



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Institut für Nutztierwissenschaften,
Fachgebiet Tierernährung
Prof. Dr. M. Rodehutschord

**LANGFRISTIGE BEURTEILUNG DER
ENERGIEVERSORGUNG VON MILCHKÜHEN BEI
UNTERSCHIEDLICHEM KRAFTFUTTEREINSATZ**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der
Agrarwissenschaften (Dr. sc. Agr.)

der Fakultät Agrarwissenschaften
der Universität Hohenheim

von

Elisabeth Katharina Gerster
aus Ochsenhausen Mittelbuch

2020

Die vorliegende Arbeit wurde am 11.09.2019 von der Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim als Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung:	29.11.2019
Leitung des Kolloquiums:	Prof. Dr. Andrea Knierim
Berichterstatter, 1. Prüfer:	Prof. Dr. Markus Rodehutschord
Berichterstatter, 2. Prüfer:	Prof. Dr. Andreas Susenbeth
3. Prüfer:	Prof. Dr. med. vet. Ludwig E. Hölzle

Diese Dissertation wurde im Rahmen des Verbundprojekts „optiKuh - Verbesserung der Haltung von Milchkühen durch Zuchtverfahren auf Futteraufnahme und Stoffwechselstabilität sowie Umweltverträglichkeit bei optimierter Fütterungsintensität und Nutzung von Stoffwechselindikatoren sowie Sensoren im Herdenmanagement“ durchgeführt.

Die Förderung erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestags. Die Projektträgerschaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

*„So wir nicht umkehren und werden wie die Kühe,
so kommen wir nicht in das Himmelreich.
Wir sollten ihnen nämlich eins ablernen:
das Wiederkäuen. Und wahrlich,
wenn der Mensch auch die ganze Welt gewönne
und lernte das eine nicht, das Wiederkäuen:
was hülfte es! Er würde nicht seine Trübsal los. (...)
Es ist nicht mehr wahr, dass die Armen selig sind.
Das Himmelreich aber ist bei den Kühen.“*

aus Zarathustra von Friedrich Nietzsche

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis.....	IX
Abkürzungsverzeichnis	XIII
Anhangsverzeichnis	XV
1 EINLEITUNG.....	1
2 LITERATURÜBERBLICK.....	3
2.1 Erstellung des Metaanalyse-Datensatzes aus der Literatur.....	3
2.1.1 Beschreibung des Metaanalyse-Datensatzes	4
2.1.2 Vorgehen bei der Auswertung des Metaanalyse-Datensatzes.....	7
2.2 Ergebnis der Modellierung von Produktionsmerkmalen in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme.....	8
2.2.1 Grobfutteraufnahme	9
2.2.2 Milchleistung.....	16
2.2.3 Milchinhaltsstoffe.....	19
2.2.4 Lebendmasse	22
2.3 Ableitung der Versuchsfragestellung.....	22
3 MATERIAL UND METHODEN.....	25
3.1 Versuchsaufbau.....	25
3.2 Versuchstiere	25
3.3 Fütterung.....	26
3.4 Haltung.....	32
3.5 Datenerhebung und Datenzusammenführung.....	33
3.5.1 Datenerhebung	33
3.5.2 Datenzusammenführung.....	46
3.5.3 Berechnungen.....	47
3.6 Statistische Auswertung.....	48
3.6.1 Fütterungsversuch	48
3.6.2 Beurteilung der Energieversorgung im ersten Laktationsdrittel mittels Hilfsmerkmalen.....	55

4	ERGEBNISSE	57
4.1	Futteraufnahme	57
4.1.1	Gesamtlaktation.....	57
4.1.2	Einfluss der Laktationsnummer bei variierendem Kraftfuttereinsatz	58
4.1.3	Laktationsverlauf.....	59
4.2	Milchleistung	63
4.2.1	Gesamtlaktation.....	63
4.2.2	Einfluss der Laktationsnummer bei variierendem Kraftfuttereinsatz	64
4.2.3	Laktationsverlauf.....	65
4.3	Körperkondition und Lebendmasse	71
4.3.1	Gesamtlaktation.....	71
4.3.2	Einfluss der Laktationsnummer bei variierendem Kraftfuttereinsatz	72
4.3.3	Laktationsverlauf.....	73
4.4	Energieversorgung	77
4.4.1	Gesamtlaktation.....	78
4.4.2	Einfluss der Laktationsnummer bei variierendem Kraftfuttereinsatz	79
4.4.3	Laktationsverlauf.....	81
4.5	Blut- und Harnwerte	84
4.5.1	Gesamtlaktation.....	84
4.5.2	Einfluss der Laktationsnummer bei variierendem Kraftfuttereinsatz	85
4.5.3	Laktationsverlauf.....	88
4.6	Fettsäurezusammensetzung im Futter- und Milchfett	95
4.6.1	Fettsäurezusammensetzung im Futterfett.....	96
4.6.2	Fettsäurezusammensetzung im Milchfett – Gesamtlaktation.....	98
4.6.3	Einfluss der Laktationsnummer bei variierendem Kraftfuttereinsatz	99
4.6.4	Laktationsverlauf.....	102
4.7	Energie- und Nährstoffnutzung für Leistung oder leistungsunabhängigen Bedarf	109
4.7.1	Gesamtlaktation einschließlich Trockenstehphase.....	109
4.8	Krankheiten und Fruchtbarkeit	111
4.8.1	Gesamtlaktation einschließlich Trockenstehphase.....	111
4.9	Beurteilung der Energieversorgung im ersten Laktationsdrittel mittels Hilfsmerkmalen ..	114
4.9.1	Hilfsmerkmal Fettsäurezusammensetzung im Milchfett.....	114
4.9.2	Hilfsmerkmal Blutwerte	119

5	DISKUSSION.....	123
5.1	Futteraufnahme und Grobfutterverdrängung	123
5.1.1	Futteraufnahme.....	123
5.1.2	Grobfutterverdrängung.....	125
5.2	Einfluss des Kraftfuttoreinsatzes auf die Energieversorgung	135
5.2.1	Alternative Bewertung der Energieversorgung.....	143
5.3	Beurteilung der Energieversorgung im ersten Laktations-drittel mittels Hilfsmerkmal Fettsäurezusammensetzung im Milchfett	147
5.3.1	Einflussfaktoren auf die Fettsäurezusammensetzung im Milchfett	149
5.3.2	Schätzung des Energiesaldos im ersten Laktationsdrittel aus der Fettsäurezusammensetzung im Milchfett.....	154
5.4	Schlussfolgerungen	162
6	ZUSAMMENFASSUNG	165
7	SUMMARY	169
	Literaturverzeichnis.....	173
	Anhang	185
	Danksagung.....	201

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grobfutteraufnahme in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme.....	11
Abbildung 2: Energiekorrigierte Milchleistung in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme..	18
Abbildung 3: Milcheiweißgehalt in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme	20
Abbildung 4: Milchfettgehalt in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme.....	21
Abbildung 5: Überblick über die Kraftfutter-Anteile in der Trockenmasse der Totalen Mischrationen im Laktationsverlauf in der Gruppe 250 und der Gruppe 150.....	27
Abbildung 6: Übersicht Datenerfassung.....	34
Abbildung 7: Futteraufnahme der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	60
Abbildung 8: Kraftfutteraufnahme der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	61
Abbildung 9: Grobfutteraufnahme der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	62
Abbildung 10: Milchleistung der Gruppen, Verlauf in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum	66
Abbildung 11: Energiekorrigierte Milchleistung der Gruppen, Verlauf in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum	67
Abbildung 12: Milchfettgehalt der Gruppen, Verlauf in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum	68
Abbildung 13: Milcheiweißgehalt der Gruppen, Verlauf in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum	69
Abbildung 14: Fett-Eiweiß-Quotient der Gruppen, Verlauf in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum	70
Abbildung 15: Laktosegehalt der Gruppen, Verlauf in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum	71
Abbildung 16: Body Condition Score der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	74
Abbildung 17: Body Condition Score von Erstkalbskühen der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	75
Abbildung 18: Body Condition Score von Mehrkalbskühen der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	76
Abbildung 19: Lebendmasse der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	77
Abbildung 20: Energiesaldo der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	81
Abbildung 21: Energiesaldo von Erstkalbskühen der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	83
Abbildung 22: Energiesaldo von Mehrkalbskühen der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	84

Abbildung 23: Konzentration nichtveresterter freier Fettsäuren im Blutserum der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	88
Abbildung 24: Konzentration nichtveresterter freier Fettsäuren im Blutserum der Erst- und Mehrkalbskühe in den Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum.....	89
Abbildung 25: D-3-Hydroxybutyrat-Konzentration im Blutserum der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	91
Abbildung 26: Insulinähnlicher Wachstumsfaktor-Konzentration im Blutplasma der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	92
Abbildung 27: Insulin-Konzentration im Blutplasma der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	93
Abbildung 28: Glucose-Konzentration im Blutserum der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	94
Abbildung 29: Adiponektin-Konzentration im Blutserum der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	94
Abbildung 30: Calcium-Konzentration im Blutserum der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	95
Abbildung 31: Konzentration der Fettsäure C04:0 im Milchfett der Gruppen an den vier Milchprobeterminen im gesamten Versuchszeitraum	103
Abbildung 32: Konzentration der Fettsäure C10:0 im Milchfett der Gruppen an den vier Milchprobeterminen im gesamten Versuchszeitraum	105
Abbildung 33: Konzentration der Fettsäure- (FS) Gruppe mittelkettige FS im Milchfett der Gruppen an den vier Milchprobeterminen im gesamten Versuchszeitraum	106
Abbildung 34: Konzentration der Fettsäure- (FS) Gruppe langkettige FS im Milchfett der Gruppen an den vier Milchprobeterminen im gesamten Versuchszeitraum	107
Abbildung 35: Konzentration der Fettsäure C18:2c9c12 im Milchfett der Gruppen an den vier Milchprobeterminen im gesamten Versuchszeitraum	108
Abbildung 36: Mit dem Modell PRE geschätzter Energiesaldo in Abhängigkeit vom berechneten Energiesaldo	117
Abbildung 37: Residuenplots mit Standardschätzfehler des Modells ENET_FS, erstellt durch Leave-One-Out-Kreuzvalidierung am vorliegenden Datensatz	119
Abbildung 38: Residuenplots mit Standardschätzfehler des Modells ENET_BL, erstellt durch Leave-One-Out-Kreuzvalidierung am vorliegenden Datensatz	121

Abbildung 39: Verlauf der Grobfutterenergieverdrängung in MJ NEL pro Δ MJ NEL Kraftfutter in der Laktation.....	132
Abbildung 40: Verlauf der Futteraufnahme der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Trockenstehphase	141
Abbildung 41: Verlauf der prozentualen Energiebedarfsdeckung der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in Laktation und Trockenstehphase	144

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Beschreibung ausgewählter Merkmale des Metaanalyse-Datensatzes zur Modellierung von Produktionsmerkmalen in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme	7
Tabelle 2:	Ergebnisse der Metaanalyse, ohne Einteilung in Klassen, Modellierung eines linearen Zusammenhangs	9
Tabelle 3:	Ergebnisse der Metaanalyse, ohne Einteilung in Klassen, Modellierung eines quadratischen Zusammenhangs	9
Tabelle 4:	Prüfung der Wechselwirkung ausgewählter Klassen mit der Kraftfutteraufnahme für die Grobfutteraufnahme, den Milcheiweißgehalt und den Milchfettgehalt, Modellierung eines linearen Zusammenhangs	13
Tabelle 5:	Ergebnisse der Metaanalyse bei Einteilung des Datensatzes in Klassen für die Grobfutteraufnahme, den Milcheiweißgehalt und den Milchfettgehalt, Modellierung eines linearen Zusammenhangs	14
Tabelle 6:	Merkmale der Gruppe 250 und der Gruppe 150 zu Versuchsbeginn	26
Tabelle 7:	Zusammensetzung des Grobfutters in den Totalen Mischrationen der Gruppe 250 und der Gruppe 150, gemittelt über die gesamte Versuchsdauer	27
Tabelle 8:	Rationen K1, K2 = R1 und R2 = TR2, Komponentenzusammensetzung und Inhaltsstoffe, zusammengefasst in Zeiträume gleicher Zusammensetzung der Komponenten Heu, Stroh, Wasser	30
Tabelle 9:	Ration TR1, Komponentenzusammensetzung und Inhaltsstoffe, zusammengefasst in Zeiträume gleicher Zusammensetzung der Komponenten Heu, Stroh, Grassilage	31
Tabelle 10:	Einstellungen am Gaschromatograph	40
Tabelle 11:	Liste der analysierten Fettsäuren	41
Tabelle 12:	berechnete Fettsäuregruppen	42
Tabelle 13:	Analysemethode der untersuchten Blutwerte	45
Tabelle 14:	Verteilung der ausgewerteten Laktationen nach Laktationsnummer auf die Gruppe 250 und die Gruppe 150 in der Laktation und in der Trockenstehphase ...	49
Tabelle 15:	AIC-Werte der Modellvarianten mit variierenden, zufälligen Effekten und variierender Autokorrelationsstruktur des Fehlers für eine Auswahl an Merkmalen	50
Tabelle 16:	Merkmale der täglichen Futter- und Wasseraufnahme der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	58
Tabelle 17:	Einfluss der Laktationsnummernklasse (LNRcl) und der LNRcl in Abhängigkeit der Gruppe auf die tägliche Futter- und Wasseraufnahme in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	59

Tabelle 18:	Merkmale der täglichen Milchleistung und der Milchinhaltsstoffe der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum	63
Tabelle 19:	Einfluss der Laktationsnummernklasse (LNRcl) und der LNRcl in Abhängigkeit der Gruppe auf die tägliche Milchleistung und die Milchinhaltsstoffe in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum	64
Tabelle 20:	Body Condition Score und durchschnittliche Lebendmasse der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	72
Tabelle 21:	Einfluss der Laktationsnummernklasse (LNRcl) und der LNRcl in Abhängigkeit der Gruppe auf den Body Condition Score und die durchschnittliche Lebendmasse in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	72
Tabelle 22:	Merkmale des täglichen Energiesaldos der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum.....	78
Tabelle 23:	Einfluss der Laktationsnummernklasse (LNRcl) und der LNRcl in Abhängigkeit der Gruppe auf den täglichen Energiesaldo in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	79
Tabelle 24:	Blut- und Harnwerte der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	85
Tabelle 25:	Einfluss der Laktationsnummernklasse (LNRcl) und der LNRcl in Abhängigkeit der Gruppe auf die Blut- und Harnwerte in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum	86
Tabelle 26:	Anteil in % an Blutproben mit einer Konzentration nichtveresterter freier Fettsäuren oberhalb des Grenzwerts an den fünf Blutprobeterminen in der Gruppe 250 und der Gruppe 150 im gesamten Versuchszeitraum.	90
Tabelle 27:	Anteil in % an Blutproben mit einer D-3-Hydroxybutyrat-Konzentration oberhalb des Grenzwerts an den fünf Blutprobeterminen in der Gruppe 250 und der Gruppe 150 im gesamten Versuchszeitraum.	91
Tabelle 28:	Durchschnittliche Fettsäurezusammensetzung in den Rationen K1, K2 = R1 und R2 = TR2.....	97
Tabelle 29:	Fettsäurezusammensetzung im Milchfett der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum	98
Tabelle 30:	Einfluss der Laktationsnummernklasse (LNRcl) und der LNRcl in Abhängigkeit der Gruppe auf die Fettsäurezusammensetzung im Milchfett in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum.....	101
Tabelle 31:	Einfluss des Milchprobetermins und des Termins in Abhängigkeit der Gruppe auf die Fettsäurezusammensetzung im Milchfett im gesamten Versuchszeitraum	104
Tabelle 32:	Durchschnittliche Energie- und Nährstoffaufnahme und deren Nutzung für Milch in der Gruppe 250 und der Gruppe 150 im gesamten Versuchszeitraum ..	110

Tabelle 33:	Anteil der Laktationen pro Gruppe im Erkrankungszeitraum, in denen die genannte Diagnose gestellt wurde; gesamter Versuchszeitraum.....	111
Tabelle 34:	Zellzahl in der Milch der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum	112
Tabelle 35:	Anteil der beobachteten Kalbungen mit leichtem, mittlerem oder schwerem Verlauf pro Gruppe; gesamter Versuchszeitraum ¹⁾	113
Tabelle 36:	Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen dem Energiesaldo und der Konzentration von Fettsäuren, Fettsäuregruppen oder dem Verhältnis der Konzentration ausgewählter Fettsäuren im Milchfett	115
Tabelle 37:	Durch Validierung am vorliegenden Datensatz ermittelte Güte der von BECHER (2017) entwickelten Modelle PRE, ENET und ADA-ENET zur Schätzung des Energiesaldos	116
Tabelle 38:	Koeffizienten und Güte (nach Leave-One-Out-Kreuzvalidierung) des am vorliegenden Datensatz entwickelten Modells ENET_FS zur Schätzung des Energiesaldos	118
Tabelle 39:	Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen dem Energiesaldo und der Konzentration von Merkmalen im Blut.....	120
Tabelle 40:	Koeffizienten und Güte (nach Leave-One-Out-Kreuzvalidierung) des am vorliegenden Datensatz entwickelten Modells ENET_BL zur Schätzung des Energiesaldos	120
Tabelle 41:	Vergleich der geschätzten mit der tatsächlich gemessenen Grobfutterverdrängung in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum	126
Tabelle 42:	Vergleich der von BECHER (2017) ermittelten Güte ihrer Modelle zur Schätzung des Energiesaldos mit der Güte, die sich bei der Validierung am vorliegenden, unabhängigen Datensatz ergab	155

Akürzungsverzeichnis

ADF	Säure-Detergenz-Faser
AIC	Akaikes Entscheidungskriterium
AICC	korrigiertes Akaikes Entscheidungskriterium
<i>a. p.</i>	<i>ante partum</i>
BCS	Body Condition Score
BHB	D-3-Hydroxybutyrat
C	Kohlenstoff
ECM	Energiekorrigierte Milchleistung
EUFS	einfach ungesättigte Fettsäuren
FEQ	Fett-Eiweiß-Quotient
FS	Fettsäure
GEKF	Bruttoenergie-Konvertierungsfaktor
GFS	gesättigte Fettsäuren
GF-Verdrängung	Grobfutterverdrängung
IGF-I	Insulinähnlicher Wachstumsfaktor
KF	Kraftfutter
KKFS	kurzkettige Fettsäuren
LAZBW	Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg
LKFS	langkettige Fettsäuren
LNR	Laktationsnummer
LNRcl	Laktationsnummernklasse
LSmeans	Kleinstquadratschätzer
LTG	Laktationstag
ME	Umsetzbare Energie
MKFS	mittelkettige Fettsäuren
MUFS	mehrfach ungesättigte Fettsäuren
NDF	Neutrale-Detergenz-Faser
NEFA	nichtveresterte freie Fettsäure
NEL	Netto-Energie-Laktation

NSBA	Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung
nXP	nutzbares Rohprotein
P	Phosphor
<i>p. p.</i>	<i>post partum</i>
r	Pearson-Korrelationskoeffizient
R^2_{adj}	adjustiertes Bestimmtheitsmaß
RIC	Roughage-Intake-Control-System
RNB	Ruminale-Stickstoff-Bilanz
RSD	Standardschätzfehler, Rest-Standardabweichung;
s	Standardabweichung
SE	Standardfehler
TM	Trockenmasse
TMR	Totale Mischration
UFS	ungesättigte Fettsäuren
UKFS	Fettsäuren mit ungerader Anzahl der Kohlenstoffatome
VKFS	verzweigt-kettige Fettsäuren
vLTG	Laktationstage vor der Kalbung
\bar{x}	arithmetischer Mittelwert
XP	Rohprotein

Anhangsverzeichnis

Tabelle A1:	Aus der Literatur erstellter Datensatz zur Modellierung von Produktionsmerkmalen in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme (264 Gruppen aus 101 Versuchen in 46 Studien, Zeitraum 1984 bis 2018).....	185
Tabelle A2:	Gemittelte Inhaltsstoffe der eingesetzten und analysierten Futtermittel, Zeitraum ihres Einsatzes	193
Tabelle A3:	Abkürzungsverzeichnis der Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle A2.....	195
Tabelle A4:	Ausschlusskriterien im Rahmen der Qualitätssicherung für Futteraufnahme erfasst am Fress-Wiegetrog-System (RIC).....	196
Tabelle A5:	Durchschnittliche Konzentration der Fettsäuren, Fettsäuregruppen oder durchschnittliches Verhältnis der Konzentration ausgewählter Fettsäuren im Milchfett (Probetermin 5, 28 und 100 Tage p .p.; n=203).....	198
Abbildung A1:	Futteraufnahme in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme	190
Abbildung A2:	Milchleistung in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme	190
Abbildung A3:	Milchfettgehalt in Abhängigkeit vom Kraftfutteranteil in der Trockenmasse der Ration.....	191
Abbildung A4:	Lebendmasse in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme.....	191
Abbildung A5:	Verlauf der Futteraufnahme der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation	197
Abbildung A6:	Verlauf der energiekorrigierten Milchleistung der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation	197

1 EINLEITUNG

Die Höhe des Kraftfuttereinsatzes ist für den Milchviehhalter von sehr großer Bedeutung. Bei der Rationsgestaltung bewegt er sich im Spannungsfeld zwischen Wiederkäuergerechtigkeit und maximaler Energiezufuhr.

Der Fokus der Zucht auf eine hohe Milchleistung hat zwar indirekt auch die Futteraufnahme gesteigert, allerdings in geringerem Umfang als der zusätzliche Energiebedarf dies erfordern würde. Deshalb ist ein hoher Kraftfuttereinsatz eine gängige Beratungsempfehlung. Die Physiologie des Vormagensystems setzt dem Kraftfuttereinsatz jedoch Grenzen. Die Stoffwechselstörungen Ketose und Azidose, die beiden Pole dieses Spannungsfeldes, sind einer wirtschaftlichen und gesellschaftlich akzeptierten Milchviehhaltung abträglich. Die Gesellschaft äußert Bedenken gegenüber einer Nutztierhaltung, die das Wohlergehen des Tieres nicht maximal fördert. Darüber hinaus steht die Konkurrenz zwischen Trog und Teller im Fokus der öffentlichen Diskussion, die durch eine Grobfutter betonte Fütterung entschärft werden könnte. Und schließlich werden durch den Kraftfutterzukauf Nährstoffe in den Milchviehbetrieb eingeführt. Wird die höhere Nährstoffzufuhr nicht durch eine steigende Milchleistung und somit eine höhere Nährstoffabfuhr ausgeglichen, steigt das Risiko von Umweltbelastungen. Landwirte werden zukünftig noch stärker gehalten sein, Nährstoffüberschüsse in ihren Betrieben zu minimieren.

Folglich muss der Milchviehhalter beim Kraftfuttereinsatz einerseits die richtige Versorgung seiner Herde und andererseits betriebswirtschaftliche, ökologische sowie gesellschaftliche Folgen abwägen.

Die Bemessung des optimalen Kraftfuttereinsatzes fällt trotz langjähriger Forschung wenig einheitlich aus. Die Rahmenbedingungen der Milchproduktion in Deutschland haben sich in den letzten Jahrzehnten deutlich geändert. Es mangelt an aktuellen, langfristigen Studien zum Kraftfuttereinsatz während der Laktation, welche die Auswirkungen auf die Produktionsmerkmale und auf die Energieversorgung in der Laktation und in der Trockenstehphase untersuchen. Fleckviehmilchkühe sind in Süddeutschland weit verbreitet. Dennoch sind die Eigenschaften dieser Doppelnutzungsrasse bei der Frage nach dem optimalen Kraftfuttereinsatz weitgehend unerforscht. Welche Auswirkungen ein verminderter Kraftfuttereinsatz bei Fleckviehmilchkühen hat, ist somit unklar.

Aus diesen Zusammenhängen ergaben sich für die vorliegende Arbeit die nachfolgenden drei Ziele: 1. Literaturergebnisse von Milchviehfütterungsversuchen mit gestaffeltem Kraftfutter-

einsatz für eine Metaanalyse zu sammeln, um die zu erwartende Futtermittelaufnahme und Milchleistung in Abhängigkeit von der Kraftfuttermittelaufnahme zu modellieren. 2. Die Produktionsmerkmale und die Energieversorgung von Fleckviehmilchkühen zu vergleichen, die für eine Dauer von zwei Jahren mit unterschiedlich hohem Kraftfuttermittelseinsatz versorgt wurden. 3. Für das erste Laktationsdrittel ein Schätzmodell für den Energiesaldo unter Einbeziehung der Konzentration geeigneter Fettsäuren im Milchfett aufzustellen.

2 LITERATURÜBERBLICK

Seit der Mitte des 20. Jahrhunderts, besonders intensiv bis hinein in die erste Dekade des 21. Jahrhunderts, ist intensiv an den Auswirkungen des Kraftfuttereinsatzes auf die Produktionsmerkmale laktierender Milchkühe geforscht worden. In den letzten Jahren hat sich die Zahl der Versuche mit dem Einflussfaktor Kraftfutter (KF) vor allem im deutschsprachigen Raum aber verringert. Die Zusammenhänge schienen zufriedenstellend erforscht und Versuche von langer Dauer sind seltener geworden. In der Rationsgestaltung wiederum behielt die Frage nach dem optimalen KF-Einsatz ihre zentrale Bedeutung. Sie ist für den Milchviehalter wesentlich. Die Antwort darauf fällt beim Blick in die Literatur wenig einheitlich aus.

Außerdem haben sich die Rahmenbedingungen der Milchproduktion in Deutschland in den letzten Jahrzehnten deutlich geändert. Die Genetik der Milchviehrassen ist züchterisch bearbeitet worden. Grobfutter mit deutlich höherer Energiekonzentration wird gefüttert. Die KF-Zuteilung erfolgt nicht mehr manuell. Die Vorlage Totaler Mischrationen (TMR) ist neben der Vorlage aufgewerteter Mischrationen Standard und das Management der Milchviehherden ist computerunterstützt. Als Konsequenz daraus sind die Futterraufnahme und die Milchleistung gestiegen. In Baden-Württemberg beispielsweise ist die Milchleistung seit 1980 von 4 600 kg auf 8 100 kg gestiegen (LKV Baden-Württemberg 2019).

Eine Überprüfung der gängigen Annahmen und Theorien zum optimalen KF-Einsatz schien deshalb angebracht. Dies erfolgte in vorliegender Arbeit zunächst mittels einer Metaanalyse. Ausgehend von Literaturergebnissen wurde durch Regressionsgleichungen ermittelt, wie sich die Produktionsmerkmale von Milchviehherden bei geändertem KF-Einsatz in diesen zurück liegenden Untersuchungen entwickelten.

2.1 Erstellung des Metaanalyse-Datensatzes aus der Literatur

In einem ersten Schritt wurden 46 Studien mit Fütterungsversuchen zu variierenden KF-Einsätzen aus den Jahren 1984 bis 2018 recherchiert, um einen umfassenden, auch aktuelle Ergebnisse beinhaltenden Datensatz für die Metaanalyse zu schaffen. Das Jahr 1984 wurde als Ausgangspunkt gewählt, weil die Bonner Arbeitsgruppe um Professor Pfeffer in diesem Jahr die Ergebnisse ihrer umfangreichen Untersuchungen zum KF-Einsatz veröffentlichte (BAUM 1984; KLEINMANS und POTTHAST 1984).

Behandlungen innerhalb einer Studie mit gleicher Grobfuttervorlage und Grobfutterzusammensetzung wurden als separate Fütterungsversuche betrachtet. Wurden Ergebnisse getrennt

nach Erstkalbs- und Mehrkalbskühe oder getrennt nach unterschiedlichen Rassen berichtet, wurden diese ebenfalls als separate Versuche betrachtet. Die Voraussetzungen für die Aufnahme eines Versuchs in den Metaanalyse-Datensatz waren das Vorliegen von Ergebnissen zur KF-Aufnahme, zur Grobfutteraufnahme, zur Milchleistung, zum Milchfettgehalt und zum Milcheiweißgehalt sowie von Angaben zur Versuchsdauer und den eingesetzten Grobfutterkomponenten. Betrachtet wurden ausschließlich Versuche mit Stallfütterung bei *ad libitum* Angebot von Grobfutter. Über die Studienergebnisse wurde in Dissertationen, wissenschaftlichen Zeitschriften (Peer-Review) oder aber, in wenigen Ausnahmen, im Rahmen einer im deutschsprachigen Raum anerkannten Fachtagung berichtet (GRUBER *et al.* 1995; STEINWIDDER und ZEILER 2003; PRIES *et al.* 2009; KRAUS *et al.* 2018).

Der Metaanalyse-Datensatz umfasste insgesamt 264 Versuchsgruppen, gruppiert in 101 Versuche. Die jeweils berichteten, arithmetischen Mittelwerte (\bar{x}) bzw. Kleinstquadratschätzer (LSmeans) der Versuchsgruppen wurden in den Datensatz für die Metaanalyse übernommen. Neben den genannten Angaben wurden, sofern berichtet, der Milchlaktosegehalt (97 fehlende Werte) sowie die Lebendmasse (91 fehlende Werte) aufgenommen. Die Futteraufnahme wurde, falls in der Publikation angegeben, übernommen. Andernfalls wurde die Futteraufnahme durch Addition von KF-Aufnahme und Grobfutteraufnahme ermittelt. Abschließend wurde die energiekorrigierte Milchleistung (ECM, vgl. Kapitel 3.5.3) berechnet. Der komplette Metaanalyse-Datensatz ist der vorliegenden Arbeit angehängt (vgl. Tabelle A1 im Anhang).

2.1.1 Beschreibung des Metaanalyse-Datensatzes

Die Versuche der gewählten Studien waren für unterschiedlichste Fragestellungen angelegt worden. In (Nord-)Irland um GORDON (1984) beispielsweise wurde zur optimalen KF-Menge in der Früh-laktation während der Stallfütterungsperiode im Winter geforscht. Eine Frage, die aufgrund des dort typischen Verfahrens der saisonalen Abkalbung bis heute bearbeitet worden ist (LAWRENCE *et al.* 2015), aber auch etwa in der französischen Studie von COULON *et al.* (1994) aufgegriffen wurde.

Im Mittelpunkt einer Reihe anderer Studien stand die Frage nach den Wechselwirkungen zwischen der genetischen Veranlagung für Milchleistung und der eingesetzten KF-Menge, etwa bei OLDENBROEK (1986), OLDENBROEK (1988), VEERKAMP *et al.* (1994), FERRIS *et al.* (1999b) oder HORN *et al.* (2014).

In zahlreichen Versuchen wurden in Kombination mit einer gestaffelten KF-Gabe unterschiedliche Grobfutterqualitäten vorgelegt. Verschiedene Grassilagen kamen beispielsweise

in einer Serie von Veröffentlichungen aus England zum Einsatz (PHIPPS *et al.* 1987; PHIPPS *et al.* 1988; ASTON *et al.* 1994). Auch DEPETERS und SMITH (1986), WEISS und SHOCKEY (1991), SMITH *et al.* (1993), GRUBER *et al.* (1995), MACK (1996), FERRIS *et al.* (2001), DEWHURST *et al.* (2003), KUOPPALA *et al.* (2008) oder RANDBY *et al.* (2012) hatten ähnliche Fragestellungen, wenn auch das gewählte Design und die Dauer der Versuche, die hierfür angelegt wurden, deutlich variierten. MACK (1996) (aufgegriffen in DROCHNER *et al.* 2000 und STEINGAB *et al.* 2002) legte einen langfristigen Systemversuch an, der mehr als 4 Jahre dauerte. SMITH *et al.* (1993) hingegen nutzten die Anordnung eines Lateinischen Quadrats mit sechswöchigen Perioden. Auch in den neueren Untersuchungen von DENIBEN *et al.* (2018), HERTEL-BÖHNKE *et al.* (2018) und SCHMITZ *et al.* (2018) wurden mögliche Wechselwirkungen zwischen der Grobfutterqualität und dem KF-Einsatz geprüft. Grassilage wurde dort jeweils mit weiteren Grobfutterkomponenten (Maissilage und Stroh) gemischt.

Die Auswirkungen der KF-Zusammensetzung, insbesondere im Hinblick auf die Kohlenhydrate und deren Eigenschaften, auf Produktionsmerkmale laktierender Kühe waren Hintergrund einer anderen Gruppe von Veröffentlichungen des Metaanalyse-Datensatzes. Hierzu gehörten etwa EASTRIDGE *et al.* (1988), PHIPPS *et al.* (1988), FAVERDIN *et al.* (1991) und KOKKONEN *et al.* (2000). Zum Teil wurden in diesen Veröffentlichungen die Folgen für das Fermentationsgeschehen im Pansen aufgegriffen.

Als letzter studienübergreifender Themenkomplex wurde das System der KF-Zuteilung bearbeitet. Dieser Komplex umfasste zum einen die Frage nach dem passenden Verlauf der Zuteilung des KF mit fortschreitender Laktation (TAYLOR und LEAVER 1986; COULON *et al.* 1987; RIJPKEMA *et al.* 1990; COULON *et al.* 1994; HYMØLLER *et al.* 2014; LAWRENCE *et al.* 2015), und zum anderen die Frage nach dem optimalen KF-Anteil bei TMR-Fütterung (PHIPPS *et al.* 1984; TESSMANN *et al.* 1991; FRIGGENS *et al.* 1998; FERRIS *et al.* 1999b; FERRIS *et al.* 2001).

In Großbritannien und Nord-Irland wurden 14 Studien durchgeführt, 8 Studien in Deutschland, 7 Studien in Skandinavien (Dänemark, Finnland, Norwegen, Schweden), jeweils 5 Studien in Österreich und den USA, jeweils drei Studien in Frankreich und den Niederlanden und eine Studie in Kanada.

Ausschließlich mit Erstkalbskühen wurden 16 Versuche durchgeführt. Ausschließlich Mehrkalbskühe wurden in 55 Versuchen genutzt. In den restlichen Versuchen waren die Versuchsgruppen gemischt, mit sowohl Erstkalbs- als auch Mehrkalbskühen.

Von der Kalbung bis mindestens zum 200. Laktationstag (LTG) dauerten 22 Versuche bzw. es wurden Versuchsanordnungen mit Tieren in der Früh- (< 100. LTG), Mittel- (100. bis

< 200. LTG) und Spätlaktation (\geq 200. LTG) umgesetzt. Ausschließlich mit frühlaktierenden Tieren wurden 24 Versuche und ausschließlich mit Tieren im mittleren Laktationsabschnitt 16 Versuche durchgeführt. Die restlichen 39 Versuche erstreckten sich von der frühen bis zur mittleren Laktation oder die Versuchsgruppen setzten sich sowohl aus frühlaktierenden Tieren als auch Tieren in der Laktationsmitte zusammen.

Als TMR wurde das Futter in 26 Versuchen vorgelegt. In den verbleibenden 75 Versuchen wurde das KF kuhindividuell zugeteilt, ausgehend von einer aufgewerteten Mischration oder von einer reinen Grobfuttervorlage. Nicht in jeder Studie wurden die Komponenten des KF beschrieben. Die Versuche mit entsprechenden Angaben zeigten die große Vielfalt der eingesetzten KF-Komponenten auf. In manchen Versuchsanordnungen wurde die Rohprotein- (XP) Konzentration im KF der Versuchsgruppe mit dem höherem KF-Einsatz reduziert, in anderen Versuchsanordnungen hingegen wurde die XP-Konzentration im KF der einzelnen Versuchsgruppen konstant gehalten.

In 44 Versuchen betrug die Energiekonzentration im Grobfutter (diese wurde näherungsweise in das Energiebewertungssystem der GfE 2001 überführt) < 6,2 MJ Netto-Energie-Laktation (NEL) pro kg Trockenmasse (TM). In 32 Versuchen lag die Energiekonzentration des Grobfutters höher. In den übrigen 25 Versuchen wurde hierzu keine Angabe gemacht.

Als eine von mehreren Grobfutterkomponenten wurde in 27 Versuchen Maissilage eingesetzt. Ausschließlich Maissilage als Grobfutter wurde in drei Versuchen vorgelegt (FAVERDIN *et al.* 1991). In den anderen 71 Versuchen wurde keine Maissilage verwendet. Grassilage, Kleegrassilage und Luzerne (als Heu oder Silage) waren die häufigsten Grobfutterkomponenten im Metaanalyse-Datensatz. Als weitere Grobfutterkomponenten wurden Heu, Stroh und selten Getreide-Ganzpflanzensilage (zwei Versuche: ROBINSON und MCQUEEN 1997 und ANDERSEN *et al.* 2003) eingesetzt.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die mittlere tägliche Milchleistung, über die gemittelte tägliche Futteraufnahme und über die Mittelwerte weiterer Merkmale des Metaanalyse-Datensatzes sowie über deren Streuung und Spannweite. Im Mittel dauerten die Versuche etwa 8 Monate. Über Versuche, die zwei Jahre oder länger dauerten, berichteten VEERKAMP *et al.* (1994) (4 Jahre), MACK (1996) (4,2 Jahre), PATEL *et al.* (2017) (2,1 Jahre) sowie DENIBEN *et al.* (2018), HERTEL-BÖHNKE *et al.* (2018) und KRAUS *et al.* (2018) (jeweils zwei Jahre).

Die Kühe gaben täglich durchschnittlich 24,8 kg Milch mit einem Fettgehalt von 4,1 % und einem Eiweißgehalt von 3,2 %. Die hohen maximalen Milchfettgehalte (6,9 %) stammten von Milchkühen der Rasse Jersey, die in wenigen Versuchsgruppen im Metaanalyse-Datensatz

eingesetzt wurden (OLDENBROEK 1986, 1988; HYMØLLER *et al.* 2014).

Die mittlere KF-Aufnahme betrug 6,8 kg TM pro Kuh und Tag. In den Versuchen von OLDENBROEK (1986), OLDENBROEK (1988), GRUBER *et al.* (1991), TESSMANN *et al.* (1991), GRUBER *et al.* (1995), GRUBER *et al.* (1999), ROBAINA *et al.* (1998) oder RANDBY *et al.* (2012) wurde je eine Kontrollvariante ohne jegliche KF-Fütterung berücksichtigt.

Tabelle 1: Beschreibung ausgewählter Merkmale des Metaanalyse-Datensatzes zur Modellierung von Produktionsmerkmalen in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme (264 Versuchsgruppen aus 101 Versuchen in 46 Studien, Zeitraum 1984 bis 2018)

Merkmal	\bar{x} ¹⁾	s ²⁾	Min	Max	n fehl. ³⁾
Kraftfutter, kg TM ⁴⁾ pro Kuh und Tag	6,8	3,4	0,0	18,4	0
Grobfutter, kg TM pro Kuh und Tag	11,2	2,9	4,6	18,7	0
Futter, kg TM pro Kuh und Tag	17,9	3,4	10,2	25,3	0
Anteil Kraftfutter, % der TM	36,7	15,6	0,0	80,0	0
Milchleistung, kg pro Kuh und Tag	24,8	6,1	10,1	39,2	0
ECM ⁵⁾ , kg pro Kuh und Tag	24,5	6,1	11,0	38,9	0
Fett, %	4,07	0,52	3,04	6,91	0
Eiweiß, %	3,24	0,27	2,65	4,58	0
Laktose, %	4,75	0,17	4,25	5,13	97
Fett-Eiweiß-Quotient	1,26	0,11	0,97	1,64	0
Fettmenge, g pro Kuh und Tag	1 003	255	463	1 632	0
Eiweißmenge, g pro Kuh und Tag	804	212	337	1 313	0
Lebendmasse, kg pro Kuh	603	63	324	786	87
Versuchsdauer, Jahre	0,67	1,06	0,04	4,20	0

¹⁾ arithmetischer Mittelwert; ²⁾ Standardabweichung; ³⁾ Anzahl fehlender Werte; ⁴⁾ Trockenmasse; ⁵⁾ energiekorrigierte Milchleistung

Die höchsten mittleren KF-Mengen pro Kuh und Tag, mit bis zu 18,4 kg TM, wurden bei FERRIS *et al.* (1999a) und FERRIS *et al.* (2001) eingesetzt. Im Mittel wurden pro Kuh und Tag 11,2 kg TM Grobfutter aufgenommen mit einer Spannweite von 4,6 kg TM bis 18,7 kg TM. Folglich hatten die Tiere eine durchschnittliche Futteraufnahme von insgesamt 17,9 kg TM täglich.

2.1.2 Vorgehen bei der Auswertung des Metaanalyse-Datensatzes

Der Metaanalyse-Datensatz wurde genutzt, um die zu erwartenden Produktionsmerkmale von Milchviehherden in Abhängigkeit von der KF-Aufnahme zu modellieren. Die Auswertungen erfolgten nach dem von ST-PIERRE (2001) empfohlenen Vorgehen.

Im gemischten Modell wurde in der Prozedur MIXED (Software SAS, Version 9.4; SAS Institute Inc., USA) der Versuchj als zufälliger Effekt berücksichtigt. Außerdem wurde der zu-

fällige Effekt des Versuchs_j auf die Regressionskoeffizienten berücksichtigt.

Die abhängige Variable wurde mit der Versuchsdauer und der Anzahl an Versuchsgruppen gewichtet (Gewichtungsfaktor: (Versuchsdauer_j * n_j) / mittlere Versuchsdauer mit n_j = Anzahl der Gruppen im Versuch).

Wenn ein signifikanter Zusammenhang zwischen der abhängigen Variable (y = Produktionsmerkmal) und der unabhängigen Variable (x = KF-Aufnahme, in kg TM oder x = KF-Anteil in % der Futteraufnahme) bestand ($p(b_1x) \leq 0,05$), wurde geprüft, ob eine lineare ($b_0 + b_1x$) oder eine quadratische Funktion ($b_0 + b_1x + b_2x^2$) den Zusammenhang besser abbildete. Erreichte der quadratische Anteil der Funktion Signifikanz ($p(b_2x^2) \leq 0,05$), wurden vergleichend für die lineare und die quadratische Anpassung die Gütekriterien adjustiertes Bestimmtheitsmaß (R_{adj}^2) und der Standardschätzfehler der Regressionsgleichung (RSD, Rest-Standardabweichung) ermittelt.

Die Berechnung der Gütekriterien erfolgte nach Bereinigung des zufälligen Versuchs-Effekts (ST-PIERRE 2001) entsprechend der im Kapitel 3.6.1 genannten Formeln. Bei der Anpassung der linearen Funktion wurde eine unstrukturierte Varianz-Kovarianzmatrix (TYPE = UN) gewählt. Bei der Anpassung der quadratischen Funktion wurden lediglich Varianzkomponenten geschätzt (TYPE = VC).

Abschließend wurde die Signifikanz ($p < 0,05$) ausgewählter fixer Klassen-Effekte (cl_j) und deren Interaktion mit dem linearen Regressor geprüft. Die Klassifizierung des Metaanalyse-Datensatzes erfolgte anhand dieser Kriterien:

- 1.) mittlere ECM im Versuch (ECM_cl): < 22; 22 bis < 28; ≥ 28 kg ECM pro Kuh und Tag,
- 2.) Versuchsdauer (Dauer_cl): < 0,13; 0,13 bis < 0,82; $\geq 0,82$ Jahre,
- 3.) Laktationsstadium (Stadium_cl): < 100.; < 200.; 100. bis < 200. LTG; \leq Laktationsende,
- 4.) Energiekonzentration des Grobfutters (GF_Energie_cl): < 6,2; $\geq 6,2$ MJ NEL pro kg TM,
- 5.) KF-Vorlage (Vorlage_cl): TMR; keine TMR,
- 6.) Laktationsnummernklasse (LNRcl): nur Erstkalbskühe; nur Mehrkalbskühe; Erstkalbskühe und Mehrkalbskühe.

2.2 Ergebnis der Modellierung von Produktionsmerkmalen in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Metaanalyse bei Überprüfung eines linearen Zusammenhangs zwischen der KF-Aufnahme bzw. dem KF-Anteil in der Ration und ausgewählten Produktionsmerkmalen.

Tabelle 2: Ergebnisse der Metaanalyse (n = 264), ohne Einteilung in Klassen, Modellierung eines linearen Zusammenhangs ($y = b_0 + b_1 x$)

x ¹⁾	y ²⁾	b ₀	b ₁ x	p(b ₁ x)	R _{adj} ^{2 3)}	RSD ⁴⁾
Kraftfutter, kg TM ⁵⁾	Grobfutter, kg TM ⁶⁾	14,511	-0,477	< 0,0001	0,94	0,41
Kraftfutter, kg TM	Futter, kg TM	14,533	0,519	< 0,0001	0,95	0,41
Kraftfutter, kg TM	Milchleistung, kg	19,895	0,732	< 0,0001	0,93	0,69
Kraftfutter, kg TM	ECM ⁷⁾ , kg	20,384	0,655	< 0,0001	0,88	0,80
Kraftfutter, kg TM	Milcheiweißgehalt, %	3,108	0,024	< 0,0001	0,77	0,04
Kraftfutter, kg TM	Milchfettgehalt, %	4,330	-0,028	< 0,0001	0,51	0,10
Kraftfutter, kg TM	Laktosegehalt, % ⁸⁾	4,703	0,008	< 0,0001	0,44	0,03
Anteil Kraftfutter, % d. TM	Milchfettgehalt, %	4,367	-0,006	< 0,0001	0,50	0,11
Kraftfutter, kg TM	Lebendmasse, kg ⁹⁾	573,06	4,72	< 0,0001	0,78	8,77

¹⁾ unabhängige Variable; ²⁾ abhängige Variable; ³⁾ adjustiertes Bestimmtheitsmaß; ⁴⁾ Standardschätzfehler; ⁵⁾ pro Kuh und Tag; ⁶⁾ Trockenmasse; ⁷⁾ energiekorrigierte Milchleistung; ⁸⁾ n = 167; ⁹⁾ n = 177

Das Ergebnis bei Annahme eines quadratischen Zusammenhangs zeigt Tabelle 3. Bei allen gelisteten Produktionsmerkmalen erreichte der zusätzliche, quadratische Term im Modell Signifikanz ($p(b_2x^2) \leq 0,05$).

Tabelle 3: Ergebnisse der Metaanalyse (n = 264), ohne Einteilung in Klassen, Modellierung eines quadratischen Zusammenhangs ($y = b_0 + b_1x + b_2x^2$)

x ¹⁾	y ²⁾	b ₀	b ₁ x	p(b ₁ x)	b ₂ x ²	p(b ₂ x ²)	R _{adj} ^{2 3)}	RSD ⁴⁾
kftm ⁵⁾	gftm ⁷⁾	13,534	-0,143	0,0122	-0,026	< 0,0001	0,97	0,31
kftm	ftm ⁸⁾	13,591	0,842	< 0,0001	-0,025	< 0,0001	0,97	0,31
kftm	mkg ⁹⁾	18,498	1,214	< 0,0001	-0,037	< 0,0001	0,95	0,56
kftm	ecm ¹⁰⁾	18,048	1,452	< 0,0001	-0,061	< 0,0001	0,94	0,52
kftm	epro ¹¹⁾	3,064	0,039	< 0,0001	-0,001	0,0026	0,77	0,04
kftm	fpro ¹²⁾	4,145	0,041	0,0010	-0,005	< 0,0001	0,73	0,10
kftm	lakt ¹³⁾	4,677	0,016	0,0004	-0,001	0,0396	0,44	0,03
kf% ⁶⁾	fpro	4,124	0,010	0,0005	-0,0002	< 0,0001	0,66	0,10
kftm	gew ¹⁴⁾	562,53	8,87	< 0,0001	-0,33	0,0015	0,78	7,80

¹⁾ unabhängige Variable; ²⁾ abhängige Variable; ³⁾ adjustiertes Bestimmtheitsmaß; ⁴⁾ Standardschätzfehler; ⁵⁾ Kraftfutter, kg Trockenmasse (TM) pro Kuh und Tag; ⁶⁾ Anteil Kraftfutter, % der TM; ⁷⁾ Grobfutter, kg TM pro Kuh und Tag; ⁸⁾ Futter, kg TM pro Kuh und Tag; ⁹⁾ Milchleistung, kg pro Kuh und Tag; ¹⁰⁾ energiekorrigierte Milchleistung, kg pro Kuh und Tag; ¹¹⁾ Milcheiweißgehalt, %; ¹²⁾ Milchfettgehalt, %; ¹³⁾ Laktosegehalt Milch, % (n = 167); ¹⁴⁾ Lebendmasse, kg pro Kuh (n = 177)

2.2.1 Grobfutteraufnahme

Bei *ad libitum* Angebot von Grobfutter bewirkt eine Steigerung der KF-Aufnahme eine Verringerung der Grobfutteraufnahme. Diese Beobachtung wird im deutschsprachigen Raum als Grobfutterverdrängung (GF-Verdrängung) bezeichnet. Die Höhe der GF-Verdrängung in einzelnen Versuchen hat eine enorme Spannweite.

Das bestätigte sich im Metaanalyse-Datensatz. Es traten GF-Verdrängungen von -0,3 (FERRIS *et al.* 2003) bis 1,5 kg TM pro Δ kg KF TM (TESSMANN *et al.* 1991; DHIMAN *et al.* 1995) auf, bei einer mittleren GF-Verdrängung ($\bar{x} \pm$ Standardabweichung (s)) von $0,48 \pm 0,33$ kg TM pro Δ kg KF TM (vgl. Tabelle 2).

Vereinzelt wurde in der Literatur keine GF-Verdrängung oder gar eine geringfügige Steigerung der Grobfutteraufnahme bei höherem KF-Einsatz festgestellt. ØSTERGAARD (1979) wies durch das Zusammentragen von 7 Studien aus den Jahren 1960 bis 1977 (alle Versuche in der Laktationsmitte) eine Spannweite der GF-Verdrängung von 0,2 bis 1,2 kg TM pro Δ kg KF TM nach. BAUM (1984) ermittelte, basierend auf der Zusammenfassung von 45 Langzeitversuchen (Dauer mindestens eine Laktation) aus den Jahren 1942 bis 1983, eine mittlere GF-Verdrängung von $0,73 \pm 0,48$ kg TM pro Δ kg KF TM. Die Spannweite der GF-Verdrängung in den einzelnen Versuchen reichte hier von 0,0 bis 3,0 kg TM pro Δ kg KF TM. KLEINMANS und POTTHAST (1984) leiteten aus über 80 Versuchen aus den Jahren 1956 bis 1986 eine durchschnittliche GF-Verdrängung von $0,40 \pm 0,38$ kg TM pro Δ kg KF TM ab (Spannweite - 0,13 bis 1,17 kg TM pro Δ kg KF TM). Aus den Jahren 1976 bis 1985 wurden von THOMAS (1987) 27 Versuche, in denen das Grobfutter ausschließlich aus Grassilage bestand, zusammengefasst. Er ermittelte daraus eine durchschnittliche GF-Verdrängung von $0,52 \pm 0,33$ kg TM pro Δ kg KF TM mit einer Spannweite von -0,06 bis 1,29 kg TM pro Δ kg KF TM. Deutlich später leitete GRUBER (2007) aus 8 Versuchen, die alle in den Jahren 1995 bis 2007 an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein stattgefunden hatten, eine durchschnittliche GF-Verdrängung von 0,51 kg TM pro Δ kg KF TM ab. Etwa zeitgleich sammelten HUHTANEN *et al.* (2008) Ergebnisse aus 87 KF-Steigerungsversuchen, ausgehend von Grassilage als Grobfutter, und ermittelten daraus eine mittlere GF-Verdrängung von 0,47 kg TM pro Δ kg KF TM.

Die unterschiedlich stark ausgeprägte GF-Verdrängung veranlasste Wissenschaftler die Einflussfaktoren zu untersuchen.

Als erster Einflussfaktor ist die Höhe der KF-Aufnahme zu nennen. Abbildung 1 stellt den aus vorliegendem Metaanalyse-Datensatz abgeleiteten, quadratischen Zusammenhang zwischen der KF- und der Grobfutteraufnahme dar.

Die erste Ableitung der Funktion aus Abbildung 1 ergibt die GF-Verdrängung. Diese steigt linear mit der KF-Aufnahme an ($gftm' = -0,143 - 0,052 * kftm$). Bei einer täglichen KF-Aufnahme von 2 kg, 8 kg oder 14 kg TM beträgt die GF-Verdrängung folglich 0,25, 0,56 oder 0,87 kg TM pro Δ kg KF TM.

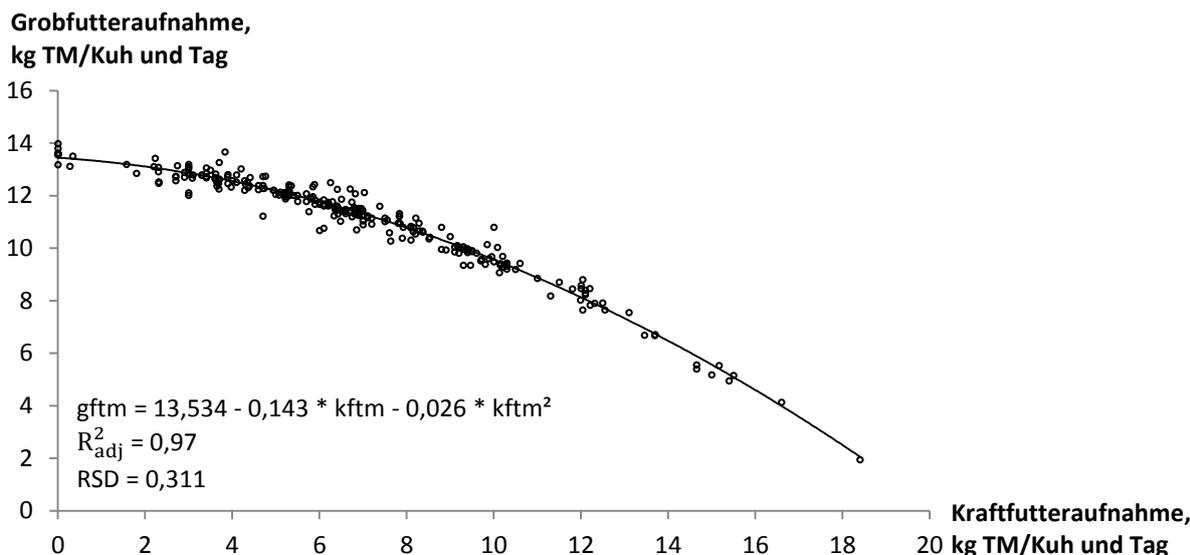


Abbildung 1: Grobfutteraufnahme (gftm) (um den zufälligen Versuchs-Effekt bereinigt) in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme (kftm), quadratischer Zusammenhang, $n = 264$ (TM = Trockenmasse)

Im Gegenzug bestimmt die Höhe der GF-Verdrängung das Ausmaß der Steigerung der Futteraufnahme bei höherem KF-Einsatz. Die Futteraufnahme steigt, ausgehend von einer hohen verglichen mit einer niedrigen täglichen KF-Aufnahme, weniger stark, wenn zusätzliches KF eingesetzt wird (vgl. Abbildung A1 im Anhang). Die Grobfutteraufnahme und die Futteraufnahme in Abhängigkeit von der KF-Aufnahme können sehr gut ($0,9 \leq R_{\text{adj}}^2$) mittels der jeweiligen, in Tabelle 3 genannten, quadratischen Funktion vorhergesagt werden.

Auch ØSTERGAARD (1979), BAUM (1984), KLEINMANS und POTTHAST (1984), SCHWARZ und KIRCHGESSNER (1985) (ausschließlich für Mehrkalbskühe), FAVERDIN *et al.* (1991) sowie HUHTANEN *et al.* (2008) ermittelten einen quadratischen Zusammenhang zwischen der KF- und Grobfutteraufnahme. Bei KLEINMANS und POTTHAST (1984) lag die Grobfutteraufnahme in den berücksichtigten Versuchen, die vor allem in den 1960er und 1970er Jahren durchgeführt worden waren, auf deutlich niedrigerem Niveau als in vorliegender Metaanalyse. Außerdem ist nach KLEINMANS und POTTHAST (1984) die höchste Grobfutteraufnahme bei einer moderaten KF-Aufnahme von 4,5 kg TM pro Kuh und Tag zu erwarten. Erst wenn die KF-Aufnahme weiter steigt, wird nach KLEINMANS und POTTHAST (1984) Grobfutter verdrängt. In vorliegender Metaanalyse hingegen verdrängt schon das erste Kilogramm KF Grobfutter.

Als ausschlaggebend für eine höhere GF-Verdrängung bei hohem KF-Einsatz werden folgende Aspekte diskutiert: mit der höheren Aufnahme an Nicht-Faser-Kohlenhydraten verschlechtern sich die Bedingungen für den Abbau der Faserfraktionen im Pansen und deren Verdaulichkeit sinkt, insbesondere in Kombination mit einem Grobfutter mit geringer Neutrale-

Detergenz-Faser- (NDF) Konzentration (UDÉN 1984; TAJAJ *et al.* 2005; ZEBELI *et al.* 2008; JIANG *et al.* 2017). Außerdem verliert mit steigendem KF-Anteil im Futter die physikalische Begrenzung der Futteraufnahme an Bedeutung und die Höhe der Futteraufnahme orientiert sich stärker an der Deckung des Energiebedarfs (WALDO 1986; LANG 1995; ALLEN 2000).

THOMAS (1987) konnte in seiner Literaturübersicht keinen quadratischen Zusammenhang zwischen der KF- und Grobfutteraufnahme feststellen. Er gab zu bedenken, dass in Situationen einer physikalisch limitierten Futteraufnahme zunächst keine GF-Verdrängung mit steigendem KF-Einsatz zu erwarten sei, bis der Stoffwechsel die Futteraufnahme maßgeblich kontrolliere und ein linearer Rückgang der Grobfutteraufnahme einsetze. Ein quadratischer Zusammenhang zwischen der KF- und Grobfutteraufnahme hielt THOMAS (1987) für wahrscheinlich, wenn es bei höherer Aufnahme an KF zu einem Rückgang der Abbaubarkeit der Faserfraktionen aufgrund verschlechterter Milieubedingungen für die cellulolytische Mikrobiota kommt. Hingegen sahen HUHTANEN *et al.* (2008) in dem von ihnen festgestellten quadratischen Rückgang der Grobfutteraufnahme bei steigender KF-Aufnahme einen Hinweis auf eine Interaktion zwischen physikalisch bedingten und stoffwechselbedingten Futteraufnahme-Regulationsmechanismen.

Als weiterer Einflussfaktor auf die Höhe der GF-Verdrängung wird in der Literatur die Verdaulichkeit bzw. die Energiekonzentration des Grobfutters angeführt. In vorliegender Metaanalyse hatte die Energiekonzentrations-Klasse des Grobfutters (GF_Energie_cl: < 6,2 MJ NEL oder $\geq 6,2$ MJ NEL pro kg TM) hingegen keinen signifikanten Einfluss ($p(\text{cl} \times) > 0,05$) auf die zu erwartende GF-Verdrängung, wie Tabelle 4 zeigt.

In der Gesamtschau der von KLEINMANS und POTTHAST (1984) gesammelten Studien wurde besser verdauliches Grobfutter stärker verdrängt als weniger verdauliches Grobfutter. Bei einer Verdaulichkeit der organischen Masse des Grobfutter bis zu 65 % gaben KLEINMANS und POTTHAST (1984) eine durchschnittliche GF-Verdrängung von $\leq 0,3$ kg TM pro Δ kg KF TM und bei höherer Verdaulichkeit von durchschnittlich bis zu 0,6 kg TM pro Δ kg KF TM an. Auch das Ergebnis von FAVERDIN *et al.* (1991) passt in dieses Bild: hier wurde entsprechend der gestaffelten Energiekonzentration (Maissilage > Grassilage > Heu) Maissilage stärker verdrängt als Grassilage und diese wiederum stärker verdrängt als Heu.

THOMAS (1987) konnte in seiner Literaturübersicht, wie in vorliegender Metaanalyse, keinen Zusammenhang zwischen der Verdaulichkeit von Grassilage und der GF-Verdrängung feststellen. Dennoch ging er von einer höheren GF-Verdrängung bei hoch verdaulichem Grobfutter aus. Er nahm an, dass andere Aspekte, zu denen er bei Grassilage vornehmlich die Silier-

qualität zählte, den Effekt der hohen Verdaulichkeit überdeckten. WALDO (1986) ergänzte den Einflussfaktor Verdaulichkeit um das Aufnahmepotential für ein Grobfutter. Als Aufnahmepotential definierte er die Menge an Grobfutter, die gefressen wurde bei KF freier Fütterung. SCHWARZ und KIRCHGESSNER (1985) wählten noch allgemeiner den Begriff Grobfutterqualität. HUHTANEN *et al.* (2008) bestätigten in ihrer Literaturübersicht, dass bei Grassilage basierter Fütterung die Verdaulichkeit des Grobfutters keinen Einfluss auf die GF-Verdrängung hatte, diese aber linear mit dem Aufnahmepotential der gefütterten Grassilage anstieg.

Tabelle 4: Prüfung der Wechselwirkung ausgewählter Klassen (cl_i) mit der Kraftfutteraufnahme für die Grobfutteraufnahme, den Milcheiweißgehalt und den Milchfettgehalt, Modellierung eines linearen Zusammenhangs ($y = b_0 + b_1x$) ($n = 264$)

x ¹⁾	y ²⁾	Klasse (cl_i)	$p(cl_i)$	$p(cl_i x)$
Kraftfutter, kg TM ³⁾	Grobfutter, kg TM	ECM_cl ⁴⁾	< 0,0001	0,0081
Kraftfutter, kg TM	Grobfutter, kg TM	Dauer_cl ⁵⁾	0,6660	0,7431
Kraftfutter, kg TM	Grobfutter, kg TM	Stadium_cl ⁶⁾	0,0030	0,0727
Kraftfutter, kg TM	Grobfutter, kg TM	GFenergie_cl ⁷⁾	0,5335	0,2295 ⁷⁾
Kraftfutter, kg TM	Grobfutter, kg TM	Vorlage_cl ⁸⁾	0,459	0,0008
Kraftfutter, kg TM	Grobfutter, kg TM	LNRcl ⁹⁾	0,0015	0,6567
Kraftfutter, kg TM	Milcheiweißgehalt, %	ECM_cl	0,2524	0,1203
Kraftfutter, kg TM	Milcheiweißgehalt, %	Dauer_cl	0,0870	0,7944
Kraftfutter, kg TM	Milcheiweißgehalt, %	Stadium_cl	0,0049	0,9535
Kraftfutter, kg TM	Milcheiweißgehalt, %	GFenergie_cl	0,0386	0,7276 ⁷⁾
Kraftfutter, kg TM	Milcheiweißgehalt, %	Vorlage_cl	0,4305	0,0562
Kraftfutter, kg TM	Milcheiweißgehalt, %	LNRcl	0,8601	0,0094
Kraftfutter, kg TM	Milchfettgehalt, %	ECM_cl	0,0692	0,0550
Kraftfutter, kg TM	Milchfettgehalt, %	Dauer_cl	0,2022	0,9400
Kraftfutter, kg TM	Milchfettgehalt, %	Stadium_cl	0,1211	0,1347
Kraftfutter, kg TM	Milchfettgehalt, %	GFenergie_cl	0,0009	0,1624 ⁷⁾
Kraftfutter, kg TM	Milchfettgehalt, %	Vorlage_cl	0,1286	0,1215
Kraftfutter, kg TM	Milchfettgehalt, %	LNRcl	0,3920	0,0524

¹⁾ unabhängige Variable; ²⁾ abhängige Variable; ³⁾ Trockenmasse pro Kuh und Tag; ⁴⁾ mittlere energiekorrigierte Milchleistung im Versuch in Klassen: < 22; 22 bis < 28; ≥ 28 kg pro Kuh und Tag; ⁵⁾ Versuchsdauer in Klassen: < 0,13; 0,13 bis < 0,82; ≥ 0,82 Jahre; ⁶⁾ Laktationsstadium in Klassen: < 100.; 100. bis < 200.; < 200. LTG; ≤ Laktationsende; ⁷⁾ Energiekonzentration des Grobfutters in Klassen ($n = 206$): < 6,2; ≥ 6,2 MJ NEL pro kg TM; ⁸⁾ Kraftfuttermvorlage in Klassen: TMR; keine TMR; ⁹⁾ Laktationsnummer in Klassen: nur Erstkalbskühe; nur Mehrkalbskühe; Erstkalbs- und Mehrkalbskühe

Das System der KF-Zuteilung (TMR, Abruf) und die KF-Art (z. B.: THOMAS 1987; FAVERDIN *et al.* 1991; HUHTANEN *et al.* 2008) sind weitere, von der Fütterung bzw. der Ration ausgehende Faktoren, welche die GF-Verdrängung beeinflussen. Der Effekt der KF-Zusammensetzung scheint weniger eindeutig und in jedem Falle deutlich geringer zu sein als die beiden schon genannten Einflussfaktoren KF-Menge und Grobfutterqualität. Er wird an anderer Stelle (vgl. Kapitel 5.1.2) vertieft. Ein Vergleich der GF-Verdrängung bei TMR-

Fütterung oder individueller KF-Vorlage ist in der Literatur bislang nicht beschrieben worden. Im vorliegenden Metaanalyse-Datensatz war die GF-Verdrängung bei TMR-Fütterung signifikant stärker ($p(\text{cl}_i) \leq 0,05$) als bei Angebot des (oder eines Teils des) KF kuhindividuell, portionsweise am Trog oder über einen Abruf-Automaten (vgl. Tabelle 4 und Tabelle 5).

Tabelle 5: Ergebnisse der Metaanalyse (n = 264) bei Einteilung des Datensatzes in Klassen (cl_i) für die Grobfutteraufnahme, den Milcheiweißgehalt und den Milchfettgehalt, nur Klassen mit $p(\text{cl}_i) \leq 0,1$ (vgl. Tabelle 4), Modellierung eines linearen Zusammenhangs ($y = b_0 + b_1x$)

x ¹⁾	y ²⁾	n ³⁾	Klasse (cl _i)	b ₀	b ₁ x	R _{adj} ^{2 4)}	RSD ⁵⁾
kftm ⁶⁾	gftm ⁷⁾	96	ECM_cl ¹⁰⁾ : < 22	11,887	-0,399	0,94	0,280
		84	ECM_cl: 22 bis < 28	14,710	-0,477	0,92	0,408
		84	ECM_cl: ≥ 28	17,478	-0,601	0,94	0,518
kftm	gftm	57	Stadium_cl ¹¹⁾ : < 100. LTG	12,741	-0,379	0,92	0,538
		61	Stadium_cl: < 200. LTG	13,903	-0,435	0,97	0,346
		99	Stadium_cl: 100. bis < 200. LTG	16,423	-0,561	0,95	0,475
		47	Stadium_cl: ≤ Laktationsende	15,848	-0,559	0,98	0,263
kftm	gftm	69	Vorlage_cl ¹²⁾ : TMR	14,889	-0,613	0,94	0,572
		196	Vorlage_cl: keine TMR	14,289	-0,415	0,96	0,334
kftm	epro ⁸⁾	69	Vorlage_cl: TMR	3,146	0,017	0,72	0,043
		196	Vorlage_cl: keine TMR	3,090	0,027	0,77	0,042
kftm	epro	39	LNRcl ¹³⁾ : nur Erstkalbskühe	3,103	0,025	0,64	0,043
		147	LNRcl: nur Mehrkalbskühe	3,094	0,018	0,62	0,050
		78	LNRcl: Erstkalbs-/Mehrkalbskühe	3,132	0,034	0,92	0,026
kftm	fpro ⁹⁾	96	ECM_cl: < 22	4,178	-0,014	0,23	0,109
		84	ECM_cl: 22 bis < 28	4,354	-0,036	0,48	0,101
		84	ECM_cl: ≥ 28	4,538	-0,042	0,66	0,106
kftm	fpro	39	LNRcl: nur Erstkalbskühe	4,288	-0,029	0,49	0,104
		147	LNRcl: nur Mehrkalbskühe	4,410	-0,039	0,63	0,115
		78	LNRcl: Erstkalbs-/Mehrkalbskühe	4,224	-0,008	0,07	0,070

¹⁾ unabhängige Variable; ²⁾ abhängige Variable; ³⁾ Anzahl Werte; ⁴⁾ adjustiertes Bestimmtheitsmaß; ⁵⁾ Standardschätzfehler; ⁶⁾ Kraftfutter, kg Trockenmasse (TM) pro Kuh und Tag; ⁷⁾ Grobfutter, kg TM pro Kuh und Tag; ⁸⁾ Milcheiweißgehalt, %; ⁹⁾ Milchfettgehalt, %; ¹⁰⁾ mittlere energiekorrigierte Milchleistung im Versuch in Klassen: < 22; 22 bis < 28; ≥ 28 kg pro Kuh und Tag; ¹¹⁾ Laktationsstadium in Klassen: < 100.; 100. bis < 200.; < 200. LTG; ≤ Laktationsende; ¹²⁾ Kraftfuttermittelvorgabe in Klassen: TMR; keine TMR; ¹³⁾ Laktationsnummer in Klassen: nur Erstkalbskühe; nur Mehrkalbskühe; Erstkalbs- und Mehrkalbskühe

Abschließend beeinflussen tierbedingte Faktoren das Ausmaß der GF-Verdrängung. Bei steigendem KF-Angebot lag in den Untersuchungen von OLDENBROEK (1986) und (1988) sowie MACK (1996) die GF-Verdrängung bei Mehrkalbskühen höher als bei Erstkalbskühen. SCHWARZ und KIRCHGESSNER (1985) leiteten für Erstkalbskühe, anders als für Mehrkalbskühe, eine konstante GF-Verdrängung bei steigender KF-Aufnahme ab. Im vorliegenden Metaanalyse-Datensatz war der Einfluss der LNRcl (3 Klassen: nur Erstkalbskühe; nur Mehr-

kalbskühe; Erstkalbs- und Mehrkalbskühe) auf die GF-Verdrängung nicht signifikant ($p(\text{cl } x) > 0,05$) (vgl. Tabelle 4).

Die Frage nach dem Einfluss des Laktationsstadiums auf die Höhe der GF-Verdrängung wird in der Literatur gegensätzlich beantwortet. Beispielsweise ØSTERGAARD (1979) (nur Mehrkalbskühe) oder LANG (1995) (Erstkalbs- und Mehrkalbskühe) stellten eine steigende GF-Verdrängung mit fortschreitender Laktation fest. Dies konnte mit vorliegender Metaanalyse tendenziell ($p(\text{cl } x) \leq 0,1$) (vgl. Tabelle 4) bestätigt werden. Die GF-Verdrängung war in Versuchen in der Früh-laktation (< 100 . LTG) tendenziell geringer als in Versuchen, die später in der Laktation gemacht wurden oder die gesamte Laktation abbildeten (vgl. Tabelle 5). Hingegen ermittelten ØSTERGAARD (1979) (nur Erstkalbskühe), TAYLOR und LEAVER (1986) (nur Mehrkalbskühe) und MACK (1996) (Erstkalbs- und Mehrkalbskühe) eine mit fortschreitender Laktation abnehmende GF-Verdrängung. GRUBER *et al.* (1995) wiederum konnten keinen Einfluss des Laktationsstadiums auf die Höhe der GF-Verdrängung ausmachen.

Sowohl OLDENBROEK (1986) und (1988), GRUBER *et al.* (1991), VEERKAMP *et al.* (1994), GRUBER *et al.* (1995) als auch HORN *et al.* (2014) untersuchten, ob Rassen mit einer unterschiedlich ausgeprägten genetischen Veranlagung für Milchleistung auf verschiedene KF-Mengen unterschiedlich reagierten. In den Studien von OLDENBROEK (1986) und (1988), GRUBER *et al.* (1991) sowie HORN *et al.* (2014) war die GF-Verdrängung bei Rassen mit geringerer Milchleistung (OLDENBROEK Jersey; GRUBER Fleckvieh; HORN *et al.* speziell auf Lebensleistung und Fitness gezüchtete österreichische Holstein Friesian) höher. Bei HORN *et al.* (2014) war die Differenz am deutlichsten. Aus dem Versuch von GRUBER *et al.* (1995) ging keine unterschiedliche GF-Verdrängung zwischen den Rassen Fleckvieh, Brown Swiss und Holstein Friesian hervor. Auch VEERKAMP *et al.* (1994) stellten zwischen einer auf Milchleistung gezüchteten Holstein Friesian-Linie und einer Kontroll-Linie keine unterschiedlich hohe GF-Verdrängung fest. Der vorliegende Metaanalyse-Datensatz wurde anhand der über die Versuchsgruppen hinweg gemittelten ECM in drei Klassen eingeteilt (ECM_{cl}; < 22 ; 22 bis < 28 ; ≥ 28 kg pro Kuh und Tag). Es wurde die Annahme getroffen, dass so das Leistungspotenzial der Tiere klassifiziert werden konnte, trotz Vermengung mit weiteren Einflüssen auf die ECM (z. B. Laktationsstand). Die Wechselwirkung zwischen der ECM-Klasse und der Höhe der GF-Verdrängung war signifikant ($p(\text{cl } x) \leq 0,05$), wie Tabelle 4 zeigt. Die GF-Verdrängung bei einer ECM < 22 kg pro Kuh und Tag war geringer als bei einer höheren ECM (vgl. Tabelle 5). Dieses Ergebnis widerspricht den genannten Untersuchungen.

THOMAS (1987) gab zu bedenken, dass insbesondere in Langzeitversuchen mit unterschied-

lich hohen KF-Gaben die tierbedingten und rationsbedingten Einflussfaktoren vermengt seien und in der Regel nicht unabhängig voneinander ausgewertet werden könnten. Auch SCHWARZ und KIRCHGESSNER (1985), LANG (1995) sowie HUHTANEN *et al.* (2008) wiesen auf die Wechselwirkung der Einflussfaktoren hin. In der Diskussion, die in Kapitel 5 folgt, wird dieser Aspekt wieder aufgegriffen.

FAVERDIN *et al.* (1991) gelang es eine Verbindung zwischen all den Faktoren zu knüpfen, welche die GF-Verdrängung beeinflussen. Als verbindendes Element zwischen der Höhe der KF-Aufnahme, der Grobfutterqualität, dem Laktationsstadium und der Rasse ermittelten sie den Energieversorgungsstatus der Milchkuh. Die Faktoren beeinflussten letztendlich die Energieaufnahme (rationsbedingte Faktoren) oder den Energiebedarf (tierbedingte Faktoren). Die Autoren schlossen daraus, dass die zu erwartende GF-Verdrängung maßgeblich vom Energiesaldo abhängt. Es bestehe ein linearer, positiver Zusammenhang zwischen beiden Größen. GRUBER (2007) folgerte daraus, dass bei langer Versuchsdauer (≥ 1 Laktation) geringere GF-Verdrängungswerte zu erwarten seien und konnte dies in genannter Literaturübersicht aufzeigen. Im vorliegenden Metaanalyse-Datensatz bestand hingegen keine signifikante Wechselwirkung ($p(\text{cl } x) > 0,05$) zwischen der Versuchsdauer und der GF-Verdrängung (vgl. Tabelle 4).

2.2.2 Milchleistung

Die zu erwartende Milchleistungssteigerung bei höherem KF-Einsatz ist, neben der GF-Verdrängung, von entscheidendem Interesse. Die Reaktion der Milchleistung hängt zunächst von der Höhe der GF-Verdrängung ab, weil diese bestimmt, wie viel mehr an Energie tatsächlich aufgenommen wird. Die unter Berücksichtigung der GF-Verdrängung zu erwartende Steigerung der ECM pro Δ kg KF TM ($\Delta\text{ECM}_{\text{erwartet}}$) lässt sich wie folgt berechnen:

$$\Delta\text{ECM}_{\text{erwartet}} (\text{kg}/\Delta \text{ kg KF TM}) = \frac{\text{KF (MJ NEL/kg TM)} - \text{GF-Verdrängung} * \text{Grobfutter (MJ NEL/kg TM)}}{3,28}$$

Beispielsweise errechnet sich bei einer Energiekonzentration des KF von 7,6 MJ NEL pro kg TM und des Grobfutters von 6,3 MJ NEL pro kg TM sowie einer GF-Verdrängung in Höhe von 0,50 kg TM pro Δ kg KF TM eine $\Delta\text{ECM}_{\text{erwartet}}$ von 1,4 kg pro Δ kg KF TM.

Diese zu erwartende Milchleistungssteigerung entspricht in der Regel nicht der tatsächlich beobachteten Reaktion. Ursächlich für eine geringere Milchleistungssteigerung als erwartet ist die Verteilung von zusätzlich aufgenommener Energie sowohl in Milchleistung als auch den

Aufbau von Körperreserven (COULON und RÉMOND 1991; GRUBER 2007). Der Anteil der zusätzlich aufgenommenen Energie, der für Milchleistung oder den Aufbau von Körperreserven genutzt wird, hängt von einer Vielzahl an Faktoren ab (z. B. KF-Niveau, Laktationsnummer (LNR), Rasse, Körperkondition, Verfügbarkeit anderer Nährstoffe), insbesondere jedoch von der Stoffwechselsituation und damit vom Laktationsstadium. In der katabolen Situation zu Laktationsbeginn haben die Milchleistung steigernden Verteilungsmechanismen Vorrang. Zusätzlich wird in dieser Situation in der Regel eine Mobilisation von Körperreserven beobachtet, die Energie verfügbar macht. Mit fortschreitender Laktation setzt hingegen eine anabole Situation ein. Dann wird Energie vermehrt für den Aufbau von Körperreserven genutzt, zu Ungunsten der Milchleistungssteigerung. Letztendlich sind es die Mechanismen Homöostase und Homöorhese, welche die kurzfristige (Homöostase) bzw. die langfristige (Homöorhese) Verteilung der Energie regeln und somit die Wirkung des KF maßgeblich bestimmen.

STOCKDALE *et al.* (1987) und SUTTON (1988) zeigten außerdem auf, dass eine steigende KF-Aufnahme selbst, aufgrund einer Reduktion des Anteils von Acetat und einer Steigerung des Anteils von Propionat an den kurzkettigen Fettsäuren (KKFS) im Pansen, möglicherweise eine Verteilung der Energie zugunsten des Aufbaus von Körperreserven befördert. VAN KNEGSEL *et al.* (2007) beispielsweise ermittelten bei einer Ration, die mit stärkereichem KF gestaltet wurde, im Vergleich zu einer Ration gleicher Energiekonzentration, die mit fett- und faserreichem KF gestaltet wurde, eine Verteilung der Energie zugunsten des Aufbaus von Körperreserven. Propionat ist der wichtigste Ausgangsstoff der Gluconeogenese (SEYMOUR *et al.* 2005; ASCHENBACH *et al.* 2010). Das höhere Angebot an Propionat bei höherer KF-Aufnahme steigert folglich die Glucose-Abgabe der Leber und erhöht damit die Insulin-Konzentration im Blut, die zu Laktationsbeginn typischerweise erniedrigt ist. Die erhöhte Insulin-Konzentration hebt die Drosselung des Glucose-Verbrauchs im Fett- und Muskelgewebe des Körpers auf und wirkt der bevorzugten Abgabe von Energie und Nährstoffen in die Milchdrüse entgegen (BAUMAN und CURRIE 1980; ASCHENBACH *et al.* 2010; BAUMGARD *et al.* 2017).

Den Ergebnissen von STOCKDALE *et al.* (1987) und VAN KNEGSEL *et al.* (2007) widerspricht die Literaturübersicht von SEYMOUR *et al.* (2005). Hier wurde kein signifikanter Einfluss der Acetat-Konzentration im Pansen auf die Milchleistung festgestellt. Vielmehr war die Milchleistung positiv mit der Propionat-Konzentration korreliert. Von SEYMOUR *et al.* (2005) wurde die ermittelte, enge Korrelation zwischen der Propionat- und Butyrat-Konzentration als ausschlaggebend für die positive Wirkung auf die Milchleistung genannt. Butyrat stimuliere

zwar die Gluconeogenese, diene selbst jedoch als Energiequelle und Ausgangsstoff für die Milchfettsynthese.

Sowohl die GF-Verdrängung als auch die Verwendung zusätzlicher Energie für Körperansatz mindern die Wirkung eines höheren KF-Einsatzes auf die Milchleistung. Die Wirkung beider Aspekte addiert sich. Deshalb ergibt sich ein mit steigendem KF-Einsatz abnehmender Effekt des KF auf die Milchleistung. Ein quadratischer Zusammenhang zwischen der KF-Menge und der Milchleistung wurde z. B. dargelegt von ØSTERGAARD (1979) sowie BAUM (1984) und bestätigte sich in vorliegender Metaanalyse (vgl. Tabelle 3). Die Verbesserung der Güte bei Anpassung einer quadratischen Funktion an Stelle einer linearen Funktion fällt, bei Betrachtung der ECM, in vorliegender Metaanalyse höher aus als bei Betrachtung der Milchleistung in Abhängigkeit von der KF-Aufnahme (vgl. Tabelle 2 und Tabelle 3).

Abbildung 2 veranschaulicht, dass bis zu einer KF-Aufnahme von 11,9 kg TM pro Kuh und Tag eine Steigerung der ECM erwartet werden kann. Bei einer weiteren Steigerung der KF-Aufnahme ist hingegen ein Rückgang der ECM zu beobachten.

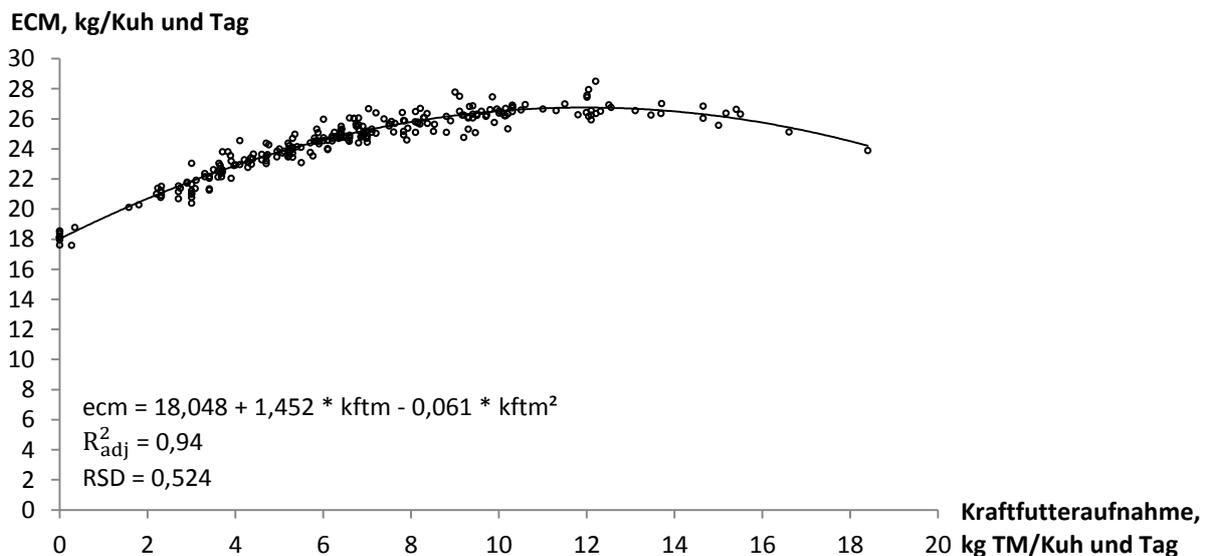


Abbildung 2: Energiekorrigierte Milchleistung (*ecm*) (um den zufälligen Versuchs-Effekt bereinigt) in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme (*kftm*), quadratischer Zusammenhang, $n = 264$ (*TM* = Trockenmasse)

Da die quadratische Funktion der Milchleistung im Abschnitt der betrachteten KF-Aufnahme (0,0 bis 18,4 kg TM pro Kuh und Tag) kein Maximum aufweist (vgl. Abbildung A2 im Anhang), kann gefolgert werden, dass bei sehr hohem KF-Einsatz die Änderung der Gehalte der Milch Inhaltsstoffe Fett und/oder Eiweiß maßgeblich Einfluss auf die ECM nimmt. Sowohl die ECM als auch die Milchleistung lassen sich sehr gut ($0,9 \leq R^2_{adj}$) aus der KF-Aufnahme, mit-

tels der in Tabelle 3 genannten quadratischen Funktionen, herleiten. GORDON (1984), COULON und RÉMOND (1991), FERRIS *et al.* (2001) und GRUBER (2007) schlossen aus ihren Versuchen hingegen, dass sich die Milchleistung mit steigender KF-Aufnahme einer Sättigungsgrenze annähert.

Die von BAUM (1984) in seiner Literaturübersicht gesammelten, mindestens eine Laktation andauernden Versuche ($n=56$) ergaben eine mittlere Milchleistungssteigerung von $0,3 \pm 0,9$ kg ECM pro Δ kg KF TM. Die Spannweite reichte in seiner Übersicht von $-3,7$ bis $2,0$ kg ECM pro Δ kg KF TM. In vorliegender Metaanalyse wurde in den einzelnen Versuchen eine Wirkung des KF auf die Milchleistung von $-0,9$ (ROBINSON und MCQUEEN 1997) bis $2,0$ kg ECM pro Δ kg KF TM (TESSMANN *et al.* 1991; DHIMAN *et al.* 1995) festgestellt. Im Mittel ($\pm s$) betrug die Steigerung der ECM $0,7 \pm 0,5$ kg pro Δ kg KF.

Wenn die tatsächliche Milchleistungssteigerung hinter der theoretischen Berechnung zurück bleibt, was in der Mehrzahl der in der Literatur berichteten Versuche zu beobachten ist, bewirkt das Mehr an KF eine Erhöhung des Energiesaldos.

2.2.3 Milchinhaltstoffe

Die Auswirkungen der Fütterung unterschiedlich hoher KF-Mengen auf die Milchinhaltstoffe werden in diesem Kapitel nur kurz beschrieben. Ausführlicher wird dieser Aspekt in der später folgenden Diskussion in Kapitel 5.2 aufgegriffen. Laut Literatur ist bei einer Erhöhung des KF-Einsatzes in der Regel von einer Reduktion des Milchfettgehalts und von einer Erhöhung des Milcheiweißgehalts auszugehen (ØSTERGAARD 1979; COULON und RÉMOND 1991).

Die Höhe der täglichen Energieaufnahme beeinflusst maßgeblich den Milcheiweißgehalt. COULON und RÉMOND (1991) sowie GRUBER (2007) arbeiteten einen linearen Zusammenhang zwischen der zusätzlich aufgenommenen Energie, welche durch eine höhere KF-Aufnahme erreicht wurde, und dem Milcheiweißgehalt heraus. Die positive Steigung der Geraden betrug bei GRUBER (2007) $0,03$ % pro Δ kg KF TM.

Aus der vorliegenden Metaanalyse kann gefolgert werden, dass die Beschreibung des Milcheiweißgehalts in Abhängigkeit von der KF-Aufnahme mittels der linearen Funktion aus Tabelle 2 mit hoher Anpassungsgüte ($0,7 \leq R_{\text{adj}}^2 \leq 0,9$) möglich ist. Die Güte kann durch die Anpassung einer quadratischen Funktion (vgl. Tabelle 3), trotz Signifikanz des quadratischen Terms ($p(b_2x^2) \leq 0,05$), nicht verbessert werden. In Versuchen mit einer Staffelung der KF-Aufnahme von $0,0$ bis $18,4$ kg TM pro Kuh und Tag ist der in Abbildung 3 dargestellte, lineare Anstieg des Milcheiweißgehalts in Höhe von $0,024$ % pro Δ kg KF TM zu erwarten. Dieses

Ergebnis bestätigt das Ergebnis von COULON und RÉMOND (1991) sowie das Ergebnis von GRUBER (2007).

