

Aus dem Institut für Tierzucht und Tierhaltung
der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**ANALYSE DER FUTTERAUFNAHME UND DER
ENERGIEBILANZMERKMALE BEI HOCHLEISTENDEN,
ERSTLAKTIERENDEN MILCHKÜHEN**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

M. Sc. agr.

HAUKE HÜTTMANN

aus Oldendorf, Schleswig-Holstein

Dekan: Prof. Dr. J. Krieter

Erster Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. E. Kalm

Zweiter Berichterstatter: Prof. Dr. K.-H. Südekum

Tag der mündlichen Prüfung: 17. Juli 2007

Die Dissertation wurde mit dankenswerter finanzieller Unterstützung der
Innovationsstiftung Schleswig-Holstein angefertigt.

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis	Seite
Verzeichnis der Abkürzungen	III
Verzeichnis der Abbildungen im Text	V
Verzeichnis der Abbildungen im Anhang	VI
Verzeichnis der Tabellen im Text	VII
Verzeichnis der Tabellen im Anhang	IX
1 EINLEITUNG	1
2 LITERATURÜBERSICHT	2
2.1 Regulation der Futtermittelaufnahme	2
2.2 Einflussfaktoren auf die Futtermittelaufnahme	3
2.2.1 Tierbedingte Einflussfaktoren	4
2.2.2 Umweltbedingte Einflussfaktoren	9
2.2.2.1 Das Futtermittel betreffende Einflussfaktoren	9
2.2.2.2 Einflussfaktoren aus Klima, Haltung, Technik und Management	12
2.3 Postpartales Energiedefizit	14
2.4 Züchterische Aspekte der Futtermittelaufnahme	21
2.4.1 Messung der Futtermittelaufnahme	21
2.4.2 Genetische Parameter der Futtermittelaufnahme	22
2.4.3 Ökonomische Bedeutung der Futtermittelaufnahme	25
2.4.4 Berücksichtigung der Futtermittelaufnahme in der Rinderzucht	28
2.4.4.1 Futtermittelverwertung/-aufwand	29
2.4.4.2 Restfuttermittelaufnahme	31
2.4.4.3 Energiebilanz	32
3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN	34
3.1 Allgemeine Versuchsbedingungen	34
3.1.1 Aufbau und Funktion des Milchviehstalles	34

3.1.2	Aufbau und Funktion der Grundfutteranlage	37
3.1.2.1	Die Konstruktion der Grundfutteranlage	38
3.1.2.2	Installation der Elektrik	41
3.1.2.3	Software und Datenverkehr der Grundfutteranlage	44
3.2	Datenerfassung, -aufbereitung und Auswertungsmaterial	51
3.2.1	Herdenstruktur und genetische Verknüpfung	51
3.2.2	Milchmenge, Milchinhaltsstoffe, Lebendgewicht und Body Condition Score	53
3.2.3	Fütterung, Futtermittel und Futteraufnahme	54
3.2.4	Berechnung der Energiebilanz	61
3.3	Auswertungen täglicher Beobachtungswerte	62
3.3.1	Autokorrelationen zwischen aufeinander folgenden Tagen	66
3.3.2	Auswirkungen der Berücksichtigung der Kovarianzstrukturen auf die Rangkorrelation der Kuheffekte und auf die fixen Effekte	74
3.3.3	Systematische Einflussfaktoren und Laktationskurven	77
3.3.4	Schätzung der Wiederholbarkeiten, Heritabilitäten und Korrelationen mit der Fixed Regression Modellvariante	83
3.3.5	Schätzung der Wiederholbarkeiten, Heritabilitäten und Korrelationen mit der Random Regression Modellvariante	87
3.4	Beziehung zwischen Energiebilanz- und Teillaktationsmerkmalen	95
3.4.1	Datenaufbereitung und Merkmalsdefinition	95
3.4.2	Auswertungsmethodik	98
3.4.3	Ergebnisse	100
4	DISKUSSION	104
5	ZUSAMMENFASSUNG	124
6	SUMMARY	125
7	LITERATURVERZEICHNIS	126
8	ANHANG	147

