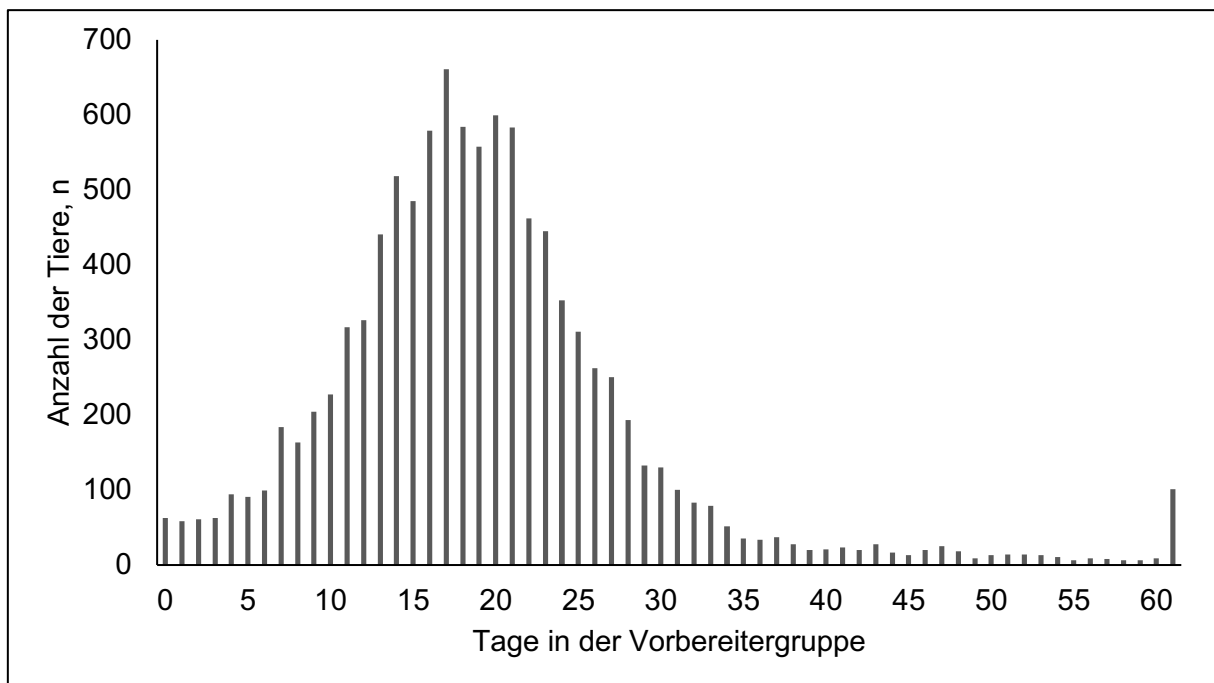


Abbildung 14. Verteilung der Tage in der Vorbereitergruppe von den Mehrkalbskühen (n = 10.369).

4.4.2 Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Einsatzleistung

Der Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Menge Energie-korrigierter Milch am Tag der ersten MLP ist in **Abbildung 15** für Erstlaktierende und in **Abbildung 16** für Mehrkalbskühe dargestellt.

Bei den Erstlaktierenden bestand ein linearer Zusammenhang zwischen der Verweildauer in der Vorbereitergruppe und der Einsatzleistung ($P < 0,001$; **Abbildung 15**). Eine zunehmende Verweildauer in der Vorbereitergruppe war mit einem Anstieg der Einsatzleistung der Jungkühe assoziiert. Erstlaktierende mit einer Verweildauer von 35 (35,45 kg/Tag) und 36 Tagen (35,43 kg/Tag) hatten die höchste Einsatzleistung. Jungkühe mit einer Vorbereitungsdauer von 35 Tagen hatten eine um 3,47 kg höhere Einsatzleistung im Vergleich zu Jungkühen mit einer Vorbereitungsdauer von 7 Tagen. Zudem hatte der Abkalbemonat einen signifikanten Einfluss auf die Einsatzleistung ($P < 0,001$). Die geringsten Einsatzleistungen wiesen die Erstlaktierenden im Sommer (Juni, Juli, August) mit 1,38 kg ($P < 0,001$) weniger Milch auf. Des Weiteren waren eine Schweregeburt ($P = 0,077$), eine Totgeburt ($P = 0,003$), das Erstkalbealter ($P < 0,001$) und der somatische Zellgehalt ($P < 0,001$) mit der Menge Energie-korrigierter Milch am Tag der ersten MLP assoziiert. Der Gehalt an somatischen Zellen in der Milch hatte einen schwach negativen Effekt (0,51 kg weniger Milch)

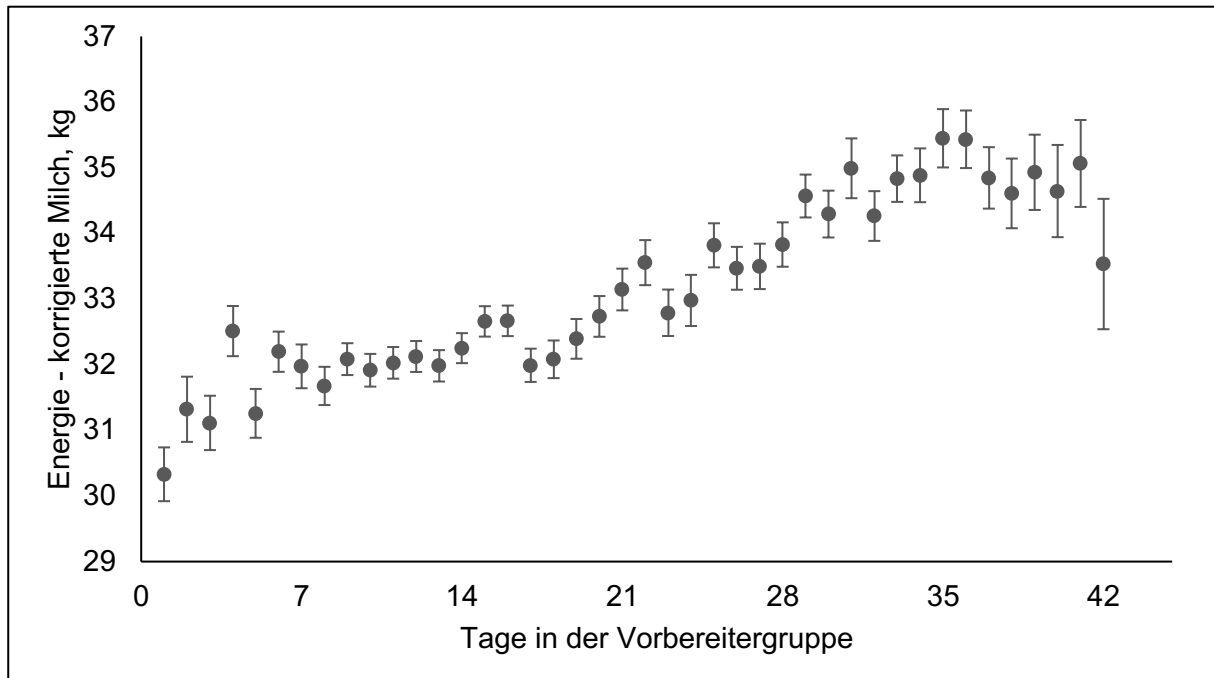


Abbildung 15. Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Einsatzleistung (Mittelwert \pm einfachen Standardfehler) bei Erstlaktierenden ($n = 3.081$).

auf die Einsatzleistung ($P < 0,001$). Die Trächtigkeitsdauer wurde in dem Modell als möglicher Confounder berücksichtigt ($P = 0,330$; **Tabelle 21**).

Die Vorbereitungsdauer hatte einen quadratischen Effekt auf die Einsatzleistung der Mehrkalbskühe. Die Einsatzleistung stieg bis zu einer Verweildauer in der Vorbereitergruppe von 22 Tagen kontinuierlich an und fiel oberhalb von 29 Tagen wieder ab. Kühe mit einer Vorbereitungsdauer von 26 Tagen hatten die höchste Einsatzleistung ($41,64 \text{ kg} \pm 0,33 \text{ SEM}$; **Abbildung 16**). Kühe mit einer Vorbereitungsdauer von 26 Tagen hatten eine $2,90 \text{ kg}$ höhere Einsatzleistung im Vergleich zu Tieren mit einer Verweildauer von < 7 Tagen. Zudem wurde die Einsatzleistung durch weitere Faktoren signifikant beeinflusst. So hatte die Laktationszahl ($P < 0,001$), die 305-Tage-Milchleistung in der Vorlaktation ($P < 0,001$), der Abkalbemonat ($P < 0,001$) und die TD ($P < 0,001$) einen signifikanten Einfluss auf die Einsatzleistung. Kühe, welche im Sommer kalbten, produzieren durchschnittlich $2,22 \text{ kg}$ weniger Milch ($P < 0,001$). Eine kurze TD (262 bis 271 Tage) ist mit einer $1,53 \text{ kg}$ niedrigeren Einsatzleistung assoziiert ($P < 0,001$). Mehrkalbskühe, welche eine Schweregeburts mit einem Score von 3 (= Kalbung mit einer Geburtshilfe von mehr als 1 Person) verzeichneten, produzierten durchschnittlich $3,03 \text{ kg}$ weniger Milch ($P < 0,001$). Außerdem gaben Kühe mit einer Zwillinggeburt $2,74 \text{ kg}$ ($P < 0,001$) und Kühe mit einer Totgeburt $1,95 \text{ kg}$ weniger Milch ($P < 0,001$). Des Weiteren hatte der Gehalt an somatischen Zellen zur ersten MLP einen schwach negativen Effekt ($0,65 \text{ kg}$ weniger Milch) auf die Einsatzleistung ($P < 0,001$; **Tabelle 22**).

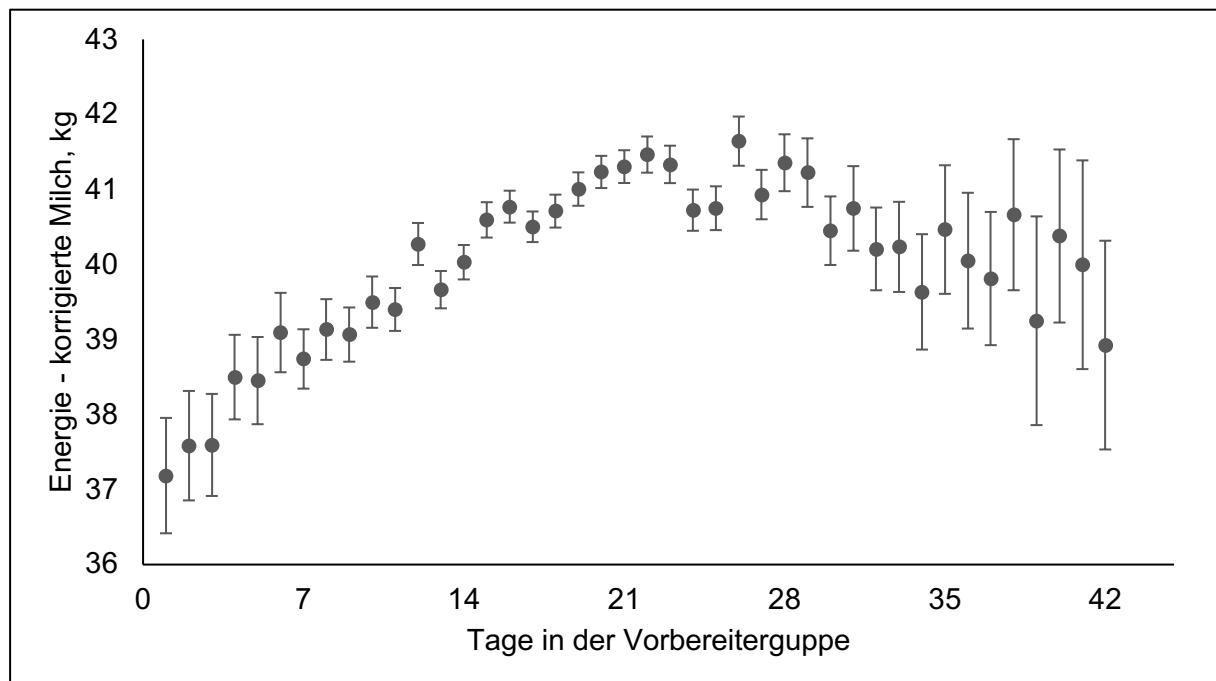


Abbildung 16. Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Einsatzleistung (Mittelwert \pm 1 SEM) bei Mehrkalbskühen ($n = 7.731$).

4.4.3 Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den Fett-Eiweiß-Quotienten

Ein konnte kein signifikanter Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den Fett-Eiweiß-Quotienten der Erstlaktierenden festgestellt werden ($P = 0,058$). Der FEQ wurde signifikant durch den Abkalbemonat ($P = 0,001$) und den somatischen Zellgehalt ($P < 0,001$) beeinflusst. Die TD wurde in dem Modell als möglicher Confounder berücksichtigt ($P = 0,659$; **Tabelle 23**).

Es bestand ein linearer Zusammenhang zwischen der Vorbereitungsdauer und dem Fett-Eiweiß-Quotienten der Mehrkalbskühe ($P < 0,001$; **Abbildung 17**). Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer von 7, 21 und 35 Tagen hatten einen Fett-Eiweiß-Quotienten von 1,31, 1,35 und 1,37. Die Laktationszahl ($P < 0,001$), der Abkalbemonat ($P < 0,001$), der somatische Zellgehalt ($P < 0,001$) und die 305-Tage-Milchleistung ($P < 0,001$) in der Vorlaktation hatten einen signifikanten Einfluss auf den FEQ. Die TD wurde in dem Modell als möglicher Confounder berücksichtigt ($P = 0,293$; **Tabelle 24**).

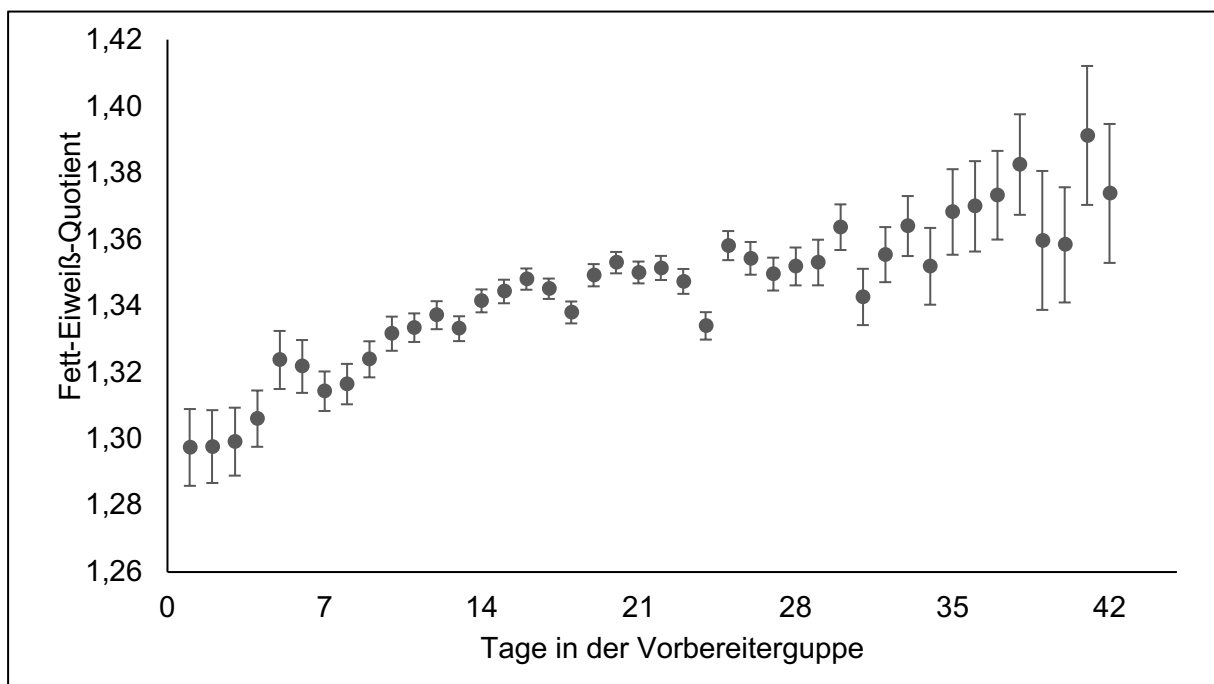


Abbildung 17. Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den Fett-Eiweiß-Quotienten (Mittelwert \pm 1 SEM) am Tag der ersten MLP bei den Mehrkalbskühen ($n = 7.731$).

4.4.4 Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den somatischen Zellgehalt

Die Vorbereitungsdauer hatte bei den Erstlaktierenden einen signifikanten Einfluss auf den Gehalt an somatischen Zellen in der Milch ($P = 0,005$; **Abbildung 18**). Eine

Vorbereitungsdauer ≥ 22 Tagen war mit einem Anstieg des somatischen Zellgehaltes assoziiert. Ein linearer Score von 2 steht für einen somatischen Zellgehalt von 50.000 Zellen/ml und der Score 3 für 100.000 Zellen/ml. Erstlaktierende mit einer Vorbereitungsdauer von 35 Tagen wiesen im Vergleich zu Erstlaktierenden mit einer Vorbereitungsdauer von 7 Tagen zur ersten MLP einen um 25.000 Zellen/ml erhöhten somatischen Zellgehalt in der Milch auf. Zudem hatte die Einsatzleistung einen signifikanten Einfluss auf den somatischen Zellgehalt ($P < 0,001$). Die TD wurde in dem Modell als möglicher Confounder berücksichtigt ($P = 0,450$; **Tabelle 25**).

Mehrkalbskühe, welche eine längere Verweildauer in der Vorbereitergruppe verzeichneten, wiesen am Tag der ersten MLP einen höheren Gehalt an somatischen Zellen in der Milch auf ($P = 0,011$; **Abbildung 19**). Zudem hatten der Abkalbemonat ($P = 0,001$), eine Schweregeburt ($P = 0,037$), die 305-Tage-Milchleistung in der Vorlaktation ($P < 0,001$) sowie die Einsatzleistung ($P < 0,001$) einen signifikanten Einfluss auf den somatischen Zellgehalt in der Milch. Die steigende Laktationszahl war negativ assoziiert mit dem somatischen Zellgehalt ($P < 0,001$). Die TD wurde in dem Modell als möglicher Confounder berücksichtigt ($P = 0,536$; **Tabelle 26**).

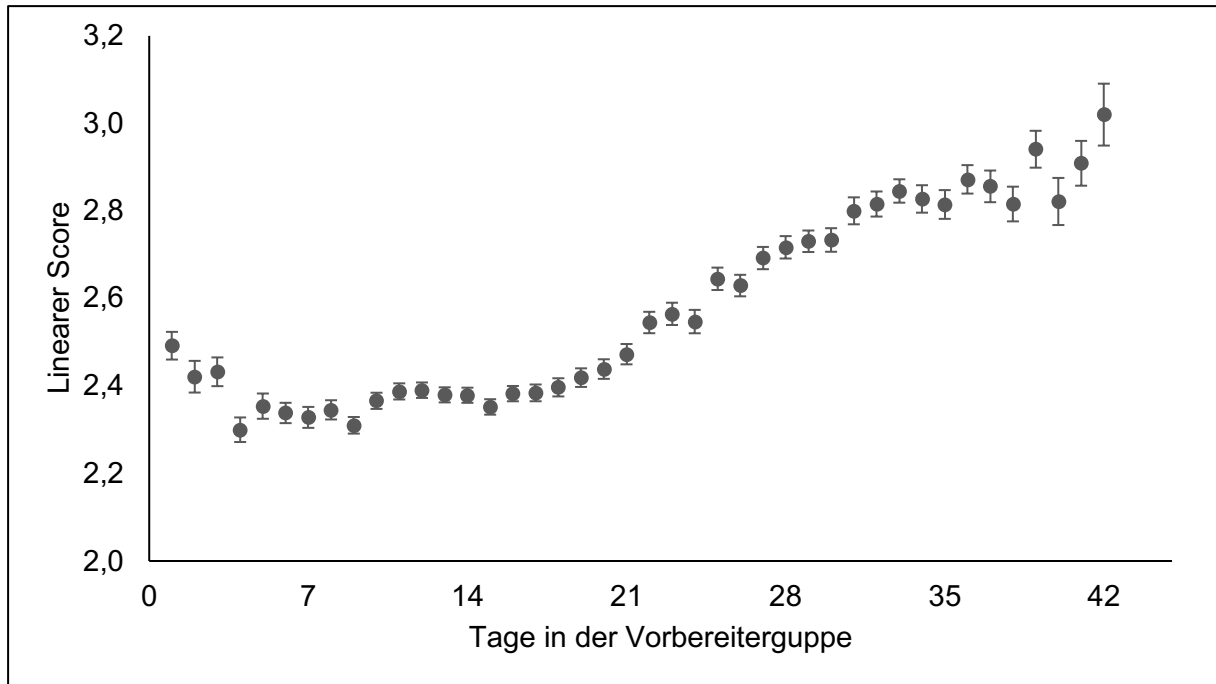


Abbildung 18. Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den somatischen Zellgehalt (Mittelwert \pm 1 SEM) in der Milch am Tag der ersten MLP bei Erstlaktierenden (n = 3.082).

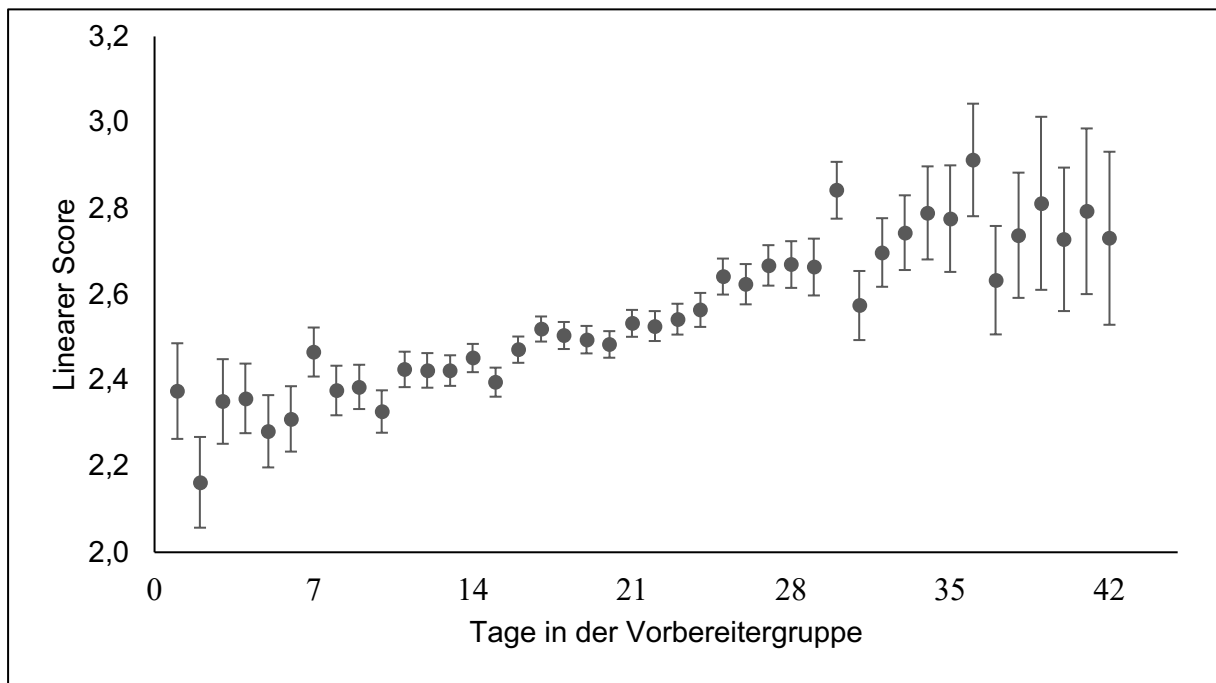


Abbildung 19. Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den somatischen Zellgehalt (Mittelwert \pm 1 SEM) in der Milch am Tag der ersten MLP bei Mehrkalbskühen (n = 7.733).

4.4.5 Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Totgeburtenrate

Es bestand weder bei den Erstlaktierenden noch bei den Mehrkalbskühen ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Vorbereitungsdauer und dem Risiko für eine Totgeburt.

Die Totgeburtenrate wurde bei den Erstlaktierenden durch das Geschlecht des Kalbes ($P = 0,016$) und eine Schweregeburt ($P < 0,001$) signifikant beeinflusst. Das Risiko für eine Totgeburt bei Erstlaktierenden war bei einer Schweregeburt (Score 3) um das 7,5-fache ($P < 0,001$) und bei der Geburt eines männlichen Kalbes um das 1,4-fache erhöht ($P = 0,008$; **Tabelle 27**).

Bei den Mehrkalbskühen hatten die TD ($P < 0,001$), das Geschlecht des Kalbes ($P < 0,001$) und eine Schweregeburt ($P < 0,001$) einen signifikanten Einfluss auf die Totgeburtenrate. Das Risiko für eine Totgeburt bei Mehrkalbskühen war bei einer Schweregeburt (Score 3) um das 4,9-fache ($P < 0,001$) und bei der Geburt eines männlichen Kalbes um das 1,7-fache erhöht ($P = 0,008$). Eine kurze TD war mit einem 3-fach erhöhten Risiko für eine Totgeburt assoziiert ($P < 0,001$; **Tabelle 28**).

4.4.6 Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Merzungsrate in der Frühlaktation

Die Vorbereitungsdauer hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Merzungsrate innerhalb der ersten 60 Laktationstagen für Erstlaktierende ($P = 0,876$; **Tabelle 29**). Jungkühe mit einer kurzen TD hatten ein erhöhtes Risiko gemerzt zu werden ($P = 0,004$; **Tabelle 29**). Insgesamt wurden 146 von 3192 Erstlaktierenden (4,57 %) innerhalb der ersten 60 Tage in Milch gemerzt.

Die Vorbereitungsdauer war mit dem Merzungsrisiko der Mehrkalbskühe assoziiert ($P = 0,025$; **Tabelle 30**). Das höchste Risiko innerhalb 60 Tage in Milch gemerzt zu werden, verzeichneten Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer von 1 bis 6 Tagen, vor allem mit einer Vorbereitungsdauer von nur 3 Tagen (**Abbildung 20**). Die Merzungsrate wurde unter anderem durch die Laktationszahl ($P < 0,001$), den Abkalbemonat ($P < 0,001$), die TD ($P = 0,008$), die 305-Tage-Milchleistung der Vorlaktation ($P < 0,001$), eine Totgeburt ($P < 0,001$) und durch eine Schweregeburt ($P < 0,001$) signifikant beeinflusst. Mehrkalbskühe mit einer Totgeburt hatten ein doppelt so hohes Risiko ($P < 0,001$) und solche mit einer Schweregeburt (Score 3) ein 3,7-fach erhöhtes Risiko ($P < 0,001$) in den ersten 60 Tagen p.p. gemerzt zu werden. Eine kurze TD ist mit einem 1,4-fach erhöhtem Merzungsrisiko assoziiert ($P = 0,002$; **Tabelle 30**). Insgesamt lag die Merzungsrate der Mehrkalbskühe bei 7,78 % (727/9338).

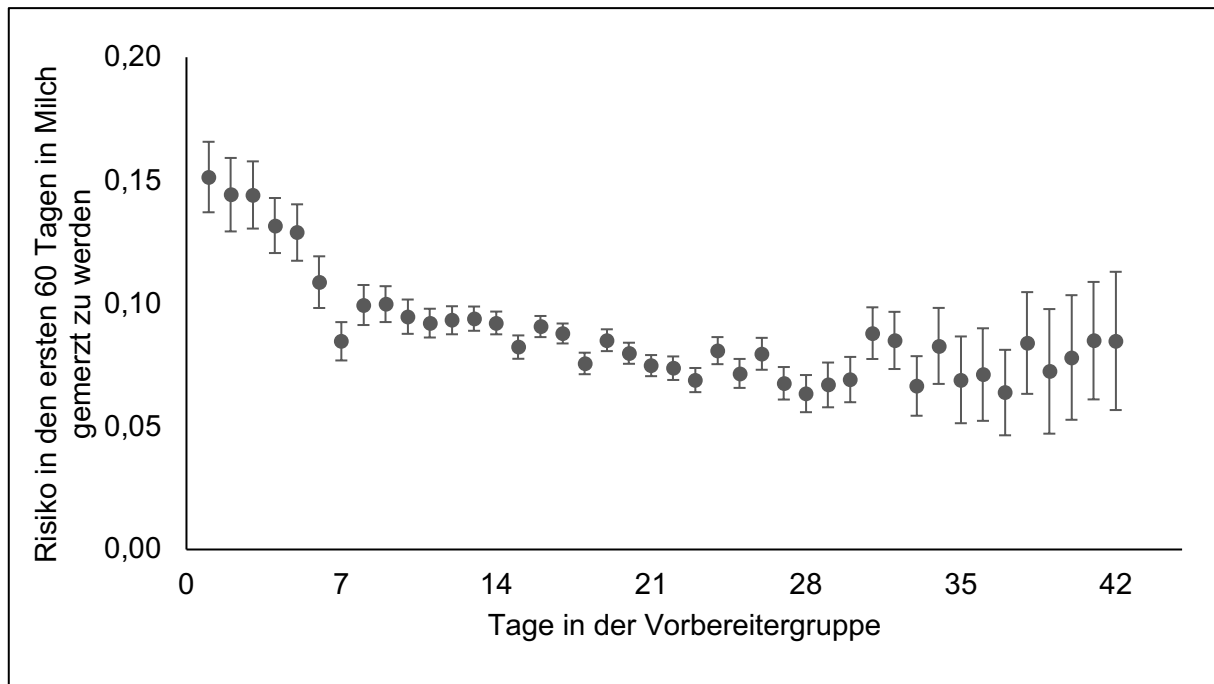


Abbildung 20. Einfluss der Vorbereitungsdauer auf das Risiko für Mehrkalbskühe ($n = 9.338$) in den ersten 60 Tagen in Milch gemerzt zu werden.

4.4.7 Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Länge der Gützeit

Zwischen der Vorbereitungsdauer und der Länge der Gützeit innerhalb 150 Laktationstagen bestand weder bei den Jungkühen ($n = 2.038$; $P = 0,429$) noch bei den Mehrkalbskühen ($n = 4.699$; $P = 0,486$) ein signifikanter Zusammenhang. Des Weiteren hatte auch die TD keinen signifikanten Einfluss auf die Länge der Gützeit (**Tabelle 31**; **Tabelle 32**).

Bei den Jungkühen wurde die Länge der Gützeit durch die Jahreszeit ($P < 0,001$) und durch eine Totgeburt ($P < 0,001$) signifikant beeinflusst (**Tabelle 31**).

Einen signifikanten Einfluss auf die Länge der Gützeit der Mehrkalbskühe hatten die Jahreszeit ($P < 0,001$), die Laktationszahl ($P < 0,001$), eine Schweregeburt ($P = 0,009$), eine Zwillingengeburt ($P = 0,007$) sowie die 305-Tage-Milchleistung in der Vorlaktation ($P < 0,001$; **Tabelle 32**).

5. Diskussion

5.1 Transitkuhmanagement

5.1.1 Stall und Haltung

In die Studie wurden nur Betriebe aufgenommen, die eine zweiphasige Trockensteherfütterung bestehend aus Frühtrockenstehern und Vorbereitern, aufwiesen. Eine weitere Voraussetzung für den Einschluss in die Untersuchung war die Fütterung einer Anionenration in der Vorbereitergruppe. Mithilfe dieser Gruppeneinteilung kann in Verbindung mit einer geeigneten Rationsberechnung der jeweilig entsprechende Nährstoffbedarf der Kuh gedeckt werden (Dann, 2017). Zusätzlich bietet die zweiphasige Trockensteherfütterung die Möglichkeit, gezielt Prophylaxekonzepte (z.B. Anionenration) einzusetzen. Diese Gruppeneinteilung erwies sich als angemessen, da sie eine erfolgreiche Anpassung der Fütterung während der Transitphase ermöglicht. In der Folge kann das Risiko für Erkrankungen minimiert werden (Stone, 2000, Kammel and Graves, 2007, Smith Thomas, 2012). In allen untersuchten Betrieben war eine separate Frischmelkergruppe vorhanden. Durch die Verwendung einer Frischmelkergruppe wird die Überwachung der Gesundheit und die Behandlung von Erkrankungen erleichtert (Dann, 2017).

In 5 von 18 Betrieben wurden die Färsen während der Vorbereitungsdauer getrennt von den Mehrkalbskühen gehalten. In 2 von 18 Betrieben waren separate Frischmelkergruppen für Erstlaktierende vorhanden (**Tabelle 7**). Diese Separierung kann den sozialen Stress, welcher bei der Umstallung von jungen oder rangniedrigen Tieren in neue Gruppen entsteht, minimieren (Grant and Albright, 2001, Van Saun and Sniffen, 2014, Dann, 2017, Jones and Kammel, 2017). Zudem wird für eine adäquate Nährstoffversorgung hinsichtlich ihres eigenen Wachstums und das des Fetus die separate Haltung von Jungkühen sowohl während der Vorbereitungsdauer als auch während der gesamten Laktation empfohlen (Grant and Albright, 2001, Dann, 2017, Jones and Kammel, 2017).

In 3 von 18 Betrieben fand während der Kalbung keine Separierung statt (siehe 4.1.1.2 Vorbereiter). Trotz des Wissens, dass eine Isolierung von der Herde für eine Kuh Stress bedeutet (Rushen et al., 1999), ist die Separierung zur Kalbung eine weitverbreitete Strategie und so kann der Kuh ein ruhiger und abgelegener Bereich ohne sozialen Stress geboten werden (Nordlund, 2017, Proudfoot, 2019). Mit den Arbeiten von Creutzinger et al. (2021) und Proudfoot et al. (2014) konnte gezeigt werden, dass sich viele Kühe von Natur aus während der Kalbung von der Herde isolieren und für diese Separierung den Tieren in der heutigen Milchviehhaltung ein zusätzlicher Platz geboten werden sollte.

In 16 Betrieben stellten die Abkalbeställe Gruppenhaltung von 2 bis 15 Tieren dar. Zudem war in 6 Betrieben, abgesehen von der Umstallung zur Kalbung in einen dafür vorgesehenen

Abkalbestall, eine Umstallung der Tiere während der Vorbereitungsdauer (\approx 1 bis 10 Tage) fest in das Transitkuhmanagement etabliert (siehe 4.1.1.2 Vorbereiter). Eine Umstallung in eine neue Gruppe bedeutet für die Kühe sozialen Stress, denn die Rangordnung muss erneut hergestellt werden. Gruppenbewegungen, welche zeitnah zur Kalbung stattfinden, können aufgrund des damit verbundenen Stressniveaus zu einer verringerten Trockenmasseaufnahme, Liegezeit sowie Milchproduktion führen (Grant and Albright, 1995, Bøe and Færevik, 2003, Schirmann et al., 2011, Jones and Kammel, 2017). Zur Optimierung der Trockenmasseaufnahme sollte eine Umstallung 2 bis 7 Tage vor der Kalbung vermieden werden (Cook and Nordlund, 2004b, Nordlund, 2006, Schirmann et al., 2011, Cook, 2019a). Des Weiteren haben Kühe, welche eine Verweildauer von 3 bis 10 Tagen im Abkalbestall aufweisen, ein doppelt so hohes Risiko für das Ausscheiden aus der Herde bis zum 60 Tag p.p. sowie für das Auftreten von Ketose und Labmagenverlagerungen. Deshalb sollten die Tiere nach einer Umstallung in eine neue Gruppe innerhalb weniger als 2 Tagen abkalben oder bereits mehr als 10 Tage oder besser sogar bis zu 20 Tage vor ihrer Kalbung umgestallt werden (Cook and Nordlund, 2004b, Nordlund, 2006).