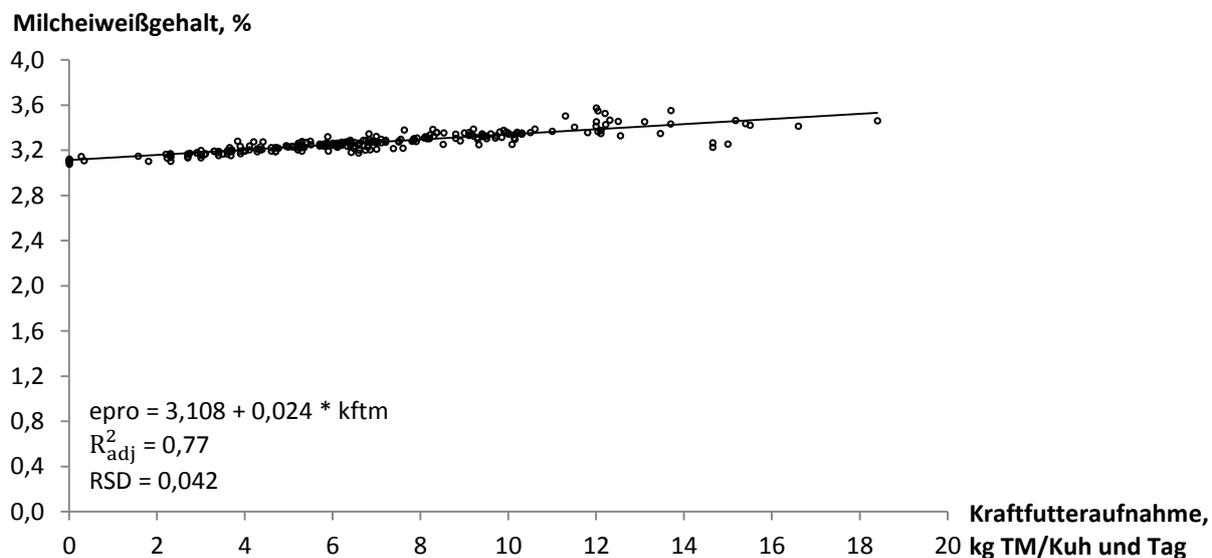


Abbildung 3: Milcheiweißgehalt (*epro*) (um den zufälligen Versuchs-Effekt bereinigt) in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme (*kftm*), linearer Zusammenhang, $n = 264$ (*TM* = Trockenmasse)

Für den Anstieg des Milcheiweißgehalts mit höherer KF-Aufnahme bestand in vorliegender Metaanalyse eine tendenzielle Wechselwirkung mit der KF-Vorlage ($p(\text{cl } x) \leq 0,1$) (vgl. Tabelle 4). Wird in Versuchen TMR vorgelegt, ist die zu erwartende Änderung des Milcheiweißgehalts pro Δ kg KF TM geringer als bei separater KF-Vorlage, wie Tabelle 5 zeigt. Außerdem hatte die LNRcl einen signifikanten Einfluss ($p(\text{cl } x) \leq 0,05$) auf die Änderung des Milcheiweißgehalts (vgl. Tabelle 4) und lag, wie in Tabelle 5 gelistet, in Versuchen mit ausschließlich Erstkalbskühen höher als in Versuchen mit ausschließlich Mehrkalbskühen.

Für den mit steigender KF-Aufnahme sinkenden Milchfettgehalt stellten COULON und RÉMOND (1991) ebenfalls einen linearen Zusammenhang her. In vorliegender Metaanalyse hingegen verbesserte die Anpassung der quadratischen Funktion (vgl. Tabelle 3) die Anpassungsgüte, ausgehend von der in Tabelle 2 genannten linearen Funktion, von mittelmäßig ($0,5 \leq R^2_{\text{adj}} \leq 0,7$) zu gut ($0,7 \leq R^2_{\text{adj}} \leq 0,9$). Erst ab einer täglichen KF-Aufnahme von 4,1 kg TM pro Kuh ist mit einem Rückgang des Milchfettgehalts zu rechnen, wie Abbildung 4 zeigt.

Das Absinken des Milchfettgehalts mit steigender KF-Aufnahme war in Versuchen mit der höchsten mittleren ECM (≥ 28 kg pro Kuh und Tag) tendenziell ($p(\text{cl } x) \leq 0,1$) ausgeprägter als in Versuchen mit niedriger leistenden Tieren (vgl. Tabelle 4 und Tabelle 5). Tendenzuell war der Rückgang des Milchfettgehalts pro Δ kg KF TM in Versuchen mit ausschließlich Mehr-

kalbskühen höher als in Versuchen mit ausschließlich Erstkalbskühen (vgl. Tabelle 4 und Tabelle 5).

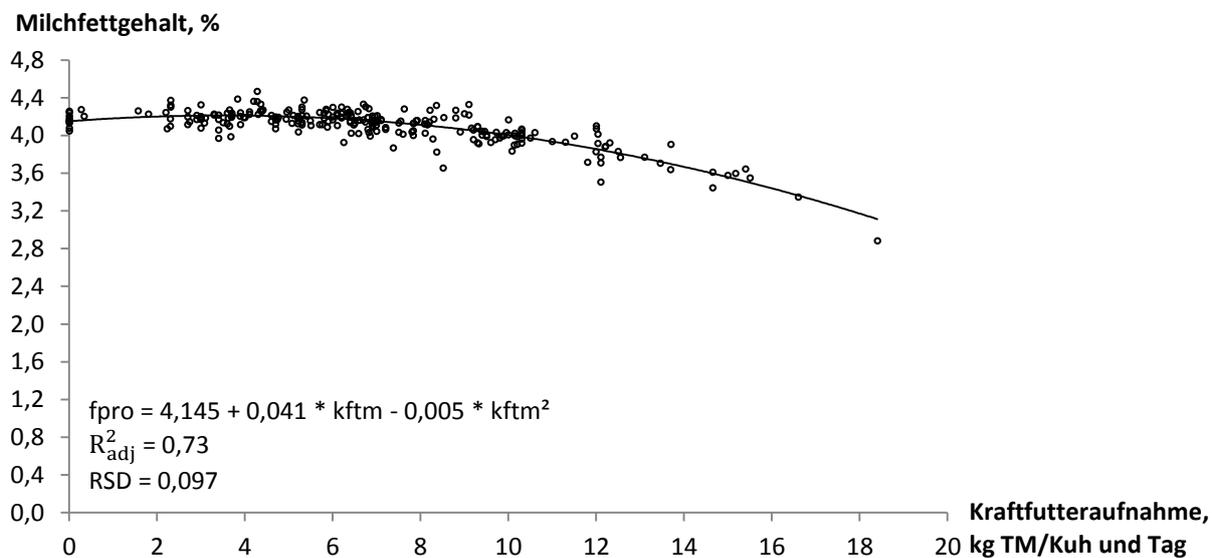


Abbildung 4: Milchfettgehalt (f_{pro}) (um den zufälligen Versuchs-Effekt bereinigt) in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme ($kftm$), quadratischer Zusammenhang, $n = 264$ ($TM = Trockenmasse$)

In der Literatur wird berichtet, dass erst ab einem gewissen prozentualen KF-Anteil an der Futteraufnahme ein deutlicher Rückgang des Milchfettgehalts zu erwarten ist. Häufig wird ein KF-Anteil von 50 bis 55 % in der TM angeführt und der Hinweis ergänzt, dass dieser Grenzwert dynamisch sei und von der Zusammensetzung der Grob- und KF-Komponenten sowie von der Höhe der Futteraufnahme abhänge (SUTTON 1988; PALMQUIST *et al.* 1993; GRUBER *et al.* 1995; MACK 1996). ZEBELI *et al.* (2008) empfahlen deshalb, eine physikalisch effektive NDF-Konzentration der TMR für Laktierende im Bereich von 30 bis 33 % einzuhalten. Das in Tabelle 3 angeführte Ergebnis zum quadratischen Zusammenhang zwischen dem prozentualen KF-Anteil in der Ration und dem Milchfettgehalt bestätigt diese Angaben aus der Literatur. Ein erster, wenn auch noch geringer Rückgang des Milchfettgehalts ist ab einem KF-Anteil von 25 % in der Ration zu erwarten (vgl. Abbildung A3 im Anhang). Es stellte sich allerdings heraus, dass der Milchfettgehalt stärker von der täglich aufgenommenen KF-Menge abhängt als vom prozentualen KF-Anteil der Ration. Die Reduktion des Milchfettgehalts bei steigender KF-Aufnahme ist den bereits beschriebenen, geänderten Anteilen von Acetat und Propionat an den KKFS im Pansen zuzuschreiben (SUTTON 1988). Die Mobilisation von Körperfett, z. B. zu Laktationsbeginn, kann einer Reduktion des Milchfettgehalts entgegenwirken (BAUMAN und GRINARI 2001; ZEBELI *et al.* 2008).

Mittels vorliegender Metaanalyse wurde außerdem der Zusammenhang zwischen der KF-Aufnahme und dem Laktosegehalt geprüft. Dieser Zusammenhang war signifikant ($p(b_1x) \leq 0,05$ und $p(b_2x^2) \leq 0,05$). Ein Anstieg des Laktosegehalts in der Milch mit steigendem KF-Einsatz kann folglich erwartet werden. Allerdings ist die Anpassungsgüte der ermittelten Funktionen gering ($0,2 \leq R_{\text{adj}}^2 \leq 0,5$), unabhängig davon ob ein lineares (vgl. Tabelle 2) oder ein quadratisches Modell (vgl. Tabelle 3) herangezogen wird. Die KF-Aufnahme erscheint folglich nicht geeignet, um den Laktosegehalt der Milch mit ausreichender Genauigkeit vorherzusagen.

2.2.4 Lebendmasse

Für die Beschreibung der Steigerung der Lebendmasse mit zunehmender KF-Aufnahme erwies sich in vorliegender Metaanalyse eine lineare Funktion im betrachteten Bereich der KF-Aufnahme (0,0 kg bis 18,4 kg TM pro Kuh und Tag) als angemessen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ($0,7 \leq R_{\text{adj}}^2 \leq 0,9$) ist von einer Zunahme der Lebendmasse über die Dauer eines Versuchs um 4,7 kg pro Δ kg KF TM auszugehen (vgl. Abbildung A4 im Anhang). Eine Zunahme der Lebendmasse mit steigendem KF-Einsatz ist die Folge einer in der Regel hinter den Erwartungen zurückbleibenden Milchleistungssteigerung.

Zusammengefasst hat die Metaanalyse ergeben, dass die Steigerung der KF-Aufnahme bei laktierenden Milchkühen einen Rückgang der Grobfutteraufnahme zur Folge hat. Die Milchleistung wird durch einen höheren KF-Einsatz in geringerem Umfang gesteigert als nach Abzug des verdrängten Grobfutters erwartet werden könnte. Ein Teil der zusätzlich aufgenommenen Energie wird folglich für das Anlegen von Körperreserven verwendet. Die GF-Verdrängung steigt mit zunehmendem KF-Einsatz, während die Steigerung der ECM wiederum abnimmt.

2.3 Ableitung der Versuchsfragestellung

Die zu erwartenden Produktionsmerkmale von Milchviehherden in Abhängigkeit von der KF-Aufnahme, die im Kapitel 2.2 hergeleitet wurden, bestätigen bestehende Erkenntnisse zum KF-Einsatz. Die Bonner Arbeitsgruppe um Professor Pfeffer (BAUM 1984; KLEINMANS und POTTHAST 1984) stellte fest, dass sich die Milchleistungssteigerung und die GF-Verdrängung in Abhängigkeit von der KF-Aufnahme umgekehrt proportional verhalten. Es kann gefolgert werden, dass diese Zusammenhänge, trotz der geänderten Produktionsbedingungen, bis heute

nicht an Aktualität verloren haben. Erst die Berücksichtigung dieser Zusammenhänge ermöglicht zu entscheiden, welcher KF-Einsatz zielführend ist.

Beim Zusammentragen der Studien für die Metaanalyse wurde klar, dass es an langfristigen Versuchen mit gestaffeltem KF-Einsatz mangelt. Laktationsverläufe der Produktionsmerkmale bei unterschiedlicher KF-Aufnahme werden selten abgebildet. Die Trockenstehphase ist bislang weitestgehend unberücksichtigt geblieben oder es sind lediglich Angaben zur Entwicklung der Lebendmasse in dieser Phase gemacht worden. Es gibt Hinweise in der Literatur, dass Milchkühe, die in der Laktation mit wenig KF gefüttert wurden, ein aus der Laktation noch bestehendes Energiedefizit durch eine höhere Futteraufnahme in der Trockenstehphase kompensieren (BERG und EKERN 1993; BROSTER *et al.* 1993).

Des Weiteren wurde bei der Erstellung der Metaanalyse festgestellt, dass Fleckviehmilchkühe in nur sehr wenigen Fütterungsversuchen mit variierendem KF-Einsatz genutzt wurden. In Deutschland beträgt der Anteil der Rasse Fleckvieh 27 % bei den Milchkühen. In den Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg liegt der Anteil mit 77 % und 42 % deutlich höher (Statistisches Bundesamt 2017). Die Produktionsmerkmale dieser Doppelnutzungsrasse in Abhängigkeit von der KF-Aufnahme sind, trotz ihres Verbreitungsumfanges, bislang weitestgehend unerforscht.

FAVERDIN *et al.* (1991) zeigten auf, dass die Wirkung einer Steigerung der KF-Aufnahme auf die Grobfutteraufnahme und die Milchleistung maßgeblich von der Energieversorgungssituation der Milchkuh abhängt. Die Literatur gibt aber auch Hinweise darauf, dass die Höhe der KF-Aufnahme den Energiestoffwechsel direkt beeinflussen könnte. Die höhere KF-Aufnahme scheint der Insulin-Resistenz der Milchdrüse zu Laktationsbeginn entgegenzuwirken und den Übergang in eine anabole Stoffwechselsituation zu fördern.

Vorliegende Metaanalyse ermöglichte es nicht, den erwarteten Zusammenhang zwischen der KF-Aufnahme und dem Energiesaldo herzuleiten, weil die verwendeten Studien weder auf einem einheitlichen Energie-Bewertungssystem noch auf einer einheitlichen Berechnung des Energiesaldos basieren oder über die hierfür benötigten Angaben nicht berichtet wird.

An der Herleitung von Verfahren zur Schätzung des Energieversorgungsstatus der Milchkuh aus Hilfsmerkmalen (Körperkondition, Lebendmasse, Merkmale aus Blut und Milch) wird intensiv gearbeitet (HEUER *et al.* 2000; COFFEY *et al.* 2002; REIST *et al.* 2002; CLARK *et al.* 2005; FRIGGENS *et al.* 2007; MCPARLAND *et al.* 2011; THORUP *et al.* 2013; BECHER 2017; DÓREA *et al.* 2017), allerdings bislang ohne großen Fortschritt. Außerdem werden in den

verwendeten Studien nur vereinzelt Angaben zu den genannten Hilfsmerkmalen gemacht, so dass eine nachträgliche Schätzung des Energiesaldos aus Hilfsmerkmalen nicht möglich war.

SUSENBETH (2018) schlug neue Gleichungen für den leistungsunabhängigen Energiebedarf, den Energiebedarf für Milchbildung und den Energiebedarf für weitere Leistungen auf Basis der Umsetzbaren Energie (ME) vor. Das Bereitstellen aktueller, über einen langen Zeitraum erfasster Produktionsmerkmale, die eine vergleichende Berechnung des Energiesaldos nach GfE (2001) und SUSENBETH (2018) ermöglichen, erscheint in dieser Phase wünschenswert.

Diese Überlegungen fanden Berücksichtigung bei der Planung des Fütterungsversuchs. Die 4 Hypothesen, die mit diesem Fütterungsversuch geprüft wurden, lauteten:

- 1.) Eine Reduktion des KF-Einsatzes von 250 auf 150 g KF pro kg ECM für die Dauer von zwei Jahren, kombiniert mit einem Grobfutter hoher Energiekonzentration, wird die durchschnittliche tägliche Grobfutteraufnahme der Fleckviehmilchkühe erhöhen und deren durchschnittliche tägliche Milchleistung mindern.
- 2.) Der unterschiedliche KF-Einsatz wird außerdem die Verläufe der Produktionsmerkmale in der Laktation beeinflussen. Die mit reduzierter KF-Menge gefütterten Fleckviehmilchkühe werden zu Laktationsbeginn, trotz Vorlage eines Grobfutters mit hoher Energiekonzentration, länger einen negativen Energiesaldo haben. Das wird sich in einer geänderten FS-Zusammensetzung im Milchfett und in ausgewählten Merkmalen im Blut widerspiegeln.
- 3.) Der Vorschlag von SUSENBETH (2018) zur Berechnung des Energiebedarfs wird, mit Blick auf die Energieversorgung, in der Gesamtschau die Plausibilität der Versuchsdaten aus den zwei Jahren verbessern.
- 4.) Die Schätzung des Energiesaldos aus Produktionsmerkmalen, unter besonderer Berücksichtigung der FS-Zusammensetzung im Milchfett, ist im ersten Laktationsdrittel mit ausreichender Genauigkeit möglich.

3 MATERIAL UND METHODEN

Im Zeitraum 2. Dezember 2014 bis 13. Dezember 2016 wurde der Fütterungsversuch im Versuchsstall des Landwirtschaftlichen Zentrums Baden-Württemberg (LAZBW) am Standort Aulendorf im Rahmen des Forschungsprojekts „optiKuh“ durchgeführt. Die Versuchsplanung im Rahmen des dreieinhalbjährigen Verbundprojekts erfolgte in enger Abstimmung mit den Projektpartnern.

3.1 Versuchsaufbau

Zu Versuchsbeginn wurden 48 Fleckviehmilchkühe in zwei Gruppen à 24 Tiere aufgeteilt. Die Tiere blieben während der gesamten Versuchsdauer in der gleichen Versuchsgruppe (Gruppe). Die erste Gruppe (Gruppe 250) erhielt eine TMR mit einer Energiekonzentration im Grobfutter von 6,5 MJ NEL pro kg TM, die im Mittel der Laktation auf 250 g KF pro kg ECM eingestellt wurde. Die TMR der zweiten Gruppe (Gruppe 150) war im Mittel der Laktation auf 150 g KF pro kg ECM eingestellt und hatte ebenfalls eine Energiekonzentration von 6,5 MJ NEL pro kg TM im Grobfutter. Auch während der Trockenstehphase und in der Phase direkt nach dem Kalben wurden Daten erfasst.

3.2 Versuchstiere

Hauptkriterium bei der Kuhauswahl zu Versuchsbeginn war die Erwartung, die Tiere möglichst zwei Jahre im Versuch beobachten zu können. Wenn die Beurteilung eines der 4 nachfolgenden Kriterien positiv ausfiel, wurde die Kuh nicht in den Versuch aufgenommen: 1.) > 200. LTG und nichttragend; 2.) anhaltende Zellzahlprobleme; 3.) problematische Euter-aufhängung; 4.) problematisches Fundament.

Dennoch konnten nicht alle der zu Versuchsbeginn ausgewählten Kühe über die zwei Versuchsjahre gehalten werden. Die Gründe für das Ausscheiden waren: 1.) schwerwiegende Erkrankung, keine Heilung möglich; 2.) Probleme hinsichtlich Futteraufnahme aus den Fress-Wiegetrögen; 3.) Fruchtbarkeitsprobleme: nichttragend am 170. LTG (Ausnahme Milchleistung > 35 kg). Kühe, die wegen Fruchtbarkeitsproblemen ausschieden, wurden am 330. LTG aus der Versuchsherde genommen.

Ausscheidende Tiere wurden, wenn möglich, durch Erstkalbskühe ersetzt, die mit ihrer ersten Kalbung in den Versuch nachrückten. In der Gruppe 250 wurden in Summe 6 Tiere (25 % der 24 Tiere), in der Gruppe 150 5 Tiere (21 % der 24 Tiere) ersetzt. Je eine der nachrückenden

Kühe in beiden Gruppen war keine Erstkalbskuh, sondern trat mit Aufnahme in den Versuch in die zweite Laktation ein.

Die Aufteilung der Kühe in die beiden Gruppen erfolgte unter Berücksichtigung ihrer LNR, ihres Laktationsstadiums und ihrer zu erwartenden Milchleistung. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die genannten Kriterien in beiden Gruppen zu Versuchsbeginn. Es wurden ausschließlich Fleckviehmilchkühe verwendet.

Tabelle 6: Merkmale der Gruppe 250 und der Gruppe 150 zu Versuchsbeginn

Gruppe	Anzahl Kühe in Laktationsnummer							Laktationsnummer	Laktations-tag	Jahresleistung, kg ²⁾
	1	2	3	4	5	6	8			
250	5	5	7	4	1	1	1	3,0 ± 1,7 ¹⁾	144 ± 110	8 953 ± 1 036
150	8	3	5	3	3	1	1	2,9 ± 1,9	181 ± 114	9 384 ± 1 398
Gesamt	13	8	12	7	4	2	2	2,9	161	9 162 ± 1 225

¹⁾ $\bar{x} \pm s$; ²⁾ Milchleistung nicht energiekorrigiert; ohne Erstkalbskühe; Stand 30.09.2014, Milchleistungsprüfungs-Jahresbericht

Die einzelnen Tiere streuten zu Versuchsbeginn in ihren Laktationsstadien, waren aber nicht trockenstehend. Die Kühe in der Gruppe 250 waren zu Versuchsbeginn im 7. bis 374. LTG, die Kühe in der Gruppe 150 im 13. bis 461. LTG.

3.3 Fütterung

Um über die gesamte Laktation den angestrebten KF-Aufwand bei TMR-Fütterung zu erreichen, wurde tierindividuell am 165. LTG, unabhängig von der Milchleistung, in beiden Gruppen ein Rationswechsel realisiert. Die KF-Menge wurde dabei reduziert. Gruppe 250 wurde bis zum 165. LTG die Ration K1 vorgelegt mit einem KF-Anteil in der TM von 35 %. Ab dem 165. LTG wurde den Tieren in der Gruppe 250 die Ration K2 vorgelegt mit 22 % KF in der TM. Dieselbe Ration wurde in der Gruppe 150 den Tieren bis zum 165. LTG gefüttert (K2 = R1). Ab dem 165. LTG wurde der Gruppe 150 die Ration R2 gefüttert, die einen KF-Anteil von 14 % in der TM hatte.

In der Trockenstehphase unterschied sich die Fütterung der beiden Gruppen nicht. Trockenstehende Kühe wurden zweiphasig gefüttert. Die Versuchskühe wurden 7 Wochen vor dem Kalben, bei einer täglichen Milchleistung von weniger als 12 kg pro Kuh entsprechend früher, trockengestellt. In der zweiten Trockenstehphase, der Phase der Vorbereitungs-fütterung, die zwei Wochen vor der erwarteten Kalbung startete, wurde dieselbe TMR gefüttert, die den Tieren ab dem 165. LTG in der Gruppe 150 vorgelegt wurde (R2 = TR2). Abbildung 5 fasst die erläuterten Rationswechsel im Laktationsverlauf für die beiden Gruppen zusammen.

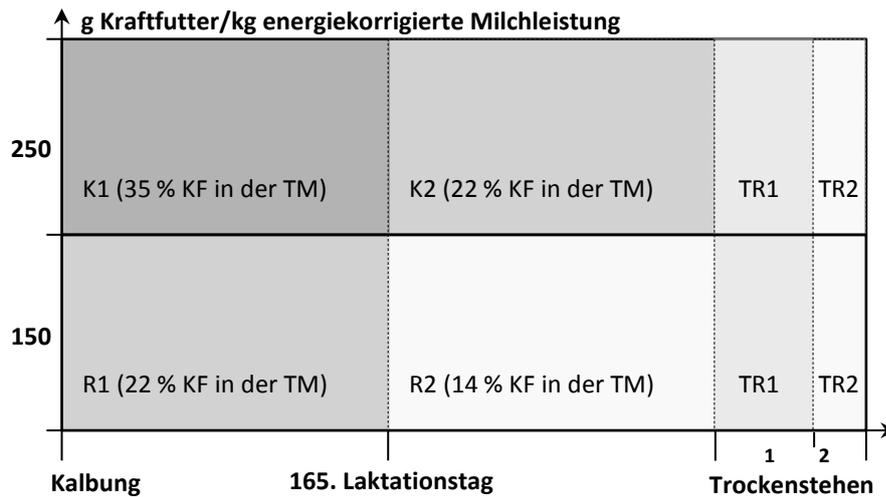


Abbildung 5: Überblick über die Kraftfutter- (KF) Anteile in der Trockenmasse (TM) der Totalen Mischrationen im Laktationsverlauf in der Gruppe 250 und der Gruppe 150

Die Empfehlungen zur Struktur-, Protein- und Mineralstoffversorgung von laktierenden und trockenstehenden Milchkühen sowie die Empfehlungen zur Energieversorgung trockenstehender Milchkühe wurden eingehalten (DLG 2001 und GfE 2001). Als Grobfutterkomponenten wurden in den TMR in den zwei Versuchsjahren Grassilage, Maissilage und Stroh und/oder Heu eingesetzt. Um eine gleiche Energiekonzentration im Grobfutter von 6,5 MJ NEL pro kg TM in den Rationen K1, K2 und R2 zu erreichen, waren die prozentualen Anteile der Komponenten pro kg TM innerhalb der Grobfuttersumme gleich hoch (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Zusammensetzung des Grobfutters in den Totalen Mischrationen der Gruppe 250 und der Gruppe 150, gemittelt über die gesamte Versuchsdauer

Ration	Grassilage	Maissilage	Heu/Stroh ¹⁾
	% der Trockenmasse im Grobfutter		
K1	44	46	10
K2 = R1	44	46	10
R2 = TR2	44	46	10
TR1	47	20	33

¹⁾ in der Ration TR1 wurde in der Regel ausschließlich Stroh genutzt; Heu wurde in TR1 nur in den Zeiträumen 16.02. bis 22.04.2015 und 06.12. bis 13.12.16 verwendet

Als energiereiche KF-Komponente kam eine hofeigene, geschrotete Mischung (kurz Getreidemix) aus Winterweizen, Wintergerste, Ackerbohnen und Mineralfutter mit unterschiedlichen Mischungsanteilen zum Einsatz (vgl. Tabelle A2 im Anhang). Im Mittel der beiden Versuchsjahre betrug die Energiekonzentration des Getreidemix $7,9 \pm 0,3$ MJ NEL pro kg TM. Als eiweißreiches KF wurde Rapsextraktionsschrot eingesetzt. Im Zeitraum 29.09. bis 10.12.15 wurde als eiweißreiches KF, alternativ zum Rapsextraktionsschrot, eine Mischung

aus Rapsextraktionsschrot (75 %), Leinextraktionsschrot (10 %), Trockenschlempe (6,75 %), Sojaextraktionsschrot (4 %), Malzkeime (2,5 %) und Zuckerrübenmelasse (1,75 %) verwendet (kurz EWM34, Staudachmühle, Deutschland). Die Energiekonzentration des eiweißreichen KF betrug im Durchschnitt der beiden Jahre $7,2 \pm 0,1$ MJ NEL pro kg TM. Um annähernd gleiche mittlere XP-Konzentrationen, nutzbare Rohprotein- (nXP) Konzentrationen und Ruminale-Stickstoff-Bilanzen (RNB) in den TMR beider Gruppen zu erreichen, war der Anteil des eiweißreichen KF im KF der Gruppe 150 höher als im KF der Gruppe 250. Im Durchschnitt der beiden Jahren betrug der Anteil des eiweißreichen KF in der KF TM in den Rationen K1, K2 = R1 und R2 = TR2 41, 72 und 91 %. Während der ersten Trockenstehphase (Ration TR1) wurde kein KF eingesetzt.

Mineralfutter, Ergänzungs- und Zusatzstoffe wurden rechnerisch als Bestandteil des KF betrachtet. Um eine bedarfsdeckende Mineralstoffversorgung in beiden Gruppen zu erreichen, lag der Mineralfutteranteil in der KF TM in der Gruppe 150 höher als in der Gruppe 250. In die Rationen K1, K2 = R1 und R2 = TR2 wurde das Mineralfutter Rindavit 210 Plus ASS-CO ATG (Schaumann, Deutschland) eingemischt, in die Ration TR1 das Mineralfutter Rindavital VK PLUS ATG (Schaumann, Deutschland). Die Tiere hatten Zugang zu Salit Mineral-Lecksteinen (Südwestdeutsche Salzwerke AG, Deutschland). Zusätzlich optional eingesetzt wurden zur mineralischen Ergänzung kohlenaurer Futterkalk (CCN Futterkalk, Eduard Merkle GmbH & Co. KG) und Viehsalz (Ralinger Viehsalz; Ralinger Salz Handels-GmbH). Als weitere Ergänzungs- und Zusatzstoffe wurden Harnstoff (Min RNB; RKW Süd GmbH, Deutschland) und ein TMR-Stabilisator (Silostar TMR Protect; Schaumann, Deutschland) in Pulverform ergänzt. Während der Wintermonate wurde in der Transit-Phase täglich 50 g β -Carotin-Konzentrat (BERGO Beta-Konzentrat; Bergophor, Deutschland) verabreicht. Im Zeitraum September 2016 bis Versuchsende wurde Wasser in die TMR eingemischt.

Eine besondere Fütterung kranker oder auffälliger Tiere wurde vermieden. Nur bei Bedarf wurden diese Tiere zusätzlich mit Heu und Propylenglykol (Ketosan; SaluVet, Deutschland; 630 g TM pro kg FM; pro kg TM: 11,9 MJ NEL, 18,5 MJ ME, 242 g Rohasche, 116 g Natrium) versorgt. Die eingesetzten Mengen wurden notiert und bei der Berechnung der Futteraufnahme bzw. der aufgenommenen Nährstoffe berücksichtigt. Propylenglykol wurde hierbei dem KF zugeordnet. Für das Heu sind die Inhaltsstoffe im Anhang in Tabelle A2 gelistet. Zur Prophylaxe von Gebärfähigkeit wurden allen Tieren ab der dritten Kalbung und auffälligen Tieren zwei Calcium-Boli (Ca-PILL; VUXXX, Deutschland) am Tag der Abkalbung und ein Calcium-Bolus am 1. LTG eingegeben.

Wegen der zweijährigen Versuchsdauer ergaben sich Wechsel in der Qualität der eingesetzten Futterkomponenten, die Rationsanpassungen nötig machten. In Tabelle 8 (für die Rationen K1, K2 = R1 und R2 = TR2) und in Tabelle 9 (für die Ration TR1) sind für Zeitabschnitte, in denen keine Änderungen hinsichtlich der Komponentenauswahl vorgenommen wurden, die Mischungsanteile in der TM der TMR und die resultierenden Rationsinhaltsstoffe aufgelistet.

Die Rationskomponenten (nicht Mineralfutter, Ergänzungs- und Zusatzstoffe) wurden im zweiwöchigen Rhythmus beprobt und ihre Inhaltsstoffe untersucht. Die TM-Konzentration der TMR, die wöchentlich zur Rationsüberwachung untersucht wurde, blieb bei den Rationsberechnungen unberücksichtigt. Die Analyse der Roh Nährstoff-Konzentrationen der Einzelkomponenten erfolgte nasschemisch im Futtermittellabor des LAZBW. Außerdem wurden die Gerüstsubstanzen NDF (korrigiert um Asche (om), mit Amylase (a)) und Säure-Detergenzfaser (ADF, korrigiert um Asche (om)) sowie die Mengenelemente (Kalium, Natrium, Magnesium, Calcium, Phosphor (P)) analysiert. Die Analysen erfolgten nach Vorgaben des Methodenbuchs zur chemischen Untersuchung von Futtermitteln (VDLUFA 1976, mit Ergänzungslieferungen 1 (1983) bis 8 (2012)). Bei den Silagen wurde die TM-Korrektur nach WEISSBACH und KUHLA (1995) angewandt. Der energetische Futterwert von Maissilage wurde mittels Cellulaselöslichkeit (ELOS, VDLUFA 1976, 4. Ergänzungslieferung (1997)) ermittelt und der energetische Futterwert der Rationskomponenten Grassilage, Heu und energiereiches KF mittels Hohenheimer Futterwerttest nach STEINGASS und MENKE (1986).

Die Berechnung der ME-Konzentration erfolgte bei Mais-, Grassilage und Heu mit den von der GfE (2008) empfohlenen Formeln. Für Stroh und das eiweißreiche KF wurde die ME-Konzentration auf Basis der von der DLG (1997) erstellten Verdaulichkeiten mit der von der GfE (1995) empfohlenen Formel berechnet. Die Berechnung der NEL-Konzentration erfolgte bei allen untersuchten Futtermitteln mit der Formel von VAN ES (1975). Für die dazu benötigte Bruttoenergiekonzentration des Futtermittels wurde die Formel aus GfE (1995) angewandt. Die Berechnungen der nXP-Konzentration und der RNB erfolgten nach Vorgaben der GfE (2001).

Die Einzelergebnisse zu den Inhaltsstoffen eines Futtermittels gleicher Herkunft (z. B. Grassilage, Ernte 2015, 1. Schnitt, Silo 9) wurden abschließend zu einem mittleren Ergebnis zusammengefasst. In der Tabelle A2 im Anhang sind die gemittelten Inhaltsstoffe aller eingesetzten Futtermittel und der Zeitraum ihres Einsatzes gelistet.

MATERIAL UND METHODEN

Tabelle 8: Rationen K1, K2 = R1 und R2 = TR2, Komponentenzusammensetzung und Inhaltsstoffe, zusammengefasst in Zeiträume gleicher Zusammensetzung der Komponenten Heu, Stroh, Wasser

Zeitraum	02.12.14-11.01.15; 12.06.15-09.07.15			12.01.15-15.02.15; 10.07.15-16.12.15 ¹⁾ ; 24.03.16-07.09.16			16.02.15-11.06.15; 17.12.15-23.03.16			08.09.16-13.12.16			gemittelt über die gesamte Versuchsdauer			
Beschreibung	kein Heu, kein Stroh, kein Wasser			kein Heu, Stroh, kein Wasser			Heu, kein Stroh, kein Wasser			Heu, kein Stroh, Wasser						
Ration	K1	K2 = R1	R2 = TR2	K1	K2 = R1	R2 = TR2	K1	K2 = R1	R2 = TR2	K1	K2 = R1	R2 = TR2	K1	K2 = R1	R2 = TR2	
Rationskomponenten, % der TM ²⁾																
Maissilage	\bar{x}	33,2	41,7	45,7	30,1	36,6	40,1	30,1	36,0	39,1	27,9	33,2	36,2			
	s	4,7	4,1	4,5	7,5	8,2	8,6	5,9	7,0	7,4	5,8	6,8	7,0			
Grassilage	\bar{x}	28,2	35,4	38,7	31,5	37,8	41,2	25,9	31,0	33,4	24,7	29,0	31,6			
	s	2,4	2,9	3,7	6,0	7,6	8,1	6,4	7,7	8,3	3,4	3,8	4,8			
Stroh	\bar{x}	0,0	0,0	0,0	3,3	4,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
	s	0,0	0,0	0,0	0,8	1,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Heu	\bar{x}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	12,4	13,6	13,0	15,6	17,3			
	s	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,8	1,5	2,3	2,8	3,3			
energiereiches Kraftfutter	\bar{x}	25,7	7,9	0,0	19,9	3,9	0,0	19,5	4,6	0,0	20,2	5,8	0,0	34,8 21,5 14,4		
	s	3,2	0,9	0,0	3,8	2,4	0,0	2,6	2,3	0,0	2,1	2,2	0,0			
eiweißreiches Kraftfutter	\bar{x}	12,7	14,1	14,3	14,9	16,5	13,0	13,8	15,0	12,9	13,8	15,2	14,0			
	s	1,6	0,4	0,8	2,3	2,4	1,3	1,8	2,0	0,7	1,8	2,0	1,9			
Mineralfutter ³⁾	\bar{x}	0,2	0,9	1,3	0,3	1,2	1,3	0,1	0,9	1,1	0,4	1,3	1,0			
Wasser	\bar{x}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Inhaltsstoffe (kalkuliert), in MJ/kg TM oder g/kg TM																
TM, in g/kg FM	\bar{x}	494	444	424	462	420	400	483	443	426	436	423	414	468	429	411
	s	35	30	28	37	35	34	11	11	12	33	25	17	35	30	29
NEL	\bar{x}	7,17	6,92	6,80	6,94	6,70	6,62	6,99	6,74	6,66	6,83	6,64	6,59	6,96	6,72	6,64
	s	0,08	0,07	0,06	0,16	0,22	0,25	0,14	0,16	0,15	0,07	0,07	0,08	0,16	0,19	0,20
ME	\bar{x}	11,60	11,29	11,15	11,29	10,98	10,87	11,38	11,07	10,96	11,15	10,89	10,85	11,32	11,02	10,92
	s	0,10	0,10	0,09	0,23	0,30	0,34	0,18	0,22	0,21	0,08	0,09	0,11	0,22	0,27	0,28
nXP	\bar{x}	158	155	152	157	153	148	157	154	150	156	152	149	157	153	149
	s	3	2	2	4	4	4	1	1	2	1	1	2	3	3	4
XP	\bar{x}	156	153	151	157	151	144	156	153	149	162	150	143	157	151	146
	s	6	3	5	6	5	6	5	5	4	2	2	5	6	6	6
RNB	\bar{x}	-0,41	-0,24	-0,25	0,05	-0,25	-0,56	-0,18	-0,08	-0,17	0,94	-0,25	-0,89	0,06	-0,22	-0,46
	s	0,50	0,26	0,43	0,73	0,93	1,10	0,71	0,81	0,82	0,18	0,27	0,54	0,76	0,81	0,94
XF	\bar{x}	158	186	198	171	194	203	173	197	206	184	205	216	172	195	205
	s	6	5	7	6	9	11	9	10	7	4	5	3	9	9	10
ADFom	\bar{x}	180	211	225	197	223	231	197	223	231	206	228	240	197	223	231
	s	5	5	7	8	12	15	11	11	8	5	5	3	11	11	12
aNDFom	\bar{x}	293	334	352	309	345	357	315	350	362	315	349	367	310	346	360
	s	8	6	9	12	17	21	9	8	5	5	5	4	12	14	16
NFC	\bar{x}	448	408	390	425	391	390	426	391	384	410	387	384	426	393	387
	s	5	6	10	12	22	29	13	15	8	5	6	5	14	18	22
XL	\bar{x}	30	32	33	28	29	30	29	31	32	25	26	27	28	30	31
	s	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
XA	\bar{x}	77	77	77	80	81	79	75	77	76	87	86	78	79	80	78
	s	2	2	2	5	6	8	2	2	1	2	2	3	5	6	6
Ca	\bar{x}	8,1	7,0	6,6	8,2	7,5	6,7	7,6	7,2	6,7	9,3	8,5	5,9	8,1	7,5	6,6
	s	0,5	0,1	0,3	1,1	0,9	1,1	0,3	0,3	0,3	0,5	0,6	0,3	0,9	0,8	0,8
Mg	\bar{x}	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,4	2,7	2,8	2,7	2,9	2,8	2,4	2,7	2,7	2,5
	s	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
K	\bar{x}	14,9	16,8	17,6	16,3	17,9	18,4	15,0	16,4	16,9	15,4	16,2	16,8	15,7	17,1	17,7
	s	0,9	1,2	1,5	1,7	2,3	2,6	0,7	0,7	0,8	0,4	0,5	0,6	1,4	1,8	2,1
P	\bar{x}	5,9	5,8	5,8	6,0	5,8	5,3	5,9	5,9	5,6	6,3	5,9	5,6	6,0	5,8	5,5
	s	0,2	0,0	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Na	\bar{x}	2,0	1,8	1,6	1,9	1,9	1,7	1,7	1,8	1,6	1,7	1,8	1,5	1,8	1,8	1,7
	s	0,2	0,1	0,1	0,8	0,8	0,9	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,6	0,7	0,6

¹⁾ Ration K2 = R1 ohne 09.11.15-16.11.15, weil in diesem Zeitraum versehentlich kein eiweißreiches Kraftfutter dosiert wurde; ²⁾ Abkürzungen vgl. Tabelle A3 im Anhang; ³⁾ ohne das Mineralfutter im energiereichen Kraftfutter

MATERIAL UND METHODEN

Tabelle 9: Ration TRI, Komponentenzusammensetzung und Inhaltsstoffe, zusammengefasst in Zeiträume gleicher Zusammensetzung der Komponenten Heu, Stroh, Grassilage

Zeitraum	16.02.15-24.03.15; 06.12.16-13.12.16	25.03.15-22.04.15	02.12.14-15.02.15; 23.04.15-05.12.16	gemittelt über die ge- samte Ver- suchsdauer
Beschreibung	Heu, Stroh, Grassilage	Heu, kein Stroh, keine Grassilage	kein Heu, Stroh, Grassilage	
Rationskomponenten, % der TM ¹⁾				
Maissilage	\bar{x} 14,4 s 6,4	12,0 0,0	20,3 5,2	
Grassilage	\bar{x} 42,0 s 19,9	0,0 0,0	48,6 6,1	
Stroh	\bar{x} 20,8 s 9,1	0,0 0,0	29,9 5,1	
Heu	\bar{x} 21,4 s 5,9	87,3 0,0	0,0 0,0	
Mineralfutter	\bar{x} 1,4	0,8	1,2	
Inhaltsstoffe (kalkuliert), in MJ/kg TM oder g/kg TM				
TM in g/kg FM	\bar{x} 499 s 40	641 0	445 53	456 65
NEL	\bar{x} 5,66 s 0,07	5,15 0,00	5,60 0,21	5,58 0,22
ME	\bar{x} 9,54 s 0,09	8,84 0,00	9,41 0,29	9,40 0,30
nXP	\bar{x} 121 s 2	129 0	117 3	118 4
XP	\bar{x} 119 s 18	149 0	106 7	109 12
RNB	\bar{x} -0,38 s 2,54	3,25 0,00	-1,74 1,07	-1,46 1,56
XF	\bar{x} 298 s 4	294 0	293 15	294 14
ADFom	\bar{x} 322 s 5	322 0	322 17	322 16
aNDFom	\bar{x} 498 s 27	484 0	488 23	489 23
NFC	\bar{x} 274 s 5	261 0	299 24	296 24
XL	\bar{x} 30 s 3	22 0	27 2	27 3
XA	\bar{x} 84 s 11	83 0	83 7	83 8
Ca	\bar{x} 4,9 s 0,3	6,8 0,0	4,4 0,6	4,6 0,8
Mg	\bar{x} 2,9 s 0,4	3,6 0,0	2,6 0,3	2,6 0,3
K	\bar{x} 20,5 s 0,8	15,1 0,0	20,1 2,2	19,9 2,4
P	\bar{x} 4,7 s 0,5	3,8 0,0	4,2 0,3	4,2 0,4
Na	\bar{x} 1,7 s 0,2	3,9 0,0	1,6 0,6	1,7 0,7

¹⁾ Abkürzungen vgl. Tabelle A3 im Anhang

Die TMR wurden einmal täglich am Morgen zwischen 06:45 und 09:15 Uhr im selbstfahrenden Futtermischer (Superchamp FA; Marmix, Deutschland) erstellt. Die Mischreihenfolge war stets die gleiche: 1.) TMR K1, 2.) TMR K2 = R1, 3.) TMR R2 = TR2 und 4.) TMR TR1. Am Morgen zwischen 07:15 und 09:30 Uhr wurden die Fress-Wiege­tröge direkt nach dem Mischvorgang der Mischreihenfolge entsprechend befüllt. Ein Teil der TMR wurde im Schwad vor den Fress-Wiege­trögen abgelegt. Am Nachmittag zwischen 16:00 und 17:00 Uhr wurden die Fress-Wiege­tröge nachgefüllt. Die Restfutterentnahme und Reinigung der Fress-Wiege­tröge erfolgten einmal täglich am Morgen vor der Befüllung. Futter und Wasser wurde den Kühen ad libitum angeboten.

3.4 Haltung

Die laktierenden Versuchskühe und die trockenstehenden Versuchskühe bis zur Vorbereitungs­fütterung wurden in der Fress-Liege­halle gehalten. Die trockenstehenden Kühe wurden physisch von den laktierenden Kühen getrennt. Die Gruppe 250 und die Gruppe 150 waren als eine Einheit gemeinsam aufgestellt.

Das Verhältnis von Anzahl der Kühe zu angebotenen Liegeboxen betrug eins zu eins. Die Liegeboxen umfassten Hochboxensysteme mit Matratze und Tiefboxen unterschiedlicher Hersteller. Alle Boxen wurden mit gehäckseltem Stroh eingestreut. Die planbefestigten Lauf­gänge mit Gummiauflage wurden durch einen Schieber mit Kettenantrieb entmistet.

Die Aufzeichnung der tierindividuellen Futteraufnahme in der Fress-Liege­halle erfolgte durch das Roughage-Intake-Control-System (RIC; Hokofarm Group B.V., Niederlande), bestehend aus 25 Fress-Wiege­trögen mit Antennen und einem Ohrtransponder zur Tieridentifikation. Das System kontrolliert den Zugang der Kühe zum Trog durch einen Sensor. Dieser Sensor erkennt das Einzeltier am passiven Ohrtransponder und prüft dessen Zugangsberechtigung für den entsprechenden Fress-Wiege­tro­g. Sobald ein Transponder mit Berechtigung erkannt und eine Lichtschranke vom Tier unterbrochen wird, öffnet das Tor zum Fress-Wiege­tro­g und der Trogbesuch beginnt. Wenn die Kuh ihren Kopf durch das Tor zurückzieht, werden die Lichtschranken frei, das Tor schließt und der Trogbesuch endet. Das Öffnen und Schließen der Trogtüren erfolgt pneumatisch.

Bei einem anstehenden Rationswechsel wurde die Zugangsberechtigung zu den Fress-Wiege­trögen mit definiertem Futter neu programmiert. Der Rationswechsel am 165. LTG war mit einem Wechsel des Fress-Wiege­tro­ges für die betroffene Kuh verbunden. Die Rationsbelegung der Fress-Wiege­tröge wurde regelmäßig angepasst, um rechnerisch maximal zwei

Versuchstiere pro Fress-Wiegetrog zu erreichen. Das RIC-System wurde laufend kalibriert und gewartet. Die Erfassung der Wasseraufnahme erfolgte ebenfalls an Wiegetrögen des RIC-Systems. Die Gruppe der laktierenden Kühe hatte Zugang zu zwei Wassertrögen, die Gruppe der trockenstehenden Kühe zu einem Wassertrog.

Mit Beginn der Vorbereitungsfütterung wurden die Versuchskühe aus der Fress-Liegehalle in den Anbindestall umgestallt. Zur Kalbung wurden die Tiere in Tiefstreuboxen gebracht und dort einzeln gehalten. Wenige Tage nach der Kalbung kamen die Tiere zurück in den Anbindestall. Circa eine Woche nach der Kalbung wurden die Tiere in die laktierende Versuchsherde in der Fress-Liegehalle integriert. Kranke Tiere wurden, wie kalbende Tiere, auf Tiefstreu einzeln gehalten.

3.5 Datenerhebung und Datenzusammenführung

Die Erfassung der Versuchsdaten fand in unterschiedlichen Systemen statt. Einen schematischen Überblick über die Datenerfassung gibt Abbildung 6.

3.5.1 Datenerhebung

Eine Vielzahl an Daten wurde erhoben. Die Erfassung der Daten wird nachfolgend, sortiert nach den Kategorien Futter, Milch, Lebendmasse und Körperkondition, Blut- und Harnproben, Gesundheitsdaten sowie Kuhstammdatens, vorgestellt.

Futter

Futteraufnahme

Die Fress-Wiegetröge auf Biegebalkenwaagen zeichneten die aufgenommene Frischmasse an Futter und Wasser anhand der Wiegedifferenz des Trogbesuchs (Gewicht des Fress-Wiegetroges am Ende des Besuchs abzüglich Gewicht zu Beginn des Besuchs) tierindividuell auf. Sämtliche Trogbesuche eines Tages wurden in einer täglich erstellten Futteraufnahme-, bzw. Wasseraufnahme-Datei abgespeichert (vgl. Abbildung 6). Bei Versuchskühen im Anbindestall und in den Tiefstreuboxen wurde die tägliche Futteraufnahme manuell durch Notieren der ein- und rückgewogenen Futtermenge erfasst und anschließend in eine digitale Tabelle übernommen (MS Excel 2010; Microsoft Corporation, USA) (vgl. Abbildung 6). Die Erfassung der Wasseraufnahme war in diesen Stallbereichen nicht möglich.

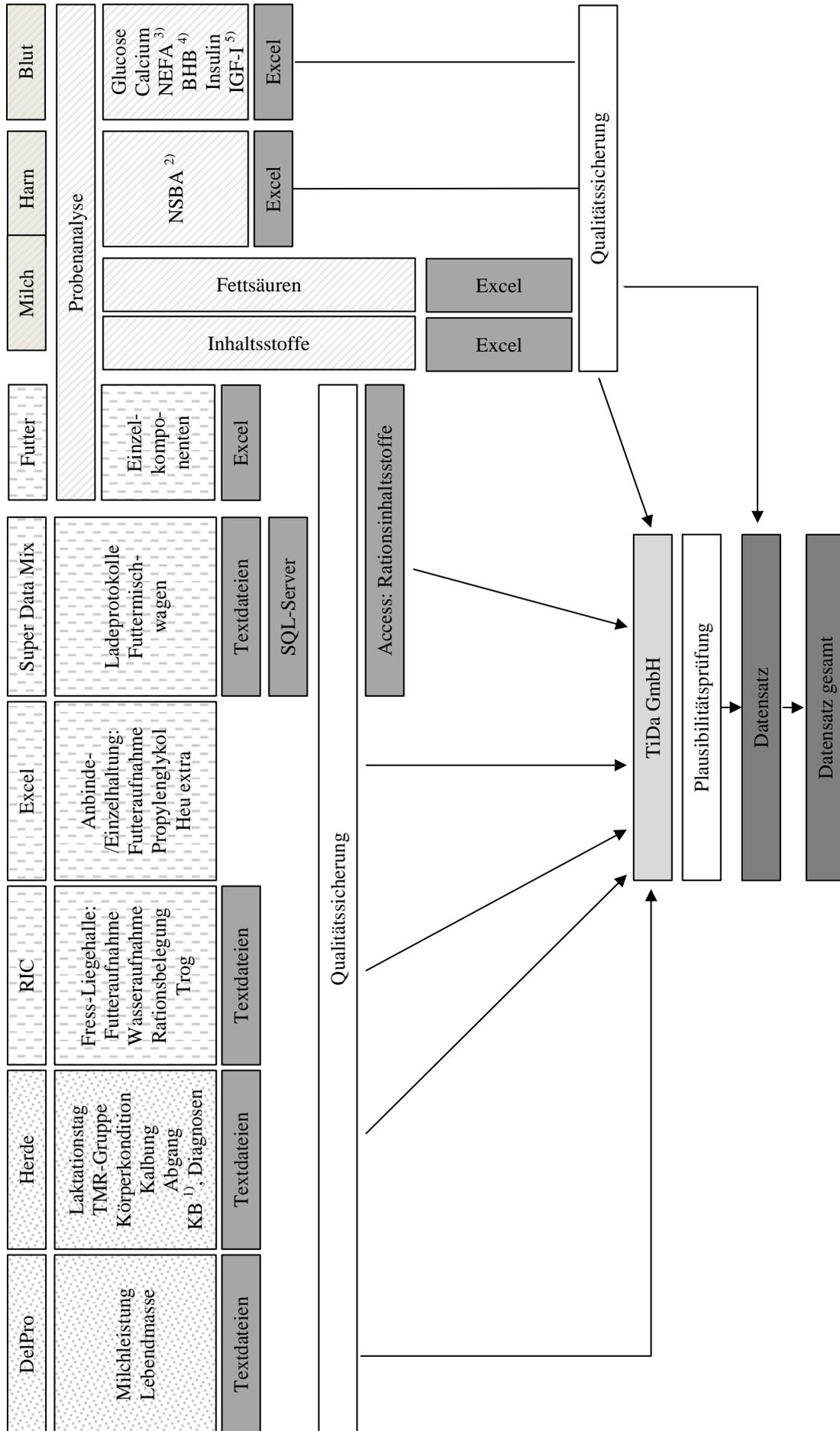


Abbildung 6: Übersicht Datenerfassung; (¹⁾ Künstliche Besamung; (²⁾ Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung; (³⁾ nichtveresterte freie Fettsäuren; (⁴⁾ D-3-Hydroxybutyrat; (⁵⁾ Insulinähnlicher Wachstumsfaktor)

Die Qualitätssicherung der Futteraufnahmedaten wurde nach den in Tabelle A4 im Anhang gelisteten Kriterien durchgeführt. Hierbei wurde zunächst die einzelne Futteraufnahme pro Trogbesuch am RIC-System überprüft (vgl. Tabelle A4 im Anhang) und gegebenenfalls Tagesfutteraufnahmen verworfen (0,18 % der insgesamt 35 879 Tagesfutteraufnahmen).

Im nächsten Schritt wurden Notizen aus dem Versuchstagebuch zu außergewöhnlichen Ereignissen berücksichtigt und entsprechende Tagesfutteraufnahmen verworfen (0,72 % der Tagesfutteraufnahmen). Abschließend wurde die Futteraufnahme pro Einzeltier und Tag im Laktationsverlauf graphisch dargestellt und überprüft. Bei Auffälligkeiten fand ein Abgleich mit der Krankheitsdokumentation und der aufgezeichneten Milchleistung statt. Wurde für eine außergewöhnliche Futteraufnahme durch den Datenabgleich keine Begründung gefunden, wurde diese als nicht plausibel bewertet und verworfen. In Summe wurden im Rahmen der zuletzt genannten Qualitätssicherungsstufe 0,70 % der Tagesfutteraufnahmen verworfen. Im gesamten Qualitätssicherungsprozess für die Futteraufnahmedaten wurden 1,60 % der Tagesfutteraufnahmen verworfen. Die so entstehenden Fehlstellen wurden in der Erfassungsdatei leer belassen.

Rationsinhaltsstoffe

Die Rationszusammensetzung wurde anhand der Ladeprotokolle (Super Data Mix 5; PTM S.r.l., Italien) des Futtermischers (Superchamp FA; Marmix, Deutschland) und der TM-Konzentration der Rationskomponenten nachträglich berechnet. Für die Zeiträume 02.12.14 bis 07.05.15, 12.06. bis 18.06.15 und 12.04. bis 26.04.16 lagen keine Ladeprotokolle vor, weshalb die Rationszusammensetzung des Mischplans angenommen wurde. Für die Berechnung der Inhaltsstoffe der TMR wurden die Inhaltsstoffe der einzelnen Rationskomponenten entsprechend ihres Anteils in der Gesamt-TM der TMR aufsummiert. Die Dokumentation und Verknüpfung der Informationen erfolgte unter Zuhilfenahme der Software MS Excel 2010, MS Access 2010 und SQL Server Express Version 8R2 (je Microsoft Corporation, USA).

Fettsäurezusammensetzung im Futterfett

An den Terminen 01.07.15, 27.11.15, 01.04.16 und 27.09.16 wurden je ca. 500 g der drei Rationen K1, K2 = R1 und R2 = TR2 als Proben für die Untersuchung der Fettsäure- (FS) Zusammensetzung gesammelt. Nach dem Trocknen wurden die Futterproben kühl und dunkel bis zum Mahlen aufbewahrt. Das Vorgehen bei der Analyse der FS orientierte sich an ARVIDSSON *et al.* (2009), KHAN *et al.* (2009) sowie HOFFMANN *et al.* (2015) und umfasste eine Umesterung in zwei Stufen: auf eine basisch katalysierte Umesterung folgte eine sauer katalysierte Umesterung.

Aus je 15 g TM pro Ration wurde in der Soxhlet-Apparatur mit Petrolether das Futterfett extrahiert und anschließend in Petroleumbenzin mit einem Verhältnis von 0,3 g Rohfett pro 1,0 mL Petroleumbenzin gelöst und in Reagenzgläser überführt. Über Nacht bis zur Analyse wurden die Proben im Kühlschrank aufbewahrt. Zur Analyse wurde die Futterfett-Petroleumbenzin-Lösung auf 0,08 g Rohfett pro 1,0 mL Petroleumbenzin verdünnt. Jede Probe wurde doppelt aufgeschlossen und, wie nachfolgend beschrieben, analysiert.

Für die basisch katalysierte Umesterung wurden zu 1,0 mL der verdünnten Futterfett-Petroleumbenzin-Lösung in einem dicht abschließbaren Reagenzglas 50 μ L Natriummethylatlösung (2,0 mol pro L; hergestellt aus Natriummethylatlösung 5,4 mol pro L und Methanol; Hersteller Natriummethylatlösung: Sigma-Aldrich Co. LLC, USA; Hersteller Methanol: LGC Limited, England) hinzugegeben (Kolbenhubpipette Reference; Eppendorf AG, Deutschland) und dann wurde vorsichtig geschüttelt. Es folgten 10 min Ruhe bei Raumtemperatur. Als saurer Katalysator dienten 3,0 mL Bortrifluorid-Methanol-Lösung (14 g Bortrifluorid pro 100 mL Methanol; Hersteller BF_3 Sigma-Aldrich Co. LLC, USA; Hersteller Methanol: LGC Limited, England). Wieder wurde vorsichtig geschüttelt. Die Ruhephase erfolgte für 10 min bei 50° C im Trockenschrank (Heraeus, Deutschland) und für weitere 5 min im Kühlschrank bei 4° C. Nach dem Ruhen wurden 3,0 mL Petroleumbenzin und 2,0 mL gesättigte NaCl-Lösung (ca. 3,5 molar, selbst hergestellt) zugegeben. Für 30 s wurde das Reagenzglas erneut geschüttelt (HS260 basic; IKA Werke GmbH & Co. KG, Deutschland) und dann wurde die Lösung zentrifugiert (20° C, 5 min, 2 000 g, Rampe 2 007 bis 2 800 g; Rotixa 50RS; Hettich Zentrifugen, Deutschland). Ca. 1,0 mL der oben abgesetzten klaren Schicht (Petroleumbenzin-FS-Methylester-Lösung) wurden mit einer Glaspasteurpipette (612-1701; VWR International LLC, USA) in ein Gaschromatographie-Vial (2,0 mL, PTFE beschichtete Bördekkappe; Vial 548-0003, Kappen 548-0009; VWR International LLC, USA) überführt.

Analog zur Umesterung der Futterfettproben erfolgte die Aufbereitung einer Kontrollprobe zur Überprüfung der Analytik (Referenzmaterial Schweinefett, BCR 163, European Commission Reference Material No. 632). Zusätzlich wurde eine weitere Kontrollprobe des Referenzmaterials, nach dem in einem nachfolgenden Abschnitt beschriebenen Verfahren für die FS-Analyse im Milchfett, aufbereitet.

Auch die Rahmenbedingungen der Gaschromatographie, die anschließende qualitative Auswertung der Analyseergebnisse und die Berechnung des relativen Massenanteils der FS (w_x in g pro 100 g FS) sind in diesem nachfolgenden Abschnitt angeführt.

Milch

Milchleistung

Gemolken wurde zweimal täglich, beginnend um 05:45 und 16:30 Uhr. Die Milchleistung wurde jeweils nach dem Morgen- und Abendmelk im Herdenmanagementprogramm Del-Pro Farm Manager (DeLaval international AB, Schweden) erfasst und gespeichert. Täglich wurde eine Text-Datei erstellt, in welche das Morgen- und Abendmelk pro Tier exportiert wurde. Das Morgen- und Abendmelk wurde zur täglichen Milchleistung summiert.

Lag lediglich ein Gemelk pro Tag vor, wurde die tägliche Milchleistung verworfen. Analog zur Qualitätssicherung bei der Futteraufnahme, wurden Hinweise im Versuchstagebuch zu nicht korrekter Erfassung der Milchleistung berücksichtigt. Zusätzlich wurde die Milchleistung pro Einzeltier und Tag im Laktationsverlauf graphisch dargestellt und überprüft. Bei Auffälligkeiten fand ein Abgleich mit der Krankheitsdokumentation, der Futteraufnahme und der aufgezeichneten Melkdauer statt. Wurde für eine außergewöhnliche, tägliche Milchleistung durch den Datenabgleich keine Begründung gefunden, wurde diese als nicht plausibel bewertet und verworfen. In Summe wurden 0,9 % der insgesamt 29 621 täglichen Milchleistungen verworfen. Die so entstehenden Fehlstellen wurden in der Erfassungsdatei leer belassen.

Milchinhaltsstoffe

Einmal wöchentlich fand die Probenahme zur Analyse der Milchinhaltsstoffe statt. Die Proben wurden dienstagabends und mittwochmorgens gezogen, parallel zum regulären Melken. Das Ziehen einer repräsentativen Probe erfolgte mittels Fettprobenehmergefäß. Nach dem Umschütten des separierten Gemelks aus dem Probegefäß in einen Messbecher, wurde die Probeflasche (enthält Konservierungsmittel) befüllt. Der Transport der Probeflaschen zum Labor erfolgte unmittelbar nach Beendigung der Probenahme am Morgen. Im Zeitraum 02.12.14 bis 06.12.15 wurde eine Sammelprobe pro Tier aus dem Morgen- und Abendmelk (Verhältnis eins zu eins) zur Analyse gegeben. Im Zeitraum 07.12.15 bis 13.12.16 wurde das Morgen- und Abendmelk separat analysiert. Die Inhaltsstoffe des Gesamtgemelks wurden dann rechnerisch ermittelt durch anteilmäßige Multiplikation der Inhaltsstoffe mit der dazugehörigen Milchleistung. Die Analyse erfolgte über den Milchprüfing Baden-Württemberg e. V. im Labor in Kirchheim, Teck. Der Fett-, Protein- und Laktosegehalt wurde dort mit einem Mittel-Infrarot-Gerät (Bentley Instruments, Inc., USA) analysiert. Der Harnstoffgehalt wurde spektralphotometrisch (Bentley Instruments, Inc., USA) und der Zellgehalt durch fluoreszenzoptische Zählung (Bentley Instruments, Inc., USA) ermittelt. Das Probeergebnis wur-

de vom Labor als digitale Tabelle bereitgestellt (MS Excel 2010; Microsoft Corporation, USA).

Im Zuge der Qualitätssicherung der Milchinhaltsstoffdaten wurden keine Werte verworfen. Wenn bei separater Beprobung nur ein Milchinhaltsstoffergebnis vorlag, wurde dieses als Gesamtergebnis für den Probetag angesehen. Wenn bei separater Beprobung eine Milchmenge fehlte, wurde für die fehlende Teilmilchmenge ein Mittelwert aus Vor- und Folgetag herangezogen. Beide Fälle zusammen betrafen 4,3 % der insgesamt 3 854 Milchinhaltsstoffergebnisse.

Fettsäurezusammensetzung im Milchfett

Am 5., 28., 100. und 200. LTG wurde tierindividuell jeweils am Morgen eine repräsentative Milchprobe (500 mL) genommen. Das Probematerial wurde eingefroren und bis zur Analyse im Labor des LAZBW am Standort Wangen bei -20°C gelagert. Im Zeitraum März 2015 bis Februar 2017 wurden so 384 Proben gewonnen und in einem vierzehntägigen Rhythmus hinsichtlich ihrer FS-Zusammensetzung analysiert (8 Proben pro Messtag).

Die Probenaufbereitung lief in zwei Stufen ab. In der ersten Stufe wurde das Milchfett gewonnen. Hierfür wurden die Proben am Vorabend bei Raumtemperatur aufgetaut. Zu Beginn der Aufbereitung wurde kontrolliert, ob die Milchproben Raumtemperatur hatten. Wenn die Raumtemperatur noch nicht erreicht war, wurde die Erwärmung im Wasserbad (max. 40°C) beschleunigt. Anschließend wurden die Proben gut geschüttelt. Ziel war es, eine gleichmäßige Verteilung des Fetts in der Milchprobe sicher zu stellen.

In einen Edelstahlzylinder wurden 250 g der Milchprobe zur Zentrifugation eingewogen (PG 503 oder XPE504; Mettler Toledo, Deutschland). Zentrifugiert wurden die Proben für 40 min bei 2°C und 5 100 g (Rampe 4 516 bis 4 200 g; Rotixa 50RS; Hettich Zentrifugen, Deutschland). Der sich gebildete Fettdeckel wurde vollständig in ein Becherglas abgeschöpft und anschließend ca. 5 min im Trockenschrank angewärmt (50°C ; Heraeus, Deutschland).

Das Fett wurde mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion in Anlehnung an SOMERSALO *et al.* (1986) gewonnen. Hierfür wurden 15 mL Methanol (SO-3041-B040; LGC Limited, England) und 50 mL Petroleumbenzin (1.01772.2500; Merck KGaA, Deutschland) zum Fett ins Becherglas gegeben. Mittels Magnetplatte (IKA Werke GmbH & Co. KG, Deutschland) wurde die Mischung 10 min lang gerührt. Nach fünfzehnminütigem Ruhen setzte sich die klare Fett-Petroleumbenzin-Phase ab. Diese Phase wurde, um Restwasser zu entfernen, in einen, mit einer Bodenschicht Natriumsulfat (wasserfrei; 1.06649.500; Merck KGaA, Deutschland) befüllten, Rundkolben überführt. Der Rückstand im Becherglas wurde ein zweites Mal mit 20 mL

Petroleumbenzin vermischt, kurz gerührt und die klare Phase erneut in den Rundkolben überführt. Der Rundkolben wurde geschlossen, geschwenkt und der gesamte Inhalt in einen Spitzkolben über einen Faltenfilter abfiltriert (MN 615; Macherey-Nagel GmbH & Co., Deutschland).

Im Rotationsvakuumverdampfer (Temperatur Wasserbad 55° C, Druckgradientenprogramm: 9 min, Start 950 mbar, Ziel 200 mbar; V855; Büchi, Schweiz) wurde das Petroleumbenzin entfernt.

Die zweite Stufe der Probenaufbereitung, die Verseifung mit Natriummethylatlösung, erfolgte mit Modifikationen gegenüber ISO 15884 (2002b). Die Verseifung wurde je Milchfettprobe doppelt durchgeführt. Zur Überprüfung der Analytik erfolgte, analog zur Verseifung der Milchfettproben, alle 8 Milchfettproben die Aufbereitung einer Kontrollprobe (Referenzmaterial Schweinefett, BCR 163, European Commission Reference Material No. 632).

In einem Erlenmeyerkolben wurden 35 mg des Milchfettextrakts in 5 mL Petroleumbenzin (1.01772.2500; Merck KGaA, Deutschland) gelöst. Das übrige Probematerial (Fettextrakt) wurde in ein Reagenzglas überführt und als Rückstellprobe bei -20° C aufbewahrt. Zu 1 mL der Fett-Petroleumbenzin-Lösung wurden 50 µL Derivatisierungsreagenz (Natriummethylatlösung 2,0 mol pro L; hergestellt aus Natriummethylatlösung 5,4 mol pro L und Methanol; Hersteller Natriummethylatlösung: Sigma-Aldrich Co. LLC, USA; Hersteller Methanol: LGC Limited, England) dosiert (Kolbenhubpipette Reference; Eppendorf AG, Deutschland).

Das verschlossene Reagenzglas wurde geschüttelt (30 s; HS260 basic; IKA Werke GmbH & Co. KG, Deutschland) und nach 5 min Ruhezeit wurde eine Spatelspitze Natriumhydrogensulfat-Monohydrat (1.06352.0500; Merck KGaA, Deutschland) hinzugefügt. Das Reagenzglas wurde erneut geschüttelt und die Suspension zentrifugiert (20° C, 5 min, 2 000 g, Rampe 2 007 bis 2 800 g; Rotixa 50RS; Hettich Zentrifugen, Deutschland). Der Überstand wurde mit einer Glaspasteurpipette (612-1701; VWR International LLC, USA) in ein Gaschromatographie-Vial (2 mL, PTFE beschichtete Bördelekappe; Vial 548-0003, Kappen 548-0009; VWR International LLC, USA) überführt.

Nach der Probenaufbereitung folgte die gaschromatographische Analyse in Anlehnung an ISO 15885 (2002a) unter den in Tabelle 10 genannten Einstellungen am Gerät Gaschromatograph Hewlett Packard 6890 (Agilent Technologies, Inc., USA).

Zur qualitativen Analyse wurden ein FS-Methylester-Standardmix (Supelco 37 Component FAME Mix; Sigma-Aldrich Co. LLC, USA), das Referenzmaterial BCR 163 und Literaturdaten (COLLOMB und BÜHLER 2000; KRAMER *et al.* 2008) genutzt. Peaks im Chromatogramm,

die nicht kontinuierlich klar voneinander getrennt werden konnten, wurden entweder nicht ausgewertet oder zusammengefasst und die zugehörigen Flächen aufsummiert. Tabelle 11 listet die ausgewerteten FS, bzw. zusammengefassten FS auf.

Tabelle 10: Einstellungen am Gaschromatograph

Parameter	Einstellung	
Temperaturprogramm	50° C 1 min halten, mit 15° C/min auf 140° C, mit 2,5° C/min auf 200° C, mit 5° C/min auf 240° C, 2 min halten	
Splitinjektion	Split 1:10	
Injektionsvolumen	1 µL	
Temperatur Kaltaufgabesystem	45° C 0,1 min halten, mit 12° C/s auf 300° C, 2 min halten	
Temperatur Flammenionisationsdetektor	300° C	
Trennsäule	Länge 100 m, ID 0,25 mm, Filmdicke 0,2 µm	
Trägergas	Wasserstoff	
Hilfsgas	Stickstoff	
Strömung Trägergas	40 cm/s	
Volumenstrom Hilfsgas	2,4 mL/min	
Bauteil	Bezeichnung	Hersteller
Autosampler und Controller	MPS2	Gerstel, Deutschland
Kaltaufgabesystem	KAS 4	Gerstel, Deutschland
Flammenionisationsdetektor		Agilent Technologies, Inc., USA
Trennsäule	CP-Sil 88	Agilent Technologies, Inc., USA
Wasserstoff/Stickstoff		Air Liquide S.A., Frankreich
Software	Agilent OPENLAB Chemstation Edition	Agilent Technologies, Inc., USA

Die Aufbereitung der Rohdaten erfolgte in MS Excel 2010 (Microsoft Corporation, USA) in mehreren Rechenschritten, die in nachfolgender Formel zusammengefasst sind.

$$w_x = \left(0,5 * \left(\left(\frac{A1_x^{unkor}}{\sum A1^{unkor}} \right) + \left(\frac{A2_x^{unkor}}{\sum A2^{unkor}} \right) \right) * f_x * 100 \right) \div \sum A^{kor}$$

Mit

- w_x der relative Massenanteil der Komponente x in g pro 100 g FS
- $A1_x^{unkor}$ die unkorrigierte Peakfläche, die zur Komponente x gehört aus Lauf 1
- $A2_x^{unkor}$ die unkorrigierte Peakfläche, die zur Komponente x gehört aus Lauf 2
- $\sum A1^{unkor}$ die Summe der unkorrigierten Flächen aller Peaks aus Lauf 1
- $\sum A2^{unkor}$ die Summe der unkorrigierten Flächen aller Peaks aus Lauf 2
- f_x der Korrekturfaktor für die Komponente x
- $\sum A^{kor}$ die Summe der korrigierten Flächen aller Peaks, gemittelt aus Lauf 1 und 2

Pro Probe lagen zwei Analyseergebnisse aus der Gaschromatographie vor. Zunächst wurden die beiden Läufe separat betrachtet und die Ergebnisse, noch ohne Anwendung des Korrek-

turfaktors, auf Peakflächenprozentage der analysierten FS-Methylester umgerechnet (100 % entsprach hier der Summe aus den Peakflächen der in Tabelle 11 gelisteten FS und den nicht ausgewerteten FS). Dann wurden die Peakflächenprozentage aus den zwei Analyseergebnissen gemittelt. Zur Berechnung des relativen Massenanteils der FS (g pro 100g FS) wurden die Korrekturfaktoren aus der Amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB, BVL 2004 angewandt (100 % entsprach hier der Summe aus den Massen der in Tabelle 11 gelisteten FS und den nicht ausgewerteten FS).

Tabelle 11: Liste der analysierten Fettsäuren

Fettsäure	IUPAC ¹⁾
C04:0	Butansäure
C06:0	Hexansäure
C08:0	Octansäure
C10:0	Decansäure
C10:1c	cis-Decensäure
C12:0	Dodecansäure
C12:0i	iso-Dodecansäure
C12:0ai	anteiso-Dodecansäure
\sum ²⁾ C12:1c, C13:0	Summe cis-Dodecensäure, Tridecansäure
C13:0i	iso-Tridecansäure
C14:0	Tetradecansäure
C14:0i	iso-Tetradecansäure
C14:0ai	anteiso-Tetradecansäure
C14:1c	cis-Tetradecensäure
C15:0	Pentadecansäure
C15:0i	iso-Pentadecansäure
C16:0	Hexadecansäure
C16:0i	iso-Hexadecansäure
C16:0ai	anteiso-Hexadecansäure
C16:1c	cis-Hexadecensäure
C17:0	Heptadecansäure
C17:0ai	anteiso-Heptadecansäure
C18:0	Octadecansäure
\sum C18:1t6-13	Summe t6 bis t13-Octadecensäure
\sum C18:1c9-13	Summe c9 bis c13-Octadecensäure
\sum C18:1c14, t16	Summe c14-Octadecensäure, t16-Octadecensäure
\sum C18:1c15, C19:0	Summe c15-Octadecensäure, Nonadecansäure
\sum C18:2t11c15, t9c11	Summe t11,c15-Octadecadiensäure, t9,c11-Octadecadiensäure
C18:2c9c12	c9,c12-Octadecadiensäure
C20:0	Eicosansäure
C20:1c9	c9-Eicosaensäure
\sum C20:1c11, C18:3c9c12c15	Summe c11-Eicosaensäure, c9,c12,c15-Octadecatriensäure
18:2c9t11	c9,t11-Octadecadiensäure
C20:4n-6	Eicosatetraensäure (n-6)
C20:5n-3	Eicosapentaensäure (n-3)

¹⁾ International Union of Pure and Applied Chemistry; ²⁾ Summe

Zur Überwachung des Analyseprozesses wurde über das Referenzmaterial BCR 163 für 7 ausgewählte FS eine Zielwert-Regelkarte geführt (FS C14:0, FS C16:0, FS C16:1c, FS C18:0, Summe aller FS C18:1, Summe aller FS C18:2 und FS \sum C20:1c11, C18:3c9c12c15). Lagen die Ergebnisse außerhalb der in Ringversuchen festgelegten Analysegrenzen, wurden alle Proben des betroffenen Laufs wiederholt (Verseifung und Analyse). Zusätzlich wurden Proben, deren beide Läufe die in ISO 15885 (2002a) genannte Wiederholbarkeit nicht erfüllten, wiederholt.

Die relativen Massenanteile einzelner FS wurden abschließend für die in Tabelle 12 gelisteten 7 FS-Gruppen aufsummiert. Gruppen wurden erstens nach der Anzahl der Doppelbindung gebildet: gesättigte FS (GFS), ungesättigte FS (UFS), einfach ungesättigte FS (EUFS) und mehrfach ungesättigte FS (MUFS). Eine zweite Gruppeneinteilung erfolgte anhand der Kettenlänge: KKFS, mittelkettige FS (MKFS) und langkettige FS (LKFS). Außerdem wurden FS mit ungerader Anzahl der Kohlenstoff- (C) Atome (UKFS) und verzweigt-kettige FS (VKFS) zusammengefasst. Vergleichbare Gruppeneinteilungen von FS wurden bei NOGALSKI *et al.* (2012), VAN KNEGSEL *et al.* (2014) und BECHER (2017) vorgenommen.

Tabelle 12: berechnete Fettsäuregruppen

Gruppenamen (Abkürzung)	Berechnung
gesättigte FS ¹⁾ (GFS)	\sum ²⁾ [C04:0, 06:0, 08:0; 10:0; 12:0, 12:0i, 12:0ai, 13:0i, 14:0, 14:0i, 14:0ai, 15:0, 15:0i, 16:0, 16:0i, 16:0ai, 17:0, 17:0ai, 18:0, (\sum C18:1c15, C19:0), 20:0]
ungesättigte FS (UFS)	\sum [EUFS, MUFS]
einfach ungesättigte FS (EUFS)	\sum [10:1c, (\sum C12:1c, C13:0), 14:1c, 16:1c, (\sum C18:1t6-13), (\sum C18:1c9-13), (\sum C18:1c14, t16), 20:1c9]
mehrfach ungesättigte FS (MUFS)	\sum [(\sum C18:2t11c15, t9c11), 18:2c9c12c15, (\sum C20:1c11, C18:3c9c12c15), 18:2c9t11, 20:4n-6, 20:5 n-3]
kurzkettige FS (KKFS)	\sum [C04:0 bis einschließlich C10:1c]
mittelkettige FS (MKFS)	\sum [C12:0 bis einschließlich C16:0]
langkettige FS (LKFS)	\sum [C16:0i bis einschließlich C20:5n-3]
FS mit ungerader Anzahl der C ³⁾ -Atome (UKFS)	\sum [C13:0i, 15:0, 15:0i, 17:0, 17:0ai, (\sum C18:1c15, C19:0)]
verzweigt-kettige FS (VKFS)	\sum [C12:0i, 12:0ai, C13:0i, 14:0i, 14:0ai, 15:0i, 16:0i, 16:0ai, 17:0ai]

¹⁾ Fettsäure; ²⁾ Summe; ³⁾ Kohlenstoff

Lebendmasse und Körperkondition

Lebendmasse

Die Lebendmasse der Versuchstiere wurde automatisch zweimal täglich nach dem Melken im Durchlauf gewogen (DeLaval international AB, Schweden) und die Messwerte im Herdenmanagementprogramm DelPro Farm Manager (DeLaval international AB, Schweden) gespeichert.

chert. Täglich wurde eine Text-Datei erstellt, in welche die Einzelgewichte exportiert wurden. Aus den beiden Messwerten wurde die mittlere, tägliche Lebendmasse berechnet. Falls nur eine Messung pro Tag vorlag, wurde dieses Gewicht als mittlere Lebendmasse direkt übernommen.

Während der gesamten Trockenstehphase und dem Zeitraum wenige Tage nach der Kalbung fand keine regelmäßige Erfassung der Lebendmasse statt. Hier wurde tierindividuell, im Zeitraum drei bis zwei Wochen vor dem errechneten Kalbetermin, eine einmalige Wiegung an der Überlaufwaage vorgenommen.

Notizen zu Unregelmäßigkeiten bei der Wiegung wurden bei der Qualitätssicherung der Daten berücksichtigt. Wenn die Tara (leere Überlaufwaage) nicht 0 kg betrug, wurde die aufgezeichnete Lebendmasse entsprechend der Differenz von Tara zu 0 kg pauschal korrigiert (150 Tage waren betroffen). Eine Lebendmasse, die bei Betrachtung des Laktationsverlaufs eines Einzeltiers auffällig war, wurde mit der Futteraufnahme und der Krankheitsdokumentation am entsprechenden Datum abgeglichen. Sie wurde verworfen, wenn sie durch den Abgleich nicht plausibel wurde. In Summe wurden 4,0 % der insgesamt 28 374 mittleren, täglichen Lebendmassen verworfen. Die so entstehenden Fehlstellen in der Erfassungsdatei wurden leer belassen.

Körperkondition

Die Körperkondition wurde alle 4 Wochen mittels Body Condition Score (BCS) nach EDMONSON *et al.* (1989) beurteilt. Die Einstufung erfolgte über den gesamten Versuchszeitraum durch die gleiche Person. Die BCS-Daten wurden im Herdenmanagementprogramm Herde 5.7 (dsp agrosoft GmbH, Deutschland) festgehalten

Blut- und Harnproben

Blutproben

Blutproben wurden 8, 28 und 100 Tage *post partum* (*p. p.*) sowie am Tag vor dem Trockenstellen und 14 LTG vor dem errechneten Kalbetermin geplant. An den Terminen 8, 28 und 100 Tage *p. p.* betrug die Abweichung vom Soll-Termin maximal zwei Tage (Ausnahmen: drei Proben 8 Tage *p. p.*, zwei Proben 28 Tage *p. p.* und eine Probe 100 Tage *p. p.*). Der Blutprobetermin am Tag vor dem Trockenstellen wurde maximal zwei Tage früher und maximal einen Tag später realisiert als geplant. Aufgrund der Variation in der Trächtigkeitsdauer befanden sich die Tiere am Termin 14 Tage *ante partum* (*a. p.*) tatsächlich 16 ± 6 LTG vor der Kalbung (*v*LTG). Die Blutentnahme erfolgte aus der *Vena jugularis externa* (äußere Drossel-

vene) durch einen Tierarzt nach dem Melken im Zeitraum zwischen 08:00 und 10:00 Uhr. Befüllt wurden zuerst drei Monovetten (Kabe Labortechnik, Deutschland) mit Gerinnungsaktivatoren (mit Koalin beschichtete Kunststoffgranulate) für die Serumgewinnung. Es folgte die Befüllung von zwei Monovetten für die Plasmagewinnung, die mit dem Gerinnungshemmer Ethylendiamintetraacetat beschichtet waren.

Vor der zehnminütigen Zentrifugation (ROTIXA 50 S; Hettich GmbH & Co.KG, Deutschland) der Monovetten im Labor des Staatlich Tierärztlichen Untersuchungsamts – Diagnostikzentrum – Aulendorf bei 1 800 g ruhten die Monovetten zur Serumgewinnung 1,0 bis 1,25 h bei 20 bis 25° C. Die Monovetten zur Plasmagewinnung wurden gekühlt (8° C) und im Labor schnellstmöglich ohne Wartezeit zentrifugiert. Nach der Zentrifugation wurde das Plasma bzw. Serum in Proberöhrchen abpipettiert, tiefgekühlt und bei -18° C gelagert.

Glucose, Calcium, nichtveresterte freie FS (NEFA) und D-3-Hydroxybutyrat (BHB) im Serum wurden im Klinisch-Chemischen Labor der Klinik für Rinder der Tierärztlichen Hochschule Hannover bestimmt. Calcium wurde mit dem Analysegerät COBAS MIRA (Roche, Deutschland) gemessen, die anderen Metabolite mit ABX Pentra 400 (Clinical Laboratory Consultants, USA).

Die Analysen von Insulin und Insulinähnlichem Wachstumsfaktor (IGF-I) erfolgten im Endokrinologischen Labor der Klinik für Rinder der Tierärztlichen Hochschule Hannover. Insulin und IGF-I wurden im Plasma gemessen. Die Detektion der Radioaktivität erfolgte dabei mittels Gamma-Counter (Perkin Elmer, USA).

Adiponektin im Serum wurde im Labor der Abteilung Physiologie und Hygiene am Institut für Tierwissenschaften der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn gemessen mit dem Photometer Synergy H1 Hybrid Multi-Mode Reader (Biotek, USA).

Die von den Laboren analysierten Blutwerte und die verwendeten Methoden sind in Tabelle 13 gelistet.

Die Calcium-Konzentration, die bei Kuh 7490 am Termin 100 Tage *p. p.* am 06.02.15 im Blutserum gemessen wurde, lag mit 1,57 mmol pro L unterhalb einer erwarteten Konzentration und wurde deshalb verworfen. Die so entstehende Fehlstelle wurde in der Erfassungsdatei leer belassen. Für Insulin wies das Labor bei Konzentrationen < 3,0 µIU pro mL keine Messwerte aus, sondern kennzeichnete sie mit ‚unterhalb der Quantifizierungsgrenze‘. Bei IGF-I lag die Quantifizierungsgrenze bei 29 ng pro mL. Im gesamten Datensatz lagen 30 von 486 gemessenen Insulin-Konzentrationen (6 %) und 21 von 485 (4 %) gemessenen IGF-I-Konzentrationen unterhalb der Quantifizierungsgrenze. Diese Insulin-Konzentrationen wur-

den pauschal auf 2,0 µIU pro mL und diese IGF-I-Konzentrationen pauschal auf 25,9 ng pro mL festgelegt.

Tabelle 13: Analysemethode der untersuchten Blutwerte

Merkmal	im	Einheit	Methode	Labor
BHB ¹⁾	Serum	mmol/L	optisch-enzymatischer UV-Test, eingesetzte Enzyme: β-Hydroxybutyrat-Dehydrogenase	Klinisch-Chemisches Labor der Tierärztlichen Hochschule Hannover
Glucose	Serum	mmol/L	gekoppelt optisch-enzymatischer UV-Test, eingesetzte Enzyme: Hexokinase und G6P-Dehydrogenase	
Calcium	Serum	mmol/L	Absorptionsmessung, Methylthymolblau enzymatischer Farbstoff, eingesetzte Enzyme: Acyl-CoA Synthetase, Acyl-CoA-Oxidase	
NEFA ²⁾	Serum	µmol/L		
Adiponektin	Serum	µg/mL	Enzyme-linked Immunosorbent Assay, beschrieben in MIELENZ <i>et al.</i> (2013)	Labor der Abteilung Physiologie und Hygiene Uni Bonn
IGF-I ³⁾	Plasma	ng/mL	Radioimmunassay	Endokrinologisches Labor der Tierärztlichen Hochschule Hannover
Insulin	Plasma	µIU/mL	Radioimmunassay	

¹⁾ D-3-Hydroxybutyrat; ²⁾ nichtveresterte freie Fettsäuren; ³⁾ Insulinähnlicher Wachstumsfaktor

Harnproben

Harn wurde am 28. und 100. LTG, parallel zur Blutentnahme, beprobt. Wenn im Zeitraum des Wartens auf den Tierarzt keine freiwillige Absetzung provoziert werden konnte, wurde der Harn mittels Katheter gewonnen. Die Abweichung vom Soll-Termin der Beprobungen 28 und 100 Tage *p. p.* betrug maximal zwei Tage (Ausnahme je zwei Proben). Zu Versuchsbeginn, in den Monaten Dezember 2014 und Januar 2015, wurden am 21. LTG statt am 28. LTG Proben genommen. In diesen Zeitraum fielen 7 Harnproben. Diese Proben wurden der Beprobung am 28. LTG gleichgesetzt.

Bis zur Analyse im Klinisch-Chemischen Labor der Tierärztlichen Hochschule Hannover lagerten die Harnproben bei -20° C. Die Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung (NSBA, in mmol pro L) wurde mittels Titrationsmethode nach KUTAS (1965) bestimmt.