Verzeichnis der Abkürzungen

ADF	acid detergent fiber
ASCII	American Standard Code for Information Interchange, ein Zeichencode entwickelt von der ANSI (früher ASA) zum Nachrichtenaustausch in Computersystemen
BCS	body condition score
Betoplan	Betonschalungsplatte
BLUP	best linear unbiased prediction
C++	standardisierte, höhere Programmiersprache
c. p.	ceteris paribus
ECM	Energiekorrigierte Milchmenge
FECM	Fett- und Eiweißkorrigierte Milchmenge
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
h^2	Heritabilität
HF	Holstein-Friesian
ID	Identität
IGF-I	insulin-like growth factor I
KH	Kohlenhydrate
LG	Lebendgewicht
LTG	Laktationstag
LRT	Likelihood-Ratio-Test
MCal	Megakalorien
ME	metabolizable energy
MJ	Megajoule
N	Stickstoff
NDF	neutral detergent fiber
NEFA	non-esterified fatty acids
NEL	Netto Energie Laktation
NRC	US National Research Council
nXP	nutzbares Rohprotein
pH	potentia Hydrogenii
PPGF	Glasfaserverstärktes Polypropylen
r_a	additiv-genetische Korrelation

r_e	Residualkorrelation
r_p	phänotypische Korrelation
r_t	tierbedingte Korrelation
RFI	residual feed intake
RIC	roughage intake control
RNB	ruminale Stickstoffbilanz
SRAM	static random access memory
SW	Strukturwert
TM	Trockenmasse
TMR	Totale bzw. Teilmischung
w	Wiederholbarkeit
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein

Verzeichnis der Abbildungen im Text

Abbildung 1:	Regulation der Futteraufnahme nach GRUBER et al. (2001)	3
Abbildung 2:	Erweiterter Grundriss des Milchviehstalles seit August 2005	34
Abbildung 3:	Konstruktion der Brücke 1 (Seitenansicht und Aufsicht)	35
Abbildung 4:	Gesamtkonzept Datenerfassung	37
Abbildung 5:	Aufsicht Futtertischfeld	39
Abbildung 6:	Anschweißpunkte der Konsole	39
Abbildung 7:	Maße Fressgitter	40
Abbildung 8:	Seitenansicht Anbringung und Aufbau der Konsole	41
Abbildung 9:	Anordnung Schaltkasten	42
Abbildung 10:	Bustopologie und Terminierung	44
Abbildung 11:	Gewichtsveränderungen des Troges bei einem Befüllungsvorgang	46
Abbildung 12:	Gewichtsverlauf des Futtertroges während eines Fressvorganges	46
Abbildung 13:	Verknüpfung der drei Zustände Neutral (Startzustand), Test und Aufnahme	47
Abbildung 14:	Zusammenhänge zwischen Zustandswechsel, erkanntem Fressvorgang und Befüllung bzw. Entleerung (ID = Identität)	48
Abbildung 15:	Anzahl der Färsen und Kühe in dem Beobachtungszeitraum	52
Abbildung 16:	Verteilung der Anzahl der Töchter in Abhängigkeit vom Vater (mindestens vier Töchter)	52
Abbildung 17:	Verlauf des Trockenmassegehaltes (TM-Gehalt) der Mischrationen über den Beobachtungszeitraum	55
Abbildung 18:	Synchronismusverhältnisse (g N / kg KH) der einzelnen Rationen	56
Abbildung 19:	Tägliche Anzahl an Erkennungen und Fehlerkennungen im Beobachtungszeitraum	59
Abbildung 20:	Die höchsten 100 Rohwerte für die TMR-Aufnahme (kg TM TMR / Tag)	60
Abbildung 21:	Residuen-Schätzwertplot des Modells I für die Futteraufnahme (kg TM / Tag)	63
Abbildung 22:	Anzahl an beobachteten Tieren und erhobenen Milchleistungen und Futteraufnahmen an den einzelnen Laktationstagen	65
Abbildung 23:	Einfluss des Beobachtungstags auf die tägliche energiekorrigierte Milchmenge (LSQ-Mittelwerte)	77
Abbildung 24:	Einfluss des Beobachtungstags auf die tägliche Futteraufnahme (LSQ-Mittelwerte)	78