In 16 Milchviehbetrieben wurde die Gruppe der Frischmelker in einem Liegeboxenlaufstall gehalten. Davon verzeichnete dieser Stall in 7 Betrieben 3 Liegeboxreihen (siehe 4.1.1.3 Frischmelker). Bei einem 3-reihigen Liegeboxenlaufstall geht die Anordnung der Liegeboxen zu Lasten der Fressplätze. Ein Liegeboxenlaufstall mit 2 Reihen von Liegeboxen stellt die effizienteste Gestaltung des Stalls dar und sollte vor allem für die Gruppen der Frischmelker verwendet werden (DeVries, 2017, Jones and Kammel, 2017). Ein noch besseres Verhältnis von Fress- und Liegeplätzen weist ein Stall mit nur einer Reihe von Liegeboxen auf. In 6 von 16 Betrieben wurden die Frischmelker in einem einreihigen Liegeboxenlaufstall gehalten.

5.1.2 Belegungsdichte

5.1.2.1 Stallfläche und Liegeplatzangebot

Um einer Milchviehherde ihre allelomimetische Verhaltensweise zu ermöglichen, sollte bei einer Haltung in Liegeboxenlaufställen das Tier-Liegeplatz-Verhältnis mindestens 1:1,0 betragen (Cook, 2019a, Cook, 2019b, Krawczel and Lee, 2019, Tucker et al., 2020). Diese Anforderung wurde in 7 von 10 der untersuchten Früh trockenstehergruppen eingehalten. In den 8 untersuchten Vorbereitergruppen, welche in Liegeboxenlaufställen gehalten wurden, lag ein Tier-Liegeplatz-Verhältnis von mehr als 1:1,0 vor. Ein adäquates Liegeplatzangebot wurde auch in 12 von 16 untersuchten Frischmelkergruppen ermittelt (**Tabelle 9**). Bei der Haltung in Tiefstreuställen sollte die mit Stroh eingestreute Fläche (Liegefläche) für Kühe, welche sich in der Transitperiode befinden, mindestens 10 m² pro Kuh betragen (Jones and Kammel, 2017). In den 3 Betrieben, welche die Früh trockensteher in Tiefstreuställen hielten, betrug die

Stallfläche pro Tier weniger als 10 m². Als optimal wird jedoch eine Stallfläche von 12 bis 14 m² angesehen (Graves, 2006, Smith et al., 2006, Bewley et al., 2013, Jones and Kammel, 2017). In 12 von 14 untersuchten Vorbereitergruppen lag die Stallfläche pro Tier jedoch unter 12 m² (**Tabelle 10**). Für laktierende Kühe gilt ein Minimum von 9,3 m² pro Kuh und sollte bei einer Milchproduktion über 23 kg pro Tag für jede 11 kg Milch/ Tag/ Kuh um 1m² erhöht werden (Bewley et al., 2013, Tyson, 2017). In beiden Betrieben, welche die Frischmelker in Tiefstreuställen hielten, lag die Stallfläche pro Tier deutlich unter 10 m² (**Tabelle 9**). Abgesehen von dem Ermöglichen des synchronen Gruppenverhaltens wird bei einem nicht adäquaten Liegeplatzangebot auch das Liegeverhalten negativ beeinflusst (Fregonesi et al., 2007). Eine Verringerung der Liegezeiten (min/Tag) und folglich eine Verlängerung der Stehzeiten stellt für die Milchkuh einen bedeutenden Risikofaktor für das Auftreten von Lahmheiten dar (Greenough and Vermunt, 1991). Die Vermeidung übermäßiger Stehzeiten ist vor allem während der Laktation von großer Bedeutung, jedoch scheint auch die Phase vor der Kalbung eine entscheidende Rolle bezüglich des Auftretens von Lahmheiten zu spielen (Proudfoot et al., 2009). Proudfoot et al. (2010) konnten zeigen, dass Kühe, mit einer diagnostizierten Klauenerkrankung während der Laktation 2 Wochen vor der Kalbung verlängerte Stehzeiten aufwiesen.

5.1.2.2 Fressplatzangebot

Um einer Milchviehherde ihr synchrones Gruppenverhalten zu ermöglichen, sollte für jedes Tier ein Fressplatz vorhanden sein. Für Gruppenhaltungen mit Einzelplatzbegrenzung (Fressfanggitter) gilt als Mindestanforderung ein Tier-Fressplatz-Verhältnis von 1:1,0. Jedoch ist dabei die Fressgitterbreite zu beachten, so kann bei zu schmalen Fressfanggittern häufig beobachtet werden, dass mindestens 2 von 10 Fressfanggittern frei sind, da nicht alle Kühe bei der geringen Breite Platz haben. Deshalb wird sowohl in Transitgruppen mit Fressgittern als auch in solchen ohne Fressgitter für unsere heutigen „modernen“ Milchkühe (Holstein Friesian) ein Fressplatzangebot von 76 cm pro Tier als optimal angesehen (Oetzel, 2014, DeVries, 2017, Nordlund, 2017, Overton et al., 2018, Cook, 2019a). In nur 2 von 10 untersuchten Gruppen betrug die Breite der Fressfanggitter ≥ 76 cm. Zum größten Teil (57,9 %, 11/19) verzeichneten die Fressfanggitter eine Breite von 64 bis 71 cm, wobei das Minimum bei 42,5 cm lag.

Ein adäquates Tier-Fressplatz-Verhältnis ($\geq 1:1,0$) wurde in nur 2 von 4, 4 von 9 und 4 von 7 untersuchten Frühtrockensteher-, Vorbereiter- und Frischmelkergruppen eingehalten. In den Gruppen ohne Fressgitter wurde das Fressplatzangebot in nur 3 von 12, 5 von 15 und 6 von 11 untersuchten Frühtrockensteher-, Vorbereiter und Frischmelkergruppen als ausreichend (≥ 76 cm) beurteilt.

Zusammenfassend wiesen nur 24 von 58 untersuchten Transitgruppen (41,4 %) ein adäquates Fressplatzangebot auf (**Tabelle 10; Tabelle 11**).

Durch ein angemessenes Fressplatzangebot wird nicht nur das synchrone Gruppenverhalten der Kühe gewährleistet, sondern vielmehr ein permanent freier Zugang zu Futter für alle Kühe, auch für rangniedere oder jüngere Tiere, ermöglicht. Dadurch kann der Kuhkomfort optimiert und der Rückgang der Trockenmasseaufnahme im Zeitraum um die Kalbung und folglich das Risiko für metabolische Stoffwechselstörungen minimiert werden (Jones and Kammel, 2017, DeVries, 2019). Kaufman et al. (2016) zeigten, dass durch eine Erhöhung der Belegungsdichte um 5 % während der Woche vor der Kalbung, das Ketoserisiko um 10% anstieg. Des Weiteren kann eine Erhöhung der Belegungsdichte um 10 % in der Vorbereitergruppe bei Erstlaktierenden zu einem Rückgang der Milchleistung um 0,7 kg/Tag führen (Oetzel et al., 2007). Mithilfe einer Reduzierung von Konkurrenzverhalten am Futtertisch durch ein ausreichendes Fressplatzangebot pro Kuh kann ein gesundes Fressverhalten gefördert werden, welches in einer hohen Trockenmasseaufnahme, Futtereffizienz sowie Produktivität der Milchkuh resultiert und entscheidend für die Tiergesundheit ist (DeVries, 2017, Oelberg and Stone, 2017, Grant et al., 2019).

In Bezug auf die Konkurrenz am Futtertisch ist die Gestaltung der Futtertischabtrennung ein weiterer Faktor, welcher Einfluss auf das Fressplatzangebot nimmt (Cook, 2019a). In den 16 untersuchten Früh trockenstehergruppen bestand in 4 Gruppen die Futtertischabtrennung aus Fressfanggittern. In 9 von 24 Vorbereitergruppen (37,5 %) waren Fressfanggitter vorhanden und bei den 18 untersuchten Frischmelkergruppen waren in 7 Gruppen Fressfanggitter vorhanden (**Tabelle 10; Tabelle 11**). Durch das Verwenden von Fressfanggittern als Futtertischabtrennung können Aggressionen am Futtertisch minimiert werden und vor allem für rangniedere Tiere der Zugang zu Futter zu Zeiten großer Aktivität am Futtertisch sichergestellt werden (Endres et al., 2005, Huzzey et al., 2006).

5.1.2.3 Tränkeplatzangebot

Jeder Kuh sollte eine Wassertroglänge von mindestens 10 cm zur Verfügung stehen (Smith et al., 2006, Hayton et al., 2012, de Kruif et al., 2014, Oetzel, 2014). Insgesamt konnte in nur 14 von 57 Transitgruppen (24,5 %) eine ausreichende Wasserversorgung der Kühe dokumentiert werden. In den 43 Transitgruppen mit einer nicht angemessenen Wasserversorgung lag in 26 von 43 Gruppen (60%) das Tränkeplatzangebot pro Tier ≤ 5 cm. Weiterhin ist zu erwähnen, dass in 55 Gruppen Trögtränken Anwendung fanden. In einer Früh trockenstehergruppe wurden die Tiere über Schalenränken mit Wasser versorgt. In dieser Gruppe waren für 106 Tiere nur 4 Schalenränken vorhanden (**Tabelle 12**). Bei der Verwendung von Schalenränken ist eine ausreichende Wasserversorgung gewährleistet, wenn sieben Tiere eine

Schalentränke zur Verfügung haben (Winckler and Knierim, 2002, Döhler and Döhler, 2009). Entsprechend war die Wasserversorgung der Tiere in dieser Frühlaktiergruppe absolut unzureichend. Des Weiteren standen in einer Frischmelkergruppe 65 Tieren 3 Ventiltrogtränken zur Verfügung (**Tabelle 12**). Über eine Ventiltrogtränke können 15 Tiere adäquat versorgt werden (Winckler and Knierim, 2002, Döhler and Döhler, 2009). Folglich war auch in dieser Frischmelkergruppe die Wasserversorgung der Tiere nicht ausreichend.

Eine eingeschränkte Wasseraufnahme kann negative Effekte auf die Futteraufnahme, Leistung und Gesundheit haben (Burgos et al., 2001, Hayton et al., 2012, McFarland et al., 2014). Eine Kuh muss 80 bis 90 % ihres Wasserbedarfs durch die reine Aufnahme von Wasser decken (Tyson, 2017).

5.1.3 Überwachung des Fütterungsmanagement

5.1.3.1 TMR-Analyse

Eine Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie, war die Fütterung einer negativen DCAD in der Vorbereiterration. Dieses Ziel wurde in 16 von 18 Betrieben (88,9 %) erreicht (**Tabelle 16**). Es besteht trotz vieler Studien weiterhin Klärungsbedarf über den optimalen DCAD-Wert zur Verbesserung der Tiergesundheit und Leistung in der nachfolgenden Laktation (Lopera et al., 2018, Santos et al., 2019). Staufenbiel (2010) empfiehlt einen DCAD-Bereich von -50 bis +50 meq/kg TS. Gelfert et al. (2007) ist der Meinung, dass eine ausreichende Wirkung der sauren Salze schon bei einer DCAD von unter +100 meq/kg TS eintritt. Aufgrund dessen wurden die beiden Betriebe mit einer DCAD von + 26 und +15 meq/kg TS in der Vorbereiterration in der vorliegenden Arbeit nicht ausgeschlossen. In 4 von 18 Betrieben (22,2 %) wurde eine vollständige Anionenration (-100 bis -150 meq/kg TS) gefüttert, wobei in dem Betrieb 18) die DCAD sogar -199 meq/kg TS betrug (**Tabelle 16**). DeGaris and Lean (2008) konnten zeigen, dass eine Reduzierung der DCAD unter – 100 meq/kg TS in der Vorbereiterration gut geeignet ist, um das Auftreten von klinischer Hypocalcämie zu reduzieren. In 6 von 18 Vorbereiterrationen (33,3 %) lag die DCAD zwischen -100 und -50 meq/kg TS. In 6 von 18 Betrieben (33,3 %) stellte die Vorbereiterration eine partielle Anionenration (-50 und 0 meq/kg TS) dar. Insgesamt lag in 44,4 % der untersuchten Vorbereiterrationen (8 von 18) die DCAD in dem von der NRC (2001) angegebenen Zielbereich von -50 bis -150 meq/kg TS (**Tabelle 16**).

Teilweise gab es erhebliche Differenzen zwischen den analysierten DCAD-Werten und den DCAD-Werten der berechneten Ration. In 10 von 16 Vorbereiterrationen (62,2 %) betrug die Differenz zwischen den analysierten und berechneten Werten mehr als 20 meq/kg TS. Zu 50 % (5/10) war die analysierten DCAD niedriger und zu 50 % (5/10) höher als erwartet (**Tabelle**

16). Gründe für diese Abweichungen können Fehler im Rahmen der Rationsberechnung, eine nicht adäquate Durchmischung der TMR oder Schwankungen der Inhaltsstoffe der einzelnen Futtermittel sein (Staufenbiel et al., 2004b, Staufenbiel, 2010).

In 15 von 18 untersuchten Anionenrationen lag die Calciumkonzentration zwischen 8,0 und 15,0 g/kg TS und in den verbleibenden 3 Anionenrationen über 15,0 g Ca/kg TS (**Tabelle 14**). Die Empfehlungen für erhöhte Calciumgehalte in der Vorbereiterration reichen in der Literatur von 8,5 bis 15,0 g Ca/kg TS (Oetzel, 2000, NRC, 2001, Goff, 2006, Staufenbiel, 2010, Overton et al., 2016, Dann, 2017). Zu dieser Erhöhung des Calciumgehaltes in der Ration bei der Fütterung von sauren Salzen gibt es derzeit keine Übereinstimmung in der Literatur (siehe 2.2.3.4 Empfehlungen für die Fütterung einer Anionenration). In der Metaanalyse von Oetzel (1991) war das Milchfiebrisiko bei einem Calciumgehalt von 11,6 g Ca/kg TS am größten. Auch Lean et al. (2006) konnte diese Assoziation zwischen dem Calciumgehalt in der Vorbereiterration und dem Milchfiebrisiko, mit dem größten Milchfiebriskos bei einem Gehalt von 11,0 g Ca/kg TS Calcium, zeigen. Das geringste Risiko konnte bei Calciumkonzentrationen unter 5,0 g Ca/kg TS und über 16,0 g Ca/kg TS beobachtet werden (Lean et al., 2006). Durch eine weitere Metaanalyse konnte gezeigt werden, dass durch das Erhöhen des Calciumgehaltes von 6,0 g Ca/kg TS auf 16,0 g Ca/kg TS in einer Ration mit einer DCAD von -100 meq/ kg TS das Milchfiebrisiko von 2,0 % auf 7,7 % ansteigt (Santos et al., 2019). Der optimale Calciumgehalt in einer Anionenration zur Minimierung des Hypocalcämierisikos ist demnach fraglich und es sind weitere Studien notwendig (Lean et al., 2019). Calciumgehalte von 4–6 g/kg TS (<60 g Ca/ Tag) in einer Anionenration könnten nach derzeitigem Wissensstand als Prophylaxemaßnahme der Hypocalcämie effektiv sein (DeGaris and Lean, 2008, Lean et al., 2013, Dann, 2017, Lean et al., 2019, Santos et al., 2019). Jedoch konnte in einer aktuellen Studie von Glosson et al. (2020) gezeigt werden, dass eine Anionenration sowohl mit als auch ohne eine Erhöhung des Calciumgehaltes zu einer Verbesserung des Calciumhaushaltes zur Kalbung und der Tiergesundheit führt. Diese Ergebnisse werden durch die Studie von Goff and Koszewski (2018b) unterstützt.

Hinsichtlich der Beeinflussung des Milchfiebrisikos ist der Magnesiumgehalt in der Futterrationsration von großer Bedeutung. Für eine sichere Wirkung der Anionenration sollte die Magnesiumkonzentration in der Futterrationsration 3,5 bis 4,0 g/kg TS betragen (Overton, 2004, DeGaris and Lean, 2008, Lean et al., 2013, Goff, 2014, Martín-Tereso and Martens, 2014, Dann, 2017). In 12 von 18 untersuchten Anionenrationen lag der Magnesiumgehalt in diesem Zielbereich. In dem Betrieb 15) lag der Magnesiumgehalt bei 3,2 g/kg TS und in Betrieb 9) sogar bei 13,6 g/kg TS. In den restlichen 4 Anionenrationen wurde ein Magnesiumgehalt von 4,7 bis 5,2 g/kg TS analysiert (**Tabelle 14**), was den Empfehlungen von Overton et al. (2016) entspricht.

Hohe Phosphorkonzentrationen im Futter beeinträchtigen die Calciumhomöostase und steigern folglich das Milchfiebrisiko (Barton, 1978, Kichura et al., 1982, DeGaris and Lean, 2008). Die Verfütterung einer phosphorarmen Ration während der Spätträchtigkeit hat positive Effekte auf die Calciumhomöostase. Es konnte eine Steigerung der Calciummobilisation aus dem Knochen und folglich der Calciumkonzentration im Blut um die Kalbung beobachtet werden (Cohrs et al., 2018). Die Phosphorkonzentration sollte für eine sichere Wirkung der Anionenration um 3,5 g/kg TS betragen (Overton, 2004, Peterson et al., 2005, DeGaris and Lean, 2008, Lean et al., 2013, Goff, 2014, Dann, 2017). In 9 von 18 untersuchten Anionenrationen war die Phosphorkonzentration geringer als 3,5 g/kg TS. In den anderen 9 Rationen lag, mit Ausnahme von einer Futterration, welche einen Phosphorgehalt von 4,7 g/kg TS aufwies, der Gehalt unter 4,0 g/kg TS (**Tabelle 14**). Eine Menge von 80 g Phosphor pro Tag erhöht das Milchfiebrisiko drastisch. Eine Aufnahme von 50 g pro Tag scheint sicher zu sein und eine Aufnahme von < 35 g pro Tag und Tier führt zu einer Verbesserung der Calciumhomöostase (Peterson et al., 2005).

Der Schwefelgehalt sollte über 2,2 g/kg TS betragen, jedoch nicht die Obergrenze von 4,0 g/kg TS überschreiten, um mögliche Nebenwirkungen aufgrund der Schwefeltoxizität zu vermeiden (Gould et al., 1991, Goff, 2014). Diese Schwefelobergrenze ist vor allem beim Einsatz von CaSO₄ von Bedeutung (Staufenbiel et al., 2004b, Gelfert, 2011). Erhöhte Schwefelgehalte (> 4 g/kg TS) wurden in 6 von 18 Vorbereitungen analysiert (**Tabelle 14**).

Die ansäuernde Wirkung von Chlorid ist um das 1,6fache größer als die von Schwefel und hat folglich einen stärkeren Einfluss auf den Säure-Basen-Haushalt (Goff et al., 2004). Der Chloridgehalt befand sich in allen Anionenrationen im empfohlenen Bereich von 5 bis 13 g/kg TS (Lean et al., 2013, Van Saun and Sniffen, 2014, Dann, 2017).

Kalium und Natrium sind die beiden Kationen, welche zu einer Erhöhung der DCAD führen und hinsichtlich der Hypocalcämieprophylaxe eine zentrale Rolle spielen (Block, 1984, Goff and Horst, 1997a). Der Natriumgehalt lag in 50 % (9/18) der untersuchten Anionenration über 1,5 g/kg TS (**Tabelle 14**) und somit über dem Gehalt, welcher für eine sichere Wirkung der Anionenration empfohlen wird (Gelfert, 2011, Overton et al., 2016, Dann, 2017). Erhöhte Kaliumgehalte von mehr als 15 g/kg TS (Staufenbiel, 1999) wurden in 5 von 18 Anionenrationen analysiert.

5.1.3.2 PennState Schüttelbox

Als Richtwerte für die prozentuale Verteilung der Partikelgröße (TMR) in der PennState Schüttelbox gelten 2 bis 8 % auf dem ersten Sieb, 30 bis 50 % auf dem mittleren Sieb und 40 bis 60 % auf dem Boden (Heinrichs and Jones, 2016, Oetzel, 2020). Diese Zielwerte gelten

für jede TMR im Milchviehbetrieb, sowohl für die laktierenden als auch nicht-laktierenden Kühe (Oetzel, 2020).

Von 51 untersuchten TMR Proben der Transitgruppen (Frühtrockensteher, Vorbereiter, Frischmelker) lag in nur 12 Futterrationen (23,5 %) die prozentuale Verteilung der TMR auf dem ersten Sieb bei 2 bis 8 % (**Abbildung 1; Abbildung 2; Abbildung 3**). In den Futterrationen der Frühtrockensteher ($n = 15$), Vorbereiter und Frischmelker lag der Anteil auf dem ersten Sieb durchschnittlich bei $34,2 \pm 18,2$ % (**Abbildung 1**), $15,9 \pm 9,4$ % (**Abbildung 2**) und $19,1 \pm 11,3$ % (**Abbildung 3**). Für eine Kuh ist es einfacher, Futter zu selektieren, wenn der prozentuale Anteil großer Partikel (oberes Sieb der Schüttelbox) im Futter erhöht ist (Stone and Mosley, 2017, Oetzel, 2020). Der übermäßig erhöhte Anteil an großen Futterpartikeln (> 19 mm) in den untersuchten Futterrationen scheint nicht mit einer starken Futterselektion (> 10 %) assoziiert zu sein (**Tabelle 17**). Das Ausmaß der Futterselektion wurde jedoch in nur 34 von den 51 untersuchten Transitgruppen erhoben. Aufgrund dessen sollten diese Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden. Des Weiteren könnten die großen Mengen, welche auf dem ersten Sieb zurückgehalten wurden, auch durch die Anwendung der Schüttelbox bedingt gewesen sein. Die Schüttelbox sollte mindestens mit einer Frequenz von 1,1 Hz (ungefähr 1,1 waagerechte Bewegungen in 1 Sekunde) hin und her bewegt werden. Diese waagerechten Bewegungen sollten eine Ausdehnung von mindestens 17 cm aufweisen (Heinrichs and Jones, 2016). Eine Reduzierung der Frequenz, mit welcher die PennState Box geschüttelt wird, kann in einer erhöhten Menge an TMR auf dem ersten Sieb resultieren (Kononoff et al., 2003). Außerdem könnte es bei Futterproben mit einem hohen Feuchtigkeitsgehalt (< 45 % TS) zu einer nicht akkuraten Separierung kommen (Heinrichs and Jones, 2016).

Der prozentuale Anteil mittlerer Partikel (> 8 mm und < 19 mm) in der TMR der untersuchten Transitgruppen lag, bis auf wenige Ausnahmen, in dem Zielbereich von 30 bis 50 %. Der Anteil kleinerer Partikel (< 8 mm) in der TMR der Frühtrockensteher lag im Durchschnitt bei $29,8 \pm 10,8$ %, in der TMR der Vorbereiter bei $41,4 \pm 7,9$ % und in der TMR der Frischmelker bei $41,4 \pm 7,0$ % (**Abbildung 1; Abbildung 2; Abbildung 3**).

5.1.3.2.1 Futterselektion

Die Beurteilung der TMR-Partikelgröße mithilfe der Schüttelbox ist besonders sinnvoll, wenn die Partikelgröße vergleichend von Frischfutter und Restfutter ermittelt wird. Im Idealfall sollte die Partikelgröße von beiden TMRs nahezu identisch sein. In der Praxis ist jedoch eine moderate Erhöhung des prozentualen Anteils größerer Partikel im Restfutter normal. Dieser Anstieg sollte nicht größer als 5 % sein. Ein Anstieg von 5 bis 10 % wird als eine moderate Futterselektion betrachtet. Ist der prozentuale Anteil großer Partikel im Restfutter um mehr als

10 % erhöht, wird die frischvorgelegte TMR von den Kühen stark selektiert (Oetzel, 2014, 2020).

In 6 von 8 der untersuchten Früh trockenstehergruppen wurde keine Futterselektion ($< 5\%$) verzeichnet. Bei den Vorbereitern fand in 8 von 13 Gruppen keine Futterselektion statt, wovon in 4 Vorbereitergruppen sogar keinerlei Erhöhung großer Partikel im Restfutter vorhanden war. Die Frischmelker zeigten in 9 von 13 untersuchten Gruppen keine Futterselektion ($\leq 5\%$; **Tabelle 17**).

Milchkühe besitzen eine Präferenz für den Getreideanteil in der TMR und selektieren größere und längere Futterpartikel aus (Leonardi and Armentano, 2003, DeVries et al., 2007). Für eine Milchkuh ist es einfacher, Futter zu selektieren, wenn der prozentuale Anteil großer Partikel (oberes Sieb der Schüttelbox) im Futter erhöht ist (Stone and Mosley, 2017, Oetzel, 2020). Eine große Rolle spielt hierbei die Partikellänge des Häckselstrohs (Oetzel, 2020). Als Richtlinie für eine gute Qualität des Häckselstrohs gilt, dass bei der Anwendung der Schüttelbox 1/3 auf dem oberen Sieb, 1/3 auf dem mittleren Sieb und 1/3 des gehäckselten Strohs auf dem Boden verbleiben (Stone and Mosley, 2017). In der vorliegenden Arbeit lag in der Mehrheit der Futtrationen der Transitgruppen der prozentuale Anteil, welcher nach Anwendung der Schüttelbox auf dem ersten Sieb verblieb, weit über dem in der Literatur angegebenen Richtwert von 2 bis 8 %. Jedoch scheint dies keinen Einfluss auf das Ausmaß der Futterselektion gehabt zu haben. Als Hauptursache für die Futterselektion gilt neben der Partikelgröße auch die Trockenmasse der TMR (Oetzel, 2020). Ein Hinzufügen von Melasse, Molke, Wasser oder anderen feuchte Nebenprodukte kann den Zusammenhalt der einzelnen Futterkomponente erhöhen und zu einer Reduzierung der Futterselektion führen (Oetzel, 2014, Stone and Mosley, 2017, Havekes et al., 2020b).

Im Rahmen des Einsatzes saurer Salze könnte die Kombination von Futterselektion und einer Überbelegung möglicherweise eine besondere Stellung einnehmen. Durch eine mögliche Futterselektion kann sich der Nährwert der TMR über den Tag verändern, vor allem einige Stunden nach der Frischfuttermahlzeit. Folglich sind Tiere, welche aufgrund großer Konkurrenz zu den Zeiten der Frischfuttermahlzeiten keinen Zugang zum Futtertisch haben, nicht in der Lage eine adäquate Menge an Nährstoffen zu sich zu nehmen (DeVries et al., 2004, DeVries and Von Keyserlingk, 2005, Krause and Oetzel, 2006, Hosseinkhani et al., 2008, DeVries, 2017). So könnten möglicherweise bezüglich der Ansäuerung der Tiere in einer Vorbereitergruppe große Variationen entstehen.

5.1.3.3 Trockenmasseaufnahme

Die durchschnittliche TM-Aufnahme pro Kuh sollte in den unterschiedlichen Leistungsgruppen regelmäßig bestimmt werden. Der Fokus sollte auf der Vorbereiter- und Frischmelkergruppe

liegen (LeBlanc, 2010). Eine möglichst genaue Abschätzung der TM-Aufnahme in den unterschiedlichen Leistungsgruppen ist Voraussetzung für eine bedarfsdeckende Rationsberechnung und optimierte Futtevorlagemenge und somit ein wichtiger Bestandteil des Fütterungsmanagements (Stone and Mosley, 2017).

Die tägliche Trockenmasseaufnahme der Trockensteher wird im Wesentlichen durch das Körpergewicht und den Trächtigkeitstag bestimmt. Die TM-Aufnahme sollte bei den Früh trockenstehern (Altkühe) zwischen 13,7 und 15,6 kg/Tag/Kuh liegen (NRC, 2001). In den 9 untersuchten Früh trockenstehergruppen (Altkühe) lag der Mittelwert bei 11,8 kg TS/Tag/Kuh. In 6 von 9 Betrieben verzeichneten die Früh trockensteher eine sehr geringe TM-Aufnahme von ca. 10 kg/Tag/Kuh (**Tabelle 18**).

In den Vorbereitergruppen bewegte sich die TM-Aufnahme pro Tag zwischen 10 kg/Tier und 17,4 kg/Tier. Im Durchschnitt lag die TM-Aufnahme bei 13,4 kg/Tag/Tier (**Tabelle 18**). Als Zielwert gilt für Vorbereitergruppe mit einer gemeinsamen Haltung von Jung- und Altkühen > 12,2 kg TS/Tag/Kuh (NRC, 2001). In 8 von 11 untersuchten Vorbereitergruppen war die TM-Aufnahme pro Tag > 12,2 kg TS/Tag/Kuh (**Tabelle 18**). Die TM-Aufnahme sollte bei den Mehrkalbskühen während der Vorbereitungsphase bei 13 bis 14 kg TS/Tag/Kuh liegen (Overton et al., 2016, Hutjens, 2018). In 2 von 11 untersuchten Vorbereitergruppen wurden die Mehrkalbskühe separat gehalten. In dem einen Betrieb betrug die TM-Aufnahme 13,7 kg TS/Kuh/Tag und in dem anderen 15,8 kg TS/Kuh/Tag. Folglich kann die TM-Aufnahme der Vorbereiter als gut beurteilt werden (**Tabelle 18**).

Die Trockenmasseaufnahme (TM-Aufnahme) stellt im Übergang von der Spätträchtigkeit zur Früh laktation einen dynamischen Prozess dar (Grummer et al., 2004). Während der Nährstoffbedarf in der Transitperiode steigt, sinkt die TM-Aufnahme zur Kalbung (Ingvarsen and Andersen, 2000, Grummer et al., 2004). In den ersten Laktationswochen steigt die tägliche Trockenmasseaufnahme stark an, so gelten für die erste, zweite und dritte Laktationswoche für Altkühe Richtwerte von 16,4 kg TS/Tag/Kuh, 19 kg TS/Tag/Kuh und 21 kg TS/Tag/Kuh. Jungkühe weisen eine geringere TM-Aufnahme auf, folglich liegen die Richtwerte für die ersten 3 Laktationswochen bei 14 kg TS/Tag/Kuh, 16 kg TS/Tag/Kuh und 17 kg TS/Tag/Kuh (Hutjens, 2018). In den untersuchten Betrieben verblieben die Kühe im Durchschnitt bis zu 2 Wochen p.p. oder zum Teil auch bis zu 3 Wochen p.p. in den Frischmelkergruppen und es wurden Jung- und Altkühe zusammengehalten. Der Mittelwert der TM-Aufnahme lag bei 18,2 kg/Tag/Kuh. Die niedrigste TM-Aufnahme wies Betrieb 17) auf mit 12,6 kg/Tag/Kuh und höchste TM-Aufnahme zeigten die Frischmelker in Betrieb 11) mit 23,4 kg/Tag/Kuh (**Tabelle 18**). Aufgrund der hohen Variation der Laktationstage der Frischmelker innerhalb eines Betriebes und zwischen den Betrieben ist die Trockenmassenaufnahme schwer zu beurteilen.

5.1.3.4 Beurteilung der Körperkondition

Die bedeutendsten Zeitpunkte für die Beurteilung der Körperkondition sind das Trockenstellen, die Umstallung in die Vorbereitergruppe, die Kalbung, die Frühlaktation (30 Tage p.p.), der Höhepunkt der Milchleistung (75 bis 100 Tage p.p.) sowie die Spätlaktation (> 200 Tage p.p.) (Stone and Mosley, 2017). In der vorliegenden Arbeit wurde in den Betrieben am Tag des ersten Betriebsbesuches die Körperkondition in den Gruppen der Frühtrockensteher, der Vorbereiter und der Frischmelker beurteilt. Dabei wurde zwischen Färsen und Kühen bzw. zwischen Erstlaktierenden und Mehrkalbskühen unterschieden. Einschränkungen des Body-Condition-Scoring ergeben sich aufgrund der Subjektivität dieser Konditionsbeurteilung, wodurch die ermittelten Werte schwerer vergleichbar sein können (Staufenbiel et al., 1993d). Die Körperkonditionsbeurteilung in den untersuchten Betrieben wurde von derselben Person durchgeführt, um mögliche Einflüsse der Subjektivität, des Trainings oder der Erfahrung zu minimieren (Evans, 1978, Braun et al., 1986, Staufenbiel et al., 1991). Grundsätzlich kann die Variabilität zwischen verschiedenen Untersuchern unabhängig von der Erfahrung jedoch als gering und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse als gut betrachtet werden (Croxtton and Stollard, 1976, Edmonson et al., 1989, Ferguson et al., 1994).

Da nur ein geringer Anteil an Kühen kurz vor oder während der zwei Betriebsbesuche abkalbten, wurde in der vorliegenden Arbeit die Beurteilung der Körperkondition nicht exakt zur Kalbung durchgeführt. Anstelle dessen wurden alle Tiere der Vorbereitergruppe beurteilt. In 2 von 18 Betrieben lag der Mittelwert des BCS in der Vorbereitergruppe < 3,0. In einem Betrieb traf dies sowohl für die Färsen als auch für die Kühe zu und in dem anderen Betrieb lag nur der BCS der Kühe < 3,0. Das arithmetische Mittel des BCS der Mehrkalbskühe in den Gruppen der Frühtrockensteher und Vorbereiter (n = 18 Betriebe) betrug 3,37 (\pm 0,24) und 3,39 (\pm 0,28) (**Abbildung 4; Abbildung 5**). Folglich liegt die Mehrheit der Kühe in dem Zielbereich von 3,0 bis 3,5, welcher für den Zeitpunkt des Trockenstellens als auch zur Kalbung empfohlen wird (Gillund et al., 2001, Roche et al., 2009, Dann, 2017, Santos and Staples, 2017). Ein BCS < 3,0 zur Kalbung ist assoziiert mit einer verringerten Milchleistung und Fruchtbarkeit, wohingegen ein BCS > 3,5 mit einem Rückgang der Trockenmasseaufnahme und einem erhöhten Risiko für metabolische Erkrankungen in der Frühlaktation assoziiert ist (Gillund et al., 2001, Roche et al., 2009). In 6 von 18 Betrieben (33,3 %) lag der Mittelwert des BCS der Vorbereiterkühe leicht über 3,5, jedoch nicht über 3,8. In nur 3 von 18 Betrieben (16,7 %) betrug der Unterschied des BCS der einzelnen Kühe, welche gemeinsam in einer Vorbereitergruppe gehalten wurden, weniger als eine Einheit (**Abbildung 5**).