Gesundheitsdaten

Im Herdenmanagementprogramm Herde 5.7 (dsp agrosoft GmbH, Deutschland) wurden alle Diagnosen, die in den zwei Versuchsjahren gestellt wurden, dokumentiert. Neben den tierärztlichen Diagnosen wurden die Befunde der bestandseigenen Klauenpflege (dreimal jährlich)

und die Beobachtungen der Tierbetreuer, insbesondere rund um die Kalbung, eingepflegt. Um die Diagnosen einer statistischen Auswertung zugänglich zu machen, wurden sie aufbereitet. Zunächst wurde der Laktationszeitraum, in dem ein Erkrankungskomplex (z. B. Ketose) diagnostiziert wurde, berechnet (minimaler und maximaler LTG mit Diagnose im Versuchszeitraum). Anschließend wurde pro Tier und Laktation, unabhängig davon, ob vollständig oder nicht vollständig vorliegend, die erstmalige Feststellung einer Diagnose in eine neue Spalte übernommen. Somit lag die Information vor, ob ein Tier im beobachteten Zeitraum der Laktation an einem Krankheitskomplex erkrankt war.

Kuhstammdaten

Die Termine der Kalbung, der Künstlichen Besamung, der Trächtigkeitsuntersuchung, des Trockenstellens und der Rationsanpassung wurden mittels Herdenmanagementprogramm Herde 5.7 (dsp agrosoft GmbH, Deutschland) verwaltet. Die Kalbung wurde auf den 0. LTG festgelegt. Im Herdenmanagementprogramm waren auch Informationen zum Alter und zur Abstammung abgelegt.

3.5.2 Datenzusammenführung

Die einzelnen Datenquellen, mit Ausnahme der FS, wurden von der TiDa GmbH (Deutschland), wie in dargestellt, zusammengeführt und zu Tagesdaten zusammengefasst. Pro Tier und Versuchstag entstand so ein Datensatz.

Anschließend fand eine letzte Kontrolle und Validierung der Daten statt. Daten zur Futter-, Wasseraufnahme, Milchleistung, Lebendmasse und zu den Milchinhaltsstoffen, die in der Laktation im Zeitraum 6. LTG bis zum Trockenstellen mehr als 4 s von \bar{x} abwichen, wurden entfernt. So wurden insgesamt 27 Tagesfutteraufnahmen, 16 Tageswasseraufnahmen, 12 Milchfettgehalte, 9 Milchwahnharnstoffgehalte, 13 Milchlaktosegehalte und eine Lebendmasse verworfen. Die entstehenden Fehlstellen wurden in der Erfassungsdatei leer belassen.

Von der TiDa GmbH (Deutschland) wurden die Tagesdaten außerdem zu Kalenderwochenmittelwerten zusammengefasst. In diesem, zu Wochenmittelwerten zusammengefassten, Datensatz lag pro Kalenderwoche und Tier ein Datensatz vor.

3.5.3 Berechnungen

Als Datengrundlage für nachfolgend genannte Berechnungen diente der zu Wochenmittelwerten zusammengefasste Datensatz.

Die ECM in kg pro Kuh und Tag wurde nach GfE (2001) wie folgt berechnet:

$$\text{ECM, kg/Tag} = \text{Milchmenge, kg/Tag} * \frac{\text{Milchenergie, MJ NEL/kg} + 0,1}{3,28}$$

Mit

$$\text{Milchenergie, MJ NEL/kg} = 0,38 * \text{Milchfettgehalt, \%} + 0,21 * \text{Milchproteingehalt, \%} + 0,95$$

Die pro Kuh und Tag aufgenommene Menge an Energie und Nährstoffen aus dem Futter wurde ermittelt durch Multiplikation der Energie- (MJ NEL pro kg TM) bzw. der Nährstoffkonzentration (g pro kg TM) der Ration mit der Futteraufnahme (kg TM). Energie und Nährstoffe, welche die Tiere wegen außerordentlicher Zuteilung von Heu oder Propylenglykol aufnahmen, wurden hinzu addiert.

Durch Multiplikation von Milchleistung (kg pro Tag) mit den Milchinhaltstoffen Fett, Eiweiß und Laktose (je in %) konnte die Milchfett-, Milcheiweiß- und Milchlaktosemenge (g pro Tag) berechnet werden.

Der Energiesaldo pro Kuh und Tag in MJ NEL wurde nach den Vorschlägen der GfE (2001) wie folgt berechnet:

$$\text{Energiesaldo, MJ NEL/Tag} = \text{Aufnahme, MJ NEL/Tag} - (\text{Milchenergie, MJ NEL/Tag} + 0,1)$$

$$- \text{Erhaltungsbedarf, MJ NEL/Tag} - \text{Trächtigkeit, MJ NEL/Tag} - \text{maternales Wachstum, MJ NEL/Tag}$$

Mit

$$\text{Erhaltungsbedarf, MJ NEL} = \text{Lebendmasse, kg}^{0,75} * 0,293$$

$$\text{Trächtigkeit, MJ NEL/Tag} = \frac{0,044 * e^{0,0162*t} + \text{Euteransatz, MJ NEL/Tag}}{0,29}$$

Mit

t	Trächtigkeitstag	
Euteransatz, MJ NEL/Tag:	8. bis 7. Woche vor der Kalbung	0,8
	6. bis 4. Woche vor der Kalbung	1,1
	3. Woche vor der Kalbung bis Kalbung	3,75

$$\text{maternales Wachstum, MJ NEL/Tag: } 20 \text{ MJ NEL}/\Delta\text{Lebendmasse, kg/Tag}$$

Ein Energiebedarf für maternales Wachstum wurde nur für Erstkalbskühe angesetzt. Als Basis für die Lebendmasse-Veränderung (Δ Lebendmasse, kg pro Tag) wurde die mittlere Lebendmasse der Erstkalbskühe im Zeitraum 1. bis 21. LTG gewählt.

Für die Bewertung des Verhältnisses von den mit der Milch abgegebenen zu den mit dem Futter aufgenommenen Energie-, Protein- oder P-Mengen wurden nachfolgende Berechnungen durchgeführt (BRODY 1945; VEERKAMP *et al.* 1994; VEERKAMP und EMMANS 1995 und CONNOR 2015).

Bruttoenergie-Konvertierungsfaktor:

GEKE = Milchenergie, MJ NEL/Tag/Gesamtfutter, MJ GE/Tag

Protein-Konvertierungsfaktor:

PrKE = Milcheiweiß, g/Tag/XP-Aufnahme, g/Tag

Phosphor-Konvertierungsfaktor:

PhKE = Milch-P, g/Tag/P-Aufnahme, g/Tag

Zur Bestimmung der Menge an Milch-P wurde ein P-Gehalt von 1,0 g pro kg Milch angenommen (GfE 2001).

3.6 Statistische Auswertung

Die beschreibende und beurteilende Statistik erfolgte mit der Software SAS, Version 9.4 (SAS Institute Inc., USA). Da bei Kuh 7691 am 165. LTG im ersten Versuchsjahr der Rationswechsel vergessen worden war, wurden deren Daten erst ab der Kalbung am 03.07.2015 berücksichtigt für die Auswertung des Einflusses eines unterschiedlich hohen KF-Einsatzes.

3.6.1 Fütterungsversuch

Die Auswertung der Fütterungsversuchsdaten erfolgte in Absprache mit den Projektpartnern und dem Fachgebiet Biostatistik der Universität Hohenheim.

Mindestens wöchentlich erfasste Daten

Die Laktation und die Trockenstehphase wurden getrennt voneinander ausgewertet. Als Datengrundlage diente der zu Wochenmittelwerten zusammengefasste Datensatz. Tabelle 14 zeigt exemplarisch für die Futteraufnahme die Verteilung der LNR auf die beiden Gruppen. Diese standen für die beurteilende, statistische Auswertung in der Laktation bzw. Trockenstehphase zur Verfügung. Die gelisteten Laktationen lagen für die Laktation bzw. die Trockenstehphase nicht zwingend vollständig vor und waren zum Teil mit Versuchsbeginn schon fortgeschritten oder bei Versuchsende noch nicht abgeschlossen.

Tabelle 14: Verteilung der ausgewerteten Laktationen nach Laktationsnummer auf die Gruppe 250 und die Gruppe 150 in der Laktation und in der Trockenstehphase

Gruppe	Laktationsnummer									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	alle
	Anzahl Laktationen (Laktationstag 6 bis 344)									
250	10	12	15	15	9	4	1	1	1	68
150	12	13	16	9	8	6	2	1	1	68
	Anzahl Trockenstehphasen (Laktationstag -75 bis -1)									
250	8	10	11	10	4	2	1	1	0	47
150	12	12	9	5	6	2	0	1	1	48

Datenbasis: Wochenmittelwerte der Futteraufnahme

Laktation

Nach Prüfung der Häufigkeitsverteilung des Merkmals ECM auf die LTG mittels Prozedur FREQ in SAS wurden alle Daten, die bis zum 5. oder nach dem 344. LTG erfasst worden waren, aus der Auswertung der Laktation ausgeschlossen. Für die ECM blieben so z. Bsp. 98 % aller Wochenmittelwerte berücksichtigt.

Mit der SAS-Prozedur MIXED wurde in der beurteilenden Statistik gerechnet. Zum Testen der fixen Effekte wurde die Kenward-Roger-Approximation gewählt (KENWARD und ROGER 1997). Der Laktationsverlauf in der Kovarianzanalyse wurde nach ALI und SCHAEFFER (1987) modelliert. Der LTG ging hierbei linear (1. Kovariable: $ltg_1 = ltg/345$), quadratisch (2. Kovariable: $ltg_2 = (ltg/345)^2$), logarithmisch (3. Kovariable: $ltg_3 = \ln(345/ltg)$) und logarithmisch quadriert (4. Kovariable: $ltg_4 = \ln(345/ltg)^2$) in das Modell ein.

Neben diesen 4 Kovariablen wurden als fixe Effekte die Kalenderwoche (kw), die LNRcl, die Gruppe (vgrp) und die Interaktion vgrp*LNRcl berücksichtigt. Das Merkmal LNRcl wurde aus der LNR abgeleitet und hatte 4 Klassen. Die Entscheidung über die Anzahl der Klassen im Merkmal LNRcl erfolgte nach Erstellung einer Häufigkeitsverteilung der LNR in beiden Gruppen für das Merkmal ECM mit der Prozedur FREQ. Tiere in der ersten, zweiten und dritten. LNR bildeten je eine eigene Klasse. Alle Tiere ab der 4. LNR wurden in einer Klasse zusammengefasst.

Das volle Modell (Modell_{voll}, vgl. Tabelle 15), welches neben den genannten fixen Effekten zusätzlich sämtliche Interaktionen von vgrp, LNRcl und vgrp*LNRcl mit den 4 Kovariablen (ltg_1 , ltg_2 , ltg_3 , ltg_4) als fixe Effekte umfasste, wurde genutzt, um die Struktur der zufälligen Effekte und die Autokorrelationsstruktur des Fehlers festzulegen. Hierfür wurde das Akaike Entscheidungskriterium (AIC, AKAIKE 1973) und das Schätzverfahren Restricted Maximum Likelihood angewandt. Die Festlegung erfolgte zunächst unabhängig voneinander für eine Auswahl an Merkmalen. In Tabelle 15 sind die AIC-Werte der getesteten Varianten gegen-

übergestellt. Die Autokorrelation der Fehler wurde im Modell berücksichtigt, weil wiederholte Messungen vorlagen und sich das AIC durch die Aufnahme des repeated Statements bei allen 5 ausgewählten Merkmalen deutlich reduzierte. Während die Auswahl der zufälligen Effekte eindeutig auf random lnr/sub = stnr type = cs fiel, wurde bei der Autokorrelationsstruktur des Fehlers der Kompromiss kw/sub = stnr type = AR(1) group = vgrp*LNRcl gewählt.

Tabelle 15: AIC-¹⁾ Werte der Modellvarianten mit variierenden, zufälligen Effekten und variierender Autokorrelationsstruktur des Fehlers für eine Auswahl an Merkmalen

fixe Effekte Modell _{voll}	$y_i = kw + vgrp + LNRcl + vgrp*LNRcl + \sum_{k=1}^4 (ltg_k + ltg_k*vgrp + ltg_k*LNRcl + ltg_k*vgrp*LNRcl)$				
Merkmal	mkg ²⁾	ftm ³⁾	fpro ⁴⁾	epro ⁵⁾	eb_nel ⁶⁾
Struktur	AIC ¹⁾				
ohne random und repeated	24 120	17 505	6 192	-352	30 357
repeated: kw/sub =	random gesetzt (lnr/sub = stnr type=cs)				
ohne repeated	19 946	14 343	4 557	-3 282	28 755
stnr type = AR(1) group = LNRcl	14 876	12 223	4 375	-4 617	27 087
stnr type = AR(1) group = vgrp	15 052	12 270	4 464	-4 591	27 226
stnr type = AR(1) group = vgrp*LNRcl	14 848	12 204	4 377	-4 645	27 089
stnr*lnr type = AR(1) group = LNRcl	14 870	12 223	4 375	-4 618	27 086
stnr*lnr type = AR(1) group = vgrp	15 008	12 269	4 464	-4 593	27 221
stnr*lnr type = AR(1) group = vgrp*LNRcl	14 843	12 204	4 377	-4 647	27 088
random:	repeated gesetzt				
	(kw/sub = stnr type = AR(1) group = vgrp*LNRcl)				
stnr	14 848	12 220	4 385	-4 619	27 139
lnr/sub = stnr type = cs	14 848	12 204	4 377	-4 645	27 089

¹⁾ Akaike Entscheidungskriterium; ²⁾ Milchleistung; ³⁾ Futtermittelaufnahme, Trockenmasse;

⁴⁾ Milchfettgehalt; ⁵⁾ Milcheiweißgehalt; ⁶⁾ Energiesaldo

Um die Funktionen für die Laktationsverläufe der Merkmale (y_i) aufzustellen, diente das Modell_{voll}, mit den genannten, zufälligen Effekten und der genannten Autokorrelationsstruktur des Fehlers, als Ausgangspunkt. Merkmalsindividuell wurden dann die Interaktionen von fixen Effekten mit den Kovariablen nach ALI und SCHAEFFER (1987) ($ltg_1, ltg_2, ltg_3, ltg_4$) schrittweise durch Rückwärtss Selektion aus dem Modell_{voll} genommen. Hierbei wurden zunächst die Dreifachinteraktionen getestet. Die nicht signifikante Dreifachinteraktion ($p > 0,05$) mit dem höchsten p-Wert wurde zuerst entfernt. Dann wurde neu gerechnet. Dieser Vorgang wurde wiederholt, bis alle noch im Modell verbleibenden Dreifachinteraktionen signifikant ($p \leq 0,05$) waren. Erst dann wurden nicht signifikante Zweifachinteraktionen ($p > 0,05$) von fixen Effekten mit den Kovariablen aus dem Modell genommen, sofern die dazugehörige Dreifachinteraktion bereits aus dem Modell genommen worden war. Zweifachinteraktionen, die nicht signifikant waren, aber deren zugehörige Dreifachinteraktion signifikant war, wurden

nicht entfernt. Auch die Zweifachinteraktionen wurden schrittweise mittels p-Wert als Selektionskriterium aus dem Modell genommen. Aus diesem Prozess resultierte ein merkmalsindividuelles, reduziertes Modell (Modell_{red}ⁱ).

Die reduzierten Modelle (Modell_{red}ⁱ) wurden genutzt, um auf Grundlage der Lösungen für die fixen Effekte aus SAS mit MS Excel 2010 (Microsoft Corporation, USA) die Funktionen der Laktationsverläufe der Merkmale graphisch darzustellen. Zur Beurteilung der Güte der Anpassung des Modell_{red}ⁱ des jeweiligen Merkmals i an die vorliegenden Daten wurde, in Anlehnung an VARGAS *et al.* (2000), der RSD aus den geschätzten (\hat{y}) und beobachteten (y) Werten und das R_{adj}^2 wie folgt berechnet.

$$RSD = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (\hat{y}_n - y_n)^2}{N - 1}}$$

$$R_{adj}^2 = 1 - (1 - R^2) * \frac{N - 1}{N - 1 - 1}$$

Mit:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N (\hat{y}_n - y_n)^2}{\sum_{n=1}^N (y_n - \bar{y}_n)^2} \quad \text{Bestimmtheitsmaß}$$

N Anzahl der Beobachtungen

l Anzahl der geschätzten Parameter im Modell

Als zusätzliches Gütekriterium wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient (r) zwischen den geschätzten und beobachteten Werten bestimmt.

Durch die Funktionen der Laktationsverläufe lag für jeden LTG vom 6. bis 344. LTG ein LSmeans \pm Standardfehler (SE) für das Merkmal i in Abhängigkeit von vgrp, LNRcl und vgrp*LNRcl vor. Der \bar{x} des LSmeans und der \bar{x} des SE ($\overline{\text{LSmeans}_{\text{voll}}} \pm \overline{\text{SE}}$) des Merkmals i über den Zeitraum 6. bis 344. LTG in Abhängigkeit von vgrp, LNRcl und vgrp*LNRcl wurde als Schätzer für das Merkmal i in der Laktation genutzt. Um die Klassen der fixen Effekte (vgrp, LNRcl, vgrp*LNRcl) auf signifikante Unterschiede an den einzelnen LTG zu prüfen (paarweise Mittelwertsvergleiche), wurden die Kovariablen in der Prozedur MIXED in SAS in der Anweisung LSMEANS/PDIFF durch die Option AT für jeden LTG fixiert und die p-Werte_{ltg} nach Bonferroni korrigiert.

Um eine globale Aussage zur Signifikanz der fixen Effekte (vgrp, LNRcl, vgrp*LNRcl) auf die Merkmale in der Laktation treffen zu können, wurde das Modell_{voll} vereinfacht zum

Modell_{global}. In das Modell_{global} wurden Interaktionen mit den Kovariablen (Itg₁, Itg₂, Itg₃, Itg₄) nicht aufgenommen. Folglich lautete das Modell_{global} wie folgt:

$$\text{Modell}_{\text{global}}: y_i = kw + vgrp + \text{LNRcl} + vgrp * \text{LNRcl} + \sum_{k=1}^4 (\text{Itg}_k)$$

Die zufälligen Effekte und die Autokorrelationsstruktur des Fehlers des Modell_{voll} wurden übernommen (vgl. Tabelle 15). Nur für die mindestens tendenziell signifikanten, fixen Effekte ($p_{\text{global}} \leq 0,1$) eines Merkmals i wurden über die Anweisung LSMEANS/PDIFF mit MIXED in SAS anschließend Mittelwertvergleiche ohne p-Wert Korrektur durchgeführt. Die Differenz ($\text{PDiff}_{\text{global}} \pm \text{SE}$) zwischen den Klassen des jeweiligen fixen Effekts für das Merkmal i wurde geschätzt.

Das Merkmal Zellzahl in der Milch wurde vor der Auswertung mit dem natürlichen Logarithmus transformiert, um Normalverteilung und Varianzhomogenität zu erreichen. Die $\text{LSmeans}_{\text{voll}} \pm \text{SE}$ wurden abschließend durch Exponieren zurück transformiert.

Trockenstehphase

In der Trockenstehphase wurden die Futteraufnahme und alle damit zusammenhängenden Merkmale durchgehend erfasst. Die Prüfung der Verteilung der Futteraufnahme auf die vLTG mit der Prozedur FREQ in SAS führte zum Entschluss, alle Futteraufnahmen ab vLTG -75 zu berücksichtigen, was einem Anteil von 93 % aller in der Trockenstehphase erfassten Wochenmittelwerten entsprach.

Für die Prozedur MIXED in SAS wurden die Autokorrelationsstruktur und die zufälligen Effekte des Modells aus der Laktation (Modell_{voll}) übernommen.

Zum Testen der fixen Effekte wurde die Kenward-Roger-Approximation (KENWARD und ROGER 1997) gewählt. Die fixen Effekte umfassten kw, vgrp, LNRcl und phase. Zusätzlich wurden sämtliche Interaktionen der drei zuletzt genannten Effekte als fixe Effekte ins Modell aufgenommen. Der Effekt phase hatte zwei Klassen und gab an, ob sich das Tier in der ersten Trockenstehphase oder in der Phase der Vorbereitungsfütterung befand. Eine Modellierung der Futteraufnahmeverläufe in der Trockenstehphase (Abschnitt vLTG -75 bis -1) wurde nicht vorgenommen. Die finale Struktur der fixen Effekte des Modell_{tr_f} lautete wie folgt:

$$\text{Modell}_{\text{tr}_f}: y_i = kw + vgrp + \text{LNRcl} + \text{phase} + vgrp * \text{LNRcl} + vgrp * \text{phase} + \text{LNRcl} * \text{phase} + vgrp * \text{LNRcl} * \text{phase}$$

Da die Lebendmasse nur einmalig in der Trockenstehphase erfasst wurde, konnte auch der Energiesaldo nur zu diesem Zeitpunkt berechnet werden. Die Wiegung vor der Kalbung war auf 14 bis 21 Tage *a. p.* terminiert, weshalb in die Auswertung alle Wochendatensätze im Abschnitt vLTG -30 bis -5 eingeschlossen wurden (in Summe 83 Wochenmittelwerte). Bei der Prozedur MIXED in SAS kam folgendes Modell_{tr_e} für den Energiesaldo und die Lebendmasse in der Trockenstehphase zum Einsatz (Kenward-Roger-Approximation, KENWARD und ROGER 1997):

Modell_{tr_e}: $y_i = vgrp + LNRcl + vgrp*LNRcl$
 random kw; random lnr/sub = stnr type = cs group = vgrp

Die LSmeans_{tr} ± SE für die Klassen der fixen Effekte für das Merkmal *i* wurden berechnet. Für die mindestens tendenziell signifikanten, fixen Effekte ($p_{tr} \leq 0,1$) aus Modell_{tr_f} und Modell_{tr_e} wurde über die Anweisung LSMEANS/PDIFF mit MIXED in SAS anschließend ein Mittelwertvergleich ohne p-Wert Korrektur durchgeführt. Die Differenz (PDiff_{tr} ± SE) zwischen den Klassen des jeweiligen fixen Effekts für das Merkmal *i* wurde geschätzt.

Nicht wöchentlich erfasste Daten

Als Datengrundlage für die Auswertung der nicht wöchentlich erfassten Merkmale diente der Tagesdatensatz.

Körperkondition

Für die Auswertung des BCS wurde die Laktation in 12 Abschnitte (lab) eingeteilt (lab1: LTG 0 bis 29; lab2: LTG 30 bis 59; ...; lab11: LTG 300 bis 344; lab12: vLTG -75 bis -31; lab13: vLTG -30 bis -1). Die Auswertung des BCS mit MIXED in SAS (Kenward-Roger-Approximation, KENWARD und ROGER 1997) erfolgte mit dem nachfolgenden Modell_{BCS}.

Modell_{BCS}: $y_{BCS} = datum + vgrp + LNRcl + lab + vgrp*LNRcl + vgrp*lab + LNRcl*lab$
 $+ vgrp*LNRcl*lab$
 random stnr; repeated datum/sub = stnr type = AR(1) group = LNRcl*vgrp

Die Entscheidung über die Struktur des random und des repeated Statements erfolgte mit Hilfe des AIC (AKAIKE 1973). Die Berücksichtigung der Kovarianzstruktur reduzierte den AIC deutlich (ausgewählte Struktur AIC = -127; ohne repeated AIC = 321; ohne random/repeated AIC = 1 289).

Für die Auswertung des BCS in der Laktation wurden Laktationsabschnitt 1 bis 11, für die Auswertung der Trockenstehphase Laktationsabschnitt 12 und 13 in das Modell_{BCS} gegeben.

Abschließend wurden alle Laktationsabschnitte gemeinsam untersucht, um den Verlauf des BCS über die gesamte Laktation abzubilden.

Die $LSmeans_{BCS} \pm SE$ der Klassen der fixen Effekte für den BCS wurden berechnet. Für die mindestens tendenziell signifikanten, fixen Effekte ($p_{BCS} \leq 0,1$) im Modell_{BCS} wurden über die Anweisung LSMEANS/PDIFF mit MIXED in SAS anschließend Mittelwertsvergleiche ohne p-Wert Korrektur durchgeführt. Die Differenz ($PDiff_{BCS} \pm SE$) zwischen den Klassen des jeweiligen fixen Effekts für den BCS wurde geschätzt.

Blut- und Harnwerte

Bei der Auswertung der Blut- und Harnwerte mit MIXED in SAS (Kenward-Roger-Approximation, KENWARD und ROGER 1997) kam nachfolgendes Modell_{Bl} zum Einsatz:

Modell_{Bl}: $y_i = datum + vgrp + LNRcl + termin + vgrp*LNRcl + vgrp*termin + LNRcl*termin$
+ $vgrp*LNRcl*termin$
random stnr

In die Auswertung der Trockenstehphase wurde der Termin zum Trockenstellen und der Termin 14 Tage *a. p.* einbezogen. Die verbleibenden drei Blutprobetermine wurden für die Auswertung der Laktation herangezogen. Abschließend wurden alle 5 Blutprobetermine ins Modell gegeben, um den Verlauf der Blutwerte über die gesamte Laktation zu untersuchen.

Die Entscheidung über die Struktur des random und repeated Statements erfolgte mit Hilfe des AIC (AKAIKE 1973). Die Berücksichtigung der Autokorrelationsstruktur des Fehlers reduzierte den AIC nicht. Eine Autokorrelationsstruktur des Fehlers wurde folglich nicht in das Modell aufgenommen (z. B. BHB ausgewählte Struktur AIC = 451; ohne random/repeated AIC = 470; random stnr repeated datum/sub = stnr type = AR(1) group = vgrp AIC = 454).

Durch Prüfen der Residuen-Plots stellte sich heraus, dass bei BHB, NEFA, Insulin und IGF-I die Varianzhomogenität der Residuen jeweils nicht gegeben war. Die Werte wurden deshalb für die beurteilende Statistik mit dem natürlichen Logarithmus transformiert. Die $LSmeans_{Bl} \pm SE$ für die Klassen der fixen Effekte der Blut- und Harnwerte wurden durch Exponieren zurück transformiert.

Für die mindestens tendenziell signifikanten, fixen Effekte ($p_{Bl} \leq 0,1$) im Modell_{Bl} wurden über die Anweisung LSMEANS/PDIFF mit MIXED in SAS anschließend Mittelwertsvergleiche ohne p-Wert Korrektur durchgeführt. Die Differenz ($PDiff_{Bl} \pm SE$) zwischen den Klassen des jeweiligen fixen Effekts für das Merkmal im Blut oder im Harn wurde geschätzt.

Fettsäurezusammensetzung im Futter- und Milchfett

Die beschreibende Auswertung der FS-Konzentrationen im Futterfett erfolgte mittels der SAS-Prozedur MEANS.

Die Konzentrationen der FS im Milchfett wurden mit der Prozedur MIXED in SAS (Kenward-Roger-Approximation, KENWARD und ROGER 1997) mit dem nachfolgenden Modell_{FS} analysiert:

Modell_{FS}: $y_i = \text{vgrp} + \text{LNRcl} + \text{termin} + \text{vgrp} * \text{LNRcl} + \text{vgrp} * \text{termin} + \text{LNRcl} * \text{termin}$
+ $\text{vgrp} * \text{LNRcl} * \text{termin}$
random stnr; repeated datum/sub = stnr type = AR(1) group = termin

Mit Hilfe des AIC (AKAIKE 1973) für 5 ausgewählte FS (FS C14:0; FS C15:0; FS C18:0; FS Σ C18:1c9-13, C18:2c9c12) erfolgte die Entscheidung über die Struktur des random und repeated Statements.

Die LSmeans_{FS} \pm SE der Klassen der fixen Effekte für die FS wurden berechnet. Für die mindestens tendenziell signifikanten, fixen Effekte ($p_{FS} \leq 0,1$) im Modell_{FS} wurden über die Anweisung LSMEANS/PDIFF mit MIXED in SAS Mittelwertvergleiche ohne p-Wert Korrektur durchgeführt. Die Differenz (PDiff_{FS} \pm SE) zwischen den Klassen des jeweiligen fixen Effekts für die FS wurde geschätzt.

Diskrete Daten

Als diskrete Daten lagen die Angaben zur Häufigkeit des Auftretens von Diagnosen vor, die Angaben zur Häufigkeit des Auftretens von Kalbeverlaufsklassen und die Angaben zur Häufigkeit des Auftretens von nachträglich in Klassen eingeteilten Merkmalen im Blut (BHB und NEFA). Wenn die Voraussetzungen erfüllt waren (alle erwarteten Häufigkeiten > 1 ; mindestens 80 % der erwarteten Häufigkeiten > 5), wurde zunächst eine Kontingenztafel erstellt und dann der Chi²-Homogenitätstest angewandt (DUFNER *et al.* 2004). In SAS wurde hierfür die Prozedur FREQ genutzt.

3.6.2 Beurteilung der Energieversorgung im ersten Laktationsdrittel mittels Hilfsmerkmalen

Als Datenbasis für die Validierung der von BECHER (2017) entwickelten Modelle und für die Entwicklung neuer Modelle zur Schätzung des Energiesaldos diente der zu Wochenmittelwerten zusammengefasste Datensatz. Die Gruppe 250 und die Gruppe 150 wurden gemeinsam ausgewertet.

Die Ableitung der Schätzmodelle erfolgte nach der von BECHER (2017) für die Auswertung der untereinander hoch korrelierten FS empfohlenen, regularisierten linearen Regressionsmethode Elastic net (angelehnt an OGUTU *et al.* 2012).

Die erste Auswahl an Merkmalen für die Vorhersage des Energiesaldos erfolgte mittels fünf-facher Kreuzvalidierung in SAS mit GLMSELECT. Die in den 5 Modellen vorausgewählten Merkmale wurden anschließend in einem Model (MODEL1) zusammengefasst. Die Relevanz der einzelnen Merkmale aus MODEL1 wurde mit Hilfe des korrigierten AIC (AICC, HURVICH und TSAI 1993) mit MIXED (mit Maximum Likelihood) bewertet. Das MODEL2 resultierte aus dem schrittweisen Aufnehmen der relevantesten Merkmale aus MODEL1 bis keine Verbesserung des AICC mehr erzielt wurde. Abgeschlossen wurde die Merkmalsauswahl mit dem schrittweisen Entfernen nicht signifikanter Effekte ($p > 0,05$) aus MODEL2. Dieser Prozess endete in MODEL ENET_FS (Schätzung des Energiesaldos aus FS-Zusammensetzung im Milchfett) bzw. ENET_BL (Schätzung des Energiesaldos aus Merkmalen im Blut). Weitere Details zum Vorgehen sind bei BECHER (2017) zu finden.

Die Koeffizienten der Modelle ENET_FS und ENET_BL wurden in SAS mit MIXED (Restricted Maximum Likelihood) geschätzt. Die Anpassungsgüte dieser Modelle wurde nach Leave-One-Out-Kreuzvalidierung anhand der Gütekriterien r , R^2 , R^2_{adj} und RSD beurteilt (Formeln vgl. Kapitel 3.6.1).

4 ERGEBNISSE

Die ersten 6 nachfolgenden Unterkapitel, in welchen die Ergebnisse des Fütterungsversuchs aus der beurteilenden Statistik zur Futteraufnahme (vgl. Kapitel 4.1), zur Milchleistung (vgl. Kapitel 4.2), zur Körperkondition und zur Lebendmasse (vgl. Kapitel 4.3), zur Energieversorgung (vgl. Kapitel 4.4), zu den Blut- und Harnwerten (vgl. Kapitel 4.5) sowie zur FS-Zusammensetzung im Milchfett und im Futterfett (vgl. Kapitel 4.6) beschrieben werden, sind schematisch gleich aufgebaut. Zunächst werden in diesen Unterkapiteln jeweils die durchschnittlichen Ergebnisse der Gruppe 250 und der Gruppe 150 aus zwei Versuchsjahren, getrennt nach Laktation und Trockenstehphase, gegenübergestellt. Dann wird jeweils der Einfluss der LNR auf die Ergebnisse thematisiert. Im jeweils letzten Abschnitt des Unterkapitels wird die Reaktion beider Gruppen im Laktationsverlauf auf den unterschiedlichen KF-Einsatz aufgegriffen.

Die Auswertungen in den anschließenden Unterkapiteln zur Energie- und Nährstoffnutzung für Leistung oder leistungsunabhängigen Bedarf (vgl. Kapitel 4.7) bzw. zu Krankheiten sowie zur Fruchtbarkeit (vgl. Kapitel 4.8) beschränken sich auf die durchschnittlichen Ergebnisse des Fütterungsversuchs, die für die Gruppe 250 und die Gruppe 150 gegenübergestellt sind.

Im letzten Unterkapitel, in dem das Ergebnis zur Eignung von Hilfsmerkmalen als Spiegel der aktuellen Energieversorgung (vgl. Kapitel 4.9) beschrieben wird, entfiel eine Gegenüberstellung beider Gruppen.

4.1 Futteraufnahme

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse zu den Merkmalen der Futteraufnahme (Gesamt, KF, Grobfutter) und die Ergebnisse zur Wasseraufnahme dargestellt. Zur Berechnung der Wasseraufnahme wurden die am Wassertrog erfasste Tränkemenge und die über das Futter aufgenommene Rohwassermenge addiert.

4.1.1 Gesamtlaktation

Die durchschnittliche, tägliche Futteraufnahme in der Laktation unterschied sich, wie in Tabelle 16 aufgelistet, nicht signifikant ($p_{\text{global}} > 0,1$) zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 bei Betrachtung des gesamten Versuchszeitraums. Im Durchschnitt nahmen die Tiere in der Gruppe 250 täglich 21,6 kg TM auf. Die Tiere in der Gruppe 150 nahmen täglich 21,0 kg TM auf. In der Trockenstehphase fraßen die Tiere der Gruppe 250 mit 12,1 kg TM

0,9 kg TM weniger als die Tiere in der Gruppe 150. In der Trockenstehphase unterschied sich die Futterraufnahme signifikant ($p_{tr} \leq 0,1$) zwischen den beiden Gruppen.

Tabelle 16: Merkmale der täglichen Futter- und Wasseraufnahme der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation (Laktationstag (LTG) 6 bis 344) und in der Trockenstehphase (LTG -75 bis -1) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal, pro Tier	250	150	p_{global}	$PDiff_{global} \pm SE$ ¹⁾
	$\overline{LSmeans_{voll}} \pm \overline{SE}$			
Laktation				
Futter, kg TM ²⁾	21,6 ± 0,3	21,0 ± 0,3	0,1301	
Krafftutter, kg TM	6,1 ± 0,1	3,8 ± 0,1	< 0,0001	-2,4 ± 0,1
Grobfutter, kg TM	15,5 ± 0,2	17,3 ± 0,2	< 0,0001	-1,8 ± 0,3
Wasser, kg	109,9 ± 2,3	109,8 ± 2,3	0,9362	
Trockenstehphase				
	$LSmeans_{tr} \pm SE$		p_{tr}	$PDiff \pm SE$
Futter, kg TM	12,1 ± 0,3	13,1 ± 0,3	0,0257	-0,9 ± 0,4
Wasser, kg ²⁾	56,6 ± 1,8	59,5 ± 1,6	0,2238	

¹⁾ ohne Angabe, wenn $p > 0,1$; ²⁾ Trockenmasse; ³⁾ wurde nur in der ersten Trockenstehphase erhoben

In der Laktation fraßen die Tiere in der Gruppe 250 täglich 6,1 kg TM KF und damit 2,4 kg TM KF mehr als die Tiere in der Gruppe 150. Gleichzeitig nahmen sie täglich 1,8 kg TM weniger Grobfutter auf. Sowohl die tägliche KF-Aufnahme als auch die tägliche Grobfutteraufnahme im Durchschnitt der Laktation unterschied sich signifikant zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150.

Weder in der Laktation noch in der Trockenstehphase wurde ein signifikanter Einfluss der Gruppe auf die Wasseraufnahme festgestellt.

4.1.2 Einfluss der Laktationsnummer bei variierendem Krafftuttereinsatz

Die LNRcl der Milchkühe hatte in der Laktation auf alle Futterraufnahmedaten, die in Tabelle 17 aufgeführt sind, einen signifikanten Einfluss ($p_{LNRcl} \leq 0,1$). Erstkalbskühe (LNRc 1) nahmen während der Laktation durchschnittlich, täglich signifikant weniger Futter, KF und Grobfutter auf als die Tiere in den jeweils höheren LNRcl und hatten eine signifikant geringere tägliche Gesamtwasseraufnahme.

In beiden Gruppen stieg die Grobfutteraufnahme von LNRcl 1 bis ≥ 4 stetig an. Doch in der Gruppe 150 war die Steigerung der Grobfutteraufnahme von LNRcl 2 zu 3 und von LNRcl 3 zu ≥ 4 numerisch größer (+0,7 bzw. +0,6 kg TM) als in der Gruppe 250 (+0,2 bzw. +0,1 kg TM). Die KF-Aufnahme blieb in beiden Gruppen ab LNRcl 2 weitestgehend konstant. Deshalb war in der Gruppe 150 die Steigerung der Futterraufnahme mit fortschreitender

LNRcl deutlicher, obwohl die Interaktion vgrp*LNRcl nicht signifikant war ($p_{vgrp*LNRcl} > 0,1$). Die Tiere in $LNRcl \geq 4$ erreichten, unabhängig von der Gruppe, eine signifikant höhere Futteraufnahme als die Tiere in LNRcl 2. Die Futteraufnahme in der LNRcl 3 lag dazwischen.

Tabelle 17: Einfluss der Laktationsnummernklasse (LNRcl) 1, 2, 3, ≥ 4 und der LNRcl in Abhängigkeit der Gruppe (vgrp, 250 oder 150) auf die tägliche Futter- und Wasseraufnahme in der Laktation (Laktationstag (LTG) 6 bis 344) und in der Trockenstehphase (LTG -75 bis -1) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal, pro Tier	p (LNRcl)	p (vgrp* LNRcl)	$\overline{LSmeans_{voll}} \pm \overline{SE}$							
			LNRcl							
			1		2		3		≥ 4	
		250	150	250	150	250	150	250	150	
Laktation										
Futter, kg TM	< 0,0001	0,2982	19,8 c ¹⁾	19,0	22,2 b	20,8	22,2 ab	21,7	22,3 a	22,4
Kraftfutter, kg TM ²⁾	0,0002	0,6055	5,6 b	3,3	6,4 a	3,7	6,3 a	4,0	6,2 a	4,0
Grobfutter, kg TM	< 0,0001	0,1183	14,1 d	15,9	15,8 c	17,1	16,0 b	17,8	16,1 a	18,4
Wasser, kg	0,0004	0,3439	103,0 b	101,1	111,6 a	110,1	112,0 a	115,2	112,9 a	112,7
Trockenstehphase										
			$LSmeans_{tr} \pm SE$							
Futter, kg TM	0,9826	0,3001	12,7	12,7	12,2	12,9	11,8	13,3	11,8	13,4
Wasser, kg ³⁾	0,8508	0,3848	58,4	58,3	55,8	60,5	54,1	60,1	57,9	59,0

¹⁾ unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,1$) zwischen LNRcl; ²⁾ Trockenmasse; ³⁾ wurde nur in der ersten Trockenstehphase erhoben

In der Trockenstehphase hatte die LNRcl keinen signifikanten Einfluss auf die Futter- und die Wasseraufnahme (vgl. Tabelle 17). Der Einfluss der LNRcl in der Trockenstehphase auf die Futteraufnahme war in den beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich ($p_{vgrp*LNRcl} > 0,1$). Dennoch fällt die gegensätzliche Entwicklung der Futteraufnahme während des Trockenstehens mit fortschreitender LNRcl in beiden Gruppen auf. Die Tiere in der Gruppe 250 nahmen in den höheren LNRcl durchschnittlich weniger kg TM Futter pro Tag auf als die jüngeren Tiere. In der Gruppe 150 wiederum stieg die durchschnittliche tägliche Futteraufnahme in der Trockenstehphase von LNRcl 1 bis ≥ 4 .

4.1.3 Laktationsverlauf

Durch die Modellierung der Futteraufnahme im Laktationsverlauf mit der Funktion nach ALI und SCHAEFFER (1987) in den beiden Gruppen (vgl. Abbildung 7), unter Beachtung des Einflusses der LNRcl, konnte der tatsächliche Verlauf der Futteraufnahme mit einem RSD von 1,2 kg TM pro LTG, einem R_{adj}^2 von 0,83 und einem r von 0,91 abgebildet werden.

Zu Beginn der Laktation nahmen die Tiere in der Gruppe 250, wie in Abbildung 7 dargestellt, 17,5 kg TM Futter auf. Die Tiere in der Gruppe 150 nahmen zu Laktationsbeginn mit 15,8 kg TM signifikant ($p_{ltg} \leq 0,1$) weniger Futter auf.

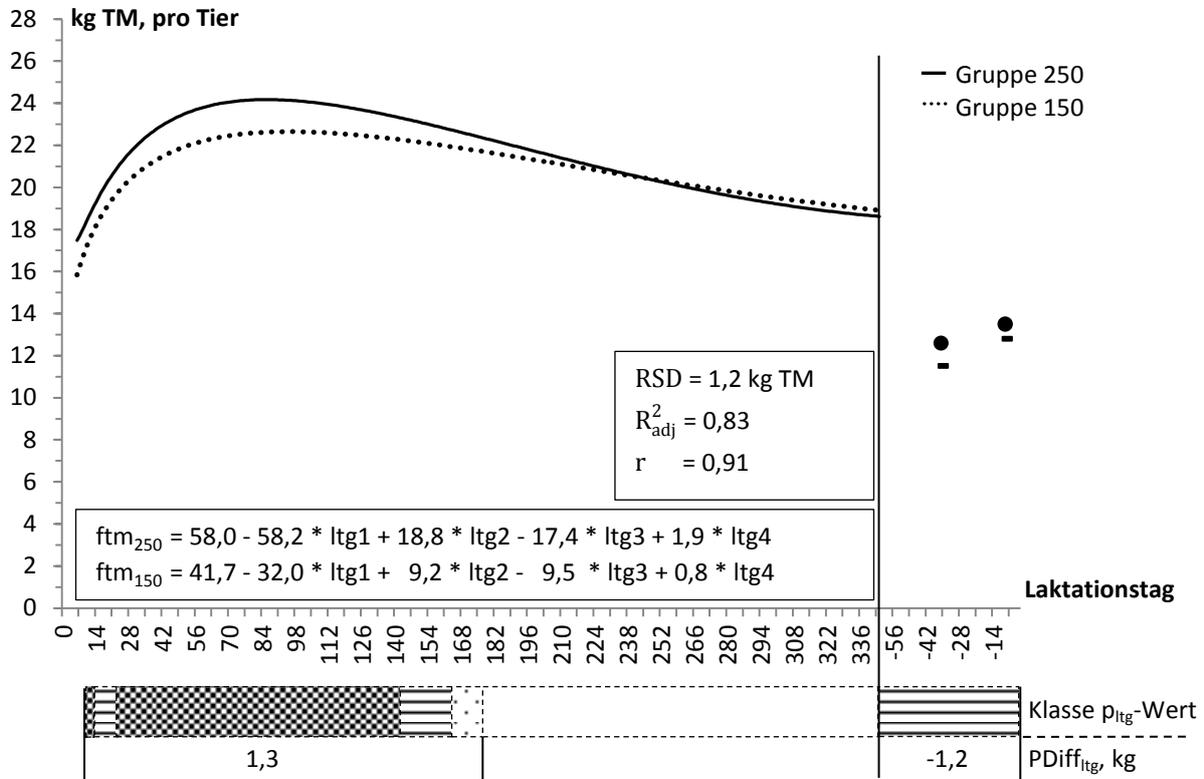


Abbildung 7: Futteraufnahme (ftm) der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; der p_{ltg} -Wert des Gruppenvergleichs an den einzelnen Laktationstagen (ltg) wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ [white box], $0,1 \geq p > 0,05$ [dotted box], $0,05 \geq p > 0,01$ [checkered box], $p < 0,01$ [horizontal lines]; geschätzte Unterschiede (PDiffltg) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt, getrennt nach Laktation und Trockenstehphase (TM = Trockenmasse)

Der signifikante Unterschied in der Futteraufnahme blieb bis zum 176. LTG bestehen. Der Futteraufnahmeunterschied zwischen den Gruppen betrug in diesem Laktationsabschnitt (LTG 6 bis 176) durchschnittlich 1,3 kg TM pro Tag. Gruppe 250 erreichte die maximale, tägliche Futteraufnahme von 24,2 kg TM am 79. bis 94. LTG. In der Gruppe 150 betrug die maximale Futteraufnahme 22,6 kg TM pro Tag und wurde im Laktationsabschnitt LTG 77 bis 117 erreicht. Im letzten Drittel der Laktation näherte sich die Futteraufnahme beider Gruppen an. Beim Trockenstellen nahmen die Tiere in der Gruppe 250 täglich 18,6 kg TM, die Tiere in der Gruppe 150 täglich 18,9 kg TM auf.

Sowohl in der ersten Trockenstehphase als auch in der Phase der Vorbereitungs fütterung nahmen die Tiere in der Gruppe 150 signifikant mehr Futter auf als die Tiere in der Gruppe 250. In der ersten Trockenstehphase nahmen die Tiere in der Gruppe 150 täglich 12,6 kg

LTG 109 bis 251 eine tägliche Grobfutteraufnahme $\geq 16,0$ kg TM erreichten, überschritten die Tiere in der Gruppe 150 dieses Niveau vom 27. LTG bis zum Trockenstellen.

4.2 Milchleistung

Im Unterkapitel Milchleistung werden die Auswirkungen des KF-Einsatzes auf die Milchleistung (Milchleistung, ECM, Milchfettmenge, Milcheiweißmenge, Milchlaktosemenge), die Auswirkungen auf die Milchinhaltsstoffe (Fett, Eiweiß, Laktose, Harnstoff) und die Auswirkungen auf den Fett-Eiweiß-Quotienten ($FEQ = \text{Milchfettgehalt, \%} / \text{Milcheiweißgehalt, \%}$) dargestellt.

4.2.1 Gesamtlaktation

Tabelle 18 verdeutlicht, dass weder die tägliche Milchleistung noch die tägliche ECM im Mittel der Laktation in der Gruppe 250 und der Gruppe 150 signifikant unterschiedlich war ($p_{\text{global}} > 0,1$). Die Tiere in beiden Gruppen gaben energiekorrigiert durchschnittlich 27,8 kg Milch pro Tag bei Betrachtung des gesamten Versuchszeitraums. Die nicht energiekorrigierte Milchleistung betrug 26,5 (Gruppe 250) bzw. 26,4 kg (Gruppe 150) pro Tag.

Tabelle 18: Merkmale der täglichen Milchleistung und der Milchinhaltsstoffe der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation (Laktationstag 6 bis 344) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal, pro Tier	250	150	p_{global}	$PD_{\text{Diff}_{\text{global}}} \pm SE$ ¹⁾
	$\overline{LS}_{\text{means}_{\text{voll}}} \pm \overline{SE}$			
Milchleistung, kg	26,5 ± 0,8	26,4 ± 0,7	0,6694	
ECM ²⁾ , kg	27,8 ± 0,8	27,8 ± 0,8	0,6670	
Fettgehalt, %	4,4 ± 0,1	4,5 ± 0,1	0,4219	
Fettmenge, g	1 147 ± 34	1 157 ± 34	0,6407	
Eiweißgehalt, %	3,6 ± 0,0	3,6 ± 0,0	0,5367	
Eiweißmenge, g	956 ± 27	937 ± 26	0,9802	
Fett-Eiweiß-Quotient	1,21 ± 0,01	1,23 ± 0,01	0,1398	
Laktosegehalt, %	4,7 ± 0,0	4,7 ± 0,0	0,6091	
Laktosemenge, g	1 258 ± 37	1 243 ± 35	0,7638	
Harnstoff, mg/L	241 ± 5	216 ± 5	< 0,0001	28 ± 6

¹⁾ ohne Angabe, wenn $p > 0,1$; ²⁾ energiekorrigierte Milchleistung

Der prozentuale Milchfettgehalt betrug 4,4 % in der Gruppe 250 und unterschied sich nicht signifikant vom Milchfettgehalt in der Gruppe 150 (4,5 %). Die tägliche Milchfettmenge pro Tier lag in den Gruppen bei 1 147 g (Gruppe 250) und 1 157 g (Gruppe 150). Beide Gruppen hatten im Durchschnitt den gleichen prozentualen Milcheiweißgehalt (3,6 %). Die Tiere in der Gruppe 250 produzierten in der Laktation täglich 956 g Milcheiweiß und die Tiere in der Gruppe 150 937 g. In Folge der sich nicht unterscheidenden Milchfett- und Milcheiweißgeh-

alte hatte der KF-Einsatz keinen Einfluss auf den durchschnittlichen FEQ (Gruppe 250: 1,21; Gruppe 150: 1,23). Der Laktosegehalt der Milch betrug in beiden Gruppen 4,7 %. In der Gruppe 250 ergab sich eine tägliche Laktosemenge von 1 258 g pro Tier und in der Gruppe 150 von 1 243 g pro Tier. Die Gruppe 250 hatte mit 241 mg pro L einen höheren Harnstoffgehalt in der Milch als die Gruppe 150 (216 mg pro L).

4.2.2 Einfluss der Laktationsnummer bei variierendem Kraftfuttereinsatz

Die LNRcl hatte keinen signifikanten Einfluss ($p_{\text{LNRcl}} > 0,1$) auf die Milchleistung, die ECM, die Milchfett- und die Milchlaktosemenge (vgl. Tabelle 19). Auch die Wechselwirkung von LNRcl und Gruppe war bei diesen Merkmalen nicht signifikant ($p_{\text{vgrp}*\text{LNRcl}} > 0,1$).

Tabelle 19: Einfluss der Laktationsnummernklasse (LNRcl) 1, 2, 3, ≥ 4 und der LNRcl in Abhängigkeit der Gruppe (vgrp, 250 oder 150) auf die tägliche Milchleistung und die Milchhaltsstoffe in der Laktation (Laktationstag 6 bis 344) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal, pro Tier	p (LNRcl)	p (vgrp* LNRcl)	$\overline{\text{LSmeans}}_{\text{voll}} \pm \overline{\text{SE}}$							
			LNRcl							
			1		2		3		≥ 4	
			250	150	250	150	250	150	250	150
Milchleistung, kg	0,3248	0,4902	24,8	24,3	26,5	26,4	27,4	28,3	27,4	26,7
ECM ¹⁾ , kg	0,2268	0,3439	26,1	25,2	28,0	28,0	28,3	29,7	28,8	28,3
Fettgehalt, %	0,7352	0,4505	4,4	4,4	4,4	4,5	4,3	4,5	4,4	4,5
Fettmenge, g	0,1319	0,3485	1 072	1 050	1 157	1 168	1 158	1 233	1 198	1 175
Eiweißgehalt, %	0,636	0,7033	3,6	3,6	3,7	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7
Eiweißmenge, g	0,0486	0,3770	889	863	962	931	990	1 002	984	953
			b ²⁾		b		a		ab	
Fett-Eiweiß- Quotient	0,3417	0,2675	1,22	1,21	1,19	1,23	1,19	1,23	1,22	1,23
Laktosegehalt, %	< 0,0001	0,9996	4,8	4,8	4,8	4,7	4,7	4,7	4,6	4,6
			a		b		c		d	
Laktosemenge, g	0,3707	0,5196	1 183	1 163	1 272	1 253	1 297	1 324	1 282	1 232
Harnstoff, mg/L	0,629	0,0071	233	232	241	213	241	211	251	207
			b	b	ab	c	ab	c	a	c

¹⁾ energiekorrigierte Milchleistung; ²⁾ unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,1$) zwischen LNRcl oder vgrp*LNRcl

Die tägliche Milchleistung in den LNRcl der beiden Gruppen reichte von 24,3 bis 28,3 kg pro Tier und Tag, die tägliche ECM von 25,2 bis 29,7 kg. Die Milchfettmenge variierte zwischen den LNRcl der Gruppen von täglich 1 050 bis 1 233 g pro Tier. Die tägliche Laktosemenge in den LNRcl der beiden Gruppen betrug 1 163 bis 1 324 g pro Tier. Einen signifikanten Einfluss hatte die LNRcl, unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit, auf die tägliche Milchei-

weißmenge. Tiere in LNRcl 3 gaben mit 990 (Gruppe 250) bzw. 1 002 g pro Tag (Gruppe 150) signifikant mehr Milcheiweiß als jüngere Tiere (LNRcl 1 und 2), die 863 bis 962 g Milcheiweiß pro Tag leisteten.

Weder beeinflusste die LNRcl noch die Wechselwirkung von LNRcl und Gruppe die prozentualen Anteile von Fett und Eiweiß in der Milch. Der Milchfettgehalt lag bei 4,4 bis 4,5 % in den LNRcl der beiden Gruppen, der Milcheiweißgehalt bei 3,6 bis 3,7 %. Folglich wurde auch der FEQ in beiden Gruppen nicht von der LNRcl beeinflusst. Der Laktosegehalt in der Milch fiel mit zunehmender LNRcl signifikant ab. Dieser Effekt war unabhängig von der Gruppe zu beobachten. Milch von Tieren in der LNRcl 1 hatte mit 4,8 % in beiden Gruppen den höchsten Laktosegehalt, Milch von Tieren in der LNRcl ≥ 4 mit jeweils 4,6 % den niedrigsten.

Der Einfluss der LNRcl auf den Harnstoffgehalt der Milch war in den beiden Gruppen signifikant unterschiedlich. In der Gruppe 250 war der Harnstoffgehalt in der LNRcl 1 (233 mg pro L) signifikant niedriger als der Harnstoffgehalt in der LNRcl ≥ 4 (251 mg pro L). In der Gruppe 150 war der Harnstoffgehalt in der LNRcl 1 (232 mg pro L) signifikant größer als in den höheren LNRcl (LNRcl 2 bis ≥ 4 : 213 bis 207 mg pro L).

4.2.3 Laktationsverlauf

Durch die Modellierung der Milchleistung im Laktationsverlauf mit der Funktion von ALI und SCHAEFFER (1987) wurde ein RSD von 2,9 kg erreicht, ein r von 0,92 sowie ein R_{adj}^2 von 0,85.

Zu Laktationsbeginn wurde kein signifikanter Unterschied ($p_{ltg} > 0,1$) zwischen den Gruppen festgestellt. Gruppe 250 gab zu diesem Zeitpunkt 30,9 kg Milch pro Tier und Tag und Gruppe 150 29,5 kg. Abbildung 10 verdeutlicht die anschließende Steigerung der Milchleistung der Tiere in der Gruppe 250 bis zum Erreichen des Maximums von 35,4 kg pro Tag im Abschnitt LTG 28 bis 43. Die Tiere in der Gruppe 150 erreichten maximal 34,3 kg Milch pro Tag (LTG 34 bis 43). Erst in dieser Phase maximaler Milchleistung (ab dem 26. LTG) wurde der Unterschied in der Milchleistung zwischen den beiden Gruppen signifikant. Der Abschnitt des signifikanten Unterschieds dauerte bis zum 76. LTG an. Gruppe 250 gab in diesem Abschnitt pro Tier täglich durchschnittlich 1,8 kg mehr Milch als Gruppe 150.

Nach Erreichen des Leistungsmaximums fiel die Milchleistung in beiden Gruppen kontinuierlich ab. In der Gruppe 250 war die Steigung des Leistungsabfalls größer, weshalb sich die Milchleistungskurven der beiden Gruppen am 188. LTG schnitten. Beim Trockenstellen gaben die Tiere in der Gruppe 250 13,6 kg Milch pro Tag, die Tiere in der Gruppe 150 14,8 kg.

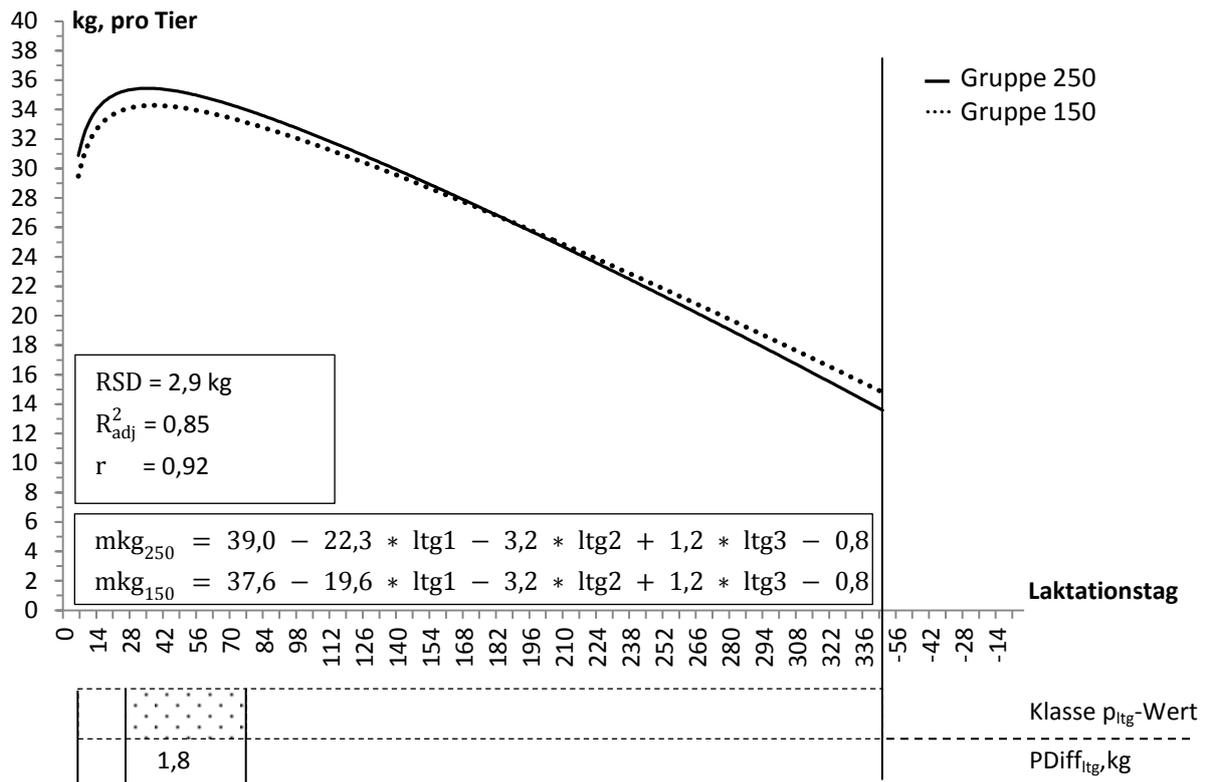


Abbildung 10: Milchleistung (mkg) der Gruppen, Verlauf in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum; der $p_{l_{tg}}$ -Wert des Gruppenvergleichs an den einzelnen Laktationstagen (l_{tg}) wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ []; $0,1 \geq p > 0,05$ []; $0,05 \geq p > 0,01$ []; $p < 0,01$ []; geschätzte Unterschiede (PDiff $_{l_{tg}}$) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt

Die Güte der Modellierung der ECM entsprach der Güte der Modellierung der Milchleistung. Die ECM der beiden Gruppen war zu Beginn des ausgewerteten Laktationsabschnitts maximal und fiel mit fortschreitender Laktation bis zum Trockenstellen ab (vgl. Abbildung 11). Die maximale ECM pro Tier und Tag betrug in der Gruppe 250 37,5 kg und in der Gruppe 150 35,6 kg. Bis zum 11. LTG bestand ein signifikanter Gruppenunterschied. Die Gruppe 250 erreichte in diesem Abschnitt täglich 1,9 kg ECM mehr als die Gruppe 150.

Weil die ECM in der Gruppe 250 stärker abfiel als in der Gruppe 150, schnitten sich die ECM-Kurven der beiden Gruppen am 175. LTG. Signifikant war der Gruppenunterschied wieder vom 340. LTG bis zum Trockenstellen. Die Tiere in der Gruppe 250 gaben in diesem Abschnitt täglich 1,9 kg weniger ECM als die Tiere in der Gruppe 150. Zum Zeitpunkt des Trockenstellens gaben die Tiere in der Gruppe 250 noch 15,6 kg ECM pro Tag, die Tiere in der Gruppe 150 noch 17,5 kg.

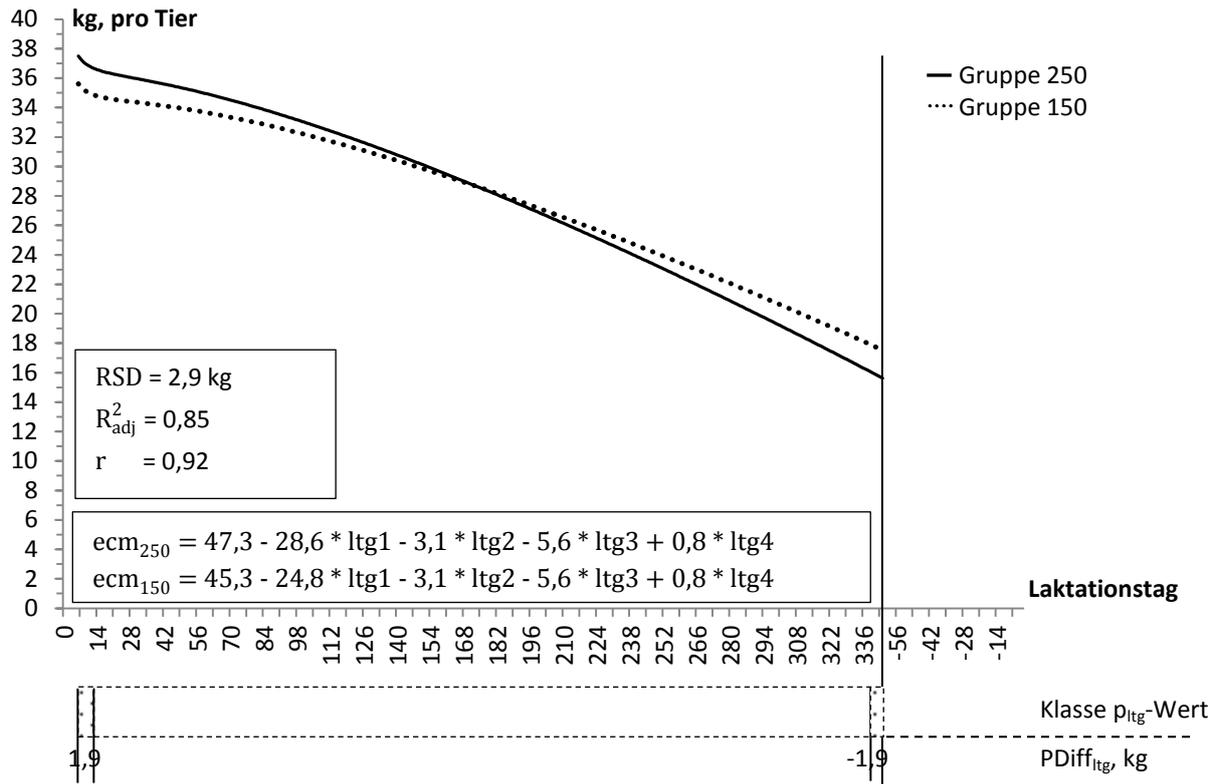


Abbildung 11: Energiekorrigierte Milchleistung (ecm) der Gruppen, Verlauf in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum; der p_{ltg} -Wert des Gruppenvergleichs an den einzelnen Laktationstagen (ltg) wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ [white box], $0,1 \geq p > 0,05$ [dotted box], $0,05 \geq p > 0,01$ [horizontal lines], $p < 0,01$ [checkered box]; geschätzte Unterschiede (PDiff_{ltg}) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt

Zu Laktationsbeginn war der Milchfettgehalt mit 5,5 % in der Gruppe 250 signifikant höher als in der Gruppe 150 (5,2 %). Am 13. LTG kreuzten sich die Kurven der Milchfettgehalte der beiden Gruppen (vgl. Abbildung 12).

Während der Milchfettgehalt in der Gruppe 250 anschließend bis zum minimalen Gehalt von 4,0 % im Abschnitt LTG 33 bis 101 sank, wurde der geringste Milchfettgehalt in der Gruppe 150 im Abschnitt LTG 56 bis 71 mit 4,1 % erreicht. In diesem Abschnitt der geringsten Milchfettgehalte wiesen die Tiere in der Gruppe 250 einen um durchschnittlich 0,2 % signifikant geringeren Milchfettgehalt auf als die Tiere in der Gruppe 150.

Bis zum Trockenstellen stieg der Milchfettgehalt in der Gruppe 250 anschließend etwas stärker an als in der Gruppe 150. Ab dem 250. LTG verliefen die Kurven der Milchfettgehalte beider Gruppen weitestgehend gleich. Zum Trockenstellen hatten die Tiere beider Gruppen einen Fettgehalt von 4,9 % in der Milch.

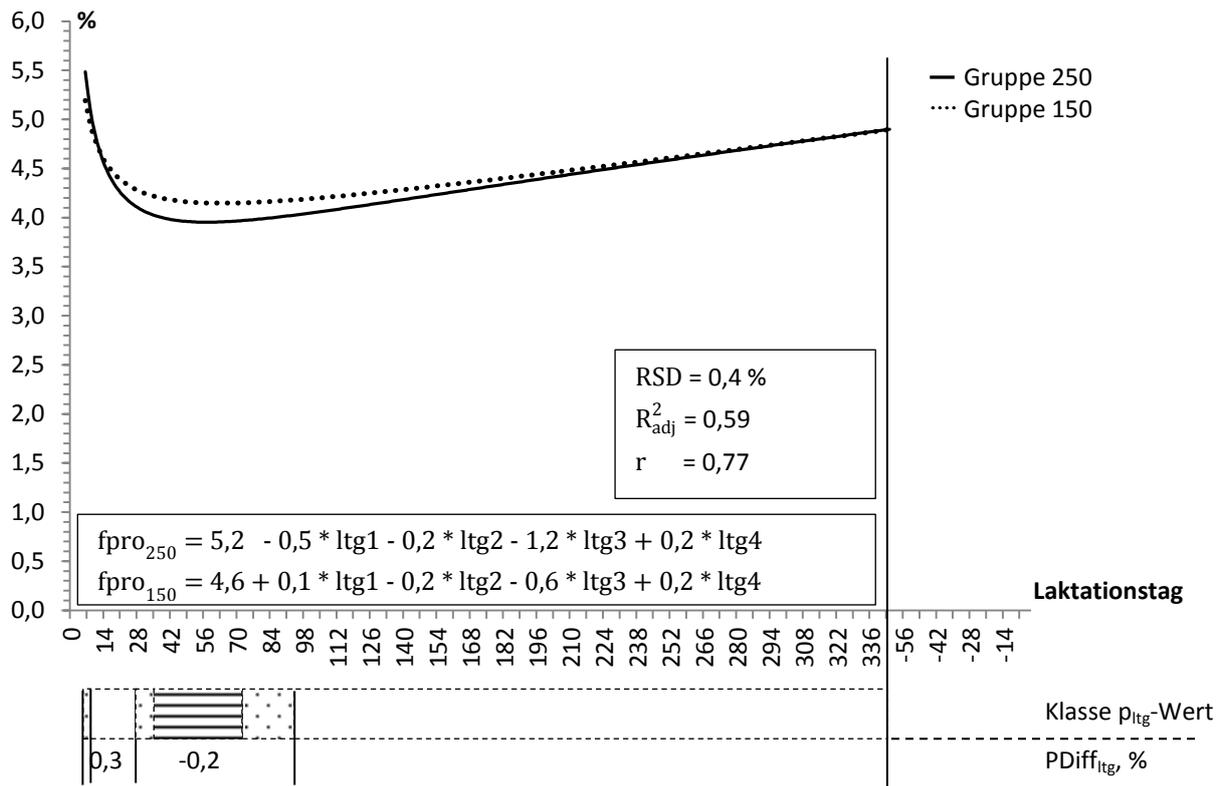


Abbildung 12: MilCHFettgehalt ($fpro$) der Gruppen, Verlauf in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum; der p_{ltg} -Wert des Gruppenvergleichs an den einzelnen Laktationstagen (ltg) wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ □ □ □ □, $0,1 \geq p > 0,05$ □ □ □ □, $0,05 \geq p > 0,01$ ▨ ▨ ▨ ▨, $p < 0,01$ ▩ ▩ ▩ ▩; geschätzte Unterschiede ($PDiff_{ltg}$) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt

Abbildung 13 zeigt, dass der Milcheiweißgehalt in den beiden Gruppen zu Laktationsbeginn gleich hoch war (4,2 %).

In der Gruppe 250 sank der Milcheiweißgehalt anschließend auf einen minimalen Gehalt von 3,3 %, welcher im Abschnitt LTG 19 bis 49 erreicht wurde. Vom 28. bis zum 45. LTG hatte die Gruppe 150 mit 3,2 % den geringsten Milcheiweißgehalt im Laktationsverlauf.

In der sich anschließenden Phase, mit steigendem Milcheiweißgehalt bis zum Trockenstellen, war der Gruppenunterschied im Abschnitt LTG 44 bis 131 signifikant. Die Gruppe 250 hatte in diesem Abschnitt einen durchschnittlich um 0,1 % höheren Milcheiweißgehalt als die Gruppe 150.

Am 202. LTG schnitten sich die Kurven der Milcheiweißgehalte der beiden Gruppen (3,7 %). Zum Zeitpunkt des Trockenstellens hatten die Tiere in der Gruppe 250 einen Milcheiweißgehalt von 3,9 %, die Tiere in der Gruppe 150 von 4,0 %.

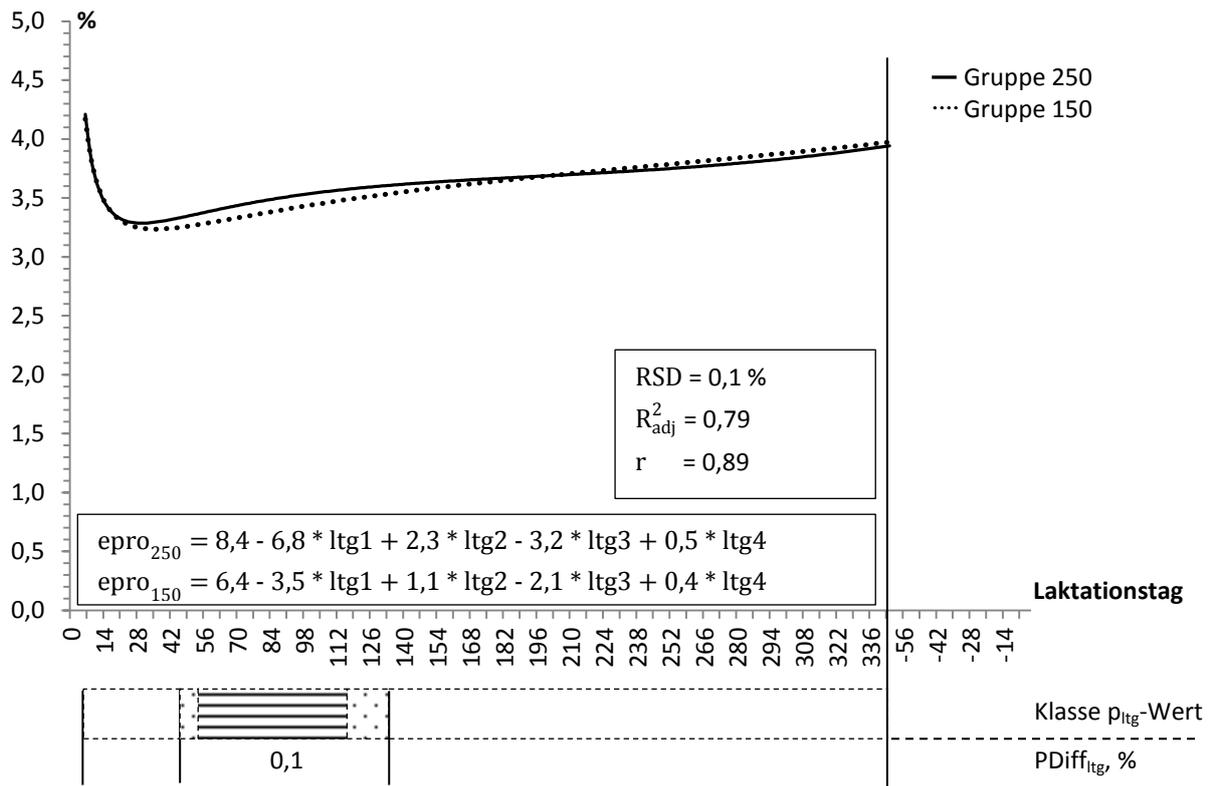


Abbildung 13: Milcheiweißgehalt (epro) der Gruppen, Verlauf in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum; der p_{ltg} -Wert des Gruppenvergleichs an den einzelnen Laktationstagen (ltg) wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ (dotted), $0,1 \geq p > 0,05$ (dashed), $0,05 \geq p > 0,01$ (horizontal lines), $p < 0,01$ (checkered); geschätzte Unterschiede ($PDiff_{ltg}$) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt

Am 6. und 7. LTG war der FEQ in der Gruppe 250 mit 1,30 signifikant höher als in der Gruppe 150 (1,21).

In der Gruppe 250 wurde der FEQ dann rasch maximal (1,32), um anschließend auf ein Minimum von 1,15 im Abschnitt LTG 86 bis 124 zu sinken (vgl. Abbildung 14). Bis zum Trockenstellen stieg der FEQ in der Gruppe 250 dann kontinuierlich auf 1,25.

In der Gruppe 150 wurde der FEQ vom 16. bis zum 22. LTG maximal (1,34) und war dann im Abschnitt LTG 16 bis 151 signifikant höher als in der Gruppe 250 (im Durchschnitt um 0,03). Nach Erreichen des maximalen FEQ in der Gruppe 150 sank der Wert auf 1,20. Dieser Wert wurde über einen langen Zeitraum in der Laktation (LTG 109 bis 196) gehalten.

Anschließend erhöhte sich der FEQ der Gruppe 150 bis zum Trockenstellen geringfügig auf 1,22.

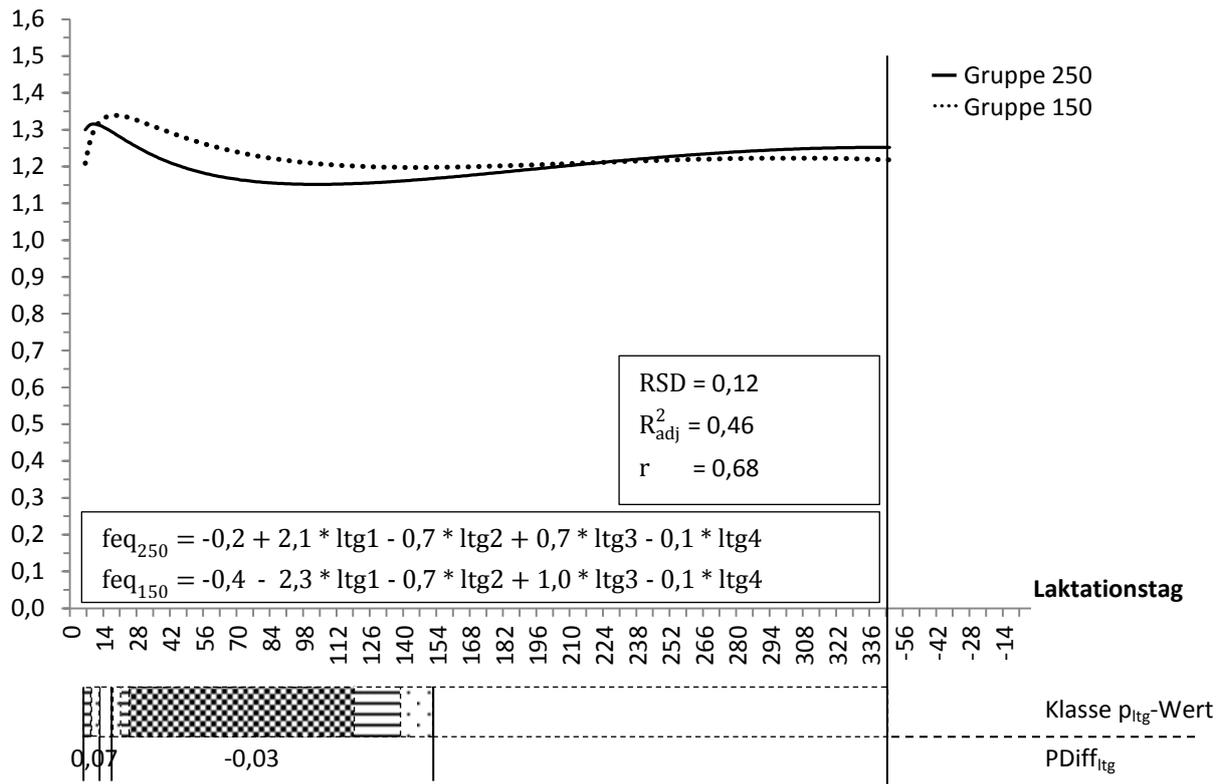


Abbildung 14: Fett-Eiweiß-Quotient (feq) der Gruppen, Verlauf in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum; der p_{ltg} -Wert des Gruppenvergleichs an den einzelnen Laktationstagen (ltg) wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ (white), $0,1 \geq p > 0,05$ (dotted), $0,05 \geq p > 0,01$ (horizontal lines), $p < 0,01$ (checkered); geschätzte Unterschiede ($PDiff_{ltg}$) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt

Wie in Abbildung 15 dargestellt, stieg der Laktosegehalt der Milch in den beiden Gruppen von Laktationsbeginn (je 4,7 %) bis zum Erreichen eines maximalen Gehalts.

In der Gruppe 250 wurde der maximale Laktosegehalt von 4,9 % im Laktationsabschnitt LTG 20 bis 57 erreicht. In der Gruppe 150 betrug der maximale Laktosegehalt 4,8 % (LTG 13 bis 124). Im Zeitraum der maximalen Laktosegehalte hatte die Gruppe 250 vom 14. bis zum 56. LTG einen um 0,1 % signifikant höheren Laktosegehalt als die Gruppe 150.

Im Abschnitt LTG 120 bis 230 lagen die Kurven der Laktosegehalte weitestgehend übereinander. In diesem Laktationsabschnitt sanken die Laktosegehalte in beiden Gruppen von 4,8 auf 4,7 %.

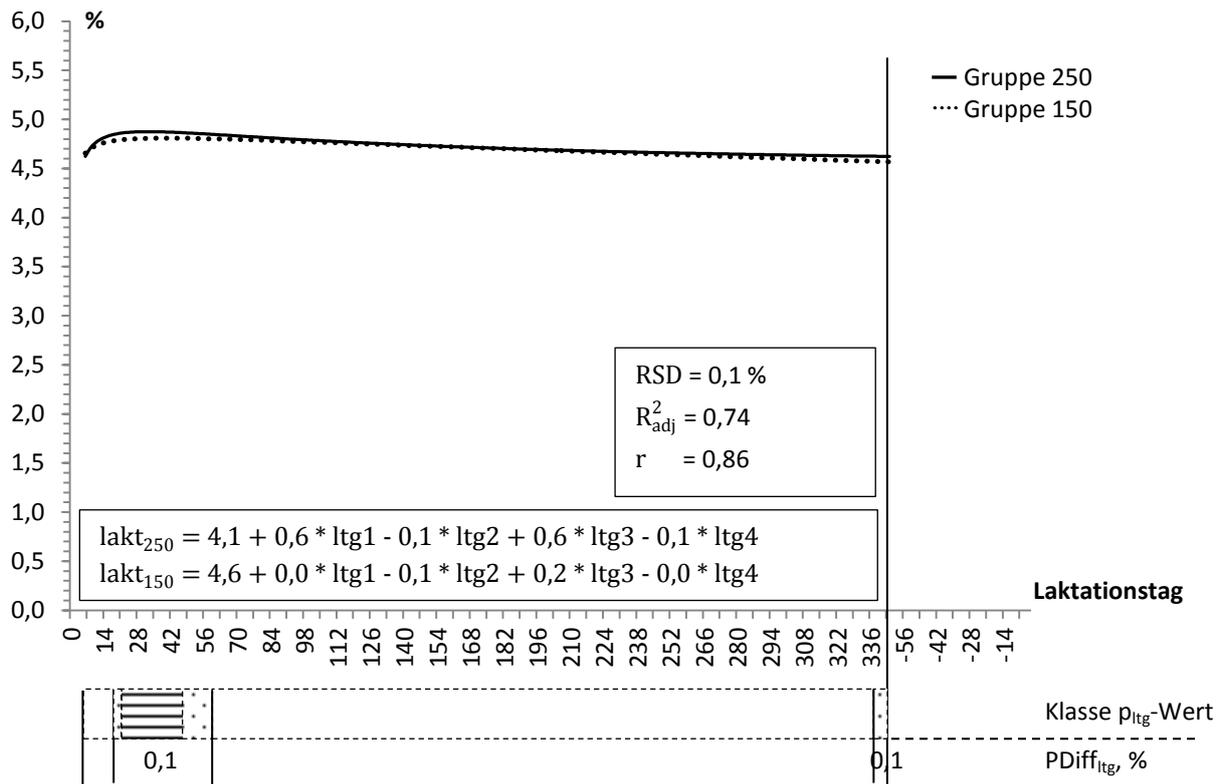


Abbildung 15: Laktosegehalt (lakt) der Gruppen, Verlauf in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum; der p_{ltg} -Wert des Gruppenvergleichs an den einzelnen Laktationstagen (ltg) wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ (white), $0,1 \geq p > 0,05$ (dotted), $0,05 \geq p > 0,01$ (horizontal lines), $p < 0,01$ (checkered); geschätzte Unterschiede ($PDiff_{ltg}$) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt

4.3 Körperkondition und Lebendmasse

Neben dem BCS zur Beurteilung der Körperkondition werden in diesem Unterkapitel Ergebnisse zur Lebendmasse, der mit unterschiedlichem KF-Einsatz gefütterten Tiere, dargelegt.

4.3.1 Gesamtlaktation

Tabelle 20 macht deutlich, dass sich die Gruppe 250 bei Betrachtung der Laktation durch einen um durchschnittlich 0,2 Punkte signifikant ($p_{global} \leq 0,1$) höheren BCS von der Gruppe 150 unterschied. Der BCS in der Gruppe 250 betrug durchschnittlich 3,5 in der Laktation, in der Gruppe 150 3,4. In der Trockenstehphase bestand kein signifikanter Unterschied ($p_{tr} > 0,1$) mehr in der Körperkondition zwischen den beiden Gruppen. Die Tiere in der Gruppe 250 hatten in dieser Phase einen durchschnittlichen BCS von 3,8, die Tiere in der Gruppe 150 von 3,7.

Weder in der Laktation noch in der Trockenstehphase bestand ein signifikanter Gruppenunterschied in der Lebendmasse. Die Tiere in der Gruppe 250 wogen in der Laktation durch-

schnittlich 778 kg, in der Trockenstehphase 851 kg. Die Lebendmasse der Tiere in der Gruppe 150 betrug in der Laktation durchschnittlich 752 kg, in der Trockenstehphase 843 kg.

Tabelle 20: Body Condition Score und durchschnittliche Lebendmasse der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation (Laktationstag (LTG) 6 bis 344) und in der Trockenstehphase (LTG -75 bis -1) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal, pro Tier	250		150		p _{global}	PDiff _{global} ± SE ¹⁾
	LSmeans _{voll} ± SE					
Laktation						
BCS ²⁾	3,55 ± 0,06	3,35 ± 0,06			0,0364	0,19 ± 0,09
Lebendmasse, kg	777 ± 11	752 ± 11			0,1398	
Trockenstehphase						
	LSmeans _{tr} ± SE				p _{tr}	PDiff ± SE
BCS	3,79 ± 0,06	3,69 ± 0,06			0,2643	
Lebendmasse ³⁾ , kg	851 ± 13	843 ± 12			0,6759	

¹⁾ ohne Angabe, wenn $p > 0,1$; ²⁾ LTG 0 bis 344 in der Laktation, in Laktation und Trockenstehphase wurde das Modell_{BCS} verwendet; ³⁾ LTG -30 bis -5 in der Trockenstehphase

4.3.2 Einfluss der Laktationsnummer bei variierendem Krafffuttereinsatz

In der Gruppe 250 und in der Gruppe 150 wurde die Körperkondition der Tiere in der Laktation durch die LNRcl auf unterschiedliche Weise beeinflusst ($p_{vgrp * LNRcl} \leq 0,1$), wie Tabelle 21 verdeutlicht.

Tabelle 21: Einfluss der Laktationsnummernklasse (LNRcl) 1, 2, 3, ≥ 4 und der LNRcl in Abhängigkeit der Gruppe (vgrp, 250 oder 150) auf den Body Condition Score und die durchschnittliche Lebendmasse in der Laktation (Laktationstag (LTG) 6 bis 344) und in der Trockenstehphase (LTG -75 bis -1) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal, pro Tier	p (LNRcl)	p (vgrp* LNRcl)	LSmeans _{voll} ± SE							
			LNRcl							
			1		2		3		≥ 4	
			250	150	250	150	250	150	250	150
Laktation										
BCS ¹⁾	0,6100	0,0721	3,5 abc ²⁾	3,5 ab	3,5 ab	3,3 cd	3,6 a	3,3 d	3,5 a	3,3 bcd
Lebendmasse, kg	< 0,0001	0,141	708 d	698	782 c	736	807 b	763	812 a	813
Trockenstehphase										
			LSmeans _{tr} ± SE							
BCS	0,2939	0,6027	3,7	3,6	3,8	3,6	3,8	3,9	3,9	3,7
Lebendmasse, kg ³⁾	0,0002	0,2048	782 b	794	870 a	832	870 a	874	882 a	873

¹⁾ LTG 0 bis 344 in der Laktation, in Laktation und Trockenstehphase wurde das Modell_{BCS} verwendet; ²⁾ unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,1$) zwischen LNRcl oder vgrp*LNRcl; ³⁾ LTG -30 bis -5 in der Trockenstehphase

In der Gruppe 250 war der BCS in den LNRcl nicht signifikant verschieden und reichte von durchschnittlich 3,5 bis 3,6. In der Gruppe 150 hingegen unterschied sich der BCS in den LNRcl teilweise signifikant voneinander. Die Tiere in der LNRcl 1 der Gruppe 150 hatten in der Laktation mit 3,5 einen signifikant höheren BCS als Tiere in den LNRcl 2 und 3 (beide 3,3). Deshalb wurde beim Vergleich des durchschnittlichen BCS in der Laktation zwischen den Gruppe 250 und der Gruppe 150 in den einzelnen LNRcl erst ab der LNRcl 2 ein signifikanter Gruppenunterschied festgestellt. Der BCS der Erstkalbskühe betrug in beiden Gruppen 3,5. In der Trockenstehphase beeinflusste die LNRcl den BCS weder in der Gruppe 250 noch in der Gruppe 150 signifikant. Der durchschnittliche BCS in den einzelnen LNRcl beider Gruppen reichte in der Trockenstehphase von 3,6 bis 3,9.

Die Lebendmasse entwickelte sich mit fortschreitender LNRcl im Durchschnitt der Laktation in den beiden Gruppen gleich. Die Lebendmasse stieg von LNRcl 1 bis ≥ 4 mit jeder Klasse signifikant an. Während in der Laktation die Erstkalbskühe 708 (Gruppe 250) bzw. 698 kg (Gruppe 150) wogen, erreichten die Tiere in LNRcl ≥ 4 eine durchschnittliche Lebendmasse von 812 (Gruppe 250) bzw. 813 kg (Gruppe 150). Auch in der Trockenstehphase hatte die LNRcl, unabhängig von der Gruppe, einen signifikanten Einfluss auf die durchschnittliche Lebendmasse. In dieser Phase waren die Erstkalbskühe signifikant leichter als die Tiere in den jeweils höheren LNRcl.