Abbildung 25:	Einfluss des Beobachtungstags auf das tägliche Lebendgewicht (LSQ-Mittelwerte)	78
Abbildung 26:	Einfluss des Beobachtungstags auf die tägliche Energiebilanz (LSQ-Mittelwerte)	79
Abbildung 27:	LSQ-Mittelwerte der BCS-Note an den einzelnen Beurteilungstagen	80
Abbildung 28:	Entwicklung der energiekorrigierten Milchmenge (ECM), der Futteraufnahme und der Energiebilanz im Verlauf der Laktation	81
Abbildung 29:	Entwicklung des Lebendgewichts (LG) und der Körperkondition (BCS) im Verlauf der Laktation	82
Abbildung 30:	Residuen-Schätzwerteplot des Modells IV für die mittlere Energiebilanz (MJ NEL / Tag) vom 11. bis 50. Laktationstag	100

Verzeichnis der Abbildungen im Anhang:

Abbildung A1:	Verkabelung linker Schaltkasten	147
Abbildung A2:	Verkabelung rechter Schaltkasten (Sicherungsplatinen)	147
Abbildung A3:	rechter Schaltkasten (Datenverkehr)	148
Abbildung A4:	Anschlussplan Wiegerechner	148
Abbildung A5:	Residuen-Schätzwerteplot des Modells I für die Milchmenge (kg ECM / Tag)	149
Abbildung A6:	Residuen-Schätzwerteplot des Modells I für das Lebendgewicht (kg / Tag)	149
Abbildung A7:	Residuen-Schätzwerteplot des Modells I für die Energiebilanz (MJ NEL / Tag)	150
Abbildung A8:	Varianz-Kovarianz-Matrizen der Resteffekte des Lebendgewichts	150
Abbildung A9:	Varianz-Kovarianz-Matrizen der Resteffekte des Lebendgewichts	150

Verzeichnis der Tabellen im Text

Tabelle 1:	Veröffentlichte Heritabilitäten für die Futter- bzw. Energieaufnahme	23
Tabelle 2:	Veröffentlichte genetische Korrelationen zwischen Futteraufnahme (TM) und Milchmenge (n = Stichprobenumfang)	25
Tabelle 3:	Veröffentlichte ökonomische Gewichte der Futteraufnahme	27
Tabelle 4:	Aufbau eines Nachrichtenpaketes	50
Tabelle 5:	Aufbau der verschiedenen Nachrichtentypen	50
Tabelle 6:	Väterliche Großväter mit mehr als zehn Färsen in der Herde	53
Tabelle 7:	Verteilung der Inzuchtkoeffizienten	53
Tabelle 8:	Zusammensetzung und Inhaltsstoffe der aufgewerteten Teilmischung	57
Tabelle 9:	Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) der täglichen Dauer und der Anzahl der Erkennungen am Futtertrog sowie der TMR-Aufnahme in Abhängigkeit von der Laktationsnummer	58
Tabelle 10:	Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte, Standardabweichungen und Wertebereich der aufbereiteten Daten	61
Tabelle 11:	Definition und Verteilung der Erstkalbealtersklassen	63
Tabelle 12:	Übersicht Datensatz I (Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte, Standardabweichungen und Wertebereich)	64
Tabelle 13:	Überschreitungswahrscheinlichkeiten der fixen Einflussfaktoren auf die täglichen Beobachtungen der energiekorrigierten Milchmenge (kg ECM / Tag), der Futteraufnahme (kg TM / Tag), des Lebendgewichts (kg / Tag), der Energiebilanz (MJ NEL / Tag) und auf die Körperkondition	65
Tabelle 14:	Bezeichnung der verschiedenen getesteten Modellvarianten	69
Tabelle 15:	Anzahl der Beobachtungen, Anteil an aufgefüllten Fehlern sowie Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) der aufgefüllten Daten im jeweiligen Merkmal	70
Tabelle 16:	Geschätzte Restvarianzen, Log-Likelihood-Werte sowie LRT-Ergebnisse für ausgewählte Modellvarianten der analysierten Merkmale	71
Tabelle 17:	Geschätzte Restvarianzen, Log-Likelihood-Werte sowie LRT-Ergebnisse für die Modellvarianten FR VC sowie RR P2 VC des Merkmals Körperkondition	74
Tabelle 18:	F-Werte und Signifikanzen der fixen Effekte der analysierten Merkmale bei ausgewählten Modellvarianten	75
Tabelle 19:	Spearman'sche Rangkorrelationen und höchste Rangverschiebungen der Kuheffekte in den einzelnen Merkmalen	76
Tabelle 20:	Einfluss der Erstkalbealtersklasse (1–5) auf die täglichen Merkmale energiekorrigierte Milchmenge (kg ECM / Tag), Futteraufnahme (kg TM / Tag), Lebendgewicht (kg / Tag), Energiebilanz (MJ NEL / Tag) und die Körperkondition (BCS-Note) (LSQ-Mittelwerte (LSM) und Standardfehler (SE))	81