Die Färsen in der Vorbereitergruppe (n = 16 Betriebe) wiesen durchschnittlich einen BCS von 3,65 (\pm 0,34) auf (**Abbildung 4; Abbildung 5**). Gemäß dem Zielbereich von 3,0 bis 3,5 (Gillund et al., 2001, Roche et al., 2009, Dann, 2017, Santos and Staples, 2017) werden die Jungkühe

in den untersuchten Betrieben zur Kalbung als leicht überkonditioniert eingestuft. In 9 von 17 Betrieben (52,9%) lag der Mittelwert des BCS der Vorbereiterfärsen über 3,5. Die Verteilung des BCS der Vorbereiterfärsen kann in allen untersuchten Betrieben als relativ homogen betrachtet werden (\leq eine BCS-Einheit) (**Abbildung 5**).

Kühe mit einer übermäßigen Körperkondition zur Kalbung werden in den ersten Wochen nach der Kalbung mehr körpereigene Fettreserven mobilisieren und einen größeren Verlust an Körpergewicht aufweisen. Überkonditionierte Kühe zeigen nach der Kalbung eine stark beeinträchtigte Trockenmasseaufnahme, wodurch die Fettmobilisation weiterhin gesteigert wird und das Risiko für metabolische Erkrankungen steigt (Reid et al., 1986, Garnsworthy, 2006, Roche et al., 2007a, Roche et al., 2009, Santos and Staples, 2017). Kühe, welche einen „Body-Condition-Score“ (BCS) $>3,5$ zur Kalbung aufweisen, haben ein um 30 % erhöhtes Risiko an einer klinischen Hypocalcämie zu erkranken als Kühe mit einem BCS von 3,0 zur Kalbung (Roche et al., 2013). Solche Tiere haben, unterstützt durch den Abbau der Körperreserven, eine gesteigerte Milchleistung und folglich einen größeren Calciumverlust über die Milch. Die verringerte Trockenmasseaufnahme und gesteigerte Milchleistung werden als Ursache für das erhöhte Hypocalcämierisiko vermutet (Roche et al., 2005, Mulligan et al., 2006, Roche et al., 2007b, Roche et al., 2009).

5.1.3.5 Beurteilung des Futtertischmanagements

Die Frischfutternvorlage stellt einen wichtigen Stimulus für das Fressverhalten der Milchkuh dar. Abgesehen von der Menge der Frischfutternvorlage sind auch die Fütterungsfrequenz und der Futternvorschub hinsichtlich des permanenten Futterzugangs von großer Wichtigkeit (DeVries et al., 2003, DeVries, 2017). So führt im Vergleich zu einer einmaligen Fütterung pro Tag eine zweimalige Fütterung zu einer Erhöhung der Trockenmasseaufnahme um 1,4 kg TS/Tag sowie zu einer Reduzierung der Futterselektion und folglich zu einer Steigerung der Milchleistung um 2,0 kg/Tag (DeVries et al., 2005, Sova et al., 2013). In Betrieb 13 fand eine frequente Frischfutternvorlage über den Tag verteilt statt. In der Frischmelkergruppe lag die Frequenz der Frischfutternvorlage zwischen 5 bis 7mal ($\bar{\emptyset}$ 5,7) pro Tag. In Betrieb 18 lag die Frequenz der Frischfutternvorlagen zwischen 8 bis 11mal ($\bar{\emptyset}$ 9,8) pro Tag. In der Mehrheit der Betriebe war grundsätzlich eine einmalige Fütterung sowohl in der Vorbereiter- als auch in der Frischmelkergruppe etabliert (**Abbildung 7**).

Des Weiteren ist es für eine Optimierung des Fressplatzangebotes und somit Reduzierung des Konkurrenzverhaltens wichtig, dass die gesamte Länge des Futtertisches für die Frischfutternvorlage ausgenutzt wird. Eine gleichmäßige Verteilung der TMR auf dem Futtertisch ist wiederum für die Konsistenz der TMR sowie für den permanenten Futterzugang von großer Bedeutung. In Kombination mit einem regelmäßigen Futternvorschub kann

sichergestellt werden, dass jede Kuh innerhalb der Gruppe über den Tag verteilt die Möglichkeit hat Futter mit einem konstanten Nährstoffgehalt aufzunehmen. Mithilfe des Futtervorschubes kann im Laufe des Tages eine gleichmäßige Verteilung der TMR auf dem Futtertisch aufrechterhalten und in der Folge ein permanenter Zugang zu Futter gewährleistet werden (DeVries, 2017, Oelberg and Stone, 2017). Ein regelmäßiger Futtervorschub sollte vor allem innerhalb der ersten zwei Stunden nach der Frischfuttermalage stattfinden, da hier die Aktivität am Futtertisch sehr groß ist (DeVries, 2017, Grant et al., 2019).

In 6 von 18 Betrieben (4, 5, 8, 9, 10, 18) hatten die Vorbereiter an ≥ 2 Tagen über 10 Stunden keinen Zugang zu Futter. Der längste Futterentzug betrug 22,5 Stunden an jeweils 3 von 7 Tagen (Betrieb 18). Nur in Betrieb 1 hatten die Vorbereiter an allen 7 Tagen permanenten Zugang zu Futter. Neben dem leeren Futtertisch war in einigen Betrieben für die Vorbereiter das Futter zusätzlich schwer zu erreichen bzw. die Futtermenge sehr gering (**Abbildung 7**). Betrieb 10 verzeichnete in der Frischmelkergruppe mit 12 Stunden pro Tag den längsten Futterentzug. Außer in den Betrieben 9 und 14 hatten die Frischmelker in allen Betrieben mindestens an einem Tag ≥ 6 Stunden keinen Zugang zu Futter (**Abbildung 8**).

Es sollte sichergestellt werden, dass eine Kuh im Idealfall 24 Stunden lang die Möglichkeit hat, Futter aufzunehmen. Jedoch sollte der Futtertisch im Durchschnitt pro Tag nicht länger als 30 bis 60 Minuten (DeVries, 2017), beziehungsweise auf keinen Fall länger als 3 Stunden leer sein (Schütz et al., 2006, Grant et al., 2019).

Ein weiterer Aspekt eines guten Futtertischmanagement ist das Säubern des Futtertisches beziehungsweise das Entfernen von Restfutter vor der erneuten Frischfuttermalage (DeVries, 2017, Oelberg and Stone, 2017). In den 2 Betrieben mit einer Förderbandfütterung wurde der Futtertisch einmal die Woche gesäubert. In den anderen Betrieben wurde mit wenigen Ausnahmen vor der erneuten Frischfuttermalage das Restfutter entfernt. In wenigen Betrieben fehlte 1 bis 2mal pro Woche vor der erneuten Frischfuttermalage die Entfernung des Restfutters.

5.2 Untersuchung der Harnproben

5.2.1 Einzelproben

Bei der Anwendung einer Anionenration ist die Bestimmung des Harn-pH zur Kontrolle des erreichten Ansäuerungsgrads in der Herdenüberwachung von großer Bedeutung (Staufenbiel et al., 2004b, Gelfert, 2011, Goff, 2014). Die Beprobung sollte wöchentlich bei 12 bis 15 Tieren in der Vorbereitergruppe stattfinden (Nydham et al., 2017), mindestens bei 8 Tieren (Cook et al., 2006b). In nur 2 von 18 Milchviehbetrieben wurden von dem Betriebspersonal Harn-pH-Messungen zur Kontrolle der Ansäuerung durchgeführt.

Die Fütterung einer Anionenration kann die Aufrechterhaltung der Calciumhomöostase zur Kalbung nur verbessern, wenn eine azidotische Stoffwechsellage hervorgerufen wird und folglich der Harn-pH geringer als 7,5 ist (Goff and Koszewski, 2018a).

Einen durchschnittlichen Harn-pH über 7,5 wiesen am Tag des ersten Betriebsbesuches die Vorbereitergruppen in 5 von 18 Betrieben auf. In 3 von diesen 5 Betrieben konnte mithilfe der Beratung, ggf. Problemlösung bezüglich des Fütterungsmanagement und Anpassung der Futterration durch den zuständigen Futtermittelberater am zweiten Beprobungstag ein durchschnittlicher pH-Wert von $< 7,5$ erreicht werden und die Ansäuerung der Tiere optimiert werden. Insgesamt lag in 2 von 18 untersuchten Vorbereitergruppen der durchschnittliche Harn-pH zu beiden Untersuchungszeitpunkten über 7,5 (**Tabelle 19**).

Für eine optimale Prophylaxe der Hypocalcämie sollte ein durchschnittlicher Harn-pH von ungefähr 6,0 bis 7,0 in der Vorbereitergruppe angestrebt werden (Jardon, 1995, Oetzel, 2000, Lean et al., 2013, Goff, 2014, Overton et al., 2018). Insgesamt lag bei der ersten sowie zweiten Beprobung jeweils in 50 % der Betriebe (9/18) der durchschnittliche Harn-pH zwischen 6,0 und 7,0. In 2 von 18 Betrieben lag am Tag der ersten Probeentnahme der durchschnittliche Harn-pH unter 6,0 und bei der zweiten Beprobung in nur einem Betrieb (**Tabelle 19**). Ein durchschnittlicher Harn-pH von 5,0 bis 5,5 (Goff, 2008a) oder unter 5,8 (Overton et al., 2018) führt zu einer unkompensierten metabolischen Azidose und ist mit einem drastischen Rückgang der Trockenmasseaufnahme assoziiert. Diehl et al. (2018) und Leno et al. (2017) konnten jedoch zeigen, dass durch das Aufrechterhalten eines durchschnittlichen Harn-pH von 5,5 bis 6,0 der Calciumhaushalt zur Kalbung, die Milchleistung und die postpartale Trockenmasseaufnahme erfolgreich verbessert werden können.

Insgesamt lag in nur 6 von 18 untersuchten Herden der durchschnittliche Harn-pH zu beiden Untersuchungszeitpunkten in dem Zielbereich von 5,8 bis 7,0 (**Tabelle 19**).

Es konnte in den untersuchten Vorbereitergruppen eine große Variation der pH-Werte sowohl innerhalb einer wöchentlichen Stichprobe ($n \geq 12$ Tiere) als auch zwischen den wöchentlichen Stichproben festgestellt werden (**Tabelle 19**). In 7 von 18 Betrieben (erste Beprobung, $n \geq 12$ Tiere) konnte ein Variationskoeffizient $\leq 8\%$ ermittelt werden, jedoch lag der Harn-pH in diesen Betrieben zwischen 7,4 und 8,2 und somit zum größten Teil im physiologisch alkalischen Bereich (Staufenbiel et al., 2016). Bei der zweiten Beprobung betrug in 8 von 18 Betrieben der Variationskoeffizient $\leq 8\%$, wovon in einem Betrieb der durchschnittliche pH-Wert 5,6 betrug (**Tabelle 19**). In den restlichen 7 Betrieben lag auch hier der durchschnittliche Harn-pH nahe dem physiologischen Bereich. Erwähnt werden sollte auch, dass innerhalb der wöchentlichen Stichproben ($n \geq 12$ Tieren) bis auf wenige Ausnahmen die Tiere innerhalb einer Gruppe Harn-pH-Werte von 5,0 bis 8,5 aufwiesen (**Tabelle 19**).

Eine große Variation der Harn-pH-Werte innerhalb einer wöchentlichen Stichprobe sowie einzelne „Ausreißer“ können ein Hinweis auf eine nicht adäquate oder ungleichmäßige

Futteraufnahme sein. Gründe hierfür könnten eine zu hohe Belegungsdichte, sozialer Stress innerhalb der Vorbereitergruppe sowie eine Erkrankung, wobei in der Trockenstehperiode vor allem Klauenerkrankungen eine wichtige Rolle spielen, sein. Außerdem kann eine Variation der Harn-pH-Werte zwischen den beprobten Tieren ein Indikator für eine schlechte Durchmischung der TMR oder eine übermäßige Futterselektion sein. Eine große Variation der Harn-pH-Werte zwischen den wöchentlichen Stichproben kann auf ein Fütterungsproblem bezüglich der Mischgenauigkeit oder Inhaltsstoffe der einzelnen Futtermittel hindeuten (Nydam et al., 2017, Stone and Mosley, 2017).

5.2.2 Poolproben

Im Gegensatz zum Harn-pH-Wert besteht zwischen der DCAD und der NSBA ein linearer Zusammenhang (Gelfert et al., 2004, Staufenbiel et al., 2004b). Zudem reagiert die NSBA deutlich schneller als der pH auf die azidotische Stoffwechsellage (Schröder et al., 2003) und gibt somit die Effekte der Fütterung einer Anionenration zuverlässiger und genauer wieder (Vagnoni and Oetzel, 1998, Gelfert et al., 2004, Goff, 2004). Da die Analyse von Einzeltierproben bezüglich der NSBA und des Calciumgehaltes sehr zeit- und kostenintensiv ist, wurden Poolproben angefertigt. Durch die Arbeit von Schmutzer (2011) konnte gezeigt werden, dass sich die Pool- und Mittelwerte bezüglich NSBA und Calciumgehalt nicht signifikant voneinander unterscheiden. Das heißt, bezüglich der NSBA und des Calciumgehaltes lässt sich der Mittelwert einer Herde gut über den Poolwert beschreiben.

Rinder fressen natürlicherweise Futterrationen mit einer deutlich positiven DCAD von 200 bis 350 meq/kg TS. Folglich liegt der physiologische Referenzbereich für die NSBA zwischen 100 und 200 mmol/L (Staufenbiel et al., 2016). Durch den Einsatz saurer Salze wird eine azidotische Stoffwechsellage provoziert, welche sich in einem signifikanten Absinken der NSBA < 100 mmol/L äußert (Bender et al., 2003). In 2 von 18 Poolproben der ersten Beprobung lag die NSBA bei 105,5 mmol/L. In den restlichen 16 Poolproben zeigte die NSBA eine azidotische Stoffwechsellage (< 100 mmol/L) der Vorbereitertiere an. In 4 von 16 Vorbereitergruppen war diese azidotische Stoffwechselbelastung geringgradig (50 bis 99 mmol/L), in 9 von 16 Gruppen mittelgradig (0 bis 49 mmol/L) und in 3 von 16 Gruppen zeigten die Kühe im Durchschnitt eine hochgradig azidotische Stoffwechsellage (< 0 mmol/L) (Staufenbiel et al., 2016).

In 2 von 17 Poolproben von dem Tag des zweiten Betriebsbesuches lag die NSBA im physiologischen Referenzbereich. In beiden Betrieben zeigte die NSBA der Poolproben von der ersten Beprobung eine azidotische Stoffwechsellage an. In 4 von 15 Vorbereitergruppen war diese metabolisch-azidotische Stoffwechsellage geringgradig (50 bis 99 mmol/L), in 53,3

% (8/15) mittelgradig (0 bis 49 mmol/L) und in 3 von 15 (20,0 %) Gruppen zeigten die Kühe im Durchschnitt eine hochgradig azidotische Stoffwechsellage (< 0 mmol/L).

In 8 von 18 (44,4 %) Vorbereitergruppen lag die NSBA beider Poolproben in dem Bereich zwischen $- 50$ und 50 mmol/L (**Tabelle 20**), welcher beim Einsatz saurer Salze empfohlen wird (Bender et al., 2003, Gelfert et al., 2004, Staufenbiel, 2010, Gelfert, 2011).

Für die Calciumausscheidung über den Harn wird beim Einsatz saurer Salze ein Zielbereich von 7 bis 15 mmol/L angegeben (Staufenbiel, 2010). In 24 von 35 (68,6 %) untersuchten Harnpoolproben lag die Calciumkonzentration in diesem Zielbereich. In 8 von 18 (44,4 %) Vorbereitergruppen lag der Calciumgehalt in beiden Poolproben zwischen 7 und 15 mmol/L (**Tabelle 20**).

5.3 Untersuchung der Blutproben

5.3.1 Konzentration von NEFA

Die 18 Milchviehherden wurden bezüglich der NEFA-Konzentration von Vorbereitern in 3 Kategorien eingestuft. Nach Cook et al. (2006a) wird eine Herde als positiv betrachtet, wenn ≥ 3 von 12 Tieren (≥ 25 %) eine NEFA-Konzentration oberhalb des Grenzwertes von $0,3$ mmol/L aufweisen. Wird bei ≤ 2 von 12 Tieren ($\leq 16,7$ %) eine erhöhte NEFA-Konzentration ermittelt, befindet sich die Herde im Grenzbereich. Als negativ gilt eine Herde, wenn keines der 12 beprobten Tiere eine erhöhte NEFA-Konzentration aufweist (Cook et al., 2006a). In der vorliegenden Arbeit konnten 3 von 18 Betrieben als negativ eingestuft werden und 9 Betriebe befanden sich im Grenzbereich. Sechs Milchviehherden konnten als positiv betrachtet werden, davon wiesen in dem Betrieb 1) $36,4$ % und in dem Betrieb 9) $66,7$ % der beprobten Tiere eine erhöhte NEFA-Konzentration auf (**Abbildung 9**).

In der Transitperiode findet eine dynamische Veränderung der NEFA-Konzentration im Blut statt. Ein bis zwei Wochen vor der Kalbung steigt die NEFA-Konzentration im Blut an und verbleibt nach der Kalbung in den ersten beiden Laktationswochen auf einem Plateau (Bertics et al., 1992, Vazquez-Anon et al., 1994, Borchardt, 2010, Richter, 2017). In der vorliegenden Arbeit wurden für die Bestimmung der NEFA in den Vorbereitergruppen ≥ 12 Tiere (Cook et al., 2006a), welche mindestens 7 Tage eine Anionenration erhalten hatten und klinisch gesund waren, beprobt. Aufgrund der Variation der Vorbereitungsdauer innerhalb eines Betriebes sowie zwischen den Betrieben kann keine Aussage über den zeitlichen Abstand zur Kalbung der beprobten Tiere getroffen werden.

Aufgrund des physiologischen Anstiegs der NEFA zur Kalbung sollten zur Überwachung der Stoffwechselgesundheit von Vorbereiterkühen laut einigen Autoren nur Tiere in dem Zeitraum

14 bis 3 Tage a.p. beprobt werden (Oetzel, 2003, LeBlanc et al., 2005, Cook et al., 2006a). Zum einen stellt dies ein kleines Zeitfenster dar und ist aufgrund der biologischen Variation der TD schwer vorhersehbar (McArt et al., 2013). Zum anderen kann laut Borchardt (2010) aus diagnostischer Sicht die Messung der NEFA ohne genaue Kenntnis des Kalbedatums ungefähr eine Woche a.p. durchgeführt werden. Demnach müssen Tiere, welche innerhalb der folgenden drei Tage nach der Probeentnahme kalben, nicht von der Diagnostik ausgeschlossen werden.

Weiterhin bewegt sich der Grenzwert der antepartalen NEFA-Konzentration, welcher die höchste Sensitivität und Spezifität für die Vorhersage von Erkrankungen in der Früh lactation aufweist, zwischen 0,3 und 0,5 mmol/L (McArt et al., 2013, Ospina et al., 2013).

Außerdem unterliegt die NEFA-Konzentration im Blut auch über den Tag einer dynamischen Veränderung. Das Fütterungsmanagement nimmt auf diese tageszeitliche Variation besonderen Einfluss (Nielsen et al., 2003, Nikkhah et al., 2008). Die höchsten NEFA-Werte sind vor der ersten Futtervorlage zu finden (Drackley, 2000, Nielsen et al., 2003, Oetzel, 2004, Odensten et al., 2005, Nikkhah et al., 2008, Quiroz-Rocha et al., 2010) und die niedrigsten NEFA-Werte liegen 4 bis 5 Stunden nach der Fütterung vor (Eicher et al., 1999). In der vorliegenden Arbeit kann ein gewisser Einfluss der Fütterung auf die NEFA-Werte nicht ausgeschlossen werden. Die Blutprobenentnahme fand in allen Betrieben am Vormittag statt und wurde aufgrund der unterschiedlichen Betriebsabläufe nicht immer zum gleichen Zeitpunkt relativ zur Fütterung durchgeführt.

Die Tagesdynamik der NEFA wird wesentlich durch die Frequenz der Futtervorlage und die Intensität der Futteraufnahme beeinflusst (Sutton et al., 1988, Blum et al., 2000). Die Futteraufnahme kann jedoch über den Tag großen Schwankungen unterliegen (Odensten et al., 2005, Nikkhah et al., 2008). Wie schon erwähnt, beeinflussen eine Vielzahl von Faktoren das Fressverhalten der Milchkuh. Einflussfaktoren stellen unter anderem die Frequenz der Futtervorlage, die Belegungsdichte, die Tiergesundheit, die Rangordnung, der Stallbau sowie die Rationszusammensetzung dar (DeVries et al., 2004, DeVries and Von Keyserlingk, 2006, Huzzey et al., 2006, Allen and Piantoni, 2014).

5.3.2 Konzentration von Calcium

Im Rahmen der Risikoabschätzung für das Auftreten der subklinischen und klinischen Hypocalcämie wurden die untersuchten Betriebe in 3 Gruppen kategorisiert. Nach Cook et al. (2006a) wird eine Herde als negativ betrachtet, wenn ≤ 2 von 12 Tieren ($\leq 16,7\%$) eine Calciumkonzentration $< 2,0$ mmol/L im Blut aufweisen. Werden bei 3 bis 5 von 12 ($\leq 41,7\%$) Tieren eine erniedrigte Calciumkonzentration ermittelt, befindet sich die Herde im Grenzbereich. Als positiv wird eine Herde eingestuft, wenn bei ≥ 6 von 12 Tieren ($> 41,7\%$)

eine erniedrigte Calciumkonzentration im Blut analysiert wird (Cook et al., 2006b). Das Auftreten einer Hypocalcämie kann durch den Einsatz saurer Salze sowie den Einsatz weiterer derzeit vorhandenen Prophylaxemaßnahmen nicht gänzlich vermieden werden (Vitamin D₃ Injektion, orale Calciumapplikation, Fütterung von Calciumbindern). Das Auftreten von Hypocalcämie wird bei einer Prävalenz von > 41,7 % als problematisch betrachtet (Cook et al., 2006b, Venjakob et al., 2017). In der vorliegenden Arbeit lag in 4 von 18 Herden die Hypocalcämie-Prävalenz oberhalb dieses Grenzwertes (> 41,7 %). Elf von 18 untersuchten Herden (61,1 %) befanden sich im Grenzbereich, in diesen Herden betrug die Prävalenz der Hypocalcämie (< 2,0 mmol/L) 29,8 %. Drei von 18 Betriebe wurden als negativ eingestuft (**Abbildung 10**).

In der Gesamtheit der untersuchten Milchviehbetrieben (n = 18) betrug die Prävalenz der Hypocalcämie (< 2,0 mmol/L) 32,8 % (63/192) und 29,7 % (57/192) der beprobten Tiere wiesen eine Serumcalciumkonzentration von 2,0 bis 2,2 mmol/L auf. Von den untersuchten Tieren hatten 37,5 % (72/192) Serumcalciumkonzentrationen von > 2,2 mmol/L. In einer 2016 durchgeführten Studie lag die Prävalenz der subklinischen Hypocalcämie in Deutschland bei 40,7 %. In dieser Studie war jedoch in nur 43,5 % der Betriebe (50/115) ein Prophylaxekonzept der Hypocalcämie etabliert.

Eine hypocalcämische Stoffwechsellage prädisponiert die Milchkuh für metabolische und infektiöse Erkrankungen in der Früh-laktation (Goff, 2008b), wie Nachgeburtshaltung (Curtis et al., 1983, Melendez et al., 2004, Rodríguez et al., 2017, Wilhelm et al., 2017), akute puerperale Metritis (Curtis et al., 1983, Martinez et al., 2012, Rodríguez et al., 2017, Wilhelm et al., 2017, Venjakob et al., 2019), Mastitis (Curtis et al., 1983), Ketose (Curtis et al., 1983, Gröhn et al., 1989, Rodríguez et al., 2017) und Labmagenverlagerung (Curtis et al., 1983, Gröhn et al., 1989, Chapinal et al., 2011, Seifi et al., 2011, Rodríguez et al., 2017). Über den Grenzwert zur Identifizierung der subklinischen Hypocalcämie, welche mit einer Beeinträchtigung der postpartalen Tiergesundheit assoziiert ist, gibt es in der Literatur keine einheitlichen Angaben. Die Grenzwerte der subklinischen Hypocalcämie reichen von 1,88 bis 2,35 mmol/L (Serrenho et al., 2021). In der vorliegenden Arbeit wurde eine Serumcalciumkonzentration von < 2,0 mmol/L als Grenzwert betrachtet (Goff, 2008a, Reinhardt et al., 2011, Venjakob et al., 2017). So scheint auch laut (Rodríguez et al., 2017) ein Grenzwert von < 2,05 mmol/L zur Vorhersage der postpartalen Tiergesundheit adäquat zu sein. Laut aktuellen Studien ist der Zeitpunkt und die Dauer der Hypocalcämie, von weitaus größerer Bedeutung als der Abfall der Serumcalciumkonzentration an sich (Caixeta et al., 2017, Neves et al., 2018a, McArt and Neves, 2020, Venjakob et al., 2021).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Tiere zur Beurteilung des Calciumstoffwechsels in dem Zeitraum 0 bis 48 Stunden nach der Kalbung beprobt. Dieses Zeitfenster ist nach Angaben

vieler Autoren für die Überwachung des Calciumstoffwechsels angemessen. Das Risiko für das Auftreten der Hypocalcämie ist in dem Zeitraum von 12 bis 48 Stunden nach dem Partus am größten (Kimura et al., 2006, Goff, 2008a, Reinhardt et al., 2011, Martinez et al., 2012, Oetzel, 2013, Rodríguez et al., 2017, Venjakob et al., 2017, Megahed et al., 2018). Venjakob et al. (2019) konnten zeigen, dass die Calciumkonzentration 24 Stunden und 72 Stunden nach der Kalbung ihren niedrigsten Wert im Blut erreichte. Folglich müssen die vorliegenden Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden, da auch Tiere < 12 Stunden nach der Kalbung beprobt wurden. Aufgrund dessen könnte die Prävalenz der Hypocalcämie in den untersuchten Betrieben unterschätzt worden sein. Jedoch beginnt die Calciumkonzentration im Blut bereits 1 bis 2 Tage vor dem Partus abzufallen (Kimura et al., 2006, Megahed et al., 2018) und das Risiko für weitere Erkrankungen ist auch für Kühe, welche eine hypocalcämischen Stoffwechsellage zur Kalbung oder unmittelbar danach aufweisen, erhöht (Massey et al., 1993, Wilhelm et al., 2017). So konnten Wilhelm et al. (2017) zeigen, dass Kühe mit einer Serumcalciumkonzentration < 2,0 mmol/L innerhalb 2 Stunden nach der Kalbung ein erhöhtes Risiko für das Auftreten einer puerperalen Metritis besitzen. Über den Risikozeitraum und somit die optimalen Messzeitpunkte besteht derzeit in der Literatur keine Übereinstimmung.

Die Messzeitpunkte zur Beurteilung des Calciumstoffwechsels nach der Kalbung variieren zwischen vielen Studien erheblich. So erfolgte die Beprobung in manchen Studien während den ersten Tagen nach der Kalbung, wohingegen andere epidemiologischen Studien ein größeres Zeitintervall (z.B. die ersten Laktationswochen) zur Evaluierung des Einflusses einer Hypocalcämie auf die Gesundheit und Leistung der Milchkuh in der Früh-laktation nutzten. Seifi et al. (2011) und Roberts et al. (2012) konnten zeigen, dass Kühe mit einer hypocalcämischen Stoffwechsellage (< 2,2 mmol/L) während der ersten Laktationswoche ein 2,4fach und 1,5fach erhöhtes Risiko, innerhalb der ersten 60 Tage in Milch gemerzt zu werden, aufweisen.

In der Studie von Chapinal et al. (2012a) konnte beobachtet werden, dass eine Hypocalcämie (< 2,1 mmol/L) während der ersten, zweiten und dritten Laktationswoche in einer verringerten Milchleistung resultierte. Zudem wiesen Kühe mit einer Konzentration von Calcium im Serum von < 2,2 bis 2,4 mmol/L während der ersten 3 Laktationswochen einen geringeren Erstbesamungserfolg auf. Folglich spekulierten die Autoren aufgrund des langen Risikozeitraums, dass der beobachtete Calciummangel vielmehr ein Indikator für eine inadäquate Trockenmasseaufnahme als für eine metabolische Stoffwechselstörung ist (Chapinal et al., 2012a). Diese Annahme wird auch durch Pinedo et al. (2017) unterstützt, welche vermuteten, dass die Hypocalcämie durch eine verminderte Trockenmasseaufnahme, bevor postpartale klinische Erkrankungen in Erscheinung treten, verursacht werden könnte. Fast jede Milchkuh zeigt unter physiologischen Bedingungen aufgrund des plötzlichen Calciumdefizits eine Erniedrigung der Calciumkonzentration im Blut, welche im Normalfall

jedoch durch Einsetzen der physiologischen Regulationsmechanismen des Calciumhaushaltes in den ersten Tagen der Laktation wieder normalisiert wird (Horst et al., 1994, DeGaris and Lean, 2008, Martín-Tereso and Martens, 2014, McArt and Neves, 2020). Wie schon erwähnt wurde, scheint die Persistenz der Hypocalcämie von großer Bedeutung zu sein (Caixeta et al., 2017, Neves et al., 2018a, McArt and Neves, 2020, Venjakob et al., 2021). Eine persistent hypocalcämische Stoffwechsellage ($< 2,14$ mmol/L über die ersten 3 Tage in Milch) ist mit einem erhöhten Risiko für weitere Erkrankungen (Nachgeburtsverhaltung, Metritis, Ketose, Labmagenverlagerung) innerhalb der ersten 10 Tage in Milch und einer verringerten Fruchtbarkeit assoziiert (Caixeta et al., 2017). Erniedrigte Serumcalciumkonzentration am ersten Tag ($< 2,15$ mmol/L) nach der Kalbung sind sowohl bei Erstlaktierenden als auch bei Mehrkalbskühen mit einer erhöhten Milchproduktion assoziiert, wohingegen eine erniedrigte Serumcalciumkonzentration an Tag 4 ($< 2,15$ mmol/L) nach der Kalbung bei den Mehrkalbskühen in einer verringerten Milchleistung resultiert (Neves et al., 2018a). Es gibt einige Studien, die nachweisen konnten, dass Kühe mit einer hypocalcämischen Stoffwechsellage zeitnah nach der Kalbung (24 bis 48 Stunden) mehr Milch während der Frühaktation produzieren (Jawor et al., 2012, Gild et al., 2015, Neves et al., 2018a, Neves et al., 2018b, Venjakob et al., 2018). McArt and Neves (2020) konnten zeigen, dass Kühe mit einer transienten subklinischen Hypocalcämie (siehe **Tabelle 1**) eine gute Adaptation des Calciumhaushaltes aufweisen, in der Folge weniger Erkrankungen entwickeln, ein geringeres Risiko für das frühzeitige Ausscheiden aus der Herde haben und durchschnittlich in den ersten 10 Laktationswochen mehr Milch geben als normocalcämische Kühe oder Kühe mit einer persistenten oder verzögerten subklinischen Hypocalcämie (siehe **Tabelle 1**) (McArt and Neves, 2020). Zusammenfassend hat eine transiente und frühe postpartale Hypocalcämie keinen negativen Effekt auf die Milchleistung, sondern ist vielmehr mit einer gesteigerten Milchleistung assoziiert (Jawor et al., 2012, Gild et al., 2015, Neves et al., 2018a, Venjakob et al., 2018, McArt and Neves, 2020).

Folglich scheinen sich Calciumkonzentrationen im Blut an Tag 2 bis 4 nach der Kalbung zur Vorhersage der Auswirkungen auf die Tiergesundheit und Leistung in der Frühaktation besser zu eignen als die Calciumkonzentration am Tag nach der Kalbung. Venjakob et al. (2021) konnten zeigen, dass bei Erstlaktierenden eine verzögerte Hypocalcämie (an Tag 3 und 7 p.p.) und bei Mehrkalbskühen eine hypocalcämische Stoffwechsellage an Tag 1 und 3 p.p. mit dem Auftreten von Erkrankungen innerhalb der ersten 30 Tage in Milch assoziiert ist. Außerdem ist die einmalige Beprobung zur Identifizierung und Charakterisierung der subklinischen Hypocalcämie nicht adäquat. Vielmehr sollte eine Beprobung an mindestens oder mehr als 2 Laktationstagen stattfinden. In der vorliegenden Arbeit kann aufgrund der einmaligen Beprobung keine Aussage über die Persistenz der hypocalcämischen Stoffwechsellage getroffen werden. Erniedrigte Calciumkonzentrationen führen zu einer eingeschränkten

Funktion der neutrophilen Granulozyten und folglich zu einer Suppression des Immunsystems (Kimura et al., 2006, Martinez et al., 2012, Martín-Tereso and Martens, 2014). Dies könnte eine mögliche Ursache für die erhöhte Infektionsanfälligkeit sein. Kühe, welche an einer akuten puerperalen Metritis erkrankt sind, weisen eine schwerere und länger andauernde Hypocalcämie auf als gesunde Kühe (Martinez et al., 2012). In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass eine bei gesunden Kühen induzierte Hypocalcämie eine verringerte Trockenmasseaufnahme und eine Beeinträchtigung des Immunsystems verursachte (Martinez et al., 2014). Wiederum führt eine Infusion von Lipopolysacchariden, was die Antwort eines vollständig funktionsfähigem Immunsystem erfordert, zu einem Abfall der Calciumkonzentration im Serum (Waldron et al., 2003, Kvidera et al., 2017). Aufgrund dessen besteht weiterhin Klärungsbedarf über die Assoziation der peripartalen Hypocalcämie und Erkrankungen in der Früh-laktation. Eine hypocalcämische Stoffwechsellage kann eine Ursache oder eine Folge von subklinischen Erkrankungen oder einer inadäquaten Trockenmasseaufnahme sein (Venjakob et al., 2021).

5.3.3 Konzentration von BHB

Im Rahmen der Beurteilung des Ketoserisikos wurde eine Einteilung der Milchviehbetriebe in 3 Kategorien vorgenommen. Nach Cook et al. (2006a) wird eine Herde als positiv betrachtet, wenn ≥ 3 von 12 Tieren ($\geq 25\%$) eine BHB-Konzentration oberhalb des Grenzwertes von 1,2 mmol/L aufweisen. Wird bei ≤ 2 von 12 Tieren ($\leq 16,7\%$) eine erhöhte BHB-Konzentration ermittelt, befindet sich die Herde im Grenzbereich. Als negativ gilt eine Herde, wenn keines der 12 beprobten Tieren eine erhöhte BHB-Konzentration aufweist (Cook et al., 2006a). Keine der untersuchten Herden galt als negativ (0 von 12 Tieren), wohingegen sich 5 Herden im Grenzbereich (≤ 2 von 12 Tieren) befanden. Demnach wurden 72,2 % (13/18) der Betriebe als positiv (≥ 3 von 12 Tieren) eingestuft, in denen insgesamt 47,3 % (89/169) der beprobten Tiere erhöhte BHB-Konzentrationen im Blut aufwiesen (**Abbildung 11**).