4.3.3 Laktationsverlauf

In Abbildung 16 sind die LSmeans des BCS der beiden Gruppen in den 13 Laktationsabschnitten (Laktation und Trockenstehphase) dargestellt. Im ersten Abschnitt nach der Kalbung (LTG 0 bis 29) waren die Tiere in den beiden Gruppen nicht signifikant ($p_{\text{BCS}} > 0,1$) unterschiedlich konditioniert.

Der BCS in der Gruppe 250 sank anschließend bis zum dritten Laktationsabschnitt (LTG 60 bis 89) auf 3,4 ab. Dieser minimale BCS in der Gruppe 250 im Verlauf der Laktation blieb auch im nächsten Abschnitt (LTG 90 bis 119) bestehen. Dann stieg der BCS in der Gruppe 250 schrittweise auf 3,7. Dieser BCS wurde ab dem Abschnitt LTG 240 bis 269 ermittelt und blieb bis zum Trockenstellen bestehen. In beiden Abschnitten der Trockenstehphase wurde ein BCS von 3,8 in der Gruppe 250 festgestellt.

Die Tiere in der Gruppe 150 hatten in den zwei Abschnitten von LTG 60 bis 149 den geringsten BCS (3,2). Anschließend stieg der BCS kontinuierlich bis zum Trockenstellen auf 3,6. Auch nach dem Trockenstellen legten die Tiere in der Gruppe 150 weiter an Kondition zu. Im

Abschnitt LTG -75 bis -31 betrug der BCS 3,6. Im letzten Abschnitt vor der Kalbung betrug der BCS in der Gruppe 150 dann 3,7.

Signifikant war der Unterschied der Körperkondition zwischen den Gruppen lediglich in der Laktation, von LTG 30 bis 299. In diesem Laktationsabschnitt hatten die Tiere in der Gruppe 250 durchschnittlich einen um 0,2 Punkte höheren BCS. Maximal war der Unterschied in den zwei Abschnitten von LTG 150 bis 209 (Gruppenunterschied 0,3 Punkte).

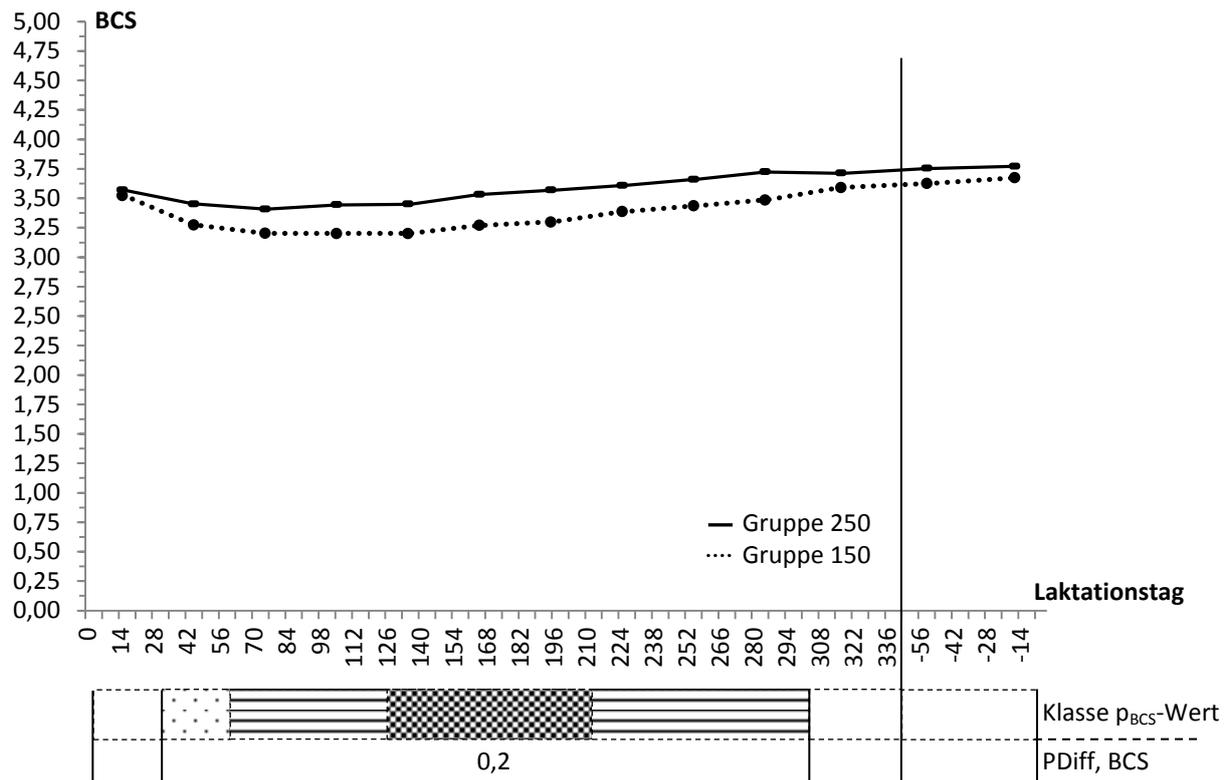


Abbildung 16: Body Condition Score (BCS) der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; der p_{BCS} -Wert des Gruppenvergleichs in den einzelnen Laktationsabschnitten wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ [white box], $0,1 \geq p > 0,05$ [light gray box], $0,05 \geq p > 0,01$ [horizontal lines], $p < 0,01$ [checkered box]; geschätzte Unterschiede (PDiff) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt, getrennt nach Laktation und Trockenstehphase

Da der BCS der Erstkalbskühe sich nicht signifikant, der BCS der Mehrkalbskühe (ab LNRcl 2) sich aber signifikant zwischen den Gruppe 250 und der Gruppe 150 unterschied in der Laktation, zeigt Abbildung 17 den Verlauf des BCS der beiden Gruppen für die Erstkalbskühe und Abbildung 18 den Verlauf des BCS der beiden Gruppen für die Mehrkalbskühe.

Der BCS der Erstkalbskühe verlief über die gesamte Laktation in den beiden Gruppen nahezu

konstant (vgl. Abbildung 17). Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bestanden hierbei zu keinem Zeitpunkt.

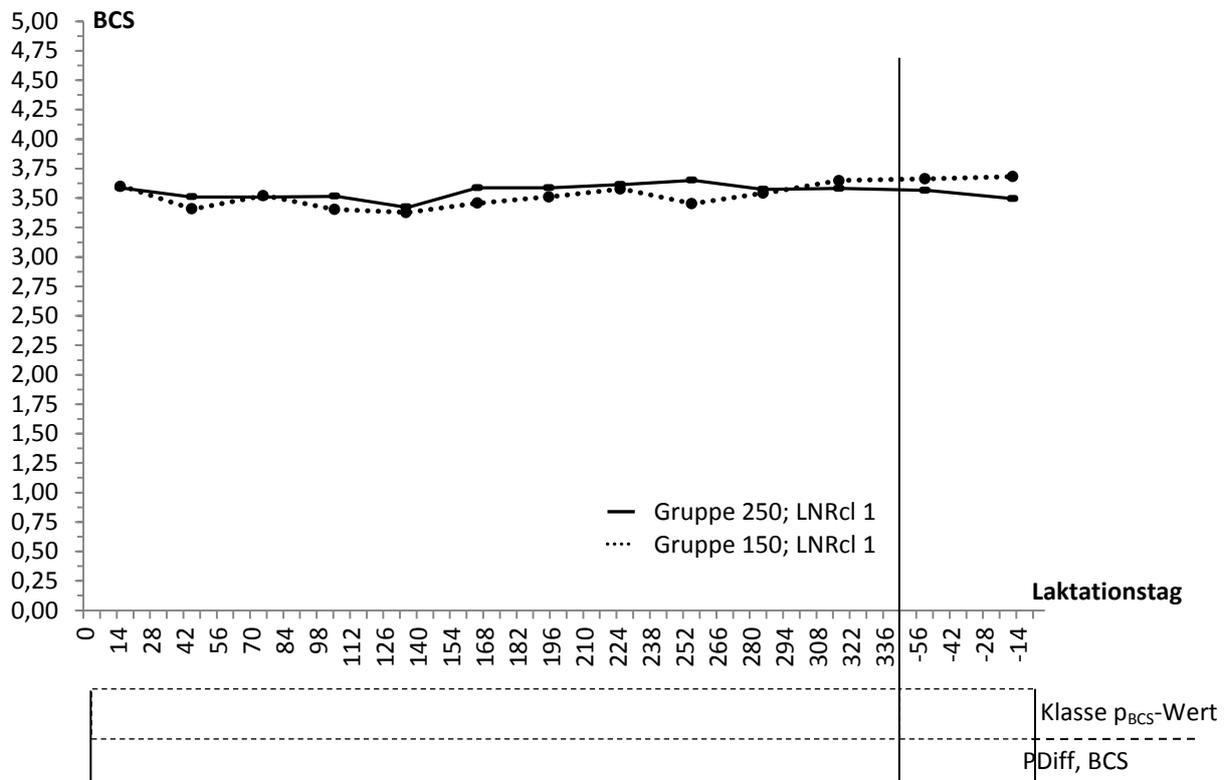


Abbildung 17: Body Condition Score (BCS) von Erstkalbskühen (LNRcl 1) der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; der p_{BCS} -Wert des Gruppenvergleichs in den einzelnen Laktationsabschnitten wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ □ $0,1 \geq p > 0,05$ ▤ $0,05 \geq p > 0,01$ ▨ $p < 0,01$ ▩; geschätzte Unterschiede (PDiff) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt, getrennt nach Laktation und Trockenstehphase

Den höchsten BCS erreichten die Mehrkalbskühe (ab LNRcl 2) in den beiden Gruppen vor der Kalbung, wie Abbildung 18 zeigt. In der Gruppe 250 lag der BCS zu diesem Zeitpunkt durchschnittlich bei 3,8. In der Gruppe 150 lag der BCS bei durchschnittlich 3,7. Nach der Kalbung unterschied sich der BCS in den Gruppen wenig und lag bei 3,6 (Gruppe 250) bzw. 3,5 (Gruppe 150).

Anschließend verloren die Mehrkalbskühe in beiden Gruppen Körperkondition. Die Mehrkalbskühe der Gruppe 250 hatten im Laktationsabschnitt LTG 60 bis 149 mit 3,4 den geringsten BCS im Verlauf der gesamten Laktation. Bei den Tieren dieser Gruppe reduzierte sich der BCS folglich innerhalb von 90 Tagen um 0,4 Punkte. Die Mehrkalbskühe in der Gruppe 150 hatten die geringste Körperkondition im Verlauf der gesamten Laktation ebenfalls im Abschnitt LTG 60 bis 149. Der BCS dieser Tiere lag in diesem Abschnitt bei durchschnittlich 3,1. Somit reduzierte sich der BCS der Mehrkalbskühe in der Gruppe 150 in einem Zeitraum

von 90 Tagen um 0,6 Punkte. Zum Trockenstellen erreichten die Mehrkalbskühe einen BCS von 3,8 (Gruppe 250) bzw. 3,6 (Gruppe 150). Signifikant war der Unterschied des BCS zwischen den Mehrkalbskühen beider Gruppen ab dem 30. LTG.

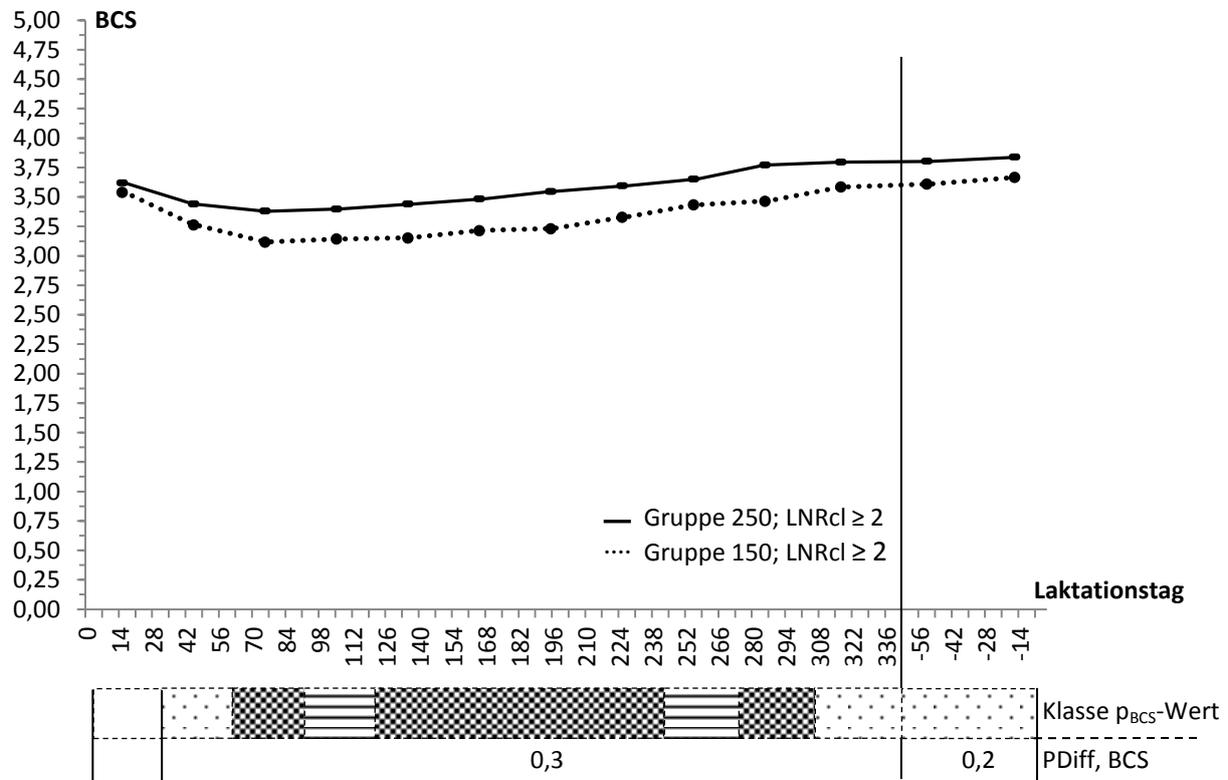


Abbildung 18: Body Condition Score (BCS) von Mehrkalbskühen ($LNRcl \geq 2$) der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; der p_{BCS} -Wert des Gruppenvergleichs in den einzelnen Laktationsabschnitten wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ □ $0,1 \geq p > 0,05$ ▤ $0,05 \geq p > 0,01$ ▨ $p < 0,01$ ▩ ; geschätzte Unterschiede (PDiff) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt, getrennt nach Laktation und Trockenstehphase

Durch die Modellierung der Lebendmasse im Laktationsverlauf mit der Funktion von ALI und SCHAEFFER (1987), unter Beachtung des Einflusses der $LNRcl$, wurde ein RSD von 24 kg erreicht, ein r von 0,95 sowie ein R^2_{adj} von 0,89 (vgl. Abbildung 19).

Zu Beginn der Laktation wogen die Tiere in der Gruppe 250 mit 738 kg etwa gleich viel wie die Tiere in der Gruppe 150 (731 kg). Anschließend verloren die Tiere in den beiden Gruppen Lebendmasse. In der Gruppe 250 wurde die geringste Lebendmasse im Laktationsverlauf im Abschnitt LTG 16 bis 29 erreicht und betrug durchschnittlich 726 kg pro Tier. Die geringste Lebendmasse in der Gruppe 150 im Laktationsverlauf betrug durchschnittlich 716 kg pro Tier und wurde im Abschnitt LTG 28 bis 49 gemessen. Nach Erreichen einer minimalen Lebendmasse steigerten die Tiere in den beiden Gruppen bis zum Trockenstellen kontinuierlich ihre

Lebendmasse, in der Gruppe 250 stärker als in der Gruppe 150. Deshalb war der Gruppenunterschied in der zweiten Laktationshälfte, ab dem 160. LTG bis zum Trockenstellen, signifikant ($p_{ltg} \leq 0,1$). Zum Trockenstellen wogen die Tiere in der Gruppe 250 durchschnittlich 864 kg, die Tiere in der Gruppe 150 durchschnittlich 828 kg. In der Trockenstehphase wurde die Lebendmasse nur einmal (zwischen 30 und 10 Tage *a. p.*) erfasst. Die Tiere in den beiden Gruppen wogen in diesem Abschnitt etwa gleich viel (Gruppe 250: 851 kg; Gruppe 150: 843 kg).

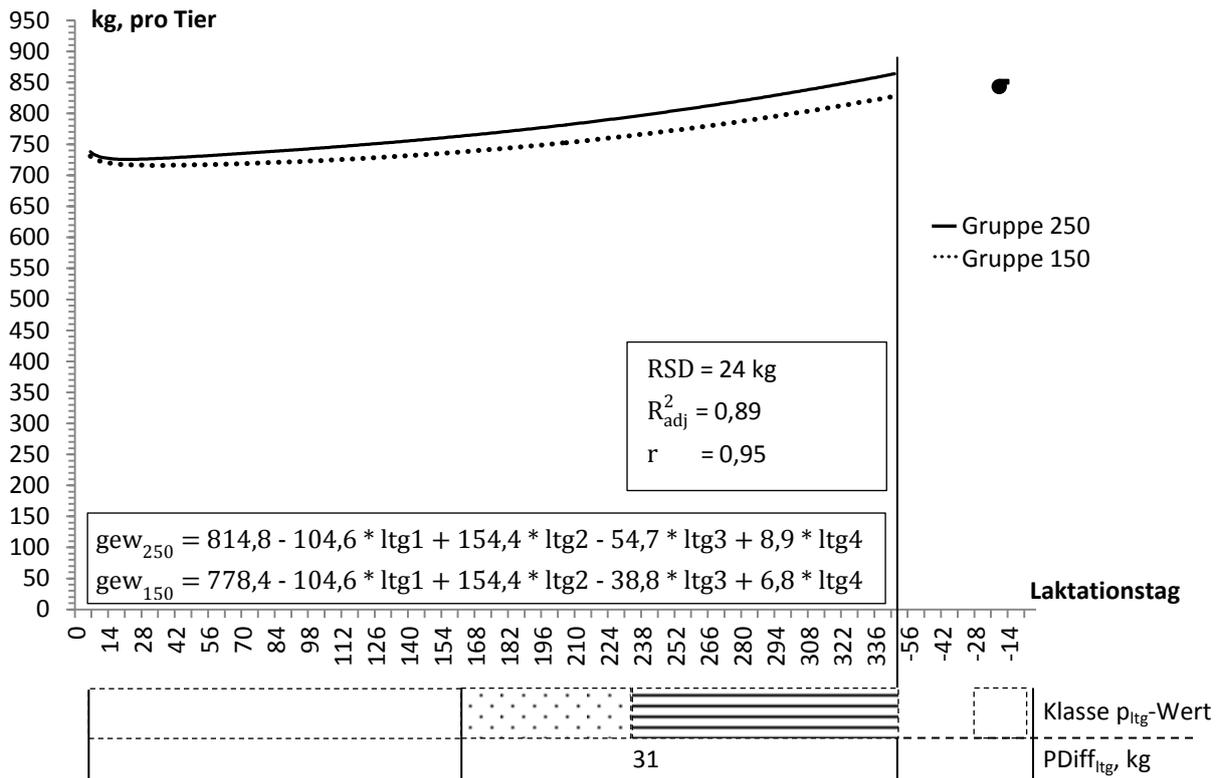


Abbildung 19: Lebendmasse (gew) der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; der p_{ltg} -Wert des Gruppenvergleichs in den einzelnen Laktationsabschnitten wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ (white box), $0,1 \geq p > 0,05$ (dotted box), $0,05 \geq p > 0,01$ (horizontal lines), $p < 0,01$ (checkered box); geschätzte Unterschiede (PDiff_{ltg}) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt, getrennt nach Laktation und Trockenstehphase

4.4 Energieversorgung

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse des Energiesaldos präsentiert, berechnet nach GfE (2001; vgl. Kapitel 3.5.3). Außerdem werden die drei Einflussgrößen auf den Energiesaldo, die Energieaufnahme, der Energiebedarf für die Milchleistung und der weitere Energiebedarf (für Erhaltung, und evtl. Trächtigkeit und/oder evtl. maternales Wachstum), der Gruppe 250 und der Gruppe 150 vergleichend gegenübergestellt.

4.4.1 Gesamtlaktation

Beide Gruppen hatten im Durchschnitt der Laktation und Trockenstehphase je einen positiven Energiesaldo (vgl. Tabelle 22). In der Laktation hatte Gruppe 250 mit durchschnittlich 10,8 MJ NEL pro Tier und Tag einen um 8,4 MJ NEL signifikant ($p_{\text{global}} \leq 0,1$) höheren Energiesaldo als Gruppe 150 (3,8 MJ NEL). In der Trockenstehphase war die Reihenfolge umgekehrt – Gruppe 250 hatte in dieser Phase einen signifikant ($p_{\text{tr}} \leq 0,1$) geringeren Energiesaldo (3,0 MJ NEL pro Tag) als Gruppe 150 (11,2 MJ NEL).

Tabelle 22: Merkmale des täglichen Energiesaldos der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation (Laktationstag (LTG) 6 bis 344) und in der Trockenstehphase (LTG -75 bis -1) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal, pro Tier	250 150		p_{global}	PDiff _{global} ± SE ¹⁾
	LSmeans _{voll} ± SE			
Laktation				
Energiesaldo, MJ NEL	10,8 ± 1,7	3,8 ± 1,6	0,0006	8,4 ± 2,3
Futter, MJ NEL	148 ± 2	140 ± 2	0,0052	7 ± 3
Kraftfutter, MJ NEL	45 ± 2	26 ± 2	< 0,0001	20 ± 1
Grobfutter, MJ NEL	103 ± 2	115 ± 2	< 0,0001	-12 ± 2
Milchenergie, MJ NEL	89 ± 3	89 ± 2	0,6643	
weiterer Energiebedarf, MJ NEL ²⁾	49 ± 1	47 ± 1	0,0649	1 ± 1
Trockenstehphase				
	LSmeans _{tr} ± SE		p_{tr}	PDiff ± SE
Energiesaldo, MJ NEL ³⁾	3,2 ± 3,0	11,0 ± 2,5	0,0310	-7,8 ± 3,4
Futter, MJ NEL	74 ± 2	79 ± 2	0,0209	-6 ± 2
weiterer Energiebedarf, MJ NEL ³⁾	63 ± 1	63 ± 1	0,4623	

¹⁾ ohne Angabe, wenn $p > 0,1$; ²⁾ für Erhaltung, und evtl. Trächtigkeit und/oder evtl. maternales Wachstum; ³⁾ LTG -30 bis -5 in der Trockenstehphase

Die Energiemenge, welche mit dem Futter aufgenommen wurde, unterschied sich in der Laktation pro Tier signifikant um 7 MJ NEL täglich zwischen den beiden Gruppen, trotz nicht signifikant unterschiedlicher Futteraufnahme (vgl. Kapitel 4.1.1). Die Tiere in der Gruppe 250 erreichten in der Laktation eine Energieaufnahme von durchschnittlich 148 MJ NEL pro Tag, die Tiere in der Gruppe 150 erreichten 140 MJ NEL. Die Tiere in der Gruppe 150 nahmen während der Laktation täglich 12 MJ NEL mehr und damit signifikant mehr Energie aus dem Grobfutter auf als die Tiere in der Gruppe 250. Die Energieaufnahme aus dem KF der Tiere in der Gruppe 150 war jedoch signifikant um 20 MJ NEL pro Tag geringer als jene der Tiere in der Gruppe 250.

In der Trockenstehphase nahmen die Tiere in der Gruppe 250 mit täglich 74 MJ NEL signifikant weniger Energie auf als die Tiere in der Gruppe 150 (79 MJ NEL).

Die Tiere der beiden Gruppen gaben in der Laktation im Durchschnitt pro Tag gleich viel Energie (89 MJ NEL) über die Milch ab. Der aufsummierte, weitere Energiebedarf (für Erhaltung, evtl. Trächtigkeit, evtl. maternales Wachstum) war im Durchschnitt der Laktation in der Gruppe 250 mit täglich 49 MJ NEL signifikant höher als in der Gruppe 150 (47 MJ NEL).

4.4.2 Einfluss der Laktationsnummer bei variierendem Kraftfutareinsatz

Der durchschnittliche, tägliche Energiesaldo in der Laktation unterschied sich signifikant ($p_{\text{LNRcl}} \leq 0,1$) zwischen den LNRcl. Die Struktur der paarweisen Unterschiede zwischen den einzelnen LNRcl war hierbei, wie Tabelle 23 zeigt, in der Gruppe 250 und in der Gruppe 150 verschieden ($p_{\text{vgrp} * \text{LNRcl}} \leq 0,1$).

Tabelle 23: Einfluss der Laktationsnummernklasse (LNRcl) 1, 2, 3, ≥ 4 und der LNRcl in Abhängigkeit der Gruppe (vgrp, 250 oder 150) auf den täglichen Energiesaldo in der Laktation (Laktationstag (LTG) 6 bis 344) und in der Trockenstehphase (LTG -75 bis -1) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal, pro Tier	p (LNRcl)	p (vgrp* LNRcl)	$\overline{\text{LSmeans}}_{\text{voll}} \pm \overline{\text{SE}}$							
			LNRcl							
			1		2		3		≥ 4	
			250	150	250	150	250	150	250	150
Laktation										
Energiesaldo, MJ NEL	0,0329	0,0997	3,8 cd ¹⁾	-1,2 d	16,1 a	4,0 cd	12,7 ab	2,1 d	10,7 bc	10,3 bc
Futter, MJ NEL	< 0,0001	0,3622	136 c	126	152 b	139	151 ba	145	152 a	150
Kraftfutter, MJ NEL	0,0007	0,6447	41 b	22	47 a	26	46 a	27	46 a	28
Grobfutter, MJ NEL	< 0,0001	0,1022	94 d	106	105 c	113	106 b	118	107 a	122
Milchenergie, MJ NEL	0,2164	0,3333	83	81	89	89	90	95	92	90
weiterer Ener- giebedarf, MJ NEL ²⁾	0,3595	0,4362	50	48	49	46	49	47	48	48
Trockenstehphase										
			$\overline{\text{LSmeans}}_{\text{tr}} \pm \overline{\text{SE}}$							
Energiesaldo, MJ NEL ³⁾	0,9792	0,3067	1,1	15,0	7,6	7,5	0,6	11,5	3,7	10,1
Futter, MJ NEL	0,8896	0,3346	78	78	75	78	72	79	71	82
weiterer Ener- giebedarf, MJ NEL ³⁾	0,0535	0,3480	65 a	64	63 b	61	63 b	63	63 ab	63

¹⁾ unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,1$) zwischen LNRcl; ²⁾ für Erhaltung, und evtl. Trächtigkeit und/oder evtl. maternales Wachstum; ³⁾ LTG -30 bis -5 in der Trockenstehphase

In der Gruppe 250 waren in allen LNRcl im Durchschnitt der Laktation die täglichen Energiesalden pro Tier positiv. Während die Erstkalbskühe in dieser Gruppe mit durchschnittlich 3,8 MJ NEL pro Tag in der Laktation den geringsten Energiesaldo hatten, wiesen die Tiere in LNRcl 2 mit 16,1 MJ NEL den höchsten Energiesaldo auf. Der Saldo in LNRcl 3 war mit 12,7 MJ NEL pro Kuh und Tag signifikant höher als der Energiesaldo der Erstkalbskühe, unterschied sich aber nicht vom Energiesaldo der Tiere in LNRcl 2 oder ≥ 4 .

In der Gruppe 150 hatten die Erstkalbskühe im Durchschnitt der Laktation einen negativen Energiesaldo (-1,2 MJ NEL pro Tag). Die Tiere in den beiden nächsten LNRcl (LNRcl 2: 4,0 MJ NEL; LNRcl 3: 2,1 MJ NEL pro Tag) hatten zwar einen positiven Energiesaldo, dieser unterschied sich aber nicht signifikant vom durchschnittlichen, täglichen Energiesaldo der Erstkalbskühe in der Laktation. Erst die Tiere in LNRcl ≥ 4 in der Gruppe 150 wiesen mit 10,3 MJ NEL täglich einen deutlich höheren Energiesaldo auf.

In der Trockenstehphase wurde kein signifikanter Einfluss der LNRcl auf den Energiesaldo der Gruppe 250 oder der Gruppe 150 ermittelt. Der Energiesaldo der Tiere in der Gruppe 250 schwankte in den LNRcl im Durchschnitt der Trockenstehphase zwischen 0,3 MJ NEL pro Tag (LNRcl 1) und 7,6 MJ NEL (LNRcl 2). In der Gruppe 150 wurden in der Trockenstehphase durchschnittliche Energiesalden in den einzelnen LNRcl zwischen 7,9 MJ NEL pro Tier und Tag (LNRcl 2) und 15,1 MJ NEL (LNRcl 1) berechnet.

Die LNRcl hatte auf die durchschnittliche Energieaufnahme in der Laktation einen signifikanten Einfluss, unabhängig von der Gruppe, wie Tabelle 23 zeigt. Erstkalbskühe (LNRcl 1) nahmen signifikant weniger Energie mit dem Futter, mit dem KF sowie mit dem Grobfutter auf. Die Energieaufnahme aus dem Grobfutter steigerte sich bis zur LNRcl ≥ 4 jeweils signifikant. In der Gruppe 150 war die Steigerung deutlicher. Numerisch steigerten die Tiere in der Gruppe 150 ihre Energieaufnahme aus dem Grobfutter von der LNRcl 1 bis zur LNRcl ≥ 4 . In der Gruppe 250 wurde bereits in LNRcl 2 nahezu die Energie aus dem Grobfutter aufgenommen, die auch Tiere in LNRcl 3 oder LNRcl ≥ 4 aufnahmen.

In der Trockenstehphase hatte die LNRcl keinen signifikanten Einfluss auf die Energieaufnahme der Gruppe 250 und der Gruppe 150. Im Wesentlichen spiegelten die Ergebnisse zur Energieaufnahme in den einzelnen LNRcl die Ergebnisse zur Futtermittelaufnahme wider (vgl. Kapitel 4.1.2).

In der Laktation hatte die LNRcl weder einen signifikanten Einfluss auf die Milchenergiemenge noch auf den weiteren Energiebedarf (Erhaltung, evtl. Trächtigkeit, evtl. maternales Wachstum) der beiden Gruppen. In der Trockenstehphase wandten die Erstkalbskühe der bei-

den Gruppen signifikant mehr Energie für den weiteren Bedarf auf (Gruppe 250: 65 MJ NEL pro Kuh; Gruppe 150: 64 MJ NEL) als Tiere in den LNRcl 2 oder 3 (61 bis 63 MJ NEL pro Tag).

4.4.3 Laktationsverlauf

Die Modellierung des Energiesaldos im Laktationsverlauf mit der Funktion von ALI und SCHAEFFER (1987), dargestellt in Abbildung 20, war mit folgender Güte möglich: RSD = 9,9 MJ NEL, $R^2_{adj} = 0,76$ und $r = 0,87$.

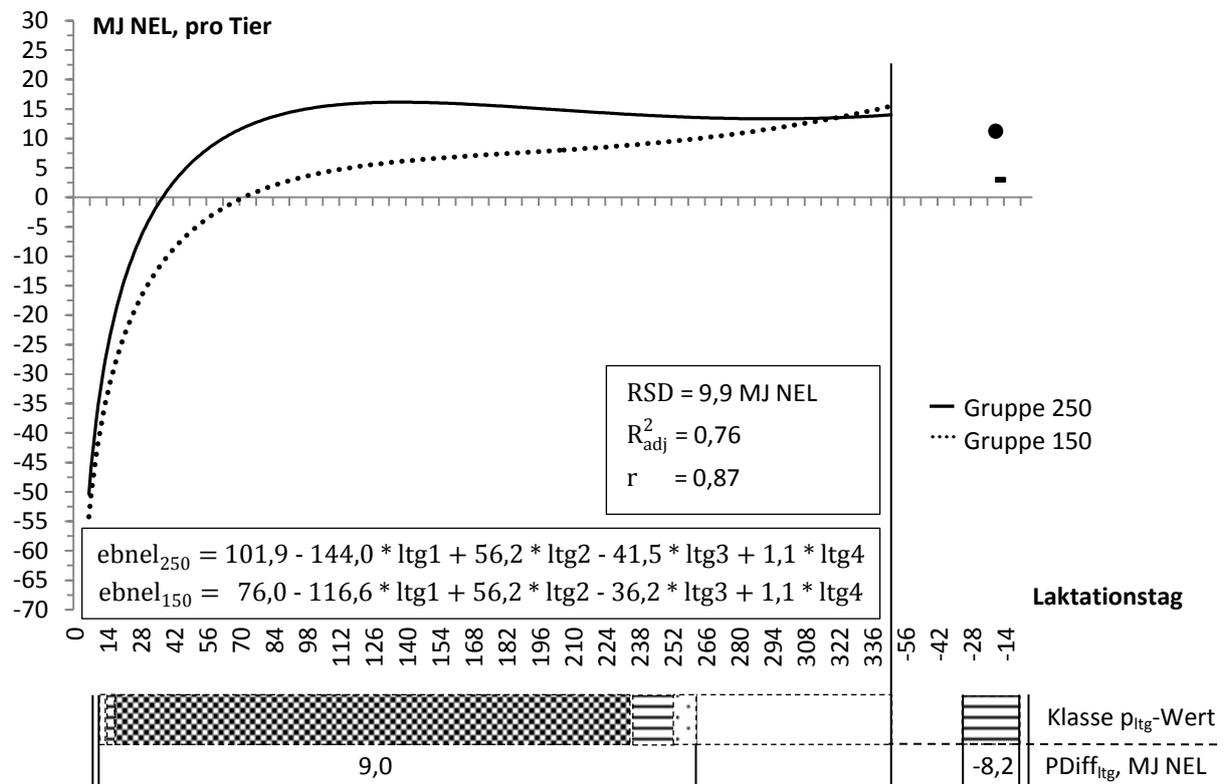


Abbildung 20: Energiesaldo (ebnel) der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; der p_{ltg} -Wert des Gruppenvergleichs an den einzelnen Laktationstagen (ltg) wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ □ □ □ □ $0,1 \geq p > 0,05$ □ □ □ □ $0,05 \geq p > 0,01$ ▨ ▨ ▨ ▨ $p < 0,01$ ▩ ▩ ▩ ▩ ; geschätzte Unterschiede (PDiff_{ltg}) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt, getrennt nach Laktation und Trockenstehphase

Der tägliche Energiesaldo war in der Gruppe 250 und in der Gruppe 150 zu Laktationsbeginn am negativsten. Ein signifikanter Gruppenunterschied im Energiesaldo bestand zu diesem Zeitpunkt nicht ($p_{ltg} > 0,1$). Die Tiere in der Gruppe 250 hatten zu Laktationsbeginn einen Energiesaldo von -50,4 MJ NEL pro Tag, die Tiere in der Gruppe 150 von -54,2 MJ NEL. Mit fortschreitender Laktation glichen die Tiere in der Gruppe 250 ihren negativen Energiesaldo

schneller aus als die Tiere in der Gruppe 150. Signifikant war der Gruppenunterschied im Abschnitt LTG 9 bis 261. Durchschnittlich hatte die Gruppe 250 in diesem Abschnitt einen um 9,0 MJ NEL pro Tier und Tag höheren Energiesaldo als die Gruppe 150. Einen ausgeglichenen Energiesaldo erreichten die Tiere in der Gruppe 250 am 37. LTG, die Tiere in der Gruppe 150 am 72. LTG. Vom 6. LTG bis zum Erreichen eines ausgeglichenen Energiesaldos mobilisierten die Tiere in der Gruppe 250 in Summe 548 MJ NEL, die Tiere in der Gruppe 150 981 MJ NEL.

Nach Erreichen des ausgeglichenen Energiesaldos hatten die Tiere in der Gruppe 250 bis zum Trockenstellen einen positiven Energiesaldo. Der maximale Energiesaldo (16,2 MJ NEL pro Tier und Tag) wurde in der Gruppe 250 im Abschnitt LTG 133 bis 141 festgestellt. Anschließend verringerte sich der positive Energiesaldo etwas und betrug zum Trockenstellen dann täglich 14,0 MJ NEL pro Tier. Die Tiere in der Gruppe 150 steigerten ihren Energiesaldo, ab Erreichen eines ausgeglichenen Energiesaldos, kontinuierlich bis zum Trockenstellen auf 15,5 MJ NEL pro Tag.

In der Trockenstehphase, von LTG -30 bis -5, hatten die Tiere in der Gruppe 250 mit durchschnittlich 3,0 MJ NEL pro Tag einen signifikant geringeren Energiesaldo als die Tiere in der Gruppe 150 (11,2 MJ NEL).

Da die Interaktion $vgrp * LNRcl$ signifikant war, wurden die Kurven der Energiesalden für die Erst- und Mehrkalbskühe in der Gruppe 250 und in der Gruppe 150 separat berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 21 und Abbildung 22 dargestellt.

Die Erstkalbskühe in der Gruppe 250 und der Gruppe 150 starteten nach der Kalbung am 6. LTG mit einem negativen Energiesaldo in etwa gleicher Höhe (Gruppe 250: -33,8 MJ NEL; Gruppe 150: -31,7 MJ NEL) in die Laktation (vgl. Abbildung 21).

Die Erstkalbskühe in der Gruppe 250 erreichten ab dem 35. LTG einen ausgeglichenen Energiesaldo und hatten anschließend im Abschnitt LTG 90 bis 106 einen maximalen Energiesaldo von 9,2 MJ NEL pro Tag. Bis zum Trockenstellen ging der Energiesaldo der Erstkalbskühe in der Gruppe 250 anschließend stetig zurück. Ab dem 267. LTG war der Energiesaldo der Erstkalbskühe in der Gruppe 250 erneut leicht negativ.

Den Erstkalbskühen in der Gruppe 150 gelang es später, am 67. LTG, einen ausgeglichenen Energiesaldo zu erreichen. Bis zum Trockenstellen verharrte der tägliche Energiesaldo dieser Tiere dann bei $\pm 0,0$ MJ NEL (2,3 bis -0,4 MJ NEL).

In der Laktation bestand zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Gruppenunterschied zwischen den Erstkalbskühen der beiden Gruppen. Im betrachteten Zeitraum der Trockenstehphase hat-

ten die Erstkalbskühe in der Gruppe 250 durchschnittlich einen signifikant geringeren Energiesaldo als die Erstkalbskühe in der Gruppe 150.

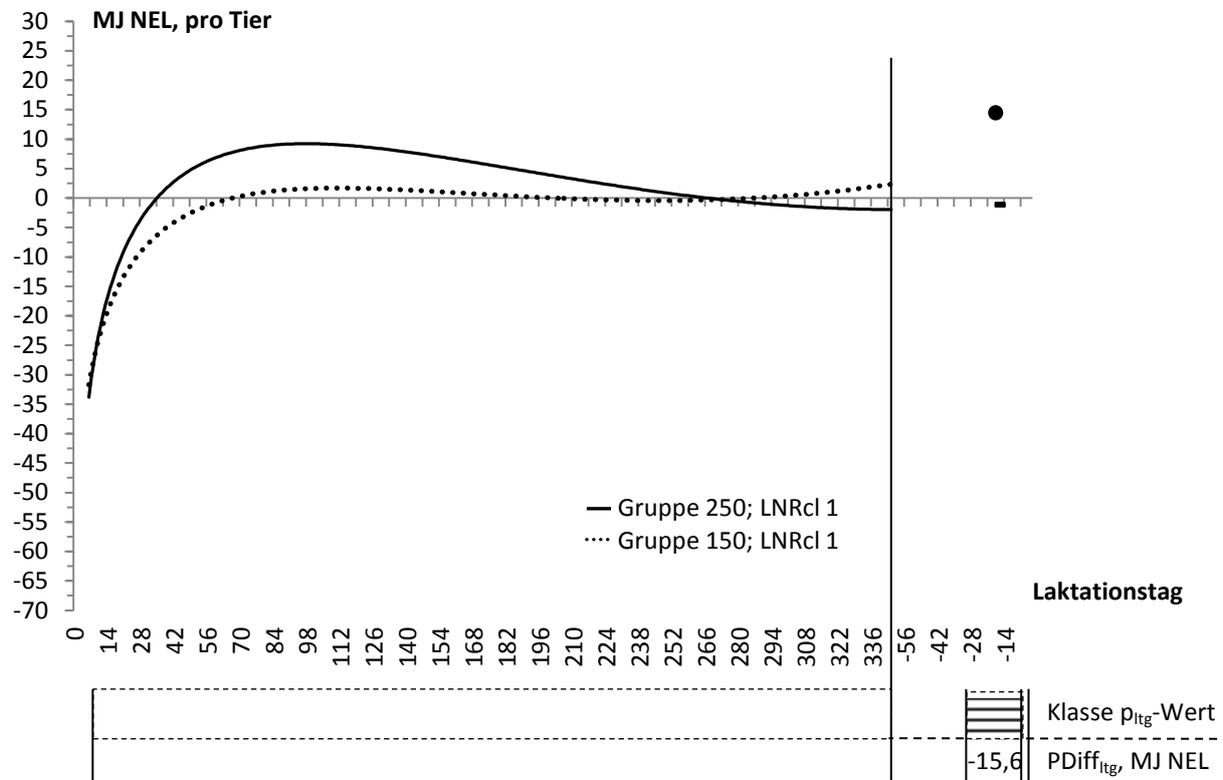


Abbildung 21: Energiesaldo (ebnel) von Erstkalbskühen (LNRcl 1) der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; der p_{ltg} -Wert des Gruppenvergleichs an den einzelnen Laktationstagen (ltg) wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ (□) $0,1 \geq p > 0,05$ (▤) $0,05 \geq p > 0,01$ (▥) $p < 0,01$ (▦); geschätzte Unterschiede ($PDiff_{ltg}$) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt, getrennt nach Laktation und Trockenstehphase

Wie Abbildung 22 zeigt, hatten die Mehrkalbskühe (ab LNRcl 2) in der Gruppe 250 zu Beginn der Laktation einen negativen Energiesaldo in Höhe von -60,3 MJ NEL pro Tag und in der Gruppe 150 in Höhe von -61,4 MJ NEL.

Die Mehrkalbskühe in der Gruppe 250 erreichten durchschnittlich schneller, am 44. LTG, einen ausgeglichenen Energiesaldo als die Mehrkalbskühe in der Gruppe 150 (am 72. LTG). Während die Mehrkalbskühe der Gruppe 250 anschließend rasch einen deutlich positiven Energiesaldo hatten und beibehielten (Energiesaldo > 12 MJ NEL pro Tag ab dem 78. LTG bis zum Trockenstellen), stieg der Energiesaldo der Mehrkalbskühe in der Gruppe 150 langsam, aber stetig bis zum Trockenstellen auf 20,7 MJ NEL pro Tag. Einen täglichen Energiesaldo > 12 MJ NEL erreichten die Mehrkalbskühe in der Gruppe 150 ab dem 202. LTG.

Im betrachteten Zeitraum der Trockenstehphase war der durchschnittliche, tägliche Energie-

saldo der Mehrkalbskühe in der Gruppe 250 signifikant, um 4,9 MJ NEL pro Tier geringer als in der Gruppe 150.

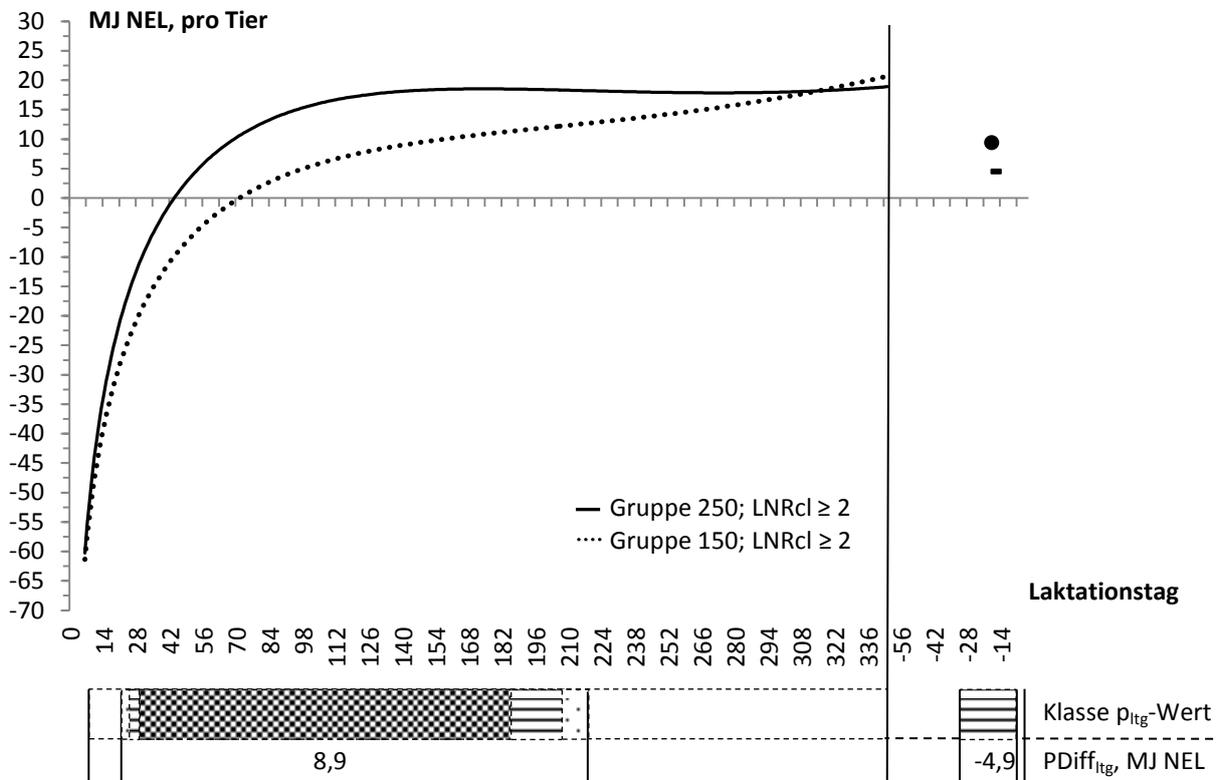


Abbildung 22: Energiesaldo (ebnel) von Mehrkalbskühen ($LNRcl \geq 2$) der Gruppen, Verlauf in Laktation und Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; der p_{ltg} -Wert des Gruppenvergleichs an den einzelnen Laktationstagen (ltg) wurde in vier Klassen eingeteilt: $p > 0,1$ $0,1 \geq p > 0,05$ $0,05 \geq p > 0,01$ $p < 0,01$; geschätzte Unterschiede ($PDiff_{ltg}$) beim Vergleich von Gruppe 250 mit Gruppe 150 wurden für zusammenhängende Bereiche mit $p \leq 0,1$ gemittelt, getrennt nach Laktation und Trockenstehphase

4.5 Blut- und Harnwerte

Thema dieses Unterkapitels sind die Blutwerte NEFA, BHB, Calcium, IGF-I, Insulin, Glucose, Adiponektin und Calcium sowie die NSBA im Harn. Der Schwerpunkt des Kapitels liegt auf den Blutwerten.

4.5.1 Gesamtlaktation

In der Gesamtbetrachtung der durchschnittlichen Blutwerte in der Laktation unterschied sich lediglich die Insulin-Konzentration im Plasma signifikant ($p_{Bl} \leq 0,1$) zwischen den Gruppen, wie Tabelle 24 aufzeigt. In der Laktation hatten die Tiere in der Gruppe 150 mit durchschnittlich 7,4 μIU pro mL eine signifikant geringere Insulin-Konzentration als die Tiere in der Gruppe 250 (9,7 μIU pro mL).

Die durchschnittliche NEFA-Konzentration im Blutserum war bei den Tieren in der Gruppe 150 in der Laktation höher als bei den Tieren in der Gruppe 250. Die IGF-I-Konzentration im Plasma war hingegen niedriger. Diese Unterschiede waren nicht signifikant. Bei BHB, Glucose, Adiponektin und Calcium waren die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen gering und nicht signifikant in der Gesamtbetrachtung der Laktation.

In der Trockenstehphase hatten die Tiere in der Gruppe 250 mit 266 µmol pro L eine signifikant höhere NEFA-Konzentration im Blutserum als die Tiere in der Gruppe 150 (174 µmol pro L). Bei den anderen Blutwerten wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen in der Trockenstehphase festgestellt.

Tabelle 24 macht deutlich, dass kein signifikanter Einfluss der Gruppe auf die durchschnittliche NSBA im Harn bestand.

Tabelle 24: Blut- und Harnwerte der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation (Termine 8, 28 und 100 Tage p. p.) und in der Trockenstehphase (Termin zum Trockenstellen und 14 Tage a. p) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal	250	150	P _{Bl}
	LSmeans _{Bl} ± SE _{Bl}		
Laktation			
NEFA ¹⁾ , µmol/L	311 ± 27	365 ± 32	0,2235
BHB ²⁾ , mmol/L	0,55 ± 0,04	0,57 ± 0,04	0,7081
IGF-I ^{3), 4)} , ng/mL	115 ± 9	101 ± 8	0,2667
Insulin ³⁾ , µIU/mL	9,7 ± 0,8	7,4 ± 0,6	0,0389
Glucose, mmol/L	3,5 ± 0,1	3,4 ± 0,1	0,2211
Adiponektin, µg/mL	27,2 ± 0,9	28,1 ± 0,9	0,5052
Calcium, mmol/L	2,5 ± 0,0	2,5 ± 0,0	0,8253
NSBA ⁵⁾ , mmol/L	190 ± 10	188 ± 14	0,9354
Trockenstehphase			
NEFA, µmol/L	266 ± 18	174 ± 13	0,0316
BHB, mmol/L	0,48 ± 0,03	0,43 ± 0,02	0,1989
IGF-I, ng/mL	166 ± 14	201 ± 16	0,1181
Insulin, µIU/mL	16,7 ± 1,7	18,2 ± 1,7	0,5442
Glucose, mmol/L	3,6 ± 0,1	3,5 ± 0,1	0,5199
Adiponektin, µg/mL	29,2 ± 0,8	29,5 ± 0,8	0,8143
Calcium, mmol/L	2,5 ± 0,0	2,5 ± 0,0	0,8147

¹⁾ nichtveresterte freie Fettsäuren; ²⁾ D-3-Hydroxybutyrat; ³⁾ im Blutplasma analysiert; ⁴⁾ Insulinähnlicher Wachstumsfaktor; ⁵⁾ Netto-Säuren-Basen-Ausscheidung im Harn, Termine 28 und 100 Tage p. p.

4.5.2 Einfluss der Laktationsnummer bei variierendem Kraftfutareinsatz

Bis auf die durchschnittliche Insulin- und Calcium-Konzentration wurden alle Blutwerte in der Laktation signifikant ($p_{\text{LNRcl}} \leq 0,1$) von der LNRcl der Tiere beeinflusst.

ERGEBNISSE

Die durchschnittliche NEFA-Konzentration in der Laktation wurde von der LNRcl der Tiere in der Gruppe 250 und in der Gruppe 150 unterschiedlich beeinflusst. Dies zeigt die signifikante Interaktion ($p_{vgrp*LNRcl} \leq 0,1$) in Tabelle 25.

Tabelle 25: Einfluss der Laktationsnummernklasse (LNRcl) 1, 2, 3, ≥ 4 und der LNRcl in Abhängigkeit der Gruppe (vgrp, 250 oder 150) auf die Blut- und Harnwerte in der Laktation (Termine 8, 28 und 100 Tage p. p.) und in der Trockenstehphase (Termin zum Trockenstellen und 14 Tage a. p) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal	p (LNRcl)	p (vgrp* LNRcl)	LSmeans _{Bl} ± SE _{Bl}							
			LNRcl							
			1		2		3		≥4	
250	150	250	150	250	150	250	150			
Laktation										
NEFA ¹⁾ , µmol/L	0,0067	0,0558	255 bc ²⁾	192 c	290 bc	491 a	412 a	417 a	307 b	449 a
BHB ³⁾ , mmol/L	0,0736	0,3335	0,48 b	0,37	0,53 a	0,69	0,57 a	0,67	0,62 a	0,61
IGF-I ^{4),5)} , ng/mL	<0,0001	0,4789	148 a	146	161 a	109	91 b	86	80 b	76
Insulin ⁴⁾ , µIU/mL	0,5006	0,4679	10,1	6,2	10,7	7,5	8,9	6,9	9,3	9,3
Glucose, mmol/L	0,0539	0,4368	3,7 a	3,6	3,4 b	3,4	3,6 b	3,3	3,4 b	3,3
Adiponektin, µg/mL	0,0658	0,4027	27,6 a	32,9	28,4 ab	27,2	26,1 b	25,3	26,6 b	27,0
Calcium, mmol/L	0,1071	0,2928	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4	2,5	2,4	2,4
Trockenstehphase										
NEFA, µmol/L	0,9494	0,7485	238	167	240	185	196	188	235	159
BHB, mmol/L	0,3746	0,3368	0,42	0,39	0,43	0,46	0,54	0,50	0,56	0,39
IGF-I, ng/mL	0,3200	0,3993	196	245	183	192	166	171	127	205
Insulin, µIU/mL	0,8857	0,4906	16,8	17,4	21,5	16,7	15,4	20,2	13,8	18,7
Glucose, mmol/L	0,9318	0,6614	3,6	3,5	3,6	3,4	3,6	3,5	3,5	3,6
Adiponektin, µg/mL	0,0202	0,9408	26,0 c	25,6	28,6 bc	28,7	31,1 a	32,8	31,2 ab	30,9
Calcium, mmol/L	0,2688	0,7171	2,5	2,5	2,5	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4

¹⁾ nichtveresterte freie Fettsäuren; ²⁾ unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,1$) zwischen LNRcl oder vgrp*LNRcl; ³⁾ D-3-Hydroxybutyrat; ⁴⁾ im Blutplasma analysiert; ⁵⁾ Insulinähnlicher Wachstumsfaktor

In der Gruppe 250 war die NEFA-Konzentration der Tiere in der LNRcl 3 mit 412 µmol pro L jeweils signifikant höher als die NEFA-Konzentration der Tiere in den anderen LNRcl. Die niedrigste NEFA-Konzentration in der Gruppe 250 hatten Erstkalbskühe mit durchschnittlich 255 µmol pro L. Auch in der Gruppe 150 hatten Erstkalbskühe mit 192 µmol pro L die nied-

rigste NEFA-Konzentration im Durchschnitt der Laktation. Der Unterschied zwischen der NEFA-Konzentration der Erstkalbskühe und der NEFA-Konzentration der Tiere in den jeweils höheren LNRcl war in der Gruppe 150 signifikant.

Ein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der durchschnittlichen NEFA-Konzentration bestand in der Laktation in den LNRcl 2 und ≥ 4 . In diesen beiden LNRcl hatten die Tiere in der Gruppe 150 eine signifikant höhere NEFA-Konzentration im Blutserum als die Tiere in der Gruppe 250.

Die durchschnittliche BHB-Konzentration in der Laktation im Blutserum der Erstkalbskühe war in beiden Gruppen (Gruppe 250: 0,48 mmol pro L; Gruppe 150: 0,37 mmol pro L) jeweils signifikant geringer als bei den Tieren in einer höheren LNRcl. Bei den Mehrkalbskühen schwankte die BHB-Konzentration im Durchschnitt der Laktation in der Gruppe 250 zwischen 0,53 und 0,62 mmol pro L und in der Gruppe 150 zwischen 0,61 und 0,69 mmol pro L.

Auch die durchschnittliche Glucose-Konzentration im Blutserum laktierender Erstkalbskühe unterschied sich in beiden Gruppen signifikant von der durchschnittlichen Glucose-Konzentration laktierender Tiere in den jeweils höheren LNRcl. Erstkalbskühe hatten in der Laktation eine signifikant höhere Glucose-Konzentration (Gruppe 250: 3,7 mmol pro L; Gruppe 150: 3,6 mmol pro L) als Mehrkalbskühe. Während der Laktation hatten Mehrkalbskühe in der Gruppe 250 eine durchschnittliche Glucose-Konzentration von 3,4 bis 3,6 mmol pro L und in der Gruppe 150 von 3,3 bis 3,4 mmol pro L.

Die durchschnittliche IGF-I-Konzentration im Blutplasma von Tieren in den LNRcl 1 und 2 unterschied sich jeweils nicht signifikant in den beiden Gruppen. Auch die IGF-I-Konzentration im Blutplasma von Tieren in den LNRcl 3 und ≥ 4 unterschied sich jeweils nicht signifikant in den Gruppen. Signifikant war der Unterschied der durchschnittlichen IGF-I-Konzentration in der Laktation in den beiden Gruppen zwischen Tieren in den LNRcl 1 und 2 auf der einen Seite und Tieren in den LNRcl 3 und ≥ 4 auf der anderen Seite.

Tabelle 25 zeigt, dass laktierende Erstkalbskühe beider Gruppen eine signifikant höhere durchschnittliche Adiponektin-Konzentration im Blutserum hatten als laktierende Tiere in den LNRcl 3 und ≥ 4 . In der Laktation war die durchschnittliche Adiponektin-Konzentration der Tiere in der LNRcl 2 in den beiden Gruppen jeweils nicht signifikant verschieden von der durchschnittlichen Adiponektin-Konzentration der Tiere in den anderen LNRcl.

In der Trockenstehphase wurde in den beiden Gruppen lediglich die Adiponektion-Konzentration im Blutserum signifikant von der LNRcl der Tiere beeinflusst. Die durch-

schnittliche Adiponektin-Konzentration der Trockensteher in der Gruppe 250 stieg von LNRcl 1 bis ≥ 4 . Auch in der Gruppe 150 stieg die durchschnittliche Adiponektin-Konzentration der Trockensteher von LNRcl 1 bis 3, lag jedoch in LNRcl ≥ 4 dann niedriger (vgl. Tabelle 25)

4.5.3 Laktationsverlauf

Der Blutprobetermin hatte unabhängig von der Gruppe einen signifikanten ($p_{\text{termin}} \leq 0,1$) Einfluss auf die NEFA-Konzentration im Blutserum. Die separate Auswertung von Laktation und Trockenstehphase hatte ergeben (vgl. Kapitel 4.5.1), dass die Tiere in der Gruppe 250 in der Trockenstehphase eine signifikant höhere NEFA-Konzentration hatten als die Tiere in der Gruppe 150. Dennoch war die Interaktion termin*vgrp bei der gemeinsamen Auswertung von Laktation und Trockenstehphase, zur Untersuchung des Laktationsverlaufs, nicht signifikant ($p_{\text{termin*vgrp}} > 0,1$). Nach Abbildung 23 lag die NEFA-Konzentration in der Gruppe 250 an den beiden Blutprobeterminen in der Trockenstehphase zwar höher als in der Gruppe 150. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant.

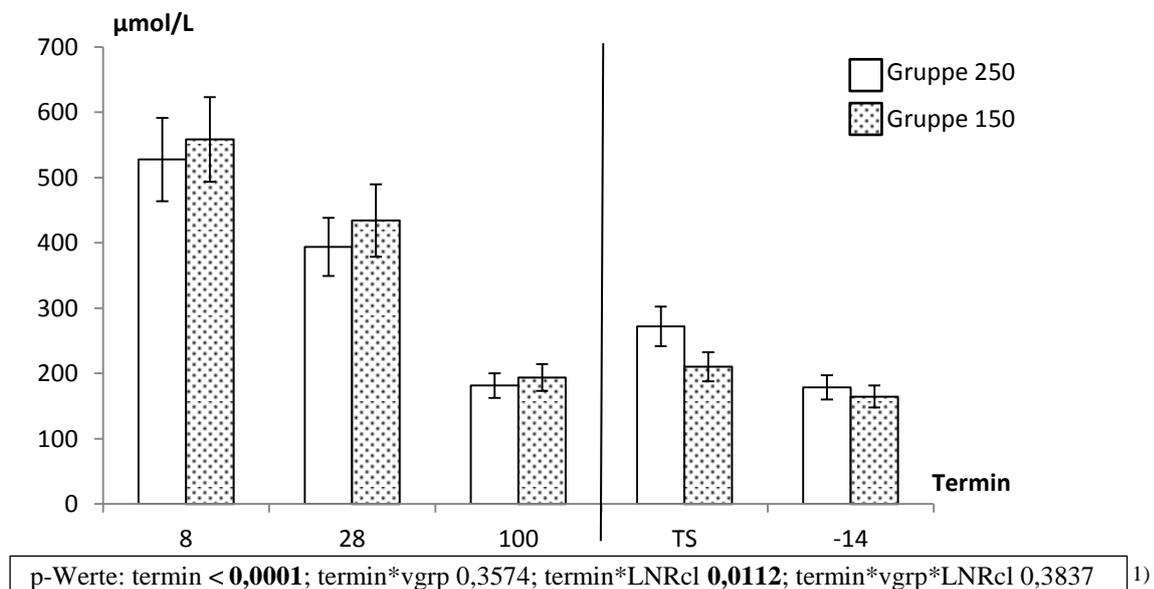


Abbildung 23: Konzentration nichtveresterter freien Fettsäuren ($LS\text{means}_{Bl} \pm SE_{Bl}$) im Blutserum der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; ¹⁾ Termin = Blutprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

Abbildung 23 verdeutlicht, dass die NEFA-Konzentration in der Gruppe 250 und in der Gruppe 150 am ersten Blutprobetermin nach der Kalbung am höchsten war (Gruppe 250: 527 µmol pro L; Gruppe 150: 558 µmol pro L). Vom Termin 8 Tage *p. p.*, über den Termin 28 Tage

p. p., bis zum Termin 100 Tage *p. p.* sank die NEFA-Konzentration in der Gruppe 250 auf 181 μmol pro L und in der Gruppe 150 auf 194 μmol pro L.

Wie im Kapitel 4.5.2 dargelegt, hatte die LNRcl in der Gruppe 250 und in der Gruppe 150 einen unterschiedlichen Einfluss auf die NEFA-Konzentration im Blutserum in der Laktation. Deshalb wurde der Verlauf der NEFA-Konzentration in den beiden Gruppen noch einmal separat für Erst- und Mehrkalbskühe ausgewertet. Das Ergebnis zeigt Abbildung 24. An allen Terminen lag die NEFA-Konzentration der Erstkalbskühe (LNRcl 1) in der Gruppe 250 je signifikant höher als die NEFA-Konzentration der Erstkalbskühe in der Gruppe 150. Sowohl bei den Erst- als auch bei den Mehrkalbskühen sank die NEFA-Konzentration bis zum Termin 100 Tage *p. p.*. An den anschließenden Terminen änderte sich die Konzentration in beiden Gruppen wenig. Lediglich die Erstkalbskühe in der Gruppe 250 fielen am Termin zum Trockenstellen mit einer hohen, durchschnittlichen NEFA-Konzentration auf.

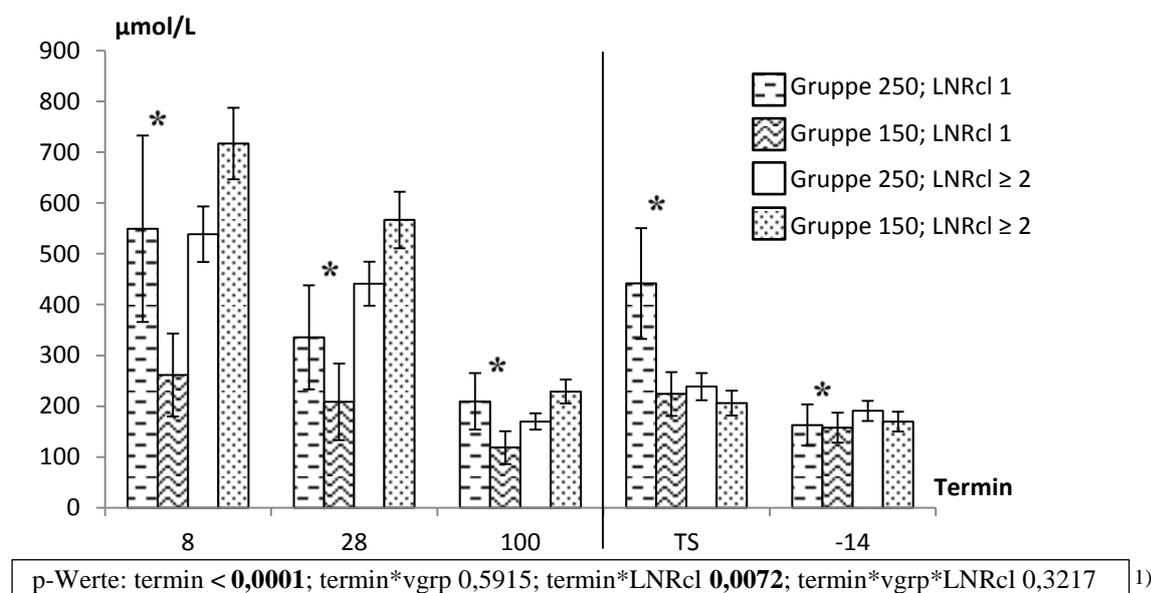


Abbildung 24: Konzentration nichtveresterter freier Fettsäuren ($LS\text{means}_{BI} \pm SE_{BI}$) im Blutserum der Erst- (LNRcl 1) und Mehrkalbskühe (LNRcl ≥ 2) in den Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; Termine, an denen ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,1$) zwischen den Erstkalbskühen in der Gruppe 250 und der Gruppe 150 bestand, sind mit * gekennzeichnet; an keinem Termin bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den Mehrkalbskühen in der Gruppe 250 und der Gruppe 150; ¹⁾ Termin = Blutprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

Zusätzlich zur gemessenen NEFA-Konzentration wurde die Prävalenz erhöhter NEFA-Konzentrationen an den 5 Blutprobeterminen untersucht. Am Termin 14 Tage *a. p.* wurde hierfür ein Grenzwert von $> 300 \mu\text{mol}$ pro L angenommen, an den anderen Terminen ein Grenzwert von $> 1\,000 \mu\text{mol}$ pro L (MCART *et al.* 2013). Das Ergebnis in Tabelle 26 verdeut-

licht, dass am Termin 8 Tage *p. p.* in der Gruppe 150 ein signifikant höherer, prozentualer Anteil der Blutproben über dem Grenzwert lag als in der Gruppe 250. An den Terminen 28, 100 Tage *p. p.* und zum Trockenstellen konnte keine beurteilende Statistik erfolgen. An diesen Terminen waren in den beiden Gruppen nur wenige bis keine Blutproben wegen erhöhter NEFA-Konzentration auffällig. Am Blutprobetermin 14 Tage *a. p.* stieg der Anteil der Blutproben mit einer NEFA-Konzentration über dem Grenzwert in den beiden Gruppen.

Tabelle 26: Anteil in % an Blutproben mit einer Konzentration nichtveresterter freier Fettsäuren oberhalb des Grenzwerts an den fünf Blutprobeterminen in der Gruppe 250 und der Gruppe 150 im gesamten Versuchszeitraum.

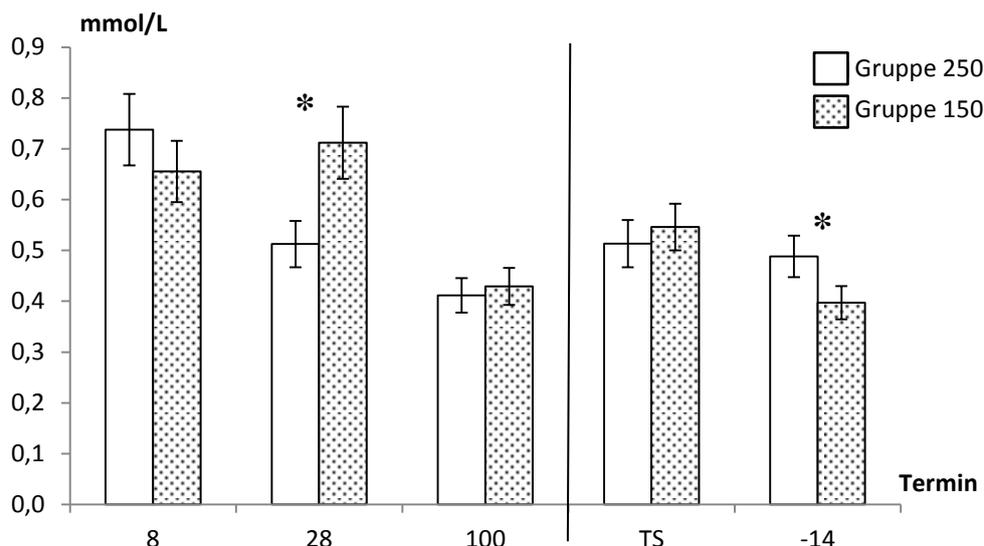
Termin	8		28		100		TS ¹⁾		-14	
Grenzwert, µmol/L	> 1000									
	> 300									
Gruppe	250	150	250	150	250	150	250	150	250	150
Anteil, %	6	31	10	6	2	0	0	0	30	24
n ²⁾	47	48	48	50	51	46	44	44	46	45
p ³⁾	0,0020								0,5521	

¹⁾ Termin zum Trockenstellen; ²⁾ Anzahl Proben; ³⁾ wenn *p* ohne Wert, war kein Gruppenvergleich mittels *Chi*²-Test möglich

Bei der BHB-Konzentration im Blutserum war die Interaktion termin*vgrp signifikant. In der Gruppe 250 war die durchschnittliche BHB-Konzentration am Termin 8 Tage *p. p.* mit 0,74 mmol pro L am höchsten. Sie ging dann bis zum Termin 28 Tage *p. p.* zunächst zurück auf 0,51 mmol pro L und bis zum Termin 100 Tage *p. p.* weiter zurück auf 0,41 mmol pro L (vgl. Abbildung 25). An den beiden Blutprobeterminen in der Trockenstehphase lag die BHB-Konzentration mit 0,51 mmol pro L (Termin TS) und 0,49 mmol pro L (14 Tag *a. p.*) in der Gruppe 250 dann wieder etwas höher als am Termin 100 Tage *p. p.*.

In der Gruppe 150 stieg die durchschnittliche BHB-Konzentration zunächst vom Termin 8 Tage *p. p.* (0,66 mmol pro L) bis zum Termin 28 Tage *p. p.* (0,71 mmol pro L) und ging anschließend zurück (Termin 100 Tage *p. p.*: 0,43 mmol pro L) (vgl. Abbildung 25). Während am Termin zum Trockenstellen (Termin TS) in der Gruppe 150 eine höhere durchschnittliche BHB-Konzentration gemessen wurde als am Termin 100 Tage *p. p.*, wurde am Termin 14 Tage *a. p.* eine leicht geringere Konzentration gemessen.

Signifikant waren die Gruppenunterschiede der BHB-Konzentration am Termin 28 Tage *p. p.* in der Laktation und am Termin 14 Tage *a. p.* in der Trockenstehphase. Am Termin 28 Tage *p. p.* in der Laktation hatten die Tiere in der Gruppe 250 eine niedrigere, am Termin 14 Tage *a. p.* eine höhere BHB-Konzentration im Blutserum als die Tiere in der Gruppe 150.



p-Werte: termin < **0,0001**; termin*vgrp **0,0179**; termin*LNRcl 0,3915; termin*vgrp*LNRcl 0,5893 ¹⁾

Abbildung 25: D-3-Hydroxybutyrat-Konzentration ($LSmeans_{Bl} \pm SE_{Bl}$) im Blutserum der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; Termine, an denen ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,1$) zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 bestand, sind mit * gekennzeichnet; ¹⁾ Termin = Blutprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

Zusätzlich wurde die Prävalenz erhöhter BHB-Konzentrationen an den 5 Terminen untersucht, wie Tabelle 27 zeigt.

Tabelle 27: Anteil in % an Blutproben mit einer D-3-Hydroxybutyrat-Konzentration oberhalb des Grenzwerts an den fünf Blutprobeterminen in der Gruppe 250 und der Gruppe 150 im gesamten Versuchszeitraum.

Termin	8		28		100		TS ¹⁾		-14	
Grenzwert, mmol/L	> 1,2									
Gruppe	250	150	250	150	250	150	250	150	250	150
Anteil, %	26	10	8	18	0	0	0	0	22	13
n ²⁾	47	48	48	50	51	46	43	44	46	45
p ³⁾	0,0546		0,1584						0,2923	

¹⁾ Termin zum Trockenstellen; ²⁾ Anzahl Proben; ³⁾ wenn p ohne Wert, war kein Gruppenvergleich mittels Chi²-Test möglich

Am Termin 14 Tage *a. p.* wurde ein Grenzwert von > 0,6 mmol pro L angenommen, an den anderen Terminen ein Grenzwert von $\geq 1,2$ mmol pro L (MCART *et al.* 2013). Am Termin 8 Tage *p. p.* lagen in der Gruppe 250 signifikant mehr Proben oberhalb des Grenzwerts als in der Gruppe 150. Während in der Gruppe 250 der prozentuale Anteil der Blutproben mit erhöhter BHB-Konzentration von Termin 8 bis 28 Tage *p. p.* rückläufig war, stieg deren Anteil in der Gruppe 150. Am Termin 28 Tage *p. p.* war der Anteil an Blutproben mit einer BHB-Konzentration oberhalb des Grenzwerts nicht signifikant verschieden zwischen den Gruppen.

An den Terminen 100 Tage *p. p.* und zum Trockenstellen gab es in keiner der beiden Gruppen BHB-Konzentrationen, die über dem Grenzwert lagen. Am Termin 14 Tage *a. p.* traten erhöhte BHB-Konzentrationen wieder häufiger auf.

Wie bei der BHB-Konzentration im Blutserum war bei der IGF-I-Konzentration im Blutplasma die Interaktion termin*vgrp signifikant. Signifikante Gruppenunterschiede bestanden wiederum an den Terminen 28 Tage *p. p.* und 14 Tage *a. p.*. Wie Abbildung 26 verdeutlicht, hatte am Termin 28 Tage *p. p.* die Gruppe 250 eine signifikant höhere und am Termin 14 Tage *a. p.* eine signifikant niedrigere IGF-I-Konzentration als die Gruppe 150.

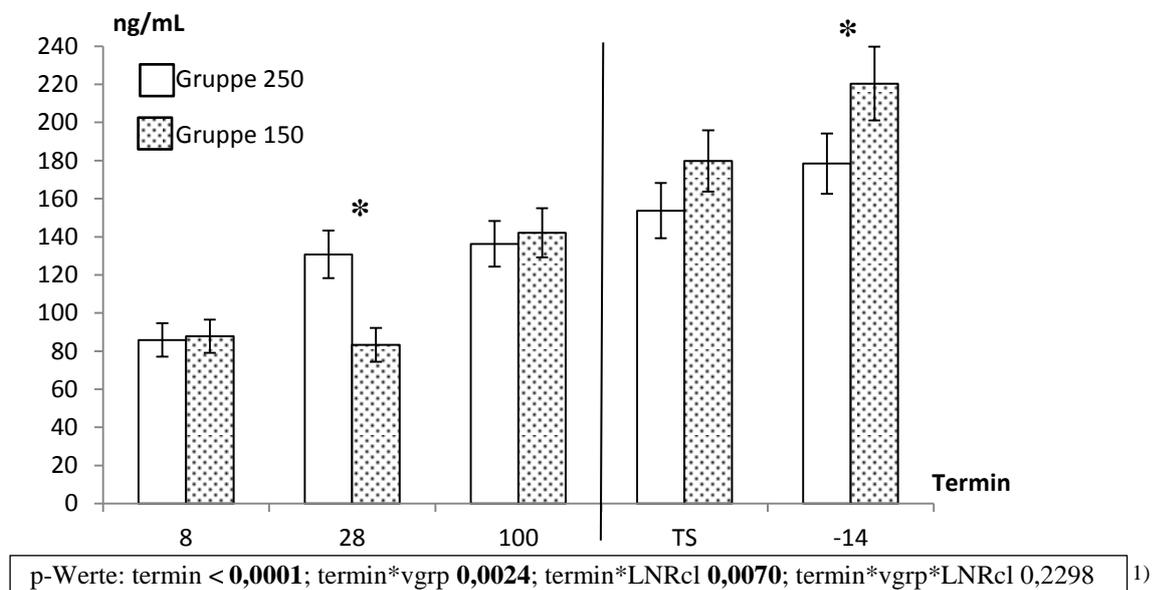
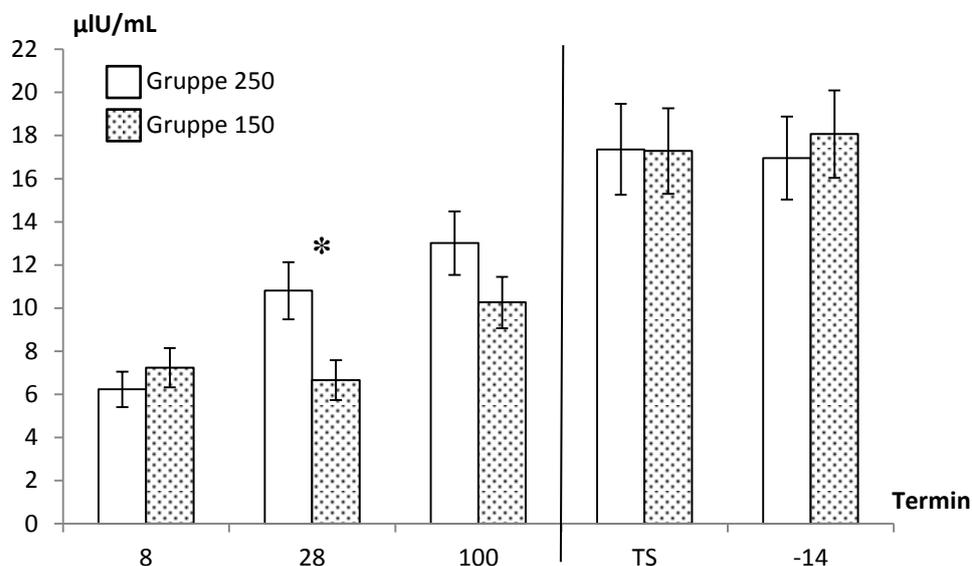


Abbildung 26: Insulinähnlicher Wachstumsfaktor-Konzentration ($LSmeans_{Bj} \pm SE_{Bj}$) im Blutplasma der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; Termine, an denen ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,1$) zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 bestand, sind mit * gekennzeichnet; 1) Termin = Blutprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

In den beiden Gruppen stieg die IGF-I-Konzentration im Blutplasma vom Termin 8 Tage *p. p.* bis zum Termin 14 Tage *a. p.*. Während in der Gruppe 150 die Konzentration an den Terminen 8 und 28 Tage *p. p.* weitestgehend konstant blieb, stieg die IGF-I-Konzentration im Blutplasma der Tiere in der Gruppe 250 bis zum Termin 28 Tage *p. p.* deutlich. Anschließend, vom Termin 28 Tage *p. p.* bis zum Termin 100 Tage *p. p.*, stieg die IGF-I-Konzentration in der Gruppe 150 stärker als in der Gruppe 250.

Auch die Insulin-Konzentration im Blutplasma stieg vom Blutprobetermin 8 Tage *p. p.* bis zum Termin 14 Tage *a. p.* in den beiden Gruppen, wie Abbildung 27 zeigt. Die Interaktion termin*vgrp war signifikant, weil der Anstieg der Insulin-Konzentration in der Gruppe 250 in

der Laktation stärker war als in der Gruppe 150. Die Insulin-Konzentration erhöhte sich in der Gruppe 250 in der Laktation von 6,2 μU pro mL am Termin 8 Tage *p. p.* auf 13,0 μU pro mL am Termin 100 Tage *p. p.*. In der Gruppe 150 blieb die Konzentration vom Termin 8 Tage *p. p.* (7,2 μU pro mL) bis zum Termin 28 Tage *p. p.* etwa gleich hoch (6,7 μU pro mL) und erhöhte sich erst anschließend bis zum Termin 100 Tage *p. p.* (10,3 μU pro mL). Am Termin 28 Tage *p. p.* hatten die Tiere in der Gruppe 250 eine signifikant höhere durchschnittliche Insulin-Konzentration im Blutplasma als die Tiere in der Gruppe 150. Mit dem Trockenstellen stieg die Insulin-Konzentration in den beiden Gruppen deutlich und war in der Trockenstehphase weitestgehend gleich hoch.

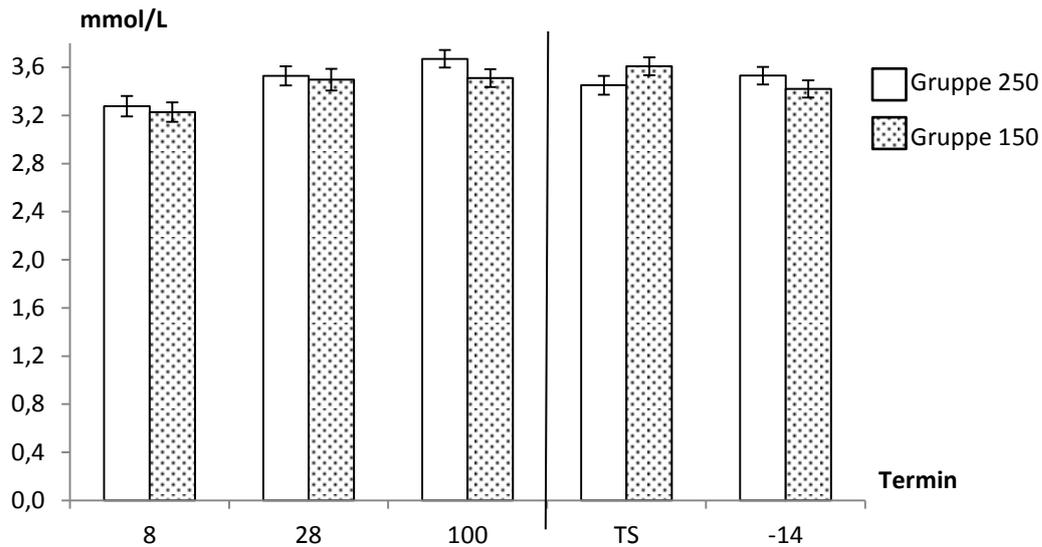


p-Werte: termin < 0,0001; termin*vgrp 0,0611; termin*LNRcl 0,0111; termin*vgrp*LNRcl 0,6732 ¹⁾

Abbildung 27: Insulin-Konzentration ($LS_{\text{means}_{BI}} \pm SE_{BI}$) im Blutplasma der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; Termine, an denen ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,1$) zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 bestand, sind mit * gekennzeichnet; ¹⁾ Termin = Blutprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

Der Verlauf der Glucose-Konzentration im Blutserum über die 5 Termine hinweg war nicht signifikant verschieden zwischen den beiden Gruppen, wie Abbildung 28 verdeutlicht. Somit bestand an keinem der 5 Blutprobetermine ein signifikanter Gruppenunterschied. Der Blutprobetermin beeinflusste die Glucose-Konzentration signifikant. Die Glucose-Konzentration am ersten Blutprobetermin nach der Kalbung war in den beiden Gruppen geringer als an den anderen 4 Terminen. Die höchste durchschnittliche Glucose-Konzentration wurde in der Gruppe 250 am Termin 100 Tage *p. p.* (3,7 mmol pro L) gemessen, in der Gruppe 150 am Termin zum Trockenstellen (3,6 mmol pro L).

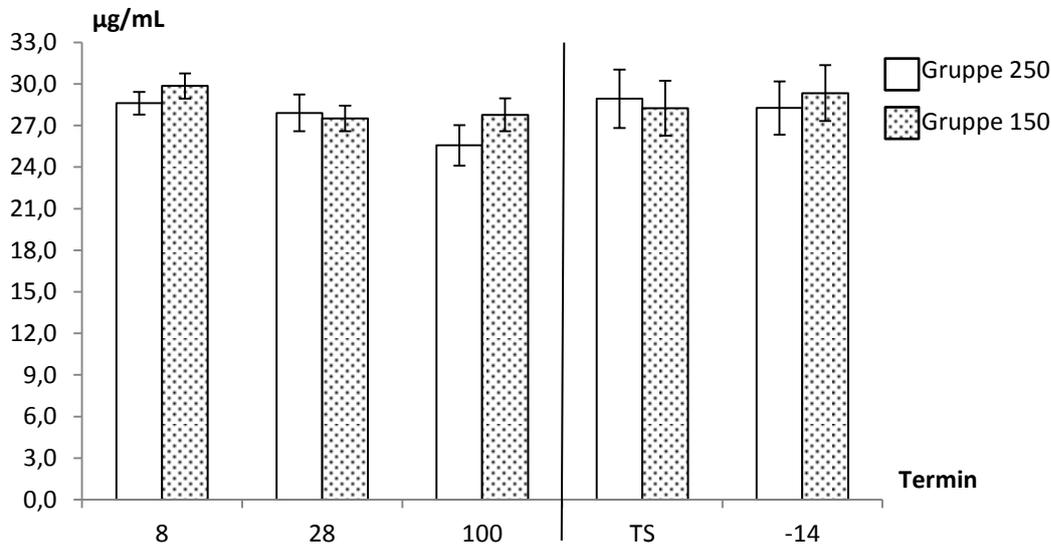
ERGEBNISSE



p-Werte: termin **0,0003**; termin*vgrp 0,1527; termin*LNRcl **0,0164**; termin*vgrp*LNRcl 0,3549 ¹⁾

Abbildung 28: Glucose-Konzentration ($LSmeans_{Bl} \pm SE_{Bl}$) im Blutserum der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; ¹⁾ Termin = Blutprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

Der Blutprobetermin hatte in den beiden Gruppen keinen signifikanten Einfluss auf die Adiponektin-Konzentration im Blutserum (vgl. Abbildung 29).