Tabelle 21:	Kuh- (σ^2_k) und Restvarianzen (σ^2_e) sowie Wiederholbarkeitskoeffizienten (w) und deren Standardfehler (SE_w) der Merkmale Futteraufnahme, Milchmenge, Lebendgewicht, Energiebilanz und Körperkondition	83
Tabelle 22:	Phänotypische (r_p , oberhalb der Diagonalen) und tierbedingte Korrelationen (r_t , unterhalb der Diagonalen) zwischen den Merkmalen Futteraufnahme (FUATM), Milchmenge (ECM), Lebendgewicht (LG), Energiebilanz (EB) und Körperkondition (BCS)	84
Tabelle 23:	Additiv-genetische Varianz (σ^2_a), permanent umweltbedingte Varianz (σ^2_{pe}) und Restvarianz (σ^2_e) für die Merkmale Futteraufnahme, energiekorrigierte Milchmenge, Lebendgewicht, Energiebilanz und Körperkondition	85
Tabelle 24:	Heritabilitäten (h^2), permanente Varianzanteile (pe^2) und deren Standardfehler ($\pm SE_{h^2}$, $\pm SE_{pe^2}$) für die Merkmale Futteraufnahme, energiekorrigierte Milchmenge, Lebendgewicht, Energiebilanz und Körperkondition	86
Tabelle 25:	Genetische Korrelationen und deren Standardfehler zwischen den täglichen Merkmalen Futteraufnahme (FUATM), Milchmenge (ECM), Lebendgewicht (LG), Energiebilanz (EB) und der Körperkondition (BCS)	87
Tabelle 26:	Definition der Laktationsabschnitte im Random Regression Modell	89
Tabelle 27:	Wiederholbarkeiten (Diagonalelemente) und tierbedingte Korrelationen der analysierten Merkmale an und zwischen den Laktationsabschnitten	90
Tabelle 28:	Tierbedingte Korrelationen zwischen den Merkmalen in den verschiedenen Laktationsabschnitten	91
Tabelle 29:	Heritabilitäten (Diagonalelemente) und genetische Korrelationen der analysierten Merkmale an und zwischen den Laktationsabschnitten	92
Tabelle 30:	Genetische Korrelationen zwischen den Merkmalen in den verschiedenen Laktationsabschnitten	94
Tabelle 31:	Übersicht über die aus dem Datensatz I gezogenen Tagesdaten der 63 Erstlaktierenden (Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte, Standardabweichungen und Wertebereich)	96
Tabelle 32:	Mittlere Anzahl an Beobachtungen je Tier sowie Mittelwerte und Standardabweichungen der un-/aufgefüllten Merkmale	97
Tabelle 33:	Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichungen (s) und Wertebereich der Energiebilanz- sowie der Teillaktationsmerkmale	97
Tabelle 34:	Besetzung der Erstkalbealtersklassen und der Kalbesaison	98
Tabelle 35:	Besetzung der Klassen der Teillaktationsmerkmale über die ersten 100 Laktationstage	99
Tabelle 36:	Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf die mittlere Energiebilanz vom 11. bis 50. Laktationstag (p-Werte, LSQ-Mittelwerte und paarweiser Mittelwertvergleich)	101
Tabelle 37:	Residualkorrelationen zwischen den Energiebilanzmerkmalen	102
Tabelle 38:	Residualkorrelationen zwischen den Energiebilanz- und den Teillaktationsmerkmalen	103