Die Prävalenz erhöhter BHB-Konzentrationen im Blut ($> 1,2$ mmol/L) in der Gesamtheit der Betriebe betrug 38,4 % (89/232). Diese erhöhte Prävalenz der subklinischen Ketose in den untersuchten Herden liegt über den Angaben der internationalen Literatur für Europa. Nach Suthar et al. (2013) liegt die Prävalenz der subklinischen Ketose in Europa bei 21,8 %, mit einer Variation von 11,2 % bis 36,6 %.

Wie die NEFA-Konzentration unterliegt auch die BHB-Konzentration im Blut während der Transitperiode einer gewissen Dynamik. Zum Partus sinkt die BHB-Konzentration im Blut ab, was durch die Reduzierung der Futtermittelaufnahme zur Kalbung erklärt werden könnte (Vazquez-Anon et al., 1994, Borchardt, 2010). Zwischen der NEFA- und der BHB-Konzentration besteht

bezüglich der Reaktion auf ein akutes Energiedefizit eine zeitliche Differenz. So kann bei einer Futterrestriktion zwei Tage vor dem Anstieg der BHB-Konzentration eine Reaktion der NEFA auf das Energiedefizit beobachtet werden (Nielsen et al., 2003). Die BHB-Konzentration im Blut ist zum einen durch die ruminogene und zum anderen durch die hepatogene Ketogenese bedingt (Heitmann and Fernandez, 1986). Durch eine Steigerung der Futtermittelaufnahme sowie der hepatogenen Ketogenese steigt der BHB-Gehalt im Blut nach dem Partus kontinuierlich an (Vazquez-Anon et al., 1994, Herdt, 2000, Borchardt, 2010). Die Prävalenz der subklinischen Ketose ist in den ersten beiden Laktationswochen am größten (Duffield et al., 1998) und verzeichnet ihren Höhepunkt an Tag 5 p.p. (McArt et al., 2012, McArt et al., 2013) bzw. an Tag 2 bis 15 p.p. (Suthar et al., 2013). In der vorliegenden Arbeit wurden zufällig mindestens 12 Tiere aus den Frischmelkergruppen beprobt (Cook et al., 2006a). Die Kühe in diesen Gruppen befanden sich größtenteils ca. in dem Zeitraum von 3 bis 14, in manchen Betrieben bis zu 21 Tage nach der Kalbung. Der Fokus der postpartalen Stoffwechselüberwachung sollte in dem Zeitraum von 5 bis 50 Tagen nach der Kalbung (Cook et al., 2006a) auf den ersten 1 bis 2 Wochen nach der Kalbung liegen (LeBlanc, 2010).

Weiterhin zeigt auch die BHB-Konzentration einen tageszeitlichen Rhythmus und wird durch die Verwertung der Ketonkörper als auch durch den Zufluss aus der ruminogenen und hepatogenen Ketogenese beeinflusst (Ingvarsen, 2006). Diese Ausprägung der Tagesdynamik wird im Wesentlichen durch die fütterungsbedingte Ketonkörperproduktion (ruminogene Ketogenese) bestimmt. Der Gehalt an leichtverdaulichen Kohlenhydraten in der Ration hat einen großen Einfluss auf die BHB-Konzentration im Blut. Folglich ist die Rationszusammensetzung (Pansenfermentation) als auch das Fressverhalten (Substratmenge) für die Aktivität der ruminogenen Ketogenese von Wichtigkeit (Nielsen et al., 2003, Odensten et al., 2005, Nikkhah et al., 2008, Ametaj et al., 2009). Die BHB-Konzentration im Blut steigt nach der Fütterung an und erreicht ihren Höhepunkt 4 bis 5 Stunden nach der Fütterung. Der niedrigste BHB-Spiegel im Blut kann kurz vor der Fütterung beobachtet werden (Sutton et al., 1988, Oetzel, 2004, Odensten et al., 2005, Nikkhah et al., 2008). Mahrt et al. (2014) konnten zeigen, dass in einer Milchviehherde mit einer kontinuierlichen Frischfuttermittelvorlage der Probenzeitpunkt keinen Einfluss auf die BHB-Konzentration im Serum hat. In der vorliegenden Arbeit waren die Kühe jedoch in vielen Betrieben einem längeren Futterentzug ausgesetzt, sodass der Einfluss der Fütterung auf den BHB-Gehalt nicht ausgeschlossen werden kann. Die Blutprobenentnahme fand in allen Betrieben am Vormittag statt und wurde aufgrund der unterschiedlichen Betriebsabläufe nicht immer zum gleichen Zeitpunkt relativ zur Fütterung durchgeführt.

5.4 Einfluss der Vorbereitungsdauer beim Einsatz saurer Salze

5.4.1 Vorbereitungsdauer

In der vorliegenden Arbeit variiert die Vorbereitungsdauer in den einzelnen Betrieben sehr stark. Die Differenz zwischen dem berechneten und dem tatsächlichen Abkalbedatum aufgrund der naturgemäßen Variation der TD führt zwangsläufig dazu, dass die Kühe und Färsen eine kürzere oder längere Vorbereitungsdauer aufweisen, als mit dem Management angestrebt wurde (Bachman and Schairer, 2003, Overton, 2005). In sehr vielen Früh trockensteher- und Vorbereitergruppen in den untersuchten Betrieben war die Belegungsdichte zu hoch. Diese Überbelegung könnte Einfluss auf die Management-bedingte Vorbereitungsdauer genommen haben. Außerdem kann die hohe Belegungsdichte zu einem erhöhten Stresslevel, welches zur frühzeitigen Kalbung beiträgt, geführt haben. Es konnte zuvor gezeigt werden, dass die TD mit der Milchleistung und Tiergesundheit in der nachfolgenden Laktation assoziiert ist (Vieira-Neto et al., 2017, Olagaray et al., 2020). Aufgrund dessen wurde die TD in 3 Kategorien eingeteilt: kurz = 262–271 Tage; normal = 272–282 Tage; lang = 283–292 Tage. Kühe mit einer TD < 262 und > 292 Tage wurden ausgeschlossen. Die TD betrug in der vorliegenden Arbeit bei den Färsen $276,3 \pm 7,3$ Tage und bei den Mehrkalbskühen $277,8 \pm 7,0$ Tage (**Tabelle 2**). Diese Ergebnisse decken sich mit denen von Vieira-Neto et al. (2017) und Olagaray et al. (2020), welche von einer durchschnittlichen TD von 276 ± 6 (Färsen und Mehrkalbskühe) und 277 ± 5 (Mehrkalbskühe) berichten. Es ist jedoch wichtig zu erwähnen, dass in diesen beiden Studien Tiere mit einer extremen Tragezeit (kürzer oder länger als die dreifache Standardabweichung) ausgeschlossen wurden. In der Studie von Wright and VanRaden (2017) betrug die TD $277 \pm 1,4$ Tage (n = 5 Millionen) und in der Studie von Norman et al. (2009) mit einem Datensatz von 11 Millionen Geburten lag die TD bei den Färsen bei 277,8 Tagen und bei den Mehrkalbskühen bei 279,4 Tagen.

Tiere mit 0 Tagen Vorbereitungsdauer konnten zum größten Teil auf einen Betrieb zurückgeführt werden. Diese Tiere wurden von der statistischen Auswertung ausgeschlossen, da möglicherweise bei diesen Tieren das Umstellungsdatum in die Vorbereitergruppe vom Landwirt nicht notiert wurde. In der vorliegenden Arbeit waren die Landwirte angehalten, die Umstellungsdaten in die Vorbereitergruppen gewissenhaft und zuverlässig in das Herdenmanagementprogramm einzutragen. Dennoch bleibt - wie in anderen Studien mit unvermeidlicher Dateneintragung durch den Landwirt - eine gewisse Unsicherheit und stellt eine Schwäche dieser Beobachtungsstudie dar. In den untersuchten Betrieben stellten die Vorbereitergruppen zum größten Teil Tiefstreuställe dar und möglicherweise wurden deshalb kranke, v.a. lahme Kühe frühzeitiger in diese Gruppen umgestallt. Mithilfe des Ausschlusses

aller Tiere, welche eine Vorbereitungsdauer > 42 Tage verzeichneten, sollte dieser Einfluss von möglicherweise vorerkrankten Tieren minimiert werden.

5.4.2 Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Einsatzleistung

Der Effekt einer Reduzierung der DCAD in der Vorbereiterraum auf die Milchleistung als auch auf die Gesundheit der Milchkuh wurde in der Vergangenheit intensiv untersucht (Lean et al., 2019, Santos et al., 2019). Jedoch wurden bisher erst wenige Studien zur Evaluierung der antepartalen Fütterungsdauer einer Anionenration und deren Auswirkungen durchgeführt (Corbett, 2002, Gelfert et al., 2006b, DeGaris et al., 2008, DeGaris et al., 2010a, DeGaris et al., 2010b, Weich et al., 2013, Wu et al., 2014, Lopera et al., 2018, Chebel, 2021, Vieira-Neto et al., 2021).

Hinsichtlich der Milchleistung besteht jedoch eine Interaktion zwischen den Paritäten und dem Zusatz von sauren Salzen (Lean et al., 2019, Santos et al., 2019). Die Fütterung einer niedrigen DCAD ($-50 \pm 121,7$ meq/kg TS) führt bei Mehrkalbskühen zu einer Steigerung der Milchleistung um 1,1 kg/Tag (Lean et al., 2019) beziehungsweise um 1,7 kg/Tag (Santos et al., 2019), während sie bei Färsen in einem Abfall der Milchleistung um 1,28 kg/Tag resultiert (Lean et al., 2019). In der vorliegenden Arbeit konnte jedoch ein linearer Zusammenhang zwischen der Verweildauer in der Vorbereitergruppe und der Einsatzleistung von Erstlaktierenden festgestellt werden. Eine Vorbereitungsdauer von 35 bis 36 Tagen war mit der höchsten Einsatzleistung assoziiert. Erstlaktierende mit einer Vorbereitungsdauer von 35 Tagen hatten eine 3,27 kg höhere Einsatzleistung als Erstlaktierende mit einer Vorbereitungsdauer von 7 Tagen (**Abbildung 15**). Vieira-Neto et al. (2021) konnten bei einer Verlängerung der Verweildauer in der Vorbereitergruppe von 7 auf 28 Tage eine Steigerung der Milchleistung von 1,5 kg/Tag bei Erstlaktierenden zeigen, wobei diese Verlängerung der Vorbereitungsdauer auch bei den Mehrkalbskühen mit einem Anstieg der Milchleistung um 3,5 kg/Tag assoziiert war. Die Milchleistung erreichte sowohl bei den Erstlaktierenden als auch bei den Mehrkalbskühen bei einer Vorbereitungsdauer von 24 bis 25 Tagen ein Plateau (Vieira-Neto et al., 2021). In einer weiteren Studie stieg die Einsatzleistung der Erstlaktierenden bis zu einer Vorbereitungsdauer von 28 Tagen an, wohingegen die Einsatzleistung der Mehrkalbskühe einen kontinuierlichen Anstieg bis zu einer Vorbereitungsdauer von 45 Tagen aufwies (Chebel, 2021). Ein großer Unterschied zu der vorliegenden Arbeit besteht in den beiden zuletzt genannten Studien jedoch darin, dass die Färsen während der Vorbereitungsdauer keine Anionenration erhielten. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit werden durch die Studie von DeGaris et al. (2008) unterstützt, welche bei einer zunehmenden Verweildauer in der Vorbereitergruppe auch eine lineare Steigerung der Fett- und Protein-korrigierten Milchmenge nachweisen konnten. In der vorliegenden Arbeit

verzeichneten Kühe mit einer Vorbereitungsdauer von 26 Tagen die höchste Einsatzleistung. Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer von 26 Tagen hatten eine 2,90 kg höhere Einsatzleistung als Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer von 7 Tagen. Ein Plateau der Milchleistung konnte bei einer Vorbereitungsdauer von 22 bis 29 Tagen beobachtet werden. Wobei jedoch bei einer Vorbereitungsdauer über 29 Tage hinaus die Einsatzleistung der Mehrkalbskühe wieder leicht abfiel (**Abbildung 16**). Dies könnte dadurch erklärt werden, dass in den untersuchten Betrieben zum größten Teil die Vorbereitergruppen Tiefstreuställe darstellten und kranke, vor allem lahme Kühe vermutlich frühzeitiger in diese Gruppen umgestallt wurden. So kann eine Lahmheit zu einer Beeinträchtigung der Milchleistung führen (Rajala-Schultz et al., 1999a, Green et al., 2002, Hernandez et al., 2002). Aber auch metabolische Stoffwechselstörungen, wie die Ketose (Dohoo and Martin, 1984, Rowlands and Lucey, 1986, Rajala-Schultz et al., 1999a) und klinische Hypocalcämie (Rajala-Schultz et al., 1999a, Venjakob et al., 2018) führen zu einem Abfall der Milchleistung. Einen negativen Effekt auf die Milchleistung hat auch eine Nachgeburtshaltung sowie eine akute puerperale Metritis (Rajala and Gröhn, 1998). Vorerkrankungen, welche schon vor der Kalbung zu einer verringerten Trockenmasseaufnahme führen, können die Milchkuh für peripartale Erkrankungen prädisponieren (Proudfoot and Huzzey, 2017). So weisen Kühe, welche nach der Kalbung eine Metritis (Huzzey et al., 2007, Pérez-Báez et al., 2019a), eine Mastitis oder eine Ketose (Pérez-Báez et al., 2019b) entwickeln, im Vergleich zu gesunden Kühen schon vor der Kalbung eine geringere Trockenmasseaufnahme auf (Huzzey et al., 2007, Pérez-Báez et al., 2019a). Des Weiteren steigt für vorerkrankte Kühe das Risiko für eine unzureichende Adaptation des Calcium- und Energiestoffwechsel (Proudfoot and Huzzey, 2017) und folglich das Risiko an einer Hypocalcämie (Goff and Horst, 1997b, Goff, 2006) oder Ketose (Herdt, 2000) zu erkranken. Mithilfe des Ausschlusses aller Tiere, welche eine Vorbereitungsdauer > 42 Tage verzeichneten, sollte dieser Einfluss von möglicherweise vorerkrankten Tieren minimiert werden. Eine weitere Erklärung für den Abfall der Milchleistung bei einer langen Vorbereitungsdauer wäre die erhöhte Wahrscheinlichkeit für eine Zunahme des BCS aufgrund einer langen Vorbereitungsdauer (Chebel et al., 2018). Dies kann mit einer stärkeren Depression der Trockenmasseaufnahme einhergehen und folglich mit einem erhöhten Risiko für eine überschießende Lipolyse nach Kalbung verbunden sein (Grummer, 1993, Rukkwamsuk et al., 1999, Weber et al., 2015, Schuh et al., 2019). Entsprechend kann das Risiko für das Auftreten einer infektiösen oder metabolischen Erkrankung erhöht sein (Wensing et al., 1997, Rukkwamsuk et al., 1999, Bobe et al., 2004). Kühe mit einer adäquaten Trockenmasseaufnahme sind in der Lage das Ausmaß der Lipolyse moderat zu halten und die Milchproduktion möglichst schnell zu steigern (Ingvarsen, 2006). Im Gegensatz dazu steht die Studie von Wu et al. (2014), welche zwischen einer Vorbereitungsdauer von 3, 4 oder 6 Wochen keinen Unterschied der Milchleistung feststellen konnten.

Die geringere Milchleistung aufgrund einer kurzen Vorbereitungsdauer sowohl bei den Erstlaktierenden als auch Mehrkalbskühen könnte mit einem erhöhten Stressniveau assoziiert sein. In 6 von 18 Betrieben war, abgesehen von der Umstallung zur Kalbung in einen dafür vorgesehenen Abkalbestall, eine Umstallung der Tiere während der Vorbereitungsdauer (\approx 1 bis 10 Tage) fest in das Transitzuhmanagement etabliert. Zudem stellte in 16 von 18 Betrieben der Abkalbestall eine Gruppenhaltung von 1 bis 15 Tieren dar (siehe 3.1.1.2 Vorbereiter). Die zeitlich exakte Umstallung in die Abkalbeställe sowie die Verweildauer der Tiere in diesen Abkalbeställen wurde nicht erfasst. Eine Umstallung in eine neue Gruppe bedeutet für die Kühe sozialen Stress, denn die Rangordnung muss erneut hergestellt werden. Gruppenbewegungen, welche zeitnah zur Kalbung stattfinden, können aufgrund des damit verbundenen Stressniveaus zu einer verringerten Trockenmasseaufnahme, Liegezeit sowie Milchproduktion führen (Grant and Albright, 1995, Bøe and Færevik, 2003, Schirmann et al., 2011, Jones and Kammel, 2017). Zur Optimierung der Trockenmasseaufnahme sollte eine Umstallung 2 bis 7 Tage vor der Kalbung vermieden werden (Cook and Nordlund, 2004b, Nordlund, 2006, Schirmann et al., 2011, Cook, 2019a). Des Weiteren haben Kühe, welche eine Verweildauer von 3 bis 10 Tagen im Abkalbestall aufweisen, ein doppelt so hohes Risiko für das Ausscheiden aus der Herde bis zum 60 Tag p.p. sowie für das Auftreten von Ketose und Labmagenverlagerungen. Deshalb sollten die Tiere nach einer Umstallung in eine neue Gruppe innerhalb weniger als 2 Tagen abkalben oder bereits mehr als 10 Tage oder besser sogar bis zu 20 Tage vor ihrer Kalbung umgestallt werden (Cook and Nordlund, 2004b, Nordlund, 2006). In der vorliegenden Arbeit haben Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer von 1 bis 6 Tagen ein erhöhtes Risiko innerhalb der ersten 60 Tage in Milch gemerzt zu werden (**Abbildung 20**).

Zudem wurde vor allem in den untersuchten Früh trockensteher- und Vorbereitergruppen eine hohe Belegungsdichte ermittelt. Hinsichtlich des Fressplatzangebots bedeutete dies, dass in nur 3 von 16 Früh trockenstehergruppen und in 9 von 24 Vorbereitergruppen das Fressplatzangebot als angemessen betrachtet werden konnte (**Tabelle 10**). Die daraus resultierende Konkurrenz um Futter, Wasser und Liegeplätze erhöht das Stresslevel und hat negative Auswirkungen vor allem für rangniedrige, kleinere und jüngere Färsen und Kühe auf ihre Gesundheit und Leistung (Cook and Nordlund, 2004b, Dann, 2017, Jones and Kammel, 2017, Nydam et al., 2017, Cook, 2019a, Grant et al., 2019). Durch ein angemessenes Fressplatzangebot wird nicht nur das synchrone Gruppenverhalten der Kühe gewährleistet, sondern vielmehr ein permanent freier Zugang zu Futter für alle Kühe, auch für rangniedere oder jüngere Tiere, ermöglicht. Dadurch kann der Kuhkomfort optimiert und der Rückgang der Trockenmasseaufnahme im Zeitraum um die Kalbung und folglich das Risiko für metabolische Stoffwechselstörungen minimiert werden (Jones and Kammel, 2017, DeVries, 2019).

Vermutlich kann ein optimales Stalldesign, insbesondere die zur Verfügung stehende Liegefläche und das vorhandene Fressplatzangebot, die negativen Auswirkungen von Umstellungen reduzieren (Cook, 2019a). So konnten Talebi et al. (2014) zeigen, dass eine geringe Belegungsdichte die negativen Effekte von Umstellungen verringern kann.

Weitere Studien konnten durch eine Fütterungsdauer von 21 Tagen eine Steigerung der Milchleistung nachweisen (Siciliano-Jones et al., 2008, DeGroot et al., 2010, Weich et al., 2013). In der Mehrheit der Studien konnte eine quadratische Assoziation der Vorbereitungsdauer auf die Gesundheit und Leistung der Milchkühe mit einem optimalen Zeitraum von 21 bis 28 Tagen beobachtet werden. Einige Autoren begründeten die Verbesserung der Leistung und Gesundheit in der nachfolgenden Laktation aufgrund der längeren Fütterungsdauer einer Vorbereiterration, welche die Proteinversorgung der Milchkühe sicherstellt (DeGaris et al., 2008, Vieira-Neto et al., 2021). Es ist bekannt, dass eine ausreichende Zufuhr von metabolisierbarem Protein während der Trockenstehperiode die Leistung und Gesundheit der Milchkühe positiv beeinflusst (Curtis et al., 1985, Van Saun, 1991, Grummer, 1995). Für die Entwicklung der Milchdrüse und das fetale Wachstum benötigt die Milchkuh in den letzten Trächtigtkeitswoche zusätzlich metabolisierbares Protein (Bell et al., 2000). Durch die antepartale Steigerung der körpereigenen Proteinreserven ist die Transitkuh in der Lage diese während der nachfolgenden Laktation zu nutzen und die Inzidenz für metabolische Stoffwechselstörungen zu minimieren (Van Saun, 1991, Bell, 1995, Grummer, 1995). Folglich kann die Vermutung aufgestellt werden, dass aufgrund der Verlängerung der Vorbereitungsdauer die Nährstoffzufuhr für die Mammogenese sichergestellt wurde und dies unter anderem die Steigerung der Milchleistung bedingt (Vieira-Neto et al., 2021).

5.4.3 Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den Fett-Eiweiß-Quotient

Es konnte kein signifikanter Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den FEQ der Erstlaktierenden nachgewiesen werden. Jedoch konnte für die Mehrkalbskühe ein linearer Zusammenhang zwischen der Verweildauer in der Vorbereitergruppe und dem FEQ gezeigt werden. Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer von 7, 21 und 35 Tagen hatten einen Fett-Eiweiß-Quotienten von 1,31, 1,35 und 1,37 (**Abbildung 17**). Wie bereits erwähnt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass Tiere mit einer Vorerkrankung früher in die Vorbereitergruppen umgestallt wurden und folglich eine lange Verweildauer in dieser Gruppe verzeichneten. Kühe, welche an einer Metritis (Huzzey et al., 2007, Pérez-Báez et al., 2019a), Mastitis (Fogsgaard et al., 2012, Pérez-Báez et al., 2019b), Klauenerkrankung (Almeida et al., 2008, González et al., 2008) oder Ketose (González et al., 2008, Goldhawk et al., 2009, Pérez-Báez et al., 2019b) erkranken, zeigen eine reduzierte Trockenmasseaufnahme. Die erhöhten NEFAs im Blut

während der NEB werden in der Milchdrüse in die Fettsynthese eingeschleust (Bauman and Griinari, 2001). Folglich steigt während der postpartalen NEB der Milchfettgehalt, während der Proteingehalt in der Milch sinkt. Aufgrund dessen kann der FEQ für die Beurteilung des Ausmaßes der NEB und zur Abschätzung des Risikos für metabolische Stoffwechselerkrankungen herangezogen werden (Duffield et al., 1997, Heuer et al., 1999, Toni et al., 2011). Es ist möglich, dass der leichte Anstieg des FEQ bei einer langen Vorbereitungsdauer durch Tiere, welche an Vorerkrankungen litten, bedingt war. Mithilfe des Ausschlusses aller Tiere, welche eine Vorbereitungsdauer > 42 Tage verzeichneten, sollte dieser Einfluss von möglicherweise vorerkrankten Tieren minimiert werden. Gemäß dem Zielwert von 3,0 für Kühe (Garnsworthy, 2006, Roche et al., 2013) kann von einer leichten Überkonditionierung der Mehrkalbskühe zur Kalbung in den untersuchten Betrieben gesprochen werden (**Abbildung 5**). Aufgrund des größeren Rückgangs der TM-Aufnahme während der Transitperiode befinden sich überkonditionierte Kühe in einer schwereren NEB (Heuer et al., 1999, Hoedemaker et al., 2009). Dies könnte ein weiterer Grund für einen erhöhten FEQ in der Milch sein (Heuer et al., 1999, Toni et al., 2011).

Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von DeGaris et al. (2008). Die Autoren beschreiben bei steigender Vorbereitungsdauer eine signifikante Reduktion des Fettgehaltes in der Milch, während der Proteinertrag (kg/Tag) signifikant ansteigt, mit einem Optimum bei einer Vorbereitungsdauer von 22 Tagen.

In 3 weiteren Studien konnte kein signifikanter Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den Fett- und Proteingehalt in der Milch festgestellt werden (Weich et al., 2013, Wu et al., 2014, Lopera et al., 2018).

Demnach scheint es weiterhin Klärungsbedarf zu geben und es sind weitere Studien notwendig.

5.4.4 Einfluss der Vorbereitungsdauer auf den somatischen Zellgehalt

In der vorliegenden Arbeit ist eine Vorbereitungsdauer ≥ 22 Tagen mit einem Anstieg des somatischen Zellgehaltes bei den Erstlaktierenden assoziiert (**Abbildung 18**). Zudem weisen auch Mehrkalbskühe mit einer langen Verweildauer in der Vorbereitergruppe zur ersten MLP einen höheren somatischen Zellgehalt auf (**Abbildung 19**). Die Ergebnisse lassen sich zum Teil dadurch erklären, dass eine hohe Milchleistung einen Risikofaktor für das Auftreten von Mastitis darstellt (Schukken et al., 1991, Vieira-Neto et al., 2021). Vieira-Neto et al. (2021) und DeGaris et al. (2010a) konnten bei steigender Vorbereitungsdauer ein erhöhtes Risiko für Mastitis bei den Jungkühen als auch Mehrkalbskühen nachweisen. Jedoch besteht zwischen der Vorbereitungsdauer und dem Mastitisrisikos der Mehrkalbskühe eine quadratische Assoziation, wodurch der Zusammenhang zwischen der Milchleistung und dem erhöhten

Mastitisrisiko der Mehrkalbskühe in der Studie offensichtlicher ist. In der vorliegenden Arbeit steigt der Zellgehalt der Mehrkalbskühe bei einer langen Vorbereitungsdauer trotz leicht abfallender Einsatzleistung an. Eine Erklärung könnte die verlängerte Haltung auf Tiefstreu während der Vorbereitungsdauer sein. Unter schlechten hygienischen Verhältnissen trägt dies zu einer erhöhten Neuinfektionsrate während des Trockenstehens bei. Die intramammäre Neuinfektionsrate ist zum Zeitpunkt des Trockenstellens und der späten Trockenstehzeit, in welcher die Kolostrogenese stattfindet, am größten (Bradley and Green, 2004). In der Feldstudie von Zimmermann (2017) konnte eine eindeutige Beziehung zwischen sauberen Liegeflächen in der Trockenstehzeit und der Herdenprävalenz von subklinischen Streptokokkenmastitiden gezeigt werden. Durch eine saubere Umgebung und Liegefläche während der Trockenstehperiode und zur Abkalbung kann die Infektionsgefahr mit umweltassoziierten äskulinpositiven Streptokokken minimiert werden (Hogan and Smith, 2012). Zudem stellt die Verwendung von Tiefstreu im Liegebereich während der Trockenstehperiode und des Geburtszeitraumes möglicherweise einen Risikofaktor für eine erhöhte Prävalenz von klinischen sowie auch subklinischen Mastitiden dar (Anacker, 2010, Hogan and Smith, 2012, Krömker et al., 2012, Zimmermann, 2017). In einem Tiefstreustall kann eine Verschmutzung der Umgebung und der Kühe und folglich eine erhöhte Keimbelastung nur vermieden werden, wenn das Ausmisten in regelmäßigen Abständen stattfindet (O'Reilly et al., 2006). Des Weiteren könnte die Überbelegung in vielen der untersuchten Vorbereitergruppen zu einer erhöhten Keimbelastung geführt haben. Eine unzureichende Umwelthygiene stellt einen wichtigen Risikofaktor für die Prävalenz von subklinischen als auch klinischen Mastitiden dar (Bartlett et al., 1992, Faye et al., 1994, Dufour et al., 2011). Es könnte für die Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer > 29 Tage ein Zusammenhang zwischen der Eutergesundheit und dem Abfall der Milchleistung bestehen. Im Widerspruch zu den vorliegenden Ergebnissen stehen zwei Studien, in denen durch die Fütterung einer Anionenration über einen Zeitraum von 21 Tagen (Weich et al., 2013) bzw. 28 Tagen (Glosson et al., 2020) eine Reduktion des somatische Zellgehalt in der Milch erreicht werden konnte.

5.4.5 Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Totgeburtenrate

Es konnte weder bei den Erstlaktierenden noch bei den Mehrkalbskühen ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Vorbereitungsdauer und dem Risiko für eine Totgeburt festgestellt werden (**Tabelle 27**; **Tabelle 28**). In der Studie von Weich et al. (2013) wurde die Schweregeburtenrate weder durch die Fütterung einer Anionenration an sich noch durch eine Verlängerung der Fütterungsdauer einer Anionenration beeinflusst.

In allen anderen Studien, welche zur Evaluierung der antepartalen Fütterungsdauer einer Anionenration und deren Auswirkungen durchgeführt wurden, sind Kalbedaten wie Tot- oder Schweregeburten nicht erfasst worden. Demnach ist die aktuelle Studienlage über die optimale Vorbereitungsdauer hinsichtlich der Totgeburtenrate sehr gering und es sind weitere Studien notwendig.

5.4.6 Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Merzungsrate in der Früh-laktation

Die Vorbereitungsdauer hat keinen signifikanten Einfluss auf die Merzungsrate innerhalb der ersten 60 Tage in Milch für Jungkühe ($P = 0,876$; **Tabelle 29**). Der Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Merzungsrate der Mehrkalbskühe war signifikant ($P = 0,025$; **Tabelle 30**). Die Mehrkalbskühe verzeichnen bei einer kurzen Vorbereitungsdauer eine geringere Einsatzleistung und das Merzungsrisiko ist bei einer Verweildauer von 1 bis 6 Tagen in der Vorbereitergruppe am größten (**Abbildung 20**). Der größte Anteil der Kühe verlässt die Herde aufgrund von Merzungen. Eine weitverbreitete Ursache für Merzungen ist, neben einer beeinträchtigten Gesundheit und Fruchtbarkeit der Milchkuh, eine geringe Milchleistung. Eine geringe Milchleistung ist häufig eine Folge von Erkrankungen (Martin et al., 1982, Pinedo et al., 2010). So führen metabolische Stoffwechselstörungen, wie die Ketose (Dohoo and Martin, 1984, Rowlands and Lucey, 1986, Rajala-Schultz et al., 1999a) und klinische Hypocalcämie (Rajala-Schultz et al., 1999a, Venjakob et al., 2018) zu einer Beeinträchtigung der Milchleistung. Weiterhin haben auch Nachgeburtshaltungen (Lucey et al., 1986, Rajala and Gröhn, 1998), Mastitiden (Janzen, 1970, Rajala-Schultz et al., 1999b), Labmagenverlagerungen (Martin et al., 1978, Dohoo and Martin, 1984) oder Klauenerkrankungen (Rajala-Schultz et al., 1999a, Green et al., 2002, Hernandez et al., 2002) einen negativen Effekt auf die Milchleistung. In 16 von 18 Betrieben stellte der Abkalbestall eine Gruppenhaltung von 1 bis 15 Tieren dar (siehe 3.1.1.2 Vorbereiter). Die zeitlich exakte Umstallung in die Abkalbeställe sowie die Verweildauer der Tiere in diesen Abkalbeställen wurde nicht erfasst. Kühe, welche eine Verweildauer von 3 bis 10 Tagen im Abkalbestall aufweisen, besitzen ein doppelt so hohes Risiko für das Ausscheiden aus der Herde bis zum 60 Tag p.p. sowie für das Auftreten von Ketose und Labmagenverlagerungen. Deshalb sollten die Tiere nach einer Umstallung in eine neue Gruppe innerhalb weniger als 2 Tagen abkalben oder bereits mehr als 10 Tage oder besser sogar bis zu 20 Tage vor ihrer Kalbung umgestallt werden (Cook and Nordlund, 2004b, Nordlund, 2006).

Aktuell ist die Studienlage über die optimale Vorbereitungsdauer beim Einsatz saurer Salze bezüglich des Merzungsrisikos sehr gering. Es wurde erst eine Studie durchgeführt, welche

den Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Merzungsrate in der Früh lactation untersucht hat. Die Autoren konnten bei einer Verlängerung der Vorbereitungsdauer von 21 auf 42 Tagen keinen Einfluss auf das Merzungsrisiko innerhalb 42 und 305 Tage in Milch für Mehrkalbskühe feststellen. Zudem konnte auch keine Assoziation zwischen der DCAD (-70 oder -180 meq/kg TS) und dem Risiko für Merzungen beobachtet werden (Lopera et al., 2018). Eine weitere Studie hat den Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Merzungsrate innerhalb 300 Tage in Laktation analysiert. Die Autoren beschreiben das geringste Risiko für einen vorzeitigen Abgang aus der Herde für Jungkühe und Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer von 15 bis 28 Tagen. Tiere mit einer Verweildauer von 20 Tagen in der Vorbereitergruppe hatten das geringste Risiko gemerzt zu werden (Vieira-Neto et al., 2021). Chebel (2021) konnte zeigen, dass Jungkühe als auch Mehrkalbskühe mit einer Fütterungsdauer ≤ 10 Tagen ein deutlich erhöhtes Merzungsrisiko innerhalb 300 Tage in Laktation aufweisen. In den beiden zuletzt genannten Studien erhielten die Jungkühe jedoch während der Vorbereitungsphase keine Anionenration.

5.4.7 Einfluss der Vorbereitungsdauer auf die Gützeit

In der vorliegenden Arbeit konnte weder bei Alt- noch bei Jungkühen ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Vorbereitungsdauer und der Länge der Gützeit innerhalb 150 Laktationstagen festgestellt werden (**Tabelle 31**; **Tabelle 32**). Lopera et al. (2018) konnten bei einer Verlängerung der Vorbereitungsdauer von 21 auf 42 Tage eine Tendenz für eine verlängerte Gützeit aufgrund eines reduzierten Besamungsindex zeigen. Vieira-Neto et al. (2021) konnten nachweisen, dass bei einer zunehmenden Vorbereitungsdauer der Erstbesamungserfolg sinkt. Jedoch bestand zwischen der Trächtigkeitsrate und der Vorbereitungsdauer eine quadratische Assoziation. So stieg mit zunehmender Verweildauer in der Vorbereitungsdauer zunächst die Wahrscheinlichkeit für eine Trächtigkeit innerhalb 300 Tage in Milch, während die Anzahl tragender Tiere bei einer längeren Vorbereitungsdauer ≥ 42 Tage wieder abnahm. DeGaris et al. (2010a) konnten keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Vorbereitungsdauer und dem Erstbesamungserfolg herausfinden. Es konnte jedoch eine lineare Assoziation zwischen der Verweildauer in der Vorbereitergruppe und der Trächtigkeitsrate, welche jedoch stark von dem jeweilig untersuchten Betrieb abhängig war, gezeigt werden.

Demnach besteht weiterhin Klärungsbedarf über die optimale Vorbereitungsdauer beim Einsatz saurer Salze hinsichtlich der Fruchtbarkeit der Milchkuh.