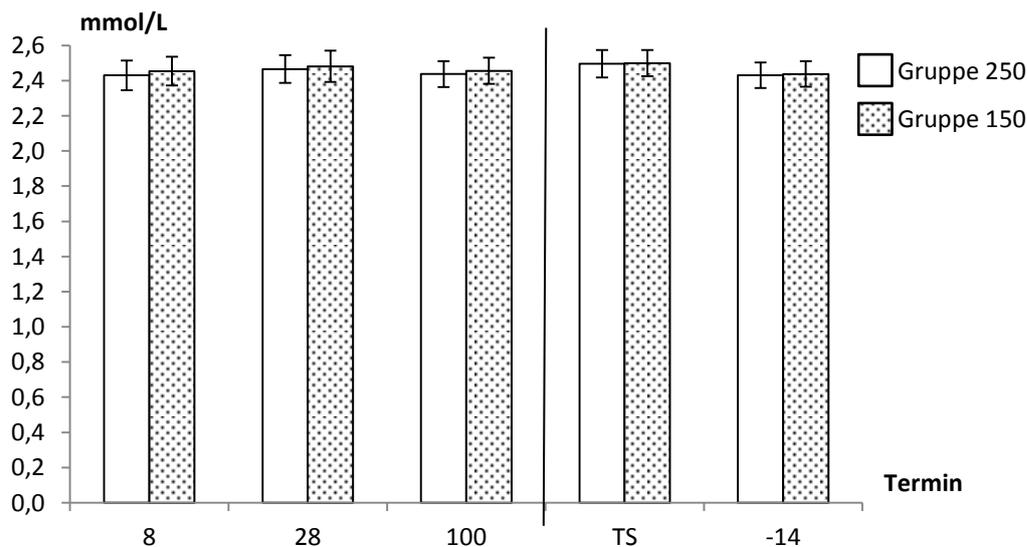
p-Werte: termin 0,1392; termin*vgrp 0,6151; termin*LNRcl ; termin*vgrp*LNRcl 0,7499 ¹⁾

Abbildung 29: Adiponektin-Konzentration ($LSmeans_{Bl} \pm SE_{Bl}$) im Blutserum der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; ¹⁾ Termin = Blutprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

An keinem der 5 Termine war die Adiponektin-Konzentration signifikant verschieden zwischen den beiden Gruppen. In der Gruppe 250 wurde an den 5 Terminen eine durchschnittli-

che Adiponektin-Konzentration von 25,6 µg pro mL (Termin 100 Tage *p. p.*) bis 28,9 µg pro mL (Termin zum Trockenstellen) gemessen. In der Gruppe 150 reichte die Konzentration von 27,5 µg pro mL (Termin 100 Tage *p. p.*) bis 29,9 µg pro mL (Termin 8 Tage *p. p.*).

Die Calcium-Konzentration im Blutserum wurde in den beiden Gruppen gleichermaßen vom Blutprobetermin signifikant beeinflusst. Ein signifikanter Unterschied in der Calcium-Konzentration im Blutserum der beiden Gruppen bestand an keinem der 5 Blutprobetermine. Abbildung 30 zeigt, dass am Blutprobetermin vor und nach der Kalbung (14 Tage *a. p.* und 8 Tage *p. p.*) die Calcium-Konzentration in den beiden Gruppen etwas geringer war als an den anderen Terminen. Gruppe 250 hatte an den Terminen 14 Tage *a. p.* und 8 Tage *p. p.* je eine durchschnittliche Calcium-Konzentration im Blutserum von 2,43 mmol pro L. In der Gruppe 150 betrug die Calcium-Konzentration an den beiden Terminen 2,44 mmol pro L (14 Tage *a. p.*) und 2,45 mmol pro L (8 Tage *p. p.*). Die höchste Calcium-Konzentration im Blutserum wurde in den beiden Gruppen zum Trockenstellen gemessen (je 2,50 mmol pro L).



p-Werte: termin **0,0195**; termin*vgrp 0,9843; termin*LNRcl 0,5394; termin*vgrp*LNRcl 0,3384 ¹⁾

Abbildung 30: Calcium-Konzentration ($LSmeans_{BI} \pm SE_{BI}$) im Blutserum der Gruppen an den fünf Blutprobeterminen in der Laktation und in der Trockenstehphase im gesamten Versuchszeitraum; ¹⁾ Termin = Blutprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

4.6 Fettsäurezusammensetzung im Futter- und Milchfett

Einleitend wird die FS-Zusammensetzung in den gefütterten Rationen beschrieben. Den Schwerpunkt in diesem Unterkapitel bildet aber die FS-Zusammensetzung im Milchfett. Hierfür wird zunächst das Ergebnis des Vergleichs der FS-Zusammensetzung im Milchfett zwischen den beiden, mit unterschiedlichem KF-Einsatz gefütterten Gruppen im Durchschnitt der Gesamtlaktation vorgestellt. Es folgen die Ergebnisse zum Einfluss der LNRcl bei unter-

schiedlichem KF-Einsatz und die Unterschiede in der FS-Zusammensetzung im Milchfett zwischen den beiden Gruppen an den einzelnen Milchprobeterminen.

4.6.1 Fettsäurezusammensetzung im Futterfett

In Tabelle 28 ist die durchschnittliche FS-Zusammensetzung im Futterfett der drei in der Laktation gefütterten Rationen (Ration K1, K2 = R1 und R2 = TR2) beschreibend gegenübergestellt. Die FS-Zusammensetzung im Futterfett der drei Rationen unterschied sich kaum.

Während die Konzentration der FS $\sum C_{18:1c9-13}$ (überwiegend Ölsäure) in der Ration K1 mit 22,1 g pro 100 g FS etwas höher lag als in den beiden anderen Rationen, lag die Konzentration der FS $\sum C_{20:1c11, C_{18:3c9c12c15}}$ (überwiegend alpha-Linolensäure) mit 20,0 g pro 100 g FS niedriger. Außerdem war die Konzentration der FS C_{18:2c9c12} (Linolsäure) in der Ration K1 mit 37,5 g pro 100 g FS höher als in der Ration K2 = R1 und geringer als in der Ration R2 = TR2. Die Konzentration der FS C_{18:2c9c12} und die Konzentration der FS $\sum C_{20:1c11, C_{18:3c9c12c15}}$ wiesen in den Rationen K2 = R1 und R2 = TR2 wegen des höheren Grobfutteranteils eine höhere Konzentration auf als in der Ration K1. In allen drei Rationen hatte die FS C_{18:2c9c12} die höchste Konzentration (37,2 bis 37,9 g pro 100 g FS).

Insgesamt hatten die Konzentrationen der FS $\sum C_{18:1c9-13}$, der FS C_{18:2c9c12} und der FS $\sum C_{20:1c11, C_{18:3c9c12c15}}$ zusammen rund 79 % Anteil an der Summe der Konzentrationen aller analysierten FS in den einzelnen Rationen. Der übrige Anteil setzte sich hauptsächlich aus der FS C_{16:0} (Palmitinsäure) zusammen.

ERGEBNISSE

Tabelle 28: Durchschnittliche Fettsäurezusammensetzung in den Rationen K1, K2 = R1 und R2 = TR2

Merkmal	Ration		
	K1	K2 = R1	R2 = TR2
n ¹⁾	4	4	4
Fettsäure	$\bar{x} \pm s$, g/100 gFS ⁴⁾		
C04:0	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,04
C06:0	0,05 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0,06 ± 0,03
C08:0	0,01 ± 0,02	0,01 ± 0,01	0,00 ± 0,00
C10:0	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,00 ± 0,00
C10:1c	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
C12:0	0,11 ± 0,02	0,12 ± 0,03	0,13 ± 0,02
C12:0i	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
C12:0ai	0,07 ± 0,03	0,08 ± 0,04	0,08 ± 0,04
∑ ²⁾ C12:1c, C13:0	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
C13:0i	0,99 ± 0,31	1,04 ± 0,36	1,08 ± 0,24
C14:0	0,27 ± 0,04	0,28 ± 0,06	0,31 ± 0,07
C14:0i	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
C14:0ai	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,00 ± 0,01
C14:1c	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
C15:0	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,01
C15:0i	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
C16:0	13,75 ± 0,49	13,71 ± 0,57	13,77 ± 0,87
C16:0i	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
C16:0ai	0,54 ± 0,12	0,59 ± 0,15	0,56 ± 0,15
C16:1c	0,44 ± 0,01	0,41 ± 0,03	0,40 ± 0,05
C17:0	0,12 ± 0,01	0,13 ± 0,03	0,12 ± 0,02
C17:0ai	0,08 ± 0,05	0,04 ± 0,02	0,01 ± 0,01
C18:0	1,89 ± 0,12	1,90 ± 0,09	1,87 ± 0,13
∑ C18:1t6-13	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,01	0,00 ± 0,00
∑ C18:1c9-13	22,09 ± 3,39	21,07 ± 3,52	21,08 ± 3,24
∑ C18:1c14, t16	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
∑ C18:1c15, C19:0	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
∑ C18:2t11c15, t9c11	0,08 ± 0,06	0,05 ± 0,06	0,08 ± 0,05
C18:2c9c12	37,45 ± 2,99	37,17 ± 3,90	37,87 ± 3,94
C20:0	0,49 ± 0,05	0,48 ± 0,04	0,47 ± 0,04
C20:1c9	0,02 ± 0,02	0,04 ± 0,03	0,02 ± 0,03
∑ C20:1c11, C18:3c9c12c15	19,96 ± 4,87	21,17 ± 5,25	20,68 ± 5,37
C18:2c9t11	0,03 ± 0,05	0,06 ± 0,10	0,03 ± 0,05
C20:4n-6	0,09 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,05 ± 0,04
C20:5n-3	0,46 ± 0,03	0,47 ± 0,04	0,44 ± 0,10
Fettsäuren gruppiert ³⁾			
GFS	18,51 ± 0,93	18,58 ± 1,14	18,58 ± 1,31
UFS	80,61 ± 1,10	80,52 ± 1,35	80,64 ± 1,51
EUFS	22,55 ± 3,39	21,52 ± 3,53	21,49 ± 3,30
MUFS	58,06 ± 2,66	59,00 ± 2,92	59,15 ± 2,81
KKFS	0,12 ± 0,04	0,10 ± 0,03	0,09 ± 0,03
MKFS	16,26 ± 0,98	16,33 ± 1,07	16,41 ± 1,18
LKFS	82,75 ± 1,10	82,67 ± 1,25	82,72 ± 1,39
UKFS	1,27 ± 0,39	1,30 ± 0,41	1,29 ± 0,28
VKFS	1,69 ± 0,54	1,77 ± 0,58	1,73 ± 0,44

¹⁾ Anzahl Futterproben; ²⁾ Summe; ³⁾ Abkürzungen vgl. Tabelle 12; ⁴⁾ Fettsäure

4.6.2 Fettsäurezusammensetzung im Milchfett – Gesamtlaktation

Tabelle 29 zeigt die FS-Konzentration im Durchschnitt der Gesamtlaktation in den Gruppen.

Tabelle 29: Fettsäurezusammensetzung im Milchfett der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation (Termine 5, 28, 100 und 200 Tage p. p.) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal	250	150	P _{FS}
Fettsäure	LSmeans _{FS} ± SE _{FS} , g/100 g FS ³⁾		
C04:0	4,07 ± 0,07	4,24 ± 0,07	0,0774
C06:0	2,43 ± 0,04	2,43 ± 0,04	0,9529
C08:0	1,48 ± 0,03	1,43 ± 0,03	0,1792
C10:0	3,40 ± 0,07	3,15 ± 0,07	0,0123
C10:1c	0,23 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,6803
C12:0	3,89 ± 0,09	3,56 ± 0,09	0,0076
C12:0i	0,012 ± 0,001	0,009 ± 0,001	0,1082
C12:0ai	0,073 ± 0,003	0,066 ± 0,003	0,0958
∑ ¹⁾ C12:1c, C13:0	0,21 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,0031
C13:0i	0,100 ± 0,004	0,105 ± 0,005	0,4321
C14:0	11,72 ± 0,19	11,46 ± 0,19	0,3296
C14:0i	0,215 ± 0,004	0,219 ± 0,004	0,4844
C14:0ai	0,40 ± 0,01	0,40 ± 0,01	0,9971
C14:1c	0,70 ± 0,02	0,71 ± 0,02	0,7393
C15:0	1,22 ± 0,02	1,15 ± 0,02	0,0664
C15:0i	0,26 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,3129
C16:0	30,15 ± 0,34	29,72 ± 0,35	0,3851
C16:0i	0,349 ± 0,004	0,349 ± 0,005	0,9227
C16:0ai	0,196 ± 0,004	0,200 ± 0,004	0,4851
C16:1c	1,91 ± 0,05	1,92 ± 0,05	0,8964
C17:0	0,72 ± 0,02	0,71 ± 0,02	0,7147
C17:0ai	0,26 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,6426
C18:0	9,31 ± 0,15	10,24 ± 0,15	<0,0001
∑ C18:1t6-13	1,42 ± 0,03	1,50 ± 0,03	0,1101
∑ C18:1c9-13	21,18 ± 0,44	21,55 ± 0,44	0,5513
∑ C18:1c14, t16	0,29 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,6659
∑ C18:1c15, C19:0	0,206 ± 0,003	0,216 ± 0,003	0,0209
∑ C18:2t11c15, t9c11	0,175 ± 0,007	0,203 ± 0,007	0,0085
C18:2c9c12	1,49 ± 0,03	1,37 ± 0,03	0,0017
C20:0	0,136 ± 0,003	0,144 ± 0,003	0,0309
C20:1c9	0,087 ± 0,002	0,090 ± 0,002	0,2589
∑ C20:1c11, C18:3c9c12c15	0,45 ± 0,01	0,44 ± 0,01	0,6273
C18:2c9t11	0,44 ± 0,01	0,45 ± 0,01	0,6436
C20:4n-6	0,100 ± 0,003	0,094 ± 0,003	0,2393
C20:5n-3	0,064 ± 0,003	0,075 ± 0,003	0,0156
Fettsäuren gruppiert ²⁾			
GFS	70,63 ± 0,50	70,28 ± 0,50	0,6152
UFS	28,75 ± 0,49	29,11 ± 0,50	0,6080
EUFS	26,04 ± 0,47	26,47 ± 0,47	0,5178
MUFS	2,73 ± 0,05	2,65 ± 0,05	0,2098
KKFS	11,61 ± 0,14	11,49 ± 0,15	0,5332
MKFS	49,01 ± 0,45	47,92 ± 0,46	0,0934
LKFS	38,76 ± 0,54	40,06 ± 0,55	0,0932
UKFS	2,76 ± 0,04	2,71 ± 0,04	0,3942
VKFS	1,85 ± 0,02	1,88 ± 0,02	0,3360

¹⁾ Summe; ²⁾ Abkürzungen vgl. Tabelle 12; ³⁾ Fettsäure

Die höchste Konzentration im Milchfett mit 29,7 (Gruppe 150) bzw. 30,2 g pro 100 g FS (Gruppe 150) hatte in den beiden Gruppen die FS C16:0. Auf die FS C16:0 folgte die FS Σ C18:1c9-13 mit der zweit höchsten Konzentration aller FS im Milchfett. Unter den FS-Gruppen dominierten im Milchfett die MKFS mit einer Konzentration von 47,9 (Gruppe 150) bzw. 49,0 g pro 100 g FS (Gruppe 250). Die Konzentration der GFS war im Milchfett mit 70,3 (Gruppe 150) bzw. 70,6 g pro 100 g FS (Gruppe 250) höher als die Konzentration der UFS.

Während bei den KKFS und den MKFS die Konzentration der FS C10:0 (Caprinsäure), der FS C12:0 (Laurinsäure), der FS C12:0ai, der FS Σ C12:1c, C13:0 und der FS C15:0 in der Gruppe 250 signifikant ($p_{FS} \leq 0,1$) höher lag als in der Gruppe 150, lag die Konzentration der FS C04:0 (Buttersäure) signifikant niedriger. Wie die Konzentration der Mehrheit der MKFS lag auch die aufsummierte Konzentration der MKFS in der Gruppe 250 signifikant höher als in der Gruppe 150 im Durchschnitt der Laktation.

Bis auf eine Ausnahme (FS C18:2c9c12) war die Konzentration der sich zwischen den Gruppen signifikant unterscheidenden einzelnen LKFS und die aufsummierte Konzentration der LKFS in der Gruppe 250 niedriger als in der Gruppe 150. Die Konzentration der FS C18:2c9c12 lag hiervon abweichend in der Gruppe 250 (1,5 g pro 100 g FS) signifikant höher als in der Gruppe 150 (1,4 g pro 100 g FS).

Die höchste Konzentration der KKFS wies in den beiden Versuchsgruppen die FS C04:0 auf, mit 4,1 g pro 100 g FS in der Gruppe 250 bzw. 4,2 g pro 100 g FS in der Gruppe 150. Von den MKFS war im Durchschnitt der Laktation in den beiden Gruppen die Konzentration der FS C16:0 am höchsten. Die FS C16:0 hatte gleichzeitig 42 bis 43 % Anteil an der Summe der GFS in den beiden Gruppen. Die FS Σ C18:1c9-13 hatte in den beiden Gruppen den höchsten Anteil an der Summe aller LKFS (54 bis 55 %), an der Summe aller UFS (74 %) sowie an der Summe aller EUFS (81 %). Bei den MUFS dominierte in den beiden Gruppen mit 52 bis 55 % die FS C18:2c9c12.

4.6.3 Einfluss der Laktationsnummer bei variierendem Kraftfuttereinsatz

Von den KKFS wurde lediglich die Konzentration der FS C10:1c signifikant ($p_{LNRcl} \leq 0,1$) von der LNRcl beeinflusst, unabhängig von der Gruppe ($p_{vgrp * LNRcl} > 0,1$) (vgl. Tabelle 30). In der Gruppe 250 und der Gruppe 150 hatten die Tiere in der $LNRcl \geq 4$ eine höhere Konzentration der FS C10:1c im Milchfett als die Tiere in den jeweils niedrigeren LNRcl. Auch die Konzentration der UFS mit 14 und 16 C-Atomen (FS C14:1c und FS C16:1c) stieg mit fortschrei-

tender LNRcl. Die Konzentrationen der UFS mit einer Kettenlänge von 18 C-Atomen präsentierten sich mit Blick auf den Einfluss der LNRcl wenig einheitlich.

Die FS C16:0 wies im Durchschnitt der Laktation in den beiden Gruppen in der LNRcl 1 die geringste Konzentration auf mit 28,8 (Gruppe 250) bzw. 28,6 g pro 100 g FS (Gruppe 150) und in der LNRcl ≥ 4 die höchste Konzentration auf mit 30,7 (Gruppe 250) bzw. 40,0 g pro 100 g FS (Gruppe 150). Der in Kapitel 4.6.2 beschriebene signifikante Einfluss der Gruppe auf die Konzentration der MKFS und LKFS bestätigte sich laut Tabelle 30 nur in LNRcl 2.

Anders als die Konzentration der FS C16:0 sank die Konzentration vieler VKFS, die überwiegend eine mittlere Kettenlänge hatten, mit fortschreitender LNRcl. Die aufsummierte Konzentration aller VKFS betrug bei den Erstkalbskühen beider Gruppen je 2,1 g pro 100 g FS und nahm mit jeder weiteren LNRcl signifikant ab, sodass in der LNRcl ≥ 4 die Konzentration noch jeweils 1,7 g pro 100 g FS betrug.

Bis auf eine Ausnahme (FS C17:0ai) sank auch die Konzentration der einzelnen UKFS sowie deren aufsummierte Konzentration von LNRcl 1 bis ≥ 4 . Die Konzentration der UKFS betrug in der LNRcl 1 im Durchschnitt der Laktation in den beiden Gruppen je 3,0 g pro 100 g FS und in der LNRcl ≥ 4 je 2,5 g pro 100 g FS.

Denselben Einfluss hatte die LNRcl außerdem auf die Konzentration der MUFS. Bei Betrachtung des Einflusses der LNRcl auf die Konzentration der einzelnen MUFS in den beiden Gruppen zeichnete sich allerdings kein einheitliches Bild ab.

Die Konzentration der FS \sum C18:1c9-13, der FS C14:0 (Myristinsäure) und der FS C18:0 (Stearinsäure) wurde von der LNRcl in der Gruppe 250 und der Gruppe 150 unterschiedlich beeinflusst. In der Gruppe 150 bestanden keine signifikanten Unterschiede in der Konzentration der FS \sum C18:1c9-13 zwischen den einzelnen LNRcl. In der Gruppe 250 war die Konzentration der FS \sum C18:1c9-13 in der LNRcl 3 signifikant höher als in der LNRcl 2.

Die Konzentration der FS C18:0 ging in der Gruppe 150 von LNRcl 1 bis ≥ 4 und in der Gruppe 250 von LNRcl 1 bis 2 zurück. Die im Kapitel 4.6.2 beschriebene, signifikant höhere Konzentration der FS C18:0 in der Gruppe 250 bestätigte sich nur für die LNRcl 1 bis 3.

Die uneinheitliche Struktur des Einflusses der LNRcl auf die Konzentration der quantitativ bedeutsamsten, einzelnen Milch-FS in der Gruppe 250 und der Gruppe 150 hatte zur Folge, dass auch der Einfluss der LNRcl auf die Konzentration der GFS, der UFS, der EUFS, der KKFS, der MKFS und der LKFS kein eindeutiges Muster zeigte.

ERGEBNISSE

Tabelle 30: Einfluss der Laktationsnummernklasse (LNRcl) 1, 2, 3, ≥ 4 und der LNRcl in Abhängigkeit der Gruppe (vgrp, 250 oder 150) auf die Fettsäurezusammensetzung im Milchfett in der Laktation (Termine 5, 28, 100 und 200 Tage p. p.) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal	p LNRcl	p vgrp*LNRcl	LNRcl							
			1		2		3		≥ 4	
			250	150	250	150	250	150	250	150
Fettsäure			LSmeans _{FS} \pm SE _{FS} , g/100 g FS ³⁾							
C04:0	0,4310	0,8024	4,18	4,35	4,01	4,08	4,02	4,28	4,06	4,23
C06:0	0,8067	0,2420	2,45	2,39	2,44	2,38	2,35	2,49	2,48	2,44
C08:0	0,8064	0,2480	1,48	1,42	1,51	1,40	1,43	1,46	1,51	1,43
C10:0	0,9991	0,1845	3,37	3,17	3,52	3,03	3,35	3,20	3,36	3,21
C10:1c	0,0107	0,8465	0,22	0,21	0,23	0,22	0,23	0,23	0,25	0,26
			b ⁴⁾		b		b		a	
C12:0	0,9993	0,0710	3,85	3,63	4,07	3,38	3,87	3,58	3,79	3,65
			abc	bcd	a	d	ab	c	bc	bc
C12:0i	0,0052	0,0047	0,022	0,011	0,011	0,005	0,007	0,013	0,009	0,009
			a	bc	bc	d	cd	b	bcd	bcd
C12:0ai	0,9802	0,0337	0,068	0,071	0,078	0,059	0,074	0,066	0,070	0,070
			abc	ab	a	c	ab	b	ab	ab
\sum ¹⁾ C12:1c, C13:0	0,2961	0,0423	0,21	0,20	0,23	0,17	0,22	0,18	0,19	0,18
			ab	abc	a	d	a	cd	bcd	bcd
C13:0i	<0,0001	0,8362	0,124	0,127	0,102	0,102	0,088	0,098	0,084	0,091
			a		b		bc		c	
C14:0	0,9488	0,0266	11,57	11,53	12,16	11,10	11,53	11,56	11,63	11,64
			abc	abc	a	c	bc	ab	abc	abc
C14:0i	<0,0001	0,8337	0,244	0,257	0,225	0,224	0,194	0,198	0,198	0,197
			a		b		c		c	
C14:0ai	<0,0001	0,6141	0,45	0,46	0,41	0,39	0,37	0,38	0,36	0,37
			a		b		c		c	
C14:1c	0,0156	0,1180	0,62	0,68	0,73	0,69	0,73	0,70	0,73	0,78
			c		b		b		a	
C15:0	0,0004	0,2493	1,25	1,29	1,28	1,15	1,23	1,10	1,11	1,07
			a		ab		b		c	
C15:0i	<0,0001	0,7294	0,33	0,33	0,25	0,27	0,22	0,24	0,23	0,23
			a		b		c		c	
C16:0	0,0007	0,3703	28,75	28,64	30,80	29,70	30,34	29,57	30,69	30,95
			c		ab		b		a	
C16:0i	<0,0001	0,6618	0,391	0,390	0,353	0,364	0,332	0,327	0,319	0,316
			a		b		c		d	
C16:0ai	0,0029	0,2476	0,207	0,211	0,195	0,212	0,196	0,193	0,188	0,186
			a		a		b		c	
C16:1c	0,0002	0,0517	1,68	1,67	1,88	2,02	2,06	1,94	2,01	2,05
			c	c	b	ab	a	ab	ab	ab
C17:0	<0,0001	0,3358	0,83	0,84	0,79	0,78	0,70	0,65	0,57	0,56
			a		b		c		d	
C17:0ai	0,0156	0,0096	0,26	0,26	0,26	0,31	0,28	0,26	0,25	0,25
			bc	bc	bc	a	b	bc	c	c
C18:0	<0,0001	0,0111	10,24	11,39	8,86	10,23	8,85	10,00	9,28	9,34
			b	a	c	b	c	b	c	c
\sum C18:1t6-13	<0,0001	0,0118	1,75	1,61	1,34	1,54	1,33	1,43	1,28	1,42
			a	ab	cd	b	cd	c	d	c
\sum C18:1c9-13	0,4510	0,0735	21,13	20,96	20,25	22,33	21,97	21,80	21,38	21,12
			ab	ab	b	a	a	ab	ab	ab
\sum C18:1c14, t16	0,0465	0,2639	0,32	0,30	0,28	0,29	0,28	0,30	0,28	0,29
			a		b		b		b	
\sum C18:1c15, C19:0	0,0335	0,8952	0,211	0,227	0,213	0,217	0,203	0,212	0,197	0,208
			a		a		ab		b	
\sum C18:2t11c15, t9c11	<0,0001	0,0093	0,229	0,206	0,169	0,222	0,158	0,202	0,145	0,181
			ab	abc	d	a	de	b	e	cd

ERGEBNISSE

Fortsetzung Tabelle 30

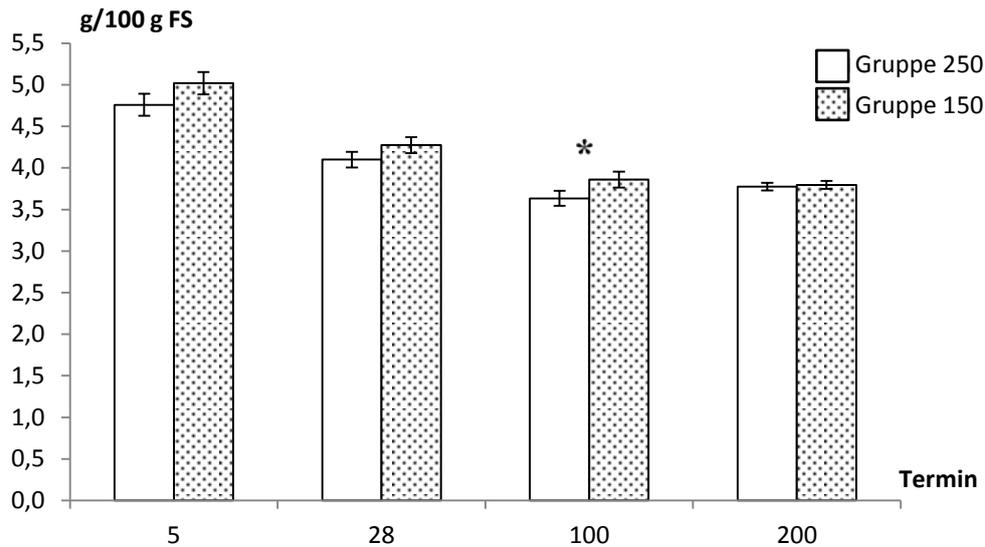
Merkmal	p LNRcl	p vgrp*LNRcl	LNRcl							
			1		2		3		≥ 4	
			250	150	250	150	250	150	250	150
Fettsäure			LSmeans _{FS} ± SE _{FS} , g/100 g FS							
C18:2c9c12	0,1107	0,8626	1,58	1,42	1,49	1,37	1,46	1,37	1,44	1,34
C20:0	0,0001	0,1108	0,151	0,159	0,133	0,146	0,122	0,139	0,137	0,135
			a		b		c		bc	
C20:1c9	0,7485	0,6141	0,092	0,090	0,087	0,090	0,084	0,091	0,086	0,090
∑C20:1c11, C18:3c9c12c15	0,1403	0,0012	0,50	0,42	0,43	0,43	0,42	0,48	0,46	0,45
			a	cd	cd	cd	d	ab	abc	bcd
C18:2c9t11	< 0,0001	0,0217	0,54	0,48	0,45	0,51	0,42	0,41	0,37	0,41
			a	ab	bc	a	c	cd	d	cd
C20:4n-6	0,1793	0,2175	0,102	0,104	0,101	0,087	0,098	0,089	0,097	0,098
C20:5n-3	< 0,0001	0,1983	0,071	0,096	0,072	0,073	0,057	0,062	0,057	0,068
			a		b		c		c	
Fettsäuren gruppiert ²⁾										
GFS	0,5410	0,0464	70,42	71,06	71,76	69,41	69,83	70,08	70,52	70,55
			ab	ab	a	b	b	ab	ab	ab
UFS	0,5452	0,0465	28,90	28,36	27,66	29,99	29,57	29,28	28,86	28,80
			ab	ab	b	a	a	ab	ab	ab
EUFS	0,4377	0,0527	25,96	25,66	25,03	27,34	26,94	26,68	26,24	26,21
			abc	bc	c	a	ab	ab	abc	abc
MUFS	< 0,0001	0,1029	3,03	2,74	2,70	2,70	2,62	2,62	2,58	2,54
			a		b		c		c	
KKFS	0,8719	0,1322	11,66	11,57	11,75	11,14	11,39	11,68	11,65	11,55
MKFS	0,2076	0,0832	47,57	47,47	50,49	47,37	48,95	47,86	49,02	48,98
			bc	bc	a	c	bc	bc	ab	ab
LKFS	0,2902	0,0340	40,07	40,53	37,21	41,10	39,06	39,94	38,68	38,66
			ab	ab	c	a	b	ab	bc	bc
UKFS	< 0,0001	0,1050	2,95	3,03	2,88	2,80	2,73	2,54	2,46	2,45
			a		b		c		d	
VKFS	< 0,0001	0,6527	2,07	2,10	1,86	1,94	1,76	1,78	1,72	1,72
			a		b		c		d	

¹⁾ Summe; ²⁾ Abkürzungen vgl. Tabelle 12; ³⁾ Fettsäure; ⁴⁾ unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,1$) zwischen LNRcl oder vgrp*LNRcl Laktationsverlauf

Der Milchprobetermin beeinflusste mehrheitlich signifikant ($p_{\text{termin}} \leq 0,1$) die Konzentration der analysierten FS bzw. FS-Gruppen, entweder unabhängig ($p_{\text{vgrp*termin}} > 0,1$) oder abhängig ($p_{\text{vgrp*termin}} \leq 0,1$) von der Gruppe.

Eine Ausnahme stellten, wie Tabelle 31 zeigt, die KKFS dar. Deren Konzentration war in keiner der beiden Gruppen signifikant unterschiedlich zwischen den Milchprobeterminen. Die separate Betrachtung der einzelnen FS der KKFS in Tabelle 31 zeigt den Grund für diese Ausnahme.

Die Konzentration der FS C04:0 sank in der Gruppe 250 und in der Gruppe 150 von Milchprobetermin 5 bis 100 Tage *p. p.* und blieb dann konstant bis zum Termin 200 Tage *p. p.* (Gruppe 150) bzw. stieg (Gruppe 250; vgl. Abbildung 31).



p-Werte: termin < **0,0001**; termin*vgrp **0,0381**; termin*LNRcl **0,0847**; termin*vgrp*LNRcl 0,9987 ¹⁾

Abbildung 31: Konzentration der Fettsäure (FS) C04:0 ($LSmeans_{FS} \pm SE_{FS}$) im Milchfett der Gruppen an den vier Milchprobeterminen im gesamten Versuchszeitraum; Termine, an denen ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,1$) zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 bestand, sind mit * gekennzeichnet; ¹⁾ Termin = Milchprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

Die Konzentration der FS C10:0 und der FS C10:1c stieg hingegen von Milchprobetermin 5 bis 100 Tage *p. p.* und blieb von Milchprobetermin 100 bis 200 Tage *p. p.* entweder konstant (FS C10:1c) oder ging zurück (FS C10:0, vgl. Abbildung 32).

Diese gegensätzliche Entwicklung der Konzentration der einzelnen KKFS hob die Unterschiede in der aufsummierten Konzentration der KKFS an den Milchprobeterminen auf.

ERGEBNISSE

Tabelle 31: Einfluss des Milchprobetermins (termin; 5, 28, 100 und 200 Tage p. p) und des Termins in Abhängigkeit der Gruppe (vgrp, 250 oder 150) auf die Fettsäurezusammensetzung im Milchlakt im gesamten Versuchszeitraum

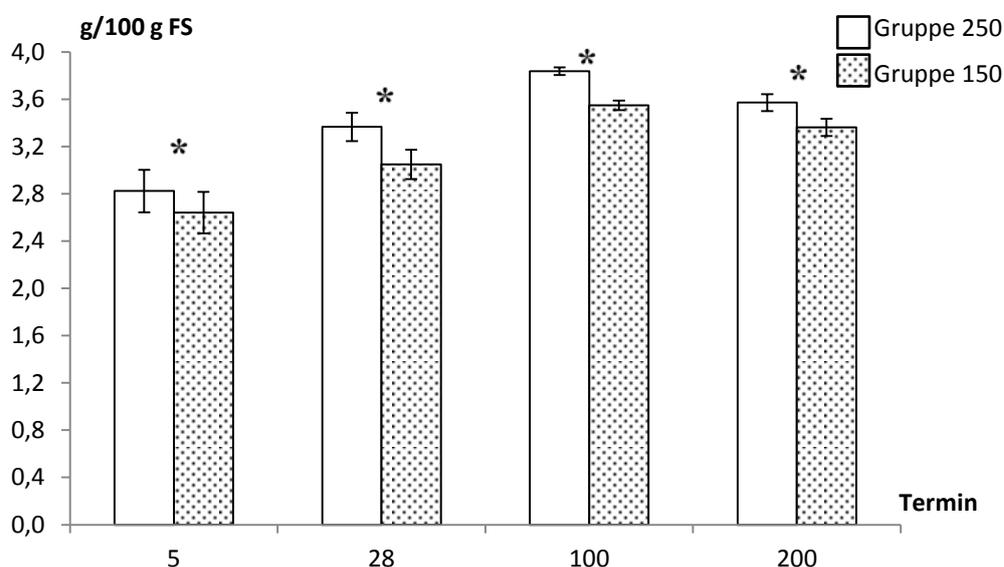
Merkmal	p (termin)	p (vgrp*termin)	250	150
Fettsäure			skizzierter Verlauf (5, 28, 100, 200 Tage p. p.)	
C04:0	< 0,0001	0,0381		
C06:0	0,2174	0,9369		
C08:0	0,1223	0,3636		
C10:0	< 0,0001	0,6881		
C10:1c	< 0,0001	0,3734		
C12:0	< 0,0001	0,5062		
C12:0i	< 0,0001	0,6968		
C12:0ai	< 0,0001	0,8207		
\sum ¹⁾ C12:1c, C13:0	< 0,0001	0,1486		
C13:0i	< 0,0001	0,4552		
C14:0	< 0,0001	0,9704		
C14:0i	< 0,0001	0,0007		
C14:0ai	< 0,0001	0,4918		
C14:1c	< 0,0001	0,5635		
C15:0	< 0,0001	< 0,0001		
C15:0i	< 0,0001	0,4577		
C16:0	< 0,0001	0,6035		
C16:0i	< 0,0001	0,0171		
C16:0ai	< 0,0001	0,0408		
C16:1c	0,0220	0,0467		
C17:0	< 0,0001	0,5339		
C17:0ai	< 0,0001	0,3098		
C18:0	< 0,0001	0,0228		
\sum C18:1t6-13	< 0,0001	0,3951		
\sum C18:1c9-13	< 0,0001	0,9601		
\sum C18:1c14, t16	0,0454	0,1711		
\sum C18:1c15, C19:0	0,0534	0,2482		
\sum C18:2t11c15, t9c11	< 0,0001	0,6757		
C18:2c9c12	< 0,0001	0,0002		
C20:0	< 0,0001	0,0211		
C20:1c9	< 0,0001	0,0101		
\sum C20:1c11, C18:3c9c12c15	< 0,0001	0,7861		
C18:2c9t11	< 0,0001	0,9013		
C20:4n-6	< 0,0001	0,0761		
C20:5n-3	< 0,0001	0,0539		

Fortsetzung Tabelle 31

Merkmal	p (termin)	p (vgrp*termin)	250	150
Fettsäuren gruppiert ²⁾			skizzierter Verlauf (5, 28, 100, 200 Tage p. p.)	
GFS	< 0,0001	0,8711		
UFS	< 0,0001	0,8477		
EUFS	< 0,0001	0,8958		
MUFS	< 0,0001	0,1383		
KKFS	0,4058	0,9573		
MKFS	< 0,0001	0,8664		
LKFS	< 0,0001	0,9065		
UKFS	< 0,0001	0,0995		
VKFS	0,0034	0,0590		

¹⁾ Summe; ²⁾ Abkürzungen vgl. Tabelle 12

Wie die aufsummierte Konzentration der KKFS war auch die Konzentration der FS C06:0 und der FS C08:0 in den beiden Gruppen konstant an den 4 Milchprobeterminen. Stellvertretend für die KKFS ist in Abbildung 31 die Konzentration der FS C04:0 und in Abbildung 32 die Konzentration der FS C10:0 in den beiden Gruppen an den 4 Milchprobeterminen aufgetragen.



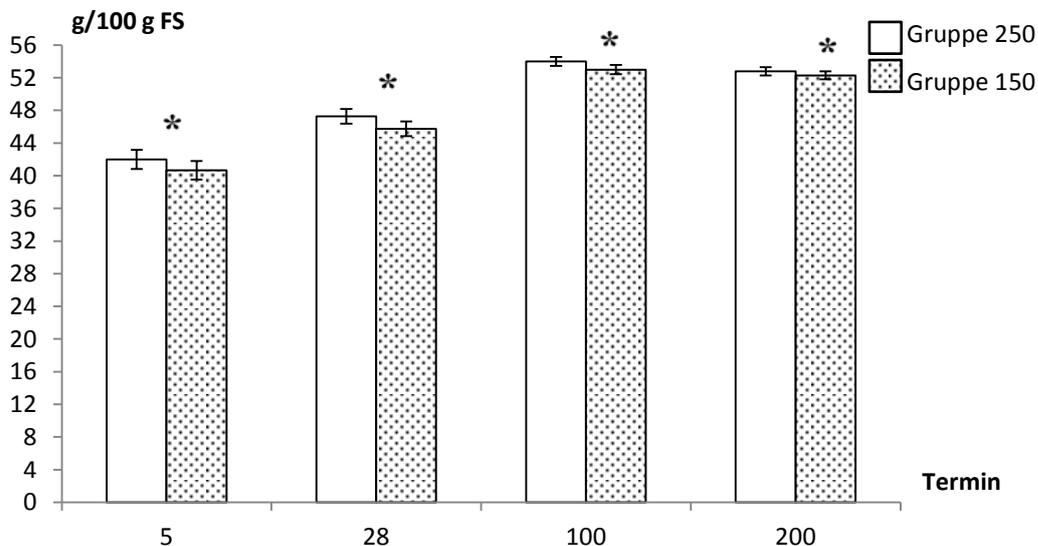
p-Werte: termin < 0,0001; termin*vgrp 0,6881; termin*LNRcl 0,0423; termin*vgrp*LNRcl 0,5661 ¹⁾

Abbildung 32: Konzentration der Fettsäure (FS) C10:0 ($LS_{means_{FS}} \pm SE_{FS}$) im Milchfett der Gruppen an den vier Milchprobeterminen im gesamten Versuchszeitraum; Termine, an denen ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,1$) zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 bestand, sind mit * gekennzeichnet; ¹⁾ Termin = Milchprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

Obwohl die Konzentration der FS C04:0 bei den Tieren der Gruppe 250 an den 4 Milchprobeterminen mit 3,6 bis 4,8 g pro 100 g FS niedriger lag als bei den Tieren in der Gruppe 150 (3,8 bis 5,0 g pro 100 g FS), war dieser Unterschied lediglich am Milchprobetermin 100 Tage *p. p.* signifikant (vgl. Abbildung 31).

Die Konzentration der FS C10:0 war in der Gruppe 250 an allen 4 Milchprobeterminen signifikant höher als in der Gruppe 150. Diesen Gruppenunterschied zeigt Abbildung 32.

Laut Tabelle 31 stieg die Konzentration der MKFS (vgl. auch Abbildung 33) und die Konzentration jeder einzelnen FS dieser FS-Gruppe von Termin 5 bis 100 Tage *p. p.*. Vom Termin 100 Tage *p. p.* bis zum Termin 200 Tage *p. p.* stiegen die Konzentrationen dieser FS entweder weiter (FS C13:0i, FS C14:0i, FS C14:1c und FS C15:0i), blieben konstant (FS C12:0ai, FS C14:0ai und FS C16:0) oder sanken (FS C12:0, FS C12:0i, FS Σ C12:1c, C13:0, FS C14:0 und FS C15:0). Da sich der Verlauf der Konzentration der einzelnen MKFS an den Milchprobeterminen so einheitlich präsentierte, ist in Abbildung 33 der Verlauf der aufsummierten Konzentration aller MKFS beispielhaft für die Verläufe der Konzentrationen der einzelnen FS dieser FS-Gruppe dargestellt.



p-Werte: termin < 0,0001; termin*vgrp 0,8664; termin*LNRcl 0,5550; termin*vgrp*LNRcl 0,2301 ¹⁾

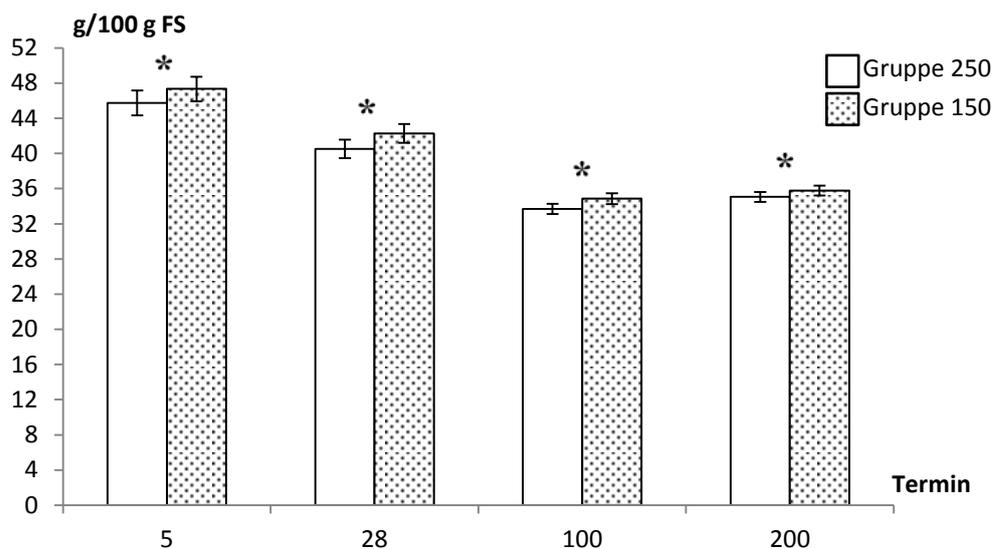
Abbildung 33: Konzentration der Fettsäure- (FS) Gruppe mittelkettige FS ($LSmeans_{FS} \pm SE_{FS}$) im Milchfett der Gruppen an den vier Milchprobeterminen im gesamten Versuchszeitraum; Termine, an denen ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,1$) zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 bestand, sind mit * gekennzeichnet; ¹⁾ Termin = Milchprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

Die Konzentration der MKFS wurde signifikant vom Milchprobetermin beeinflusst und war in der Gruppe 250 an allen 4 Milchprobeterminen signifikant höher als in der Gruppe 150. An den 4 Terminen erreichten die MKFS in der Gruppe 250 in Summe 42,0 bis 54,0 g pro 100 g

FS und in der Gruppe 150 von 40,7 bis 53,0 g pro 100 g FS. Die Spanne der Konzentration war größer zwischen den Terminen innerhalb einer Gruppe ($PDiff_{FS}$: 0,7 bis 12,3 g pro 100 g FS) als zwischen den beiden Gruppen am selben Milchprobetermin ($PDiff_{FS}$: 0,5 bis 1,5 g pro 100 g FS).

Der Verlauf der Konzentration der GFS und der UKFS an den 4 Milchprobeterminen war dem Verlauf der Konzentration der MKFS ähnlich (vgl. Tabelle 31). Die höchste Konzentration dieser beiden FS-Gruppen wurde jeweils am Milchprobetermin 100 Tage *p. p.* gemessen. Die Konzentration der FS-Gruppen GFS oder UKFS war an keinem der 4 Milchprobetermine signifikant verschieden zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150.

Die Konzentration der FS-Gruppe LKFS entwickelte sich an den 4 Milchprobeterminen spiegelverkehrt zur Konzentration der FS-Gruppe MKFS, wie Abbildung 34 und Tabelle 31 verdeutlichen.



p-Werte: termin < **0,0001**; termin*vgrp 0,9065; termin*LNRcl 0,7208; termin*vgrp*LNRcl 0,2111 ¹⁾

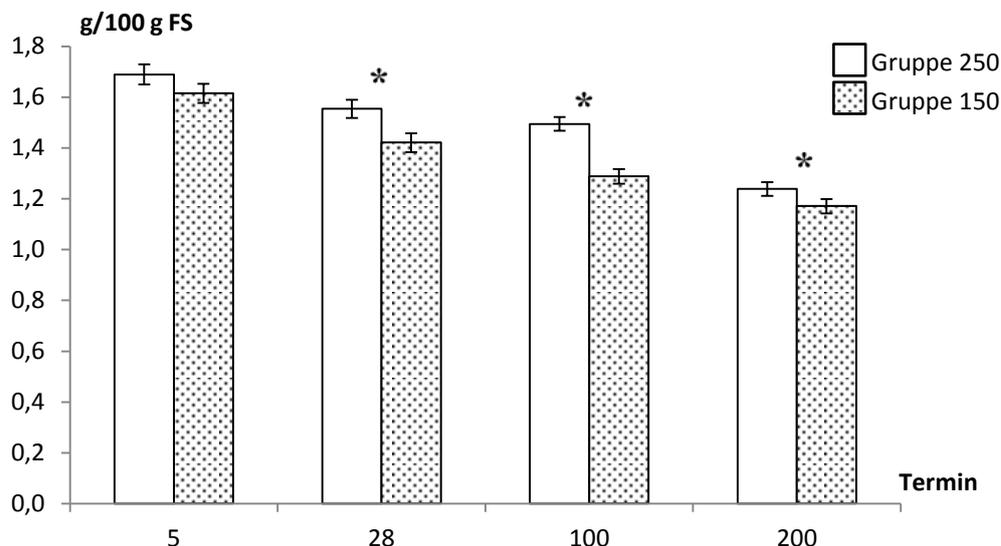
Abbildung 34: Konzentration der Fettsäure- (FS) Gruppe langkettige FS ($LSmeans_{FS} \pm SE_{FS}$) im Milchfett der Gruppen an den vier Milchprobeterminen im gesamten Versuchszeitraum; Termine, an denen ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,1$) zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 bestand, sind mit * gekennzeichnet; ¹⁾ Termin = Milchprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

Von Milchprobetermin 5 bis 100 Tage *p. p.* sank die Konzentration der LKFS in der Gruppe 250 bzw. in der Gruppe 150 und stieg anschließend leicht bis zum Termin 200 Tage *p. p.* Signifikant war der Gruppenunterschied an jedem der 4 Milchprobetermine. Abbildung 34 zeigt, dass die Konzentration eine höhere Spannweite zwischen den Terminen innerhalb einer Gruppe aufwies ($PDiff_{FS}$: 0,9 bis 12,5 g pro 100 g FS) als zwischen den beiden Gruppen am

selben Milchprobetermin (PDiff_{FS}: 0,7 bis 1,8 g pro 100 g FS). Die quantitativ bedeutendsten FS aus der Gruppe der LKFS, die FS Σ C18:1c9-13 und die FS C18:0, wiesen einen ähnlichen Verlauf ihrer Konzentration an den 4 Milchprobeterminen auf wie die FS-Gruppe LKFS (vgl. Tabelle 31). Die Konzentration der FS Σ C18:1c9-13 unterschied sich an keinem der 4 Milchprobetermine signifikant zwischen den beiden Gruppen. Bei der Konzentration der FS C18:0 wurde ein signifikanter Gruppenunterschied an den Terminen 5, 28 und 100 Tage *p. p.* festgestellt. Weil von Termin 100 bis 200 Tage *p. p.* die Konzentration der FS C18:0 nur in der Gruppe 250 stieg, bestand an diesem Milchprobetermin kein signifikanter Gruppenunterschied. Wie Tabelle 31 zeigt, entwickelte sich auch die Konzentration der FS C20:0 und der FS Σ C18:1t6-13 in den beiden Gruppen sowie die Konzentration der FS C16:0i und der FS C16:1c in der Gruppe 150 entsprechend dem Konzentrationsverlauf der FS-Gruppe LKFS. Die restlichen FS aus der Gruppe der LKFS hatten, wie in Tabelle 31 skizziert, unterschiedliche Konzentrationsverläufe an den 4 Milchprobeterminen.

Da die Konzentrationen der FS-Gruppen UFS, EUFS und LKFS von der Konzentration der FS Σ C18:1c9-13 dominiert wurden, verliefen die Konzentrationen dieser drei FS-Gruppen an den 4 Milchprobeterminen ähnlich.

Das Diagramm in Abbildung 35 veranschaulicht den Verlauf der Konzentration der FS C18:2c9c12 an den 4 Milchprobeterminen in der Gruppe 250 und in der Gruppe 150.



p-Werte: termin < 0,0001; termin*vgrp 0,0002; termin*LNRcl 0,9818; termin*vgrp*LNRcl 0,6745 ¹⁾

Abbildung 35: Konzentration der Fettsäure (FS) C18:2c9c12 ($LSmeans_{FS} \pm SE_{FS}$) im Milchlaktat der Gruppen an den vier Milchprobeterminen im gesamten Versuchszeitraum; Termine, an denen ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,1$) zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 bestand, sind mit * gekennzeichnet; ¹⁾ Termin = Milchprobetermin, vgrp = Gruppe, LNRcl = Laktationsnummernklasse

Die Konzentration der FS C18:2c9c12 sank in den beiden Gruppen von Termin 5 bis 200 Tage *p. p.* kontinuierlich. An den Milchprobeterminen 28, 100 und 200 Tage *p. p.* lag die Konzentration der FS C18:2c9c12 in der Gruppe 250 signifikant höher als in der Gruppe 150, wie Abbildung 35 zeigt.

Die Änderung der Konzentration der FS-Gruppe der MUFS an den 4 Milchprobeterminen verlief nach demselben Muster wie die Änderung der Konzentration der FS C18:2c9c12 (vgl. Tabelle 31). An keinem der 4 Milchprobetermine war die Konzentration der MUFS signifikant verschieden zwischen den beiden Gruppen.

Der Konzentrationsverlauf der FS-Gruppe der VKFS an den 4 Milchprobeterminen orientierte sich an keinem der bislang detailliert dargestellten Verläufe. Der Verlauf war, wie in Tabelle 31 skizziert, in der Gruppe 250 und in der Gruppe 150 signifikant unterschiedlich. Signifikante Unterschiede in der Konzentration der VKFS zwischen den beiden Gruppen bestanden nur am Milchprobetermin 5 Tage *p. p.*.

4.7 Energie- und Nährstoffnutzung für Leistung oder leistungsunabhängigen Bedarf

In diesem Unterkapitel wird vorgestellt welchen Anteil die Milchenergie an der Futterenergie hatte. Des Weiteren wird das Verhältnis von Protein bzw. P in der Milch zu XP bzw. P im Futter verglichen, das sich bei einem KF-Einsatz von 250 oder 150 g pro kg ECM ergab. Die Ergebnisdarstellung im nachfolgenden Unterkapitel ist beschreibend, weil die Laktation und die Trockenstehphase gemeinsam ausgewertet wurden. Es werden keine Angaben zur Entwicklung der Merkmale im Laktationsverlauf oder zum Einfluss der LNRcl auf die Merkmale gemacht, weil Aussagen zur Energie- und Nährstoffnutzung auf möglichst lange Beobachtungszeiträume gestützt werden sollten.

4.7.1 Gesamtlaktation einschließlich Trockenstehphase

Das Verhältnis von Milchenergie zu aufgenommener Bruttoenergie wird nachfolgend als Bruttoenergie-Konvertierungsfaktor bezeichnet. Der Bruttoenergie-Konvertierungsfaktor betrug in der Gruppe 250 in den zwei Versuchsjahren durchschnittlich 0,19 MJ pro MJ (entspricht 19 %). In der Gruppe 150 betrug der Bruttoenergie-Konvertierungsfaktor durchschnittlich 0,20 MJ pro MJ in den zwei Versuchsjahren und war somit geringfügig höher (vgl. Tabelle 32).

Durchschnittlich nahm eine Kuh in der Gruppe 250 in den zwei Versuchsjahren 3 092 g XP pro Tag auf, eine Kuh in der Gruppe 150 2 934 g XP. Laut Tabelle 32 stammten hiervon in der Gruppe 250 täglich 1 481 g XP aus dem KF, was einem Anteil von 48 % entsprach. Die Tiere in der Gruppe 150 nahmen täglich 345 g XP weniger aus dem KF auf. Der Anteil des XP aus dem KF an der gesamten XP-Aufnahme betrug 39 % in der Gruppe 150. Pro Kuh und Tag erzeugten die Tiere in der Gruppe 250 im Versuchszeitraum 843 g Milcheiweiß und damit täglich 18 g mehr als die Tiere in der Gruppe 150 (825 g Milcheiweiß pro Tag). Der Protein-Konvertierungsfaktor, das Verhältnis von Milcheiweiß zu XP-Aufnahme, betrug in der Gruppe 250 im Durchschnitt der beiden Versuchsjahre 0,24 g pro g (entspricht 24 %). Für Gruppe 150 wurde ein durchschnittlicher Protein-Konvertierungsfaktor von 0,26 g pro g berechnet. Die tägliche RNB war in den beiden Gruppen im Durchschnitt der zwei Versuchsjahre negativ.

Tabelle 32: Durchschnittliche Energie- und Nährstoffaufnahme und deren Nutzung für Milch in der Gruppe 250 und der Gruppe 150 im gesamten Versuchszeitraum, beschreibende Auswertung von Laktation und Trockenstehphase gemeinsam

Merkmal, pro Tier	250	150	Differenz
	$\bar{x} \pm s$		
Energie			
GEKF ¹⁾ , MJ/MJ	0,19 ± 0,10	0,20 ± 0,10	-0,01
Protein			
Rohproteinaufnahme, g	3 092 ± 898	2 934 ± 778	158
Rohproteinaufnahme aus KF, g	1 481 ± 681	1 136 ± 474	345
Ruminale-Stickstoff-Bilanz, g	-3,9 ± 17,3	-8,3 ± 18,9	4,4
Milcheiweiß, g	843 ± 451	825 ± 422	18
PrKF ²⁾ , g/g	0,24 ± 0,13	0,26 ± 0,13	0,02
Phosphor			
Phosphoraufnahme, g	118,4 ± 34,2	111,5 ± 30,0	6,9
Phosphoraufnahme aus KF, g	59,3 ± 25,3	45,7 ± 18,4	13,6
Milchphosphor ³⁾ , g	23,8 ± 12,8	23,5 ± 12,2	0,3
PhKF ⁴⁾ , g/g	0,18 ± 0,09	0,19 ± 0,10	-0,01

¹⁾ Bruttoenergie-Konvertierungsfaktor; ²⁾ Protein-Konvertierungsfaktor; ³⁾ Annahme 1,0 g Phosphor pro kg Milch nach GfE (2001); ⁴⁾ Phosphor-Konvertierungsfaktor

Die Tiere in der Gruppe 250 nahmen täglich 6,9 g mehr P pro Kuh mit dem Futter auf als die Tiere in der Gruppe 150 (vgl. Tabelle 32). Bei Betrachtung der P-Aufnahme aus dem KF vergrößerte sich die Differenz auf 13,6 g. Bei Annahme eines P-Gehalts von 1,0 g pro kg Milch (GfE 2001) in den beiden Gruppen wurde kein Unterschied in der täglich mit der Milch abgegebenen P-Menge zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 festgestellt. Folglich war der Phosphor-Konvertierungsfaktor, das Verhältnis von Milch-P zu aufgenommener P-Menge, im

Durchschnitt der beiden Versuchsjahre in der Gruppe 250 mit 0,18 g pro g (entspricht 18 %) etwas niedriger als in der Gruppe 150 (0,19 g pro g).

4.8 Krankheiten und Fruchtbarkeit

In diesem Unterkapitel wird der Einfluss des KF-Einsatzes auf die Prävalenz ausgewählter Krankheiten und Krankheits-Komplexe aufgezeigt. Auch Unterschiede zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 bei ausgewählten Fruchtbarkeitsmerkmalen sowie beim Kalbeverlauf werden thematisiert. Keine Angaben werden zum Einfluss der LNRcl auf die Prävalenz gemacht sowie zur Entwicklung der Prävalenz im Laktationsverlauf.

4.8.1 Gesamtlaktation einschließlich Trockenstehphase

Tabelle 33 macht deutlich, dass sich die Wahrscheinlichkeit, während der Gesamtlaktation (einschließlich Trockenstehphase) zu erkranken, nicht signifikant ($p > 0,1$) unterschied zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150.

Tabelle 33: Anteil der Laktationen pro Gruppe (Gruppe 250 und Gruppe 150) im Erkrankungszeitraum, in denen die genannte Diagnose gestellt wurde; gesamter Versuchszeitraum ¹⁾

Merkmal		250	150	p ²⁾	Erkrankungszeitraum (LTG ³⁾)
		Anteil, %			
Ketose	mit Diagnose n ⁴⁾	22,0	15,7	0,4169	1 bis 33
		50	51		
Gebärparese	mit Diagnose n	16,3	26,5	0,2184	-4 bis 7
		50	51		
Ovarialzyste	mit Diagnose n	6,3	14,8	0,1195	20 bis 162
		64	64		
Ovarialzyste + Verdacht	mit Diagnose	15,6	23,0	0,2986	20 bis 162
Ovarial-Folgezyste + Verdacht	mit Diagnose	3,1	9,8		
Endometritis	mit Diagnose n	7,8	6,7		0 bis 140
		64	60		
Retentio	mit Diagnose n	12,2	8,0		0 bis 14
		49	50		
Mastitis	mit Diagnose n	28,8	20,8	0,2689	0 bis 384
		73	72		
Klauenerkrankung	mit Diagnose n	65,3	59,2	0,4911	5 bis 390
		73	72		

¹⁾ zur Methode der Datenauswertung vgl. Kapitel 3.6.1; ²⁾ wenn p ohne Wert, dann war kein Gruppenvergleich mittels Chi²-Test möglich, bei keiner Erkrankung bestand ein signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150; ³⁾ Laktationstag; ⁴⁾ maximale Anzahl Laktationen, die im Erkrankungszeitraum pro Laktationstag und Gruppe vorlag

Im Versuchszeitraum trat Ketose bei den Tieren in der Gruppe 250 und in der Gruppe 150 in der Früh-laktation ab dem ersten bis zum 33. LTG auf. In der Gruppe 250 wurde Ketose in 11 Laktationen festgestellt, was einem Anteil von 22 % der Laktationen im Erkrankungszeitraum entsprach (vgl. Tabelle 33). In der Gruppe 150 wurde Ketose in 8 Laktationen (16 %) diagnostiziert. An Gebärpause erkrankten die Tiere im Versuch zwischen 4 Tage *a. p.* und dem 7. LTG. In der Gruppe 250 wurde Gebärpause in 16 % der Laktationen, in der Gruppe 150 in 27 % der Laktationen im Erkrankungszeitraum festgestellt.

In der Gruppe 250 wurden Ovarialzysten in 6 % der Laktationen hormonell behandelt. In der Gruppe 150 betrug der Anteil der Laktationen mit hormonell behandelten Ovarialzysten 15 % (vgl. Tabelle 33, Ovarialzyste). Wurden die Diagnosen hinzugerechnet, in denen der Verdacht einer Ovarialzyste bestand, aber von einer hormonellen Behandlung abgesehen wurde, erhöhte sich der Anteil der betroffenen Laktationen in der Gruppe 250 auf 16 % und in der Gruppe 150 auf 23 % (vgl. Tabelle 33, Ovarialzyste + Verdacht). Eine erneute Behandlung oder ein erneuter Verdacht einer Ovarialzyste kam in der Gruppe 250 in 3 % der Laktationen im Erkrankungszeitraum vor, in der Gruppe 150 in 10 % der Laktationen (vgl. Tabelle 33, Ovarial-Folgezyste + Verdacht). Ovarialzysten wurden vom 20. bis zum 162. LTG diagnostiziert.

An einer Endometritis erkrankten die Tiere in der Gruppe 250 in 8 % der Laktationen, in der Gruppe 150 in 7 % der Laktationen. Die Erkrankungen traten im Zeitraum Kalbung bis zum 140. LTG auf. Retentio wurde in den ersten zwei Wochen *p. p.* diagnostiziert (vgl. Tabelle 33).

Die Auswertung der wöchentlich erfassten Zellzahl in der Milch ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 (vgl. Tabelle 34). Die Gruppe 250 wies im Durchschnitt der Laktation 68 300 Zellen pro mL Milch auf, 80 700 Zellen pro mL Milch die Gruppe 150.

Tabelle 34: Zellzahl in der Milch der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation (LTG 6 bis 344) im gesamten Versuchszeitraum

Merkmal	250	150	P _{global}
	LSmeans _{voll} ± SE		
Zellzahl, Tausend/mL Milch	68,3 ± 7,7	80,7 ± 8,9	0,257

Die Wahrscheinlichkeit an Mastitis zu erkranken, bestand für die Tiere in den beiden Gruppen während der gesamten Laktation. Die Tiere in der Gruppe 250 erkrankten in 29 % der Laktationen im Erkrankungszeitraum an Mastitis. In der Gruppe 150 erkrankten die Tiere in 21 % der Laktationen an Mastitis.

An den Klauen erkrankten die Tiere in den beiden Gruppen während der gesamten Laktation. In der Gruppe 250 wurden Klauenerkrankungen in 65 % der Laktationen festgestellt, in der Gruppe 150 in 59 % der Laktationen.

Der Kalbeverlauf wurde bonitiert. Der Verlauf zweier Kalbungen in der Gruppe 250 wurde nicht beobachtet. In den beiden Gruppen traten Kalbungen mit leichtem Verlauf (Klasse 1), mittlerem Verlauf (Klasse 2) und schwerem Verlauf (Klasse 3) auf. Mittlere und schwere Verläufe wurden in der Gruppe 250 häufiger beobachtet als in der Gruppe 150. Der Gruppenunterschied konnte erst statistisch abgesichert werden durch das Zusammenfassen der Klassen 2 und 3 im Merkmal ‚Kalbeverlauf aggregiert‘ in Tabelle 35. In der Gruppe 250 verliefen 48 % der beobachteten Kalbungen im Versuchszeitraum leicht. Das waren signifikant ($p \leq 0,1$) weniger leichte Kalbungen als in der Gruppe 150 (75 %).

Tabelle 35: Anteil der beobachteten Kalbungen mit leichtem (Klasse 1), mittlerem (Klasse 2) oder schwerem Verlauf (Klasse 3) pro Gruppe (Gruppe 250 und Gruppe 150); gesamter Versuchszeitraum ¹⁾

Merkmal		250	150	p ²⁾
		Anteil, %		
Kalbeverlauf Klasse	1	47,5	75,0	
	2	35,0	20,5	
	3	17,5	4,5	
Kalbeverlauf aggregiert	1	47,5	75,0	0,0095
	2 oder 3	52,5	25,0	
n ³⁾		40	44	

¹⁾ zur Methode der Datenauswertung vgl. Kapitel 3.6.1; ²⁾ wenn p ohne Wert, dann war kein Gruppenvergleich mittels Chi²-Test möglich; ³⁾ Anzahl beobachteter Kalbungen pro Gruppe

Abschließend wurde geprüft, ob ein signifikanter Unterschied bei der Günstzeit (Zeitraum von der Kalbung bis zur erfolgreichen Besamung) zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150 bestand. Die durchschnittliche Günstzeit in den beiden Gruppen war nicht signifikant unterschiedlich lang. Die Tiere in der Gruppe 250 waren durchschnittlich am 88. LTG, die Tiere in der Gruppe 150 am 92. LTG wieder tragend. Wird die für Fleckviehmilchkühe übliche Trächtigkeitsdauer (285 Tage) in den beiden Gruppen jeweils zur Günstzeit hinzu addiert, ergibt sich die Zwischenkalbezeit. In der Gruppe 250 betrug die Zwischenkalbezeit 373 Tage, 377 Tage in der Gruppe 150.

4.9 Beurteilung der Energieversorgung im ersten Laktationsdrittel mittels Hilfsmerkmalen

In der Praxis ist es, anders als im hier vorgestellten Versuchsmilchviehstall, nicht möglich den Energiesaldo des Einzeltiers direkt und kontinuierlich zu berechnen, weil die Erfassung der Futteraufnahme fehlt. Deshalb werden Hilfsmerkmale benötigt, die eine möglichst genaue Einschätzung der Energieversorgung ermöglichen. In den nachfolgenden Abschnitten werden die, aus der vorliegenden Datengrundlage des Fütterungsversuchs, ermittelten Zusammenhänge zwischen den potentiellen Hilfsmerkmalen FS-Zusammensetzung im Milchfett bzw. Blutwerten und dem Energiesaldo erläutert. Da die Mobilisation von Körperreserven nach dem ersten Laktationsdrittel als abgeschlossen betrachtet werden kann, flossen in die nachfolgenden Ergebnisse Milch- und Blutproben sowie die zugehörigen Energiesalden der Probetermine 5 bzw. 8, 28 und 100 Tage *p. p.* ein.

4.9.1 Hilfsmerkmal Fettsäurezusammensetzung im Milchfett

Die FS-Zusammensetzung im Milchfett wurde von BECHER (2017) genutzt, um den Energiesaldo zu schätzen. Die Validierung der von BECHER (2017) entwickelten Schätzmodelle mit dem vorliegenden Datensatz wird in diesem Unterkapitel vorgestellt. Doch zunächst werden die r zwischen dem Energiesaldo und den Konzentrationen der einzelnen FS im Milchfett beschrieben. Abschließend werden Ausführungen zu einem Schätzmodell für den Energiesaldo gemacht, das im vorliegenden Versuch entwickelt wurde.

Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen dem Energiesaldo und den Fettsäure-Konzentrationen im Milchfett

Tabelle 36 gibt den Überblick über die linearen Zusammenhänge, die zwischen den Konzentrationen der einzelnen FS im Milchfett und dem Energiesaldo bestanden, die zwischen den Konzentrationen von FS-Gruppen und dem Energiesaldo bestanden oder die zwischen dem Verhältnis ausgewählter FS-Konzentrationen und dem Energiesaldo bestanden. Während die Konzentration der FS C04:0 im Milchfett schwach negativ mit dem Energiesaldo korrelierte ($r = -0,38$) und kein linearer Zusammenhang ($p \leq 0,05$) zwischen der Konzentration der FS C06:0 und dem Energiesaldo festgestellt wurde, korrelierten alle anderen FS aus der Gruppe der KKFS und MKFS positiv mit dem Energiesaldo.

Die höchsten r zwischen dem Energiesaldo und der Konzentration einer einzelnen KKFS oder MKFS wurden für die FS C12:0 ($r = 0,73$), die FS \sum C12:1c, C13:0 und die FS C14:0 (je

r = 0,71) errechnet. Der Korrelationskoeffizient zwischen der Konzentration der FS C12:0 im Milchfett und dem Energiesaldo zeigte den stärksten linearen Zusammenhang bei Betrachtung aller einzelnen FS-Konzentrationen. Ein starker ($0,7 \leq |r| \leq 0,9$), positiver Zusammenhang wurde auch zwischen dem Energiesaldo und der Konzentration der FS-Gruppe MKFS ($r = 0,71$) festgestellt.

Tabelle 36: Pearson-Korrelationskoeffizient (r) zwischen dem Energiesaldo und der Konzentration von Fettsäuren, Fettsäuregruppen oder dem Verhältnis der Konzentration ausgewählter Fettsäuren im Milchfett (Probetermin 5, 28 und 100 Tage p.p.; $n = 203$)

Merkmal	r	Merkmal	r
Fettsäuren		$\sum C18:2t11c15, t9c11$	-0,21
C04:0	-0,38	C18:2c9c12	-0,32
C06:0	¹⁾	C20:0	-0,21
C08:0	0,37	C20:1c9	0,43
C10:0	0,66	$\sum C20:1c11,$	
C10:1c	0,52	C18:3c9c12c15	-0,34
C12:0	0,73	C18:2c9t11	
<i>C12:0i</i> ²⁾	0,35	C20:4n-6	-0,21
C12:0ai	0,69	C20:5n-3	-0,18
$\sum C12:1c, C13:0$	0,71	Fettsäuren gruppiert	
<i>C13:0i</i>	0,22	GFS ³⁾	0,65
C14:0	0,71	UFS	-0,66
C14:0i	0,40	EUFS	-0,66
C14:0ai	0,65	MUFS	-0,32
C14:1c	0,56	KKFS	0,31
C15:0	0,67	MKFS	0,71
C15:0i	0,14	LKFS	-0,71
C16:0	0,55	UKFS	0,48
C16:0i	-0,22	VKFS	0,14
<i>C16:0ai</i>	-0,55	$\sum C10-15i$ ⁴⁾	0,75
C16:1c	-0,41	Fettsäuren Verhältnisse	
C17:0		C15/C17 ⁵⁾	0,71
C17:0ai	-0,63	$\sum C10-15i/LKFS_{mod}$ ⁶⁾	0,73
C18:0	-0,60	OA/C15 ⁷⁾	-0,72
$\sum C18:1t6-13$	-0,14	OA/denovo ⁸⁾	-0,69
$\sum C18:1c9-13$	-0,69	n-6/n-3 ⁹⁾	0,21
$\sum C18:1c14, t16$		C16c/C15 ¹⁰⁾	-0,64
$\sum C18:1c15, C19:0$	0,16		

¹⁾ wenn r ohne Wert, dann $p > 0,05$ und $|r| \leq 0,125$; ²⁾ kursiv gedruckt: durchschnittliche Konzentration an den drei Probeterminen $< 0,2$ g pro 100 g FS nach Tabelle A5 im Anhang;

³⁾ Abkürzungen vgl. Tabelle 12; ⁴⁾ $\sum(C10:0$ bis einschließlich $C15:0i)$;

⁵⁾ $\sum(C15:0, C15:0i)/\sum(C17:0, C17:0ai)$; ⁶⁾ $\sum(C10:0$ bis $C15:0i)/\sum(C16:0i$ bis einschließlich $C20:5n-3)$, ohne $(\sum C18:1c14, t16)$, $(\sum C18:1c15, C19:0)$, $C18:2c9c12, C20:1c9$;

⁷⁾ $\sum C18:1c9-13/\sum(C15:0, C15:0i)$; ⁸⁾ $\sum C18:1c9-13/\sum(C06:0, C08:0, C10:0, C12:0, C14:0, C16:0)$; ⁹⁾ $\sum(C20:1c11, C18:3c9c12c15, C20:5n-3)/\sum(C18:2t11c15, t9c11, C18:2c9c12, C18:2c9t11, C20:4n-6)$; ¹⁰⁾ $C16:1c/C15:0$

Von den Konzentrationen einzelner FS der Gruppe LKFS korrelierte die Mehrheit schwach ($0,2 \leq |r| \leq 0,5$) bis mittel stark ($0,5 \leq |r| \leq 0,7$) negativ mit dem Energiesaldo. Den höchsten r

einer einzelnen LKFS erreichte die FS $\sum C18:1c9-13$ ($r = -0,69$). Vergleichbar mit der Höhe des r der FS $\sum C18:1c9-13$ war die Höhe des r der FS-Gruppe UFS und der FS-Gruppe EUFS (je $r = -0,66$). Die aufsummierten Konzentrationen der FS aus der Gruppe der LKFS korrelierten stark ($r = -0,71$) mit dem Energiesaldo.

Eine starker linearer Zusammenhang bestand zwischen der Summe der Konzentration aller FS von FS C10:0 bis FS C15:0i (vgl. $\sum C10-15i$ in Tabelle 36) und dem Energiesaldo ($r = 0,75$). Dieser r ist der höchste aller Koeffizienten, die in Tabelle 36 gelistet sind. Ein starker Zusammenhang ($r \geq 0,7$) bestand außerdem zwischen dem Energiesaldo und dem Verhältnis $\sum C10-15i/LKFS_{mod}$, dem Verhältnis C15/C17 und dem Verhältnis OA/C15.

Validierung der Energiesaldo-Schätzmodelle nach BECHER (2017)

Aufgrund der Abweichung zwischen den in vorliegender Arbeit analysierten FS und den von BECHER (2017) analysierten FS im Milchfett musste die Validierung beschränkt werden auf drei der in Summe 8 finalen Modelle: MODEL pre (PRE), Elastic net MODEL3 (ENET) und Adaptive elastic net MODEL3 (ADA-ENET) (BECHER 2017, S. 133–134).

Die ermittelte Schätzgenauigkeit der drei validierten Modelle wird in Tabelle 37 gezeigt. Das Modell PRE wies eine höhere Schätzgenauigkeit auf als die Modelle ENET und ADA-ENET. Die Schätzgenauigkeit dieser beiden zuletzt genannten Modelle war nahezu gleich.

Tabelle 37: Durch Validierung am vorliegenden Datensatz (Termin 5, 28 und 100 Tage p. p.; $n = 202$) ermittelte Güte der von BECHER (2017) entwickelten Modelle PRE, ENET und ADA-ENET zur Schätzung des Energiesaldos

Modell	Kriterium			
	r ¹⁾	R^2 ²⁾	R^2_{adj} ³⁾	RSD ⁴⁾
PRE	0,78	0,61	0,60	16,61
ENET	0,68	0,46	0,44	26,60
ADA-ENET	0,70	0,49	0,47	19,55

¹⁾ Pearson-Korrelationskoeffizient; ²⁾ Bestimmtheitsmaß; ³⁾ adjustiertes Bestimmtheitsmaß;

⁴⁾ Standardschätzfehler, MJ NEL pro Tag

In Abbildung 36 sind für das Modell mit der höchsten Schätzgenauigkeit (Modell PRE) die berechneten und geschätzten Energiesalden abgetragen.

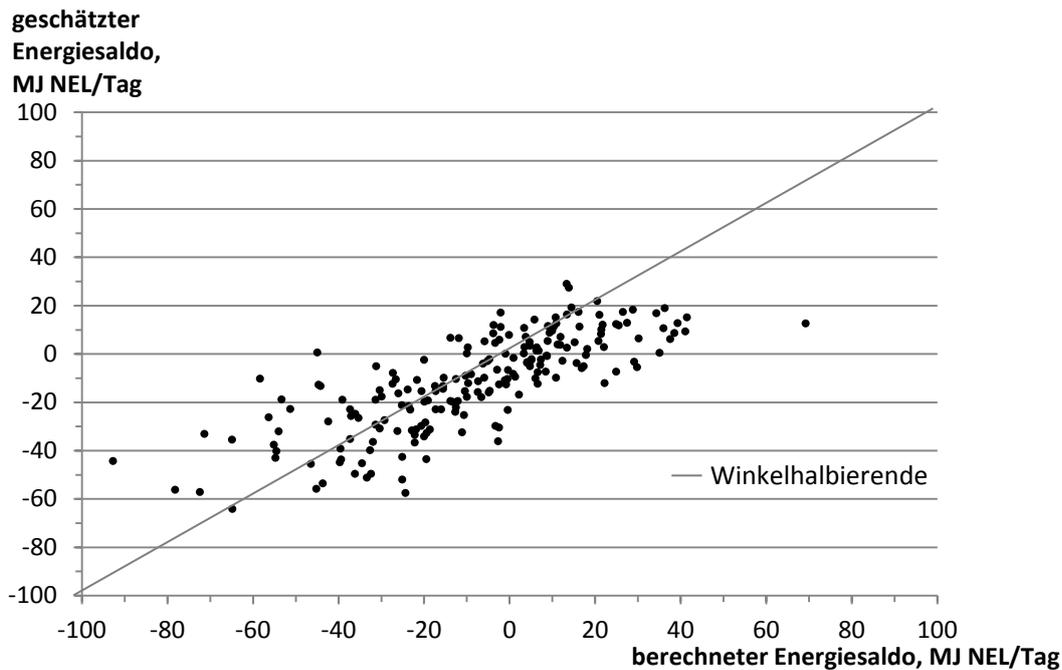


Abbildung 36: Mit dem Modell PRE geschätzter Energiesaldo in Abhängigkeit vom berechneten Energiesaldo (Termin 5, 28 und 100 Tage *p. p.*; $n = 202$)

Erstellen eines Energiesaldo-Schätzmodells aus der Fettsäurezusammensetzung im Milchfett

Um eine für den vorliegenden Datensatz maximal hohe Schätzgenauigkeit des Energiesaldos aus der FS-Zusammensetzung im Milchfett zu erreichen, wurde ein eigens an diesen Datensatz angepasstes Schätzmodell entwickelt. Von den in Tabelle 36 gelisteten FS wurden nur jene als mögliche Variablen für die Variablenselektion während der Entwicklung des Schätzmodells ausgewählt, die im Durchschnitt der drei Probetermine 5, 28 und 100 Tage *p. p.* eine Konzentration $\geq 0,2$ g pro 100 g FS aufwiesen (vgl. Tabelle A5 im Anhang). Die nicht ausgewählten FS sind in Tabelle 36 kursiv gedruckt. Diese Vorauswahl wurde getroffen, weil BECHER (2017) davor warnte, dass bei FS von geringer Konzentration Laboreffekte verzerrend wirken können.

Neben den FS wurden außerdem die nachfolgenden Merkmale

- LNRcl: 2 Klassen: Erst- oder Mehrkalbskühe ($r = -0,16$)
- Milchleistung am Tage der Probenahme (mkg_d , kg) ($r = -0,24$)
- Milchfettgehalt (f_{pro} , %) ($r = -0,46$)
- Milcheiweißgehalt (e_{pro} , %) (r nicht signifikant, $p > 0,05$)
- Milhharnstoffgehalt (harn , mg/L) ($r = 0,33$)
- Milchlaktosegehalt (lakt , %) (r nicht signifikant, $p > 0,05$)
- FEQ ($r = -0,53$)

und die in Tabelle 36 genannten Verhältnisse von FS-Konzentrationen sowie die genannten FS-Gruppen in den Pool für die Variablenselektion gegeben.

In Klammern hinter den gelisteten Merkmalen ist deren r mit dem Energiesaldo angeführt, welcher am vorliegenden Datensatz ($n = 200$) ermittelt wurde.

Am Ende der mehrstufigen Auswahlprozedur blieben 8 Merkmale zurück, die sich in diesem Auswahlverfahren als am besten geeignet erwiesen, um aus deren linearer Kombination den Energiesaldo zu schätzen (vgl. Tabelle 38).

Neben der Tagesmilchleistung hatte der Koeffizient des Fettgehalts in der Milch, der Koeffizient der FS C18:0 und der Koeffizient des Verhältnisses OA/C15 negative Vorzeichen. Alle anderen Merkmale gingen mit positivem Vorzeichen in das Modell ENET_FS ein. Für das Modell ENET_FS betrug das R^2_{adj} 0,74 und war hoch.

Tabelle 38: Koeffizienten und Güte (nach Leave-One-Out-Kreuzvalidierung) des am vorliegenden Datensatz (Termin 5, 28 und 100 Tage p. p.; $n = 200$) entwickelten Modells ENET_FS zur Schätzung des Energiesaldos

Effekt	ENET_FS
	Koeffizienten
intercept	54,2
mkg _d ¹⁾	-1,1
fpro ²⁾	-12,3
C12:0	5,0
C18:0	-3,3
\sum C18:1c14, t16	63,6
n-6/n-3 ³⁾	3,7
C15/C17 ³⁾	8,6
OA/C15 ³⁾	-0,50
	Güte
r ⁴⁾	0,86
R^2 ⁵⁾	0,75
R^2_{adj} ⁶⁾	0,74
RSD ⁷⁾	13,07

¹⁾ Tagesmilchleistung, kg am Probetermin; ²⁾ Milchfettgehalt, %; ³⁾ Abkürzung vgl. Tabelle 36;

⁴⁾ Pearson-Korrelationskoeffizient; ⁵⁾ Bestimmtheitsmaß; ⁶⁾ adjustiertes Bestimmtheitsmaß;

⁷⁾ Standardschätzfehler, MJ NEL pro Tag

Der RSD bei der Schätzung des gemessenen Energiesaldos mittels Modell ENET_FS betrug 13,1 MJ NEL pro Kuh und Tag, wie Abbildung 37 und Tabelle 38 zeigen.

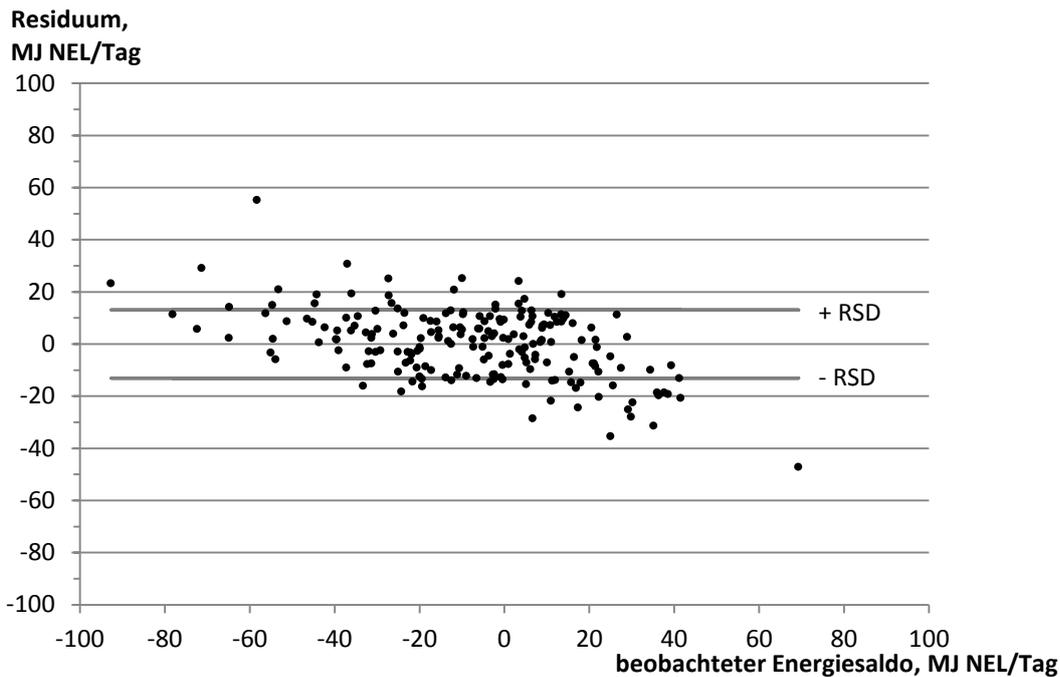


Abbildung 37: Residuenplots mit Standardschätzfehler (RSD) des Modells ENET_FS, erstellt durch Leave-One-Out-Kreuzvalidierung am vorliegenden Datensatz (Termin 5, 28 und 100 Tage p. p.; $n = 200$)

4.9.2 Hilfsmerkmal Blutwerte

Neben der FS-Zusammensetzung des Milchfetts wurden die im Blutplasma oder -serum, an den Terminen 8, 28 und 100 Tage p. p. erfassten Merkmale hinsichtlich ihres Zusammenhangs mit dem Energiesaldo und ihrer Eignung zur Schätzung des Energiesaldos überprüft.

Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen dem Energiesaldo und der Konzentration von Merkmalen im Blut

Tabelle 39 zeigt, dass die NEFA-Konzentration im Blutserum mit $r = -0,72$ den mit Abstand höchsten, linearen Zusammenhang mit dem Energiesaldo aufwies. Auch die BHB-Konzentration ($r = -0,59$) korrelierte negativ mit dem Energiesaldo. Der lineare Zusammenhang des Energiesaldos mit der Glucose-Konzentration im Blutserum oder der Insulin-Konzentration bzw. IGF-I-Konzentration im Blutplasma war hingegen positiv. Kein signifikanter Zusammenhang ($p > 0,05$) bestand zwischen der Konzentration von Calcium oder Adiponektin im Blutserum und dem Energiesaldo.

Tabelle 39: Pearson-Korrelationskoeffizient (r) zwischen dem Energiesaldo und der Konzentration von Merkmalen im Blut (Probetermin 8, 28 und 100 Tage p. p.; $n = 227$)

Merkmal	r
BHB ¹⁾	-0,59
NEFA ²⁾	-0,72
Glucose	0,57
Insulin	0,51
IGF-I ³⁾	0,47
Calcium	⁴⁾
Adiponektin	

¹⁾ D-3-Hydroxybutyrat; ²⁾ nichtveresterte freie Fettsäuren; ³⁾ Insulinähnlicher Wachstumsfaktor; ⁴⁾ wenn r ohne Wert, dann $p > 0,05$ und $|r| \leq 0,125$

Erstellen eines Energiesaldo-Schätzmodells aus Merkmalen im Blut

Die Auswahl möglicher Variablen für die zu entwickelnde Schätzformel basierte auf den in Tabelle 39 gelisteten Blutwerten und den bereits im Kapitel 4.9.1 genannten, weiteren Merkmalen. Die in Tabelle 40 gelisteten 8 Merkmale wurden im Selektionsverfahren ausgewählt für das Energiesaldo-Schätzmodell (ENET_BL). Die Tabelle 40 zeigt außerdem die Koeffizienten dieses Modells sowie die ermittelte Schätzgüte nach Leave-One-Out-Kreuzvalidierung. Das R^2_{adj} des Modells ENET_BL war hoch ($R^2_{adj} = 0,76$). Der Standardschätzfehler betrug 13,5 MJ NEL pro Kuh und Tag.

Tabelle 40: Koeffizienten und Güte (nach Leave-One-Out-Kreuzvalidierung) des am vorliegenden Datensatz (Termin 8, 28 und 100 Tage p. p.; $n = 221$) entwickelten Modells ENET_BL zur Schätzung des Energiesaldos

Effekt	ENET_BL
	Koeffizienten
intercept	75,6
LNRcl ¹⁾ (1. Klasse/2. Klasse)	-13,9/0,0
mk _g _d ²⁾	-0,9
f _{pro} ³⁾	-12,1
BHB ⁴⁾	-6,1
NEFA ⁵⁾	-14,6
Glucose	11,9
Insulin	3,7
IGF-I ⁶⁾	6,5
	Güte
r ⁷⁾	0,88
R^2 ⁸⁾	0,77
R^2_{adj} ⁹⁾	0,76
RSD ¹⁰⁾	13,46

¹⁾ Laktationsnummernklasse; ²⁾ Tagesmilchleistung, kg am Probetermin; ³⁾ Milchfettgehalt, %; ⁴⁾ D-3-Hydroxybutyrat; ⁵⁾ nichtveresterte freie Fettsäuren; ⁶⁾ Insulinähnlicher Wachstumsfaktor; ⁷⁾ Pearson-Korrelationskoeffizient; ⁸⁾ Bestimmtheitsmaß; ⁹⁾ adjustiertes Bestimmtheitsmaß; ¹⁰⁾ Standardschätzfehler, MJ NEL pro Tag

Die Abweichung (= Residuum) zwischen dem mittels Model ENET_BL geschätzten Energiesaldo und dem beobachteten Energiesaldo ist in Abbildung 38 dargestellt.