Verzeichnis der Tabellen im Anhang:

Tabelle A1:	Zusammensetzung der Vormischung (in % der Frischmasse)	151
Tabelle A2:	Überschreitungswahrscheinlichkeiten (p-Werte) des F-Tests für die Erstkalbealterklasse bei den verschiedenen Kombinationen in Abhängigkeit vom Energiebilanzmerkmal und vom Teillaktationsmerkmal	151
Tabelle A3:	Überschreitungswahrscheinlichkeiten (p-Werte) des F-Tests der Kalbesaison bei den verschiedenen Kombinationen in Abhängigkeit vom Energiebilanzmerkmal und vom Teillaktationsmerkmal	151
Tabelle A4:	Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf die mittlere Energiebilanz vom 11.–100. Laktationstag (LSQ-Mittelwerte und paarweiser Mittelwertvergleich)	152
Tabelle A5:	Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf das totale Energiedefizit (LSQ-Mittelwerte und paarweiser Mittelwertvergleich)	152
Tabelle A6:	Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf die Dauer des Energiedefizits (LSQ-Mittelwerte und paarweiser Mittelwertvergleich)	152
Tabelle A7:	Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf die tiefste tägliche Energiebilanz (LSQ-Mittelwerte und paarweiser Mittelwertvergleich)	153
Tabelle A8:	Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf das mittlere Energiedefizit (LSQ-Mittelwerte und paarweiser Mittelwertvergleich)	153

1 Einleitung

Obwohl der Produktionswert der Milcherzeugung in der BRD seit 2001 mit den Milcherzeugerpreisen um 16 % auf 7,9 Mrd. € gesunken ist, stellt die Milchviehhaltung mit einem Anteil von 20 % an der landwirtschaftlichen Erzeugung nach wie vor den bedeutendsten Produktionszweig der deutschen Landwirtschaft dar (BMELV, 2007). Gleichzeitig hat sich der Strukturwandel in der Milchviehhaltung fortgesetzt. Von 2001 bis 2006 ist die Anzahl der milchproduzierenden Betriebe um 27 % auf 102.000 Betriebe gesunken (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2007). Die Anzahl der Milchkühe reduzierte sich in dem gleichen Zeitraum um 9 % auf 4,1 Mio. Kühe. Die durchschnittliche Herdengröße stieg von 34,4 Kühen je Betrieb in 2001 auf 40,2 Kühe je Betrieb in 2006 (ADR, 2002; STATISTISCHES BUNDESAMT, 2007). Diese Entwicklung ging einher mit einer Steigerung der Milchleistung pro Kuh von 6.213 kg im Jahre 2001 auf 6.850 kg im Jahr 2006 (ADR, 2007), was ursächlich sowohl auf die optimierten Haltungs- und Fütterungsverfahren als auch auf die kontinuierliche Verbesserung der Genetik zurückzuführen ist. Mit einem weiteren Anstieg der Milchleistungen ist auch zukünftig zu rechnen (SWALVE, 1999; LÜPPING, 2006). Die verbleibenden Milchviehbetriebe werden weiterhin versuchen, ihren betrieblichen Gewinn durch Wachstum der Herdengröße und der Herdenleistung zu sichern. Dabei ist zu berücksichtigen, dass mit steigender Milchleistung das postpartale Energiedefizit vergrößert wird. Da dieses als Ursache für die gestiegene Krankheitsanfälligkeit und die häufigeren Fruchtbarkeitsprobleme bei den Milchkühen angesehen wird (EMANUELSON, 1988; VAN ARENDONK et al., 1989; HOEKSTRA et al., 1994; DE VRIES et al., 1999; PRYCE et al., 1999; BUCKLEY et al., 2000; COLLARD et al., 2000; DE VRIES und VEERKAMP, 2000; LUCY, 2001; ROYAL et al., 2002), wird in den letzten Jahrzehnten von züchterischer Seite die Möglichkeit der Integration der Futteraufnahme (SIMM et al., 1991; PERSAUD et al., 1991) bzw. der Energiebilanz in die Zuchtprogramme diskutiert (VEERKAMP et al., 2000; COFFEY et al., 2001; BANOS et al., 2005).