5.5 Schlussfolgerungen

Wie werden Fütterungs- und Haltungsempfehlungen im Rahmen des Transitkuhmanagements in der Praxis umgesetzt?

- In 50 % (12/24) der untersuchten Vorbereitergruppen war die Stallfläche pro Tier nicht ausreichend.
- In einem Großteil der Transitgruppen war kein adäquates Fressplatzangebot pro Tier bzw. Tier-Fressplatz-Verhältnis vorhanden:
 - In 75 % (12/16) der Frühlaktgruppen
 - In 52,5 % (15/24) der Vorbereitergruppen
 - In 50 % (9/18) der Frischmelkergruppen
- In 75 % (43/57) der untersuchten Transitgruppen stand den Tieren keine ausreichende Wasserversorgung zur Verfügung. In 46 % (26/57) der untersuchten Gruppen lag das Tränkeplatzangebot pro Tier ≤ 5 cm.
- Die Vorbereiter und Frischmelker hatten keinen permanenten Zugang zu Futter. Die Dauer des Futterentzuges war sehr lang. Nur in vereinzelt Vorbereiter- und Frischmelkergruppen (1/18 und 2/13) konnte den Tieren ein nahezu permanenter Futterzugang gewährleistet werden.
- In 23 von 34 untersuchten Transitgruppen fand keine Futterselektion statt.
- In nur 2 von 18 Milchviehbetrieben wurden vom Betriebspersonal regelmäßige Harn-pH-Messungen zur Kontrolle der Ansäuerung durchgeführt.
- Insgesamt lag in nur 6 von 18 untersuchten Herden der durchschnittliche Harn-pH zu beiden Untersuchungszeitpunkten in dem Zielbereich von 5,8 bis 7,0. Es konnte in den untersuchten Vorbereitergruppen eine große Variation der pH-Werte sowohl innerhalb einer wöchentlichen Stichprobe ($n \geq 12$ Tiere) als auch zwischen den wöchentlichen Stichproben festgestellt werden.
- In 4 von 18 Herden war die Prävalenz hypocalcämischer Tiere als problematisch einzuordnen ($> 41,7\%$). In der Gesamtheit der untersuchten Milchviehbetrieben ($n = 18$) betrug die Prävalenz der Hypocalcämie ($< 2,0$ mmol/L) 32,8 % (63/192).
- In 13 von 18 Milchviehherden wiesen ≥ 25 % der beprobten Tiere eine erhöhte BHB-Konzentration auf. Die Prävalenz erhöhter BHB-Konzentrationen im Blut ($> 1,2$ mmol/L) betrug in der Gesamtheit der Betriebe 38,4 % (89/232).

Einfluss der Vorbereitungsdauer beim Einsatz saurer Salze

- Die Vorbereitungsdauer hatte einen signifikanten Einfluss auf die Einsatzleistung:
 - Bei Erstlaktierenden bestand ein linearer Zusammenhang zwischen der Verweildauer in der Vorbereitergruppe und der Einsatzleistung. Eine Vorbereitungsdauer von 35 bis 36 Tagen war mit der höchsten Einsatzleistung (35,45 kg/Tag; 35,43 kg/Tag) assoziiert. Jungkühe mit einer Vorbereitungsdauer von 35 Tagen hatten eine um 3,47 kg höhere Einsatzleistung im Vergleich zu Jungkühen mit einer Vorbereitungsdauer von 7 Tagen.
 - Die Vorbereitungsdauer hatte einen quadratischen Effekt auf die Einsatzleistung der Mehrkalbskühe. Kühe mit einer Vorbereitungsdauer von 26 Tagen hatten die höchste Einsatzleistung (41,64 kg \pm 0,33 SEM). Kühe mit einer Vorbereitungsdauer von 26 Tagen hatten eine 2,90 kg höhere Einsatzleistung im Vergleich zu Tieren mit einer Verweildauer von < 7 Tagen. Hinsichtlich der Einsatzleistung ist für Mehrkalbskühe eine Vorbereitungsdauer von 22 bis 29 Tagen als optimal anzusehen.
- Mehrkalbskühe mit einer langen Vorbereitungsdauer verzeichneten einen höheren Fett-Eiweiß-Quotienten.
- Erstlaktierende und Mehrkalbskühe mit einer langen Vorbereitungsdauer verzeichneten einen höheren Gehalt an somatischen Zellen in der Milch.
- Die Vorbereitungsdauer hatte weder bei Erstlaktierenden noch bei Mehrkalbskühen einen signifikanten Einfluss auf das Risiko für eine Totgeburt.
- Die Vorbereitungsdauer hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Merzungsrate innerhalb der ersten 60 Laktationstagen für Erstlaktierende.
- Das höchste Risiko innerhalb 60 Tage in Milch gemerzt zu werden, verzeichneten Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer von 1 bis 6 Tagen.
- Zwischen der Vorbereitungsdauer und der Länge der Gützeit innerhalb 150 Tage p.p. bestand weder bei den Jungkühen noch bei den Mehrkalbskühen ein signifikanter Zusammenhang.
- ➡ Eine kurze Vorbereitungsdauer sollte zur Steigerung der Einsatzleistung und Minimierung des Merzungsrisikos der Mehrkalbskühe vermieden werden. Wiederum hat eine lange Vorbereitungsdauer (> 30 Tage) negative Effekte auf die Einsatzleistung und Milchinhaltstoffe der Mehrkalbskühe und auf den Zellgehalt in der Milch bei Erstlaktierenden und Mehrkalbskühen.

6. Zusammenfassung

Untersuchungen zum Transitkuhmanagement in ostdeutschen Milchviehbetrieben sowie zum Einfluss der Vorbereitungsdauer unter Einsatz saurer Salze auf die Gesundheit und Leistung von Milchkühen in der Früh lactation

Mit dem ersten Abschnitt der Arbeit sollte ein Einblick in die Fütterung, Haltung und das Managements von Transitzühen in deutschen Milchviehbetrieben gegeben werden. Zu diesem Zweck wurde das Transitzühmanagement beim Einsatz saurer Salze in 18 ostdeutschen Milchviehbetrieben untersucht. Jeder Betrieb wurde zweimal im Abstand von 14 Tagen besucht. Während der zwei Betriebsbesuche fand in den 18 Betrieben eine eingehende Charakterisierung statt. Im Rahmen dessen wurde neben den allgemeinen Betriebsdaten, (1) die Haltung, (2) die Stallform, (3) die Fütterung und (4) die Tiergesundheit von trockenstehenden Kühen, hochtragenden Färsen und Frischmelkern beurteilt. Dafür wurde in den Milchviehbetrieben unter anderem die Belegungsdichte in den Transitzügruppen bestimmt. Weiterhin wurde in jedem Betrieb bei mindestens 12 Tieren in der Vorbereitergruppe die pH-Werte, Netto-Säuren-Basen-Ausscheidungen (NSBA) und die Calciumkonzentrationen im Harn sowie die NEFA- und BHB-Konzentrationen im Blut analysiert. Zur Überwachung des Fütterungsmanagements wurde die TMR bezüglich der Inhaltsstoffe, Misch- und Verteilungsgenauigkeit analysiert, die Futterselektion sowie die Trockenmasseaufnahme in den Transitzügruppen bestimmt. Des Weiteren wurde zur Überprüfung des Futtertischmanagements in den Gruppen der Vorbereiter und Frischmelker eine Zeitrafferkamera installiert. Es konnten einige praxisrelevante Schwachstellen des Herdenmanagements aufgedeckt werden. Im Rahmen der betriebseigenen Kontrolle und Überwachung des Einsatzes saurer Salze besteht großer Handlungsbedarf. Es ist dringend notwendig, die Ansäuerung der Vorbereiterkühe mittels regelmäßiger Harn-pH-Kontrollen zu überprüfen. Dies erfolgte in nur 2 von 18 untersuchten Milchviehbetrieben. Die fehlende Überwachung der Ansäuerung spiegelte sich deutlich in den pH-Werten, der NSBA und den Calciumkonzentrationen im Harn wider. In nur 6 der 18 untersuchten Herden lag der durchschnittliche Harn-pH zu beiden Untersuchungszeitpunkten in dem Zielbereich von 5,8 bis 7,0. Des Weiteren konnte in den untersuchten Vorbereitergruppen eine große Variation der pH-Werte sowohl innerhalb einer wöchentlichen Stichprobe ($n \geq 12$ Tiere) als auch zwischen den wöchentlichen Stichproben festgestellt werden.

Außerdem waren mehr als 50 % der untersuchten Vorbereitergruppen überbelegt, wodurch den Tieren kein adäquates Angebot an Fressplatz, Tränkeplatz und Liegeplatz zur Verfügung stand. Durch die Auswertungen der Zeitrafferkameras konnte gezeigt werden, dass die Tiere in den Transitzügruppen keinen permanenten Zugang zu Futter hatten und dass die Dauer des Futterentzuges sehr lang war. Nur in vereinzeltten Vorbereiter- und Frischmelkergruppen (1/18

und 2/13) konnte den Tieren ein nahezu permanenter Futterzugang gewährleistet werden. Zudem war die Wasserversorgung in 75 % der untersuchten Transitgruppen (43/57) nicht ausreichend. Die daraus resultierende Konkurrenz um Futter, Wasser und Liegeplätze kann zu einem erhöhten Stresslevel führen und negative Auswirkungen vor allem für rangniedrige, kleinere und jüngere Färsen und Kühe auf ihre Gesundheit und Leistung haben. In 16 Betrieben stellten die Abkalbeställe Gruppenhaltung von 2 bis 15 Tieren dar. Zudem war in 6 Betrieben, abgesehen von der Umstallung zur Kalbung in einen dafür vorgesehenen Abkalbestall, eine Umstallung der Tiere während der Vorbereitungsdauer (≈ 1 bis 10 Tage) fest in das Transitkuhmanagement etabliert. Diese können aufgrund des damit verbundenen Stressniveaus zu einer verringerten Trockenmasseaufnahme, Liegezeit sowie Milchproduktion führen.

Die Prävalenz der Hypocalcämie ($< 2,0$ mmol/L) betrug in der Gesamtheit der untersuchten Milchviehbetrieben ($n = 18$) 32,8 % (63/192). In 4 von 18 Herden war die Prävalenz hypocalcämischer Tiere als problematisch einzuordnen ($> 41,7\%$).

Die erhöhte Prävalenz der subklinischen Ketose in den untersuchten Betrieben (38,4 %) lag über den Angaben der internationalen Literatur.

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass der Einsatz saurer Salze zur Optimierung der peripartalen Calciumhomöostase hohe Anforderungen an das Herdenmanagement, insbesondere im Rahmen der Haltung und Fütterung, stellt. Bei der Anwendung einer Anionenration ist die wöchentliche Bestimmung des Harn-pH zur Kontrolle des erreichten Ansäuerungsgrades in der Herdenüberwachung von großer Wichtigkeit. Dem Herdenmanagement wird auch bezüglich der Ketoseprävalenz eine große Wichtigkeit zugeschrieben. Deshalb sollte die Aufmerksamkeit vor allem, durch permanenten Futterzugang sowie Minimierung des sozialen und umweltbedingten Stressniveaus der Tiere, auf der Optimierung der Trockenmasseaufnahme und Energiezufuhr liegen. Mit dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass im Rahmen des Transitkuhmanagement beim Einsatz saurer Salze in ostdeutschen Milchviehbetrieben Optimierungsbedarf besteht.

Das Ziel des zweiten Teils der Arbeit war es herauszufinden, inwieweit beim Einsatz saurer Salze die Verweildauer in der Vorbereitungsgruppe die Tiergesundheit und Milchleistung in der nachfolgenden Laktation beeinflusst. Während des Beobachtungszeitraumes, haben in den 18 untersuchten Betrieben 20.373 Tiere gekalbt. In die finale statistische Auswertung wurden insgesamt 13.314 Tieren (3.871 Jungkühe und 9.443 Altkühe), eingeschlossen. Es konnte eine große Variation der Vorbereitungsdauer zwischen den Betrieben beobachtet werden. Bei Erstlaktierenden bestand ein linearer Zusammenhang zwischen der Verweildauer in der Vorbereitergruppe und der Einsatzleistung ($P < 0,001$). Eine Vorbereitungsdauer von 35 bis 36 Tagen war mit der höchsten Einsatzleistung (35,45 kg/Tag; 35,43 kg/Tag) assoziiert.

Erstlaktierende mit einer Vorbereitungsdauer von 35 Tagen hatten eine 3,47 kg höhere Einsatzleistung als Erstlaktierende mit einer Vorbereitungsdauer von 7 Tagen. Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer von 26 Tagen verzeichneten die höchste Einsatzleistung (41,64 kg \pm 0,33 SEM). Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer von 26 Tagen hatten eine 2,9 kg höhere Einsatzleistung als Mehrkalbskühe mit einer Vorbereitungsdauer von 7 Tagen. Ein Plateau der Milchleistung konnte bei einer Vorbereitungsdauer von 22 bis 29 Tagen beobachtet werden. Bei einer Vorbereitungsdauer über 29 Tage hinaus nahm die Einsatzleistung der Mehrkalbskühe jedoch wieder leicht ab. Zwischen der Vorbereitungsdauer und dem Fett-Eiweiß-Quotienten der Mehrkalbskühe bestand ein linearer Zusammenhang ($P < 0,001$). Der Fett-Eiweiß-Quotient stieg bei einer langen Vorbereitungsdauer leicht an. Die Vorbereitungsdauer hatte bei Erstlaktierenden ($P = 0,005$) und Mehrkalbskühen ($P = 0,011$) einen signifikanten Einfluss auf den Gehalt an somatischen Zellen in der Milch. Je länger die Verweildauer der Kühe in der Vorbereitergruppe war, desto höher war der somatische Zellgehalt in der Milch am Tag der ersten MLP.

In der vorliegenden Arbeit bestand weder bei den Erstlaktierenden noch bei den Mehrkalbskühen ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Vorbereitungsdauer und dem Risiko für eine Totgeburt. Die Vorbereitungsdauer hatte einen signifikanten Einfluss auf die Merzungsrate innerhalb der ersten 60 Tage in Milch für Mehrkalbskühe ($P = 0,025$). Die Mehrkalbskühe verzeichneten bei einer Verweildauer von 1 bis 6 Tagen in der Vorbereitergruppe das größte Risiko für einen vorzeitigen Abgang.

Es konnte weder bei Alt- noch bei Jungkühen ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Vorbereitungsdauer und der Länge der Gützeit innerhalb der ersten 150 Tage in Milch festgestellt werden.

Eine kurze Vorbereitungsdauer sollte zur Steigerung der Einsatzleistung und Minimierung des Merzungsrisikos der Mehrkalbskühe vermieden werden. Wiederum hat eine lange Vorbereitungsdauer (> 30 Tage) negative Effekte auf die Einsatzleistung und Milchinhaltsstoffe der Mehrkalbskühe und auf den Zellgehalt in der Milch bei Erstlaktierenden und Mehrkalbskühen. Demnach könnte für Mehrkalbskühe eine Vorbereitungsdauer von 22 bis 29 Tagen unter Einsatz saurer Salze als optimal angesehen werden. Für die Färsen besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Vorbereitungsdauer und der Einsatzleistung. Bei den Kühen als auch bei den Färsen sollte eine Vorbereitungsdauer von < 7 Tagen vermieden werden.

7. Summary

Evaluation of transition cow management in East German dairy farms and the association between exposure length to a prepartum negative DCAD diet and health and performance in the subsequent lactation of Holstein dairy cows

The objective of the first part of this study was to evaluate the housing and management practices in the transition period on East German dairy farms with particular focus on farms feeding a negative DCAD in the prepartum diet. Therefore, 18 farms were visited twice 2 weeks apart. We assessed (1) facility design, (2) housing system, (3) feeding management, and (4) animal health of dry cows, high pregnant heifers and fresh cows. Due to that, the stocking density were assessed in the transition groups on the 18 farms. In a subsample of cows (≥ 12) from each farm we evaluated urinary pH, net acid excretion, urinary calcium and blood NEFA, calcium and BHB. For monitoring the feeding management we analyzed the TMR regarding the ingredients, the consistency and mix quality, the sorting of TMR by dairy cows as well as the dry matter intake in the transition groups. Furthermore, a time lapse camera was installed for one week in the close-up pen and the fresh pen to evaluate the feed bunk management. The present study revealed that transition cow management might be improved on the 18 farms enrolled. Particular, monitoring of urinary pH on a weekly basis to control acidification in prepartum cows was adopted only on 2 of 18 dairy farms. The lack of regular monitoring of urinary pH led to a strong variation in urinary pH, net acid excretion and calcium levels. In only 6 of 18 herds, the average urinary pH was within the target range of 5.8 to 7.0 at both sampling times. Urinary pH was varying within the 12 cows sampled at one day, but also across the two farm visits.

In addition, more than 50% of the investigated close-up groups were overcrowded, which meant that the animals did not have an adequate supply of feeding space, water locations and resting space. The evaluations of the time lapse cameras showed that the animals in the transition groups did not have permanent access to feed and that the duration of feed deprivation was quite long. Only in few close-up and fresh groups could (1/18 and 2/13) ensure that the cows did have permanent access to feed. Moreover, the supply with water troughs was insufficient in 75 % of the transition groups (43/57). The resulting competition for feed, water, and resting space may lead to increased stress levels and have negative effects especially for submissive, smaller and younger heifers and cows on their health and performance. In 16 farms, the calving pens represented groups of 2 to 15 cows. In addition, in 6 farms, apart from the move to the calving pen, regroupings during the close-up period (≈ 1 to 10 days a.p.) was firmly established in the transition cow management. These can result in reduced dry matter intake, lying time, as well as milk production due to the associated stress.

The prevalence of hypocalcemia (< 2.0 mmol/L) and subclinical ketosis (BHB > 1.2 mmol/L) was 32.8 % (63/192) and 38.4% (89/232) in 18 dairy herds. In 4 of 18 herds, the prevalence of hypocalcemic cows was classified as problematic (> 41.7 %).

The increased prevalence of subclinical ketosis in the studied herds (38.4 %) is higher than reported in the international literature.

These results show that feeding of anionic diets in the close-up group in order to improve peripartum calcium homeostasis requires appropriate management, especially in the context of facility design and feeding management. Feeding of a negative DCAD diet can be conducted successfully, if urinary pH is assessed routinely, based on a weekly subsample of cows. Herd management is also considered to be of great importance in order to decrease susceptibility to ketosis (e.g., permanent access to feed; minimizing the social and environmental stress). Moreover, dry matter intake must be evaluated regularly to control for sufficient energy intake. The present study shows that there is a need for optimization regarding of transition cow management in Eastern German dairy farms feeding a negative DCAD diet in the close-up group.

The objective of the second part of this study was to evaluate the association between the exposure length to a prepartum negative DCAD diet and milk yield, milk components, reproductive performance and culling risk in the subsequent lactation. During the observation period 20,373 cows were calving on the participating 18 farms. A total of 13,314 animals (3,871 heifers and 9,443 cows) were included in the final statistical analysis. We observed considerable variation of exposure length to negative DCAD diet among farms. For primiparous cows, there was a linear association between days in the close-up group (DINCU) and milk yield at first test day ($P < 0.001$). An exposure length of 35 to 36 days to a negative DCAD diet was associated with the highest milk yield at first test day (35.45 kg/day; 35.43 kg/day). Primiparous cows with 35 DINCU had 3,47 kg higher milk yield at first test day than primiparous cows with 7 DINCU. Multiparous cows with 26 DINCU had the highest milk yield at first test day (41.64 kg \pm 0.33 SEM). Multiparous cows with 26 DINCU had 2,9 kg higher milk yield at first test day than multiparous cows with 7 DINCU. A plateau in milk yield was observed between 22 and 29 DINCU. Beyond 29 DINCU, however, was associated with a mild decrease in milk yield at first test day of multiparous cows. In the present study a linear association ($P < 0.001$) between DINCU and the ratio of fat and protein at first test day in multiparous cows was observed. The ratio of fat and protein increased slightly with extended DINCU. In 3 previous studies, did not detect a significant effect of DINCU on fat and protein content in milk (Weich et al., 2013, Wu et al., 2014, Lopera et al., 2018). There was a significant association between DINCU and somatic cell count at first test day in primiparous ($P = 0.005$)

and multiparous cows ($P = 0.011$). The longer cows stayed in the close-up group, the higher was the linear score at first test.

In the present study, there was no significant association between DINCUC and the risk of stillbirth for either primiparous or multiparous cows. DINCUC had a significant effect on culling within the first 60 days in milk for multiparous cows ($P = 0.025$). Multiparous cows with 1 to 6 DINCUC had the greatest hazard of being culled within the first 60 days in milk.

There was no significant association between DINCUC and days open within the first 150 days in milk for either primiparous or multiparous cows.

A short stay in the close-up group should be avoided to improve milk yield at first test day and to minimize culling risk for multiparous cows. In addition, a long exposure length to negative DCAD diet (>30 d) was associated with detrimental effects on milk production and milk components in multiparous cows and linear score of primiparous and multiparous cows.

Accordingly, for multiparous cows, an exposure length of 22 to 29 days to a negative DCAD diet in the close-up group can be considered as optimal. For heifers, there is a linear association between the DINCUC and milk yield in first test day. For both, cows and heifers, DINCUC of < 7 days should be avoided.

Literaturverzeichnis

Albright, J. and T. Blosser. 1957. Blood levels and urinary excretion of calcium in normal cows and cows with parturient paresis after intravenous injections with calcium borogluconate. *Journal of Dairy Science* 40:477-486.

Ali, A. and G. Shook. 1980. An optimum transformation for somatic cell concentration in milk. *Journal of Dairy Science* 63(3):487-490.

Allen, M., B. Bradford, and M. Oba. 2009. Board-invited review: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *Journal of Animal Science* 87(10):3317-3334.

Allen, M. S. 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *Journal of Dairy Research* 80(7):1447-1462.

Allen, M. S. and P. Piantoni. 2014. Carbohydrate nutrition: managing energy intake and partitioning through lactation. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 30(3):577-597.

Almeida, P., P. Weber, J. Burton, and A. Zanella. 2008. Depressed DHEA and increased sickness response behaviors in lame dairy cows with inflammatory foot lesions. *Domestic animal endocrinology* 34(1):89-99.

Amanlou, H., A. Akbari, N. Farsuni, and N. Silva-del-Río. 2016. Effects of subcutaneous calcium administration at calving on mineral status, health, and production of Holstein cows. *Journal of Dairy Research* 99(11):9199-9210.

Ametaj, B., D. Emmanuel, Q. Zebeli, and S. Dunn. 2009. Feeding high proportions of barley grain in a total mixed ration perturbs diurnal patterns of plasma metabolites in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Research* 92(3):1084-1091.

Anacker, G. 2010. Empfehlungen zur Verbesserung der Eutergesundheit bei Färsen und Kühen: zusammenfassende Darstellung mehrjähriger Untersuchungen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.

Annen, E., R. J. Collier, M. McGuire, J. Vicini, J. Ballam, and M. Lormore. 2004. Effect of modified dry period lengths and bovine somatotropin on yield and composition of milk from dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87(11):3746-3761.

Bach, A., N. Valls, A. Solans, and T. Torrent. 2008. Associations between nondietary factors and dairy herd performance. *Journal of Dairy Research* 91(8):3259-3267.

Bachman, K. and M. Schairer. 2003. Invited review: Bovine studies on optimal lengths of dry periods. *Journal of Dairy Research* 86(10):3027-3037.

Baird, G. D. 1982. Primary ketosis in the high-producing dairy cow: clinical and subclinical disorders, treatment, prevention, and outlook. *Journal of Dairy Science* 65(1):1-10.

Bar, A., R. Perlman, and M. Sachs. 1985. Observation on the use of 1 α -Hydroxyvitamin D3 in the prevention of bovine parturient paresis: the effect of a single injection on plasma 1 α -Hydroxyvitamin D3, 1, 25-Dihydroxyvitamin D3, calcium, and Hydroxyproline. *Journal of Dairy Science* 68(8):1952-1958.

Bartlett, P., G. Miller, S. Lance, D. Hancock, and L. E. Heider. 1992. Managerial risk factors of intramammary infection with *Streptococcus agalactiae* in dairy herds in Ohio. *American Journal of Veterinary Research* 53(9):1715-1721.

Barton, B. A. 1978. Studies of vitamin D, calcium, and phosphorus metabolism of the dairy cow. Master's Thesis. University of Wisconsin.

Bauman, D. E. and 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.

Bauman, D. E. and J. M. Griinari. 2001. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. *Livestock Production Science* 70(1-2):15-29.

Beauchemin, K., L. Eriksen, P. Nørgaard, and L. Rode. 2008. Salivary secretion during meals in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 91(5):2077-2081.

Beck, N. and S. Webster. 1976. Effects of acute metabolic acidosis on parathyroid hormone action and calcium mobilization. *American Journal of Physiology-Legacy Content* 230(1):127-131.

Beede, D., T. Pilbean, S. Puffenbarger, and R. Tempelman. 2001. Peripartum responses of Holstein cows and heifers fed graded concentrations of calcium (calcium carbonate) and anion (chloride) three weeks before calving. *Journal of Dairy Science* 84(Suppl 1):83.

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. and D. E. Bauman. 1997. Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. *Journal of mammary gland biology and neoplasia* 2(3):265-278.

Bell, A. W., W. S. Burhans, and T. R. Overton. 2000. Protein nutrition in late pregnancy, maternal protein reserves and lactation performance in dairy cows. *Proceedings of the Nutrition Society* 59(1):119-126.

Bell, M., E. Wall, G. Russell, D. Roberts, and G. Simm. 2010. Risk factors for culling in Holstein-Friesian dairy cows. *Veterinary Record* 167(7):238-240.

Bender, S., C.-C. Gelfert, and R. Staufenbiel. 2003. Einsatz der Harnuntersuchung zur Beurteilung des Säure-Basen-Haushalts in der Bestandsbetreuung von Milchkuhherden. Tierärztliche Praxis Ausgabe Großtiere/Nutztiere 31(03):132-142.

Berge, A. C. and G. Vertenten. 2014. A field study to determine the prevalence, dairy herd management systems, and fresh cow clinical conditions associated with ketosis in western European dairy herds. Journal of Dairy Science 97(4):2145-2154.

Bertics, S. J., R. R. Grummer, C. Cadorniga-Valino, and E. E. Stoddard. 1992. Effect of prepartum dry matter intake on liver triglyceride concentration and early lactation. Journal of Dairy Research 75(7):1914-1922.

Bewley, J., J. Taraba, D. McFarland, P. Garrett, R. Graves, B. Holmes, D. Kammel, J. Porter, J. Tyson, and S. Weeks. 2013. Guidelines for managing compost bedded-pack barns. The dairy practices council.

Blanc, C. D., M. Van der List, S. S. Aly, H. A. Rossow, and N. Silva-del-Río. 2014. Blood calcium dynamics after prophylactic treatment of subclinical hypocalcemia with oral or intravenous calcium. Journal of Dairy Science 97(11):6901-6906.

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

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

Blum, J., R. Bruckmaier, P. Y. Vacher, A. Ünger, and F. Jans. 2000. Twenty-Four-Hour Patterns of Hormones and Metabolites in Week 9 and 19 of Lactation in High-Yielding Dairy Cows fed Triglycerides and Free Fatty Acids. Journal of Veterinary Medicine Series A 47(1):43-60.

Bobe, G., J. W. Young, and 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.

Boda, J. and H. Cole. 1954. The influence of dietary calcium and phosphorus on the incidence of milk fever in dairy cattle. Journal of Dairy Science 37:360-372.

Bøe, K. E. and G. Færevik. 2003. Grouping and social preferences in calves, heifers and cows. Applied Animal Behaviour Science 80(3):175-190.

Borchardt, S. 2010. Untersuchungen zum Einsatz der NEFA und der BHB zur Stoffwechselüberwachung von Transitzühen unter besonderer Berücksichtigung von gepoolten Serumproben. Vet. Med. Diss. Klinik für Klauentiere. Freie Universität Berlin

Brade, W. 2013. Energy balance of high yielding dairy cows from the perspective of breeding and animal welfare. *Praktische Tierarzt* 94(6):536-544.

Bradford, B. J., K. Yuan, J. K. Farney, L. K. Mamedova, and A. J. Carpenter. 2015. Invited review: Inflammation during the transition to lactation: New adventures with an old flame. *Journal of Dairy Science* 98(10):6631-6650.

Bradley, A. J. and M. J. Green. 2004. The importance of the nonlactating period in the epidemiology of intramammary infection and strategies for prevention. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 20(3):547-568.

Braun, R., G. Donovan, T. Tran, J. Shearer, E. Bliss, D. Webb, D. Beede, and B. Harris. 1986. Body condition scoring dairy cows as a herd management tool. *The Compendium on continuing education for the practicing veterinarian (USA)*.

Bundesamt, S. 2020. Land und Forstwirtschaft, Fischerei - Viehbestand -Vorbericht. Vol. Fachserie 3 Reihe 4.1.

Burgos, M. S., M. Senn, F. Sutter, M. Kreuzer, and W. Langhans. 2001. Effect of water restriction on feeding and metabolism in dairy cows. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 280(2):R418-R427.

Butler, S. T., A. Marr, S. H. Pelton, R. Radcliff, M. C. Lucy, and W. Butler. 2003. Insulin restores GH responsiveness during lactation-induced negative energy balance in dairy cattle: effects on expression of IGF-I and GH receptor 1A.

Butler, W. R. and R. D. Smith. 1989. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 72(3):767-783.

Cai, T.-Q., P. Weston, L. Lund, B. Brodie, D. McKenna, and W. Wagner. 1994. Association between neutrophil functions and periparturient disorders in cows. *American Journal of Veterinary Research* 55(7):934-943.

Caixeta, L. S., P. A. Ospina, M. B. Capel, and D. V. Nysdam. 2015. The association of subclinical hypocalcemia, negative energy balance and disease with bodyweight change during the first 30 days post-partum in dairy cows milked with automatic milking systems. *Vet J* 204(2):150-156.

Caixeta, L. S., P. A. Ospina, M. B. Capel, and D. V. Nysdam. 2017. Association between subclinical hypocalcemia in the first 3 days of lactation and reproductive performance of dairy cows. *Theriogenology* 94:1-7.

Cameron, R., P. Dyk, T. Herdt, J. Kaneene, R. Miller, H. Bucholtz, J. Liesman, M. Vandehaar, and R. 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.

Cardoso, F., K. Kalscheur, and J. Drackley. 2020. Symposium review: Nutrition strategies for improved health, production, and fertility during the transition period. *Journal of Dairy Science*.

Cardoso, F., S. LeBlanc, M. Murphy, and J. K. Drackley. 2013. Prepartum nutritional strategy affects reproductive performance in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96(9):5859-5871.

Carrier, J., S. Godden, J. Fetrow, S. Stewart, and P. Rapnicki. 2006. Predictors of stillbirth for cows moved to calving pens when calving is imminent. Pages 158-159 in *Proc. American Association of Bovine Practitioners Proceedings of the Annual Conference*.

Chamberlin, W., J. Middleton, J. Spain, G. Johnson, M. Ellersieck, and P. Pithua. 2013. Subclinical hypocalcemia, plasma biochemical parameters, lipid metabolism, postpartum disease, and fertility in postparturient dairy cows. *Journal of Dairy Research* 96(11):7001-7013.

Chapinal, N., M. Carson, T. F. Duffield, M. Capel, S. Godden, M. Overton, J. E. Santos, and S. J. LeBlanc. 2011. The association of serum metabolites with clinical disease during the transition period. *Journal of Dairy Science* 94(10):4897-4903.

Chapinal, N., M. E. Carson, S. J. LeBlanc, K. E. Leslie, S. Godden, M. Capel, J. E. Santos, M. W. Overton, and T. F. Duffield. 2012a. The association of serum metabolites in the transition period with milk production and early-lactation reproductive performance. *Journal of Dairy Science* 95(3):1301-1309.

Chapinal, N., S. J. Leblanc, M. E. Carson, K. E. Leslie, S. Godden, M. Capel, J. E. Santos, M. W. Overton, and T. F. Duffield. 2012b. Herd-level association of serum metabolites in the transition period with disease, milk production, and early lactation reproductive performance. *Journal of Dairy Science* 95(10):5676-5682.

Charbonneau, E., D. Pellerin, and G. R. Oetzel. 2006. Impact of lowering dietary cation-anion difference in nonlactating dairy cows: a meta-analysis. *Journal of Dairy Science* 89(2):537-548.

Chebel, R. C. 2021. Associations between days on close-up diets and immune responses prepartum, metabolites peripartum, and risk of postpartum diseases in Jersey cows. *Journal of Dairy Science*.

Chebel, R. C., L. G. D. Mendonça, and P. S. Baruselli. 2018. Association between body condition score change during the dry period and postpartum health and performance. *Journal of Dairy Science* 101(5):4595-4614.

Clark Jr, W., J. Wohlt, R. Gilbreath, and P. Zajac. 1986. Phytate phosphorus intake and disappearance in the gastrointestinal tract of high producing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 69(12):3151-3155.

Coffey, M., G. Simm, J. Oldham, W. Hill, and S. Brotherstone. 2004. Genotype and diet effects on energy balance in the first three lactations of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87(12):4318-4326.

Cohrs, I., M. R. Wilkens, and W. Grünberg. 2018. Short communication: Effect of dietary phosphorus deprivation in late gestation and early lactation on the calcium homeostasis of periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101(10):9591-9598.

Collier, R. J., E. L. Annen, and A. C. Fitzgerald. 2004. Prospects for zero days dry. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 20(3):687-701.

Collings, L., D. Weary, N. Chapinal, and M. Von Keyserlingk. 2011. Temporal feed restriction and overstocking increase competition for feed by dairy cattle. *Journal of Dairy Research* 94(11):5480-5486.

Constable, P., W. Grünberg, H. Staempfli, and R. Staufenbiel. 2010. Monitoring DCAD diets in dairy cattle. in Proc. Abstract 1904 in Proc. XXVI World Buiatrics Congress 2010, Santiago, Chile.

Contreras, P., R. Manston, and B. Sansoni. 1982. Calcium mobilisation in hypomagnesaemic cattle. *Research in Veterinary Science* 33(1):10-16.

Cook, N., G. Oetzel, and K. Nordlund. 2006a. Modern techniques for monitoring high-producing dairy cows 1. Principles of herd-level diagnoses. *In Practice* 28(9):510-515.

Cook, N., G. Oetzel, and K. Nordlund. 2006b. Modern techniques for monitoring high-producing dairy cows 2. Practical applications. *In Practice* 28(10):598-603.

Cook, N. B. 2019a. Designing Facilities for the Adult Dairy Cow During the Nonlactation and Early Lactation Period. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 35(1):125-138.

Cook, N. B. 2019b. Optimizing resting behavior in lactating dairy cows through freestall design. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 35(1):93-109.

Cook, N. B. and K. V. Nordlund. 2004a. Behavioral needs of the transition cow and considerations for special needs facility design. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 20(3):495-520.