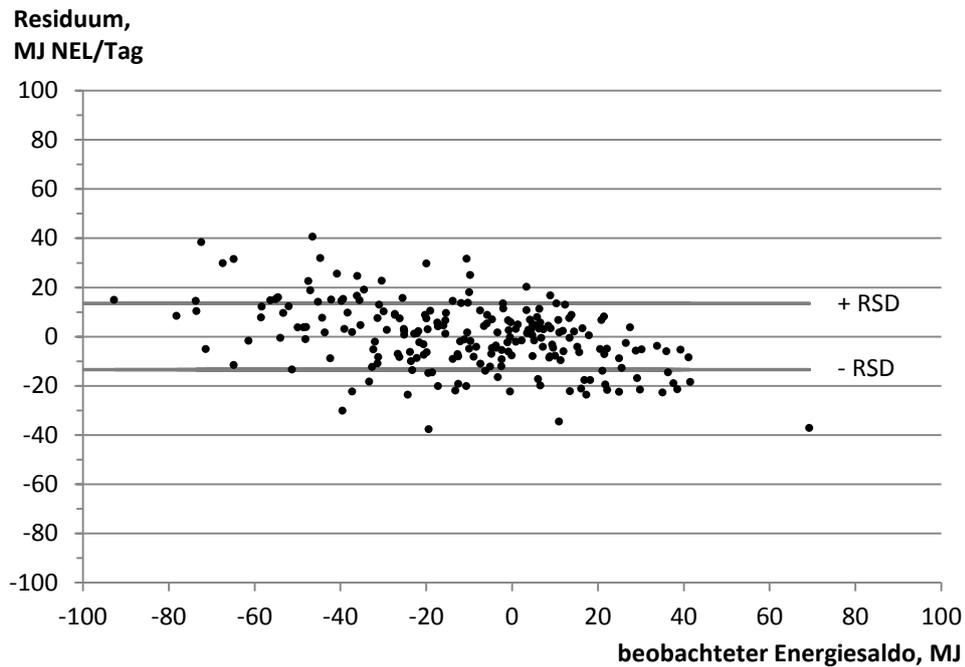


Abbildung 38: Residuenplots mit Standardschätzfehler (RSD) des Modells ENET_BL, erstellt durch Leave-One-Out-Kreuzvalidierung am vorliegenden Datensatz (Termin 8, 28 und 100 Tage p. p.; $n = 221$)

5 DISKUSSION

5.1 Futteraufnahme und Grobfutterverdrängung

Nachfolgend werden nach einer kurzen Betrachtung und Einordnung der Futteraufnahme in Laktation und Trockenstehphase unterschiedliche Aspekte der GF-Verdrängung, die sich im vorliegenden Versuch ergeben haben, diskutiert.

5.1.1 Futteraufnahme

Die im Versuch während der Laktation gemessene, durchschnittliche Futteraufnahme der beiden Gruppen lag mit 21,3 kg TM auf sehr hohem Niveau für Fleckviehmilchkühe (HARDER *et al.* 2018). Der Abgleich der Höhe der Futteraufnahme mit den Versuchen des Metaanalyse-Datensatzes aus dem Kapitel 2 (vgl. Tabelle A1 im Anhang) bestätigte diese Einschätzung unabhängig von der Rasse. Lediglich in 12 der 101 Versuche dieses Datensatzes wurde eine noch höhere, durchschnittliche Futteraufnahme gemessen. Allerdings erstreckte sich nur einer dieser 12 Versuche (DENIBEN *et al.* 2018, Rasse: Holstein Friesian) mit höherer Futteraufnahme über die Dauer einer kompletten Laktation.

Die Erhöhung der KF-Menge in der TMR ging im vorliegenden Fütterungsversuch mit einer nicht signifikanten ($p > 0,1$) Erhöhung der Futteraufnahme in der Laktation von 21,0 (Gruppe 150) auf 21,6 kg TM (Gruppe 250) einher. Eine Vielzahl an Faktoren, Signalen und Vorgängen, deren Zusammenwirken sich komplex gestaltet und bis heute nicht abschließend verstanden ist, regulieren die Futteraufnahme eines Wiederkäuers (WALDO 1986; LANG 1995; ALLEN 2000; GRUBER *et al.* 2004; FORBES 2007; NIKKHAH 2013).

FORBES (2007) erweiterte in seinem Review das anerkannte Rahmenprinzip der Futteraufnahmeregulation bei Wiederkäuern. Die zahlreichen physikalischen, die Aufnahme begrenzenden und eine Vielzahl an metabolischen, den Bedarf betreffenden Feedback-Mechanismen addieren sich nach FORBES (2007) zu einer Gesamtwirkung auf die Futteraufnahme. FORBES (2007) ordnete sie alle dem Bestreben des Tieres zu, genau die Futtermenge aufzunehmen, welche zu minimalem Unbehagen führt („point of minimum discomfort“). Die Futteraufnahme ergibt sich nach diesem Erklärungsansatz durch die Addition einer Vielzahl von kleinen, ganz unterschiedlichen Signalen.

Das minimale Unbehagen entspricht nicht zwingend der exakten Bedarfsdeckung. Das Unbehagen schient bei den Tieren in der Gruppe 150 zu Laktationsbeginn durch die geringere KF-Aufnahme und die damit einher gehende gute Pansengesundheit stärker reduziert worden zu

sein, als durch einen ausgeglichenen Energiesaldo. Deshalb akzeptierten diese Tiere eine etwas länger anhaltende Phase mit negativem Energiesaldo. Um diese Argumentation stützen zu können, würden Merkmale zur Beurteilung der Pansengesundheit benötigt, die in vorliegendem Fütterungsversuch nicht erhoben wurden.

Im Gegenzug nahmen die Tiere in der Gruppe 250 bereits ab dem 37. LTG mehr Futter auf als sie für einen ausgeglichenen Energiesaldo benötigt hätten. Hier scheint die Milderung und Vermeidung von Stoffwechselstörungen, die bei einer lang anhaltenden, intensiven Mobilisation von Körperreserven entstehen können, eine hohe Priorität bei der Regulation der Futterraufnahme gehabt zu haben.

Doch die Anwendung des Rahmenprinzips der Futterraufnahmeregulation nach FORBES (2007) zur Erklärung der Futterraufnahme im vorliegenden Fütterungsversuch bleibt eine Hypothese.

Rückschauend betrachtet wäre eine zusätzliche, extreme Abstufung des Faktors KF-Einsatz pro kg ECM im Versuch wertvoll gewesen. So hätte eine deutlichere Reaktion der Futterraufnahme provoziert werden können. Wie viel Futter hätten die Fleckviehmilchkühe bei völligem KF-Verzicht aufgenommen? Bei welcher Futterraufnahme wäre das Unbehagen nach FORBES (2007) dann minimal gewesen? Das minimale Unbehagen bei KF freier Fütterung könnte gegeben sein bei gelinder energetischer Unterversorgung, wenn dabei Verdauungsstörungen zurückgehen. Etwa könnte bei KF freier Fütterung eine subakute Pansenacidose durch einen höheren pH-Wert im Reticolorumen in Folge der ausschließlichen Aufnahme von Grobfutter vermieden werden. Oder umgekehrt, könnten die Beschwerden erst bei leichter energetischer Überversorgung minimal werden, wenn dadurch Stoffwechselstörungen, wie eine subklinische Ketose, gemildert würden. Diese Fragen bleiben mit vorliegendem Versuch unbeantwortet.

Die Reduktion des KF-Einsatzes pro kg ECM wurde im vorliegenden Fütterungsversuch durch die Reduktion des KF-Anteils in der TMR erreicht. Der reduzierte KF-Anteil in den TMR der Gruppe 150 im Vergleich zu den TMR der Gruppe 250 ging mit einer Erhöhung der NDF-Konzentration einher (aNDFom-Konzentration: bis zum 166. LTG Erhöhung von 310 auf 346 g pro kg TM; ab dem 166. LTG Erhöhung von 346 auf 360 g pro kg TM). In der Literatur wird die NDF-Konzentration als guter Vorhersageindikator für die Futterraufnahme genannt (WALDO 1986; ALLEN 2000). Mit steigender NDF-Konzentration sinkt die Futterraufnahme (ALLEN 2000). GRUBER *et al.* (2004) wandten jedoch ein, dass dieser Zusammenhang primär dann gelte, wenn die Energieversorgung relativ zum Bedarf zu gering ist.

Der Verlauf der Futterraufnahme in der Laktation in der Gruppe 250 und in der Gruppe 150

(vgl. Abbildung 7) unterstreicht diesen Einwand. Zu Laktationsbeginn, als beide Gruppen ihren Energiebedarf nicht decken konnten, war der Gruppenunterschied bei der Futteraufnahme am höchsten. Die Gruppe 250 nahm in diesem Laktationsabschnitt deutlich mehr Futter auf. Mit fortschreitender Laktation verringerte sich der Unterschied, trotz weiter bestehenden unterschiedlichen NDF-Konzentrationen in den Rationen.

Beide Gruppen steigerten ihre Futteraufnahme zu Laktationsbeginn bis zum Erreichen des Maximums um den 80. LTG. Dieser Verlauf bestätigte den typischen Verlauf der Futteraufnahme in der Laktation (GRUBER *et al.* 1995; GROSS *et al.* 2011b; DENIBEN *et al.* 2018; HARDER *et al.* 2018; SCHMITZ *et al.* 2018).

Mit täglich 16,4 kg TM Grobfutter in der Laktation im Durchschnitt der beiden Gruppen war die Grobfutteraufnahme höher als in all den Versuchen des Metaanalyse-Datensatzes aus dem Kapitel 2 (vgl. Tabelle A1 im Anhang). Folglich ist die im Durchschnitt der beiden Gruppen ermittelte Grobfutteraufnahme als sehr hoch einzustufen. Bei separater Betrachtung der Grobfutteraufnahme in den Gruppen erreichten lediglich 5 Versuchsgruppen des Metaanalyse-Datensatzes aus dem Kapitel 2 eine noch höhere Grobfutteraufnahme als die Gruppe 150 (17,3 kg TM pro LTG). Nur in drei dieser 5 Versuchsgruppen wurden Daten von der Kalbung bis mindestens zum 300. LTG erhoben (OLDENBROEK 1988 und TESSMANN *et al.* 1991). Zwei dieser drei Versuchsgruppen wurden KF-frei gefüttert (Grobfutteraufnahme OLDENBROEK 1988: 18,4 kg TM pro LTG; TESSMANN *et al.* 1991: 18,7 kg TM pro LTG). Keine dieser Gruppen des Metaanalyse-Datensatzes aus dem Kapitel 2 mit hoher Grobfutteraufnahme wurde über eine komplette Laktation hinweg beobachtet. Das vorliegende Versuchsergebnis deckte folglich das hohe Grobfutter-Aufnahmepotential dieser Fleckviehherde auf, das bei einer hohen Energiekonzentration im Grobfutter mit TMR-Fütterung erreicht wurde.

5.1.2 Grobfutterverdrängung

Zunächst wird die im vorliegenden Fütterungsversuch ermittelte GF-Verdrängung, bei Fütterung von 250 statt 150 g KF pro kg ECM, mit der zu erwartenden Reaktion der Grobfutteraufnahme abgeglichen. Die im Kapitel 2 aufgestellte Schätzformel zur Berechnung der GF-Verdrängung in Abhängigkeit von der quadrierten KF-Aufnahme (vgl. Tabelle 3) wurde als erste Vergleichsgrundlage genutzt.

Die gemessene GF-Verdrängung in Höhe von 0,75 kg TM pro Δ kg KF TM übertraf die GF-Verdrängung, die laut Tabelle 41 in einer Höhe von 0,38 kg TM pro Δ kg KF TM zu erwarten war, beträchtlich. Im Umkehrschluss fiel die Steigerung der Futteraufnahme mit 0,25 kg TM

pro Δ kg KF TM vergleichsweise gering aus. Dennoch lag die beobachtete Höhe der GF-Verdrängung innerhalb der Spannweite der GF-Verdrängungen des Metaanalyse-Datensatzes aus dem Kapitel 2, die von -0,3 bis 1,5 kg TM pro Δ kg KF TM reichte. Die gemessene GF-Verdrängung lag außerdem innerhalb der Spanne, in der sich 68,3 % ($\pm s$) der im Metaanalyse-Datensatz errechneten GF-Verdrängungen ($0,48 \pm 0,33 = \bar{x} \pm s$) wiederfanden.

Tabelle 41: Vergleich der geschätzten¹⁾ mit der tatsächlich gemessenen Grobfutterverdrängung in der Laktation im gesamten Versuchszeitraum; Formeln vgl. Tabelle 3

Merkmal, pro Tag	geschätzt		gemessen			
	Differenz	pro Δ kg KF TM	250	150	Differenz	pro Δ kg KF TM
Kraftfutter, kg TM	-	-	6,1	3,8	2,4	
Futter, kg TM	1,4	0,58	21,6	21,0	0,6	0,25
Grobfutter, kg TM	-0,9	-0,38	15,5	17,3	-1,8	-0,75

¹⁾ quadratischer Zusammenhang zwischen der Kraftfutter- und der Grobfutteraufnahme

Die Anwendbarkeit der quadratischen Schätzgleichung aus dem Kapitel 2 auf den vorliegenden Datensatz ist zu hinterfragen. Der Metaanalyse-Datensatz in Tabelle A1 im Anhang, der dieser Schätzgleichung zugrunde liegt, fasst sehr heterogene Fütterungsversuche mit variierendem KF-Einsatz zusammen. Versuche, die nur einen Laktationsabschnitt abdecken, überwiegen. Folglich war eine genaue Vorhersage der GF-Verdrängung für den vorliegenden, langfristigen Versuch nicht zu erwarten.

Deshalb wird die im vorliegenden Fütterungsversuch gemessene GF-Verdrängung in einem zweiten Schritt mit GF-Verdrängungen abgeglichen, die unter vergleichbaren Versuchsanstellungen ermittelt wurden.

Das Ergebnis von BAUM (1984), der basierend auf Versuchen, die mindestens eine Laktation dauerten, eine durchschnittliche GF-Verdrängung von $0,73 \pm 0,48$ kg TM pro Δ kg KF TM berechnete, bestätigt die im vorliegenden Versuch gemessene GF-Verdrängung. Seither sind nur wenige Ergebnisse mit gestaffeltem KF-Einsatz veröffentlicht worden, die im Rahmen eines Fütterungsversuchs mit Datenerfassung für die Dauer einer kompletten Laktation erzielt wurden. MACK (1996) ermittelte bei Vorlage von intensiv erzeugtem Grobfutter (Grassilage/Heu = 2/1; 5,6 MJ NEL pro kg TM) bei Mehrkalbskühen der Rasse Deutsche Schwarzbunte (Anteil Holstein Friesian 75 bis 90 %) eine GF-Verdrängung von 0,63 kg TM pro Δ kg KF TM und bei Erstkalbskühen von 0,52 kg TM pro Δ kg KF TM. Dieser Versuch wurde als Systemvergleich für eine Dauer von über 4 Jahren konzipiert, um die Produktionsmerkmale einer intensiv und extensiv gefütterten Milchviehherde vergleichen zu können. Der direkte Vergleich der dort ermittelten GF-Verdrängung mit den vorliegenden Ergebnissen erscheint, trotz

der vergleichbaren täglichen KF-Aufnahme (3,6 oder 6,6 kg KF TM), aufgrund der sehr unterschiedlichen Energiekonzentration im Grobfutter nicht sinnvoll.

Bei BERG und EKERN (1993) reichte die Energiekonzentration in den genutzten Grobfutterkomponenten (Grassilage und Heu) von 5,4 bis 6,1 MJ NEL pro kg TM. Folglich lag auch hier die Energiekonzentration deutlich unter dem Niveau des vorliegenden Versuchs und erschwert einen Vergleich. BERG und EKERN (1993) selbst stufen die gemessene GF-Verdrängung in Höhe von 0,27 kg TM pro Δ kg KF TM für Tiere in der LNRcl 2 bzw. 0,17 kg TM pro Δ kg KF TM für Erstkalbskühe als sehr gering ein im Abgleich mit der Literatur. Die Tiere der Rasse Norwegisches Rotvieh traten mit der ersten Kalbung in den Versuch ein und verblieben auch in der zweiten Laktation in der jeweiligen Versuchsgruppe. Die Höhe der KF-Aufnahme lag im Durchschnitt der Laktation mit 3,3 bzw. 6,1 kg TM bei BERG und EKERN (1993) in vergleichbarer Höhe wie die KF-Aufnahme der Gruppe 250 und der Gruppe 150 aus vorliegendem Versuch.

Als Grobfutterkomponente wählten TESSMANN *et al.* (1991) Luzernensilage, die im Mittel eine Energiekonzentration von 5,4 MJ NEL pro kg TM hatte. Somit wurde auch in diesem Versuch Grobfutter mit deutlich geringerer Energiekonzentration eingesetzt als im vorliegenden Versuch. TESSMANN *et al.* (1991) verglichen für die Dauer einer Laktation die Futteraufnahme und Leistungsmerkmale von Holstein Friesian Milchkühen in 5 Versuchsgruppen, die mit einer gestaffelten, täglichen KF-Menge von 0 bis ca. 10 kg TM pro LTG gefüttert wurden. Dass keine der 5 Gruppen eine ähnlich hohe KF-Menge pro Tag aufnahm wie die Gruppe 250 bzw. die Gruppe 150 des vorliegenden Versuchs, macht einen Vergleich der GF-Verdrängung noch schwieriger. Aus den von TESSMANN *et al.* (1991) veröffentlichten Daten lässt sich bei einer mittleren KF-Aufnahme (2,5 bis 7,5 kg TM pro LTG) eine GF-Verdrängung von etwa 0,6 kg TM pro Δ kg KF TM für Mehrkalbskühe und 0,9 kg TM pro Δ kg KF TM für Erstkalbskühe ableiten.

GRUBER *et al.* (1995) untersuchten die Reaktion von Fleckviehmilchkühen auf unterschiedlich hohe KF-Aufnahmen für die Dauer einer kompletten Laktation. Bei Steigerung der täglichen KF-Aufnahme von 1,4 auf 4,1 kg TM reagierten die Tiere mit einer GF-Verdrängung von 0,41 kg TM pro Δ kg KF TM. Auch der Vergleich dieses Ergebnisses mit dem vorliegenden Versuch ist nur eingeschränkt möglich, weil das KF-Niveau, die Energiekonzentration im Grobfutter (5,4 MJ NEL pro kg TM) und das Leistungsniveau der Fleckviehmilchkühe (17,5 kg ECM pro LTG) bei GRUBER *et al.* (1995) geringer waren.

Im Kapitel 2 wurde kein signifikanter Einfluss ($p > 0,05$) der Energiekonzentration-Klasse des Grobfutters ($< 6,2$ oder $\geq 6,2$ MJ NEL pro kg TM) auf die zu erwartende GF-Verdrängung festgestellt. Dennoch gibt es zahlreiche Hinweise in der Literatur, dass höher verdauliches Grobfutter stärker verdrängt wird (KLEINMANS und POTTHAST 1984; PHIPPS *et al.* 1987; FAVERDIN *et al.* 1991; GRUBER *et al.* 1995; MACK 1996; KUOPPALA *et al.* 2008; RANDBY *et al.* 2012). Es ist fraglich, ob der Einfluss der Energiekonzentration im Grobfutter auf die GF-Verdrängung mit dem vorliegenden Literaturüberblick ausreichend untersucht werden konnte. Die Abgrenzung der beiden Energiekonzentration-Klassen des Grobfutters durch eine näherungsweise Überführung der auf länderspezifischen Energiebewertungssystemen beruhenden Energiekonzentrationen in das Energiebewertungssystem der GfE (2001) blieb unscharf. Außerdem könnten auch andere Faktoren der sehr heterogenen Versuche den Effekt der Energiekonzentration des Grobfutters überlagert haben.

Bei PATEL *et al.* (2017) bewirkte die Fütterung von Kleegrassilage mit hoher Energiekonzentration (10,9 MJ ME pro kg TM; im vorliegenden Versuch betrug die Energiekonzentration des Grobfutters ebenfalls 10,9 MJ ME pro kg TM in der Laktation) als alleinige Grobfutterkomponente, in Kombination mit einer vergleichbar wie im vorliegenden Versuch gestaffelten KF-Aufnahme (durchschnittlich 3,3 oder 6,1 kg TM pro LTG), eine GF-Verdrängung in ähnlicher Höhe (0,81 kg TM pro Δ kg KF TM). Der Versuch von PATEL *et al.* (2017) dauerte zwei Jahre. Allerdings wurden Daten nur bis maximal zur Laktationswoche 44 erhoben und Tiere, die in den beiden Jahren im Versuch waren, wurden nach der Kalbung neu auf die Gruppen verteilt. PATEL *et al.* (2017) nutzten für ihren Versuch die Rasse Schwedisches Rotvieh, die stärker Milch betont ist als Fleckvieh.

Abschließend werden für die Einordnung der ermittelten GF-Verdrängung die Versuche von DENIBEN *et al.* (2018), HERTEL-BÖHNKE *et al.* (2018) und KRAUS *et al.* (2018) betrachtet, die im Rahmen des gleichen Forschungsprojekts durchgeführt wurden wie der vorliegende Versuch und deshalb einen vergleichbaren Aufbau hatten. In Kombination mit einem Grobfutter von hoher Energiekonzentration (6,5 MJ NEL pro kg TM) stellten DENIBEN *et al.* (2018) mit Holstein Friesian Milchkühen eine GF-Verdrängung von 0,34 kg TM pro Δ kg KF TM fest, wenn 7,0 statt 4,7 kg TM KF täglich gefüttert wurden. Folglich fiel die GF-Verdrängung trotz des höheren KF-Einsatzes in diesem Partnerversuch deutlich geringer aus als im vorliegenden Versuch. Sowohl HERTEL-BÖHNKE *et al.* (2018) als auch KRAUS *et al.* (2018) nutzten ausschließlich Fleckviehmilchkühe für ihren Versuch. Deren Ergebnisse sind folglich besonders interessant für den Vergleich. Die GF-Verdrängung zwischen den mit unterschiedlich hohem

KF-Einsatz, aber gleichem Grobfutter (6,5 MJ NEL pro kg TM) gefütterten Versuchsgruppen betrug bei HERTEL-BÖHNKE *et al.* (2018) 0,19 kg TM pro Δ kg KF TM und bei KRAUS *et al.* (2018) 0,52 kg TM pro Δ kg KF TM. Ein Grund, warum die GF-Verdrängung im Versuch von HERTEL-BÖHNKE *et al.* (2018) so gering war, trotz eines verglichen mit dem vorliegenden Versuch etwa gleich hohen täglichen KF-Einsatzes (3,7 oder 5,8 kg TM), könnte mit dem relativ niedrigen Leistungsniveau (24,3 kg ECM pro LTG) zusammenhängen, das dort vorlag.

In einem dritten Schritt werden weitere Faktoren, die Einfluss auf die GF-Verdrängung nehmen und im Kapitel 2 bereits vorgestellt wurden, im Zusammenhang mit dem vorliegenden Versuchsergebnis diskutiert.

Rationsbedingte Einflussfaktoren auf die Grobfutterverdrängung

Die Höhe der KF-Aufnahme wird als sehr entscheidender Faktor zuerst aufgegriffen. UDÉN (1984), TAJAJ (1996), TAJAJ *et al.* (2005), ZEBELI *et al.* (2007) und (2008) sowie JIANG *et al.* (2017) zeigten mit ihren Untersuchungen, dass die Verdaulichkeit der Faser-Fractionen mit steigendem KF-Einsatz sinkt. Der in Folge einer steigenden KF-Aufnahme reduzierte pH-Wert verschlechtert die Milieubedingungen für die cellulolytische Pansenmikrobiota. Die Fasermatte im Pansen verliert an Filterkraft und die Verweildauer der festen Bestandteile des Futterbreis sinkt (TAJAJ 1996; ZEBELI *et al.* 2007). Beim Einsatz eines extensiv erzeugten, faserreichen Grobfutters stellten TAJAJ (1996) und TAJAJ *et al.* (2005) hingegen fest, dass eine Erhöhung des KF-Anteils in der Ration die Verdaulichkeit der Zellwandbestandteile erhöhte.

UDÉN (1984) stellte in seinem Versuch fest, dass der Rückgang der Faserverdaulichkeit mit steigendem KF-Anteil in der Ration in Kombination mit Grobfutter mit geringer NDF-Konzentration ausgeprägter ist. Allerdings lag die NDF-Konzentration des qualitativ hochwertigen Grobfutters (Heu oder Grassilage) bei UDÉN (1984) mit 457 bis 498 g pro kg TM deutlich höher als die durchschnittliche NDF-Konzentration des Grobfutters, das im vorliegenden Versuch eingesetzt wurde (Gruppe 250 und Gruppe 150 jeweils 376 g NDF pro kg TM). Die NDF-Konzentration bei UDÉN (1984) lag auch höher als die durchschnittliche NDF-Konzentration der im vorliegenden Versuch genutzten Grassilage (Gruppe 250 und Gruppe 150 jeweils 407 g NDF pro kg TM). Trotz analytischer Unterschiede, die beim Vergleich mit den genannten Literaturquellen zu berücksichtigen sind, stützt die geringe NDF-Konzentration des Grobfutters die beobachtete Höhe der GF-Verdrängung im vorliegenden Fütterungsversuch.

TAJAJ (1996) stellte darüber hinaus fest, dass die Verdaulichkeit der gesamten Organischen Substanz mit steigendem KF-Angebot in Kombination mit intensiv erzeugtem Grobfutter weitestgehend gleich blieb. Er folgerte daraus, dass eine gesteigerte Verdaulichkeit der Nicht-Zellwand-Bestandteile die Reduktion der Verdaulichkeit der Zellwand-Bestandteile weitestgehend ausglich. STEINGAB *et al.* (2002) nutzten diesen Zusammenhang als Erklärungsansatz für das von MACK (1996) präsentierte Versuchsergebnis: bei Fütterung von intensiv erzeugtem Grobfutter (5,6 MJ NEL pro kg TM), in Kombination mit zwei KF-Stufen (3,6 oder 6,6 kg TM) über 4 Jahre, wurde kein Milchleistungsunterschied bei Mehrkalbskühen festgestellt. Dieser Aspekt lässt sich auf das vorliegende Versuchsergebnis übertragen. Unter Berücksichtigung der hohen Energiekonzentration im Grobfutter kann angenommen werden, dass das Angebot an verdaulicher Organischen Substanz, trotz geringer Abweichung in der Futteraufnahme (0,6 kg TM) zwischen den Gruppen, und trotz unterschiedlicher KF-Anteile in der TMR, vergleichbar war.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die GF-Verdrängung ist die KF-Zusammensetzung, insbesondere die Zusammensetzung und die Eigenschaften der Kohlenhydrate. Bei FAVERDIN *et al.* (1991) wurde das Grobfutter bei Ergänzung mit stärkehaltigem KF im Vergleich zur Ergänzung mit hochverdaulichem, faserreichem KF tendenziell stärker verdrängt. Diese Beobachtung deckt sich mit dem weiter oben beschriebenen Zusammenhang zwischen dem KF-Einsatz und dem pH-Wert im Pansen.

In der Literaturübersicht von KLEINMANS und POTTHAST (1984) zur GF-Verdrängung hatte die in Klassen eingeteilte Energiekonzentration des KF keinen Einfluss auf die Höhe der GF-Verdrängung. Bei SPÖRNDLY (1991) und RÜHLE *et al.* (1992) war die GF-Verdrängung bei Fütterung eines stärkereichen KF mit höherer Energiekonzentration nicht ausgeprägter als bei Fütterung eines faserreichen KF mit geringerer Energiekonzentration.

HUHTANEN *et al.* (2008) leiteten in ihrer Literaturübersicht zum Einfluss des KF auf die Graspilageaufnahme einen leichten Anstieg der Grobfutteraufnahme bei konstanter KF-Aufnahme ab, wenn Getreidekomponenten im KF durch faserreiche Nebenprodukte ersetzt wurden. Die Autoren führten den Effekt, analog zu COULON *et al.* (1989) oder FAVERDIN *et al.* (1991), maßgeblich auf die Reduktion der Energiekonzentration im KF, bei gesteigertem Anteil an faserreichen Nebenprodukten, zurück und weniger auf eine Verbesserung des Milieus im Pansen für den Abbau der Faserfraktionen.

Ein an Nichtstrukturkohlenhydraten reiches KF verdrängte, im Vergleich zu einem KF reich an Strukturkohlenhydraten, nicht mehr Grobfutter im Fütterungsversuch von ABRAHAMSE *et al.* (2008). In diesem Versuch war die Energiekonzentration beider KF identisch. Somit scheint

weniger die Zusammensetzung der Kohlenhydrate im KF, aber vielmehr die mit dem KF aufgenommene Energiemenge die GF-Verdrängung zu beeinflussen.

Im vorliegenden Fütterungsversuch waren die Faktoren KF-Menge und Zusammensetzung der Kohlenhydrate im KF vermengt. Die Gruppe 250 nahm im Durchschnitt der Laktation täglich 6,1 kg TM eines KF auf, welches vor allem in der ersten Laktationshälfte (bis zum Rationswechsel am 165. LTG) aufgrund des hohen Anteils an Getreide reich an Nichtstrukturkohlenhydraten war (NFC-Konzentration des KF in Ration K1: 450 g pro kg TM). Entsprechend lag die Energiekonzentration des KF der Gruppe 250 mit durchschnittlich 7,6 MJ NEL pro kg TM höher als die Energiekonzentration des KF der Gruppe 150 (7,4 MJ NEL pro kg TM) in der ersten Laktationshälfte. Deren KF in den ersten 165 LTG hatte einen höheren Anteil an proteinreichem Rapsextraktionsschrot und einen geringeren Anteil an Getreide. Die NFC-Konzentration des KF in Ration K2 = R1 war folglich mit 331 g pro kg TM deutlich geringer. In der zweiten Laktationshälfte bestand der Unterschied in der KF-Zusammensetzung zwischen den beiden Gruppen, bei einer insgesamt geringeren NFC-Konzentration, fort, weil der Getreideanteil im KF entsprechend reduziert wurde. Die oben beschriebenen Zusammenhänge aus der Literatur könnten den Schluss zulassen, dass die geringere NFC-Konzentration in Verbindung mit der geringeren Energiekonzentration des KF in der Gruppe 150 deren Grobfutteraufnahme zusätzlich gesteigert hat. Die hohe Grobfutteraufnahme könnte in Konsequenz zu der hohen GF-Verdrängung beigetragen haben.

Die unterschiedliche KF-Zusammensetzung im vorliegenden Versuch beeinflusste neben der Kohlenhydratfraktion auch die XP-Konzentration des KF (bis zum 165. LTG: Gruppe 250 252 g XP pro kg TM KF, Gruppe 150 308 g XP pro kg TM KF; ab dem 166. LTG: Gruppe 250 308 g XP pro kg TM KF, Gruppe 150 368 g XP pro kg TM KF). THOMAS (1987) und HUHTANEN *et al.* (2008) beschrieben eine Steigerung der Grobfutteraufnahme bei gleich hoher KF-Aufnahme, aber höherem Anteil proteinreicher KF-Komponenten. Die Kausalität hinter diesem Zusammenhang scheint noch nicht eindeutig geklärt. Neben einer verbesserten Verdaulichkeit der Organischen Substanz (insbesondere der Strukturkohlenhydrate) recherchierten HUHTANEN *et al.* (2008) als weiteren Erklärungsansatz ein gesteigertes Angebot an Aminosäuren post-ruminal. Außerdem stabilisiert die NH₃-Freisetzung beim XP-Abbau und der Austausch von Kohlenhydraten durch XP den pH-Wert im Pansen.

Weder bei HUHTANEN *et al.* (2008) noch bei THOMAS (1987) ist nachvollziehbar, ob der nXP-Bedarf der Versuchstiere in den einzelnen Versuchsgruppen gedeckt war. Eine fehlende Anpassung der nXP-Konzentration des KF bei Reduktion des KF-Einsatzes kann eine nicht be-

darfsdeckende nXP-Versorgung zur Folge haben, welcher die Tiere mit einer erhöhten GF-Aufnahme entgegensteuern. Mit dem höheren Anteil von Rapsextraktionsschrot im KF der Gruppe 150 war im vorliegenden Versuch die Deckung des nXP-Bedarfs, trotz des geringeren KF-Einsatzes, sichergestellt. Die täglich über den Bedarf hinaus gehende nXP-Aufnahme betrug in der Gruppe 250 ca. 550 g nXP und in der Gruppe 150 ca. 430 g nXP. Dass Gruppe 150 im vorliegenden Fütterungsversuch mehr Grobfutter aufnahm, um einen negativen nXP-Saldo zu vermeiden, kann somit ausgeschlossen werden.

Tierbedingte Einflussfaktoren auf die Grobfutterverdrängung

Nach der Diskussion des Einflusses rationsbedingter Faktoren auf die im vorliegenden Versuch ermittelte GF-Verdrängung werden nachfolgend die Einflussfaktoren auf die GF-Verdrängung beleuchtet, die vom Tier ausgingen. Die gegensätzlichen Erkenntnisse aus der Literatur zur Entwicklung der GF-Verdrängung mit fortschreitender Laktation wurden im Kapitel 2.2.1 bereits angesprochen. Aufgrund der in den vorherigen Abschnitten beschriebenen, unterschiedlichen Zusammensetzung des KF sowohl in den beiden Gruppen als auch im Laktationsverlauf wurde für die Darstellung der Entwicklung der GF-Verdrängung in der Laktation in Abbildung 39 die Einheit MJ NEL statt TM gewählt. Die Abbildung 39 wurde durch die Verrechnung der täglichen Energieaufnahme aus KF und Grobfutter der beiden Gruppen möglich.

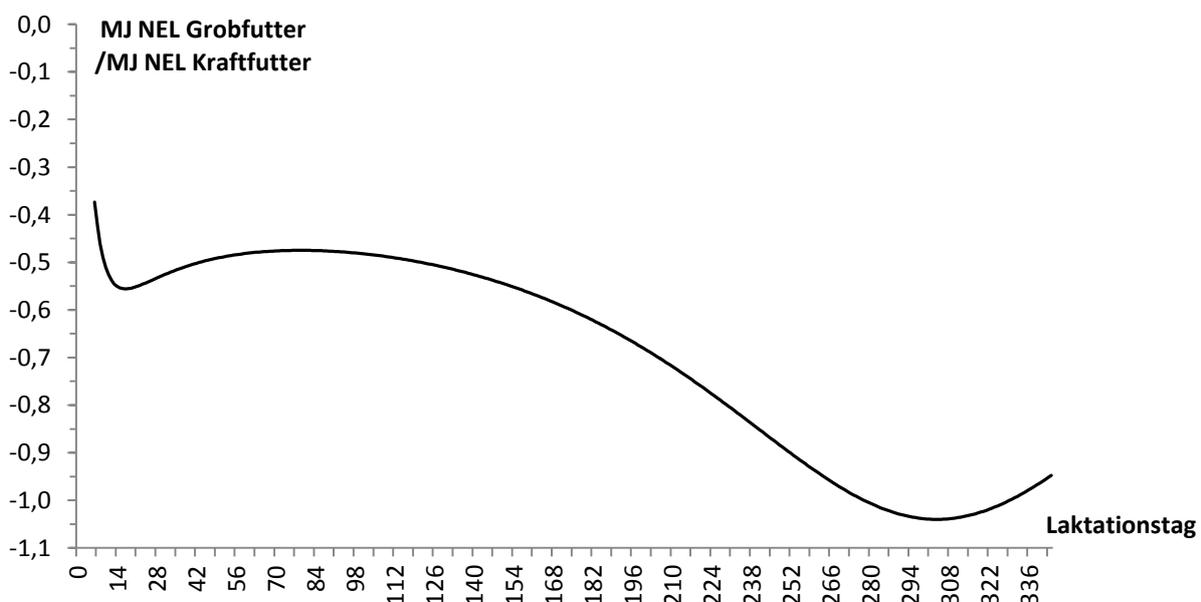


Abbildung 39: Verlauf der Grobfutterenergieverdrängung in MJ NEL pro Δ MJ NEL Kraftfutter in der Laktation

Im Abschnitt LTG 15 bis 165 blieb die Höhe der GF-Verdrängung weitestgehend konstant und betrug im Mittel 0,51 MJ NEL pro Δ MJ NEL KF. Anschließend stieg die GF-Verdrängung deutlich an, sodass etwa ab dem 275. LTG die aufgenommene Energie aus KF oder Grobfutter im Verhältnis 1:1 ausgetauscht wurde. Das Ergebnis aus dem vorliegenden Versuch, eine im Laktationsverlauf steigenden GF-Verdrängung, stimmt mit der im Kapitel 2.2.1 ermittelten Tendenz und den Ergebnissen von ØSTERGAARD (1979), LANG (1995) oder GRUBER *et al.* (2004) überein. Das von ØSTERGAARD (1979) und FAVERDIN *et al.* (1991) genannte Argument einer im Laufe der Laktation zunehmend den Energiebedarf deckenden bzw. übertreffenden Futteraufnahme könnte als ursächlich hierfür angeführt werden.

Die GF-Verdrängung stieg im Laufe der Laktation, trotz abnehmender KF-Aufnahme. Diese Beobachtung bestätigt die bei dieser langen Versuchsdauer erwartete Überlagerung von rations- und tierbedingten Faktoren (SCHWARZ und KIRCHGESSNER 1985; THOMAS 1987; LANG 1995; HUHTANEN *et al.* 2008) und die additive bzw. kompensatorische Wirkung zahlreicher Faktoren auf die Höhe der Futteraufnahme (ALLEN 2000; GRUBER *et al.* 2004; FORBES 2007). Eine strikte Trennung der rations- und tierbedingten Einflussfaktoren auf die GF-Verdrängung ist deshalb nicht sinnvoll.

An dieser Stelle erscheint der Rationswechsel am 165. LTG von Bedeutung. Der Einfluss der fortschreitenden Laktation auf den in Abbildung 39 dargestellten Verlauf der GF-Verdrängung war vermengt mit dem Einfluss dieser vorgenommenen Rationsänderung (FRIGGENS *et al.* 1998). Als Reaktion auf die Rationsänderung gingen sowohl die Futteraufnahme als auch die ECM in den beiden Gruppen zurück. Dieser Rückgang, der aus den modellierten und folglich geglätteten Verläufen der Futteraufnahme bzw. der ECM im Kapitel 4 nicht ersichtlich wird, war in der Gruppe 250 sowohl bei der Futteraufnahme als auch bei der ECM (-1,8 kg TM und -2,8 kg ECM im Abschnitt LTG 154 bis 174) ausgeprägter als in der Gruppe 150 (-1,4 kg TM und -2,0 kg ECM im Abschnitt LTG 154 bis 174). Die beschreibenden Verläufe der Futteraufnahme und der ECM in der Laktation sind im Anhang in Abbildung A5 und Abbildung A6 dargestellt.

Warum die Futteraufnahme und die ECM in der Gruppe 250 nach dem Rationswechsel stärker sank, kann nur teilweise auf die stärkere Reduktion des KF-Anteils in der TMR dieser Gruppe zurückgeführt werden. Ab dem 165. LTG betrug der KF-Anteil in der Ration für die Gruppe 250 noch 62 % des durchschnittlichen KF-Anteils, der bis zum 165. LTG gefüttert wurde. In der Gruppe 150 betrug der KF-Anteil der Ration ab dem 165. LTG noch 67 % des in der ersten Laktationshälfte gefütterten, durchschnittlichen KF-Anteils. Die Reduktion des KF-Anteils und der Rückgang der Futteraufnahme führten zusammen zu einem deutlichen

Rückgang der absoluten KF-Aufnahme in den beiden Gruppen. Während in der Gruppe 250 die KF-Aufnahme der Tiere um 3,5 kg TM im Abschnitt LTG 154 bis 174 zurückging, waren es in der Gruppe 150 lediglich 1,8 kg TM. Bereits im Kapitel 4.1.3 wurde die größere Spanne der KF-Aufnahme im Laufe der Laktation in der Gruppe 250 herausgearbeitet. Die etwa doppelt so hohe Reduktion der täglichen KF-Aufnahme in der Gruppe 250 als in der Gruppe 150 könnte maßgeblich zur stärkeren Reaktion der Gruppe 250 auf den Rationswechsel in der Laktationsmitte beigetragen haben.

Das Alter der Tiere ist ein weiterer, tierbedingter Faktor, der die Höhe der GF-Verdrängung im vorliegenden Versuch beeinflusst haben könnte. Aus Tabelle 17 lässt sich die GF-Verdrängung für die unterschiedlichen LNRcl berechnen. Bei den Erstkalbskühen betrug die GF-Verdrängung 0,78 kg TM pro Δ kg KF TM. Bei den Tieren in der LNRcl 2 lag der Wert auf niedrigerem Niveau (0,48 kg TM pro Δ kg KF TM). Von der LNRcl 2 bis zur LNRcl \geq 4 stieg die GF-Verdrängung dann an (LNRcl 3: 0,78 kg TM pro Δ kg KF TM; LNRcl \geq 4: 1,05 kg TM pro Δ kg KF TM).

Im Kapitel 2.2.1 konnte zwischen Ein- und Mehrkalbskühen kein signifikanter ($p > 0,05$) Unterschied in der GF-Verdrängung abgeleitet werden. Hingegen berichteten OLDENBROEK (1986) und (1988) sowie MACK (1996) von höheren GF-Verdrängungen bei Mehrkalbskühen als bei Erstkalbskühen. Eine weitere Untergliederung der Mehrkalbskühe wurde weder im Kapitel 2.2.1 noch in den genannten Quellen vorgenommen, was eine Einordnung der im vorliegenden Versuch beobachteten Ergebnisse erschwert.

Besonders auffällig ist die unterschiedliche Entwicklung der Grobfutteraufnahme mit höherer LNRcl in den beiden Versuchsgruppen im vorliegenden Versuch, wengleich dieser Unterschied nicht signifikant ($p > 0,1$) war. Von der LNRcl 1 zur LNRcl 2 wurde in den beiden Gruppen die höchste Steigerung der Grobfutteraufnahme und folglich auch der Futteraufnahme festgestellt. Die Gruppe 250 nahm in der LNRcl 2 durchschnittlich 1,7 kg TM pro Tag mehr Grobfutter auf in der LNRcl 1. In der Gruppe 150 war die Steigerung geringer und betrug durchschnittlich 1,2 kg TM pro Tag. Das geringere Grobfutter-Aufnahmepotential von Erstkalbskühen aufgrund des noch nicht abgeschlossenen Körperwachstums, der damit verbundenen Einschränkung des Vormagenvolumens sowie aufgrund des geringeren Bedarfs ist aus zahlreichen Veröffentlichungen bekannt (SCHWARZ und KIRCHGESSNER 1985; MACK 1996; GRUBER *et al.* 2004). Ab der LNRcl 2 erhöhte sich die Grobfutteraufnahme in der Gruppe 250 nur noch geringfügig. Tiere ab der LNRcl \geq 4 nahmen in der Gruppe 250 0,3 kg TM pro Tag mehr auf als Tiere in der LNRcl 2. Hingegen steigerte die Gruppe 150 ihre Grobfutteraufnahme von der LNRcl 2 zur LNRcl 3 um durchschnittlich 0,7 kg TM pro Tier

und Tag und von der LNRcl 3 zur LNRcl \geq 4 noch einmal um durchschnittlich 0,6 kg TM pro Tier und Tag.

Bei MACK (1996) finden sich ebenfalls Hinweise darauf, dass bei extensiver Fütterung die Steigerung der Grobfutteraufnahme mit steigendem Tieralter deutlicher ausfällt, insbesondere nach der zweiten Laktation. Die in Tabelle 21 gelistete Entwicklung der Lebendmasse in den einzelnen LNRcl weist, passend hierzu, ab der zweiten Laktation eine höhere Steigerung der Lebendmasse in der Gruppe 150 als in der Gruppe 250 aus. Die Lebendmasse kann als indirektes Maß für das Vormagenvolumen herangezogen werden (SCHWARZ und KIRCHGESSNER 1985; MACK 1996). Folglich gelang es insbesondere den älteren Tieren gut, sich an die strukturbetontere Ration mit dem geringeren KF-Anteil anzupassen.

Die GF-Verdrängung war im vorliegenden Fütterungsversuch höher als erwartet, lag aber im Rahmen der Literaturergebnisse zu vergleichbaren Fütterungsversuchen mit gestaffeltem KF-Einsatz, die langfristig angelegt wurden und in denen Grobfutter mit hoher Energiekonzentration genutzt wurde. Neben dem Rückgang der Verdaulichkeit der Faser-Fractionen mit steigendem KF-Einsatz könnte die im Verlauf der Laktation beobachtete, deutliche Zunahme der GF-Verdrängung zu diesem Ergebnis in der Gesamtlaktation beigetragen haben. In dem langen Versuchszeitraum bestanden deutliche Wechselwirkungen zwischen den rations- und tierbedingten Einflussfaktoren auf die GF-Verdrängung.

5.2 Einfluss des Kraftfuttereinsatzes auf die Energieversorgung

Der Organismus ist bestrebt ein Energiegleichgewicht (Homöostase) aufrechtzuerhalten, das heißt Energie dem Bedarf entsprechend aufzunehmen (KENNEDY 1953; BAUMAN und CURRIE 1980; HARRIS 1990; FORBES 2007). Aufgrund ihres variablen Energiebedarfs im Laufe einer Laktation gelingt das der Milchkuh kurzfristig nicht in jedem Laktationsabschnitt. Der Fetus und die Milchdrüse sind zwei Gewebe mit veränderlichem und über lange Zeiträume enormem Energiebedarf. Von der Natur wurden die Trächtigkeit und die Milchbildung mit einer hohen Priorität bei der Energieverteilung ausgestattet. Um im Muttertier nach der Kalbung ein neues, physiologisches Energiegleichgewicht (Homöostase) zu erreichen, sind vielfältige, gut aufeinander abgestimmte Stoffwechseländerungen nötig. In diese Änderungen sind die meisten Gewebe und Organe eingebunden. Dieser Änderungsprozess wird Homöorhese genannt (BAUMAN und CURRIE 1980; MCNAMARA 1991; BAUMAN 2000; CHILLIARD *et al.* 2000a; BAUMGARD *et al.* 2017). Das Fettgewebe dient hierbei als Energiepuffer, denn sein Beitrag zur aktuellen Energieversorgung der Milchkuh ist höchst veränderlich und wird fein reguliert (BAUMAN und CURRIE 1980; MCNAMARA 1991). Die Fettmobilisation zu Laktationsbeginn, in

der Phase eines ausgeprägten Energiedefizits, ist das Ergebnis eines reduzierten Fettaufbaus (Lipogenese und Triglyceridsynthese) bei gleichzeitig erhöhtem Fettabbau (Lipolyse). In der zweiten Laktationshälfte werden durch die Lipogenese die Fettreserven wieder aufgefüllt (BAUMAN und CURRIE 1980; MCNAMARA 1989; ROCCO und MCNAMARA 2013). Der in Abbildung 20 dargestellte Verlauf des Energiesaldos in den beiden Gruppen spiegelt diesen Ab- und Aufbau der Körperreserven wider.

Die „glucogenic-insulin theory“ besagt, dass bei höherem KF-Einsatz der steigende Anteil des Propionats an den KKFS im Pansen die Gluconeogenese-Rate erhöht. In Folge steigt die Insulin-Konzentration im Blut (MOE 1981; SUTTON 1988; BAUMAN und GRINARI 2001; VAN KNEGSEL *et al.* 2007).

Die „glucogenic-insulin theory“ könnte den frühen Übergang der Gruppe 250 in der Laktation von einer katabolen in eine anabole Stoffwechselsituation erklären (Gruppe 250 am 37. LTG, Gruppe 150 am 72. LTG; vgl. Abbildung 20). Kohlenhydrate werden von den Mikroorganismen im Pansen hauptsächlich zu Acetat, Propionat und Butyrat (aufgeführt in der Reihenfolge abnehmender Produktionsraten) abgebaut. Während die KKFS mit gerader Anzahl an C-Atomen (Acetat und Butyrat) für die Energiegewinnung und als Ausgangsstoff für die FS-Synthese genutzt werden, dient Propionat (drei C-Atome) vor allem als Ausgangsstoff für die Gluconeogenese (SEYMOUR *et al.* 2005; ASCHENBACH *et al.* 2010). Die Rationsgestaltung nimmt wesentlich Einfluss auf den Anteil der drei KKFS im Pansen (GRUM *et al.* 1996; SEYMOUR *et al.* 2005). Mit steigendem KF-Einsatz in der Ration steigt der Anteil von Propionat an den KKFS im Pansen. Gleichzeitig sinken die Anteile von Acetat und Butyrat. Der höhere Anteil von Propionat bei höherer KF-Aufnahme steigert folglich die Glucose-Abgabe der Leber und erhöht damit die Insulin-Konzentration im Blut, die zu Laktationsbeginn typischerweise erniedrigt ist. Die erhöhte Insulin-Konzentration hebt die Drosselung des Glucose-Verbrauchs im Fett- und Muskelgewebe des Körpers auf und wirkt der bevorzugten Abgabe von Energie und Nährstoffen in die Milchdrüse entgegen. In Konsequenz werden die Ausgangssubstrate für die FS-Synthese bevorzugt der Lipogenese im Körperfettgewebe zugeteilt, auf Kosten der Fettsynthese im Euter (MOE 1981; SUTTON 1988; GRUM *et al.* 1996; BAUMAN und GRINARI 2001; VAN KNEGSEL *et al.* 2007; NICHOLS *et al.* 2019).

Nachfolgende Beobachtungen unterstreichen, dass diese in der Literatur beschriebene Wechselwirkung zwischen der Höhe der KF-Aufnahme und dem Energiestoffwechsel im vorliegenden Fütterungsversuch eintrat. Der Milchfettgehalt der Gruppe 250 war im Abschnitt LTG 26 bis 96 signifikant geringer ($p > 0,1$). NICHOLS *et al.* (2019) bestätigten mit ihrem Ergebnis

eines sinkenden Milchfettgehalt bei Infusion von Glucose in den Labmagen den Rückschluss, den SUTTON schon 1988 aus dem beobachteten Zusammenhang zwischen dem Milchfettgehalt und der KF-Aufnahme zog. SUTTON (1988) schrieb die Reduktion des Milchfettgehalts bei steigender KF-Aufnahme der Erhöhung des Anteils von Propionat an den KKFS im Pansen zu. Dass der Milchfettgehalt sowohl in das Modell zur Schätzung des Energiesaldos aus der FS-Zusammensetzung im Milchfett (vgl. Kapitel 4.9.1, Tabelle 38) als auch in das Modell zur Schätzung des Energiesaldos aus Blutwerten (vgl. Kapitel 4.9.2, Tabelle 40) mit negativem Vorzeichen einging, unterstreicht diesen Zusammenhang.

Zusätzlich hatte die Gruppe 250 am Blutprobetermin 28 Tage *p. p.* nachweislich eine signifikant geringere ($p \leq 0,1$) BHB-Konzentration im Serum. Als Folge der Lipolyse während des negativen Energiesaldos zu Laktationsbeginn wurden NEFA vom Fettgewebe ins Blut abgegeben. Daraus leitete sich der in Tabelle 39 für das erste Laktationsdrittel berichtete, negative Korrelationskoeffizient zwischen der NEFA-Konzentration im Blutserum und dem Energiesaldo ab ($r = -0,72$). REIST *et al.* (2002) ermittelten einen vergleichbar hohen Korrelationskoeffizienten ($r = -0,69$). Die NEFA werden von der Milchdrüse direkt als Fett-Bestandteil in die Milch eingebaut (PALMQUIST 2006) oder von der Leber verstoffwechselt (VERNON 2005). Die signifikant höhere ($p \leq 0,1$) Konzentration der FS C10:0 und der FS-Gruppe MKFS sowie die geringere Konzentration der FS-Gruppe LKFS im Milchfett der Gruppe 250 sind die Folge einer weniger ausgeprägten Fettmobilisation dieser Gruppe im ersten Laktationsdrittel. Der Einbau der vorgeformten, LKFS aus dem Blut ins Milchfett hemmt die *de-novo* Synthese der KKFS und der MKFS im Euter (LYNCH *et al.* 1992; PALMQUIST *et al.* 1993; STOOP *et al.* 2009; GROSS *et al.* 2011a; BECHER 2017; NICHOLS *et al.* 2019).

Die zu Laktationsbeginn beobachtete, geringere Insulin-Konzentration (vgl. Abbildung 27) förderte die katabolen Stoffwechselabläufe im Fettgewebe. Verstärkt wird dieser Effekt durch eine herabgesetzte Ansprechbarkeit des Fettgewebes für Insulin, bei im Gegenzug erhöhter Ansprechbarkeit für das Wachstumshormon und für Katecholamine (MCNAMARA 1991 und 1995; CHILLIARD *et al.* 2000a; VERNON 2005; BAUMGARD *et al.* 2017). In der Leber fördert die geringere Insulin-Konzentration im Blut die unvollständige Oxidation der ankommenden NEFA zum Acetoacetat (ZAMMIT 1990; VERNON 2005). Acetoacetat wird in den Mitochondrien der Leberzellen gebildet und erst im Zytosol zum Teil zu BHB reduziert (ZAMMIT 1990). Der negative Korrelationskoeffizient ($r = -0,59$) zwischen dem Energiesaldo und der BHB-Konzentration im Blutserum im ersten Laktationsdrittel wird in Tabelle 39 genannt und liegt etwas höher als bei REIST *et al.* (2002) ($r = -0,45$).

Die geringere BHB-Konzentration am 28. LTG in der Gruppe 250 weist folglich zu diesem

Zeitpunkt erstens auf einen geringeren Lipolyse-Grad hin verglichen mit der Gruppe 150, obwohl die NEFA-Konzentration nicht deutlich niedriger lag. Zweitens weist die geringere BHB-Konzentration am 28. LTG in der Gruppe 250 zu diesem Zeitpunkt auf eine höhere Glucose-Bereitstellung als in der Gruppe 150 hin.

Der signifikant höhere ($p \leq 0,1$) Milchlaktosegehalt im Abschnitt LTG 14 bis 56 und die höhere Insulin- und IGF-I-Konzentration im Blutplasma am Probetermin 28 Tage *p. p.* weisen zusätzlich auf die bessere Glucose-Versorgung der Gruppe 250 zu diesem Zeitpunkt hin, wegen der höheren KF-Aufnahme. Beide Ergebnisse decken sich mit den Beobachtungen von REIST *et al.* (2003), die bei Fütterung von Rationen mit 50 % KF-Anteil in der TM im Vergleich zu Rationen mit 30 % KF-Anteil im ersten Laktationsdrittel signifikant höhere Milchlaktosegehalte, Insulin- und IGF-I Konzentrationen feststellten.

Die Gluconeogenese ist für den Wiederkäuer von zentraler Bedeutung, weil Kohlenhydrate im Gegensatz zum Nichtwiederkäuer im Verdauungstrakt überwiegend zu KKFS abgebaut werden und nicht als Glucose absorbiert werden. Die Leber des Rindes ist der bedeutendste Glucose-Lieferant im Organismus (ASCHEBACH *et al.* 2010). Als glucogene Substrate dienen der Leber Propionat (60 bis 74 %), Lactat (16 bis 26 %), glucoplastische Aminosäuren (11 bis 16 %, davon ca. 4 % aus Alanin), Valerat und Isobutyrat (5 bis 6 %) sowie Glycerol (0,5 bis 3 %) (ASCHEBACH *et al.* 2010).

Mit dem Einsetzen der Laktation erhöht sich der Glucose-Bedarf schlagartig. Ca. 80 bis 85 % des gesamten Glucose-Umsatzes im Organismen werden jetzt für die Milchbildung, überwiegend für die Milchlaktosesynthese, eingesetzt (BAUMAN und CURRIE 1980; BAUMGARD *et al.* 2017). Im Abschnitt des Leistungsmaximums werden ca. 3 kg Glucose pro Tag mit der Milch in Form von Laktose abgegeben. Die Gesamtmenge an „verstoffwechselter“ Glucose liegt viel höher, weil nicht nur für die Synthese, sondern auch für die Oxidation Glucose benötigt wird (ASCHEBACH *et al.* 2010). Während des Energiedefizits zu Laktationsbeginn steigt der Anteil von glucogenen Substraten aus dem Abbau von Körpersubstanz (Alanin, Lactat, Glycerol), der an der Leber ankommt und als Ausgangssubstrat für die Gluconeogenese dient (VERNON 2005; ASCHEBACH *et al.* 2010). Der enorme Glucose-Verbrauch für die Milchbildung führte nach der Kalbung auch im vorliegenden Fütterungsversuch in den beiden Gruppen für kurze Zeit zu einer, aus der Literatur bekannten (RONGE *et al.* 1988; GRUBER *et al.* 1995; REIST *et al.* 2003; LUCY 2004; ASCHEBACH *et al.* 2010; GROSS *et al.* 2011b; BAUMGARD *et al.* 2017), erniedrigten Glucose-Konzentration im Blut, wie Abbildung 28 zeigt.

Eine erneute Homöostase der Glucose-Konzentration wird durch eine Reihe von gut aufeinander abgestimmten Anpassungen im Körper der Milchkuh erreicht (BAUMAN und CURRIE

1980; MCNAMARA 1991; BAUMAN 2000; CHILLIARD *et al.* 2000a; BAUMGARD *et al.* 2017). Von zentraler Bedeutung ist in diesem Prozess die reduzierte Insulin-Ausschüttung der Bauchspeicheldrüse bei gleichzeitig erhöhter Ausschüttung des Wachstumshormons der Hypophyse. Die Konzentrationen der beiden Hormone im Blut verhalten sich zu Laktationsbeginn also konträr (BAUMAN und CURRIE 1980; RONGE *et al.* 1988; MCNAMARA 1991; BAUMAN 2000; CHILLIARD *et al.* 2000a; BUTLER *et al.* 2003; LUCY 2004; GROSS *et al.* 2011c; KHAN *et al.* 2013; BAUMGARD *et al.* 2017). Im Gegensatz zur strengen, hormonellen Steuerung des Stoffwechsels außerhalb der Milchdrüse reagiert die Milchdrüse selbst nur wenig auf die genannten, hormonellen Einflüsse nach Einsetzen der Laktation (Insulinresistenz) (VERNON 2005).

Neben den bereits beschriebenen Konsequenzen für den Fettstoffwechsel führt der Kontrast zwischen dem Insulin und dem Wachstumshormon zu einer Störung der somatropen Achse (BUTLER *et al.* 2003). Die Leber ist wegen der reduzierten Insulin-Konzentration im Blut resistent gegenüber dem Wachstumshormon und schüttet folglich wenig IGF-I aus. Das fehlende negative Feedback steigender IGF-I-Konzentrationen im Serum befördert wiederum die Ausschüttung des Wachstumshormons in der Hypophyse (LUCY *et al.* 2001; BUTLER *et al.* 2003; LUCY 2004). Die Leber ist folglich der Ort, wo sich die Achsen des Fett- und des Glucose-Stoffwechsels kreuzen (ZAMMIT 1990).

Die Menge des im Pansen gebildeten Propionats hängt von der Futteraufnahme und dem Anteil leicht fermentierbarer Kohlenhydrate in der Ration ab. Damit beeinflusst die KF-Aufnahme ganz entscheidend das Angebot von Substrat für die Gluconeogenese. Die Gluconeogenese aus Propionat, im Gegensatz zur Gluconeogenese aus Lactat oder Alanin, hemmt die FS-Oxidation und somit die Ketonkörperbildung in der Leber (ZAMMIT 1990; ASCHENBACH *et al.* 2010).

Die aus der höheren KF-Aufnahme abgeleitete, bessere Glucose-Versorgung der Gruppe 250 zu Laktationsbeginn resultierte in der bereits genannten, erhöhten Insulin-Konzentration im Blut am 28. LTG (vgl. Abbildung 27). Schon früh in der Laktation hemmte die steigende Insulin-Konzentration die dominierende Stellung der Milchdrüse im Stoffwechsel in dieser Gruppe und drosselte die katabolen Stoffwechselforgänge.

Die täglich um 7,4 MJ NEL höhere Energieaufnahme der Gruppe 250, im Vergleich mit der Gruppe 150, wurde von der Gruppe im weiteren Laktationsverlauf somit vornehmlich für den Wiederaufbau von Körperreserven genutzt. Die höhere Energieaufnahme hob den Energiesaldo rasch an und erhöhte nicht die Milchleistung. Wird angenommen, dass die Energiekonzentration der Milch 3,28 MJ NEL pro kg ECM beträgt (GfE 2001), wäre, unter Berücksichti-

gung der GF-Verdrängung, eine ECM-Steigerung in Höhe von 0,9 kg pro Δ kg KF TM zu erwarten gewesen.

Nach FAVERDIN *et al.* (1991) besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem Energieversorgungsstatus und der Nutzung zusätzlicher Energie für Milchleistung oder den Aufbau von Körperreserven, der auch von COULON und RÉMOND (1991) sowie GRUBER (2007) bestätigt wurde. GRUBER (2007) erkannte in langfristigen Fütterungsversuchen mit gestaffelter KF-Aufnahme eine Annäherung von erwarteter und beobachteter Milchleistung, sofern das Leistungspotential noch nicht ausgeschöpft war. Die Diskrepanz zwischen der beobachteten und der erwarteten ECM-Steigerung im vorliegenden Versuch legt deshalb nahe, dass das genetische Potential der Fleckviehmilchkühe bereits bei dem reduzierten KF-Einsatz weitestgehend ausgeschöpft war. Die durchschnittliche Jahresleistung der Fleckviehherde am LAZBW aus den Vorjahren (2010 bis 2014) lag laut Jahresberichten der Leistungsprüfung bei 9 340 kg ECM pro Kuh. In den beiden Versuchsjahren betrug die durchschnittliche Tagesleistung in der Gruppe 250 24,7 kg ECM pro Tier und Tag bzw. in der Gruppe 150 24,4 kg ECM pro Tier und Tag. Das ergibt eine Jahresleistung von 9 016 kg ECM (Gruppe 250) bzw. 8 906 kg ECM (Gruppe 150). Die Fleckviehmilchkühe schöpften folglich auch bei dem geringeren KF-Einsatz ihr Leistungspotential weitestgehend aus. Deshalb entsprach die beobachtete Milchleistungssteigerung pro Δ kg KF TM, trotz der langen Versuchsdauer, nicht der erwarteten Milchleistungssteigerung.

Ein Rückgang der Milchleistungsunterschiede zum Laktationsende zwischen Gruppen, die unterschiedliche KF-Mengen erhielten, ist aus den dargestellten Laktationskurven bei OLDENBROEK (1988) und GRUBER *et al.* (1995) erkennbar. Allerdings blieb die Reihenfolge der Höhe der ECM zwischen den Gruppen, anders als im vorliegenden Versuch, über die gesamte Laktation hinweg bestehen.

Der Anstieg der GF-Verdrängung im Laktationsverlauf und die zunehmend den Energiebedarf deckende Futteraufnahme haben zur Folge, dass die Milchleistungssteigerung pro Δ kg KF TM im Laufe der Laktation sinkt. Hinzu kommt im vorliegenden Versuch der Einfluss des Rationswechsels in der Laktationsmitte.

Auch TESSMANN *et al.* (1991) reduzierten in ihrem Fütterungsversuch den KF-Anteil der TMR im Laufe der Laktation, unabhängig von der Leistung (zweimal: Laktationswoche 12 und Laktationswoche 26). Die Leistungsunterschiede zwischen Gruppen, die über eine komplette Laktation hinweg mit unterschiedlichen KF-Anteilen in der TMR versorgt wurden (0, 10, 30, 40 oder 50 % KF-Anteil in der TM), waren bei TESSMANN *et al.* (1991) mit fortschreitender Laktation rückläufig. In der Laktationswoche 32 schnitten sich die ECM-

Laktationskurven der Gruppen mit 0 und 10 % KF-Anteil. Ab diesem Zeitpunkt gaben die Tiere, die bei TESSMANN *et al.* (1991) KF frei gefüttert wurden, mehr Milch.

Folglich könnte der Rationswechsel in der Laktationsmitte und die damit verbundene deutliche Reduktion der Futterraufnahme dazu beigetragen haben, dass sich die erwartete, höhere Milchleistung in der Gruppe 250 nicht einstellte

Der Energiesaldo in der Trockenstehphase konnte im vorliegenden Versuch pro Kuh nur einmalig berechnet werden, weil die Versuchsbedingungen während der Trockenstehphase keine tägliche Messung der Lebendmasse ermöglichten. Weil hingegen die Futterraufnahme in der Trockenstehphase kontinuierlich erfasst wurde, scheint die Futterraufnahme geeignet, um die Plausibilität des in der Trockenstehphase einmal berechneten Energiesaldos zu überprüfen.

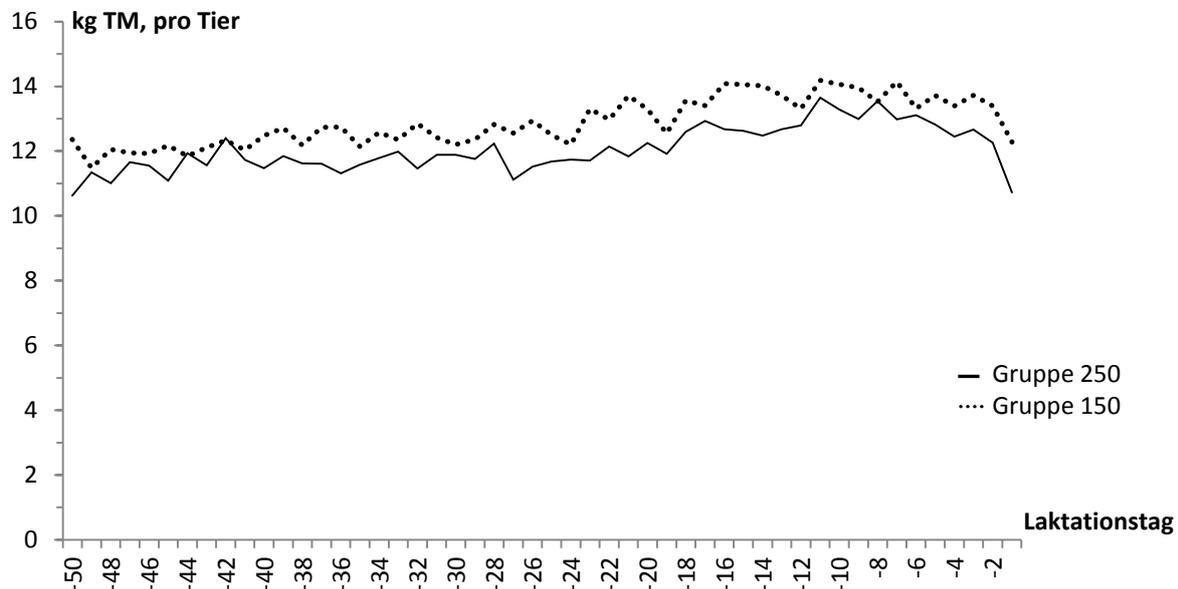


Abbildung 40: Verlauf der Futterraufnahme der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Trockenstehphase; berechnet durch Mittelwertbildung pro Gruppe und Laktationswoche

Abbildung 40 verdeutlicht noch einmal das Ergebnis der Futterraufnahme in der Trockenstehphase (vgl. auch Tabelle 16 und Abbildung 7). Die Gruppe 150 nahm während der gesamten Trockenstehphase, trotz der in diesem Zeitraum identischen Fütterung, ca. 1 kg TM mehr Futter auf. Der signifikant höhere ($p \leq 0,1$) Energiesaldo der Gruppe 150, der für den Abschnitt 30 bis 5 vLTG, punktuell ermittelt wurde (Gruppe 150 11,0 MJ NEL pro Tag; Gruppe 250 3,2 MJ NEL pro Tag), spiegelte folglich den Energiesaldo der beiden Gruppen für die gesamte Trockenstehphase plausibel wider (vgl. auch Tabelle 22).

In der Literatur gibt es Hinweise, dass bei Milchkühen, die in der Laktation restriktiv gefüttert werden, in der Spätlaktation und in der Trockenstehphase ein kompensatorisches Auffüllen ihrer Körperreserven beobachtet werden kann (BERG und EKERN 1993; BROSTER *et al.* 1993).

VAZQUEZ-AÑON *et al.* (1997) stellten in den ersten 6 Wochen der Trockenstehphase eine höhere Futteraufnahme der Tiere fest, die vom 150. LTG bis zum Trockenstellen mit weniger KF (KF-Anteil in der TM 35 statt 50 %) gefüttert worden waren. In der Trockenstehphase wurden alle Tiere gleich gefüttert. So konnte die unterschiedliche Futteraufnahme der Fütterungsgruppen in der Trockenstehphase, wie im vorliegenden Versuch, auf den nachwirkenden Effekt der Fütterung während der Laktation zurückgeführt werden.

Eine schnellere Anpassung der in der Laktation bereits mit weniger KF gefütterten Gruppe 150 an die faserreiche Trockensteher-Ration kann angenommen werden (VAZQUEZ-AÑON *et al.* 1997).

Während zahlreiche Untersuchungen über den nachwirkenden Effekt der Intensität der Trockensteherfütterung auf den Start in die nachfolgende Laktation vorliegen, gibt es bislang keine Veröffentlichung, die eine Prüfung des vorgestellten Effekts der unterschiedlichen Intensität der Fütterung durch gestaffelten KF-Einsatz in der Laktation auf die Futteraufnahme in der Trockenstehphase ermöglichen würde. In den recherchierten, langjährigen Fütterungsversuchen zu unterschiedlich hohem KF-Einsatz (BAUM 1984; BERG und EKERN 1993; VEERKAMP *et al.* 1994; MACK 1996; PATEL *et al.* 2017) wurde die Futteraufnahme in der Trockenstehphase nicht erfasst.

Parallel zum vorliegenden Fütterungsversuch führten die Projektpartner DENIBEN *et al.* (2018), HERTEL-BÖHNKE *et al.* (2018) und KRAUS *et al.* (2018) abgestimmte Untersuchungen unter Einschluss der Trockenstehphase durch. DENIBEN *et al.* (2018) veröffentlichten bereits Ergebnisse, die Aussagen zum Einfluss der Fütterung in der Laktation auf die Futteraufnahme in der Trockenstehphase ermöglichen. Sie stellten keine signifikanten Unterschiede in der Futteraufnahme während der Trockenstehphase zwischen den Versuchsgruppen fest, trotz unterschiedlichem KF-Einsatz in der Laktation. Allerdings nahmen bei DENIBEN *et al.* (2018) alle Versuchsgruppen, unabhängig vom KF-Einsatz, bereits im Durchschnitt der Laktation eine deutlich den Bedarf übersteigende Energiemenge auf. Der positive Energiesaldo pro Tag betrug bei DENIBEN *et al.* (2018) in der Gruppe 250 in der Laktation 21 MJ NEL und in der Gruppe 150 15 MJ NEL. Folglich hatte während der Trockenstehphase bei DENIBEN *et al.* (2018) keine Versuchsgruppe den Bedarf, Körperreserven kompensatorisch aufzufüllen. Die Ergebnisse der Projektpartner HERTEL-BÖHNKE *et al.* (2018) und KRAUS *et al.* (2018) zur Futteraufnahme in der Trockenstehphase liegen zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht vor, sind aber von großem Interesse für einen Vergleich mit dem vorliegenden Versuchsergebnis.

5.2.1 Alternative Bewertung der Energieversorgung

Nachfolgend werden die Auswirkungen der aktuellen Vorschläge von SUSENBETH (2018) auf die Beurteilung der Energieversorgung in der Gruppe 250 und der Gruppe 150 diskutiert. Bislang wird der Energiebedarf der Milchkuh auf Basis der NEL angegeben (GfE 2001). SUSENBETH (2018) schlägt nun aufgrund neuerer Erkenntnisse einen Wechsel in der Bewertung von der NEL zur ME vor.

Der Vorschlag von SUSENBETH (2018) beinhaltet, neben einem höheren leistungsunabhängigen Energiebedarf, einen geringeren Energiebedarf pro kg ECM als bislang angenommen, weil SUSENBETH (2018) mit den heute leistungsfähigeren und fortgeschriebenen Auswertemethoden aus den gleichen Datensätzen einen höheren Teilwirkungsgrad für die Milchbildung ermittelte. Der Wechsel zur ME würde das Aufnehmen seiner Vorschläge, aber auch das Aufnehmen zukünftiger Forschungserkenntnisse in die Empfehlungen erleichtern, weil die Neuberechnung der NEL-Konzentration sämtlicher Futtermittel entfielen.

SUSENBETH (2018) schrieb seinen Vorschlägen eine zu vernachlässigende Wirkung auf die Energiebedarfsschätzung in einem Leistungsbereich von 30 bis 40 kg ECM pro Tag bei 625 kg schweren Tieren zu, weil sich ein höherer leistungsunabhängiger Energiebedarf und ein geringerer Energiebedarf für Milchbildung wechselseitig aufheben. Bei höheren Leistungen, die üblicherweise zu Laktationsbeginn auftreten, ergibt sich nach den Vorschlägen von SUSENBETH (2018) für 625 kg schwere Tiere jedoch ein geringerer Energiebedarf als nach den bisherigen Berechnungen nach GfE (2001). Dies hätte die Erwartung eines geringeren Defizits des Energiesaldos für leistungsstarke Tiere zur Folge. Nachfolgend soll geprüft werden, ob sich auch bei den deutlich schwereren Fleckviehmilchkühen zu Laktationsbeginn entsprechende Unterschiede erkennen lassen.

Für die Fleckviehmilchkühe des vorliegenden Versuchs ist die von SUSENBETH (2018) genannte Leistungsspanne mit neutraler Wirkung seiner Empfehlung auf den errechneten Energiebedarf, wegen der höheren Lebendmasse (ca. 765 kg) und des folglich höheren leistungsunabhängigen Bedarfs, um 5 bis 7 kg ECM nach oben zu korrigieren. Für Fleckviehmilchkühe mit einer Leistung von 35 bis 45 kg ECM pro Tag und einer durchschnittlichen Lebendmasse von 765 kg führen die Berechnungen des Energiebedarfs nach GfE (2001) oder SUSENBETH (2018) somit nur zu geringfügig unterschiedlichen Werten.

Um den direkten Vergleich der Wirkung der beiden Empfehlungen auf die Energiebedarfsdeckung im vorliegenden Fütterungsversuch zu ermöglichen, wurde in Abbildung 41 die prozentuale Deckung des Energiebedarfs abgetragen, berechnet nach GfE (2001) oder SUSENBETH (2018).

BETH (2018). Die prozentuale Deckung des Energiebedarfs gibt an, wie viel Prozent des gesamten täglichen Energiebedarfs durch die Futtermittelaufnahme gedeckt werden. Eine Bedarfsdeckung $< 100\%$ entspricht einem negativen Energiesaldo.

Die für Fleckviehmilchkühe angepasste Leistungsspanne von 35 bis 45 kg ECM, in der die Vorschläge von SUSENBETH (2018) eine neutrale Wirkung auf den berechneten Energiebedarf haben, erreichte die Gruppe 250 und die Gruppe 150 im vorliegenden Versuch lediglich zu Laktationsbeginn. Wie erwartet, verlaufen in diesem Abschnitt die Kurven der prozentualen Energiebedarfsdeckung, berechnet nach GfE (2001) oder SUSENBETH (2018), nahezu deckungsgleich. Anders als bei den von SUSENBETH (2018) betrachteten, mit 625 kg deutlich leichteren Tieren, bewirkten die Vorschläge von SUSENBETH (2018) für die Fleckviehmilchkühe zu Laktationsbeginn weder eine Verschärfung noch eine Entspannung beim kalkulierten Energiesaldo.

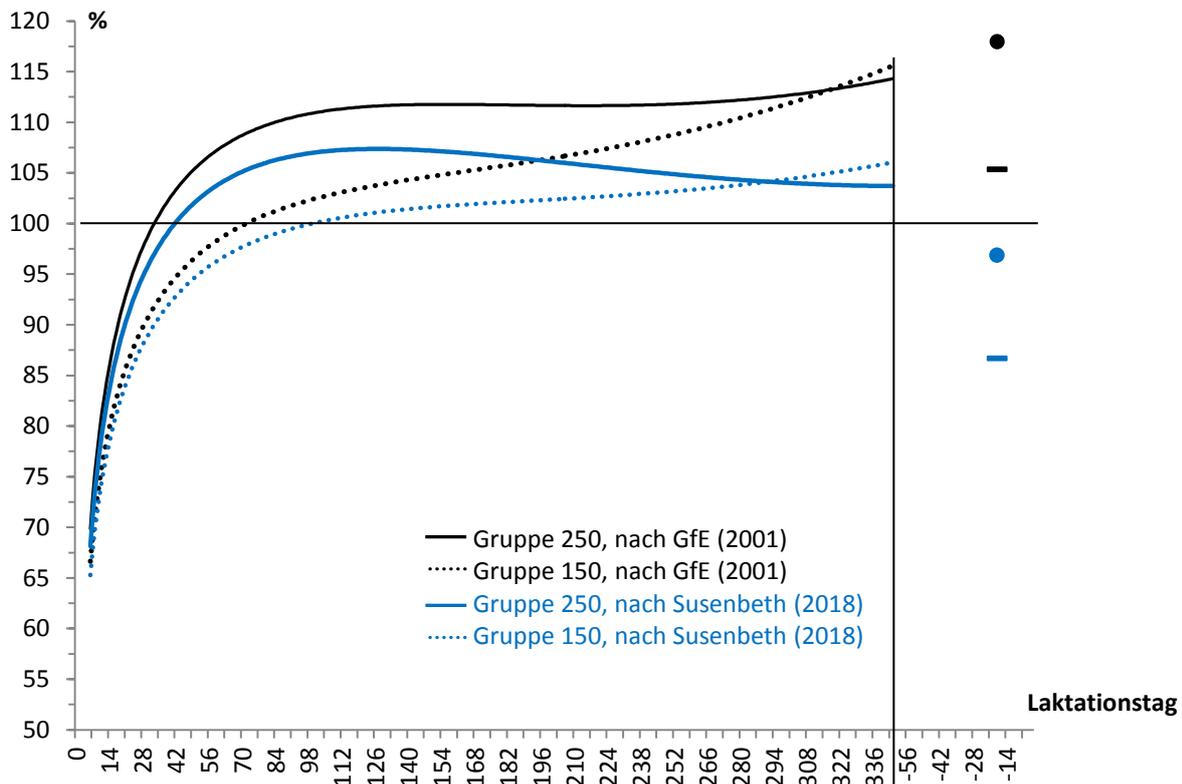


Abbildung 41: Verlauf der prozentualen Energiebedarfsdeckung der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in Laktation und Trockenstehphase; berechnet nach GfE (2001) und SUSENBETH (2018)

Die Differenz im Energiesaldo, die sich zwischen den Empfehlungen auftat, vergrößerte sich mit fortschreitender Laktation und war in der Trockenstehphase am größten. Der Energiebedarf, berechnet nach SUSENBETH (2018), lag für die Fleckviehmilchkühe der beiden Gruppen beständig über dem Energiebedarf, der sich nach GfE (2001) ergab. Im Durchschnitt der

Laktation erreichte dennoch sowohl die Gruppe 250 als auch die Gruppe 150 nach den beiden Empfehlungen einen positiven Energiesaldo. In der Gruppe 250 betrug die durchschnittliche prozentuale Energiebedarfsdeckung nach GfE (2001) in der Laktation 109 % und nach SUSENBETH (2018) 104 %. Für die Gruppe 150 ergab sich in der Laktation nach GfE (2001) eine durchschnittliche prozentuale Energiebedarfsdeckung in Höhe von 104 %, nach SUSENBETH (2018) in Höhe von 100 %. Werden den berechneten, positiven Energiesalden der zweiten Laktationshälfte die Verläufe des BCS und der Lebendmasse vergleichend gegenübergestellt, erscheinen die geringeren Energiesalden, die sich nach SUSENBETH (2018) ergaben, plausibler. In der Gruppe 250 wurde ab dem 240. LTG bis zum Trockenstellen keine weitere Erhöhung des BCS festgestellt (vgl. Abbildung 16). Dies erscheint mit Blick auf die nach GfE (2001) berechneten, positiven Energiesalden von ca. 14 MJ NEL pro Tag wenig plausibel.

Ob die Gruppe 250 mit der in Abbildung 40 gezeigten Futteraufnahme in der Trockenstehphase, wie nach GfE (2001) berechnet, ihren Energiebedarf gerade so decken konnte (105 %, vgl. Abbildung 41) oder, wie nach SUSENBETH (2018) berechnet, eine Bedarfsdeckung deutlich verfehlte (87 %, vgl. Abbildung 41), bleibt bei alleiniger Betrachtung der Futteraufnahme offen.

Der Rückgang der Lebendmasse in der Gruppe 250 vom Zeitpunkt des Trockenstellens (864 kg) bis zur punktuellen Erfassung der Lebendmasse zwei bis drei Wochen vor der Kalbung (851 kg), trotz der hohen Zuwachsrates des Fötus (ELEY *et al.* 1978; BAUMAN und CURRIE 1980) in diesem Trächtigkeitsabschnitt, widerspricht einer bedarfsdeckenden Energieaufnahme. Auch die signifikant höhere ($p \leq 0,1$) BHB-Konzentration im Blutserum in der Gruppe 250, die 14 Tage *a. p.* im Vergleich zur Gruppe 150 gemessen wurde, weist darauf hin. Allerdings blieb eine Reaktion der NEFA-Konzentration im Blut aufgrund der Lipolyse während des negativen Energiesaldos schon vor der Kalbung aus. Mit 178 $\mu\text{mol pro L}$ in der Gruppe 250 und 164 $\mu\text{mol pro L}$ in der Gruppe 150 lag die NEFA-Konzentration im Blutserum 14 Tage *a. p.* in den beiden Gruppen deutlich unter dem von MCART *et al.* (2013) für diesen Laktationsabschnitt vorgeschlagenen Grenzwert (300 $\mu\text{mol pro L}$). Die signifikant höhere ($p \leq 0,1$) IGF-I-Konzentration zwei Wochen vor der Kalbung im Blutplasma der Gruppe 150 steht im Einklang mit dem höheren Energiesaldo in dieser Phase. RONGE *et al.* (1988), ROCHE *et al.* (2005) und GRAUGNARD *et al.* (2013) ermittelten vor der Kalbung einen positiven Zusammenhang zwischen der Energieaufnahme und der IGF-I-Konzentration.

Die kompensatorisch höhere Futteraufnahme der Gruppe 150 in der Trockenstehphase wird insbesondere dann schlüssig, wenn bis zum Ende der Laktation die Körperreserven noch nicht vollständig wieder aufgefüllt waren. Die nach den Vorgaben von SUSENBETH (2018) berech-

nete, prozentuale Energiebedarfsdeckung von gerade 100 % in der Laktation passt auf diese Beschreibung wiederum besser als die nach den Empfehlungen der GfE (2001) berechnete prozentuale Energiebedarfsdeckung (104 %).

Über einen langen Zeitraum betrachtet, strebt der Organismus Milchkuh ein Energiegleichgewicht an und folglich eine konstante Menge an Depotfett (KENNEDY 1953; HARRIS 1990; INGVAARTSEN und ANDERSEN 2000). Der aufsummierte Energiesaldo in der Gesamtschau von Laktation und Trockenstehphase der Gruppe 250 und der Gruppe 150 kann aufgrund der in der Trockenstehphase nicht durchgängigen Erfassung der Lebendmasse nur näherungsweise geschätzt werden. Nach GfE (2001) hatte die Gruppe 250 in Laktation und Trockenstehphase in Summe einen Überschuss von ca. 3 850 MJ NEL pro Tier. Das sind umgerechnet täglich durchschnittlich 1,4 kg TM Futter (bei 7,0 MJ NEL pro kg TM), die pro Tier in der Gruppe 250 nach dieser Kalkulation mehr aufgenommen wurden als für einen ausgeglichenen Energiesaldo benötigt. In der Gruppe 150 betrug dieser Überschuss nach GfE (2001) in Summe ca. 1 950 MJ NEL pro Tier oder umgerechnet täglich 0,7 kg TM Futter. Werden für die Abschätzung die Vorschläge von SUSENBETH (2018) herangezogen, wird das Energiegleichgewicht in den beiden Gruppen besser erreicht. Während in der Gruppe 250 demnach in Summe pro Tier ca. 1 130 MJ NEL oder 0,4 kg TM pro Tag mehr Energie aufgenommen wurden als für einen ausgeglichenen Energiesaldo benötigt, wurde in der Gruppe 150 in Laktation und Trockenstehphase zusammen minimal weniger Energie pro Tier aufgenommen als für einen ausgeglichenen Energiesaldo benötigt (-110 MJ NEL pro Tier oder < 0,1 kg TM pro Tag).

Da sich im Energiesaldo die Ungenauigkeiten bei der Erfassung der Lebendmasse, der Futtermittelaufnahme, der Inhaltsstoffe im Futter bzw. in der Milch sowie bei der Erfassung der Milchleistung aufsummieren, ist die Ausgeglichenheit von Energieaufnahme und Energiebedarf, die sich nach SUSENBETH (2018) bei Betrachtung der zwei Versuchsjahre für die beiden Gruppen ergab, erstaunlich. Insbesondere ab dem zweiten Laktationsdrittel führte die Berechnung des Energiesaldos nach den Vorschlägen von SUSENBETH (2018) zu plausibleren Ergebnissen als die Berechnung nach den Empfehlungen der GfE (2001). Das Bewertungssystem nach GfE (2001) überschätzte den Energiesaldo der Fleckviehmilchkühe in der zweiten Laktationshälfte deutlich, vermutlich weil der leistungsunabhängige Bedarf als zu niedrig angenommen wird. Die Forderung von SUSENBETH (2018) die Empfehlungen zur Energieversorgung von Milchkühen zu überarbeiten, scheint folglich berechtigt.

5.3 Beurteilung der Energieversorgung im ersten Laktationsdrittel mittels Hilfsmerkmal Fettsäurezusammensetzung im Milchfett

Eine lang anhaltende, massive Mobilisation von Energie aus Körperreserven in Kombination mit einem hohen Glucosebedarf für die Milchbildung belastet den Stoffwechsel der hochleistenden Milchkuh zu Laktationsbeginn außerordentlich. Bei erhöhter Ketonkörperbildung findet in der Leber zunehmend Lipogenese statt. Weil die Kapazität des Abtransports von Triacylglycerolen aus der Leber, überwiegend in Form von Very Low Density Lipoprotein, begrenzt ist, lagern sich diese vermehrt in der Leber ab. Hält dieser Zustand an, verschieben sich die Fettansammlungen in der Leber von einem physiologischen hin zu einem pathologischen Zustand mit Ketose und Fettleber (ZAMMIT 1990; VERNON 2005; GROSS *et al.* 2013).