Als Grundlage für die Umsetzung der Integration der Energiebilanz in die Selektionsentscheidungen ist die Entwicklung einer Leistungsprüfung für Futteraufnahme und Energiebilanz bei hochleistenden Erstlaktierenden sowie die Schätzung der genetischen Parameter das Ziel dieser Arbeit. Weiterhin wurden verschiedene Energiebilanzmerkmale definiert und deren Beziehung zu den Leistungsmerkmalen analysiert im Hinblick auf eine spätere genetische Analyse der Beziehung zwischen Krankheitskomplexen und Energiebilanzmerkmalen.

2 Literaturübersicht

2.1 Regulation der Futteraufnahme

Nach WANGSNESS und MULLER (1981) versucht jeder Organismus, sein Körpergewicht und damit seine Energiebilanz konstant zu halten. Informationen über die Energiebilanz des Organismus werden durch verschiedene Metaboliten wie beispielsweise die flüchtigen Fettsäuren aus dem Pansenstoffwechsel, die Stoffwechselprodukte (Buttersäure, freie Fettsäuren aus dem Abbau von Depotfett) und die Hormone (Östrogen, Progesteron, Leptin, Insulin etc.) übermittelt. Der durch den Verbrauch von Energie für die Erhaltung und die verschiedenen Leistungen verursachte physiologische Impuls gelangt über das Nervensystem zum Gehirn und wird dort zum Fressvorgang auslösenden Signal verarbeitet (GRUBER et al., 2004). Nach DULPHY et al. (1994) stellen diese „physiologischen“ Wirkungsmechanismen die langfristige Regulation der Futteraufnahme dar.

Die mittelfristige Regulation der Futteraufnahme mit einem Zeitfenster von einer Mahlzeit bis zu einem Tag wird auch als „mechanische oder physikalische Regulation“ bezeichnet. Hierbei spielt das Retikulum eine besondere Rolle, denn dessen Fassungsvermögen und Entleerungsgeschwindigkeit stellen die entscheidenden Faktoren für die kurzfristige Futteraufnahme dar. An dieser Stelle treten physikalische Steuerungsmechanismen in den Vordergrund, denn je schneller der Druck des Panseninhaltes auf die Dehnungsrezeptoren abnimmt, umso früher wird eine erneute Futteraufnahme eingeleitet (ALLEN, 1996). In diesem Zusammenhang sind auch die Verdaulichkeit, die Passagerate und die Wiederkauaktivität zu sehen, da sie in hohem Maße die Abnahme des Befüllungsgrades beeinflussen. Die durch die Futterstruktur ausgelöste Speichelbildung beim Wiederkauen trägt wesentlich zur Stabilisierung des für die mikrobielle Fermentation optimalen Pansenmilieus bei. Die Stabilität des pH-Wertes und der Osmolarität im Pansen bestimmt nach DULPHY et al. (1994) die kurzfristige „chemische Regulation“ der Futteraufnahme, die auf die Dauer der Mahlzeit selbst und wenige Stunden danach einwirkt.