Cook, N. B. and K. V. Nordlund. 2004b. Behavioral needs of the transition cow and considerations for special needs facility design. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 20(3):495-520.

Coppock, C. E., D. L. Bath, and B. Harris. 1981. From Feeding to Feeding Systems. *Journal of Dairy Science* 64(6):1230-1249.

Corbett, R. 2002. Influence of days fed a close-up dry cow ration and heat stress on subsequent milk production in western dairy herds. *Journal of Dairy Science* 85(Suppl 1):191-192.

Council, N. F. A. C. 2009. Code of practice for the care and handling of dairy cattle. Dairy Farmers of Canada.

Craige, A. and I. Stoll. 1947. Milk fever (parturient paresis) as a manifestation of alkalosis. *American Journal of Veterinary Research* 8:168-172.

Creutzinger, K., H. Dann, P. Krawczel, G. Habing, and K. Proudfoot. 2021. The effect of stocking density and a blind on the behavior of Holstein dairy cattle in group maternity pens. Part I: Calving location, locomotion, and separation behavior. *Journal of Dairy Science*.

Croxton, D. and R. J. Stollard. 1976. Use of body condition scoring as a management aid in dairy and beef herds. Pages 146-147 in *Proc. Animal Production*. Durrant Periodicals Winton Lea Pencaitland, East Lothian EH34 5AY, Scotland.

Curtis, C. R., H. N. Erb, C. J. Sniffen, R. D. Smith, and D. S. Kronfeld. 1985. Path analysis of dry period nutrition, postpartum metabolic and reproductive disorders, and mastitis in Holstein cows. *Journal of Dairy Research* 68(9):2347-2360.

Curtis, C. R., H. N. Erb, C. J. Sniffen, R. D. Smith, P. A. Powers, M. C. Smith, M. E. White, R. B. Hillman, and E. J. Pearson. 1983. Association of parturient hypocalcemia with eight periparturient disorders in Holstein cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 183(5):559-561.

Daniel, R. 1983. Motility of the rumen and abomasum during hypocalcaemia. *Canadian Journal of Comparative Medicine* 47(3):276.

Dann, H. 2017. Nutritional management strategies for dry and fresh cows. *Large Dairy Herd Management*, 3rd ed, American Dairy Science Association:699-712.

Dann, H. and B. Nelson. 2011. Early lactation diets for dairy cattle—focus on starch. Department of Animal Science at the New York State College of Agriculture and Life Sciences (A Statutory College of the State University of New York) Cornell University 46.

Dann, H. M., N. B. Litherland, J. P. Underwood, M. Bionaz, A. D'Angelo, J. W. McFadden, and J. K. Drackley. 2006. Diets during far-off and close-up dry periods affect periparturient metabolism and lactation in multiparous cows. *Journal of Dairy Science* 89(9):3563-3577.

de Kruif, A., R. Mansfeld, and M. Hoedemaker. 2014. Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind. Vol. 3. Verlag Enke, Stuttgart.

DeGaris, P., I. Lean, A. Rabiee, and C. Heuer. 2008. Effects of increasing days of exposure to prepartum transition diets on milk production and milk composition in dairy cows. *Australian Veterinary Journal* 86(9):341-351.

DeGaris, P. J. and I. J. Lean. 2008. Milk fever in dairy cows: a review of pathophysiology and control principles. *Vet J* 176(1):58-69.

DeGaris, P. J., I. J. Lean, A. R. Rabiee, and C. Heuer. 2010a. Effects of increasing days of exposure to prepartum transition diets on reproduction and health in dairy cows. *Australian Veterinary Journal* 88(3):84-92.

DeGaris, P. J., I. J. Lean, A. R. Rabiee, and M. A. Stevenson. 2010b. Effects of increasing days of exposure to prepartum diets on the concentration of certain blood metabolites in dairy cows. *Australian Veterinary Journal* 88(4):137-145.

DeGroot, M. A., E. Block, and P. D. French. 2010. Effect of prepartum anionic supplementation on periparturient feed intake, health, and milk production. *Journal of Dairy Science* 93(11):5268-5279.

DeVries, T. and M. Von Keyserlingk. 2006. Feed stalls affect the social and feeding behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Research* 89(9):3522-3531.

DeVries, T., M. Von Keyserlingk, and K. Beauchemin. 2003. Diurnal feeding pattern of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Research* 86(12):4079-4082.

DeVries, T. J. 2017. Ensuring access to feed to optimize health and production of dairy cows. *Large Dairy Herd Management*, 3rd ed, American Dairy Science Association:787-798.

DeVries, T. J. 2019. Feeding behavior, feed space, and bunk design and management for adult dairy cattle. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 35(1):61-76.

DeVries, T. J., K. Beauchemin, and M. Von Keyserlingk. 2007. Dietary forage concentration affects the feed sorting behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Research* 90(12):5572-5579.

DeVries, T. J., F. Dohme, and K. Beauchemin. 2008. Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feed sorting. *Journal of Dairy Science* 91(10):3958-3967.

DeVries, T. J. and M. Von Keyserlingk. 2005. Time of feed delivery affects the feeding and lying patterns of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88(2):625-631.

DeVries, T. J., M. Von Keyserlingk, and K. Beauchemin. 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88(10):3553-3562.

DeVries, T. J., M. Von Keyserlingk, and D. Weary. 2004. Effect of feeding space on the inter-cow distance, aggression, and feeding behavior of free-stall housed lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87(5):1432-1438.

Diehl, A. L., J. K. Bernard, S. Tao, T. N. Smith, D. J. Kirk, D. J. McLean, and J. D. Chapman. 2018. Effect of varying prepartum dietary cation-anion difference and calcium concentration on postpartum mineral and metabolite status and milk production of multiparous cows. *Journal of Dairy Science* 101(11):9915-9925.

Dishington, I. 1975. Prevention of milk fever (hypocalcemic paresis puerperalis) by dietary salt supplements. *Acta Veterinaria Scandinavica*.

Döhler, H. and S. Döhler. 2009. Faustzahlen für die Landwirtschaft, 14. KTBL–Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt, Germany.

Dohoo, I., S. Martin, and H. Stryhn. 2009. *Veterinary epidemiologic research*. University of Prince Edward Island, Charlottetown, PEI, Canada. 2.

Dohoo, I. R. and S. W. Martin. 1984. Disease, production and culling in Holstein-Friesian cows: IV. Effects of disease on production. *Preventive Veterinary Medicine* 2(6):755-770.

Domino, A. R., H. C. Korzec, and J. A. A. McArt. 2017. Field trial of 2 calcium supplements on early lactation health and production in multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 100(12):9681-9690.

Douglas, G., T. Overton, H. Bateman II, H. Dann, and J. Drackley. 2006. Prepartal plane of nutrition, regardless of dietary energy source, affects periparturient metabolism and dry matter intake in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 89(6):2141-2157.

Drackley, J. 2000. Use of NEFA as a tool to monitor energy balance in transition dairy cows. *Illinois Dairy Days*.

Drackley, J. K. 1999. ADSA Foundation Scholar Award. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? *Journal of Dairy Science* 82(11):2259-2273.

Drackley, J. K. 2004. Physiological adaptations in transition dairy cows.

Drackley, J. K. and F. C. Cardoso. 2014. Prepartum and postpartum nutritional management to optimize fertility in high-yielding dairy cows in confined TMR systems. *Animal* 8 Suppl 1:5-14.

Drackley, J. K., H. M. Dann, N. Douglas, N. A. J. Guretzky, N. B. Litherland, J. P. Underwood, and J. J. Looor. 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.

Drackley, J. K., T. R. Overton, and G. N. Douglas. 2001. Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science* 84:E100-E112.

Duffield, T. 2000. Subclinical ketosis in lactating dairy cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 16(2):231-253.

Duffield, T. 2005. Impact of subclinical metabolic disease on risk of early lactation culling. *Journal of Dairy Science* 88(1):199 (abstr).

Duffield, T., K. Lissemore, B. McBride, and K. Leslie. 2009. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal of Dairy Science* 92(2):571-580.

Duffield, T., D. Sandals, K. Leslie, K. Lissemore, B. McBride, J. Lumsden, P. Dick, and R. Bagg. 1998. Efficacy of monensin for the prevention of subclinical ketosis in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81(11):2866-2873.

Duffield, T. F., D. F. Kelton, K. E. Leslie, K. D. Lissemore, and J. H. Lumsden. 1997. Use of test day milk fat and milk protein to detect subclinical ketosis in dairy cattle in Ontario. *The Canadian Veterinary Journal* 38(11):713.

Dufour, S., A. Fréchette, H. Barkema, A. Mussell, and D. Scholl. 2011. Invited review: Effect of udder health management practices on herd somatic cell count. *Journal of Dairy Science* 94(2):563-579.

Edmonson, A., I. Lean, L. Weaver, T. Farver, and G. Webster. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 72(1):68-78.

Eicher, R., A. Liesegang, E. Bouchard, and A. Tremblay. 1999. Effect of cow-specific factors and feeding frequency of concentrate on diurnal variations of blood metabolites in dairy cows. *American Journal of Veterinary Research* 60(12):1493-1499.

Ender, F., I. W. Dishington, and A. Helge-bostad. 1971. Calcium balance studies in dairy cows under experimental induction and prevention of hypo-calcaemic paresis puerperalis. The solution of the aetiology and the prevention of milk fever by dietary means. *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde* 28(5):233-256.

Ender, F., I. W. Dishington, A. Helge-bostad, and E. Martinsons. 1962. Parturient paresis and related forms of hypocalcemic disorders induced experimentally in dairy cows. 2. Studies on the etiological importance of feeding prepartal diets high in calcium and low or normal in phosphorus in relation to development of milk fever. Effect of high and low alkalinity of diets. *Acta Veterinaria Scandinavica* 3(Suppl. No. 1).

Endres, M. I., T. DeVries, M. Von Keyserlingk, and D. Weary. 2005. Effect of feed barrier design on the behavior of loose-housed lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88(7):2377-2380.

Erben, R. 2001. Vitamin D analogs and bone. *Journal of musculoskeletal and neuronal interactions* 2(1):59-70.

Evans, D. 1978. The interpretation and analysis of subjective body condition scores. *Animal Science* 26(2):119-125.

Faye, B., N. Dorr, F. Lescourret, J. Barnouin, and M. Chassagne. 1994. Farming practices associated with the 'udder infection' complex. *Veterinary Research* 25(2-3):213-218.

Ferguson, J. D., D. T. Galligan, and N. Thomsen. 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 77(9):2695-2703.

Fietze, S. 2004. Vergleich der unterschiedlichen Körperkonditionsbeurteilungsmethoden-Body Condition Scoring (BCS) und Rückenfettdickenmessung (RFD)-und deren Aussagefähigkeit in Bezug auf die Fruchtbarkeit von Holstein-Friesian (HF) Kühen. *Vet. Med. Diss., Klinik für Rinder, Tierärztliche Hochschule Hannover*

Fogsgaard, K. K., C. M. Røntved, P. Sørensen, and M. S. Herskin. 2012. Sickness behavior in dairy cows during *Escherichia coli* mastitis. *Journal of Dairy Science* 95(2):630-638.

Fregonesi, J., C. Tucker, and D. Weary. 2007. Overstocking reduces lying time in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90(7):3349-3354.

French, P., J. Chamberlain, and J. Warntjes. 2005. Effect of feed refusal amount on feeding behavior and production in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 88:175.

Friggens, N., K. L. Ingvarsten, and G. Emmans. 2004. Prediction of body lipid change in pregnancy and lactation. *Journal of Dairy Science* 87(4):988-1000.

Funk, D., A. Freeman, and P. Berger. 1987. Effects of previous days open, previous days dry, and present days open on lactation yield. *Journal of Dairy Science* 70(11):2366-2373.

Garnsworthy, P. and G. Jones. 1987. The influence of body condition at calving and dietary protein supply on voluntary food intake and performance in dairy cows. *Animal Science* 44(3):347-353.

Garnsworthy, P. C. 2006. Body condition score in dairy cows: targets for production and fertility. *Recent Advances in Animal Nutrition* 40:61.

Gaynor, P., F. Mueller, J. Miller, N. Ramsey, J. Goff, and R. Horst. 1989. Parturient hypocalcemia in Jersey cows fed alfalfa haylage-based diets with different cation to anion ratios. *Journal of Dairy Science* 72(10):2525-2531.

Gearhart, M., C. Curtis, H. Erb, R. Smith, C. Sniffen, L. Chase, and M. Cooper. 1990. Relationship of changes in condition score to cow health in Holsteins. *Journal of Dairy Science* 73(11):3132-3140.

Geishauser, T., K. Leslie, T. Duffield, and V. Edge. 1997. Evaluation of aspartate transaminase activity and beta-hydroxybutyrate concentration in blood as tests for prediction of left displaced abomasum in dairy cows. *American Journal of Veterinary Research* 58(11):1216.

Gelfert, C., S. Hauser, A. Löptien, N. Montag, M. Passmann, W. Baumgartner, and R. Staufenbiel. 2006a. Auswirkungen einer gleichzeitigen Gabe von sauren Salzen und Pansenpuffern auf den Säuren-Basen-Haushalt und Mineralstoffwechsel von Milchkühen. Impact of a simultaneous application of anionic salts and rumen buffer on acid-base-balance and mineral metabolism in dairy cows.

Gelfert, C., S. L. Loeffler, S. Fromer, M. Engel, H. Hartmann, K. Manner, W. Baumgartner, and R. Staufenbiel. 2007. The impact of dietary cation anion difference (DCAD) on the acid-base balance and calcium metabolism of non-lactating, non-pregnant dairy cows fed equal amounts of different anionic salts. *Journal of Dairy Research* 74(3):311.

Gelfert, C., A. Loeptien, N. Montag, M. Passfeld, W. Baumgartner, and R. Staufenbiel. 2008. The impact of energy deficiency on the effects of anionic salts on the acid-base status of dairy cows. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* 95:184-189.

Gelfert, C., M. Zarrath, S. Eustermann, and R. Staufenbiel. 2004. Überwachung des Einsatzes saurer Salze in Milchviehherden durch Futter- und Harnuntersuchungen. *Praktische Tierarzt* 85:422-430.

Gelfert, C.-C. 2011. Untersuchungen zur peripartalen Hypokalzämie und Gebärparese der Milchkuh.

Gelfert, C.-C., A. Löptien, N. Montag, W. Baumgartner, and R. Staufenbiel. 2006b. Impact of a prolonged period of feeding anionic salts on the acid-base-balance and calcium metabolism of dairy cows. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* 93(11-12):304-310.

Gelfert, C.-C. and R. Staufenbiel. 2008. The role of dietary calcium concentration in the use of anionic salts to prevent parturient paresis in dairy cows. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 121(7-8):256.

Gild, C., N. Alpert, and M. Van Straten. 2015. The influence of subclinical hypocalcemia on production and reproduction parameters in Israeli dairy herds. *Israel Journal of Veterinary Medicine* 70(1):16-21.

Gillund, P., O. Reksen, Y. Gröhn, and K. Karlberg. 2001. Body condition related to ketosis and reproductive performance in Norwegian dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84(6):1390-1396.

Glosson, K. M., X. Zhang, S. S. Bascom, A. D. Rowson, Z. Wang, and J. K. Drackley. 2020. Negative dietary cation-anion difference and amount of calcium in prepartum diets: Effects on milk production, blood calcium, and health. *Journal of Dairy Science* 103(8):7039-7054.

Goebbels, M. 2006. Untersuchungen zum praktischen Einsatz von Anionenrationen zur Prophylaxe der Hypokalzämie in Milchkuhbeständen. *Vet. Med. Diss. Klinik für Klautiere. Freie Universität Berlin*

Goff, J., A. Hohman, and L. Timms. 2020. Effect of subclinical and clinical hypocalcemia and dietary cation-anion difference on rumination activity in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 103(3):2591-2601.

Goff, J., R. Horst, P. Jardon, C. Borelli, and J. Wedam. 1996. Field trials of an oral calcium propionate paste as an aid to prevent milk fever in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 79(3):378-383.

Goff, J., R. Horst, F. Mueller, J. Miller, G. Kiess, and H. Dowlen. 1991. Addition of chloride to a prepartal diet high in cations increases 1, 25-dihydroxyvitamin D response to hypocalcemia preventing milk fever. *Journal of Dairy Science* 74(11):3863-3871.

Goff, J. P. 2000. Pathophysiology of calcium and phosphorus disorders. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 16(2):319-337.

Goff, J. P. 2004. Macromineral disorders of the transition cow. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 20(3):471-494.

Goff, J. P. 2006. Macromineral physiology and application to the feeding of the dairy cow for prevention of milk fever and other periparturient mineral disorders. *Animal Feed Science and Technology* 126(3-4):237-257.

Goff, J. P. 2008a. The monitoring, prevention, and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows. *The Veterinary Journal* 176(1):50-57.

Goff, J. P. 2008b. Transition cow immune function and interaction with metabolic diseases. Pages 45-57 in *Proc. Proc. 17th Annu. Tri-State Dairy Nutr. Conf. The Ohio State University, Columbus.*

Goff, J. P. 2014. Calcium and magnesium disorders. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 30(2):359-381, vi.

Goff, J. P. and R. L. Horst. 1997a. Effects of the addition of potassium or sodium, but not calcium, to prepartum rations on milk fever in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 80(1):176-186.

Goff, J. P. and R. L. Horst. 1997b. Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *Journal of Dairy Science* 80(7):1260-1268.

Goff, J. P., R. L. Horst, D. C. Beitz, and E. T. Littledike. 1988. Use of 24-F-1, 25-dihydroxyvitamin D3 to prevent parturient paresis in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 71(5):1211-1219.

Goff, J. P. and N. J. Koszewski. 2018a. Comparison of 0.46% calcium diets with and without added anions with a 0.7% calcium anionic diet as a means to reduce periparturient hypocalcemia. *Journal of Dairy Science* 101(6):5033-5045.

Goff, J. P. and N. J. Koszewski. 2018b. Comparison of 0.46% calcium diets with and without added anions with a 0.7% calcium anionic diet as a means to reduce periparturient hypocalcemia. *Journal of Dairy Science* 101(6):5033-5045.

Goff, J. P., A. Liesegang, and R. L. Horst. 2014. Diet-induced pseudohypoparathyroidism: A hypocalcemia and milk fever risk factor. *Journal of Dairy Science* 97(3):1520-1528.

Goff, J. P., E. T. Littledike, and R. L. Horst. 1986. Effect of synthetic bovine parathyroid hormone in dairy cows: prevention of hypocalcemic parturient paresis. *Journal of Dairy Science* 69(9):2278-2289.

Goff, J. P., R. Ruiz, and R. L. Horst. 2004. Relative acidifying activity of anionic salts commonly used to prevent milk fever. *Journal of Dairy Science* 87(5):1245-1255.

Goings, R., N. Jacobson, D. Beitz, E. Littledike, and K. Wiggers. 1974. Prevention of parturient paresis by a prepartum, calcium-deficient diet. *Journal of Dairy Science* 57(10):1184-1188.

Goldhawk, C., N. Chapinal, D. M. Veira, D. M. Weary, and M. A. G. von Keyserlingk. 2009. Prepartum feeding behavior is an early indicator of subclinical ketosis. *Journal of Dairy Science* 92(10):4971-4977.

González, L., B. Tolkamp, M. Coffey, A. Ferret, and I. Kyriazakis. 2008. Changes in feeding behavior as possible indicators for the automatic monitoring of health disorders in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91(3):1017-1028.

Gould, D. H., M. M. McAllister, J. C. Savage, and D. W. Hamar. 1991. High sulfide concentrations in rumen fluid associated with nutritionally induced polioencephalomalacia. *American Journal of Veterinary Research* 52:1164-1169.

Grabherr, H., M. Spolders, G. Flachowsky, and M. Fuerll. 2008. Influence of zeolite A supplementation during the dry period of dairy cows on feed intake, on the macro and trace element metabolism around calving and milk yield in the following lactation. *Berliner und Munchener Tierärztliche Wochenschrift* 121(1-2):41-52.

Grabherr, H., M. Spolders, M. Füll, and G. Flachowsky. 2009. Effect of several doses of zeolite A on feed intake, energy metabolism and on mineral metabolism in dairy cows around calving. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 93(2):221-236.

Grant, R. and J. Albright. 2001. Effect of animal grouping on feeding behavior and intake of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 84:E156-E163.

Grant, R., M. A. Campbell, and W. Miner. 2019. Feeding Management : Dietary Characteristics , Feeding Environment , and Dairy Cow Feeding Behavior.

Grant, R. J. and J. L. Albright. 1995. Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. *Journal of Animal Science* 73(9):2791-2803.

Graugnard, D., M. Bionaz, E. Trevisi, K. Moyes, J. Salak-Johnson, R. Wallace, J. Drackley, G. Bertoni, and J. Loo. 2012. Blood immunometabolic indices and polymorphonuclear neutrophil function in peripartum dairy cows are altered by level of dietary energy prepartum. *Journal of Dairy Science* 95(4):1749-1758.

Graves, R. 2006. Bedded pack barns for dairy cattle. Penn State Extension.

Green, H., R. Horst, D. Beitz, and E. Littledike. 1981. Vitamin D metabolites in plasma of cows fed a prepartum low-calcium diet for prevention of parturient hypocalcemia. *Journal of Dairy Science* 64(2):217-226.

Green, L. E., V. J. Hedges, Y. H. Schukken, R. W. Blowey, and A. J. Packington. 2002. The Impact of Clinical Lameness on the Milk Yield of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 85(9):2250-2256.

Greenough, P. and J. Vermunt. 1991. Evaluation of subclinical laminitis in a dairy herd and observations on associated nutritional and management factors. *The Veterinary Record* 128(1):11-17.

Gröhn, Y., H. Erb, C. McCulloch, and H. Saloniemi. 1989. Epidemiology of metabolic disorders in dairy cattle: Association among host characteristics, disease, and production. *Journal of Dairy Science* 72(7):1876-1885.

Gruffat, D., D. Durand, B. Graulet, and D. Bauchart. 1996. Regulation of VLDL synthesis and secretion in the liver. *Reproduction Nutrition Development* 36(4):375-389.

Grummer, R. and R. Rastani. 2004. Why reevaluate dry period length? *Journal of Dairy Science* 87:E77-E85.

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., D. G. Mashek, and A. Hayirli. 2004. Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 20(3):447-470.
- Gunnink, J. W. 1984. Pre-partum leucocytic activity and retained placenta. *Vet Q* 6(2):52-54.
- Hammon, D. S., I. M. Evjen, T. R. Dhiman, J. P. Goff, and J. L. Walters. 2006. Neutrophil function and energy status in Holstein cows with uterine health disorders. *Vet Immunol Immunopathol* 113(1-2):21-29.
- Hanai, H., D. Brennan, L. Cheng, M. Goldman, M. Chorev, M. Levine, B. Sacktor, and C. Liang. 1990. Downregulation of parathyroid hormone receptors in renal membranes from aged rats. *American Journal of Physiology-Renal Physiology* 259(3):F444-F450.
- Hart, I. C., J. A. Bines, C. C. Balch, and A. T. Cowie. 1975. Hormone and metabolite differences between lactating beef and dairy cattle. *Life Sci* 16(8):1285-1291.
- Havekes, C., T. Duffield, A. Carpenter, and T. DeVries. 2020a. Effects of wheat straw chop length in high-straw dry cow diets on intake, health, and performance of dairy cows across the transition period. *Journal of Dairy Science* 103(1):254-271.
- Havekes, C., T. Duffield, A. Carpenter, and T. DeVries. 2020b. Moisture content of high-straw dry cow diets affects intake, health, and performance of transition dairy cows. *Journal of Dairy Science* 103(2):1500-1515.
- Hayton, A., J. Husband, and R. Vecqueray. 2012. Nutritional management of herd health. *Dairy Herd Health*:227-278.
- Heinrichs, J. and C. Jones. 2016. PennState Particle Separator. PennState Extension.
- Heinrichs, J. and P. Kononoff. 1996. Evaluating particle size of forages and TMRs using the Penn State Particle Size Separator. Department of Dairy and Animal Sc. The Pennsylvania State University 9.
- Heitmann, R. and J. Fernandez. 1986. Autoregulation of alimentary and hepatic ketogenesis in sheep. *Journal of Dairy Science* 69(5):1270-1281.
- Heitmann, R. N., D. J. Dawes, and S. C. Sensenig. 1987. Hepatic ketogenesis and peripheral ketone body utilization in the ruminant. *The Journal of Nutrition* 117(6):1174-1180.
- Herdt, T. H. 2000. Ruminant adaptation to negative energy balance: Influences on the etiology of ketosis and fatty liver. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 16(2):215-230.

Herm, G., A. Muscher-Banse, G. Breves, B. Schröder, and M. Wilkens. 2015. Renal mechanisms of calcium homeostasis in sheep and goats. *Journal of Animal Science* 93(4):1608-1621.

Hernandez, J., J. K. Shearer, and D. W. Webb. 2002. Effect of lameness on milk yield in dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 220(5):640-644.

Heuer, C., Y. Schukken, and 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.

Hibbs, J. and H. Conrad. 1976. Milk fever in dairy cows. VII. Effect of continuous vitamin D feeding on incidence of milk fever. *Journal of Dairy Science* 59(11):1944-1946.

Hileman, S. M., L. S. Lubbers, H. T. Jansen, and M. N. Lehman. 1999. Changes in hypothalamic estrogen receptor-containing cell numbers in response to feed restriction in the female lamb. *Neuroendocrinology* 69(6):430-437.

Hoedemaker, M., D. Prange, and Y. Gundelach. 2009. Body condition change ante-and postpartum, health and reproductive performance in German Holstein cows. *Reproduction in Domestic Animals* 44(2):167-173.

Hogan, J. and K. L. Smith. 2012. Managing environmental mastitis. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 28(2):217-224.

Horst, R., J. Goff, and T. Reinhardt. 1990. Advancing age results in reduction of intestinal and bone 1, 25-dihydroxyvitamin D receptor. *Endocrinology* 126(2):1053-1057.

Horst, R., J. Goff, and T. Reinhardt. 1994. Symposium-calcium-metabolism and utilization-calcium and vitamin-D metabolism in the dairy-cow. *Journal of Dairy Science* 77(7):1936-1951.

Horst, R., J. Goff, and T. Reinhardt. 2003. Role of vitamin D in calcium homeostasis and its use in prevention of bovine periparturient paresis.

Horst, R. L., J. P. Goff, T. A. Reinhardt, and D. R. Buxton. 1997. Strategies for preventing milk fever in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 80(7):1269-1280.

Hosseinkhani, A., T. DeVries, K. Proudfoot, R. Valizadeh, D. Veira, and M. Von Keyserlingk. 2008. The effects of feed bunk competition on the feed sorting behavior of close-up dry cows. *Journal of Dairy Science* 91(3):1115-1121.

Houe, H., S. Østergaard, T. Thilsing-Hansen, R. J. Jørgensen, T. Larsen, J. T. Sørensen, J. Agger, and J. Blom. 2001. Milk fever and subclinical hypocalcaemia--an evaluation of parameters on incidence risk, diagnosis, risk factors and biological effects as input for a decision support system for disease control. *Acta Veterinaria Scandinavica* 42(1):1.

Huntington, G., R. Britton, and R. Prior. 1981. Feed intake, rumen fluid volume and turnover, nitrogen and mineral balance and acid-base status of wethers changed from low to high concentrate diets. *Journal of Animal Science* 52(6):1376-1387.

Husband, J., M. Green, and N. Jonsson. 2002. The effect of feeding anionic salts on urine pH. *Cattle Practice* 10(2):113-117.

Hutjens, M. 2018. *Feeding Guide*. Vol. 4. Hoard's Dairyman, W.D. Hoard & Sons Company, United States of America.

Huzzey, J. M., T. J. DeVries, P. Valois, and M. A. von Keyserlingk. 2006. Stocking density and feed barrier design affect the feeding and social behavior of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 89(1):126-133.

Huzzey, J. M., D. V. Nydam, R. J. Grant, and T. R. Overton. 2011. Associations of prepartum plasma cortisol, haptoglobin, fecal cortisol metabolites, and nonesterified fatty acids with postpartum health status in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 94(12):5878-5889.

Huzzey, J. M., D. M. Veira, D. M. Weary, and M. A. von Keyserlingk. 2007. Prepartum behavior and dry matter intake identify dairy cows at risk for metritis. *Journal of Dairy Science* 90(7):3220-3233.

Ingvartsen, K. L. 2006. Feeding-and management-related diseases in the transition cow: Physiological adaptations around calving and strategies to reduce feeding-related diseases. *Animal Feed Science and Technology* 126(3-4):175-213.

Ingvartsen, K. L. and J. B. Andersen. 2000. Integration of metabolism and intake regulation: a review focusing on periparturient animals. *Journal of Dairy Science* 83(7):1573-1597.

Ingvartsen, K. L., R. J. Dewhurst, and N. Friggens. 2003. On the relationship between lactational performance and health: is it yield or metabolic imbalance that cause production diseases in dairy cattle? A position paper. *Livestock Production Science* 83(2-3):277-308.

Ingvartsen, K. L. and K. Moyes. 2013. Nutrition, immune function and health of dairy cattle. *Animal* 7 Suppl 1:112-122.

Janovick, N., Y. Boisclair, and J. Drackley. 2011. Prepartum dietary energy intake affects metabolism and health during the periparturient period in primiparous and multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 94(3):1385-1400.

Janovick, N. and J. K. Drackley. 2010. Prepartum dietary management of energy intake affects postpartum intake and lactation performance by primiparous and multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 93(7):3086-3102.

Janzen, J. 1970. Economic losses resulting from mastitis. A review. *Journal of Dairy Science* 53(9):1151-1160.

Jardon, P. W. 1995. Using urine pH to monitor anionic salt programs. *Compend. Contin. Educ. Pract. Vet.* 17:860-862.

Jawor, P. E., J. M. Huzzey, S. J. LeBlanc, and M. A. von Keyserlingk. 2012. Associations of subclinical hypocalcemia at calving with milk yield, and feeding, drinking, and standing behaviors around parturition in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 95(3):1240-1248.

Johnston, C. and T. DeVries. 2015. Associations of behavior and production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 2(98):450-451.

Jones, G. and D. Kammel. 2017. Transition cow barn design and management. *Large Dairy Herd Management*, 3rd ed, American Dairy Science Association:223-238.

Jordan, E. and R. Fourdraine. 1993. Characterization of the management practices of the top milk producing herds in the country. *Journal of Dairy Science* 76(10):3247-3256.

Jorritsma, R., H. Jorritsma, Y. H. Schukken, and 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. Kruip, P. L. Vos, and J. P. Noordhuizen. 2003. Metabolic changes in early lactation and impaired reproductive performance in dairy cows. *Veterinary Research* 34(1):11-26.

Kammel, D. W. and R. E. Graves. 2007. Planning and design considerations for transition and special needs cow housing. Page 3 in *Proc. Sixth International Dairy Housing Conference Proceeding, 16-18 June 2007, (Minneapolis, Minnesota)(Electronic Only)*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Kaufman, E., S. LeBlanc, B. McBride, T. Duffield, and T. DeVries. 2016. Association of rumination time with subclinical ketosis in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science* 99(7):5604-5618.

Kehrli, M. E., Jr. and J. P. Goff. 1989. Periparturient hypocalcemia in cows: effects on peripheral blood neutrophil and lymphocyte function. *Journal of Dairy Science* 72(5):1188-1196.

Kehrli, M. E., Jr., B. J. Nonnecke, and J. A. Roth. 1989. Alterations in bovine lymphocyte function during the periparturient period. *American Journal of Veterinary Research* 50(2):215-220.

Kelton, D. F., K. D. Lissemore, and R. E. Martin. 1998. Recommendations for recording and calculating the incidence of selected clinical diseases of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 81(9):2502-2509.

Kichura, T. S., R. L. Horst, D. C. Beitz, and E. T. Littledike. 1982. Relationships between prepartal dietary calcium and phosphorus, vitamin D metabolism, and parturient paresis in dairy cows. *The Journal of Nutrition* 112(3):480-487.

Kim, I.-H. and G.-H. Suh. 2003. Effect of the amount of body condition loss from the dry to near calving periods on the subsequent body condition change, occurrence of postpartum diseases, metabolic parameters and reproductive performance in Holstein dairy cows. *Theriogenology* 60(8):1445-1456.

Kimura, K., J. P. Goff, M. E. Kehrl, Jr., and T. A. Reinhardt. 2002. Decreased neutrophil function as a cause of retained placenta in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 85(3):544-550.

Kimura, K., T. A. Reinhardt, and J. P. Goff. 2006. Parturition and hypocalcemia blunts calcium signals in immune cells of dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 89(7):2588-2595.

Klawuhn, D. 1991. Vergleich der Rückenfettdicke mit dem über die Gesamtkörperwasserbestimmung ermittelten Körperfettgehalt bei Rindern. *Vet. Med. Diss., Humboldt - Universität Berlin*.

Klawuhn, D. and R. Staufenbiel. 1997. Aussagekraft der Rückenfettdicke zum Körperfettgehalt beim Rind. *Tierärztliche Praxis* 25:133-138.

Kluciński, W., A. Degórski, E. Miernik-Degórska, S. Targowski, and A. Winnicka. 1988. Effect of ketone bodies on the phagocytic activity of bovine milk macrophages and polymorphonuclear leukocytes. *Journal of Veterinary Medicine Series A* 35(8):632-639.

Koike, M., T. Kashiwagura, and N. Takeguchi. 1992. Gluconeogenesis stimulated by extracellular ATP is triggered by the initial increase in the intracellular Ca²⁺ concentration of the periphery of hepatocytes. *Biochemical Journal* 283(1):265-272.

Kononoff, P., A. J. Heinrichs, and D. Buckmaster. 2003. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. *Journal of Dairy Science* 86(5):1858-1863.

Krause, K. M. and G. R. Oetzel. 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Animal Feed Science and Technology* 126(3-4):215-236.

Krawczel, P. D. and A. R. Lee. 2019. Lying time and its importance to the dairy cow: Impact of stocking density and time budget stresses. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 35(1):47-60.

Kremer, W., E. Noordhuizen-Stassen, F. Grommers, Y. Schukken, R. Heeringa, A. Brand, and C. Burvenich. 1993. Severity of experimental *Escherichia coli* mastitis in ketonemic and nonketonemic dairy cows. *Journal of Dairy Science* 76(11):3428-3436.

Krömker, V., F. Pfannenschmidt, K. Helmke, R. Andersson, and N. T. Grabowski. 2012. Risk factors for intramammary infections and subclinical mastitis in post-partum dairy heifers. *Journal of Dairy Research* 79(3):304.

Kutas, F. 1965. Determination of net acid-base excretion in the urine of cattle. A method for the estimation of acid-base equilibrium. *Acta Veterinaria Academiae Scientiarum Hungaricae* 15:147-153.

Kvidera, S. K., E. A. Horst, M. Abuajamieh, E. J. Mayorga, M. V. Fernandez, and L. H. Baumgard. 2017. Glucose requirements of an activated immune system in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 100(3):2360-2374.