Zwischen Kühen einer Milchviehherde weist die Höhe des Energiedefizits zu Laktationsbeginn, trotz womöglich einheitlichem Milchleistungsniveau, erhebliche Unterschiede auf. Beispielsweise schwankte der tägliche Energiesaldo zwischen Einzeltieren im vorliegenden Versuch am Milchprobetermin 5 Tage *p. p.* zwischen -92,6 und -3,7 MJ NEL und am Milchprobetermin 28 Tage *p. p.* zwischen -64,8 und 29,9 MJ NEL. Folglich ist das Risiko einer Erkrankung oder einer Fruchtbarkeitsstörung innerhalb einer Herde nicht gleichmäßig verteilt. Der Milchviehhalter sollte das Risiko einer Erkrankung tierindividuell einschätzen können, um bestmöglich reagieren zu können. In der Praxis ist es, anders als im hier vorgestellten Versuchsmilchviehstall, nicht möglich den Energiesaldo des Einzeltiers direkt und kontinuierlich in der Laktation zu berechnen. Denn Daten zur individuellen Futteraufnahme liegen nicht vor. Doch selbst die tierindividuelle Berechnung des Energiesaldos hat nur eine begrenzte Aussagekraft bei der Abschätzung des tatsächlichen Energiedefizits. Der Energiesaldo kann zwar prinzipiell, wie im vorliegenden Versuch durchgeführt, für Einzeltiere berechnet werden. Diese Berechnung ist bei genauer Betrachtung aber nicht zulässig. Denn die Faktoren des Energiebedarfs wurden aus dem durchschnittlichen Bedarf einer Milchviehherde hergeleitet. Statt tierindividuelle Energiesalden zu interpretieren, sollte sich die Interpretation deshalb auf den durchschnittlichen Energiesaldo einer Gruppe von Milchkühen beschränken. Andernfalls wird eine Konstanz der Energiebedarfsfaktoren zwischen Einzeltieren suggeriert, die nicht besteht. Der für das Einzeltier berechnete Energiesaldo entspricht folglich nicht der tatsächlichen Energieversorgungssituation dieses Einzeltieres. Weil Alternativen fehlen und nach aktuellem Wissensstand keine tierindividuellen Energiebedarfsfaktoren vorliegen, wurde in vorliegender Arbeit oder bei BECHER (2017) der Energiesaldo dennoch als Goldstandard für die Bewertung der Energieversorgungssituation eines Einzeltieres ausgewählt.

Einen Ausweg könnten Hilfsmerkmale bieten, die in sehr engem Zusammenhang zum Energieversorgungsstatus der Milchkuh stehen. Mehrere Vorschläge zur Bewertung der Energieversorgung einer Milchkuh mittels der Merkmale Körperkondition bzw. Lebendmasse, Blut oder Milch wurden erarbeitet (HEUER *et al.* 2000; COFFEY *et al.* 2002; REIST *et al.* 2002; CLARK *et al.* 2005; FRIGGENS *et al.* 2007; MCPARLAND *et al.* 2011; THORUP *et al.* 2013; BECHER 2017).

Die Milch als Hilfsmerkmal bietet sich in besonderer Weise an, weil für die Beprobung keine tierärztliche Hilfe nötig ist und die Beprobung in die tägliche Melkroutine eingebunden werden kann. VAN HAELST *et al.* (2008) bewerten die Milch als die bessere Quelle für Hilfsmerkmale als das Blut, weil bei dieser Informationsquelle Schwankungen im Tagesverlauf das Ergebnis weniger stark beeinflussen.

REIST *et al.* (2002) leiteten, aufbauend auf den Ergebnissen von HEUER *et al.* (2000), aus den Milchinhaltsstoffen Fett, Eiweiß, Laktose, Harnstoff und Azeton ein Schätzmodell für den Energiesaldo her. In dieses ging neben den Milchinhaltsstoffen der KF-Anteil (zwei Stufen: 50 oder 30 % der TM) und die Laktationswoche als fixer Effekt ein. Ein zweites Modell wurde von REIST *et al.* (2002) bewusst ohne diese Zusatzinfos, allein auf den Milchinhaltsstoffen basierend, erstellt.

CLARK *et al.* (2005) verfolgten ein ähnliches Ziel wie REIST *et al.* (2002) und kamen zum Ergebnis, dass die Konzentration von Azeton in der Milch als alleiniges Hilfsmerkmal zu erstaunlich guten Energiesaldoschätzungen führte.

Auch FRIGGENS *et al.* (2007) setzen auf die herkömmlichen Milchinhaltsstoffe bei der Entwicklung eines Energiesaldo-Schätzmodells. Allerdings ermittelten diese Autoren den beobachteten Energiesaldo nicht wie REIST *et al.* (2002), CLARK *et al.* (2005) oder wie in vorliegender Untersuchung durch Subtraktion des Energiebedarfs von der Energieaufnahme, sondern leiteten diesen aus Veränderungen der Lebendmasse und des BCS ab.

Ausgehend von den herkömmlichen Milchinhaltsstoffen erweiterten MCPARLAND *et al.* (2011) den Variablenpool aus der Milch, um ein Schätzmodell für den Energiesaldo zu erstellen. Sie nutzten Mittlere Infrarotspektren bei der Herleitung des Schätzmodells. MCPARLAND *et al.* (2011) legten nicht offen, welche Merkmale sich hinter den für das Schätzmodell ausgewählten Wellenlängen der Spektren verbargen. Diese Informationslücke macht die Herleitung eines biologischen Zusammenhangs zwischen den Schätzvariablen und dem Energiesaldo unmöglich.

BECHER (2017) entwickelte erstmalig Schätzmodelle für den Energiesaldo aus einer Reihe von FS im Milchfett, deren Konzentration mittels Gaschromatographie ermittelt wurde. Die Schätzmodelle von BECHER (2017) wurden bislang noch an keinem unabhängigen Datensatz validiert.

Mit der vorliegenden Untersuchung wurde diese externe Validierung nachgeholt. Zusätzlich wurde der Versuch unternommen, eine für den vorliegenden Datensatz maximal hohe Schätzgüte des Energiesaldos zu erreichen, basierend auf der FS-Zusammensetzung im Milchfett. Deshalb wurde ein eigens an diesen Datensatz angepasstes Schätzmodell entwickelt. Bevor jedoch die Schätzvariablen sowie die Genauigkeit sowohl der validierten Schätzmodelle als auch des neu entwickelten Schätzmodells diskutiert werden können, erfolgt zunächst eine Abwägung von Störgrößen, die neben der Energieversorgung die FS-Zusammensetzung des Milchfetts in der vorliegenden Untersuchung beeinflusst haben könnten.

5.3.1 Einflussfaktoren auf die Fettsäurezusammensetzung im Milchfett

Die Zusammensetzung des Fetts in der Kuhmilch ist sehr variabel. 95,8 % des Fetts liegen als Triacylglycerole vor (JENSEN 2002). Welche FS in den Triacylglycerolen gebunden sind, ist abhängig von Tierfaktoren und Fütterungsfaktoren. Die FS des Milchfetts entstammen zwei alternativen Quellen. Entweder sie werden bis zu einer Kettenlänge von 16 C-Atomen direkt im Euter *de novo* synthetisiert oder sie werden ab einer Kettenlänge von 16 C-Atomen vorgeformt aus dem Blut ins Milchfett eingebaut (PALMQUIST 2006). Von den über 400 FS, die in der Kuhmilch nachweisbar sind, liegen nur 12 bis 14 FS in einer Konzentration ≥ 1 g pro 100 g FS vor (JENSEN 2002). Diese 12 bis 14 FS weisen eine Kettenlänge von 4 bis 18 C-Atomen auf. In der vorliegenden Arbeit wurden 13 FS ermittelt, die im Durchschnitt über alle 4 Probetermine in einer Konzentration ≥ 1 g pro 100 g FS vorlagen. Die ermittelten Konzentrationen dieser 13 FS lagen innerhalb der Spanne, die in der Literatur beschrieben ist (COLLOMB und BÜHLER 2000; JENSEN 2002; PALMQUIST 2006).

Einfluss des Kraftfutteranteils in der Futtermischung auf die Fettsäurezusammensetzung im Milchfett

Der direkte Einfluss der Rationsgestaltung auf die FS-Zusammensetzung im Milchfett wird im vorliegenden Versuch als gering eingestuft.

Die signifikant ($p \leq 0,1$) höhere Konzentration der Linolsäure (C18:2c9c12) im Milchfett bei Fütterung mit höherem KF-Einsatz kann nach Abgleich mit der Literatur direkt dem Einfluss des Grobfutter-KF-Verhältnisses zugeschrieben werden (BARGO et al. 2006; CHILLIARD et

al. 2007; PATEL et al. 2013). Die Versuchsrationen, die in der ersten Laktationshälfte zum Einsatz kamen und sich lediglich in ihrem KF-Anteil unterschieden (35 versus 22 % in der TM), wiesen bei den punktuellen Untersuchungen eine weitestgehend identische FS-Zusammensetzung auf. Zurückzuführen war diese Beobachtung auf den Maissilage-Anteil in den Rationen, der bezogen auf die Grobfuttertrockenmasse in den beiden Versuchsrationen bei 46 % lag. Aufgrund des höheren Grobfutteranteils in der Ration mit dem geringeren KF-Anteil hatte die Maissilage in dieser Ration jedoch einen höheren Anteil in der Gesamttrockenmasse. Nach KHAN *et al.* (2012) erreicht die alpha-Linolensäure (C18:3c9c12c15) als dominante FS in den Membranlipiden der vegetativen Maispflanze (GLASSER *et al.* 2013: ca. 50 g pro 100 g FS) zum Zeitpunkt der Silomaisernte lediglich eine geringe Konzentration (GLASSER *et al.* 2013: ca. 5 g pro 100 g FS). Hingegen dominiert zur Silomaisernte die Linolsäure des reifen Maiskorns (GLASSER *et al.* 2013: ca. 46 g pro 100 g FS), die auch im Gersten- oder Weizenkorn mit ca. 60 g pro 100 g FS (WELCH 1975) die höchste FS-Konzentration aufweist. Schlussendlich lag deshalb die Linolsäure-Konzentration in der Ration mit 35 % KF-Anteil im vorliegenden Versuch weniger als 1 g pro 100 g FS höher als in der Ration mit 22 % KF-Anteil. Die Linolensäure-Konzentration lag entsprechend rund 1 g pro 100 g FS niedriger. Der Beitrag dieses geringen Unterschieds im Futter zum signifikanten Unterschied der Konzentration der Linolsäure im Milchfett zwischen den beiden Gruppen war wohl von untergeordneter Bedeutung.

Erheblicher könnte sich die höhere Passagerate des KF im Vergleich zur Passagerate des Grobfutters ausgewirkt haben. Diese höhere Passagerate des KF könnte bei den Tieren in der Gruppe 250, in Kombination mit der höheren KF-Aufnahme, dazu geführt haben, dass mehr Linolsäure unverändert in den Darm gelangte und so die Konzentration der Linolsäure im Milchfett erhöhte.

VLAEMINCK *et al.* (2006) sahen einen indirekten Zusammenhang zwischen der Konzentration von UKFS bzw. VKFS im Milchfett und dem Grobfutter-KF-Verhältnis in der Ration. Nach aktuellem Stand der Forschung ist davon auszugehen, dass VKFS und UKFS vor allem von Pansenbakterien *de novo* synthetisiert werden. Anschließend bauen die Pansenbakterien die VKFS und UKFS in ihre Membranlipide ein (FIEVEZ *et al.* 2003; VLAEMINCK *et al.* 2006).

PATEL *et al.* (2013) ermittelten eine sinkende Konzentration von VKFS und UKFS im Milchfett bei höherem KF-Anteil. VLAEMINCK *et al.* (2006) wiesen aber darauf hin, dass die Gruppe der VKFS und UKFS differenzierter zu betrachten ist.

Während die cellulolytischen Bakterien eine hohe Konzentration an *iso* VKFS aufweisen, wurde in amylolytischen Bakterien eine hohe Konzentration an linearen und *aiso* UKFS

nachgewiesen (VLAEMINCK *et al.* 2006; CRANINX *et al.* 2008; FIEVEZ *et al.* 2012). In den Studien, die VLAEMINCK *et al.* (2006) für ihren Literaturüberblick zum Einfluss des Grobfutter-KF-Verhältnisses in der Ration auf die Konzentration der einzelnen VKFS und UKFS zusammenstellten, reduzierte sich insbesondere die Konzentration der FS C14:0i und der FS C15:0i bei einer Erhöhung des KF-Anteils. Die Folgen eines gesteigerten KF-Anteils auf die Konzentration der FS C15:0 und der FS C17:0 im Milchfett präsentierte sich in den von VLAEMINCK *et al.* (2006) gesammelten Studien weniger einheitlich. VLAEMINCK *et al.* (2006) schrieben dem Maissilage-Anteil in der Ration eine dem KF vergleichbare Wirkung auf die Konzentration der VKFS und UKFS im Milchfett zu, welche die Wirkung des KF überlagerte.

Sowohl der ähnliche Effekt der Maissilage und des KF auf die Zusammensetzung der Mikrobiota im Pansen als auch die Heterogenität der Reaktion der einzelnen VKFS und UKFS auf ein sich änderndes Grobfutter-KF-Verhältnis dienen als Erklärungsansatz dafür, warum im vorliegenden Versuch weder ein Einfluss des KF-Anteils auf die Konzentration der VKFS noch auf die Konzentration der UKFS im Milchfett festgestellt wurde.

Aktuell besteht ein großes Forschungsinteresse an der Charakterisierung von spezifischen FS-Zusammensetzungen unterschiedlicher Pansenbakterien, weil diese sich als Indikator eignen könnten, Änderungen in der Zusammensetzung der Mikrobiota im Pansen nachzuweisen (VLAEMINCK *et al.* 2006; FIEVEZ *et al.* 2012).

Erstaunlich sind die hohen Konzentrationen der VKFS und UKFS im Futter, die im vorliegenden Versuch analysiert wurden (ca. 3,0 g pro 100 g FS, vgl. Tabelle 28). Aus der Literatur geht hervor, dass VKFS und UKFS in Pflanzen nur in Spuren enthalten sind (VLAEMINCK *et al.* 2006). DEWHURST *et al.* (2003) ermittelten in Grassilage eine Konzentration der VKFS und UKFS von 1,1 g pro 100 g FS und in KF eine Konzentration von < 1,0 g pro 100 g FS. Eine zufriedenstellende Erklärung, warum die Konzentration der VKFS und UKFS in der Literatur deutlich von den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung abweicht, wurde nicht gefunden. VANHATALO *et al.* (2007) und ALVES *et al.* (2011) wiesen lediglich darauf hin, dass die Aktivität von Mikroorganismen in der Anwelkphase und dem nachfolgenden Siliervorgang bereits zur Hydrierung UFS führen könnte.

Die signifikant ($p \leq 0,1$) höhere Konzentration der FS C15:0 im Milchfett der Tiere, die im vorliegenden Versuch mit einem höheren KF-Anteil in der Ration gefüttert wurden, erfüllt die Erwartungen von VLAEMINCK *et al.* (2006) und BECHER (2017).

Bei der Untersuchung der FS-Zusammensetzung am Probetermin 100 Tage *p. p.* war der Unterschied in der Konzentration der FS C15:0 zwischen der Gruppe 250 und der Gruppe 150

am größten. Dies war der Milchprobetermin im Laktationsverlauf, an dem die höchste tägliche KF-Aufnahme in der Gruppe 250 ermittelt wurde. Zu diesem Termin war somit die deutlichste Verschiebung der KKFS im Pansen in Richtung eines erhöhten Propionat-Anteils zu erwarten. Propionat ist sowohl für die Pansenmikroben als auch für die nur in geringem Umfang stattfindende *de novo* Synthese im Euter der Ausgangsstoff für die Synthese der FS C15:0 (PALMQUIST 2006; VLAEMINCK *et al.* 2006).

Die im vorliegenden Fütterungsversuch beobachteten, direkten und indirekten Einflussfaktoren des Grobfutter-KF-Verhältnisses auf die FS-Zusammensetzung im Milchfett waren von deutlich geringerem Ausmaß als die Beeinflussung, die durch eine sich ändernde Energieversorgung in den ersten 100 LTG provoziert wurde. Eine nennenswerte Beeinflussung der FS-Zusammensetzung im Milchfett durch die Fütterung lag nicht vor, sodass die Herleitung eines Energiesaldo-Schätzmodells aus der FS-Zusammensetzung im Milchfett mit dem vorliegenden Datensatz möglich war.

Einfluss des Laktationsstadiums und der Energieversorgung auf die Fettsäurezusammensetzung im Milchfett

Bereits 1963 stellten LUICK und SMITH bei einer provozierten Mobilisation von Körperreserven durch fünftägiges Hungern von Kühen fest, dass die Konzentrationen der FS mit einer Kettenlänge zwischen 6 und 15 C-Atomen deutlich reduziert waren. Im Gegenzug stiegen die Konzentrationen der LKFS, insbesondere der FS C16:1c, der FS C18:0 und der FS C18:1c9. Dieser Zusammenhang zwischen einem negativen Energiesaldo und Veränderungen der FS-Zusammensetzung wurden seither in zahlreichen Versuchen bestätigt, etwa durch LYNCH *et al.* (1992), STOOP *et al.* (2009), GROSS *et al.* (2011a) oder BECHER (2017). Sowohl die errechneten Korrelationskoeffizienten zwischen den Konzentrationen einzelner FS und dem Energiesaldo als auch der in Tabelle 31 skizzierte Verlauf der Konzentration der einzelnen FS mit fortschreitender Laktation, und dem damit einhergehenden steigenden Energiesaldo, bekräftigen diese Literaturergebnisse.

In Folge einer erhöhten Konzentration von NEFA im Blut, als Produkte der Lipolyse im Körperfettgewebe bei Energiemangel, werden diese vorgeformten FS vom Euter verstärkt aufgenommen und ins Milchfett eingebaut.

Die gesteigerte Aufnahme der LKFS aus dem Blut, vornehmlich sind das die FS C16:0, die FS C18:0 und die FS C18:1c9 (HOSTENS *et al.* 2012), hemmt die *de novo* Synthese der KKFS und MKFS im Euter. Die *de novo* Synthese stellt einen alternativen Entstehungspfad der FS

im Milchfett dar. Außerdem verdünnt der verstärkte Einbau LKFS ins Milchfett in Zeiten hoher Körperfettmobilisation die Konzentration der KKFS und MKFS (LYNCH *et al.* 1992; PALMQUIST *et al.* 1993; CRANINX *et al.* 2008; STOOP *et al.* 2009; GROSS *et al.* 2011a; BECHER 2017; NICHOLS *et al.* 2019).

Die FS mit einer Kettenlänge von 16 C-Atomen werden sowohl im Euter *de novo* synthetisiert als auch bereits als FS C16:0, Produkt der Lipolyse von Körperfett oder der Verdauung, aus dem Blut aufgenommen und ins Milchfett eingebaut (PALMQUIST 2006). Die unterschiedlichen Quellen der FS C16:0 führen in der Literatur zu gegensätzlichen Aussagen hinsichtlich der Reaktion der Konzentration der FS C16:0 auf eine veränderte Energieversorgung.

Bei GROSS *et al.* (2011a), BECHER (2017) und im vorliegenden Versuch stieg die Konzentration der FS C16:0 bei einem höheren Energiesaldo. Das spricht dafür, dass die FS C16:0 im Milchfett in den genannten Studien überwiegend aus der *de novo* Synthese im Euter gewonnen wurde.

Hingegen ergaben die Untersuchungen von LUICK und SMITH (1963) oder STOOP *et al.* (2009) eine sinkende Konzentration der FS C16:0 bei höherem Energiesaldo. In diesen Studien scheint die FS C16:0 überwiegend vorgeformt ins Milchfett eingebaut worden zu sein.

Die Konzentration der Buttersäure (FS C04:0), der kurzkettigsten aller FS im Milchfett, reagierte im vorliegenden Versuch auf einen negativen Energiesaldo konträr zur Konzentration aller anderen KKFS: Die Konzentration der FS C04:0 im Milchfett stieg. Passend hierzu sank die Konzentration der FS C04:0 mit fortschreitender Laktation. Bei NOGALSKI *et al.* (2012) hingegen stieg die Konzentration der FS C04:0 mit fortschreitender Laktation.

Für die *de novo* Synthese der KKFS und MKFS im Euter dient Acetat sowohl als C-Quelle als auch als Reduktionsmittel. Butyrat dient hingegen ausschließlich als C-Quelle und stammt als BHB entweder vorgeformt aus dem Panseneptihel und der Leber (KRISTENSEN 2005; SEYMOUR *et al.* 2005) oder es entsteht im Euter in einer Umkehrreaktion der β -Oxidation (PALMQUIST *et al.* 1993; PALMQUIST 2006). Anders als die *de novo* Synthese der sonstigen KKFS und MKFS ist die Entstehung der FS C04:0 nicht abhängig von der Aktivität des Enzyms Acetyl-CoA-Carboxylase. Da eine erhöhte Konzentration LKFS im Euter, sei es in Folge einer ausgeprägten Mobilisation von Körperfett oder sei es in Folge eines Einsatzes von geschützten Fetten in der Ration, hemmend auf die Aktivität der Acetyl-CoA-Carboxylase wirkt (PALMQUIST *et al.* 1993; CHILLIARD *et al.* 2000b), war die konträre Reaktion der Konzentration der FS C04:0 erwartet worden.

Im vorliegenden Versuch stieg der Korrelationskoeffizient zwischen dem Energiesaldo und der FS-Konzentration im Milchfett von der FS C06:0 bis zur FS C12:0, mit zunehmender Kettenlänge. Für die FS C06:0 und die FS C08:0 wird neben Acetat als primärer Baustein alternativ Butyrat genutzt. Diese Alternative C-Quelle schwächt den Einfluss des Energiesaldos auf die Konzentration der FS C06:0 und der FS C08:0 (CHILLIARD *et al.* 2000b).

Zusätzlich wird in jeder Stufe der Kettenverlängerung eine Malonyl-Coenzym A-Einheit benötigt, deren Angebot aufgrund der Acetyl-CoA-Carboxylase-Hemmung begrenzt ist (PALMQUIST *et al.* 1993; STOOP *et al.* 2009). Dass die Konzentration der FS C12:0 am stärksten abnimmt, wenn Körperfett mobilisiert wird, bestätigten LUICK und SMITH (1963), LYNCH *et al.* (1992) und PALMQUIST *et al.* (1993).

5.3.2 Schätzung des Energiesaldos im ersten Laktationsdrittel aus der Fettsäurezusammensetzung im Milchfett

Aufgrund der geringen Unterschiede, die sich bei der Berechnung des Energiesaldos nach GfE (2001) oder SUSENBETH (2018) für das erste Laktationsdrittel der Fleckviehmilchkühe ergaben, scheint die Einschränkung gerechtfertigt, dass im vorliegenden Versuch die Berechnung des Energiesaldos, als Basis für dessen nachfolgende Schätzung, auf die Empfehlungen der GfE (2001) beschränkt wurde.

Der vorliegende Datensatz eignete sich für die Validierung der Schätzmodelle von BECHER (2017) und für die Herleitung eines Schätzmodells aus der FS-Zusammensetzung im Milchfett, weil aufgrund der unterschiedlichen KF-Fütterung im ersten Laktationsdrittel eine weite Spanne des Energiesaldos (-100 bis +70 MJ NEL pro Tag) verursacht wurde. BECHER (2017) wies wegen deutlich unterschiedlich hoher Korrelationskoeffizienten für die Konzentrationen einzelner FS bei negativem oder positivem Energiesaldo darauf hin, dass es zur Verbesserung der Schätzgüte hilfreich sein könnte, separate Schätzmodelle für positive oder negative Salden aufzustellen. Diese Aussage bekräftigt den Entschluss, die Beprobung der FS-Zusammensetzung im Milchfett 200 Tage *p. p.* für die Validierung und die Herleitung unberücksichtigt zu lassen.

Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Konzentration einzelner FS bzw. zwischen der Konzentration einzelner FS-Gruppen und dem Energiesaldo (vgl. Tabelle 36) lagen im vorliegenden Versuch höher als bei BECHER (2017). Während bei BECHER (2017) der maximale Korrelationskoeffizient zwischen der Konzentration einer einzelnen FS und dem Energiesaldo +/-0,62 betrug (FS C14:0; FS C18:1c9), lag dieser in vorliegender Untersuchung bei

0,73 (FS C12:0). Das war zu erwarten, weil die Daten des vorliegenden Versuchs in einem Betrieb, unter relativ konstanten Haltungs- und Fütterungsbedingungen gewonnen wurden. BECHER (2017) hingegen beprobte stichprobenartig einzelne Tiere aus unterschiedlichen Versuchsbetrieben.

GROSS *et al.* (2011a) nennen in ihrer Veröffentlichung über den Zusammenhang zwischen der FS-Zusammensetzung und dem Energiesaldo von Holstein Friesian Milchkühen lediglich einen Korrelationskoeffizienten, für die FS C18:1c9 ($r = -0,77$). Der festgestellte Zusammenhang war bei GROSS *et al.* (2011a) aufgrund der wöchentlichen Probenahme noch einmal enger als im vorliegenden Versuch.

Beim Abgleich der Vorzeichen (positiv oder negativ) der Korrelationskoeffizienten aus dem vorliegenden Versuch mit dem Ergebnis von BECHER (2017) stimmte das Vorzeichen bis auf eine Ausnahme (FS C16:0i) überein. GROSS *et al.* (2011a) ermittelten, wie im vorliegenden Versuch, einen negativen Korrelationskoeffizienten zwischen dem Energiesaldo und der Konzentration der FS C16:0i im Milchfett.

Validierung der Energiesaldo-Schätzmodelle von BECHER (2017)

Die Eignung der von BECHER (2017) entwickelten Modelle zur Schätzung des Energiesaldos aus der FS-Zusammensetzung im Milchfett bestätigte sich bei der Validierung am vorliegenden, unabhängigen Datensatz nicht. Die Schätzgüte der Modelle ENET bzw. ADA-ENET verschlechterte sich deutlich, wie Tabelle 42 zeigt, verglichen mit der internen Validierung bei BECHER (2017).

Tabelle 42: Vergleich der von BECHER (2017) ($n = 248$) ermittelten Güte ihrer Modelle zur Schätzung des Energiesaldos mit der Güte, die sich bei der Validierung am vorliegenden, unabhängigen Datensatz ($n = 202$) ergab

Modell	Kriterium			
	r ¹⁾	R^2 ²⁾	R^2_{adj} ³⁾	RSD ⁴⁾
	BECHER (2017)			
PRE	0,81	0,65	0,65	15,68
ENET	0,84	0,70	0,69	14,58
ADA-ENET	0,83	0,69	0,68	14,77
	Validierung am vorliegenden Datensatz			
PRE	0,78	0,61	0,60	16,61
ENET	0,68	0,46	0,44	26,60
ADA-ENET	0,70	0,49	0,47	19,55

¹⁾ Pearson-Korrelationskoeffizient; ²⁾ Bestimmtheitsmaß; ³⁾ adjustiertes Bestimmtheitsmaß;

⁴⁾ Standardschätzfehler, MJ NEL pro Tag

BECHER (2017) warnte davor, dass Labor- und Versuchseffekte bei FS von geringer Konzentration im Milchfett verzerrend wirken könnten. Neben der geringen Konzentration der FS C15:0i und der FS \sum C18:1c15, C19:0 könnte eine unterschiedliche Trennungsschärfe der Gaschromatographen in den beiden Untersuchungen zur verringerten Schätzgüte der Modelle ENET bzw. ADA-ENET beigetragen haben. Die gaschromatographische Analyse im vorliegenden Versuch ermöglichte keine Trennung der FS C18:1c15 und der FS C19:0. Bei BECHER (2017) wurde die Konzentration der FS C19:0 hingegen separat ausgewiesen.

Anders als bei BECHER (2017) überzeugte das Modell PRE, das auf physiologischen Zusammenhängen ohne Durchführung einer Variablenselektion basiert, bei der Validierung am vorliegenden, unabhängigen Datensatz. Die Schätzgüte des Modells PRE verschlechterte sich nur geringfügig (vgl. Tabelle 42).

Aus dieser Beobachtung kann gefolgert werden, dass den Merkmalen im Modell PRE kein maßgeblicher Laboreffekt anhaftet. Diese Schlussfolgerung erscheint plausibel, weil das Modell PRE keine einzelne FS als Merkmal enthält, sondern lediglich Verhältnisse aufsummierter FS-Konzentrationen. Das Modell PRE ist somit am robustesten für die Anwendung in einem unabhängigen Datensatz.

Erstellen eines neuen Energiesaldo-Schätzmodells

Neben ausgewählten Merkmalen der FS-Zusammensetzung im Milchfett, auf die erst in einem nachfolgendem Abschnitt eingegangen wird, setzte sich das am vorliegenden Datensatz entwickelte Energiesaldo-Schätzmodell (Modell ENET_FS) aus den beiden Merkmalen Milchfettgehalt und Milchleistung am Tage der Probenahme zusammen (vgl. Tabelle 38).

Der Milchfettgehalt korrelierte, wie erwartet, negativ mit dem Energiesaldo ($r = -0,46$) und hatte im Modell ENET_FS ein negatives Vorzeichen.

Ein geringer KF-Anteil in der Ration verringert den Energiesaldo und fördert folglich die Mobilisation von Körperfett im ersten Laktationsdrittel. Ein geringer KF-Anteil in der Ration erhöht außerdem im Pansen das Verhältnis von Acetat zu Propionat. Beide Effekte erhöhen wiederum den Milchfettgehalt (SUTTON 1988; BAUMAN und GRINARI 2001; ZEBELI *et al.* 2008). Der Zusammenhang zwischen dem KF-Anteil in der Ration und dem Milchfettgehalt wurde in den Kapiteln 2.2.3 und 5.2 bereits ausführlich beschrieben.

Außerdem findet der Milchfettgehalt direkte Berücksichtigung bei der Berechnung des Energiesaldos, weil der Energiegehalt der Milch und somit der Leistungsbedarf an Energie mit steigendem Milchfettgehalt zunimmt (vgl. Formeln im Kapitel 3.5.3).

Da die Milchleistung selbst den Energiesaldo maßgeblich beeinflusst, war die Aufnahme dieses Merkmals in das Energiesaldo-Schätzmodell erwartet worden. Auch bei BECHER (2017) fand dieses Merkmal Einzug in sämtliche Schätzmodelle.

Eine steigende Milchleistung erhöht den Leistungsbedarf an Energie und mindert deshalb den Energiesaldo. Allerdings erwies sich die negative Korrelation zwischen der Milchleistung am Tag der Milchprobenahme und dem Energiesaldo, der durchschnittlich pro Tag in dieser Kalenderwoche ermittelt wurde, als gering ($r = -0,24$).

Die Herkunft der LKFS im Milchfett aus dem Körperfett gewinnt bei einem negativen Energiesaldo an entscheidender Bedeutung (BAUMAN und GRINARI 2001). Wie bereits beschrieben, gehört die FS C18:0 bei einem negativen Energiesaldo zu den drei LKFS mit der höchsten Konzentration im Blut. Sie wird folglich verstärkt ins Euter aufgenommen (HOSTENS *et al.* 2012).

Viszerales Fett wird zu Laktationsbeginn in Folge eines negativen Energiesaldos bevorzugt mobilisiert (KENÉZ *et al.* 2015). Bei Holstein Friesian Milchkühen mit linksseitiger Labmagenverlagerung konstatierten HOSTENS *et al.* (2012) eine größere Übereinstimmung der FS-Zusammensetzung der NEFA im Blut mit der FS-Zusammensetzung des viszeralen Fetts als mit der FS-Zusammensetzung des subkutanen Fetts. Sowohl die NEFA als auch das viszerale Fett zeichneten sich durch eine höhere Konzentration der FS C18:0 aus (20 bis 26 %) als das subkutane Fett (11 %).

Etwa 52 bis 54 % der aus dem Blut aufgenommenen FS C18:0 wird durch das Enzym Stearoyl-CoA-Desaturase im Euter in Ölsäure (FS Σ C18:1c9-13) umgewandelt. Der Zusammenhang zwischen der Aufnahme der FS C18:0 ins Euter und der Abgabe von Ölsäure mit dem Milchfett wird als linear beschrieben (ENJALBERT *et al.* 1998; GLASSER *et al.* 2007). Aufgrund einer gesteigerten Körperfettmobilisation bei einem negativen Energiesaldo erhöht sich die Konzentration der FS C18:0 im Blut und somit steigt sowohl die Konzentration der Ölsäure als auch die Konzentration der FS C18:0 im Milchfett. Eine erhöhte Konzentration der FS C18:0 im Milchfett bei einem negativen Energiesaldo bestätigten LUICK und SMITH (1963), STOOP *et al.* (2009) und GROSS *et al.* (2011a).

Der negative Korrelationskoeffizient zwischen der Konzentration der FS C18:0 im Milchfett und dem Energiesaldo spiegelt diesen Zusammenhang in der vorliegenden Arbeit wider. Auch die im ersten Laktationsdrittel signifikant höhere ($p \leq 0,1$) Konzentration der FS C18:0 im Milchfett jener Tiere, denen im vorliegenden Versuch weniger KF gefüttert wurde, bekräftigt diesen Zusammenhang. Die Konzentration der FS C18:0 im Milchfett kristallisierte sich so-

mit, in Kombination mit den anderen Merkmalen im Modell ENET_FS, als ein wesentliches Hilfsmerkmal heraus, um den Energiesaldo einer Milchkuh schätzen zu können.

Die Konzentration der Ölsäure im Milchfett war im Energiesaldo-Schätzmodell ENET_FS (vgl. Tabelle 38), abweichend zu den Modellen von BECHER (2017), nicht selbst als Merkmal enthalten, sondern nur im Verhältnis zur Konzentration der FS mit einer Kettenlänge von 15 C-Atomen (OA/C15).

VAN HAELST *et al.* (2008) schlossen aus ihrer Untersuchung, dass eine erhöhte Ölsäure-Konzentration im Milchfett zu Laktationsbeginn eine subklinische Ketose vorzeitig ankündigt. Eine subklinische Ketose wurde hier mittels der BHB-Konzentration im Blut diagnostiziert. GROSS *et al.* (2011a) und BECHER (2017) ermittelten die höchste Korrelation zwischen einer FS-Konzentration im Milchfett und dem Energiesaldo für die Ölsäure. JORJONG *et al.* (2015) und MANN *et al.* (2016) beschrieben die Ölsäure als Indikator-FS für eine erhöhte NEFA-Konzentration im Blut und somit als Indikator-FS für die Körperfettmobilisation. Diese Hinweise aus der Literatur unterstreichen alle, dass die Ölsäure-Konzentration im Milchfett ein guter Indikator für einen stark negativen Energiesaldo einer Milchkuh ist.

JORJONG *et al.* (2015) stellten die Hypothese auf, dass die Ölsäure-Konzentration in Relation zur Konzentration der FS mit einer Kettenlänge von 15 C-Atomen einen zusätzlichen Informationsgewinn für die Einschätzung des Energiesaldos ergeben könnte. Denn dieses Verhältnis spiegelt die zwei großen Stoffwechsel-Herausforderungen einer Milchkuh zu Laktationsbeginn gemeinsam wider. Die zwei Herausforderungen sind die Mobilisation von Energie aus Körperreserven und der hohe Glucosebedarf für die Milchbildung. Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem KF-Anteil in der Ration, der Glucose-Versorgung und der Konzentration der FS C15:0 im Milchfett.

Bei JORJONG *et al.* (2015), DÓREA *et al.* (2017) und im vorliegenden Versuch bestätigte sich der zusätzliche Informationsgewinn, den das Verhältnis zwischen der Ölsäure-Konzentration und der Konzentration der FS mit einer Kettenlänge von 15 C-Atomen im Milchfett liefert. Hingegen konnten MANN *et al.* (2016) die Treffsicherheit der Erkennung von Milchkühen mit erhöhten NEFA- und BHB-Konzentrationen im Blut durch die Verwendung dieses Verhältnisses, gegenüber der separaten Nutzung der Ölsäure-Konzentration und der Konzentration der FS C15:0, nicht verbessern.

Ein physiologischer Zusammenhang zwischen der FS-Konzentration der FS \sum C18:1c14, t16, als ein weiterer Bestandteil des Modells ENET_FS, und dem Energiesaldo wurde in der Literatur nicht gefunden. Die Aktivität des Enzyms Stearoyl-CoA-Desaturase beschränkt sich auf

die Reduktion der Einfachbindung an der Position 9 zu einer Doppelbindung mit cis-Konfiguration. Das schließt die Entstehung der FS C18:1c14 im Euter aus. Im Futterfett wurden die beiden FS C18:1c14 und FS C18:1t16 nicht nachgewiesen (vgl. Tabelle 28). Folglich sind diese beiden FS Verdauungsprodukte. Sie werden von den Pansenbakterien durch unvollständige Hydrierung von MUFS aus den Futterfetten gebildet (BAUMAN und GRINARI 2001; CHILLIARD *et al.* 2007; BECHER 2017).

Die Hauptprodukte der Hydrierung der dominierenden FS im Futterfett (Linolsäure und alpha-Linolensäure) sind die FS C18:1t11 und die vollständig hydrierte Stearinsäure (FS C18:0). Bislang wurden ca. 15 weitere C18-Isomere als Zwischen- oder Nebenprodukte der Hydrierung im Pansen identifiziert (CHILLIARD *et al.* 2007). Nach der Absorption im Dünndarm stehen diese C18-Isomere über den Bluttransport dem Euter für den Einbau ins Milchfett zur Verfügung. In der Literatur wird der FS C18:1c14 und der FS C18:1t16 nur eine untergeordnete Bedeutung an den C18-Isomeren zugeschrieben (CHILLIARD *et al.* 2007).

Die aufsummierte Konzentration der FS \sum C18:1c14, t16 im Milchfett korrelierte nicht signifikant ($p > 0,05$) mit dem Energiesaldo im vorliegenden Versuch. BECHER (2017) konnte in der gaschromatographischen Analyse die FS C18:1c13, die FS C18:1c14 und die FS C18:1t16 nicht voneinander trennen. Die aufsummierte Konzentration dieser drei FS korrelierte bei ihr signifikant mit dem Energiesaldo. Der Korrelationskoeffizient war negativ ($r = -0,40$). Dieses Ergebnis widerspricht dem positiven Vorzeichen des Koeffizienten der FS \sum C18:1c14, t16 im vorliegenden Schätzmodell ENET_FS. Eventuell werden durch die Aufsummierung der Konzentrationen dieser, in geringer Konzentration im Milchfett vorkommenden, FS Effekte nivelliert. Zusätzlich ist ein maßgeblicher Einfluss des Labors auf das Analyseergebnis dieser FS zu erwarten.

Aufgrund des fehlenden physiologischen Hintergrunds wurde überprüft, wie stark die Genauigkeit der Energiesaldo-Schätzung abnimmt, wenn das Merkmal FS \sum C18:1c14, t16 aus dem Modell ENET_FS genommen wird. Das R^2_{adj} des reduzierten Modells sank minimal auf 0,73 ab und der RSD vergrößerte sich um ca. 0,2 auf 13,2 MJ NEL. Folglich scheint das Weglassen dieses Merkmals eine gangbare Option, um die genannten Schwierigkeiten zu umgehen.

Dass die Konzentration der FS C12:0, im Vergleich zu den anderen *de novo* synthetisierten FS, am stärksten abnimmt, wenn Körperfett mobilisiert wird (LUICK und SMITH 1963; LYNCH *et al.* 1992; PALMQUIST *et al.* 1993), wurde bereits im Kapitel 5.3.1 erläutert und dient als Erklärung für die Aufnahme dieses Merkmals in das Schätzmodell ENET_FS

Das Verhältnis n-6/n-3 war in allen Energiesaldo-Schätzmodellen bei BECHER (2017) enthalten und war auch Bestandteil des in vorliegender Arbeit entwickelten Schätzmodells ENET_FS. Das Verhältnis n-6/n-3 spiegelt im Wesentlichen das Verhältnis der Konzentration der Linolsäure zur Konzentration der alpha-Linolensäure im Milchfett wider.

Die im vorliegenden Versuch beobachtete, signifikante ($p \leq 0,1$) Reduktion der Linolsäure-Konzentration im Milchfett bei reduzierter KF-Fütterung wurde im Kapitel 5.3.1 bereits diskutiert und in die Literatur eingebettet. Eine geringere Linolsäure-Konzentration im Milchfett hat ein geringeres n-6/n-3-Verhältnis zur Folge. Das Verhältnis n-6/n-3 korrelierte schwach, aber signifikant ($p \leq 0,05$) mit dem Energiesaldo. Der Korrelationskoeffizient hatte ein positives Vorzeichen ($r = 0,21$). Das Verhältnis n-6/n-3 in den Energiesaldo-Schätzmodellen zeigt folglich auf, dass eine reduzierte KF-Fütterung im ersten Laktationsdrittel einen stärker negativen Energiesaldo zur Folge hat. Der Zusammenhang zwischen dem KF-Einsatz und dem Energiesaldo wurde in der vorliegenden Arbeit bereits ausführlich thematisiert. Abweichend zu BECHER (2017) kann aus der vorliegenden Arbeit gefolgert werden, dass nicht die alpha-Linolensäure, sondern die Linolsäure entscheidender zur Eignung des Verhältnisses n-6/n-3 im Schätzmodell beitrug.

Das Verhältnis der Konzentration der FS mit 15 C-Atomen zur Konzentration der FS mit 17 C-Atomen (C15/C17) im Milchfett, das letzte Merkmal im hergeleiteten Modell ENET_FS, wird nachfolgend diskutiert. Das Verhältnis C15/C17 zeigte eine hohe Korrelation mit dem Energiesaldo. Das Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten war positiv ($r = 0,71$; bei BECHER 2017 $r = 0,61$).

JORJONG *et al.* (2015) und DÓREA *et al.* (2017) zogen dieses Verhältnis als potentiell Merkmal zur Identifikation von Kühen mit erhöhter Ketonkörper-Konzentration im Blut in Erwägung. Als Hauptort der Bildung der UKFS C15:0 und der UKFS C17:0, die den höchsten Einfluss auf das Verhältnis C15/C17 haben, wurde bereits in einem vorhergehenden Abschnitt der Pansen identifiziert. Die beiden UKFS werden vor allem von amylolytischen Pansenbakterien *de novo* synthetisiert und dann in deren Membranlipide eingebaut (FIEVEZ *et al.* 2003; VLAEMINCK *et al.* 2006). Die UKFS mikrobiellen Ursprungs werden, wie alle anderen FS auch, im Dünndarm absorbiert und dann in den unterschiedlichsten Formen zunächst über die Lymphe und dann über das Blut zum Fettgewebe oder zum Euter transportiert (FIEVEZ *et al.* 2003).

Trotz des gleichen Entstehungspfad dieser beiden FS entwickelten sich die Konzentrationen dieser beiden FS im Milchfett mit fortschreitender Laktation im vorliegenden Versuch gegensätzlich. Wie in Tabelle 31 dargestellt, folgte der Verlauf der Konzentration der FS C15:0 im

Milchfett mit fortschreitender Laktation dem Verlauf der Konzentration der MKFS. Die Konzentration stieg an. Zu diesem Ergebnis kamen auch CRANINX *et al.* (2008) und GROSS *et al.* (2011a). Sowohl bei CRANINX *et al.* (2008) als auch bei GROSS *et al.* (2011a), als auch in der vorliegenden Untersuchung, sank hingegen die Konzentration der FS C17:0 im Milchfett im Laufe der Laktation, analog zur Konzentration der LKFS. Aus ihrer Beobachtung folgerten CRANINX *et al.* (2008), dass die im Dünndarm absorbierte FS C17:0, anders als die FS C15:0, bei anaboler Stoffwechsellage bevorzugt in die Fettdepots des Körpers eingebaut wird. Die gesteigerte Lipolyserate in den Fettdepots des Körpers zu Laktationsbeginn setzt die gespeicherte FS C17:0 wieder frei. Die FS C17:0 liegt in Folge in erhöhter Konzentration im Blut vor und wird im Euter verstärkt ins Milchfett eingebaut (CRANINX *et al.* 2008; FIEVEZ *et al.* 2012; BECHER 2017; DÓREA *et al.* 2017).

Das in der Literatur beschriebene kleinere C15/C17-Verhältnis im Körperfett von Rindern (1:2 bis 1:3 nach RAES *et al.* 2004) als im Milchfett (ca. 2:1; in vorliegender Untersuchung 1,6:1, vgl. Tabelle A5 im Anhang) stützt diese These. Dem widerspricht die nicht signifikante Korrelation ($p > 0,05$) zwischen der Konzentration der FS C17:0 im Milchfett und dem Energiesaldo, die sich sowohl im vorliegenden Versuch als auch bei BECHER (2017) herausstellte. Deutlich höher präsentierte sich in den beiden Untersuchungen die Korrelation des Energiesaldos mit der Konzentration der FS C15:0 im Milchfett ($r = 0,67$; bei BECHER 2017 $r = 0,51$). Folglich scheint der Beitrag der *de novo* Synthese im Euter zur Konzentration der FS C15:0 im Milchfett größer zu sein als der Beitrag zur Konzentration der FS C17:0 (CABRITA *et al.* 2007). Aufgrund der Hemmung der *de novo* Synthese durch eine erhöhte Aufnahme von LKFS ins Euter sinkt die Konzentration der FS C15:0 im Milchfett während eines negativen Energiesaldos, etwa zu Laktationsbeginn.

Abschließend erfolgt eine Einordnung der Schätzgüte des hergeleiteten Modells ENET_FS. Im einleitenden Abschnitt des Kapitels 5.3 wurde bereits auf Studien verwiesen, die, wie vorliegende Untersuchung, auf die Herleitung eines Schätzmodells für den kuhindividuellen, punktuellen Energiesaldo aus Merkmalen der Milch abzielten (HEUER *et al.* 2000; REIST *et al.* 2002; CLARK *et al.* 2005; FRIGGENS *et al.* 2007; MCPARLAND *et al.* 2011; BECHER 2017).

Der mit dem Modell ENET_FS durch Kreuzvalidierung ermittelte Standardschätzfehler in Höhe von 13,1 MJ NEL pro Tag lag im Vergleich mit den Standardschätzfehlern der Schätzmodelle in den genannten Studien an zweitbesten Stelle. Den geringsten Standardschätzfehler (9,3 MJ NEL pro Tag) ermittelten HEUER *et al.* (2000). Ihr Schätzmodell beinhaltet die Laktationswoche. Die Information zum Milchprobetermin wurde bei der Herleitung des Modell ENET_FS bewusst ignoriert, um ein für das erste Laktationsdrittel allgemein gültiges Modell

präsentieren zu können. Der höchste Standardschätzfehler ergab sich mit 21,1 MJ NEL pro Tag bei MCPARLAND *et al.* (2011). MCPARLAND *et al.* (2011) beabsichtigten ein Modell herzuleiten, das primär zur Abschätzung des Energiesaldos im Herdenmittel geeignet ist. Das erklärt, warum mit dem Fokus auf das Einzeltier der Schätzfehler so hoch ausfiel. CLARK *et al.* (2005) machten keine Angaben zum Standardschätzfehler, sodass ein Vergleich dieses Gütekriteriums nicht möglich war.

BECHER (2017) wies darauf hin, dass der ermittelte Standardschätzfehler, in vorliegender Untersuchung 13,1 MJ NEL pro Tag, die Schlussfolgerung erlaubt, dass mit dem Schätzmodell ENET_FS nur Energiesalden im ersten Laktationsdrittel größer 13,1 MJ NEL mit großer Sicherheit ein richtig negatives Ergebnis liefern und nur Energiesalden im ersten Laktationsdrittel kleiner -13,1 MJ NEL mit großer Sicherheit ein richtig positives Ergebnis liefern.

Mit dem vorliegenden Modell ENET_FS wurde ein höheres Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,75$) erreicht als in allen genannten Studien. Die Vergleichsmodelle erreichten ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,25$ (HEUER *et al.* 2000) bis $R^2 = 0,74$ (BECHER 2017).

Zusammenfassend, reiht sich die Güte des Schätzmodells ENET_FS gut in die Vergleichsliteratur ein. Aus wissenschaftlicher Sicht kann diese Schätzgenauigkeit durchaus als unzureichend und verbesserungswürdig eingeordnet werden. Das Modell ENET_FS erscheint jedoch geeignet, um einen bedenklichen, stark negativen Energiesaldo zu Laktationsbeginn zeitnah erkennen zu können. Das ermöglicht dem Landwirt in diesen Fällen ein rasches Gegensteuern. Ein schwach negativer Energiesaldo von -10 bis -15 MJ NEL, das entspricht in etwa dem Standardschätzfehler, kann zu Laktationsbeginn für einen begrenzten Zeitraum toleriert werden (BECHER 2017). Bis auf die aufsummierte Konzentration der FS $\sum C_{18:1c14, t16}$ konnte für alle Merkmale im Modell ENET_FS eine physiologischer Zusammenhang mit dem Energiesaldo hergeleitet werden. Die Option dieses Merkmal aus dem Modell auszuschließen, wurde aufgezeigt.

5.4 Schlussfolgerungen

Die Reduktion des KF-Einsatzes von 250 auf 150 g KF pro kg ECM für die Dauer von zwei Jahren, kombiniert mit einem Grobfutter hoher Energiekonzentration (6,6 MJ NEL pro kg TM), steigerte die durchschnittliche tägliche Grobfutteraufnahme der Fleckviehmilchkühe deutlicher als aufgrund der Literatur erwartet. Dies bedeutete zugleich eine überdurchschnittlich hohe GF-Verdrängung. Ursachen hierfür waren ein hohes Futteraufnahmeniveau, eine geringe NDF-Konzentration im Grobfutter und eine hohe NFC-Konzentration im KF.

Die Hypothese, dass durch die geringere KF-Zuteilung die Milchleistung sinken werde, bestätigte sich nicht. Die Fleckviehmilchkühe, die mit 250 oder 150 g KF pro kg ECM gefüttert wurden, gaben gleich viel Milch.

Der unterschiedliche KF-Einsatz beeinflusste die Produktionsmerkmale und den Energiesaldo im Verlauf der Laktation.

Die mit reduziertem KF-Einsatz (150 g KF pro kg ECM) gefütterten Fleckviehmilchkühe hatten zu Laktationsbeginn, trotz der Vorlage eines Grobfutters mit hoher Energiekonzentration, im Mittel bis zum 72. LTG einen negativen Energiesaldo. Dies spiegelte sich in einer höheren Konzentration an LKFS im Milchfett, insbesondere in einer höheren Konzentration der FS C18:0, wider. Das Ausmaß, mit dem die Tiere Körperreserven mobilisierten, war nicht gesundheitsbedenklich. Die Wahrscheinlichkeit zu erkranken wurde durch die Höhe des KF-Einsatzes nicht beeinflusst.

Die höhere KF-Aufnahme der mit 250 g KF pro kg ECM gefütterten Tiere erhöhte das Substratangebot für die Gluconeogenese. Daraus leitete sich zu Laktationsbeginn eine bessere Glucose-Versorgung und eine rasch steigende Insulin-Konzentration im Blut ab, die den Wiederaufbau von Körperreserven zu Lasten der Milchleistung förderte. Die mit mehr KF versorgten Tiere wiesen ab dem 37. LTG einen positiven Energiesaldo auf.

Sowohl bei der Fütterung von 250 g KF pro kg ECM als auch bei der Fütterung von 150 g KF pro kg ECM konnte im Verlauf der Laktation der negative Energiesaldo, der zu Laktationsbeginn bestand, ausgeglichen werden. Um diese Aussage treffen zu können, erwies sich die Erfassung der Futtermittelaufnahme in der Trockenstehphase als wertvoll. In der Trockenstehphase nahmen die Tiere, die in der Laktation mit weniger KF gefüttert wurden, trotz dann identischer Fütterung, signifikant mehr TM auf und legten so kompensatorisch Körperreserven an. Zur Kalbung hatten die beiden Gruppen die gleiche Körperkondition.

Milchviehhaltern, die über Grobfutter mit hoher Energiekonzentration verfügen, kann eine Reduktion des KF-Einsatzes auf bis zu 150 g pro kg ECM ohne Nachteile empfohlen werden, um die Grobfutterleistung ihrer Fleckviehherden zu steigern. Der geringere KF-Einsatz kann dazu beitragen Nährstoffüberschüsse im Betrieb zu reduzieren, die Konkurrenz zwischen Trog und Teller zu entschärfen und die Milchproduktion kostengünstiger zu gestalten. Bei ähnlichen Versuchsfragestellungen empfiehlt es sich, zukünftig zusätzlich eine Fütterungsvariante mit deutlich weniger KF oder eine Variante ohne KF im Design zu berücksichtigen. Dann könnte beurteilt werden, ob eine noch stärkere Reduktion des KF-Einsatzes möglich erscheint.

Der Vorschlag von SUSENBETH (2018) zur Berechnung des Energiebedarfs der Milchkuh verbesserte in der Gesamtschau die Plausibilität der Versuchsdaten aus den zwei Jahren mit Blick auf die Energieversorgung. Zu Laktationsbeginn bewirkten die Vorschläge von SUSENBETH (2018), verglichen mit den Faktoren nach GfE (2001), keine größeren Veränderungen des berechneten Energiesaldos für Fleckviehmilchkühe.

Das Energiesaldo-Schätzmodell für das erste Laktationsdrittel, das aus Produktionsmerkmalen unter besonderer Berücksichtigung der FS-Zusammensetzung im Milchfett hergeleitet wurde, wies einen Schätzfehler von 13,1 MJ NEL pro Tag auf. Für den Zusammenhang zwischen den Schätzmerkmalen und dem Energiesaldo gab es, bis auf eine Ausnahme, eine physiologische Erklärung. Das Schätzmodell erscheint grundsätzlich geeignet, um einen stark negativen Energiesaldo zu Laktationsbeginn zeitnah erkennen zu können. Vorher bedarf es aber der Validierung an einem unabhängigen Datensatz. Die Validierung der Schätzmodelle von BECHER (2017) am vorliegenden Datensatz bestätigte deren Eignung für den Praxiseinsatz nicht.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Der Kraftfuttoreinsatz in Milchviehrationen wird von zwei Spannungsfeldern beeinflusst. Erstens besteht bei der Rationsgestaltung ein Zielkonflikt zwischen Wiederkäuergerechtigkeit und maximaler Energiezufuhr. Zweitens muss der Milchviehhalter beim Kraftfuttoreinsatz einerseits die richtige Versorgung seiner Herde und andererseits betriebswirtschaftliche, ökologische sowie gesellschaftliche Folgen abwägen. Aktuelle, langfristige Studien zu den Auswirkungen des Kraftfuttoreinsatzes während der Laktation auf die Produktionsmerkmale und die Energieversorgung von Milchkühen in Laktation und Trockenstehphase sind selten und fehlen für die Rasse Fleckvieh.

Das erste Ziel der vorliegenden Doktorarbeit war es, den aktuellen Wissensstand zur Wirkung des Kraftfutters (KF) auf die Futteraufnahme und die Milchleistung von Milchkühen mittels einer Regressionsanalyse abzubilden. Zu diesem Zweck wurden 46 Studien mit Fütterungsversuchen und gestaffeltem KF-Einsatz ab dem Jahr 1984 in einem Datensatz zusammengefasst. Bei *ad libitum* Angebot von Grobfutter wurde ein quadratischer Zusammenhang zwischen der KF-Aufnahme und der Grobfutteraufnahme ermittelt. Die beobachtete Milchleistungssteigerung blieb hinter der, unter Berücksichtigung der Grobfutterverdrängung, erwarteten Milchleistungssteigerung zurück, weil zusätzlich aufgenommene Energie sowohl für Milchbildung als auch den Aufbau von Körperreserven genutzt wurde. Deshalb ergab sich auch zwischen der KF-Aufnahme und der energiekorrigierten Milchleistung (ECM) ein quadratischer Zusammenhang. Beide Ergebnisse bestätigen bestehende Erkenntnisse zum KF-Einsatz. Trotz geänderter Produktionsbedingungen ermöglicht erst die Berücksichtigung dieser Zusammenhänge eine Entscheidung, ob ein höherer KF-Einsatz zielführend ist.

Das zweite Ziel und Kernstück der vorliegenden Doktorarbeit war es, unter aktuellen Produktionsbedingungen zu prüfen, wie Fleckviehmilchkühe auf eine langfristige Reduktion des KF-Einsatzes hinsichtlich Futteraufnahme, Milchleistung und Energieversorgung reagieren. In einem zweijährigen Fütterungsversuch im Versuchsstall des LAZBW Aulendorf (Verbundforschungsprojekt „optiKuh“) wurden je 24 Fleckviehmilchkühe entweder mit 250 (Gruppe 250) oder 150 (Gruppe 150) g KF pro kg ECM in der Laktation gefüttert. Gras- und Maissilage sowie Stroh und Heu wurden in den Totalen Mischrationen der beiden Gruppen so kombiniert, dass die Energiekonzentration im Grobfutter in der Laktation 6,6 MJ NEL pro kg Trockenmasse (TM) betrug. Als KF-Komponenten wurde, neben einer hofeigenen Mischung (Winterweizen, Wintergerste, Ackerbohnen), Rapsextraktionsschrot eingesetzt. Tierindividu-

ell wurde ab dem 165. Laktationstag in den beiden Gruppen auf eine Ration mit geringerem KF-Anteil gewechselt. Auch während der Trockenstehphase wurden Daten erfasst. Das Futter wurde zu jedem Zeitpunkt im Versuch allen Tieren *ad libitum* vorgelegt. Die statistische Auswertung wurde separat für die Laktation und die Trockenstehphase durchgeführt. Als fixe Effekte gingen die Kalenderwoche, die Gruppe, die Laktationsnummernklasse (LNRcl) und die Interaktion Gruppe*LNRcl in das Modell ein. In der Laktation wurde zusätzlich der Laktationstag als Kovariable aufgenommen.

Die durchschnittliche, tägliche Futteraufnahme in der Laktation unterschied sich nicht signifikant zwischen der Gruppe 250 (21,6 kg TM) und der Gruppe 150 (21,0 kg TM). Die kalkulierte Grobfutterverdrängung betrug im genannten Versuchszeitraum 0,75 kg TM pro Δ kg KF TM. Mit fortschreitender Laktation wurde pro Δ kg KF TM mehr Grobfutter verdrängt. Die Gruppe 250 gab in der ersten Laktationshälfte mehr und in der zweiten Laktationshälfte weniger Milch als die Gruppe 150. Somit war die durchschnittliche Milchleistung in den beiden Gruppen gleich hoch (28,7 kg ECM pro Laktationstag). Die im Blut ermittelten Merkmale (8, 28, 100 Tage *p. p.*, zum Trockenstellen, 14 Tage *a. p.*) und die mittels Gaschromatographie analysierten Fettsäuren im Milchfett (5, 28, 100, 200 Tage *p. p.*) spiegelten den unterschiedlichen Verlauf der Energiesalden in den beiden Gruppen wider. Die Gruppe 250 hatte im Mittel bereits ab dem 37. Laktationstag einen positiven Energiesaldo. Vermutlich aufgrund der zu Laktationsbeginn besseren Glucose-Versorgung stieg die Insulin-Konzentration im Blut stärker und förderte so den Wiederaufbau von Körperreserven zu Lasten der Milchleistung. Im Mittel erlangte die Gruppe 150 hingegen erst am 72. Laktationstag einen ausgeglichenen Energiesaldo. Als Indiz für die stärkere Mobilisation von Körperfett hatte die Gruppe 150 am Probetermin 28 Tage *p. p.* eine signifikant höhere D-3-Hydroxybutyrat-Konzentration im Blut und eine signifikant höhere Konzentration langkettiger Fettsäuren im Milchfett. Die Werte lagen jedoch im physiologischen Bereich. Die KF-Reduktion erhöhte nicht die Wahrscheinlichkeit zu erkranken. In der Trockenstehphase nahm die Gruppe 150, trotz in dieser Phase gleicher Fütterung, 0,9 kg TM pro Tag mehr Futter auf ($p = 0,026$) und legte so kompensatorisch Körperreserven an. Die beiden Gruppen konnten im Laufe der Laktation den negativen Energiesaldo vom Laktationsbeginn ausgleichen. Der Vorschlag von SUSENBETH (2018) zur Berechnung des Energiebedarfs der Milchkuh verbesserte in der Gesamtschau des zweijährigen Versuchs die Plausibilität der errechneten Energiesalden verglichen mit den Faktoren nach GfE (2001).

Das dritte Ziel der vorliegenden Dissertation war es, für das erste Laktationsdrittel ein Schätzmodell für den Energiesaldo aus Produktionsmerkmalen, unter besonderer Berücksich-

tigung der Fettsäure-Zusammensetzung im Milchfett, zu erstellen, um die Überwachung der Energieversorgung von Milchkühen in der Praxis zu erleichtern. Hierfür wurden die Fettsäure-Analysen der Probetermine 5, 28 und 100 Tage *p. p.* des Fütterungsversuches genutzt ($n = 200$). Die Herleitung des Schätzmodells erfolgte nach der regularisierten linearen Regressionsmethode „elastic net“. Das Schätzmodell wies bei der Leave-one-out-Kreuzvalidierung einen Schätzfehler von 13,1 MJ NEL pro Tag auf und enthielt die Merkmale Milchleistung am Tag der Probenahme, Milchfettgehalt, die Konzentration der Fettsäure C12:0 und der Fettsäure C18:0 im Milchfett sowie die Verhältnisse $n-6/n-3$, C15/C17 und Ölsäure/C15. Das Schätzmodell erwies sich als grundsätzlich geeignet, um einen stark negativen Energiesaldo am Laktationsbeginn zeitnah erkennen zu können. Vorher bedarf es aber der Validierung an einem unabhängigen Datensatz.

Aus vorliegender Arbeit lässt sich schlussfolgern, dass bei Einsatz eines Grobfutters mit hoher Energiekonzentration eine Reduktion des KF-Einsatzes auf 150 g KF pro kg ECM für Fleckviehmilchkühe ohne Nachteile empfohlen werden kann. Zu den vorteilhaften Folgen dieser KF-Reduktion gehören, neben einer deutlichen Steigerung der Grobfutterleistung, eine mögliche Reduktion der Nährstoffüberschüsse im Betrieb und gegebenenfalls eine kostengünstigere Milchproduktion.

7 SUMMARY

The use of concentrates (CON) in dairy feeding is connected with two major challenges. First, there is a conflict of objectives between maintaining the ruminal ecosystem and meeting the energy requirements when formulating diets. Second, the dairy farmer has to evaluate the adequate supply of the herd on the one hand and the economical, ecological, as well as social consequences on the other hand in order to decide how much CON is appropriate. Up-to-date, long-term studies on the implications of the allocation of CON during lactation for the production characteristics and the energy balance of dairy cows in lactation and dry period are lacking to a great extent, especially with regard to the Simmental breed.

The first objective of the present study was to compile the current knowledge concerning the effect of the amount of CON on dry matter (DM) intake and milk yield of dairy cows, by regression analysis. For this purpose, a dataset was compiled containing 46 studies with feeding trials and graded inclusion levels of CON, covering the period as of 1984. When offering the roughage *ad libitum*, a quadratic relation was found between CON intake and roughage intake. Taking into account the substitution of roughage, the observed increase of milk yield was less than expected because additionally absorbed energy was used for both lactation and replenishing of body reserves. For this reason, also the relation between CON intake and the energy-corrected milk yield (ECM) followed a quadratic function. Both results confirm existing findings on the use of CON. Despite changed conditions of production, the consideration of these findings is essential for a correct assessment of the effectiveness of a higher amount of CON.

The second and main objective of the present study was to verify, under present conditions of production, the response of Simmental dairy cows to a long-term reduction of the CON input, in terms of dry matter intake, milk yield, and energy supply. During a feeding trial conducted over a two-year period at the experimental station LAZBW in Aulendorf (cooperative research project „optiKuh“) each 24 Simmental dairy cow was fed either 250 (group 250) or 150 (group 150) g CON per kg ECM throughout lactation. Grass and maize silage as well as straw and hay were combined in the total mixed rations to ensure an energy concentration of 6.6 MJ NEL per kg DM of the roughage in both groups throughout lactation. Beside a CON mixture produced on-site (winter wheat, winter barley, faba bean), the CON contained rape-seed meal. At 165 days in milk, each cow in both groups was switched individually to a ration containing less CON. Data were gathered also during the dry period. Feed was offered for *ad*

libitum consumption to all animals at any time throughout the feeding trial. Statistical analyses were done separately for the lactation and dry period. As fixed effects the calendar week, the group, the parity, and the interaction group*parity entered the model, respectively. Additionally, the days in milk were included as a covariate during lactation.

During lactation the mean daily DM intake did not differ significantly between group 250 (21.6 kg DM) and group 150 (21.0 kg DM). The calculated substitution of roughage amounted to 0.75 kg DM per Δ kg CON DM during the mentioned trial period. As lactation progressed, more roughage was substituted per Δ kg CON DM. The group 250 had a higher milk yield during the first half of lactation, but a lower milk yield during the second half. Consequently, the mean milk yield was equal in both groups (28.7 kg ECM per day). The examined blood characteristics (8, 28, 100 days *p. p.*, at drying off, 14 days *a. p.*) and the milk fatty acids analysis by gas chromatography (5, 28, 100, 200 days *p. p.*) reflected the different progressions of the energy balance of the two groups. On average the group 250 reached a positive energy balance already at 37 days in milk. Probably owing to a better glucose supply after calving, the serum insulin concentration increased faster and supported the replenishing of body reserves at the expense of milk yield. On the contrary, the group 150 achieved a positive energy balance only after 72 days in milk on average. Indicating the mobilization of body reserves, the blood of group 150 showed a significantly higher D- β -hydroxybutyrate concentration, and the milk fat a significantly higher concentration of long-chain fatty acids 28 days *p.p.* However, the values were within the physiological range. The reduction of CON did not increase the likelihood of illness. During the dry period, despite equal feeding of both groups in this period, the group 150 had an increased DM intake of 0.9 kg DM per day ($p = 0,026$). Thus, they restored body energy reserves. Over time both groups succeeded in balancing the energy deficit of the beginning of lactation. Overall, the proposal of SUSENBETH (2018) for the calculation of the energy requirement of dairy cows improved the plausibility of the calculated energy balances compared with the factors according to GfE (2001).

The third objective of the present study was to develop a model for the estimation of energy balance in the first third of lactation based on characteristics of production with focus on concentration of milk fatty acids. Such a model can facilitate the monitoring of the energy supply of dairy cows in practice. For this purpose, the milk fatty acids analyses of the samples taken 5, 28 and 100 days *p. p.* of the feeding trial were used ($n = 200$). The model was derived from the regularized linear regression method „elastic net“. The variables milk yield on sampling day, milk fat content, concentrations of the milk fatty acid C12:0 and the milk fatty acid C18:0, as well as the relations n-6/n-3, C15/C17 and oleic acid/C15 were selected. An estima-

tion error of 13.1 MJ NEL per day was determined by leave-one-out cross-validation. Potentially, the model seems to be applicable for the detection of a severe negative energy balance at the beginning of lactation. But first a validation with an independent dataset is required.

The present study shows that a reduced input of 150 g CON per kg ECM can be recommended for Simmental dairy cows without adverse effects, provided that roughage with high energy concentration is utilised. In addition to a notably increased milk yield from roughage, the beneficial consequences of this reduction include a potential decrease of nutrient surplus at farm level and a possibly more cost-effective milk production.

Literaturverzeichnis

- Abrahamse, P. A.; Vlaeminck, B.; Tamminga, S.; Dijkstra, J. (2008): The effect of silage and concentrate type on intake behavior, rumen function, and milk production in dairy cows in early and late lactation. In: *Journal of Dairy Science* 91 (12), S. 4778–4792. DOI: 10.3168/jds.2008-1350.
- Akaike, H. (1973): Information Theory as an Extension of the Maximum Likelihood Principle. In: B. N. Petrov und F. Csaki (Hg.). *Second International Symposium on Information Theory*. Budapest: Akademiai Kiado, S. 267–281.
- Ali, T. E.; Schaeffer, L. R. (1987): Accounting for covariances among test day milk yields in dairy cows. In: *Canadian Journal of Animal Science* 67, S. 637–644.
- Allen, M. S. (2000): Effects of Diet on Short-Term Regulation of Feed Intake by Lactating Dairy Cattle. In: *Journal of Dairy Science* 83 (7), S. 1598–1624. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75030-2.
- Alves, S. P.; Cabrita, A. R. J.; Jerónimo, E.; Bessa, R. J. B.; Fonseca, A. J. M. (2011): Effect of ensiling and silage additives on fatty acid composition of ryegrass and corn experimental silages. In: *Journal of Animal Science* 89 (8), S. 2537–2545. DOI: 10.2527/jas.2010-3128.
- Andersen, J. B.; Friggens, N. C.; Sejrsen, K.; Sørensen, M. T.; Munksgaard, L.; Ingvarsen, K. L. (2003): The effects of low vs. high concentrate level in the diet on performance in cows milked two or three times daily in early lactation. In: *Livestock Production Science* 81 (2-3), S. 119–128. DOI: 10.1016/S0301-6226(02)00303-2.
- Arvidsson, K.; Gustavsson, A.-M.; Martinsson, K. (2009): Effects of conservation method on fatty acid composition of silage. In: *Animal Feed Science and Technology* 148 (2-4), S. 241–252. DOI: 10.1016/j.anifeeds.2008.04.003.
- Aschenbach, J. R.; Kristensen, N. B.; Donkin, S. S.; Hammon, H. M.; Penner, G. B. (2010): Gluconeogenesis in dairy cows: the secret of making sweet milk from sour dough. In: *IUBMB life* 62 (12), S. 869–877. DOI: 10.1002/iub.400.
- Aston, K.; Thomas, C.; Daley, S. R.; Sutton, J. D.; Dhanoa, M. S. (1994): Milk production from grass silage diets: effects of silage characteristics and the amount of supplementary concentrate. In: *Animal Production* 59 (1), S. 31–41.
- Baum, M. (1984): Langfristige Untersuchung an Milchkühen über Grundfutter-Verzehr und Milchleistung bei Zuteilung unterschiedlicher Kraftfuttermengen. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn, Bonn. Institut für Tierernährung.
- Bauman, D. E. (2000): Regulation of Nutrient Partitioning During Lactation: Homeostasis and Homeorhesis Revisited. In: P. B. Cronjé (Hg.): *Ruminant Physiology Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. Unter Mitarbeit von E. A. Boomker, P. H. Henning, W. Schultheiss und J. G. van der Walt. New York: CABI Publishing, S. 311–328.
- Bauman, D. E.; Currie, W. B. (1980): Partitioning of Nutrients During Pregnancy and Lactation: A Review of Mechanisms Involving Homeostasis and Homeorhesis. In: *Journal of Dairy Science* 63 (9), S. 1514–1529.
- Bauman, D. E.; Griinari, J. M. (2001): Regulation and nutritional manipulation of milk fat. Low-fat milk syndrome. In: *Livestock Production Science* 70 (1-2), S. 15–29. DOI: 10.1016/S0301-6226(01)00195-6.
- Baumgard, L. H.; Collier, R. J.; Bauman, D. E. (2017): A 100-Year Review: Regulation of nutrient partitioning to support lactation. In: *Journal of Dairy Science* 100 (12), S. 10353–10366. DOI: 10.3168/jds.2017-13242.
- Becher, V. (2017): The prediction of energy balance of dairy cows from animal, feed, and milk traits with special regard to milk fatty acids. Dissertation. Universität Hohenheim, Hohenheim. Institut für Nutztierwissenschaften. Online verfügbar unter <http://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2017/1347>, zuletzt geprüft am 15.03.2018.
- Berg, J.; Ekern, A. (1993): Long-term effects of concentrate level in dairy cows. In: *Acta Agriculturae Scandinavica. Section A, Animal Science* 43 (1), S. 35–43.

- Brody, S. (1945): Bioenergetics and Growth. New York: Rheinhold.
- Broster, W. H.; Broster, V. J.; Clements, A. J. (1993): Feed utilization by the dairy cow over multiple lactations: a review. In: *Livestock Production Science* 34 (1-2), S. 1–21. DOI: 10.1016/0301-6226(93)90032-D.
- Butler, S. T.; Marr, A. L.; Pelton, S. H.; Radcliff, R. P.; Lucy, M. C.; Butler, W. R. (2003): Insulin restores GH responsiveness during lactation-induced negative energy balance in dairy cattle. Effects on expression of IGF-I and GH receptor 1A. In: *Journal of Endocrinology* 176 (2), S. 205–217. DOI: 10.1677/joe.0.1760205.
- Cabrera, A.; Bessa, R.; Alves, S. P.; Dewhurst, R. J.; Fonseca, A. (2007): Effects of Dietary Protein and Starch on Intake, Milk Production, and Milk Fatty Acid Profiles of Dairy Cows Fed Corn Silage-Based Diets. In: *Journal of Dairy Science* 90 (3), S. 1429–1439. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(07)71628-4.
- Chilliard, Y.; Ferlay, A.; Faulconnier, Y.; Bonnet, M.; Rouel, J.; Bocquier, F. (2000a): Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. In: *Proc. Nutr. Soc.* 59 (01), S. 127–134. DOI: 10.1017/S002966510000015X.
- Chilliard, Y.; Ferlay, A.; Mansbridge, R. M.; Doreau, M. (2000b): Ruminant milk fat plasticity. Nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. In: *Ann. Zootech.* 49 (3), S. 181–205. DOI: 10.1051/animres:2000117.
- Chilliard, Y.; Glasser, F.; Ferlay, A.; Bernard, L.; Rouel, J.; Doreau, M. (2007): Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. In: *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109 (8), S. 828–855. DOI: 10.1002/ejlt.200700080.
- Clark, C.; Fulkerson, W. J.; Nandra, K. S.; Barchia, I.; Macmillan, K. L. (2005): The use of indicators to assess the degree of mobilisation of body reserves in dairy cows in early lactation on a pasture-based diet. In: *Livestock Production Science* 94 (3), S. 199–211. DOI: 10.1016/j.livprodsci.2004.11.038.
- Coffey, M. P.; Simm, G.; Brotherstone, S. (2002): Energy Balance Profiles for the First Three Lactations of Dairy Cows Estimated Using Random Regression. In: *Journal of Dairy Science* 85 (10), S. 2669–2678. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74352-X.
- Collomb, M.; Bühler, T. (2000): Analyse de la composition en acides gras de la graisse de lait. I. Optimisation et validation d'une méthode générale à haute résolution. In: *Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene* 91, S. 306–332.
- Connor, E. E. (2015): Invited review: improving feed efficiency in dairy production: challenges and possibilities. In: *Animal : an international journal of animal bioscience* 9 (3), S. 395–408. DOI: 10.1017/S1751731114002997.
- Coulon, J. B.; D'Hour, P.; Garel, J. P.; Petit, M. (1994): Level and pattern of winter concentrate allocation in dairy cows: results in first lactation cows. In: *Animal Production* 59 (1), S. 11–20.
- Coulon, J. B.; Faverdin, P.; Laurent, F.; Cotto, G. (1989): Influence de la nature de l'aliment concentré sur les performances des vaches laitières. In: *INRA Productions Animales* 2 (1), S. 47–53.
- Coulon, J. B.; Petit, M.; D'Hour, P.; Garel, J. P. (1987): The effect of level and distribution of concentrate supplementation on performance of dairy cows. In: *Livestock Production Science* 17, S. 117–133. DOI: 10.1016/0301-6226(87)90058-3.
- Coulon, J. B.; Rémond, B. (1991): Variations in milk output and milk protein content in response to the level of energy supply to the dairy cow: a review. In: *Livestock Production Science* 29 (1), S. 31–47. DOI: 10.1016/0301-6226(91)90118-A.
- Craninx, M.; Steen, A.; van Laar, H.; van Nespen, T.; Martín-Tereso, J.; Baets, B. de; Fievez, V. (2008): Effect of lactation stage on the odd- and branched-chain milk fatty acids of dairy cattle under grazing and indoor conditions. In: *Journal of Dairy Science* 91 (7), S. 2662–2677. DOI: 10.3168/jds.2007-0656.
- Denßen, J.; Beintmann, S.; Hoppe, S.; Stamer, E.; Spiekens, H.; Pries, M.; Südekum, K.-H. (2018): Einfluss der Energiedichte im Grobfutter und der Kraftfuttermenge auf die Futteraufnahme, das Wiederkauverhalten und die Milchleistung von Milchkühen der Rasse Deutsche Holstein in der Gesamtlaktation. In: *Züchtungskunde* 90 (6), S. 430–452.

- DePeters, E. J.; Smith, N. E. (1986): Forage Quality and Concentrate for Cows in Early Lactation. In: *Journal of Dairy Science* 69 (1), S. 135–141. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(86)80377-0.
- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) (1997): DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer. Frankfurt am Main: DLG-Verlag.
- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) (2001): Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh. Frankfurt am Main (DLG-Information).
- Dewhurst, R. J.; Fisher, W. J.; Tweed, J. K.; Wilkins, R. J. (2003): Comparison of Grass and Legume Silages for Milk Production. 1. Production Responses with Different Levels of Concentrate. In: *Journal of Dairy Science* 86 (8), S. 2598–2611. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73855-7.
- Dhiman, T. R.; Kleinmans, J.; Tessmann, N. J.; Radloff, H. D.; Satter, L. D. (1995): Digestion and Energy Balance in Lactating Dairy Cows Fed Varying Ratios of Alfalfa Silage and Grain. In: *Journal of Dairy Science* 78 (2), S. 330–341. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76641-3.
- Dórea, J. R. R.; French, E. A.; Armentano, L. E. (2017): Use of milk fatty acids to estimate plasma nonesterified fatty acid concentrations as an indicator of animal energy balance. In: *Journal of Dairy Science* 100 (8), S. 6164–6176. DOI: 10.3168/jds.2016-12466.
- Drochner, W.; Mack, S.; Steingaß, H.; Lang, G. U.; Susenbeth, A. (2000): Extensivierung der Grundfuttererzeugung und Variation des Kraftfutterangebots: Faktoren der Futteraufnahme, Gewichtsentwicklung und Leistung bei Jungkühen der Rasse Deutsche Holsteins. In: *Züchtungskunde* 72 (4), S. 274–289.
- Dufner, J.; Jensen, U.; Schumacher, E. (2004): Statistik mit SAS. 3., überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Eastridge, M. L.; Cunningham, M. D.; Patterson, J. A. (1988): Effect of Dietary Energy Source and Concentration on Performance of Dairy Cows During Early Lactation. In: *Journal of Dairy Science* 71 (11), S. 2959–2966. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(88)79893-8.
- Edmonson, A. J.; Lean, I. J.; Weaver, L. D.; Farver, T.; Webster, G. (1989): A Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 72 (1), S. 68–78. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0.
- Eley, R. M.; Thatcher, W. W.; Bazer, F. W.; Wilcox, C. J.; Becker, R. B.; Head, H. H.; Adkinson, R. W. (1978): Development of the Conceptus in the Bovine. In: *Journal of Dairy Science* 61 (4), S. 467–473. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(78)83622-4.
- Enjalbert, F.; Nicot, M. C.; Bayourthe, C.; Moncoulon, R. (1998): Duodenal infusions of palmitic, stearic or oleic acids differently affect mammary gland metabolism of fatty acids in lactating dairy cows. In: *The Journal of Nutrition* 128 (9), S. 1525–1532. DOI: 10.1093/jn/128.9.1525.
- Faverdin, P.; Dulphy, J.; Coulon, J.; Vérité, R.; Garel, J.; Rouel, J.; Marquis, B. (1991): Substitution of roughage by concentrates for dairy cows. In: *Livestock Production Science* 27 (2-3), S. 137–156. DOI: 10.1016/0301-6226(91)90092-5.
- Ferris, C. P.; Gordon, F. J.; Patterson, D. C.; Kilpatrick, D. J.; Mayne, C. S.; McCoy, M. A. (2001): The response of dairy cows of high genetic merit to increasing proportion of concentrate in the diet with a high and medium feed value silage. In: *J. Agric. Sci.* 136 (03), S. 319–329. DOI: 10.1017/S002185960100870X.
- Ferris, C. P.; Gordon, F. J.; Patterson, D. C.; Mayne, C. S.; Kilpatrick, D. J. (1999a): The influence of dairy cow genetic merit on the direct and residual response to level of concentrate supplementation. In: *J. Agric. Sci.* 132, S. 467–481, zuletzt geprüft am 19.08.2018.
- Ferris, C. P.; Gordon, F. J.; Patterson, D. C.; Porter M. G.; Yan, T. (1999b): The effect of genetic merit and concentrate proportion in the diet on nutrient utilization by lactating dairy cows. In: *J. Agric. Sci.* 132, S. 483–490, zuletzt geprüft am 22.08.2018.
- Ferris, C. P.; Patterson, D. C.; Gordon, F. J.; Kilpatrick, D. J. (2003): The effect of concentrate feed level on the response of lactating dairy cows to a constant proportion of fodder beet inclusion in a grass silage-based diet. In: *Grass and Forage Sci* 58 (1), S. 17–27. DOI: 10.1046/j.1365-2494.2003.00347.x.

- Fievez, V.; Colman, E.; Castro-Montoya, J. M.; Stefanov, I.; Vlaeminck, B. (2012): Milk odd- and branched-chain fatty acids as biomarkers of rumen function-An update. In: *Animal Feed Science and Technology* 172 (1-2), S. 51–65. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.12.008.
- Fievez, V.; Vlaeminck, B.; Dhanoa, M. S.; Dewhurst, R. J. (2003): Use of Principal Component Analysis to Investigate the Origin of Heptadecenoic and Conjugated Linoleic Acids in Milk. In: *Journal of Dairy Science* 86 (12), S. 4047–4053. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)74016-8.
- Forbes, J. M. (2007): A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. In: *Nutrition research reviews* 20 (2), S. 132–146. DOI: 10.1017/S0954422407797834.
- Friggens, N. C.; Emmans, G. C.; Kyriazakis, I.; Oldham, J. D.; Lewis, M. (1998): Feed Intake Relative to Stage of Lactation for Dairy Cows Consuming Total Mixed Diets with a High or Low Ratio of Concentrate to Forage. In: *Journal of Dairy Science* 81 (8), S. 2228–2239. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(98)75802-3.
- Friggens, N. C.; Ridder, C.; Løvendahl, P. (2007): On the use of milk composition measures to predict the energy balance of dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 90 (12), S. 5453–5467. DOI: 10.3168/jds.2006-821.
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) (1995): Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Zur Energiebewertung beim Wiederkäuer. Frankfurt am Main: DLG-Verlag (4).
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) (2001): Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. Frankfurt am Main: DLG-Verlag (8).
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) (2008): Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. New equations for predicting metabolisable energy of grass and maize products for ruminants. Frankfurt am Main: DLG-Verlag (17).
- Glasser, F.; Doreau, M.; Ferlay, A.; Chilliard, Y. (2007): Technical note: Estimation of milk fatty acid yield from milk fat data. In: *Journal of Dairy Science* 90 (5), S. 2302–2304. DOI: 10.3168/jds.2006-870.
- Glasser, F.; Doreau, M.; Maxin, G.; Baumont, R. (2013): Fat and fatty acid content and composition of forages. A meta-analysis. In: *Animal Feed Science and Technology* 185 (1-2), S. 19–34. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2013.06.010.
- Gordon, F. J. (1984): The effect of level of concentrate supplementation given with grass silage during the winter on the total lactation performance of autumn-calving dairy cows. In: *J. Agric. Sci.* 102 (01), S. 163. DOI: 10.1017/S0021859600041605.
- Graugnard, D. E.; Moyes, K. M.; Trevisi, E.; Khan, M. J.; Keisler, D.; Drackley, J. K. et al. (2013): Liver lipid content and inflammometabolic indices in periparturient dairy cows are altered in response to preparturient energy intake and postparturient intramammary inflammatory challenge. In: *Journal of Dairy Science* 96 (2), S. 918–935. DOI: 10.3168/jds.2012-5676.
- Gross, J.; Schwarz, F. J.; Eder, K.; van Dorland, H. A.; Bruckmaier, R. M. (2013): Liver fat content and lipid metabolism in dairy cows during early lactation and during a mid-lactation feed restriction. In: *Journal of Dairy Science* 96 (8), S. 5008–5017. DOI: 10.3168/jds.2012-6245.
- Gross, J.; van Dorland, H. A.; Bruckmaier, R. M.; Schwarz, F. J. (2011a): Milk fatty acid profile related to energy balance in dairy cows. In: *Journal of Dairy Research* 78 (4), S. 479–488. DOI: 10.1017/S0022029911000550.
- Gross, J.; van Dorland, H. A.; Bruckmaier, R. M.; Schwarz, F. J. (2011b): Performance and metabolic profile of dairy cows during a lactational and deliberately induced negative energy balance with subsequent realimentation. In: *Journal of Dairy Science* 94 (1), S. 1820–1830, zuletzt geprüft am 16.03.2046.

- Gross, J.; van Dorland, H. A.; Schwarz, F. J.; Bruckmaier, R. M. (2011c): Endocrine changes and liver mRNA abundance of somatotrophic axis and insulin system constituents during negative energy balance at different stages of lactation in dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 94 (7), S. 3484–3494. DOI: 10.3168/jds.2011-4251.
- Gruber, L. (2007): Einfluss der Kraftfuttermenge auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen. In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (HBLFA Raumberg-Gumpenstein) (Hg.): Transitfütterung, Milchproduktion, Futtermittel, Tiergesundheit. 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung. Raumberg-Gumpenstein, 19. - 20.04.2007, S. 35–51.
- Gruber, L.; Schwarz, F. J.; Erdin, D.; Fischer, B.; Spiekers, H.; Steingäß, H. et al. (2004): Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. In: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hg.): Kongressband 2004. Qualitätssicherung in landwirtschaftlichen Produktionssystemen. 116. VDLUFA-Kongress. Rostock, 13.-17.09. Speyer: VDLUFA-Verl. (Reihe Kongreßberichte / Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, 2004), S. 484–504.
- Gruber, L.; Steinwender, R.; Baumgartner, W. (1995): Einfluss von Grundfutterqualität und Kraftfutterniveau auf Leistung, Stoffwechsel und Wirtschaftlichkeit von Kühen der Rassen Fleckvieh und Holstein Friesian. In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (HBLFA Raumberg-Gumpenstein) (Hg.): Aktuelle Forschungsergebnisse und Versorgungsempfehlungen in der Rindermast und Milchviehfütterung. 22. Tierzuchttagung. Raumberg-Gumpenstein, 9. - 10.05.1995, S. 1–43.
- Gruber, L.; Steinwender, R.; Krimberger, K.; Sölkner, J. (1991): Roughage intake of simmental, brown Swiss and Holstein Friesian cows fed rations with 0, 25 and 50% concentrates. In: *Livestock Production Science* 27 (2-3), S. 123–136. DOI: 10.1016/0301-6226(91)90091-4.
- Gruber, L.; Steinwider, A.; Stefanon, B.; Steiner, B.; Steinwender, R. (1999): Influence of grassland management in Alpine regions and concentrate level on N excretion and milk yield of dairy cows. In: *Livestock Production Science* 61 (2-3), S. 155–170. DOI: 10.1016/S0301-6226(99)00065-2.
- Grum, D. E.; Drackley, J. K.; Hansen, L. R.; Cremin, J. D. (1996): Production, Digestion, and Hepatic Lipid Metabolism of Dairy Cows Fed Increased Energy from Fat or Concentrate. In: *Journal of Dairy Science* 79 (10), S. 1836–1849. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(96)76552-9.
- Harder, I.; Stamer, E.; Junge, W.; Thaller, G. (2018): Zucht auf Futteraufnahme bei Milchkühen mit Hilfe der genomischen Selektion. In: *Züchtungskunde* 90 (6), S. 476–490, zuletzt geprüft am 03.04.2019.
- Harris, R. B. (1990): Role of set-point theory in regulation of body weight. In: *The FASEB Journal* 4 (15), S. 3310–3318. Online verfügbar unter <https://www.fasebj.org/doi/pdf/10.1096/fasebj.4.15.2253845>, zuletzt geprüft am 01.01.2019.
- Hertel-Böhnke, P.; Schneider, M.; Etle, T.; Spiekers, H. (2018): Langzeitstudie zu den Effekten verschiedener Kraftfutter- : Grobfutterverhältnisse in der Milchkuhfütterung auf Leistung und Futteraufnahme. In: *Züchtungskunde* 90 (6), S. 417–429.
- Heuer, C.; van Straalen, W. M.; Schukken, Y. H.; Dirkzwager, A.; Noordhuizen, J. P. T. M. (2000): Prediction of energy balance in a high yielding dairy herd in early lactation. Model development and precision. In: *Livestock Production Science* 65 (1-2), S. 91–105. DOI: 10.1016/S0301-6226(99)00177-3.
- Hoffmann, A.; Steingass, H.; Schollenberger, M.; Terry, H.; Hartung, K.; Weiss, E.; Mosenthin, R. (2015): Effects of different forms and origins of oilseeds on dynamics of ruminal biohydrogenation of long-chain fatty acids in vitro. In: *Journal of animal physiology and animal nutrition* 99 (6), S. 1031–1038. DOI: 10.1111/jpn.12317.
- Horn, M.; Steinwider, A.; Pfister, R.; Gasteiner, J.; Vestergaard, M.; Larsen, T.; Zollitsch, W. (2014): Do different cow types respond differently to a reduction of concentrate supplementation in an Alpine low-input dairy system? In: *Livestock Science* 170, S. 72–83. DOI: 10.1016/j.livsci.2014.10.006.