Als vierten Steuerungsmechanismus vermuten DULPHY et al. (1994) eine oropharyngeale Regulation, die mit den anderen vorgestellten Regulationsmechanismen in bestimmten Situationen (z. B. kontaminiertes Futtermittel, Schmackhaftigkeit) interagiert.

In Abbildung 1 ist eine Übersicht über die unterschiedlichen Einflussgrößen bei der Regulation der Futteraufnahme nach GRUBER et al. (2001) gegeben.

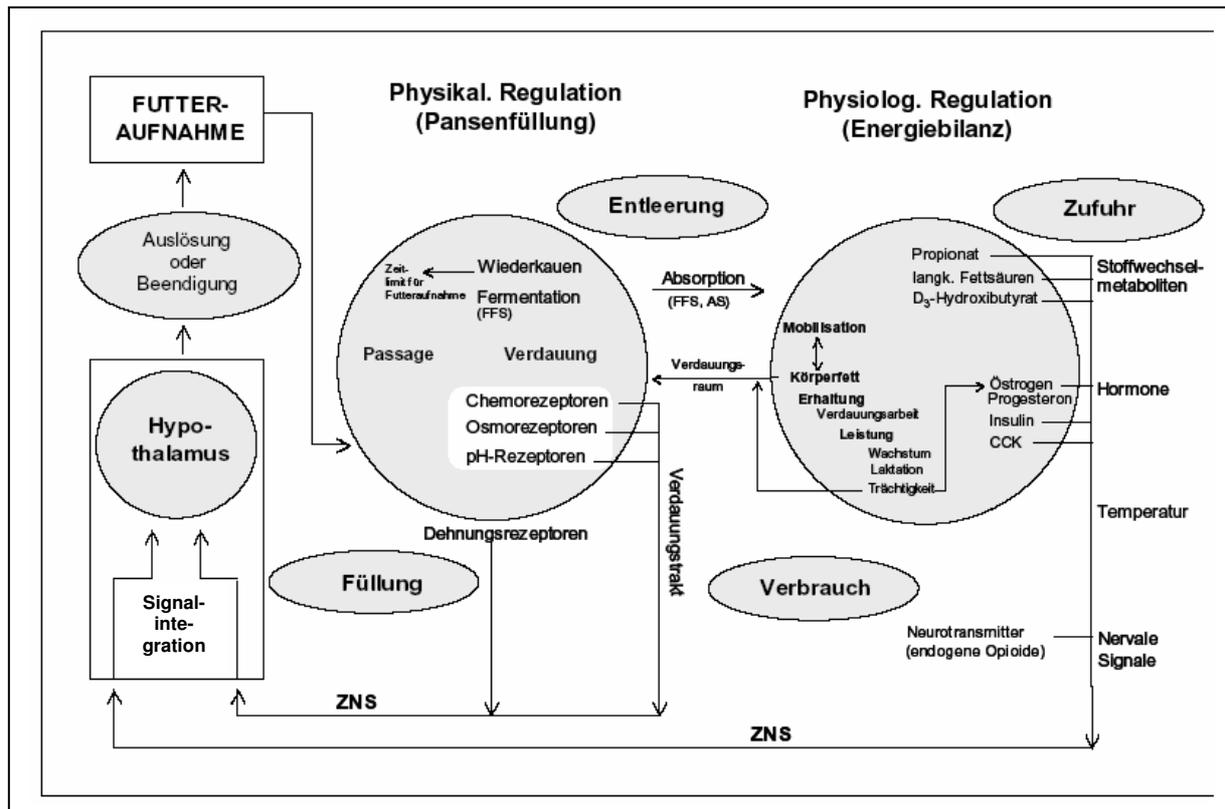


Abbildung 1: Regulation der Futteraufnahme nach GRUBER et al. (2001)