Lammers, B. P., D. R. Buckmaster, and A. J. Heinrichs. 1996. A Simple Method for the Analysis of Particle Sizes of Forage and Total Mixed Rations. *Journal of Dairy Science* 79(5):922-928.

Lean, I. J., P. J. DeGaris, D. M. McNeil, and E. Block. 2006. Hypocalcemia in dairy cows: meta-analysis and dietary cation anion difference theory revisited. *Journal of Dairy Science* 89(2):669-684.

Lean, I. J., A. J. Edmonson, and J. Versteeg. 1989. Body condition scoring dairy cattle. The Upjohn Company, Animal Health Division, Kalamazoo, MI 49001.

Lean, I. J., J. E. P. Santos, E. Block, and H. M. Golder. 2019. Effects of prepartum dietary cation-anion difference intake on production and health of dairy cows: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science* 102(3):2103-2133.

Lean, I. J., R. Van Saun, and P. J. DeGaris. 2013. Mineral and antioxidant management of transition dairy cows. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 29(2):367-386.

LeBlanc, S. 2006. Monitoring programs for transition dairy cows. Pages 460-472 in *Proc. Proceeding of 26th World Biometrics Congress*. Citeseer.

LeBlanc, S. 2010. Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. *J Reprod Dev* 56 Suppl:S29-35.

LeBlanc, S., K. Leslie, and T. Duffield. 2005. Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 88(1):159-170.

Lemann Jr, J., D. A. Bushinsky, and L. L. Hamm. 2003. Bone buffering of acid and base in humans. *American Journal of Physiology-Renal Physiology* 285(5):F811-F832.

Leno, B. M., C. M. Ryan, T. Stokol, D. Kirk, K. P. Zanzalari, J. D. Chapman, and T. R. Overton. 2017. Effects of prepartum dietary cation-anion difference on aspects of peripartum mineral and energy metabolism and performance of multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 100(6):4604-4622.

Leonardi, C. and L. Armentano. 2003. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86(2):557-564.

Littledike, E. and R. Horst. 1980. Problems with vitamin D injections for prevention of milk fever: Toxicity of large doses and increased incidence with small doses. in Proc. Program-American Dairy Science Association... annual meeting and branch abstracts.

Littledike, E. and R. Horst. 1982. Vitamin D3 Toxicity in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 65(5):749-759.

Lopera, C., R. Zimpel, A. Vieira-Neto, F. R. Lopes, W. Ortiz, M. Poindexter, B. N. Faria, M. L. Gambarini, E. Block, C. D. Nelson, and J. E. P. Santos. 2018. Effects of level of dietary cation-anion difference and duration of prepartum feeding on performance and metabolism of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101(9):7907-7929.

Lucey, S., G. J. Rowlands, and A. M. Russell. 1986. Short-term associations between disease and milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Research* 53(1):7-15.

Luchterhand, K. M., P. R. Silva, R. C. Chebel, and M. I. Endres. 2016. Association between prepartum feeding behavior and periparturient health disorders in dairy cows. *Frontiers in veterinary science* 3:65.

Mahrt, A., O. Burfeind, and W. Heuwieser. 2014. Effects of time and sampling location on concentrations of β -hydroxybutyric acid in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 97(1):291-298.

Makuza, S. M. and B. T. McDaniel. 1996. Effects of days dry, previous days open, and current days open on milk yields of cows in Zimbabwe and North Carolina. *Journal of Dairy Science* 79(4):702-709.

Mann, S., F. A. Yepes, T. R. Overton, J. J. Wakshlag, A. L. Lock, C. M. Ryan, and D. V. Nydam. 2015. Dry period plane of energy: Effects on feed intake, energy balance, milk production, and composition in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98(5):3366-3382.

Mäntysaari, P., H. Khalili, and J. Sariola. 2006. Effect of feeding frequency of a total mixed ration on the performance of high-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89(11):4312-4320.

Markusfeld, O., N. Galon, and E. Ezra. 1997. Body condition score, health, yield and fertility in dairy cows. *Veterinary Record* 141(3):67-72.

Martin, S., S. Aziz, W. Sandals, and R. Curtis. 1982. The association between clinical disease, production and culling of Holstein-Friesian cows. *Canadian Journal of Animal Science* 62(2):633-640.

Martin, S., K. Kirby, and R. Curtis. 1978. Left abomasal displacement in dairy cows: its relationship to production. *The Canadian Veterinary Journal* 19(9):250.

Martín-Tereso, J., A. Gonzalez, H. Van Laar, C. Burbano, M. Pedrosa, K. Mulder, L. Den Hartog, and M. Verstegen. 2009. In situ ruminal degradation of phytic acid in formaldehyde-treated rice bran. *Animal Feed Science and Technology* 152(3-4):286-297.

Martín-Tereso, J. and H. Martens. 2014. Calcium and magnesium physiology and nutrition in relation to the prevention of milk fever and tetany (dietary management of macrominerals in preventing disease). *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 30(3):643-670.

Martín-Tereso, J., M. Derks, H. Van Laar, K. Mulder, L. Den Hartog, and M. Verstegen. 2010. Urinary calcium excretion in non-lactating dairy cows in relation to intake of fat-coated rice bran. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 94(1):129-136.

Martín-Tereso, J., H. ter Wijlen, H. Van Laar, and M. Verstegen. 2014. Peripartal calcium homeostasis of multiparous dairy cows fed rumen-protected rice bran or a lowered dietary cation/anion balance diet before calving. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 98(4):775-784.

Martín-Tereso, J., R. van Puijenbroek, A. van Vuuren, H. van Laar, L. den Hartog, and M. Verstegen. 2011. Effect of feeding rumen protected rice bran on calcium homeostasis of non-lactating multiparous cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 95(2):236-244.

Martinez, N., C. A. Risco, F. S. Lima, R. S. Bisinotto, L. F. Greco, E. S. Ribeiro, F. Maunsell, K. Galvão, and J. E. Santos. 2012. Evaluation of peripartal calcium status, energetic profile, and neutrophil function in dairy cows at low or high risk of developing uterine disease. *Journal of Dairy Science* 95(12):7158-7172.

Martinez, N., L. D. Sinedino, R. S. Bisinotto, E. S. Ribeiro, G. C. Gomes, F. S. Lima, L. F. Greco, C. A. Risco, K. N. Galvão, D. Taylor-Rodriguez, J. P. Driver, W. W. Thatcher, and J. E. Santos. 2014. Effect of induced subclinical hypocalcemia on physiological responses and neutrophil function in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 97(2):874-887.

Martinsson, K. and E. Burstedt. 1990. Effects of length of access time to feed and allotment of hay on grass silage intake and production in lactating dairy cows. *Swedish Journal of Agricultural Research* 20(4):169-176.

Massey, C., C. Wang, G. Donovan, and D. Beede. 1993. Hypocalcemia at parturition as a risk factor for left displacement of the abomasum in dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 203(6):852-853.

McArt, J., D. Nydam, and G. Oetzel. 2012. Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 95(9):5056-5066.

McArt, J. A., D. V. Nydam, G. R. Oetzel, T. R. Overton, and P. A. Ospina. 2013. Elevated non-esterified fatty acids and β -hydroxybutyrate and their association with transition dairy cow performance. *Vet J* 198(3):560-570.

McArt, J. A. A. and R. C. Neves. 2020. Association of transient, persistent, or delayed subclinical hypocalcemia with early lactation disease, removal, and milk yield in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 103(1):690-701.

McFarland, D. F., J. T. Tyson, and R. J. Van Saun. 2014. Nonnutritional factors influencing response to the nutritional program. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 30(3):745-764.

McNamara, J. P. and 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, S., F. O'mara, M. Rath, and J. Murphy. 2003. Effects of different transition diets on dry matter intake, milk production, and milk composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86(7):2397-2408.

Megahed, A. A., M. W. H. Hiew, S. A. El Badawy, and P. D. Constable. 2018. Plasma calcium concentrations are decreased at least 9 hours before parturition in multiparous Holstein-Friesian cattle in a herd fed an acidogenic diet during late gestation. *Journal of Dairy Science* 101(2):1365-1378.

Melendez, P., A. Donovan, C. Risco, M. Hall, y. R. Littell, and J. Goff. 2002. Metabolic responses of transition Holstein cows fed anionic salts and supplemented at calving with calcium and energy. *Journal of Dairy Science* 85(5):1085-1092.

Melendez, P., G. A. Donovan, C. A. Risco, and J. P. Goff. 2004. Plasma mineral and energy metabolite concentrations in dairy cows fed an anionic prepartum diet that did or did not have retained fetal membranes after parturition. *American Journal of Veterinary Research* 65(8):1071-1076.

Miller-Cushon, E. and T. DeVries. 2017. Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management. *Journal of Dairy Science* 100(5):4172-4183.

Moore, E. W. 1970. Ionized calcium in normal serum, ultrafiltrates, and whole blood determined by ion-exchange electrodes. *The Journal of Clinical Investigation* 49(2):318-334.

Moore, S. J., M. J. VandeHaar, B. K. Sharma, T. E. Pilbeam, D. K. Beede, H. F. Bucholtz, J. S. Liesman, R. L. Horst, and J. P. Goff. 2000. Effects of altering dietary cation-anion difference

on calcium and energy metabolism in peripartum cows. *Journal of Dairy Science* 83(9):2095-2104.

Mulligan, F., L. O'Grady, and M. Doherty. 2008. Milk Fever and Subclinical Hypocalcaemia: Their Role in Transition Cow Health and Prevention Strategies. *Cattle Practice* 16:188-193.

Mulligan, F., L. O'grady, D. Rice, and M. Doherty. 2006. A herd health approach to dairy cow nutrition and production diseases of the transition cow. *Animal Reproduction Science* 96(3-4):331-353.

Mulligan, F. J. and M. L. Doherty. 2008. Production diseases of the transition cow. *The Veterinary Journal* 176(1):3-9.

Murray, R., J. Horsfield, W. McCormick, H. Williams, and D. Ward. 2008. Historical and current perspectives on the treatment, control and pathogenesis of milk fever in dairy cattle. *Veterinary Record* 163(19):561-565.

Nagahata, H., S. Makino, S. Takeda, H. Takahashi, and H. Noda. 1988. Assessment of neutrophil function in the dairy cow during the perinatal period. *Journal of Veterinary Medicine, Series B* 35(1-10):747-751.

Nebel, R. L. and M. L. McGilliard. 1993. Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 76(10):3257-3268.

Neves, R., B. Leno, K. Bach, and J. McArt. 2018a. Epidemiology of subclinical hypocalcemia in early-lactation Holstein dairy cows: The temporal associations of plasma calcium concentration in the first 4 days in milk with disease and milk production. *Journal of Dairy Science* 101(10):9321-9331.

Neves, R. C., B. M. Leno, M. D. Curler, M. J. Thomas, T. R. Overton, and J. A. A. McArt. 2018b. Association of immediate postpartum plasma calcium concentration with early-lactation clinical diseases, culling, reproduction, and milk production in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 101(1):547-555.

Nielsen, N., K. Ingvarsen, and T. Larsen. 2003. Diurnal variation and the effect of feed restriction on plasma and milk metabolites in TMR-fed dairy cows. *Journal of Veterinary Medicine Series A* 50(2):88-97.

Nikkhah, A., C. Furedi, A. Kennedy, G. Crow, and J. Plaizier. 2008. Effects of feed delivery time on feed intake, milk production, and blood metabolites of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91(11):4249-4260.

Nordlund, K. 2006. Commingling dairy cows: Pen moves, stocking density, and health. *Proc American Association Bovine Practitioners*. St. Paul, MN, 2006 39:36-42.

Nordlund, K. 2011. Cow comfort drives transition cow success. Page 103 in Proc. Four-State Dairy Nutrition and Management Conference.

Nordlund, K. 2017. Management of dairy cows in transition and at calving. Pages 353-383.

Norman, H., J. Wright, M. Kuhn, S. Hubbard, J. Cole, and P. VanRaden. 2009. Genetic and environmental factors that affect gestation length in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 92(5):2259-2269.

NRC, I. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. National Research Council.

Nydam, D., T. Overton, J. MCART, M. McCarthy, B. Leno, and S. Mann. 2017. Management of transition cows to optimize health and production. *Large Dairy Herd Management*, 3rd ed, American Dairy Science Association:1067-1076.

O'Reilly, K., M. Green, E. Peeler, J. Fitzpatrick, and L. Green. 2006. Investigation of risk factors for clinical mastitis in British dairy herds with bulk milk somatic cell counts less than 150,000 cells/ml. *Veterinary Record* 158(19):649-653.

Odensten, M. O., Y. Chilliard, and K. Holtenius. 2005. Effects of two different feeding strategies during dry-off on metabolism in high-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88(6):2072-2082.

Oelberg, T. J. and W. Stone. 2014. Monitoring total mixed rations and feed delivery systems. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 30(3):721-744.

Oelberg, T. J. and W. Stone. 2017. Total mixed rations and feed delivery systems. *Large Dairy Herd Management*, 3rd ed, American Dairy Science Association:751-769.

Oetzel, G. 1996. Effect of calcium chloride gel treatment in dairy cows on incidence of periparturient diseases. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 209(5):958.

Oetzel, G., K. Emery, W. Kautz, and J. Nocek. 2007. Direct-fed microbial supplementation and health and performance of pre-and postpartum dairy cattle: A field trial. *Journal of Dairy Science* 90(4):2058-2068.

Oetzel, G., M. Fettman, D. Hamar, and J. Olson. 1991. Screening of anionic salts for palatability, effects on acid-base status, and urinary calcium excretion in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 74(3):965-971.

Oetzel, G. and B. Miller. 2012. Effect of oral calcium bolus supplementation on early-lactation health and milk yield in commercial dairy herds. *Journal of Dairy Science* 95(12):7051-7065.

Oetzel, G. K. 1988. Parturient paresis and hypocalcemia in ruminant livestock. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 4(2):351-364.

Oetzel, G. R. 1991. Meta-analysis of nutritional risk factors for milk fever in dairy cattle. *Journal of Dairy science* 74(11):3900-3912.

Oetzel, G. R. 2000. Management of dry cows for the prevention of milk fever and other mineral disorders. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 16(2):369-386.

Oetzel, G. R. 2003. Herd-based biological testing for metabolic disorders. *Advances in Dairy Technology* 15:275-285.

Oetzel, G. R. 2004. Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 20(3):651-674.

Oetzel, G. R. 2013. Oral calcium supplementation in peripartum dairy cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 29(2):447-455.

Oetzel, G. R. 2014. Undertaking nutritional diagnostic investigations. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 30(3):765-788.

Oetzel, G. R. 2020. A toolbox for troubleshooting dairy nutrition problems. Pages 118-121 in *Proc. American Association of Bovine Practitioners Proceedings of the Annual Conference*.

Olagaray, K. E., M. W. Overton, and B. J. Bradford. 2020. Do biological and management reasons for a short or long dry period induce the same effects on dairy cattle productivity? *Journal of Dairy Science*

Ospina, P., D. Nydam, T. Stokol, and T. Overton. 2010a. Associations of elevated nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate concentrations with early lactation reproductive performance and milk production in transition dairy cattle in the northeastern United States. *Journal of Dairy Science* 93(4):1596-1603.

Ospina, P., D. Nydam, T. Stokol, and T. Overton. 2010b. Evaluation of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *Journal of Dairy Science* 93(2):546-554.

Ospina, P. A., J. A. McArt, T. R. Overton, T. Stokol, and D. V. Nydam. 2013. Using nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate concentrations during the transition period for herd-level monitoring of increased risk of disease and decreased reproductive and milking performance. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 29(2):387-412.

Østergaard, S. and T. Larsen. 2000. Associations between blood calcium status at calving and milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83(11):2438-2440.

Overton, M. W., P. Rapnicki, and E. K. Solutions-Dairy. 2018. Assessing Transition Cow Management and Performance.

Overton, T. 2005. Is there a place for short dry periods for high producing herds? in Proc. Advances in dairy technology: proceedings of the... Western Canadian Dairy Seminar.

Overton, T. and M. Waldron. 2004. Nutritional management of transition dairy cows: strategies to optimize metabolic health. *Journal of Dairy Science* 87:E105-E119.

Overton, T. R. 2004. Managing the metabolism of transition cows. Page 164 in Proc. Conference Sponsors.

Overton, T. R., M. E. Van Amburgh, and L. E. Chase. 2016. Nutrient recommendations for dry and lactating Holstein cows. R. guidelines, ed, Cornell University.

Pallesen, A., F. Pallesen, R. J. Jørgensen, and T. Thilasing. 2008. Effect of pre-calving zeolite, magnesium and phosphorus supplementation on periparturient serum mineral concentrations. *The Veterinary Journal* 175(2):234-239.

Palmquist, D., A. D. Beaulieu, and D. Barbano. 1993. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *Journal of Dairy Science* 76(6):1753-1771.

Payne, J. 1977. Parturient paresis. *Metabolic Diseases in Farm Animals*. Heinemann Medical Books, London, UK.

Pérez-Báez, J., C. Risco, R. Chebel, G. Gomes, L. Greco, S. Tao, I. Thompson, B. do Amaral, M. Zenobi, and N. Martinez. 2019a. Association of dry matter intake and energy balance prepartum and postpartum with health disorders postpartum: Part I. Calving disorders and metritis. *Journal of Dairy Science* 102(10):9138-9150.

Pérez-Báez, J., C. Risco, R. Chebel, G. Gomes, L. Greco, S. Tao, I. Thompson, B. do Amaral, M. Zenobi, and N. Martinez. 2019b. Association of dry matter intake and energy balance prepartum and postpartum with health disorders postpartum: Part II. Ketosis and clinical mastitis. *Journal of Dairy Science* 102(10):9151-9164.

Peterson, A., M. Orth, J. Goff, and D. Beede. 2005. Periparturient responses of multiparous Holstein cows fed different dietary phosphorus concentrations prepartum. *Journal of Dairy Science* 88(10):3582-3594.

Phelps, M. and J. House. 2001. The other side of DCAD, health problems associated with feeding anionic rations. Pages 315-317 in Proc. Proceedings of 19th Annual Conference of Vet. Internal Med.

Piantoni, P., A. Lock, and M. Allen. 2015. Saturated fat supplementation interacts with dietary forage neutral detergent fiber content during the immediate postpartum and carryover periods

in Holstein cows: Production responses and digestibility of nutrients. *Journal of Dairy Science* 98(5):3309-3322.

Pinedo, P., A. De Vries, and D. Webb. 2010. Dynamics of culling risk with disposal codes reported by Dairy Herd Improvement dairy herds. *Journal of Dairy Science* 93(5):2250-2261.

Pinedo, P., J. Velez, G. Solano, N. Rodriguez, J. Naves, G. M. Schuenemann, and C. Risco. 2017. Effect of oral calcium administration on the cure and reproductive performance of Holstein cows diagnosed with puerperal metritis. *Journal of Dairy Science* 100(4):2917-2927.

Proudfoot, K. and J. Huzzey. 2017. Behavior of transition cows and relationship with health. *Large Dairy Herd Management*, 3rd ed, American Dairy Science Association:1055-1066.

Proudfoot, K., D. Veira, D. Weary, and M. Von Keyserlingk. 2009. Competition at the feed bunk changes the feeding, standing, and social behavior of transition dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92(7):3116-3123.

Proudfoot, K., D. Weary, and M. Von Keyserlingk. 2010. Behavior during transition differs for cows diagnosed with claw horn lesions in mid lactation. *Journal of Dairy Science* 93(9):3970-3978.

Proudfoot, K. L. 2019. Maternal behavior and design of the maternity pen. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 35(1):111-124.

Proudfoot, K. L., M. Jensen, D. Weary, and M. Von Keyserlingk. 2014. Dairy cows seek isolation at calving and when ill. *Journal of Dairy Science* 97(5):2731-2739.

Pullen, D. L., D. Palmquist, and R. 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.

Quiroz-Rocha, G., S. LeBlanc, T. Duffield, B. Jefferson, D. Wood, K. Leslie, and R. Jacobs. 2010. Effect of sampling time relative to the first daily feeding on interpretation of serum fatty acid and β -hydroxybutyrate concentrations in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 93(5):2030-2033.

Rajala, P. and Y. Gröhn. 1998. Effects of dystocia, retained placenta, and metritis on milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81(12):3172-3181.

Rajala-Schultz, P., Y. Gröhn, and C. McCulloch. 1999a. Effects of milk fever, ketosis, and lameness on milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82(2):288-294.

Rajala-Schultz, P., Y. Gröhn, C. McCulloch, and C. Guard. 1999b. Effects of clinical mastitis on milk yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82(6):1213-1220.

- Reid, I., C. Roberts, R. Treacher, and L. Williams. 1986. Effect of body condition at calving on tissue mobilization, development of fatty liver and blood chemistry of dairy cows. *Animal Science* 43(1):7-15.
- Reinhardt, T. A., J. D. Lippolis, B. J. McCluskey, J. P. Goff, and R. L. Horst. 2011. Prevalence of subclinical hypocalcemia in dairy herds. *The Veterinary Journal* 188(1):122-124.
- Ribeiro, E., K. Galvão, W. Thatcher, and J. Santos. 2018. Economic aspects of applying reproductive technologies to dairy herds. *Animal Reproduction (AR)* 9(3):370-387.
- Ribeiro, E. S., F. S. Lima, L. F. Greco, R. S. Bisinotto, A. P. Monteiro, M. Favoreto, H. Ayres, R. S. Marsola, N. Martinez, W. W. Thatcher, and J. E. Santos. 2013. Prevalence of periparturient diseases and effects on fertility of seasonally calving dairy cows supplemented with concentrates. *Journal of Dairy Science* 96(9):5682-5697.
- Richards, B. F., N. A. Janovick, K. M. Moyes, D. E. Beever, and J. K. Drackley. 2020. Comparison of prepartum low-energy or high-energy diets with a 2-diet far-off and close-up strategy for multiparous and primiparous cows. *Journal of Dairy Science* 103(10):9067-9080.
- Richter, S. 2017. Untersuchung von Einflussfaktoren auf die postpartale Konzentration an Beta-Hydroxybutyrat im Blutserum von Milchkühen und deren Beziehung zur Milchleistung und Tiergesundheit in der Folgelaktation. *Vet. Med. Diss. Klinik für Klautiere. Freie Universität Berlin*.
- Roberts, T., N. Chapinal, S. J. Leblanc, D. F. Kelton, J. Dubuc, and T. F. Duffield. 2012. Metabolic parameters in transition cows as indicators for early-lactation culling risk. *Journal of Dairy Science* 95(6):3057-3063.
- Roche, J., D. Berry, J. Lee, K. Macdonald, and R. Boston. 2007a. Describing the body condition score change between successive calvings: a novel strategy generalizable to diverse cohorts. *Journal of Dairy Science* 90(9):4378-4396.
- Roche, J., E. Kolver, and J. Kay. 2005. Influence of precalving feed allowance on periparturient metabolic and hormonal responses and milk production in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88(2):677-689.
- Roche, J., J. Lee, K. Macdonald, and D. Berry. 2007b. Relationships among body condition score, body weight, and milk production variables in pasture-based dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90(8):3802-3815.
- Roche, J. R., N. C. Friggens, J. K. Kay, M. W. Fisher, K. J. Stafford, and 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.

Roche, J. R., J. K. Kay, N. C. Friggens, J. J. Looor, and D. P. Berry. 2013. Assessing and managing body condition score for the prevention of metabolic disease in dairy cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 29(2):323-336.

Rodríguez, E., A. Arís, and A. Bach. 2017. Associations between subclinical hypocalcemia and postparturient diseases in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 100(9):7427-7434.

Rowlands, G. and S. Lucey. 1986. Changes in milk yield in dairy cows associated with metabolic and reproductive disease and lameness. *Preventive Veterinary Medicine* 4(3):205-221.

Rude, R. K., S. B. Oldham, C. F. Sharp Jr, and F. R. Singer. 1978. Parathyroid hormone secretion in magnesium deficiency. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 47(4):800-806.

Rukkwamsuk, T., M. Geelen, T. Kruip, and T. Wensing. 2000. Interrelation of fatty acid composition in adipose tissue, serum, and liver of dairy cows during the development of fatty liver postpartum. *Journal of Dairy Science* 83(1):52-59.

Rukkwamsuk, T., T. Kruip, and T. Wensing. 1999. Relationship between overfeeding and overconditioning in the dry period and the problems of high producing dairy cows during the postparturient period. *Veterinary Quarterly* 21(3):71-77.

Rushen, J., A. Boissy, E. Terlouw, and A. De Passillé. 1999. Opioid peptides and behavioral and physiological responses of dairy cows to social isolation in unfamiliar surroundings. *Journal of Animal Science* 77(11):2918-2924.

Ryan, K. T., A. R. Guadagnin, K. M. Glosson, S. S. Bascom, A. D. Rowson, A. J. Steelman, and F. C. Cardoso. 2020. Increased dietary calcium inclusion in fully acidified prepartum diets improved postpartum uterine health and fertility when fed to Holstein cows. *Theriogenology* 142:338-347.

Sampson, J., J. Spain, C. Jones, and L. Carstensen. 2009. Effects of calcium chloride and calcium sulfate in an oral bolus given as a supplement to postpartum dairy cows. *Veterinary Therapeutics: Research in Applied Veterinary Medicine* 10(3):131-139.

Sansom, B., R. Manston, and M. Vagg. 1983. Magnesium and milk fever. *The Veterinary Record* 112(19):447.

Santos, J. 2018. Prepartum Negative DCAD Diets - They're Not Just for Milk Fever Anymore.

Santos, J. and E. Ribeiro. 2018. Impact of animal health on reproduction of dairy cows. *Animal Reproduction (AR)* 11(3):254-269.

Santos, J., H. M. Rutigliano, and M. Sá Filho. 2009. Risk factors for resumption of postpartum estrous cycles and embryonic survival in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science* 110(3-4):207-221.

Santos, J. and C. Staples. 2017. Feeding the herd for maximum fertility. *Large Dairy Herd Management*, 3rd ed, American Dairy Science Association:799-811.

Santos, J. E., R. S. Bisinotto, E. S. Ribeiro, F. S. Lima, L. F. Greco, C. R. Staples, and W. W. Thatcher. 2010. Applying nutrition and physiology to improve reproduction in dairy cattle. *Soc Reprod Fertil Suppl* 67:387-403.

Santos, J. E. P., I. J. Lean, H. Golder, and E. Block. 2019. Meta-analysis of the effects of prepartum dietary cation-anion difference on performance and health of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 102(3):2134-2154.

Schirmann, K., N. Chapinal, D. Weary, W. Heuwieser, and M. Von Keyserlingk. 2011. Short-term effects of regrouping on behavior of prepartum dairy cows. *Journal of Dairy Science* 94(5):2312-2319.

Schmutzer, S. 2011. Untersuchungen zum moderaten Einsatz von Anionenrationen zur Gebärpareseprophylaxe in der antepartalen Transitperiode. *Vet. Med. Diss. Klinik für Klauentiere. Freie Universität Berlin.*

Schonewille, J., A. van't Klooster, and A. Beynen. 1997. Urinary calcium losses in cows fed on a high-chloride ration are reduced when plasma calcium is stressed. in *Proc. Proceedings, IXth International Conference on Production Diseases in Farm Animals 1995: September 11-14, 1995, Free University of Berlin. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1997.*

Schonewille, J. T. 2013. Magnesium in dairy cow nutrition: an overview. *Plant and Soil* 368(1-2):167-178.

Schröder, A., S. Eustermann, M. Zarrath, and R. Staufenbiel. 2003. Stoffwechseluntersuchungen in drei Hochleistungsmilchviehbetrieben zu dem neuen sauren Salz Transi fit. in *3. Symposium zu Fragen der Fütterung und Managements von Hochleistungskühen Neuruppin.*

Schröder, U. and R. Staufenbiel. 2003. Konditionsbeurteilung per Ultraschall in der Herdenbetreuung. *Tierärztliche Praxis Großtiere* 31(05):243-247; 300-305.

Schröder, U. J. 2000. Untersuchungen zur Konditionsbeurteilung mittels ultrasonografischer Messung der Rückenfettdicke als Grundlage zur Anwendung in der Bestandsbetreuung von Milchviehherden. *Vet. Med. Diss. Klinik für Klauentiere. Freie Universität Berlin.*

Schröder, U. J. and 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.

Schuenemann, G., S. Bas, and J. Workman. 2015. Management practices for successful calving. Pages 301-316 in Proc. Proceeding of 2015 Western Canadian Dairy Seminar Advances in Dairy Technology.

Schuh, K., H. Sadri, S. Häussler, L. Webb, C. Urh, M. Wagner, C. Koch, J. Frahm, S. Dänicke, and G. Dusel. 2019. Comparison of performance and metabolism from late pregnancy to early lactation in dairy cows with elevated v. normal body condition at dry-off. *Animal* 13(7):1478-1488.

Schukken, Y., F. Grommers, D. Van de Geer, H. Erb, and A. Brand. 1991. Risk factors for clinical mastitis in herds with a low bulk milk somatic cell count. 2. Risk factors for *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Dairy Science* 74(3):826-832.

Schütz, K., D. Davison, and L. Matthews. 2006. Do different levels of moderate feed deprivation in dairy cows affect feeding motivation? *Applied Animal Behaviour Science* 101(3-4):253-263.

Seifi, H. A., S. J. LeBlanc, K. E. Leslie, and T. F. Duffield. 2011. Metabolic predictors of post-partum disease and culling risk in dairy cattle. *The Veterinary Journal* 188(2):216-220.

Serrenho, R. C., T. J. DeVries, T. F. Duffield, and S. J. LeBlanc. 2021. Graduate Student Literature Review: What do we know about the effects of clinical and subclinical hypocalcemia on health and performance of dairy cows? *Journal of Dairy Science*.

Shabi, Z., I. Bruckental, S. Zamwell, H. Tagari, and A. Arieli. 1999. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82(6):1252-1260.

Siciliano-Jones, J., P. Jardon, M. Kucerak, and M. De Ondarza. 2008. Early Lactation Production, Body Condition, and Incidence of Disease in Holstein Cows Fed a Low-Potassium Diet Alone or Supplemented with Chloride Prepartum. *The Professional Animal Scientist* 24(6):661-667.

Siener, R., H. Heynck, and A. Hesse. 2001. Calcium-binding capacities of different brans under simulated gastrointestinal pH conditions. In vitro study with ⁴⁵Ca. *Journal of agricultural and Food Chemistry* 49(9):4397-4401.

Smith, J., M. Brouk, J. Harner III, and K. Dhuyvetter. 2006. Issues with dairy facilities located in the high plains. Pages 1-13 in Proc. Proc. High plains dairy conference., Albuquerque, NM.

Smith Thomas, H. 2012. A Bud Box could speed your sorting. *Hoard's Dairyman* 157(16):604.

Sordillo, L. 2016. Nutritional strategies to optimize dairy cattle immunity. *Journal of Dairy Science* 99(6):4967-4982.

Sordillo, L. M. and W. Raphael. 2013. Significance of metabolic stress, lipid mobilization, and inflammation on transition cow disorders. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice* 29(2):267-278.

Sova, A., S. LeBlanc, B. McBride, and T. DeVries. 2013. Associations between herd-level feeding management practices, feed sorting, and milk production in freestall dairy farms. *Journal of Dairy Science* 96(7):4759-4770.

Staples, C., W. Thatcher, and J. 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. 1992a. Energie-und Fettstoffwechsel des Rindes–Untersuchungskonzept und Messung der Rückenfettdicke. *Mh. Vet. Med.* 47(4):467-474.

Staufenbiel, R. 1992b. Energie-und Fettstoffwechsel des Rindes–Untersuchungskonzept und Messung der Rückenfettdicke. *Mh. Vet. Med* 47(4):f7-474.

Staufenbiel, R. 1997. Konditionsbeurteilung von Milchkühen mit Hilfe der sonographischen Rückenfettdickenmessung. *Praktische Tierarzt Coll Vet* 27:87-92.

Staufenbiel, R. 1999. Die Stoffwechselüberwachung der Milchkuhherde als Mittel zur Stabilisierung von Leistung und Gesundheit. in *Proc. Symposium zu Fragen der Fütterung und des Managements von Hochleistungskühen*.

Staufenbiel, R. 2001. Sind unsere Hochleistungskühe noch gesund? Eine kritische Betrachtung am Beispiel der Ketose. *Milchpraxis* (2):46-49.

Staufenbiel, R. 2010. Prophylaxe der Hypokalzämie und Gebärparese der Milchkuh. *Vortragsband* 9:136-146.

Staufenbiel, R., G. Arndt, U. Schröder, and C. C. Gelfert. 2004a. Körperkondition und Stoffwechselstabilität als Grundlage für eine hohe Milchleistung bei ungestörter Fruchtbarkeit von Milchkühen: ein Beitrag zur Ableitung von Referenzwerten. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 111(5):214-220.

Staufenbiel, R., S. Frömer, S. Löffler, M. Engel, and C. Gelfert. 2003. Experimentelle Untersuchungen zur Wirkung verschiedener" saurer" Salze und Schlussfolgerungen für die Anwendung in der Gebärparese. Pages 33-62 in *Proc. Vortragsband: Dr. Pieper Tagungsbericht 2003 7. Symposium Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen, Neuruppin*.

Staufenbiel, R., I. Lachmann, J. Bauer, and B. Staufenbiel. 1993a. Energie-und Fettstoffwechsel des Rindes-Beziehungen der Rückenfettdicke zur Energieaufnahme und zur Energiebilanz *Mh. Vet. Med.* 48:58-66.

Staufenbiel, R., J. Langhans, J. Bauer, D. Dargel, N. Rossow, and G. Leuthold. 1989. Untersuchungen zur Beurteilung der postpartalen Energiebilanz der Milchkuh. *Mh. Vet. Med.* 44:594-598.

Staufenbiel, R., A. Löptien, N. Montag, M. Passfeld, and M. Goebbels. 2004b. Aktualisierte Empfehlungen zur Anwendung von Anionenrationen (sauren Salzen) zur Prophylaxe der Hypokalzämie und Gebärfähigkeit der Milchkuh. Pages 121-169 in Proc. Vortragsband: Dr. Pieper Tagungsbericht 2004 8. Symposium Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen, Neuruppin.

Staufenbiel, R., A. Roder, and L. Pieper. 2016. Die DCAB der Futtermittelration als eine bisher wenig beachtete Ursache für eine azidotische Stoffwechsellage von Jungrindern und Milchkühen. in 41. Leipziger Fortbildungsveranstaltung Labordiagnostik in der Bestandsbetreuung Leipzig.

Staufenbiel, R., B. Staufenbiel, I. Lachmann, and H. Klukas. 1991. Fettstoffwechsel und Fruchtbarkeit der Milchkuh. *Praktische Tierarzt Coll Vet* 22:18-25.

Staufenbiel, R., B. Staufenbiel, N. Rossow, and H. Klukas. 1993b. Energie- und Fettstoffwechsel des Rindes-Beziehungen der Rückenfettdicke zur Milchleistung, Fruchtbarkeit und zu klinisch-chemischen Parametern. *Mh. Vet. Med.* 48:3-11.