- Hostens, M.; Fievez, V.; Leroy, J. L. M. R.; van Ranst, J.; Vlaeminck, B.; Opsomer, G. (2012): The fatty acid profile of subcutaneous and abdominal fat in dairy cows with left displacement of the abomasum. In: *Journal of Dairy Science* 95 (7), S. 3756–3765. DOI: 10.3168/jds.2011-5092.
- Huhtanen, P.; Rinne, M.; Nousiainen, J. (2008): Evaluation of concentrate factors affecting silage intake of dairy cows: a development of the relative total diet intake index. In: *Animal : an international journal of animal bioscience* 2 (6), S. 942–953. DOI: 10.1017/S1751731108001924.
- Hurvich, C. M.; Tsai, C.-L. (1993): A corrected Akaike information criterion for vector autoregressive model selection. In: *J Time Series Analysis* 14 (3), S. 271–279. DOI: 10.1111/j.1467-9892.1993.tb00144.x.
- Hymøller, L.; Alstrup, L.; Larsen, M. K.; Lund, P.; Weisbjerg, M. R. (2014): High-quality forage can replace concentrate when cows enter the deposition phase without negative consequences for milk production. In: *Journal of Dairy Science* 97 (7), S. 4433–4443. DOI: 10.3168/jds.2013-7734.
- Ingvartsen, K. L.; Andersen, J. B. (2000): Integration of Metabolism and Intake Regulation. A Review Focusing on Periparturient Animals. In: *Journal of Dairy Science* 83 (7), S. 1573–1597. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75029-6.
- International Organization for Standardization (ISO) (2002a): Milk fat. Determination of the Fatty Acid Composition by gas-liquid Chromatography. (15885).
- International Organization for Standardization (ISO) (2002b): Milk fat. Preparation of fatty acid methyl esters. (15884).
- Jensen, R. G. (2002): The Composition of Bovine Milk Lipids: January 1995 to December 2000. In: *Journal of Dairy Science* 85 (2), S. 295–350.
- Jiang, F. G.; Lin, X. Y.; Yan, Z. G.; Hu, Z. Y.; Liu, G. M.; Sun, Y. D. et al. (2017): Effect of dietary roughage level on chewing activity, ruminal pH, and saliva secretion in lactating Holstein cows. In: *Journal of Dairy Science* 100 (4), S. 2660–2671. DOI: 10.3168/jds.2016-11559.
- Johnson, T. R.; Combs, D. K. (1992): Effects of Inert Rumen Bulk on Dry Matter Intake in Early and Midlactation Cows Fed Diets Differing in Forage Content. In: *Journal of Dairy Science* 75 (2), S. 508–519. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77788-1.
- Jorjong, S.; van Knegsel, A. M.; Verwaeren, J.; Bruckmaier, R. M.; De Baets, B.; Kemp, B.; Fievez, V. (2015): Milk fatty acids as possible biomarkers to diagnose hyperketonemia in early lactation. In: *Journal of Dairy Science* 98 (8), S. 5211–5221.
- Kenéz, Á.; Kulcsár, A.; Kluge, F.; Benbelkacem, I.; Hansen, K.; Locher, L. et al. (2015): Changes of Adipose Tissue Morphology and Composition during Late Pregnancy and Early Lactation in Dairy Cows. In: *PloS one* 10 (5), e0127208. DOI: 10.1371/journal.pone.0127208.
- Kennedy, G. C. (1953): The Role of Depot Fat in the Hypothalamic Control of Food Intake in the Rat. In: *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 140 (901), S. 578–592. Online verfügbar unter <https://www.jstor.org/stable/82630>, zuletzt geprüft am 01.01.2019.
- Kenward, M. G.; Roger, J. H. (1997): Small Sample Inference for Fixed Effects from Restricted Maximum Likelihood. In: *Biometrics* 53 (3), S. 983–997.
- Khan, M. J.; Hosseini, A.; Burrell, S.; Rocco, S. M.; McNamara, J. P.; Looor, J. J. (2013): Change in subcutaneous adipose tissue metabolism and gene network expression during the transition period in dairy cows, including differences due to sire genetic merit. In: *Journal of Dairy Science* 96 (4), S. 2171–2182. DOI: 10.3168/jds.2012-5794.
- Khan, N. A.; Cone, J. W.; Fievez, V.; Hendriks, W. H. (2012): Causes of variation in fatty acid content and composition in grass and maize silages. In: *Animal Feed Science and Technology* 174 (1-2), S. 36–45. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2012.02.006.
- Khan, N. A.; Cone, J. W.; Hendriks, W. H. (2009): Stability of fatty acids in grass and maize silages after exposure to air during the feed out period. In: *Animal Feed Science and Technology* 154 (3-4), S. 183–192. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2009.09.005.
- Kleinmans, J.; Potthast, V. (1984): Zur "Verdrängung" von Grundfutter durch Kraftfutter in der Milchviehfütterung. In: *Übersichten zur Tierernährung* 12, S. 165–186.

- Kokkonen, T.; Tesfa, A.; Tuori, M.; Hissa, K.; Jukola, E.; Syrjälä-Qvist, L. (2000): Effects of early lactation concentrate level and glucogenic feed on feed intake, milk production and energy metabolism in dairy cows and heifers. In: *J. Anim. Feed Sci.* 9 (4), S. 563–583. DOI: 10.22358/jafs/68083/2000.
- Kramer, J. K. G.; Hernandez, M.; Cruz-Hernandez, C.; Kraft, J.; Dugan, M. E. R. (2008): Combining results of two GC separations partly achieves determination of all cis and trans 16:1, 18:1, 18:2 and 18:3 except CLA isomers of milk fat as demonstrated using Ag-ion SPE fractionation. In: *Lipids* 43 (3), S. 259–273. DOI: 10.1007/s11745-007-3143-4.
- Kraus, N.; Durst, L.; Mohr, U.; Spiekers, H. (2018): Ergebnisse zum Kraftfuttereinsatz bei Milchkühen der Rasse Fleckvieh. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hg.): Abschlussveranstaltung - Verbundprojekt optiKuh. Braunschweig, 30.-31.01. (Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft).
- Kristensen, N. B. (2005): Splanchnic metabolism of volatile fatty acids in the dairy cow. In: *Animal Science* 80 (1), S. 3–10.
- Kuoppala, K.; Rinne, M.; Nousiainen, J.; Huhtanen, P. (2008): The effect of cutting time of grass silage in primary growth and regrowth and the interactions between silage quality and concentrate level on milk production of dairy cows. In: *Livestock Science* 116 (1-3), S. 171–182. DOI: 10.1016/j.livsci.2007.10.002.
- Kutas, F. (1965): Determination of net acid-base excretion in the urine of cattle. A method for the estimation of acid-base equilibrium. In: *Acta veterinaria Academiae Scientiarum Hungaricae* 15, S. 147–153.
- Landesverband Baden-Württemberg für Leistungs- und Qualitätsprüfungen in der Tierzucht e. V. (LKV Baden-Württemberg) (Hg.) (2019): Jahresbericht 2018. Stuttgart. Online verfügbar unter https://www.lkvbw.de/services/files/jahresberichte/A%20Jahresbericht%202018_web.pdf, zuletzt geprüft am 05.05.2019.
- Lang, G. U. (1995): Das Futteraufnahmevermögen von Milchkühen. Dissertation. Universität Hohenheim, Hohenheim. Tierernährung.
- Lawrence, D. C.; O'Donovan, M.; Boland, T. M.; Lewis, E.; Kennedy, E. (2015): The effect of concentrate feeding amount and feeding strategy on milk production, dry matter intake, and energy partitioning of autumn-calving Holstein-Friesian cows. In: *Journal of Dairy Science* 98 (1), S. 338–348. DOI: 10.3168/jds.2014-7905.
- Lucy, M. C. (2004): Mechanisms linking the somatotrophic axis with insulin: Lessons from the postpartum dairy cow. In: *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 64, S. 19–23. Online verfügbar unter <http://www.sciquest.org.nz/node/41463>, zuletzt geprüft am 03.01.2018.
- Lucy, M. C.; Jiang, H.; Kobayashi, Y. (2001): Changes in the Somatotrophic Axis Associated with the Initiation of Lactation. In: *Journal of Dairy Science* 84, E113-E119. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(01)70205-6.
- Luick, J. R.; Smith, L. M. (1963): Fatty Acid Synthesis During Fasting and Bovine Ketosis. In: *Journal of Dairy Science* 46 (11), S. 1251–1255. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(63)89254-1.
- Lynch, J. M.; Barbano, D. M.; Baumann, D. E.; Hartnell, G. F.; Nemeth, M. A. (1992): Effect of a Prolonged-Release Formulation of N-Methionyl Bovine Somatotropin (Sometribove) on Milk Fat. In: *Journal of Dairy Science* 75 (7), S. 1794–1809. Online verfügbar unter [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(92\)77938-7/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(92)77938-7/pdf), zuletzt geprüft am 29.04.2017.
- Mack, S. (1996): Wirkung einer reduzierten Fütterungsintensität auf Rauhfutteraufnahme, Milchleistung und Körperzustand des Rindes im Verlauf der Laktation. Marburg: Tectum-Verlag (Band 2).
- Mann, S.; Nydam, D. V.; Lock, A. L.; Overton, T. R.; McArt, J. A. A. (2016): Short communication: Association of milk fatty acids with early lactation hyperketonemia and elevated concentration of nonesterified fatty acids. In: *Journal of Dairy Science* 99 (7), S. 5851–5857. DOI: 10.3168/jds.2016-10920.

- McArt, J. A. A.; Nydam, D. V.; Oetzel, G. R.; Overton, T. R.; Ospina, P. A. (2013): Elevated non-esterified fatty acids and β -hydroxybutyrate and their association with transition dairy cow performance. In: *Veterinary journal (London, England : 1997)* 198 (3), S. 560–570. DOI: 10.1016/j.tvjl.2013.08.011.
- McNamara, J. P. (1989): Regulation of Bovine Adipose Tissue Metabolism During Lactation. 5. Relationships of Lipid Synthesis and Lipolysis with Energy Intake and Utilization. In: *Journal of Dairy Science* 72 (2), S. 407–418. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(89)79122-0.
- McNamara, J. P. (1991): Regulation of Adipose Tissue Metabolism in Support of Lactation. In: *Journal of Dairy Science* 74 (2), S. 706–719. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78217-9.
- McNamara, J. P. (1995): Role and regulation of metabolism in adipose tissue during lactation. In: *The Journal of Nutritional Biochemistry* 6 (3), S. 120–129. DOI: 10.1016/0955-2863(95)00017-T.
- McParland, S.; Banos, G.; Wall, E.; Coffey, M. P.; Soyeurt, H.; Veerkamp, R. F.; Berry, D. P. (2011): The use of mid-infrared spectrometry to predict body energy status of Holstein cows. In: *Journal of Dairy Science* 94 (7), S. 3651–3661. DOI: 10.3168/jds.2010-3965.
- Mielenz, M.; Mielenz, B.; Singh, S. P.; Kopp, C.; Heinz, J.; Häussler, S.; Sauerwein, H. (2013): Development, validation, and pilot application of a semiquantitative Western blot analysis and an ELISA for bovine adiponectin. In: *Domestic Animal Endocrinology* 44 (3), S. 121–130. DOI: 10.1016/j.domaniend.2012.10.004.
- Moe, P. W. (1981): Energy Metabolism of Dairy Cattle. In: *Journal of Dairy Science* 64 (6), S. 1120–1139. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(81)82692-6.
- Nichols, K.; Dijkstra, J.; van Laar, H.; Pacheco, S.; van Valenberg, H. J.; Bannink, A. (2019): Energy and nitrogen partitioning in dairy cows at low or high metabolizable protein levels is affected differently by postpartum glucogenic and lipogenic substrates. In: *Journal of Dairy Science* 102 (1), S. 395–412. DOI: 10.3168/jds.2018-15249.
- Nikkhah, A. (2013): Review. Ruminant feed intake regulation evolution: chronophysiological rhythms perspectives. In: *Biological Rhythm Research* 45 (4), S. 563–577. DOI: 10.1080/09291016.2013.874215.
- Nogalski, Z.; Wronski, M.; Sobczuk-Szul, M.; Mochol, M.; Pogorzelska, P. (2012): The Effect of Body Energy Reserve Mobilization on the Fatty Acid Profile of Milk in High-yielding Cows. In: *Asian-Australasian journal of animal sciences* 25 (12), S. 1712–1720. DOI: 10.5713/ajas.2012.12279.
- Ogotu, J. O.; Schulz-Streeck, T.; Piepho, H.-P. (2012): Genomic selection using regularized linear regression models: ridge regression, lasso, elastic net and their extensions. In: *BMC proceedings* 6 (Supplement 2), 10-15. DOI: 10.1186/1753-6561-6-S2-S10.
- Oldenbroek, J. K. (1986): The performance of Jersey heifers and heifers of larger dairy breeds on two complete diets with different roughage contents. In: *Livestock Production Science* 14 (1), S. 1–14. DOI: 10.1016/0301-6226(86)90092-8.
- Oldenbroek, J. K. (1988): The performance of Jersey cows and cows of larger dairy breeds on two complete diets with different roughage contents. In: *Livestock Production Science* 18 (1), S. 1–17. DOI: 10.1016/0301-6226(88)90064-4.
- Østergaard, V. (1979): Strategies for concentrate feeding to attain optimum feeding level in high yielding dairy cows. 482. Bretening fra Statens Husdyrbrugs forsøg, København. Department of Research in Cattle and Sheep, National Institute of Animal Science.
- Palmquist, D. L. (2006): Milk fat: Origin of fatty acids and influence of nutritional factors thereon. In: P. F. Fox und P. L. H. McSweeney (Hg.): *Advanced Dairy Chemistry. Volume 2: Lipids*. 3. Aufl. New York: Springer, S. 43–92.
- Palmquist, D. L.; Denise Beaulieu, A.; Barbano, D. M. (1993): Feed and Animal Factors Influencing Milk Fat Composition. In: *Journal of Dairy Science* 76 (6), S. 1753–1771. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(93)77508-6.
- Patel, M.; Wredle, E.; Bertilsson, J. (2013): Effect of dietary proportion of grass silage on milk fat with emphasis on odd- and branched-chain fatty acids in dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 96 (1), S. 390–397. DOI: 10.3168/jds.2012-5441.

- Patel, M.; Wredle, E.; Spörndly, E.; Bertilsson, J. (2017): Whole lactation production responses in high-yielding dairy cows using high-quality grass/clover silage. In: *Journal of the science of food and agriculture* 97 (9), S. 2883–2890. DOI: 10.1002/jsfa.8119.
- Phipps, R. H.; Bines, J. A.; Weller, R. F.; Thomas, J. (1984): Complete diets for dairy cows. The effect of energy concentration and change in energy concentration of a complete diet on intake and performance of lactating dairy cows. In: *J. Agric. Sci.* 103 (02), S. 323. DOI: 10.1017/S0021859600047274.
- Phipps, R. H.; Weller, R. F.; Bines, J. A. (1987): The influence of forage quality and concentrate level on dry matter intake and milk production of British Friesian heifers. In: *Grass and Forage Sci* 42 (1), S. 49–58. DOI: 10.1111/j.1365-2494.1987.tb02090.x.
- Phipps, R. H.; Weller, R. F.; Elliott, R. J.; Sutton, J. D. (1988): The effect of level and type of concentrate and type of conserved forage on dry matter intake and milk production of lactating dairy cows. In: *J. Agric. Sci.* 111 (01), S. 179–186. DOI: 10.1017/S002185960008299X.
- Pries, M.; Sand, H. van de; Benninghoff, J.; Tholen, E.; Südekum, K.-H. (2009): Einfluss variierender Kraftfuttermengen auf Leistungsparameter in der Milchviehhaltung. In: Tagungsunterlagen : Beiträge der Veranstaltung vom 01. und 02.04.2009 in Fulda / Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung. Fulda, 01.-02.04.2009. Verband der Landwirtschaftskammern. Braunschweig. Online verfügbar unter <http://www.riswick.de/pdf/forumbeitraege/forum-2009-19-variierende-kraftfuttermengen.pdf>, zuletzt geprüft am 13.09.17.
- Raes, K.; Haak, L.; Balcaen, A.; Claeys, E.; Demeyer, D.; Smet, S. de (2004): Effect of linseed feeding at similar linoleic acid levels on the fatty acid composition of double-muscle Belgian Blue young bulls. In: *Meat Science* 66 (2), S. 307–315. DOI: 10.1016/S0309-1740(03)00105-0.
- Randby, A. T.; Weisbjerg, M. R.; Nørgaard, P.; Heringstad, B. (2012): Early lactation feed intake and milk yield responses of dairy cows offered grass silages harvested at early maturity stages. In: *Journal of Dairy Science* 95 (1), S. 304–317. DOI: 10.3168/jds.2011-4454.
- Rauls, C.; Meyer, U.; Hüther, L.; Soosten, D. von; Kinoshita, A.; Rehage, J. et al. (2015): Effects of niacin supplementation (40 weeks) and two dietary levels of concentrate on performance, blood and fatty acid profiles of dairy cattle. In: *SA J. An. Sci.* 45 (4), S. 395–410. DOI: 10.4314/sajas.v45i4.6.
- Reist, M.; Erdin, D.; Euw, D. von; Tschuemperlin, K.; Leuenberger, H.; Chilliard, Y. et al. (2002): Estimation of Energy Balance at the Individual and Herd Level Using Blood and Milk Traits in High-Yielding Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 85 (12), S. 3314–3327. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74420-2.
- Reist, M.; Erdin, D.; Euw, D. von; Tschuemperlin, K.; Leuenberger, H.; Delavaud, C. et al. (2003): Concentrate Feeding Strategy in Lactating Dairy Cows. Metabolic and Endocrine Changes with Emphasis on Leptin. In: *Journal of Dairy Science* 86 (5), S. 1690–1706. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73755-2.
- Rijkema, Y. S.; van Reeuwijk, L.; Goedhart, P. W. (1990): Effects of pattern of concentrate feeding on milk production of dairy cows offered silage ad libitum. In: *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38 (3B), S. 461–474.
- Robaina, A. C.; Grainger, C.; Moate, P.; Taylor, J.; Stewart, J. (1998): Responses to grain feeding by grazing dairy cows. In: *Aust. J. Exp. Agric.* 38, S. 541–549.
- Robinson, P. H.; McQueen, R. E. (1997): Influence of Level of Concentrate Allocation and Fermentability of Forage Fiber on Chewing Behavior and Production of Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 80 (4), S. 681–691. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(97)75987-3.
- Rocco, S. M.; McNamara, J. P. (2013): Regulation of bovine adipose tissue metabolism during lactation. 7. Metabolism and gene expression as a function of genetic merit and dietary energy intake. In: *Journal of Dairy Science* 96 (5), S. 3108–3119. DOI: 10.3168/jds.2012-6097.
- Roche, J. R.; Kolver, E. S.; Kay, J. K. (2005): Influence of Precalving Feed Allowance on Periparturient Metabolic and Hormonal Responses and Milk Production in Grazing Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 88 (2), S. 677–689. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72732-6.

- Ronge, H.; Blum, J.; Clement, C.; Jans, F.; Leuenberger, H.; Binder, H. (1988): Somatomedin C in dairy cows related to energy and protein supply and to milk production. In: *Anim. Prod.* 47 (02), S. 165–183. DOI: 10.1017/S000335610000324X.
- Rühle, R.; Spiekens, H.; Potthast, V.; Pfeffer, E. (1992): Performance of dairy cows fed concentrates differing in their contents of easily fermentable carbohydrates, with roughage fed either ad lib. or at a restricted rate. In: *Livestock Production Science* 32 (2), S. 149–161. DOI: 10.1016/S0301-6226(12)80033-9.
- Schmitz, R.; Schnabel, K.; Soosten, D. von; Meyer, U.; Spiekens, H.; Rehage, J.; Dänicke, S. (2018): The effects of energy concentration in roughage and allowance of concentrates on performance, health and energy efficiency of pluriparous dairy cows during early lactation. In: *Archives of animal nutrition* 72 (2), S. 100–120. DOI: 10.1080/1745039X.2018.1428417.
- Schwarz, F. J.; Kirchgessner, M. (1985): Grundfutteraufnahme von Milchkühen in Abhängigkeit von Lebendgewicht, Zahl der Laktationen, Kraftfuttermittelverzehr und Grundfutterqualität. In: *Züchtungskunde* 57 (4), S. 267–277.
- Seymour, W. M.; Campbell, D. R.; Johnson, Z. B. (2005): Relationships between rumen volatile fatty acid concentrations and milk production in dairy cows: a literature review. In: *Animal Feed Science and Technology* (119), S. 155–169. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2004.10.001.
- Smith, E. J.; Henderson, A. R.; Oldham, J. D.; Whitaker, D. A.; Aitchison, K.; Anderson, D. H.; Kelly, J. M. (1993): The influence of an inoculant/enzyme preparation as an additive for grass silage offered in combination with three levels of concentrate supplementation on performance of lactating dairy cows. In: *Animal Production* 56 (3), S. 301–310.
- Somersalo, S.; Karunen, P.; Aro, E. (1986): The acyl lipid composition of wheat leaves and moss protonemata using a new, non-carcinogenic extraction solvent system. In: *Physiologia Plantarum* 68 (3), S. 467–470. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1986.tb03383.x.
- Spöndly, E. (1991): Supplementation of dairy cows offered freshly cut herbage ad libitum with starchy concentrates based on barley or fibrous concentrates based on unmolassed sugar beet pulp and wheat barn. In: *Swedish journal of agricultural research* 21, S. 131–139.
- Statistisches Bundesamt (Hg.) (2017): Viehbestand. Fachserie 3 Reihe 4.1 - 3. Mai 2017 (endgültig). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ViehbestandTierischeErzeugung/Viehbestand2030410175314.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 25.12.2018.
- Steingäß, H.; Mack, S.; Lang, G. U.; Tafaj, M.; Susenbeth, A.; Drochner, W. (2002): Extensivierung der Grundfüttererzeugung und Variation des Kraftfutterangebotes: Faktoren der Futteraufnahme, Lebendmasseentwicklung und Leistung bei Kühen der Rasse Deutsche Holsteins. 2. Mitteilung: Kühe mit mehreren Abkalbungen. In: *Züchtungskunde* 74 (3), S. 169–182.
- Steingass, H.; Menke, K. H. (1986): Schätzung des energetischen Futterwerts aus der in vitro mit Pansensaft bestimmten Gasbildung und der chemischen Analyse. 1. Untersuchungen zur Methode. In: *Übersichten zur Tierernährung* 14 (3), S. 251–270.
- Steinwider, A.; Zeiler, E. (2003): Einfluss von Partikellänge und Trockenmassegehalt von Grassilage bei unterschiedlichem Kraftfutterniveau auf Pansenparameter, Verdaulichkeit und Futteraufnahme von Rindern. In: Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (HBLFA Raumberg-Gumpenstein) (Hg.): Rinderaufzucht, Milchviehfütterung, Schafhaltung, Ökonomik. 30. Viehwirtschaftliche Fachtagung. Raumberg-Gumpenstein, 24. - 25.04.2003, S. 1–21. Online verfügbar unter <https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/viewdownload/55-viehwirtschaftstagung-2003/99-einfluss-von-partikellaenge-steinwider.html>, zuletzt geprüft am 24.08.18.
- Stockdale, C. R.; Callaghan, A.; Trigg, T. E. (1987): Feeding high energy supplements to pasture-fed dairy cows. Effects of stage of lactation and level of supplement. In: *Australian Journal of Agricultural Research* 38 (5), S. 927–940.
- Stoop, W. M.; Bovenhuis, H.; Heck, J. M. L.; van Arendonk, J. A. M. (2009): Effect of lactation stage and energy status on milk fat composition of Holstein-Friesian cows. In: *Journal of Dairy Science* 92 (4), S. 1469–1478. DOI: 10.3168/jds.2008-1468.

- St-Pierre, N. R. (2001): Invited Review. Integrating Quantitative Findings from Multiple Studies Using Mixed Model Methodology. In: *Journal of Dairy Science* 84 (4), S. 741–755. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74530-4.
- Susenbeth, A. (2018): Der Energiebedarf von Milchkühen heutiger Rassen. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hg.): Abschlussveranstaltung - Verbundprojekt optiKuh. Braunschweig, 30.-31.01. (Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft), S. 40–43.
- Sutton, J. D. (1988): Concentrate feeding and milk composition. In: Desmond James August Cole und William Haresign (Hg.): *Recent developments in ruminant nutrition*, Bd. 2. London: Butterworths, S. 97–110.
- Tafaj, M. (1996): Untersuchungen zu einigen fütterungstechnischen Maßnahmen zur Verbesserung der Ausnutzung faserreichen Grundfutters beim Wiederkäuer. Dissertation. Universität Hohenheim, Hohenheim. Institut für Tierernährung.
- Tafaj, M.; Kolaneci, V.; Junck, B.; Maulbetsch, A.; Steingass, H.; Drochner, W. (2005): Influence of Fiber Content and Concentrate Level on Chewing Activity, Ruminal Digestion, Digesta Passage Rate and Nutrient Digestibility in Dairy Cows in Late Lactation. In: *Asian Australas. J. Anim. Sci* 18 (8), S. 1116–1124. DOI: 10.5713/ajas.2005.1116.
- Taylor, W.; Leaver, J. D. (1986): Systems of concentrate allocation for dairy cattle. 4. A comparison of two amounts and two patterns of allocation. In: *Animal Production* 43 (1), S. 17–26.
- Tessmann, N. J.; Radloff, H. D.; Kleinmans, J.; Dhiman, T. R.; Satter, L. D. (1991): Milk Production Response to Dietary Forage:Grain Ratio. In: *Journal of Dairy Science* 74 (8), S. 2696–2707. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78448-8.
- Thomas, C. (1987): Factors affecting substitution rates in dairy cows on silage based rations. In: *Recent advances in animal nutrition* 21, S. 205–218.
- Thorup, V. M.; Højsgaard, S.; Weisbjerg, M. R.; Friggens, N. C. (2013): Energy balance of individual cows can be estimated in real-time on farm using frequent liveweight measures even in the absence of body condition score. In: *Animal : an international journal of animal bioscience* 7 (10), S. 1631–1639. DOI: 10.1017/S1751731113001237.
- Udén, P. (1984): Digestibility and digesta retention in dairy cows receiving hay or silage at varying concentrate levels. In: *Animal Feed Science and Technology* 11 (4), S. 279–291. DOI: 10.1016/0377-8401(84)90043-9.
- van Es, A. (1975): Feed evaluation for dairy cows. In: *Livestock Production Science* 2 (2), S. 95–107. DOI: 10.1016/0301-6226(75)90029-9.
- van Haelst, Y. N. T.; Beeckman, A.; van Knegsel, A. T. M.; Fievez, V. (2008): Short communication: elevated concentrations of oleic acid and long-chain fatty acids in milk fat of multiparous subclinical ketotic cows. In: *Journal of Dairy Science* 91 (12), S. 4683–4686. DOI: 10.3168/jds.2008-1375.
- van Knegsel, A. T. M.; Rummelink, G. J.; Jorjongs, S.; Fievez, V.; Kemp, B. (2014): Effect of dry period length and dietary energy source on energy balance, milk yield, and milk composition of dairy cows. In: *Journal of Dairy Science* 97 (3), S. 1499–1512. DOI: 10.3168/jds.2013-7391.
- van Knegsel, A. T. M.; van den Brand, H.; Dijkstra, J.; Kemp, B. (2007): Effects of dietary energy source on energy balance, metabolites and reproduction variables in dairy cows in early lactation. In: *Theriogenology* 68 Suppl 1, 274–80. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2007.04.043.
- Vanhatalo, A.; Kuoppala, K.; Toivonen, V.; Shingfield, K. J. (2007): Effects of forage species and stage of maturity on bovine milk fatty acid composition. In: *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109 (8), S. 856–867. DOI: 10.1002/ejlt.200700023.
- Vargas, B.; Koops, W. J.; Herrero, M.; van Arendonk, J. (2000): Modeling Extended Lactations of Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 83 (6), S. 1371–1380. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75005-3.
- Vazquez-añon, M.; Bertics, S. J.; Grummer, R. R. (1997): The Effect of Dietary Energy Source During Mid to Late Lactation on Liver Triglyceride and Lactation Performance of Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 80 (10), S. 2504–2512. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76203-9.

- Veerkamp, R.; Simm, G.; Oldham, J. (1994): Effects of interaction between genotype and feeding system on milk production, feed intake, efficiency and body tissue mobilization in dairy cows. In: *Livestock Production Science* 39 (3), S. 229–241. DOI: 10.1016/0301-6226(94)90202-X.
- Veerkamp, R. F.; Emmans, G. C. (1995): Sources of genetic variation in energetic efficiency of dairy cows. In: *Livestock Production Science* 44 (2), S. 87–97. DOI: 10.1016/0301-6226(95)00065-0.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (1976): Methodenbuch. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3.Aufl. Darmstadt: VDLUFA-Verl.
- Vernon, R. G. (2005): Lipid metabolism during lactation: a review of adipose tissue-liver interactions and the development of fatty liver. In: *The Journal of dairy research* 72 (4), S. 460–469. DOI: 10.1017/S0022029905001299.
- Vlaeminck, B.; Fievez, V.; Cabrita, A.; Fonseca, A.; Dewhurst, R. J. (2006): Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk. A review. In: *Animal Feed Science and Technology* 131 (3-4), S. 389–417. DOI: 10.1016/j.anifeeds.2006.06.017.
- Waldo, D. R. (1986): Effect of Forage Quality on Intake and Forage-Concentrate Interactions. In: *Journal of Dairy Science* 69 (2), S. 617–631. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(86)80446-5.
- Weiss, W. P.; Shockey, W. L. (1991): Value of Orchardgrass and Alfalfa Silages Fed with Varying Amounts of Concentrates to Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 74 (6), S. 1933–1943. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78359-8.
- Weissbach, F.; Kuhla, S. (1995): Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfutter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. In: *Übersichten zur Tierernährung* 23 (2), S. 189–214.
- Welch, R. W. (1975): Fatty acid composition of grain from winter and spring sown oats, barley and wheat. In: *J. Sci. Food Agric.* 26 (4), S. 429–435. DOI: 10.1002/jsfa.2740260408.
- Zammit, V. A. (1990): Ketogenesis in the liver of ruminants – adaptations to a challenge. In: *J. Agric. Sci.* 115 (02), S. 155–162. DOI: 10.1017/S0021859600075080.
- Zebeli, Q.; Dijkstra, J.; Tafaj, M.; Steingass, H.; Ametaj, B. N.; Drochner, W. (2008): Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. In: *Journal of Dairy Science* 91 (5), S. 2046–2066. DOI: 10.3168/jds.2007-0572.
- Zebeli, Q.; Tafaj, M.; Weber, I.; Dijkstra, J.; Steingass, H.; Drochner, W. (2007): Effects of Varying Dietary Forage Particle Size in Two Concentrate Levels on Chewing Activity, Ruminal Mat Characteristics, and Passage in Dairy Cows. In: *Journal of Dairy Science* 90 (4), S. 1929–1942. DOI: 10.3168/jds.2006-354.

Anhang

Tabelle A1: Aus der Literatur erstellter Datensatz zur Modellierung von Produktionsmerkmalen in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme (264 Gruppen aus 101 Versuchen in 46 Studien, Zeitraum 1984 bis 2018)

Studie	Jahr	n ¹⁾	Dauer ²⁾	kftm ³⁾	gftm ⁴⁾	mkg ⁵⁾	Grob- futter_cl ⁶⁾	Vorlage_cl ⁷⁾	LNR ⁸⁾	Stadium_cl ⁹⁾
ANDERSEN <i>et al.</i>	2003	10 9	0,3	4,4 13,7	12,7 4,6	31,2 39,2	-	TMR	> 1	3
ASTON <i>et al.</i>	1994	je 8	0,2	3,0	11,2	19,5	≥ 6,2	keine TMR	> 1	3
				6,0	9,2	23,9				
				8,8	9,9	23,2				
				12,1	8,2	23,9				
				3,0	7,2	17,3				
				6,1	7,7	21,9				
				9,1	6,9	24,9				
				12,1	6,5	25,4				
				3,0	10,6	16,5				
				6,1	8,3	19,8				
9,0	8,2	23,9								
11,8	6,5	24,3								
3,0	10,7	17,4	< 6,2	keine TMR	> 1	3				
6,0	9,7	20,7								
9,1	8,1	22,4								
12,1	6,8	25,0								
BAUM	1984	je 24	1,4	2,3	12,6	18,1	< 6,2	keine TMR	> 1	4
				3,9	12,5	20,1				
				5,4	11,7	20,7				
				7,1	10,8	21,4				
BERG und EKERN	1993	je 36	1,0	3,1	7,9	15,5	-	keine TMR	1	3
		je 18		3,4	9,3	19,4			> 1	
COULON <i>et al.</i>	1987	26 28	0,2	4,6	11,9	23,6	< 6,2	keine TMR	> 1	1
				6,2	11,5	25,2				
COULON <i>et al.</i>	1994	30	0,4	3,6	10,0	16,8	< 6,2	keine TMR	1	1
		30		5,0	9,6	18,6				
		29		6,3	9,5	19,7				
DENIBEN <i>et al.</i>	2018	je 12	2,0	4,4	16,1	24,8	< 6,2	keine TMR	≥ 1	4
				6,9	15,7	26,7				
				4,7	16,6	26,6				
				7,0	15,8	27,3	≥ 6,2			
DEPETERS und SMITH	1986	11	0,3	5,5	12,8	30,5	-	TMR	> 1	1
		10		10,2	10,2	35,4				
		je 6		4,4	10,3	23,5				
				7,6	7,6	25,7				
		11 8		5,9	13,7	30,6				
				9,3	9,3	31,3				
		je 6		4,2	9,8	20,6				
				6,9	6,9	23,0				
DEWHURST <i>et al.</i>	2003	je 8	0,1	3,4	14,0	23,5	-	keine TMR	> 1	3
		8		6,7	12,6	27,5				
		9		3,4	14,5	23,7				
		7		6,8	13,5	28,6				
		8		3,4	16,6	25,6				
				6,8	15,2	30,2				
EASTRIDGE <i>et al.</i>	1988	je 6	0,1	3,9	10,0	24,5	-	TMR	1	1
				7,0	7,9	25,8				

Anhang

Studie	Jahr	n ¹⁾	Dauer ²⁾	kftm ³⁾	gftm ⁴⁾	mkg ⁵⁾	Grob- futter_cl ⁶⁾	Vorlage_cl ⁷⁾	LNR ⁸⁾	Stadium_cl ⁹⁾
FAVERDIN <i>et al.</i>	1991	je 9	0,1	4,7	13,7	27,1	≥ 6,2	keine TMR	≥ 1	2
				6,4	12,5	27,6				
				8,1	11,1	27,5				
		je 6		3,7	15,1	25,1				
				5,8	13,7	25,7				
				7,9	12,1	25,6				
		je 9		4,1	16,0	26,9	< 6,2			
				6,5	15,1	27,3				
				8,8	13,2	27,0				
		je 9		3,0	12,8	15,6	< 6,2		> 1	
				4,7	12,3	16,9				
				6,5	11,3	18,4				
je 9	3,5	12,5	18,5	< 6,2	≥ 1					
	5,2	11,5	18,9							
	7,0	10,4	20,2							
je 9	5,2	12,0	25,3	< 6,2	≥ 1					
	7,2	11,0	25,9							
	9,3	9,8	26,9							
je 12	2,3	13,3	19,2	< 6,2	≥ 1					
	4,6	12,6	21,2							
	6,8	11,5	21,5							
FERRIS <i>et al.</i>	1999a	je 8	0,3	6,6	11,4	31,5	-	TMR	> 1	1
				9,2	10,1	31,0				
				12,5	8,8	34,1				
				15,5	6,7	35,2				
	je 7	7,2		12,4	35,4					
		10,2		11,3	35,6					
FERRIS <i>et al.</i>	2001	je 12	0,2	13,1	9,3	37,9	≥ 6,2	TMR	> 1	1
				15,4	6,8	39,2				
				1,8	15,5	26,5				
				6,7	15,1	31,7				
				11,3	11,1	32,6				
				16,6	7,0	33,6				
FERRIS <i>et al.</i>	2003	je 12	0,1	4,7	9,9	27,8	≥ 6,2	keine TMR	≥ 1	3
				10,0	10,8	30,8				
				13,7	7,8	32,3				
				18,4	4,6	34,0				
				3,0	8,1	19,0				
				5,3	8,8	23,1				
7,5	7,9	25,8								
9,8	6,6	27,5								
12,0	6,2	28,4								
FRIGGENS <i>et al.</i>	1998	je 12	0,3	5,7	12,1	26,0	-	TMR	> 1	3
				15,2	9,0	36,0				
GORDON	1984	je 28	0,5	3,30	10,1	20,2	-	keine TMR	> 1	3
				4,7	9,8	21,2				
				5,9	9,4	22,6				
				7,1	9,2	23,5				
				8,3	8,9	24,3				
GRUBER <i>et al.</i>	1991	je 27	0,1	0,0	12,8	13,9	< 6,2	keine TMR	> 1	4
				3,9	11,7	16,6				
				9,2	9,4	19,4				
				0,0	13,4	15,4				
GRUBER <i>et al.</i>	1995	je 12	0,8	1,6	13,0	17,3	< 6,2	keine TMR	> 1	4
				5,0	12,0	21,3				

Anhang

Studie	Jahr	n ¹⁾	Dauer ²⁾	kftm ³⁾	gftm ⁴⁾	mkg ⁵⁾	Grob- futter_cl ⁶⁾	Vorlage_cl ⁷⁾	LNR ⁸⁾	Stadium_cl ⁹⁾							
GRUBER <i>et al.</i>	1999	19	0,2	0,0	11,6	10,9	< 6,2	keine TMR	≥ 1	2							
		20		3,7	10,4	15,2											
		22		6,8	9,4	17,5											
		19		0,0	15,0	16,8											
		22		4,4	12,5	18,8											
		18		5,1	12,0	19,7											
HERTEL- BÖHNKE <i>et al.</i>	2018	19	2,0	0,0	17,3	20,1	< 6,2	keine TMR	≥ 1	4							
		19		3,7	14,6	22,1											
		21		4,9	14,1	22,6											
		je		3,7	13,8	22,0											
		16		6,2	13,1	23,4											
		16		3,7	14,3	22,6											
HORN <i>et al.</i>	2014	10	0,1	2,9	13,0	23,2	< 6,2	keine TMR	≥ 1	1							
		11		5,7	12,5	25,5											
		15		3,00	12,5	24,8											
		14		5,50	11,1	24,8											
		HYMØLLER <i>et al.</i>		2014	29	0,4					7,9	13,0	30,0	≥ 6,2	keine TMR	≥ 1	3
					23						9,7	11,3	30,7				
28	7,6		12,3		27,9												
27	9,4		10,8		28,2												
16	6,4		9,7		18,7												
15	8,2		9,2		19,3												
JOHNSON und COMBS	1992	je 8	0,1	5,9	16,7	30,3	-	TMR	> 1	3							
				12,6	12,6	34,4											
KOKKONEN <i>et al.</i>	2000	je 8	0,2	7,6	8,0	25,9	< 6,2	keine TMR	1	1							
				10,1	8,2	28,4			> 1								
				9,3	10,8	37,9											
				12,3	8,9	37,6											
KRAUS <i>et al.</i>	2018	je 24	2,0	4,0	14,9	27,4	≥ 6,2	keine TMR	≥ 1	4							
				6,1	13,8	28,4											
KUOPPALA <i>et al.</i>	2008	je 27	0,2	6,9	17,4	32,2	≥ 6,2	keine TMR	> 1	3							
				10,2	15,0	33,8	< 6,2										
				6,9	13,8	28,9	< 6,2										
				10,3	12,9	32,4	< 6,2										
				6,9	13,0	28,1	≥ 6,2										
				10,3	11,4	30,5	≥ 6,2										
				6,9	12,9	27,2	< 6,2										
				10,3	11,7	30,6	< 6,2										
				6,9	13,7	30,3	≥ 6,2										
				10,3	11,9	32,9	≥ 6,2										
LAWRENCE <i>et al.</i>	2015	je 27	0,2	4,0	11,7	23,3	< 6,2	keine TMR	> 1	1							
				7,0	11,6	25,2											
MACK	1996	11	4,2	2,9	12,4	17,2	< 6,2	keine TMR	1	4							
		13		6,0	11,5	19,7			> 1								
		16		3,3	14,6	18,9											
		10		7,5	13,1	23,7											
		9		2,2	12,6	17,5											
		14		5,2	11,2	19,5											
OLDEN- BROEK	1986	je 24	0,8	0,0	10,5	10,1	-	TMR	1	4							
				6,4	6,4	11,6											
				0,0	13,1	13,7											
				8,2	8,2	18,1											

Anhang

Studie	Jahr	n ¹⁾	Dauer ²⁾	kftm ³⁾	gftm ⁴⁾	mkg ⁵⁾	Grob- futter_cl ⁶⁾	Vorlage_cl ⁷⁾	LNR ⁸⁾	Stadium_cl ⁹⁾	
OLDEN- BROEK	1988	22	0,8	0,0	15,4	15,0	-	TMR	> 1	4	
		16		8,2	8,2	14,2					
		je		0,0	18,4	21,2					
		17		10,0	10,0	23,6					
PATEL <i>et al.</i>	2017	30	2,1	5,3	12,5	24,9	≥ 6,2	keine TMR	1	4	
		31		6,8	11,3	26,4					
		31		9,5	9,6	28,6					
		30		6,6	14,7	29,6			> 1	4	
		31		8,1	13,3	32,0					
		31		10,2	10,6	31,8					
PHIPPS <i>et al.</i>	1984	24	0,3	6,6	6,6	17,8	< 6,2	TMR	≥ 1	3	
		21		10,0	5,4	19,7					
		25		5,2	7,2	17,0					
		22		8,1	6,1	18,5					
PHIPPS <i>et al.</i>	1987	7	0,4	4,3	7,5	15,3	≥ 6,2	keine TMR	1	3	
		6		6,3	5,8	16,7					
		6		8,4	4,9	18,0					
		6		4,3	6,2	13,4	< 6,2				
		6		6,4	5,4	16,1					
		5		8,3	5,2	17,2					
PHIPPS <i>et al.</i>	1988	16	0,3	2,7	8,0	16,7	< 6,2	keine TMR	≥ 1	1	
		15		5,3	7,7	19,9					
		16		7,8	6,9	25,0					
		14		2,7	10,0	20,9	≥ 6,2				
		15		5,3	9,6	23,7					
		je		2,7	8,5	16,8					
14	5,3	8,6	21,2	< 6,2							
PRIES <i>et al.</i>	2009	je	0,7	5,3	12,6	28,0	-	keine TMR	≥ 1	4	
		16		6,6	12,3	29,4					
		16		8,4	12,0	30,3					
RANDBY <i>et al.</i>	2012	je 6	0,3	0,0	16,9	23,7	≥ 6,2	keine TMR	≥ 1	3	
				3,6	17,0	29,1					
				7,0	16,7	32,8					
				9,5	14,2	31,6					
				3,7	14,5	26,7					
				6,7	14,4	29,4	< 6,2	keine TMR	≥ 1	3	
				9,9	12,9	29,2					
				3,7	14,4	25,8					
				7,0	13,3	27,6					
				9,9	11,9	30,8					
12,0	9,3	29,3									
RAULS <i>et al.</i>	2015	je	0,8	5,9	13,7	25,7	≥ 6,2	keine TMR	≥ 1	4	
		16		10,3	8,1	28,5					
		16		9,7	10,8	28,9					
RIJKEMA <i>et al.</i>	1990	je	0,2	11,5	10,3	29,6	< 6,2	keine TMR	> 1	1	
				16	8,9	11,0					28,7
				16	10,6	10,8					29,8
				16	6,8	15,1					30,0
ROBINSON und MCQUEEN	1997	je 3	0,1	12,2	11,8	34,5	< 6,2	keine TMR	> 1	2	
				15,0	8,7	33,9					
				6,4	15,6	31,0					
				12,0	12,6	35,2					
				14,7	9,4	36,6					
				6,3	16,2	32,1					
				12,0	12,7	34,9					
				14,7	9,9	37,7					
SCHMITZ <i>et al.</i>	2018	je	0,3	6,4	13,9	34,6	< 6,2	keine TMR	> 1	3	
		16		9,5	12,5	37,9					
		16		6,4	14,0	36,8	≥ 6,2				
		15		9,3	13,0	38,3					

Anhang

Studie	Jahr	n ¹⁾	Dauer ²⁾	kftm ³⁾	gftm ⁴⁾	mkg ⁵⁾	Grob- futter_cl ⁶⁾	Vorlage_cl ⁷⁾	LNR ⁸⁾	Stadium_cl ⁹⁾
SMITH <i>et al.</i>	1993	je 9	0,1	2,3	7,9	17,1	≥ 6,2	keine TMR	> 1	1
				5,2	7,6	20,2				
				7,8	7,4	22,3				
				2,3	10,1	17,6				
				5,2	10,0	20,6				
				7,8	9,5	21,4				
				2,3	8,4	14,0				
				5,2	8,1	15,4				
				7,8	7,7	16,1				
STEIN- WIDDER und ZEILER	2003	18	0,04	5,4	14,2	25,7	< 6,2	keine TMR	> 1	2
		30		12,0	9,6	27,9				
TAYLOR und LEAVER	1986	je 12	0,5	6,1	9,4	21,5	≥ 6,2	keine TMR	> 1	3
				9,4	8,0	26,2				
				6,2	9,0	21,3				
TESSMANN <i>et al.</i> und DHIMAN <i>et al.</i>	1991 und 1995	je 8	0,8	0,3	18,7	18,9	< 6,2	TMR	> 1	4
				2,7	17,9	21,9				
				5,8	15,3	24,4				
				8,2	14,3	27,3				
				10,1	11,5	28,3				
				0,3	14,7	15,1			1	4
				2,2	14,8	19,7				
				4,8	13,5	22,4				
				6,5	11,3	23,2				
8,5	10,0	23,7								
VEERKAMP <i>et al.</i>	1994	je 73 68 50 56 40 35 25 29	4,0	5,3	12,5	27,6	-	TMR	> 1	3
				11,0	9,0	33,6				
				5,1	11,9	24,9				
				10,5	8,6	29,8			1	
				4,3	10,1	21,6				
				9,4	7,7	26,2				
				4,1	9,7	17,8				
9,2	7,5	21,8								
WEISS und SHOCKEY	1991	je 5	0,1	3,8	17,5	23,8	< 6,2	TMR	> 1	2
				8,5	13,9	27,3				
				13,4	9,7	27,7				
				3,1	14,0	21,1				
				7,4	13,1	26,8				
				12,2	9,6	26,6				

¹⁾ Anzahl Tiere pro Gruppe; ²⁾ in Jahren; ³⁾ Kraftfutter, kg Trockenmasse (TM) pro Kuh und Tag; ⁴⁾ Grobfutter, kg TM pro Kuh und Tag; ⁵⁾ Milchleistung, kg pro Kuh und Tag; ⁶⁾ Energiekonzentration des Grobfutters in Klassen: < 6,2; ≥ 6,2 MJ NEL pro kg TM; ⁷⁾ Kraftfuttermvorlage in Klassen: TMR; keine TMR; ⁸⁾ Laktationsnummer in Klassen: 1 = nur Erstkalbskühe; > 1 = nur Mehrkalbskühe; ≥ 1 = Erstkalbs- und Mehrkalbskühe; ⁹⁾ Laktationsstadium in Klassen: 1 = < 100. Laktationstag (LTG); 2 = 100. bis < 200. LTG; 3 = < 200. LTG; 4 = ≤ Laktationsende

**Futtermittelaufnahme,
kg TM/Kuh und Tag**

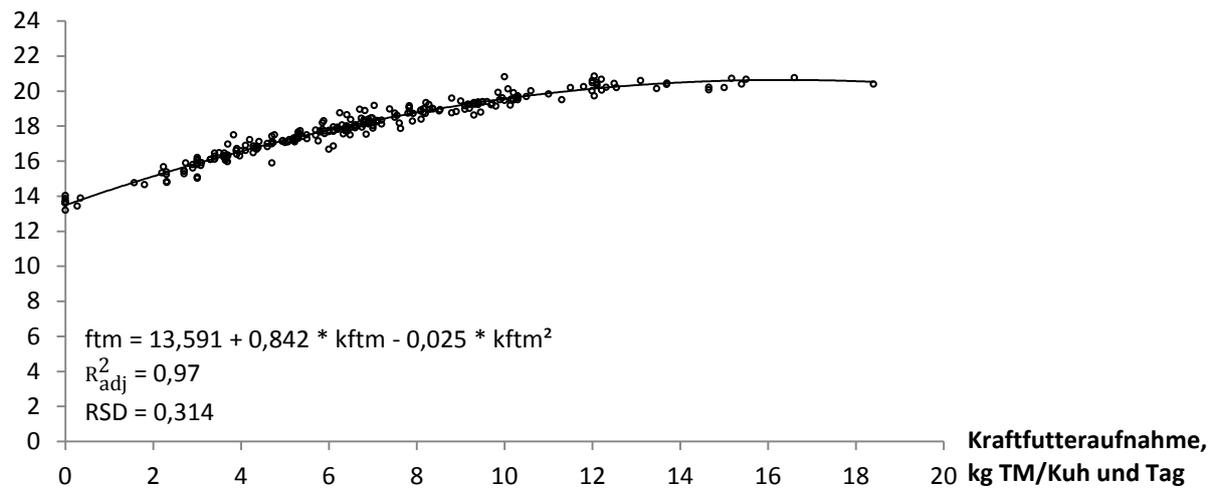


Abbildung A1: Futtermittelaufnahme (ftm) (um den zufälligen Versuchs-Effekt bereinigt) in Abhängigkeit von der Kraftfuttermittelaufnahme (kftm), quadratischer Zusammenhang, $n = 264$ (TM = Trockenmasse)

**Milchleistung,
kg/Kuh und Tag**

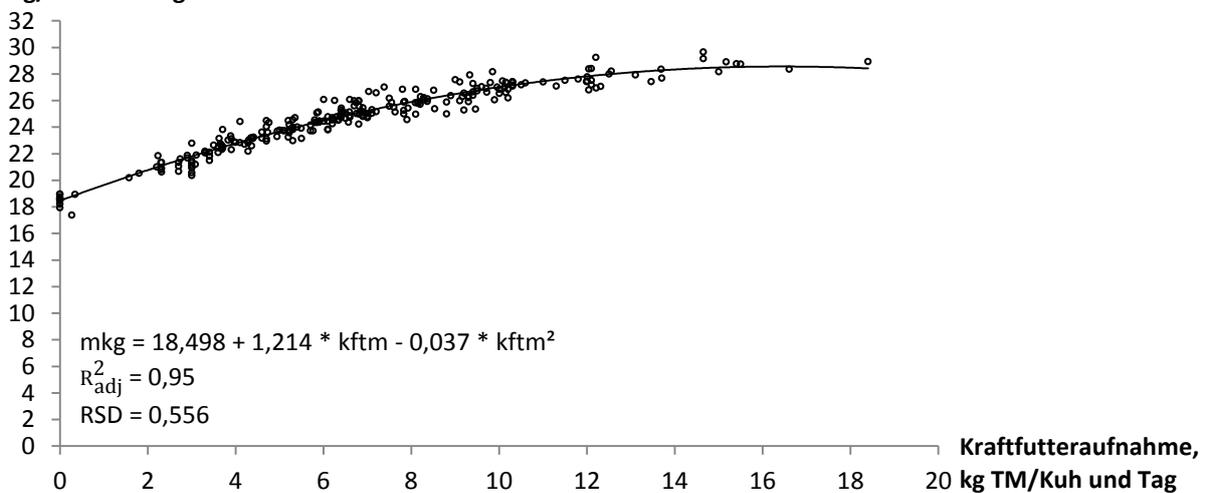


Abbildung A2: Milchleistung (mkg) (um den zufälligen Versuchs-Effekt bereinigt) in Abhängigkeit von der Kraftfuttermittelaufnahme (kftm), quadratischer Zusammenhang, $n = 264$ (TM = Trockenmasse)

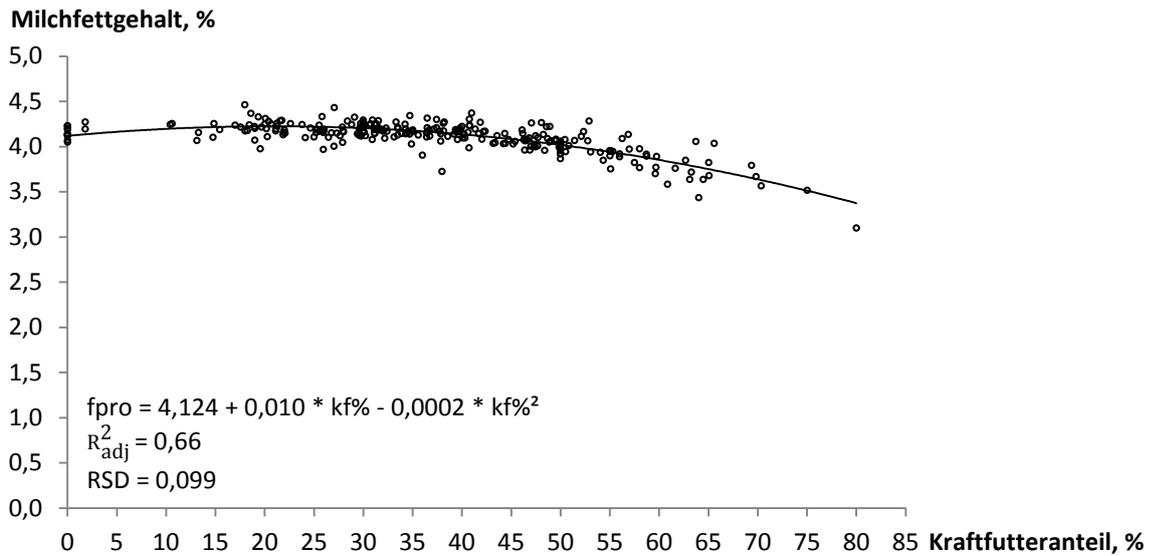


Abbildung A3: Milchfettgehalt (f_{pro}) (um den zufälligen Versuchs-Effekt bereinigt) in Abhängigkeit vom Kraftfutteranteil ($kf\%$) in der Trockenmasse der Ration, quadratischer Zusammenhang, $n = 264$

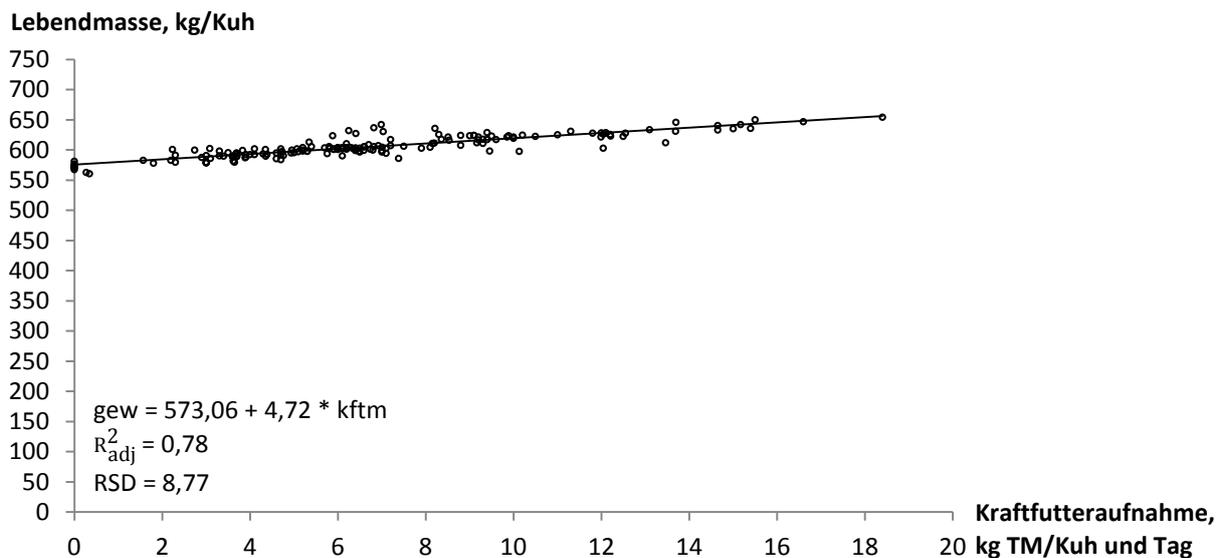


Abbildung A4: Lebendmasse (gew) (um den zufälligen Versuchs-Effekt bereinigt) in Abhängigkeit von der Kraftfutteraufnahme ($kftm$), linearer Zusammenhang, $n = 177$ (TM = Trockenmasse)

Tabelle A2: Gemittelte Inhaltsstoffe der eingesetzten und analysierten Futtermittel, Zeitraum ihres Einsatzes

Bezeichnung	Bemerkung	Zeitraum		n	TM ¹⁾		XP		XF		ADFom		aNDFom		NFC		XL		XA		ME		NEL		nXP		RNB		P		K		Ca		Na		Mg		UDP	
		Beginn	Ende		x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s	x̄	s		
																																								g/kg FM
Grassilage, Rundballen (2016)		06.12.16	13.12.16	2	383	33	155	58	304	32	312	35	430	30	270	30	405	105	3	9,67	0,83	5,70	0,57	129	18	4,09	6,42	5,1	0,6	22,3	1,6	5,6	0,9	1,3	1,0	2,4	0,5	15		
Grassilage, Rundballen Klee gras (2016)		16.11.16	05.12.16	5	419	71	151	15	267	2	285	11	425	13	263	21	331	129	22	9,69	0,55	5,77	0,36	129	8	3,48	1,04	6,0	1,4	29,3	10,0	5,2	0,7	0,5	0,4	1,8	0,3	15		
Grassilage, Silo 2 (2016)		01.08.16	15.11.16	8	440	41	154	7	216	11	227	8	356	22	372	21	270	91	6	11,14	0,16	6,81	0,11	145	3	1,44	0,74	5,0	0,2	24,4	2,2	5,7	0,4	1,5	0,3	2,1	0,1	15		
Grassilage, Silo 7 (2016)		22.06.16	31.07.16	2	334	24	163	4	229	10	249	6	361	24	345	13	323	99	5	10,86	0,03	6,59	0,02	144	1	3,15	0,44	5,4	0,2	28,2	2,7	5,5	0,0	0,7	0,1	2,1	0,1	15		
Grassilage, Silo 11 (2016)		05.05.16	21.06.16	6	432	21	158	13	226	9	245	12	385	9	320	26	276	110	12	10,71	0,19	6,51	0,14	141	1	2,63	2,08	5,7	0,5	32,1	6,0	5,5	0,5	1,1	0,8	1,6	0,2	15		
Grassilage, Silo 2a (2015)		10.07.15	18.08.15	4	366	33	146	11	249	10	268	12	429	19	304	18	274	93	5	10,38	0,32	6,24	0,24	136	5	1,66	1,04	5,0	0,3	26,8	2,8	5,5	0,4	1,0	0,3	2,0	0,1	15		
Grassilage, Silo 2b (2015)		24.03.16	04.05.16	4	224	15	158	24	212	8	228	6	370	17	323	53	371	112	16	10,13	0,17	6,07	0,13	135	5	3,71	2,96	4,5	0,4	26,8	8,1	7,4	0,9	1,4	0,7	2,4	0,4	15		
Grassilage, Silo 5 (2015)		29.10.15	16.12.15	3	308	2	155	7	258	15	299	45	425	34	300	21	334	87	5	9,41	1,54	5,54	1,07	127	18	4,49	1,77	5,1	0,4	23,0	1,9	5,8	0,2	2,7	1,0	2,1	0,0	15		
Grassilage, Silo 8 (2015)		17.12.15	23.03.16	6	343	42	133	6	267	11	288	7	423	15	326	14	314	87	4	9,93	0,11	5,90	0,07	129	2	0,70	0,69	4,7	0,7	21,9	2,0	7,1	1,0	1,6	0,5	2,6	0,2	15		
Grassilage, Silo 9 (2015)		19.08.15	28.10.15	6	364	10	137	23	238	4	264	5	428	4	299	16	302	106	11	10,26	0,34	6,17	0,25	133	5	0,67	3,20	5,4	0,3	33,9	2,9	4,8	0,2	0,7	0,4	1,5	0,2	15		
Grassilage, Silo 3 (2014)		02.12.14	11.01.15	3	462	15	147	2	269	3	288	2	431	10	290	6	331	98	3	10,59	0,13	6,39	0,09	138	1	1,44	0,46	5,9	0,1	29,9	0,6	5,5	0,1	1,5	0,3	2,0	0,1	15		
Grassilage, Silo 4 (2014)		23.04.15	09.07.15	6	341	4	144	9	256	11	281	8	430	16	268	23	352	123	4	9,42	0,12	5,56	0,09	125	2	2,98	1,16	6,1	0,4	27,1	2,3	7,3	0,5	1,7	0,2	2,7	0,2	15		
Grassilage, Silo 9 (2014)		12.01.15	29.04.15	7	366	10	153	14	263	12	291	13	425	17	285	32	353	101	11	10,26	0,28	6,14	0,20	136	4	2,79	1,92	5,6	0,6	31,3	4,3	6,9	1,7	1,1	0,2	2,0	0,2	15		
Gärheu (2014)	zu den Grassilagen gruppiert	25.03.15	22.04.15	1	712		160		314		345		513		224		19		84		8,46		4,87		128		5,20		3,2		16,0		7,4		3,7		2,7		25	
Heu (2016)		16.02.15	11.06.15	7	860	8	94	11	341	20	359	12	559	18	259	13	162	72	6	8,69	0,24	5,01	0,16	113	5	-3,03	1,01	4,1	0,3	17,1	0,8	4,0	0,3	1,3	0,3	1,5	0,2	2,5	0,2	25
Heu (2015)		17.12.15	24.03.16	22	877	18	154	29	258	10	280	6	452	22	276	34	306	88	5	10,40	0,21	6,22	0,15	146	8	1,30	3,31	5,0	0,4	21,4	3,0	6,0	0,8	2,3	0,9	2,6	0,4	2,5	0,4	25
Heu (2014)		08.09.16	13.12.16	7	877	5	119	8	272	13	285	11	502	20	263	26	276	89	6	10,18	0,19	6,06	0,13	134	2	-2,70	0,93	4,9	0,2	22,5	3,5	5,2	0,5	1,5	0,6	2,2	0,4	2,5		
Maissilage, Silo 5 (2016)		02.11.16	13.12.16	5	333	4	73	4	181	5	194	4	311	3	534	9	352	47	5	11,68	0,12	7,19	0,09	138	1	-10,50	0,57	3,4	0,2	11,7	0,6	1,9	0,2	0,1	0,0	1,1	0,1	2,5		
Maissilage, Silo 1 (2015)		15.07.16	01.11.16	8	372	11	71	3	170	6	191	4	302	11	551	19	374	39	6	12,03	0,18	7,45	0,13	141	2	-11,24	0,54	2,8	0,2	9,7	1,0	1,8	0,4	0,1	0,1	1,3	0,2	2,5		
Maissilage, Silo 5 (2015)		18.06.16	14.07.16	2	362	7	70	2	170	7	183	3	301	6	554	14	360	39	6	11,78	0,04	7,26	0,04	138	1	-10,99	0,20	2,7	0,1	10,0	0,4	1,9	0,5	0,1	0,0	1,3	0,1	2,5		
Maissilage, Silo 12 (2015)		01.03.16	17.06.16	8	373	18	70	5	157	3	166	5	286	7	571	13	374	36	3	11,95	0,17	7,38	0,13	140	2	-11,28	0,63	2,7	0,3	9,4	0,6	1,9	0,2	0,1	0,0	1,3	0,2	2,5		
Maissilage, Silo 5 (2014)		01.02.15	24.03.15	3	365	7	80	6	172	6	185	8	341	14	506	4	384	35	8	11,81	0,28	7,26	0,20	141	1	-9,79	1,15	3,1	0,6	10,9	2,2	2,7	0,5	0,2	0,1	1,2	0,3	2,5		
Maissilage, Silo 11 (2014)		20.08.15	29.02.16	12	350	17	76	5	153	7	169	9	293	3	557	8	373	37	3	11,90	0,09	7,35	0,06	141	1	-10,43	0,62	2,9	0,3	9,4	0,8	2,1	0,3	0,1	0,1	1,0	0,2	2,5		
Maissilage, Silo 12 (2014)		21.03.15	19.08.15	9	366	12	77	6	163	6	174	3	306	13	541	14	422	34	4	12,19	0,16	7,55	0,12	144	2	-10,81	0,76	2,9	0,6	9,0	0,8	2,1	0,4	0,2	0,1	1,1	0,2	2,5		
Maissilage, Silo 6 (2013)		10.12.14	31.01.15	3	367	1	71	2	166	4	181	2	326	5	533	4	363	33	1	11,98	0,08	7,40	0,06	141	1	-11,13	0,14	2,2	0,1	9,7	0,9	2,3	0,3	0,2	0,1	1,0	0,1	2,5		
Maissilage, Silo 8 (2013)		02.12.14	09.12.14	2	351	24	64	2	172	1	183	2	332	1	531	4	340	38	1	11,80	0,07	7,27	0,06	137	0	-11,64	0,41	2,2	0,1	10,5	0,5	2,4	0,2	0,2	0,1	1,0	0,0	2,5		
Getreidemix (2016)_AB45	Weizen (25) ²⁾ , Wintergerste (24), Ackerbohnen (45), Mineralfutter (4,5), CaCO ₃ (1,5)	05.05.16	13.12.16	16	898	11	208	7	66	9	70	7	114	19	529	19	208	132	24	12,00	0,40	7,58	0,27	167	5	6,21	1,83	7,4	1,4	9,9	0,8	22,3	5,8	5,2	1,6	6,2	2,1	18		
Getreidemix (2016)_AB21	Weizen (35), Wintergerste (38), Ackerbohnen (21), Mineralfutter (4,5), CaCO ₃ (1,5)	21.01.16	04.05.16	7	899	9	156	9	49	10	57	12	119	16	617	30	173	91	31	12,58	0,48	8,01	0,33	165	5	-1,44	1,58	5,5	0,3	7,3	0,6	15,9	7,3	3,2	1,6	3,9	1,3	20		
Getreidemix (2015)	Weizen (40), Wintergerste (43), Ackerbohnen (11), Mineralfutter (4), CaCO ₃ (1,5), NaCl (0,5)	02.12.14	20.01.16	27	897	4	142	4	40	7	46	11	120	19	619	17	192	99	21	12,56	0,40	8,01	0,28	163	4	-3,26	0,80	5,3	0,3	7,0	0,9	18,1	4,8	5,7	1,6	4,2	1,1	21		
EWM34	RES ³⁾ (75), Leinextraktionsschrot (10), DDGS ⁴⁾ (6,75), Sojaextraktionsschrot HP (4), Malzkeime (2,5), Melasse (1,75)	29.09.15	10.12.15	6	897	4	349	7	136	2	211	4	264	6	292	4	213	74	2	11,85	0,11	7,24	0,08	239	2	17,58	0,87	14,0	0,6	14,8	0,7	7,8	0,3	1,4	1,4	3,8	1,4	35		
RES ²⁾ (2016)		11.12.15	13.12.16	24	880	6	362	12	152	4	227	10	301	15	238	16	163	83	6	11,75	0,09	7,17	0,05	243	5	19,09	1,21	15,5	0,7	14,2	0,6	7,9	0,5	0,7	0,4	4,4	0,3	35		
RES (2015)		02.12.14	28.09.15	22</																																				

Tabelle A3: Abkürzungsverzeichnis der Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle A2

Abkürzung	Bezeichnung
ADFom	Säure-Detergenz-Faser
aNDFom	Neutrale-Detergenz-Faser
Ca	Calcium
FM	Frischmasse
K	Kalium
ME	Umsetzbare Energie
Mg	Magnesium
Na	Natrium
NEL	Netto-Energie-Laktation
NFC	Nicht-Faser-Kohlenhydrate
nXP	nutzbares Rohprotein
P	Phosphor
RNB	Ruminale-Stickstoff-Bilanz
TM	Trockenmasse
UDP	in den Vormägen nicht abgebautes Protein
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein

Tabelle A4: Ausschlusskriterien im Rahmen der Qualitätssicherung für Futteraufnahmedaten erfasst am Fress-Wiegetrog-System (RIC)

Kriterium: Futteraufnahme (ftm, kg Frischmasse) / Besuchsdauer (s) / Fressgeschwindigkeit (kg/min) / jeweils pro Besuch / sonstiges	Korrektur: automatisch (auto) in Access oder manuell	Begründung	Ausschluss von Daten (%)
pro Besuch (n = 1 690 414)			
$0 > \text{ftm} \geq -0,1$	auto, ftm = 0	ftm zu vernachlässigen	0,46
$\text{ftm} \leq -0,1$ & Besuchsdauer ≤ 20	auto, ftm = 0	in dieser Zeit keine relevante ftm möglich	0,01
$\text{ftm} \leq -0,1$ & Besuchsdauer > 20	manuell: Abgleich mit Anfangs-/Endgewicht vorheriger/nachfolgender Besuch, wenn keine Abweichung, wurde anhand einer mittleren Fressgeschwindigkeit korrigiert (laktierend 0,227; trocken 0,143)	Ursachen für negative Futteraufnahme: Befüllung bei nicht verriegeltem Tor, Trog lag nicht korrekt auf Wiegefüßen auf, Futter zwischen geöffnetem Tor & Trog	0,04
$\text{ftm} > 0,4$ & Besuchsdauer = 0	auto, ftm = 0	ftm = 0,4 entspricht ca. einem Happen, höhere Futteraufnahme nicht realistisch	0,00
$\text{ftm} \leq 0,4$ & Besuchsdauer ≤ 20 & Fressgeschwindigkeit $> 1,0$	keine Korrektur	ftm = 0,4 entspricht etwa einem Happen.	-
$\text{ftm} > 0,4$ & Besuchsdauer ≤ 20 & Fressgeschwindigkeit $> 1,0$	auto, ftm = 0,1	bei einer Besuchsdauer ≤ 20 trat eine ftm = 0,1 am häufigsten auf	0,02
laktierend: $\text{ftm} > 1,0$ & $20 < \text{Besuchsdauer} < 2\ 046$ & $0,04 > \text{Fressgeschwindigkeit} > 0,783$ trocken: $\text{ftm} > 1,0$ & $20 < \text{Besuchsdauer} < 2\ 344$ & $0,02 > \text{Fressgeschwindigkeit} > 0,570$	manuell, ftm anhand einer mittleren Fressgeschwindigkeit korrigieren (laktierend 0,227; trocken 0,143)	$\text{ftm} > 1,0$ werden als relevant betrachtet, Grenzen für Fressgeschwindigkeit & maximale Besuchsdauer wurden anhand einer maximalen Abweichung von 3 Standardabweichungen festgelegt	0,03
pro Tag (n = 35 879)			
laktierend: $\text{ftm} > 1,0$ & Besuchsdauer $> 2\ 046$ & $0,04 > \text{Fressgeschwindigkeit} > 0,783$ trocken: $\text{ftm} > 1,0$ & Besuchsdauer $> 2\ 344$ & $0,02 > \text{Fressgeschwindigkeit} > 0,570$	Tagesfutteraufnahme des Tieres verwerfen	Problematik nicht schließender Tore, z. B. aufgrund verdrehter Reflektoren.	0,08
laktierend: $\text{ftm} > 1,0$ & Besuchsdauer $> 2\ 046$ & $0,122 > \text{Fressgeschwindigkeit} > 0,280$ trocken: $\text{ftm} > 1,0$ & Besuchsdauer $> 2\ 344$ & $0,02 > \text{Fressgeschwindigkeit} > 0,177$	manuelle Kontrolle: wurden für das Tier zum Zeitpunkt des außergewöhnlich langen Trogbesuchs parallele Trogbesuche aufgezeichnet? wenn ja, Tagesfutteraufnahme des Tieres wurde verworfen	parallele Trogbesuche wurden als Indikator gesehen für die Problematik nicht schließender Tore.	0,10
sonstiges: außergewöhnliches Ereignis laut Versuchstagebuch	manuelle Kontrolle des Versuchstagebuchs, Tagesfutteraufnahme des Tieres wurde verworfen	Notiz im Versuchstagebuch	0,72
sonstiges: starke Schwankung der Tagesfutteraufnahme im Laktationsverlauf	manuelle Kontrolle durch graphische Darstellung der Futteraufnahme im Laktationsverlauf des Einzeltiers & Abgleich mit anderen Daten (z. Bsp. Krankheitsdaten)	durch Datenabgleich wurde keine Begründung für die außerordentliche Tagesfutteraufnahme gefunden	0,70

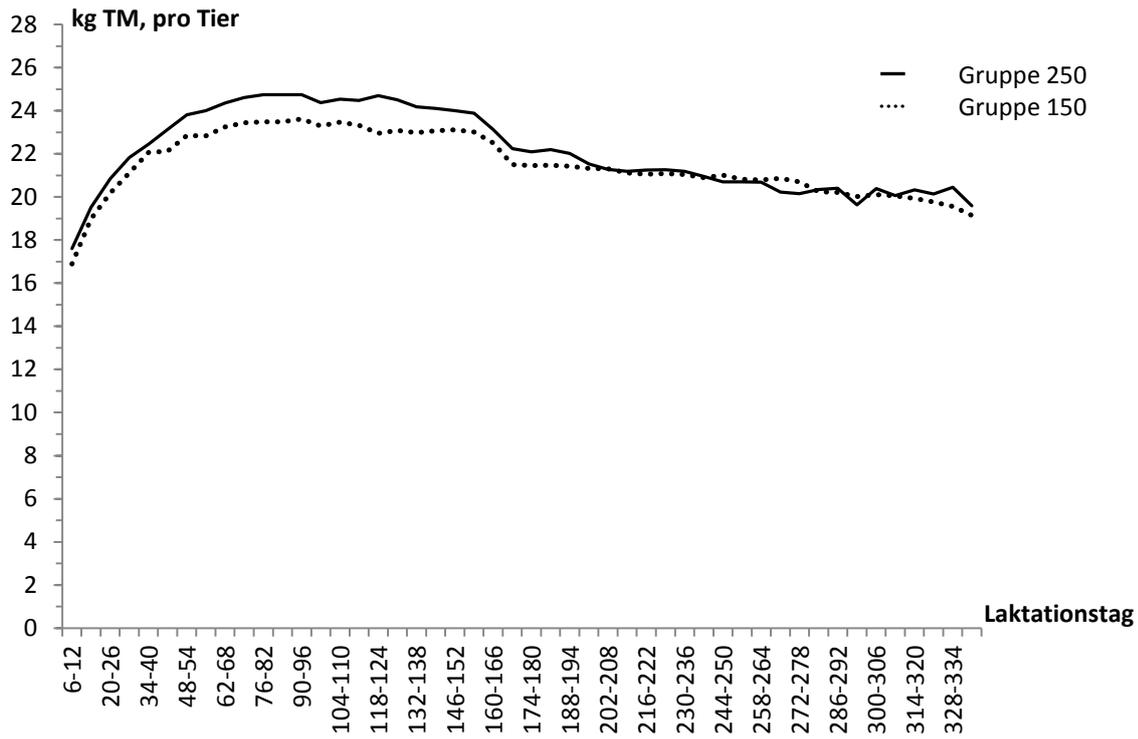


Abbildung A5: Verlauf der Futterraufnahme der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation; berechnet durch Mittelwertbildung pro Gruppe und Laktationswoche (TM = Trockenmasse)

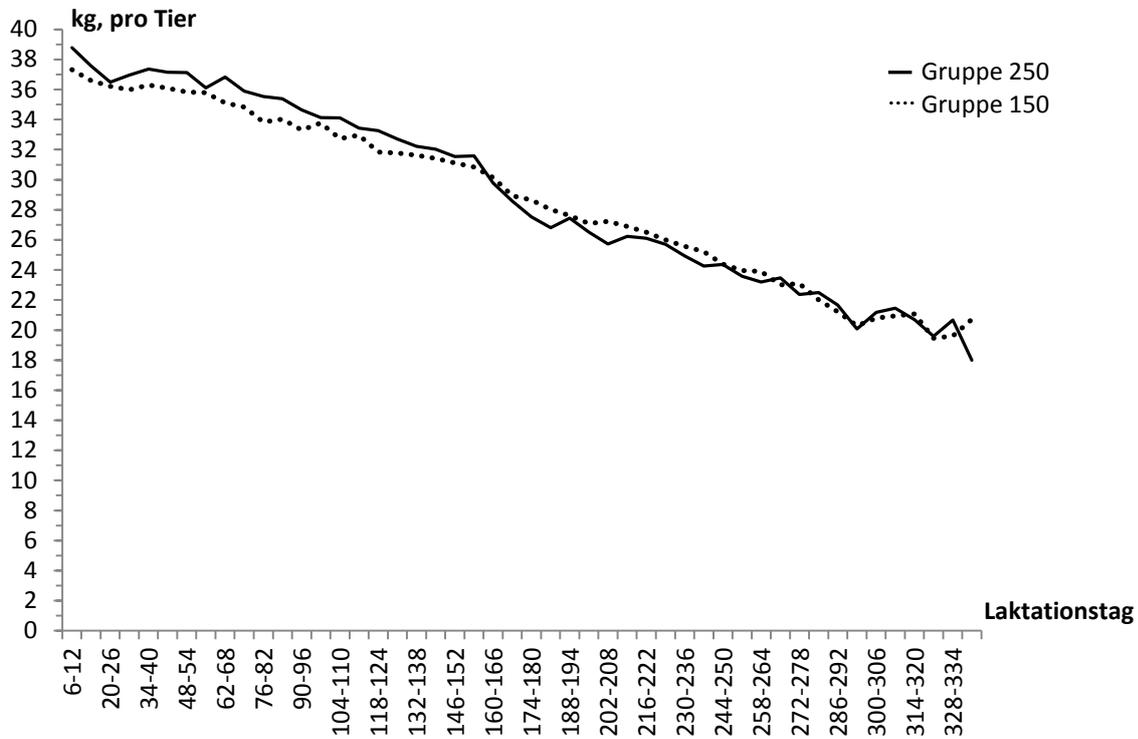


Abbildung A6: Verlauf der energiekorrigierten Milchleistung der Gruppe 250 und der Gruppe 150 in der Laktation; berechnet durch Mittelwertbildung pro Gruppe und Laktationswoche

Tabelle A5: Durchschnittliche Konzentration der Fettsäuren, Fettsäuregruppen oder durchschnittliches Verhältnis der Konzentration ausgewählter Fettsäuren im Milchfett (Probetermin 5, 28 und 100 Tage p.p.; n=203).

Merkmal	\bar{x}	s	Merkmal	\bar{x}	s
Fettsäuren			$\Sigma C18:2t11c15, t9c11$	0,2	0,1
C04:0	4,1	0,7	C18:2c9c12	1,4	0,2
C06:0	2,5	0,3	C20:0	0,1	0,0
C08:0	1,5	0,2	C20:1c9	0,1	0,0
C10:0	3,4	0,7	$\Sigma C20:1c11,$	0,4	0,1
C10:1c	0,3	0,1	C18:3c9c12c15		
C12:0	3,8	0,9	C18:2c9t11	0,4	0,1
<i>C12:0i¹⁾</i>	0,0	0,0	C20:4n-6	0,1	0,0
C12:0ai	0,1	0,0	C20:5n-3	0,1	0,0
$\Sigma C12:1c, C13:0$	0,2	0,1	Fettsäuren gruppiert		
<i>C13:0i</i>	0,1	0,0	GFS ²⁾	70,7	4,9
C14:0	11,8	1,8	UFS	28,7	4,9
C14:0i	0,2	0,0	EUFS	26,1	4,6
C14:0ai	0,4	0,1	MUFS	2,6	0,4
C14:1c	0,7	0,2	KKFS	11,6	1,1
C15:0	1,2	0,4	MKFS	49,1	6,2
C15:0i	0,2	0,1	LKFS	38,6	6,7
C16:0	30,3	3,4	UKFS	2,7	0,4
C16:0i	0,3	0,0	VKFS	1,8	0,2
<i>C16:0ai</i>	0,2	0,0	$\Sigma C10-15i$ ³⁾	22,4	4,0
C16:1c	2,0	0,4	Fettsäuren Verhältnisse		
C17:0	0,7	0,1	C15/C17 ⁴⁾	1,6	0,5
C17:0ai	0,3	0,1	$\Sigma C10-15i/LKFS_{mod}$ ⁵⁾	0,7	0,2
C18:0	9,3	2,0	OA/C15 ⁶⁾	16,1	7,8
$\Sigma C18:1t6-13$	1,4	0,3	OA/denovo ⁷⁾	0,4	0,2
$\Sigma C18:1c9-13$	21,2	4,5	n-6/n-3 ⁸⁾	4,3	0,8
$\Sigma C18:1c14, t16$	0,3	0,0	C16c/C15 ⁹⁾	1,8	0,9
$\Sigma C18:1c15, C19:0$	0,2	0,0			

¹⁾ kursiv gedruckt: durchschnittliche Konzentration an den drei Probeterminen < 0,2 g pro 100 g FS; ²⁾ Abkürzungen vgl. Tabelle 12; ³⁾ $\Sigma(C10:0$ bis einschließlich C15:0i);

⁴⁾ $\Sigma(C15:0, C15:0i)/\Sigma(C17:0, C17:0ai)$; ⁵⁾ $\Sigma(C10:0$ bis C15:0i)/ $\Sigma(C16:0i$ bis einschließlich C20:5n-3), ohne ($\Sigma C18:1c14, t16$), ($\Sigma C18:1c15, C19:0$), C18:2c9c12, C20:1c9;

⁶⁾ $\Sigma C18:1c9-13/\Sigma(C15:0, C15:0i)$; ⁷⁾ $\Sigma C18:1c9-13/\Sigma(C06:0, C08:0, C10:0, C12:0, C14:0, C16:0)$; ⁸⁾ $\Sigma(C20:1c11, C18:3c9c12c15, C20:5n-3)/\Sigma(C18:2t11c15, t9c11, C18:2c9c12, C18:2c9t11, C20:4n-6)$; ⁹⁾ C16:1c/C15:0

Danksagung

Bei Herrn Professor Dr. Rodehutschord, dem Leiter des Fachgebiets Tierernährung der Uni Hohenheim, bedanke ich mich für die freundliche, hilfsbereite und zielgerichtete Betreuung meiner Dissertation.

In gleichem Maße gilt mein Dank Herrn Dr. Steingäß vom selben Fachgebiet, der, obwohl schon im Ruhestand, immer für eine intensive Diskussion der Versuchsergebnisse zur Verfügung stand. Seine wertvollen Hinweise während der Ausarbeitung waren nicht selbstverständlich und haben mir sehr geholfen.

Ganz herzlich bedanke ich mich bei Herrn Dr. Jilg, Frau Dr. Herre, Herrn Schweizer, Herrn Reutlinger, allen Stall- und Hofmitarbeitern des LAZBW Aulendorf sowie allen weiteren Kollegen. Ohne deren konsequente Unterstützung und Mitarbeit wäre die aufwändige Versuchsdurchführung nicht möglich gewesen. Neben der fachlichen Zusammenarbeit halte ich diese Zeit auf dem Atzenberg auch wegen des kollegialen Austausches und den Gelegenheiten des persönlichen Kennenlernens in besonderer Erinnerung.

Den Mitarbeitern des LAZBW am Standort Milchwirtschaft Wangen, Herrn Dr. Kitzelman, Frau Dr. Wiedemann, Frau Thienel und Herrn Piontek sowie dem gesamten Team der Analytik, gilt ein besonderer Dank für das zur Verfügung stellen des Labors und die Hilfe während der zeitaufwändigen Aufbereitung der Milchproben.

Ebenso bedanke ich mich bei allen Mitstreitern im Projekt „optiKuh“, insbesondere beim Projektkoordinator Herrn Prof. Dr. Spiekers sowie den im Projekt beteiligten Doktoranden, für die gemeinsame Durchführung des Verbundprojekts und den interessanten fachlichen Dialog.

Ich bedanke mich bei Herrn Dr. Stamer und Frau Dr. Karsten von der TiDa GmbH für die Unterstützung bei der Datenaufbereitung und bei Herrn Dr. Möhring von der Biostatistik der Uni Hohenheim für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Den Tierärzten des RGD, den Herren Dr. Albrecht, Dr. Seeger und Dr. Banzhaf, und den Laborantinnen Frau Neth und Frau Feidl des STUA danke ich für die verlässliche Zusammenarbeit bei der Gewinnung und Aufbereitung der Blutproben.

Schließlich geht ein großes Dankeschön an meine Familie, die mich mit viel Geduld, Rücksicht und aktiver Mithilfe unterstützt hat. Die abwechslungsreichen Gelegenheiten zum Kraft tanken, die ihr mir geboten habt, waren für mich sehr wichtig. Danke, Maria, Johannes, Matthias, Theresa, Alois und Brigitte!