Staufenbiel, R., B. Staufenbiel, N. Rossow, and F. Wiedemann. 1993c. Energie- und Fettstoffwechsel des Rindes-Vergleich der Aussage der Rückenfettdicke mit anderen Untersuchungsgrößen. *Mh. Vet. Med.* 48:167-174.

Staufenbiel, R., B. Staufenbiel, and W. E. F. Rossow. 1993d. Energie- und Fettstoffwechsel des Rindes - Vergleich der Aussage der RFD mit anderen Untersuchungsgrößen *Mh. Vet. Med.* 48:167-174.

Stone, B. 2000. Defining and managing special cows. *NRAES-129: Proceedings of Dairy Housing and Equipment Systems.*

Stone, W. and S. Mosley. 2017. Nutritional diagnostic troubleshooting. *Large Dairy Herd Management*, 3rd ed, American Dairy Science Association:771-786.

Sundrum, A. 2015. Metabolic disorders in the transition period indicate that the dairy cows' ability to adapt is overstressed. *Animals* 5(4):978-1020.

Suthar, V. S., J. Canelas-Raposo, A. Deniz, and W. Heuwieser. 2013. Prevalence of subclinical ketosis and relationships with postpartum diseases in European dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96(5):2925-2938.

Sutton, J., I. Hart, S. Morant, E. Schuller, and A. Simmonds. 1988. Feeding frequency for lactating cows: diurnal patterns of hormones and metabolites in peripheral blood in relation to milk-fat concentration. *British Journal of Nutrition* 60(2):265-274.

Suzuki, Y., C. P. Landowski, and M. A. Hediger. 2008. Mechanisms and Regulation of Epithelial Ca²⁺ Absorption in Health and Disease. *Annual Review of Physiology* 70(1):257-271.

Talebi, A., M. Von Keyserlingk, E. Telezhenko, and D. Weary. 2014. Reduced stocking density mitigates the negative effects of regrouping in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 97(3):1358-1363.

Thilsing-Hansen, T., R. Jørgensen, J. Enemark, and T. Larsen. 2002a. The effect of zeolite A supplementation in the dry period on periparturient calcium, phosphorus, and magnesium homeostasis. *Journal of Dairy Science* 85(7):1855-1862.

Thilsing-Hansen, T., R. Jørgensen, and S. Østergaard. 2002b. Milk fever control principles: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica* 43(1):1.

Toni, F., L. Vincenti, L. Grigoletto, A. Ricci, and Y. Schukken. 2011. Early lactation ratio of fat and protein percentage in milk is associated with health, milk production, and survival. *Journal of Dairy Science* 94(4):1772-1783.

Treacher, R., I. Reid, and C. Roberts. 1986. Effect of body condition at calving on the health and performance of dairy cows. *Animal Science* 43(1):1-6.

Tucker, C. B., M. B. Jensen, A. M. de Passillé, L. Hänninen, and J. Rushen. 2020. Invited review: Lying time and the welfare of dairy cows. *Journal of Dairy Science*.

Tyson, J. T. 2017. Mature cow housing systems. *Large Dairy Herd Management*, 3rd ed, American Dairy Science Association:239-253.

Uribe, H., B. Kennedy, S. Martin, and D. Kelton. 1995. Genetic parameters for common health disorders of Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 78(2):421-430.

Vagnoni, D. and G. Oetzel. 1998. Effects of dietary cation-anion difference on the acid-base status of dry cows. *Journal of Dairy Science* 81(6):1643-1652.

Van de Braak, A., A. T. Van'T Klooster, and A. Malestein. 1987. Influence of a deficient supply of magnesium during the dry period on the rate of calcium mobilisation by dairy cows at parturition. *Research in Veterinary Science* 42(1):101-108.

van Knegsel, A. T. M., S. G. A. van der Drift, J. Čermáková, and B. Kemp. 2013. Effects of shortening the dry period of dairy cows on milk production, energy balance, health, and fertility: A systematic review. *The Veterinary Journal* 198(3):707-713.

Van Mosel, M., A. T. van 't Klooster, and H. Wouterse. 1991. Effects of a deficient magnesium supply during the dry period on bone turnover of dairy cows at parturition. *Veterinary Quarterly* 13(4):199-208.

- Van, R. S. and C. J. Sniffen. 2014. Transition cow nutrition and feeding management for disease prevention. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 30(3):689-719.
- Van Saun, R. 2008. Metabolic profiling of transition cows: can we predict impending problems. Pages 24-25 in *Proc. Danish Bovine Practitioner Seminar, Middelfart*.
- Van Saun, R. J. 1991. Dry cow nutrition: the key to improving fresh cow performance. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 7(2):599-620.
- Van Saun, R. J. 2006. Metabolic profiles for evaluation of the transition period. *Proceedings of American Association of Bovine Practitioners* 39:130-138.
- Van Saun, R. J. and C. J. Sniffen. 2014. Transition Cow Nutrition and Feeding Management for Disease Prevention. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 30(3):689-719.
- Vazquez-Anon, M., S. Bertics, M. Luck, R. Grummer, and J. Pinheiro. 1994. Peripartum liver triglyceride and plasma metabolites in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 77(6):1521-1528.
- Venjakob, P., R. Staufenbiel, W. Heuwieser, and S. Borchardt. 2021. Association between serum calcium dynamics around parturition and common postpartum diseases in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 104(2):2243-2253.
- Venjakob, P. L., S. Borchardt, and W. Heuwieser. 2017. Hypocalcemia-Cow-level prevalence and preventive strategies in German dairy herds. *Journal of Dairy Science* 100(11):9258-9266.
- Venjakob, P. L., L. Pieper, W. Heuwieser, and S. Borchardt. 2018. Association of postpartum hypocalcemia with early-lactation milk yield, reproductive performance, and culling in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101(10):9396-9405.
- Venjakob, P. L., R. Staufenbiel, W. Heuwieser, and S. Borchardt. 2019. Serum calcium dynamics within the first 3 days in milk and the associated risk of acute puerperal metritis. *Journal of Dairy Science* 102(12):11428-11438.
- Vernon, R. G. 2005. Lipid metabolism during lactation: a review of adipose tissue-liver interactions and the development of fatty liver. *Journal of Dairy Research* 72(4):460.
- Vieira-Neto, A., G. A. Duarte, R. Zimpel, W. W. Thatcher, and J. E. P. Santos. 2021. Days in the prepartum group are associated with subsequent performance in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*.
- Vieira-Neto, A., K. Galvão, W. Thatcher, and J. Santos. 2017. Association among gestation length and health, production, and reproduction in Holstein cows and implications for their offspring. *Journal of Dairy Science* 100(4):3166-3181.

- Waldron, M., B. Nonnecke, T. Nishida, R. Horst, and T. Overton. 2003. Effect of lipopolysaccharide infusion on serum macromineral and vitamin D concentrations in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86(11):3440-3446.
- Walsh, R., J. Walton, D. Kelton, S. LeBlanc, K. Leslie, and T. Duffield. 2007. The effect of subclinical ketosis in early lactation on reproductive performance of postpartum dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90(6):2788-2796.
- Wathes, D., M. Fenwick, Z. Cheng, N. Bourne, S. Llewellyn, D. Morris, D. Kenny, J. Murphy, and R. Fitzpatrick. 2007. Influence of negative energy balance on cyclicity and fertility in the high producing dairy cow. *Theriogenology* 68:S232-S241.
- Weber, C., B. Losand, A. Tuchscherer, F. Rehbock, E. Blum, W. Yang, R. Bruckmaier, P. Sanftleben, and H. Hammon. 2015. Effects of dry period length on milk production, body condition, metabolites, and hepatic glucose metabolism in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98(3):1772-1785.
- Weich, W., E. Block, and N. Litherland. 2013. Extended negative dietary cation-anion difference feeding does not negatively affect postpartum performance of multiparous dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96(9):5780-5792.
- Weiss, W. P., E. Azem, W. Steinberg, and T. Reinhardt. 2015. Effect of feeding 25-hydroxyvitamin D₃ with a negative cation-anion difference diet on calcium and vitamin D status of parturient cows and their calves. *Journal of Dairy Science* 98(8):5588-5600.
- Wensing, T., T. Kruip, M. Geelen, G. Wentink, and A. Van den Top. 1997. Postpartum fatty liver in high-producing dairy cows in practice and in animal studies. The connection with health, production and reproduction problems. *Comparative Haematology International* 7(3):167-171.
- Wildman, E., G. Jones, P. Wagner, R. Boman, H. Troutt, and T. Lesch. 1982. A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *Journal of Dairy Science* 65(3):495-501.
- Wilhelm, A., M. Maquivar, S. Bas, T. Brick, W. Weiss, H. Bothe, J. Velez, and G. Schuenemann. 2017. Effect of serum calcium status at calving on survival, health, and performance of postpartum Holstein cows and calves under certified organic management. *Journal of Dairy Science* 100(4):3059-3067.
- Williams, S., H. Tucker, Y. Koba, R. Suzuki, and H. Dann. 2015. Effect of dietary starch content on the occurrence of subacute ruminal acidosis (SARA) and inflammation in fresh dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98(Suppl 2):741-742.
- Wilms, J., G. Wang, J. Doelman, M. Jacobs, and J. Martín-Tereso. 2019. Intravenous calcium infusion in a calving protocol disrupts calcium homeostasis compared with an oral calcium supplement. *Journal of Dairy Science* 102(7):6056-6064.

Winckler, C. and U. Knierim. 2002. Checklisten zur Überprüfung der Haltungsbedingungen im Boxenlaufstall für Milchkühe. Page 23 in Proc. Sonderveranstaltung Tierschutz, XXII. World Buiatrics Congress.

Wright, J. and P. VanRaden. 2017. Genetic evaluation of gestation length as a trait of the service sire. *Journal of Dairy Science* 100(Suppl 2):42.

Wu, Z., J. Bernard, K. Zanzalari, and J. Chapman. 2014. Effect of feeding a negative dietary cation-anion difference diet for an extended time prepartum on postpartum serum and urine metabolites and performance. *Journal of Dairy Science* 97(11):7133-7143.

Zammit, V. 1990. Ketogenesis in the liver of ruminants—adaptations to a challenge. *The Journal of Agricultural Science* 115(2):155-162.

Zebeli, Q., K. Ghareeb, E. Humer, B. Metzler-Zebeli, and U. Besenfelder. 2015. Nutrition, rumen health and inflammation in the transition period and their role on overall health and fertility in dairy cows. *Research in Veterinary Science* 103:126-136.






Zebeli, Q. and B. Metzler-Zebeli. 2012. Interplay between rumen digestive disorders and diet-induced inflammation in dairy cattle. *Research in Veterinary Science* 93(3):1099-1108.

Zimmermann, R. 2017. Beziehungen zwischen der Innerherdenprävalenz subklinischer Streptokokkenmastitiden und der Haltungs- und Melkhygiene in Thüringer Milcherzeugerbetrieben.

Zimpel, R., M. Poindexter, A. Vieira-Neto, E. Block, C. Nelson, C. Staples, W. Thatcher, and J. Santos. 2018. Effect of dietary cation-anion difference on acid-base status and dry matter intake in dry pregnant cows. *Journal of Dairy Science* 101(9):8461-8475.

Anhang

GPS Feedbunk Management Evaluation

<p>4</p>		<p>IDEAL BUNK</p> <p>Feed available and distributed full length of the bunk</p> <p>Continuously provide a fresh, high quality, balanced and non-sorted ration without cow competition. Improves:</p> <ul style="list-style-type: none"> • dry matter intake & feed efficiency • rumen health • lying time • milk production and milk components
<p>3</p>		<p>Feed available but not evenly distributed along the bunk</p> <p>Feed must be available the full length of the pen, with 2x the amount of TMR delivered near the waterers and cross-overs both on the ends of the pen and where the waterers are located. Push-up feed in two directions alternating to keep feed available at both bunk ends, or use a skid-steer bucket to move feed from one end to the other end.</p>
<p>2</p>		<p>Visible "cement" in spots and a ridge of TMR in front of the reaching cows along the majority of the bunk</p> <p>Frequent and scheduled push-ups to ensure that all cows have feed within their reach at all times is essential. Feed push-ups multiple times in the morning from 5 am to 10 am is a very important time when cows naturally are wanting to eat, and should be done even with fresh TMR being dropped in the morning. Push-up was too late in the picture.</p>
<p>1</p>		<p>Visible "cement" and an unreachable ridge of TMR in front of the cows along the full length of the bunk</p> <p>The bunk should be constantly covered with fresh TMR. Because cows tend to push and toss feed forward, and then reach for feed as they eat, it is essential to push-up feed multiple times during the day. The recommended number and timing of feed push-ups is related to many factors, with higher stocking density being a key factor requiring additional push-ups.</p>
<p>0</p>		<p>EMPTY BUNK</p> <p>Some feed but this bunk should be considered EMPTY or zero</p> <p>The goal is to have less than 5% "zero event" bunks in a given week or month, which is defined as a bunk with less than 100-150 lbs as-fed TMR remaining in the bunk at the next day's first scheduled feeding time. Never deliver fresh TMR over the top of day-old feed that should be removed and recorded as weighback.</p>

© GPS Dairy Consulting, LLC; Verona, WI

Abbildung 21. Hickman, Feedbunk Score, GPS Dairy Consulting

Tabelle 21. Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells zum Einfluss auf die Einsatzleistung der Erstlaktierenden (n = 3.081).

Parameter	Koeffizient	SE	95 % Konfidenzintervall		P - Wert
			Untergrenze	Obergrenze	
Konstanter Term	24,85	2,04	20,85	28,86	<0,001
Vorbereitungsdauer	0,09	0,015	0,06	0,12	<0,001
Trächtigkeitsdauer ¹					
normal	Referenz				
kurz	-0,47	0,37	-1,19	0,25	0,204
lang	0,28	0,42	-0,54	1,10	0,505
Schwergewurt ²					
0	Referenz				
1	0,29	0,57	-0,83	1,40	0,612
2	-0,45	0,64	-1,71	0,81	0,483
3	-1,22	0,86	-2,90	0,46	0,155
Totgeburt					
Nein	Referenz				
Ja	-1,42	0,47	-2,34	-0,49	0,003
Jahreszeit ³					
Winter	Referenz				
Frühling	-0,77	0,31	-1,37	-0,16	0,013
Sommer	-1,38	0,33	-2,03	-0,73	<0,001
Herbst	-0,91	0,36	-1,63	-0,20	0,013
Erstkalbealter ⁴	0,33	0,07	0,19	0,48	<0,001
Somatischer Zellgehalt ⁵	-0,51	0,07	-0,65	-0,37	<0,001

¹Trächtigkeitsdauer ist definiert als kurz = 262–271 Tage; normal = 272-282 Tage; lang = 283-292 Tage

²Schwergewurt ist definiert als 0 = nicht beobachtet; 1 = Kalbung ohne Geburtshilfe oder mit einer Geburtshilfe von einer Person; 2 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von 2 Personen; 3 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von mehr als 2 Personen

³Jahreszeit ist definiert als Winter = Dezember, Januar, Februar; Frühling = März, April, Mai; Sommer = Juni, Juli, August; Herbst = September, Oktober, November

⁴in Monaten

⁵Linearer Score

Tabelle 22. Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells zum Einfluss auf die Einsatzleistung der Mehrkalbskühe (n = 7.731).

Parameter	Koeffizient	SE	95 % Konfidenzintervall		P - Wert
			Untergrenze	Obergrenze	
Konstanter Term	24,458	1,000	26,497	30,420	<0,001
Vorbereitungsdauer	0,195	0,053	0,091	0,299	<0,001
Vorbereitungsdauer*					
Vorbereitungsdauer	-0,003	0,001	-0,006	-0,001	0,017
Laktation					
2	Referenz				
3	1,058	0,239	0,590	1,526	<0,001
4+	0,082	0,233	-0,377	0,541	0,726
Trächtigkeitsdauer ¹					
normal	Referenz				
kurz	-1,530	0,369	-2,253	-0,807	<0,001
lang	0,030	0,264	-0,488	0,549	0,909
Schwergeweb ²					
0	Referenz				
1	-0,212	0,447	-1,088	0,664	0,635
2	-0,556	0,549	-1,633	0,521	0,312
3	-3,028	0,718	-4,435	-1,621	<0,001
Totgeburt					
Nein	Referenz				
Ja	-1,947	0,548	-3,021	-0,873	<0,001
Zwillinge					
Nein	Referenz				
Ja	-2,736	0,458	-3,635	-1,838	<0,001
Jahreszeit ³					
Winter	Referenz				
Frühling	-0,025	0,254	-0,523	0,473	0,922
Sommer	-2,222	0,233	-2,680	-1,764	<0,001
Herbst	-1,900	0,276	-2,442	-1,358	<0,001
Somatischer Zellgehalt ⁴					
vorh. 305-Tage-Milchleistung	1,212	0,057	1,101	1,324	<0,001

¹Trächtigkeitsdauer ist definiert als kurz = 262–271 Tage; normal = 272-282 Tage; lang = 283-292 Tage

²Schweregeburt ist definiert als 0 = nicht beobachtet; 1 = Kalbung ohne Geburtshilfe oder mit einer Geburtshilfe von einer Person; 2 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von 2 Personen; 3 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von mehr als 2 Personen

³Jahreszeit ist definiert als Winter = Dezember, Januar, Februar; Frühling = März, April, Mai; Sommer = Juni, Juli, August; Herbst = September, Oktober, November

⁴Linearer Score

Tabelle 23. Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells zum Einfluss auf den Fett-Eiweiß-Quotienten der Erstlaktierenden (n = 3.081).

Parameter	Koeffizient	SE	95 % Konfidenzintervall		P - Wert
			Untergrenze	Obergrenze	
Konstanter Term	1,062	0,070	0,925	1,200	<0,001
Vorbereitungsdauer	0,001	0,000	-0,001	0,002	0,058
Trächtigkeitsdauer ¹					
normal	Referenz				
kurz	0,004	0,013	-0,021	0,030	0,740
lang	-0,012	0,015	-0,041	0,017	0,413
Erstkalbealter ²	0,009	0,003	-0,004	-0,014	0,001
Somatischer Zellgehalt ³	0,018	0,0025	0,014	0,023	<0,001

¹Trächtigkeitsdauer ist definiert als kurz = 262–271 Tage; normal = 272-282 Tage; lang = 283-292 Tage

²in Monaten

³Linearer Score

Tabelle 24. Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells zum Einfluss auf den Fett-Eiweiß-Quotienten der Mehrkalbskühe (n = 7.733).

Parameter	Koeffizient	SE	95 % Konfidenzintervall		P - Wert
			Untergrenze	Obergrenze	
Konstanter Term	1,379	0,027	1,327	1,432	<0,001
Vorbereitungsdauer	0,002	0,000	0,001	0,003	<0,001
Laktation					
2	Referenz				
3	0,065	0,008	0,049	0,080	<0,001
4+	0,071	0,008	0,056	0,086	<0,001
Trächtigkeitsdauer ¹					
normal	Referenz				
kurz	-0,017	0,012	-0,040	0,006	0,144
lang	-0,005	0,009	-0,021	0,012	0,599
vorh. 305-Tage-					
Milchleistung	-0,010	0,0019	-0,014	-0,007	<0,001
Somatischer					
Zellgehalt ²	0,008	0,001	0,005	0,011	<0,001

¹Trächtigkeitsdauer ist definiert als kurz = 262–271 Tage; normal = 272-282 Tage; lang = 283-292 Tage

²Linearer Score

Tabelle 25. Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells zum Einfluss auf den Somatischer Zellgehalt der Erstlaktierende (n = 3.082).

Parameter	Koeffizient	SE	95 % Konfidenzintervall		P - Wert
			Untergrenze	Obergrenze	
Konstanter Term	3,356	0,176	3,010	3,702	<0,001
Vorbereitungsdauer	0,011	0,004	0,003	0,0018	0,005
Trächtigkeitsdauer					
normal	Referenz				
kurz	0,086	0,094	-0,098	0,270	0,358
lang	0,100	0,104	-0,105	0,304	0,340
ECM	-0,032	0,004	-0,041	-0,024	<0,001

¹Trächtigkeitsdauer ist definiert als kurz = 262–271 Tage; normal = 272-282 Tage; lang = 283-292 Tage

Tabelle 26. Ergebnisse des logistischen Regressionsmodells zum Einfluss auf den Somatischer Zellgehalt der Mehrkalbskühe (n = 7.733).

Parameter	Koeffizient	SE	95 % Konfidenzintervall		P - Wert
			Untergrenze	Obergrenze	
Konstanter Term	3,25	0,23	2,80	3,69	<0,001
Vorbereitungsdauer	0,01	0,00	0,00	0,02	0,001
Laktation					
2	Referenz				
3	0,50	0,06	0,38	0,62	<0,001
4+	0,88	0,06	0,76	0,99	<0,001
Trächtigkeitsdauer ¹					
normal	Referenz				
kurz	-0,08	0,08	-0,26	0,1	0,373
lang	-0,04	0,	-0,17	0,09	0,516
Schwerg Geburt ²					
0	Referenz				
1	-0,29	0,11	-0,51	-0,07	0,009
2	-0,11	0,14	-0,38	0,16	0,411
3	-0,24	0,18	-0,59	0,11	0,185
Jahreszeit ³					
Winter	Referenz				
Frühling	-0,20	0,06	-0,33	-0,08	0,002
Sommer	0,06	0,06	-0,06	0,17	0,35
Herbst	-0,03	0,07	-0,17	0,10	0,635
ECM ⁴	-0,04	0,00	-0,05	-0,04	<0,001
vorh. 305-Tage Milchleistung	0,06	0,01	0,03	0,09	<0,001

¹Trächtigkeitsdauer ist definiert als kurz = 262–271 Tage; normal = 272-282 Tage; lang = 283-292 Tage

²Schwerg Geburt ist definiert als 0 = nicht beobachtet; 1 = Kalbung ohne Geburtshilfe oder mit einer Geburtshilfe von einer Person; 2 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von 2 Personen; 3 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von mehr als 2 Personen

³Jahreszeit ist definiert als Winter = Dezember, Januar, Februar; Frühling = März, April, Mai; Sommer = Juni, Juli, August; Herbst = September, Oktober, November

⁴Energie-korrigierte Milch in kg/Tag

Tabelle 27. Ergebnisse des logistischen Regressionsmodell zum Einfluss auf Totgeburten bei Erstlaktierenden (n = 3.863).

Parameter	Koeffizient	SE	Odds Ratio	P - Wert
			(95 % - KI)	
Konstanter Term	-2,45	0,33	0,09 (0,04 – 0,16)	0,000
Vorbereitungsdauer	0,00	0,01	1,00 (0,99 – 1,02)	0,754
Geschlecht des Kalbes				
Weiblich	Referenz			
Männlich	0,32	0,13	1,37 (1,06 – 1,78)	0,016
Schwergewurt ¹				
0	Referenz			
1	-0,99	0,29	0,37 (0,21 – 0,65)	<0,001
2	1,34	0,29	3,80 (2,17 – 6,66)	<0,001
3	2,02	0,33	7,49 (3,95 – 14,19)	<0,001
Trächtigkeitdauer ²				
normal	Referenz			
kurz	0,39	0,18	1,47 (1,03 – 2,11)	0,035
lang	0,12	0,21	1,13 (0,75 – 1,70)	0,551

¹Schwergewurt ist definiert als 0 = nicht beobachtet; 1 = Kalbung ohne Geburtshilfe oder mit einer Geburtshilfe von einer Person; 2 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von 2 Personen; 3 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von mehr als 2 Personen

²Trächtigkeitdauer ist definiert als kurz = 262–271 Tage; normal = 272-282 Tage; lang = 283-292 Tage

Tabelle 28. Ergebnisse des logistischen Regressionsmodell zum Einfluss auf Totgeburten bei Mehrkalbskühen (n = 9.392).

Parameter	Koeffizient	SE	Odds ratio	P - Wert
			(95 % - KI)	
Konstanter Term	-2,67	0,39	0,07 (0,03 – 0,15)	<0.001
Vorbereitungsdauer	-0,01	0,01	0,99 (0,97 – 1,01)	0,329
Laktation				
2	Referenz			
3	0,28	0,16	1,32 (0,96 – 1,81)	0,090
4+	0,33	0,15	1,39 (1,03 – 1,86)	0,031
Geschlecht des Kalbes				
Weiblich	Referenz			
Männlich	0,51	0,13	1,66 (1,29 – 2,15)	<0.001
Schwerg Geburt ¹				
0	Referenz			
1	-2,40	0,29	0,09 (0,05 – 0,16)	<0.001
2	0,70	0,28	2,02 (1,18 – 3,46)	0,011
3	1,60	0,30	4,93 (2,72 – 8,92)	<0.001
Trächtigkeitsdauer ²				
normal	Referenz			
kurz	1,13	0,19	3,08 (2,14 – 4,45)	<0,001
lang	0,06	0,19	1,07 (0,74 – 1,53)	0,727

¹Schwerg Geburt ist definiert als 0 = nicht beobachtet; 1 = Kalbung ohne Geburtshilfe oder mit einer Geburtshilfe von einer Person; 2 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von 2 Personen; 3 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von mehr als 2 Personen

²Trächtigkeitsdauer ist definiert als kurz = 262–271 Tage; normal = 272-282 Tage; lang = 283-292 Tage

Tabelle 29. Ergebnisse des logistischen Regressionsmodell zum Einfluss auf das Merzungsrisiko innerhalb der ersten 60 Tage in Milch für Erstlaktierende (n = 3.192).

Parameter	Koeffizient	SE	Odds ratio	P - Wert
			(95 % - KI)	
Konstanter Term	3,641	0,411	38,129 (17,024 – 85,397)	<0,001
Vorbereitungsdauer	-0,002	0,011	0,998 (0,976 – 1,021)	0,876
Trächtigkeitsdauer ¹				
normal	Referenz			
kurz	-0,632	0,216	0,531 (0,348 – 0,812)	0,004
lang	0,230	0,388	1,258 (0,588 – 2,692)	0,554

¹Trächtigkeitsdauer ist definiert als kurz = 262–271 Tage; normal = 272-282 Tage; lang = 283-292 Tage

Tabelle 30. Ergebnisse des logistischen Regressionsmodell zum Einfluss auf das Merzungsrisiko innerhalb der ersten 60 Tage in Milch für Mehrkalbskühe (n = 9.338).

Parameter	Koeffizient	SE	Odds ratio	P - Wert
			(95 % - KI)	
Konstanter Term	-3,22	0,50	0,04 (0,01 – 0,11)	<0,001
Vorbereitungsdauer	0,03	0,01	1,02 (1,00 – 1,03)	<0,001
Laktation				
2	Referenz			
3	0,54	0,11	1,72 (1,38 – 2,14)	<0,001
4+	0,84	0,11	2,31 (1,88 – 2,85)	<0,001
Trächtigkeitsdauer ¹				
normal	Referenz			
kurz	0,43	0,14	1,53 (1,17 – 2,01)	0,002
lang	-0,02	-0,19	0,98 (0,77 – 1,24)	0,848
Schwerg Geburt ²				
0	Referenz			
1	0,41	0,20	1,51 (1,02 – 2,24)	0,041
2	0,12	0,23	1,68 (1,06 – 2,66)	0,027
3	1,31	0,28	3,69 (2,12 – 6,43)	<0,001
Totgeburt				
Nein	Referenz			
Ja	0,80	0,19	2,22 (1,54 – 3,21)	<0,001
Jahreszeit ³				
Winter	Referenz			
Frühling	0,08	0,11	1,09 (0,87 – 1,36)	0,468
Sommer	-0,01	0,11	0,99 (0,80 – 1,22)	0,903
Herbst	-0,52	0,12	0,59 (0,47 – 0,76)	<0,001
vorh. 305-Tage-Milchleistung	-0,10	0,02	0,90 (0,86 – 0,95)	<0,001

¹Trächtigkeitsdauer ist definiert als kurz = 262–271 Tage; normal = 272-282 Tage; lang = 283-292 Tage²Schwerg Geburt ist definiert als 0 = nicht beobachtet; 1 = Kalbung ohne Geburtshilfe oder mit einer Geburtshilfe von einer Person; 2 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von 2 Personen; 3 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von mehr als 2 Personen³Jahreszeit ist definiert als Winter = Dezember, Januar, Februar; Frühling = März, April, Mai; Sommer = Juni, Juli, August; Herbst = September, Oktober, November

Tabelle 31. Ergebnisse des logistischen Regressionsmodell zum Einfluss auf die Länge der Gützeit innerhalb 150 Laktationstage für Erstlaktierende (n = 2.038).

Parameter	Koeffizient	SE	Odds ratio	P - Wert
			(95 % - KI)	
Konstanter Term	0,899	0,161	2,458 (1,792 – 3,372)	<0,001
Vorbereitungsdauer	-0,005	0,006	0,995 (0,995 – 0,984)	0,429
Trächtigkeitsdauer ¹				
normal	Referenz			
kurz	-0,120	0,156	1,127 (0,830 – 1,531)	0,444
lang	-0,158	0,155	0,854 (0,630 – 1,158)	0,308
Totgeburt				
Nein	Referenz			
Ja	-0,653	0,163	0,52 (0,378 – 0,717)	<0,001
Jahreszeit ²				
Winter	Referenz			
Frühling	-0,239	0,112	0,788 (0,632 – 0,981)	0,033
Sommer	-1,778	0,284	0,169 (0,097 – 0,295)	<0,001
Herbst	-0,651	0,134	0,521 (0,401 – 0,679)	<0,001

¹Trächtigkeitsdauer ist definiert als kurz = 262–271 Tage; normal = 272-282 Tage; lang = 283-292 Tage

²Jahreszeit ist definiert als Winter = Dezember, Januar, Februar; Frühling = März, April, Mai; Sommer = Juni, Juli, August; Herbst = September, Oktober, November

Tabelle 32. Ergebnisse des logistischen Regressionsmodell zum Einfluss auf die Länge der Gützeit innerhalb 150 Laktationstage für Mehrkalbskühe (n = 4.699).

Parameter	Koeffizient	SE	Odds ratio	P - Wert
			(95 % - KI)	
Konstanter Term	1,425	0,290	4,158 (2,356 – 7,336)	<0,001
Vorbereitungsdauer	-0,004	0,006	0,996 (0,985 – 1,007)	0,486
Laktation				
2	Referenz			
3	-0,099	0,082	0,906 (0,771 – 1,065)	0,231
4+	-0,371	0,081	0,690 (0,589 – 0,809)	<0,001
Trächtigkeitsdauer ¹				
normal	Referenz			
kurz	0,082	0,130	1,086 (0,842 – 1,400)	0,526
lang	0,046	0,089	1,047 (0,879 – 1,246)	0,608
Schwergeweburt ²				
0	Referenz			
1	-0,085	0,152	0,919 (0,682 – 1,237)	0,577
2	-0,448	0,194	0,639 (0,437 – 0,934)	0,021
3	-0,518	0,249	0,595 (0,365 – 0,971)	0,038
Zwillinge				
Nein	Referenz			
Ja	-0,440	0,162	0,644 (0,469 – 0,885)	0,007
Jahreszeit ³				
Winter	Referenz			
Frühling	-0,348	0,074	0,706 (0,610 – 0,817)	<0,001
Sommer	-1,674	0,187	0,188 (0,130 – 0,271)	<0,001
Herbst	-0,418	0,089	0,658 (0,553 – 0,783)	<0,001
vorh. 305-Tage-Milchleistung	-0,075	0,020	0,928 (0,893 – 0,965)	<0,001

¹Trächtigkeitsdauer ist definiert als kurz = 262–271 Tage; normal = 272-282 Tage; lang = 283-292 Tage²Schwergeweburt ist definiert als 0 = nicht beobachtet; 1 = Kalbung ohne Geburtshilfe oder mit einer Geburtshilfe von einer Person; 2 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von 2 Personen; 3 = Kalbung mit einer Geburtshilfe von mehr als 2 Personen³Jahreszeit ist definiert als Winter = Dezember, Januar, Februar; Frühling = März, April, Mai; Sommer = Juni, Juli, August; Herbst = September, Oktober, November

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich recht herzlich bei allen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit hilfreich unterstützt haben.

Bei **Herrn Prof. Dr. Wolfgang Heuwieser** bedanke ich mich für die Überlassung dieses hochinteressanten und sehr praxisnahen Themas. Ihre hervorragende Betreuung, Unterstützung, gute Zusammenarbeit und ihr Vertrauen wusste ich stets zu schätzen.

Großer Dank gilt meinen **Mitdoktoranden und Mitdoktorandinnen** sowie allen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Tierklinik für Fortpflanzung für die außerordentlich gute Zusammenarbeit und ihre Unterstützung bei den Betriebsbesuchen. Einen besonderen Dank möchte ich an Mareike Röder aussprechen, vor allem für die fleißigen, gemeinsamen Probeentnahmen, aber auch für ihre großartige und vielseitige Unterstützung in allen Belangen. Einen großen Dank möchte ich auch an Fred de Koning und ForFarmers Beelitz GmbH für die Organisation und tatkräftigen Unterstützung dieser Studie aussprechen.

Außerdem möchte ich mich bei Frau Jaqueline Bäumer für die Einarbeitung und gute Zusammenarbeit im Labor der Klauentierklinik bedanken.

Ein weiterer Dank gilt allen Mitarbeitern der an der Studie teilgenommenen Milchviehbetriebe.

Mein größter Dank gilt **Herrn Dr. Peter Venjakob** und **Herrn Dr. Stefan Borchardt**, die mir während meiner gesamten Arbeit uneingeschränkt mit Rat und Tat zur Seite standen und mich auf eine absolut großartige Weise unterstützt haben. Der Begriff „Be-treu-er“ trifft auf sie in besonderem Maße zu, weil sie nahezu jederzeit für mich da waren. Durch sie wurde der erfolgreiche Abschluss meiner Arbeit erst ermöglicht. Ich danke ihnen von ganzem Herzen für ihren Humor, Herzlichkeit und ihre unermüdliche, intensive und professionelle Hilfsbereitschaft. Herrn Dr. Peter Venjakob gebührt hier mein voller und besonders herauszustellender Dank für seine großartigen Bemühungen im Rahmen der mehrfachen Durchsicht dieser Abhandlung und seiner mannigfachen Ideengebung.

Von ganzem Herzen möchte ich mich bei meiner **Familie**, die mir meinen bisherigen Lebensweg ermöglichten, bedanken. In einer doch sehr anstrengenden Zeit mit vielen Höhen und Tiefen bilden sie immer mein Rückgrat. Ohne eure liebevolle Unterstützung, wäre ein solches Vorhaben nur schwer durchzuführen gewesen. Vielen Dank für die offenen Ohren, die Unterstützung und die Motivation, die ihr mir immer gebt.

Bei Tieryn Berlin e.V. bedanke ich mich für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit.

Finanzierungsquellen

Die Studie wurde finanziell durch ForFarmers und Tiergyn e.V. Berlin.

Es besteht kein Interessenkonflikt durch die finanzielle Unterstützung der Studie.

Selbstständigkeitserklärung

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

Berlin, den 13.05.2022

Lisa-Katharina Neuhaus



mbvberlin | mensch und buch verlag
49,90 Euro | ISBN: 978-3-96729-162-9