2.2 Einflussfaktoren auf die Futteraufnahme

Die Kurve der Futteraufnahme im Verlauf der Laktation wird von FRIGGENS et al. (1998) wie folgt beschrieben: Die Futteraufnahme steigt nach der Kalbung an, erreicht um die 9. Woche post partum den Höhepunkt und sinkt dann langsam wieder in Übereinstimmung mit dem Energiebedarfsverlauf über die restliche Laktation. Die den Verlauf beeinflussenden Faktoren lassen sich in die Kategorien tier- und umweltbedingte Einflussfaktoren gliedern. Tierbedingte Einflussfaktoren sind Rasse, Genetik, Typ, Größe, Gewicht, Milchleistung, Laktationsstadium und -nummer. Zu den umweltbedingten Einflussfaktoren sind die Eigenschaften des Futters, des Klimas sowie der Haltung und der Technik zu zählen. In einigen Untersuchungen wird auch das Management als Kategorie gewertet, allerdings steht dann die Zuordnung einzelner Einflussfaktoren oft zur Diskussion. Deshalb wurden mögliche Einflussfaktoren der Kategorie Management in dieser Arbeit den bereits erwähnten beiden Kategorien zugeordnet.

2.2.1 Tierbedingte Einflussfaktoren

Rasse/Typ:

Vergleiche zwischen Schwarz- und Rotbunten haben keine signifikanten Unterschiede in der Futteraufnahme zwischen diesen Rassen gezeigt (OLDENBROEK, 1986; HAFEZ, 1987; OLDENBROEK, 1988; FRANCKE, 1990; STAMER, 1995). STAMER (1995) stellt jedoch fest, dass bei Rassevergleichen mit rotbunten Kühen die veränderten Genfrequenzen in der Rotbuntpopulation aufgrund der HF-Einkreuzung in Erwägung gezogen werden müssen.

Bei der Betrachtung des Futteraufnahmeverhaltens hingegen werden deutliche Unterschiede zwischen den beiden Rassen Schwarz- und Rotbunt sichtbar (STAMER, 1995). Während die Schwarzbunten häufiger den Fressplatz wechseln und deutlich länger am Futtertisch verweilen, fressen die Rotbunten effektiver. Als Ursache dafür wird das rassenspezifische Temperament angeführt, welches die Rangordnung in gemischten Herden beeinflusst.

Beim Vergleich der Futteraufnahmen anderer Rassen wurden jedoch in vielen Untersuchungen deutliche Unterschiede im Futteraufnahmevermögen gefunden. KRISTENSEN et al. (1987), FOLDAGER und HAARBO (1994), MACKLE et al. (1996) und SØNDERGAARD et al. (2002) zeigten, dass Jerseys im Vergleich zu dänischem Rotvieh, Schwarzbunten bzw. HF-Tieren ein um 12 bzw. 23 % geringeres Futteraufnahmevermögen haben. Bei diesen Vergleichen müssen allerdings die Beziehungen zwischen Körpergröße bzw. -gewicht und Futteraufnahme berücksichtigt werden. Wird die Futteraufnahme auf das Körpergewicht bezogen, so weisen die Jerseys eine um 6–20 % höhere Futteraufnahme je kg Körpermasse auf als Dänisches Rotvieh und Friesian Kühe (OLDENBROEK, 1986; INGVARTSEN und WEISBJERG, 1993; SØNDERGAARD et al., 2002). Gründe für die Überlegenheit der Jerseys liegen nach Ansicht von MACKLE et al. (1996) in der effizienteren Futterumsetzung und der genetisch determinierten höheren Passagerate der Jerseys (INGVARTSEN und WEISBJERG, 1993).

Dass milchbetonte Rassen eine höhere Futteraufnahme aufweisen als Doppelnutzungsrasen, wurde in vielen Untersuchungen deutlich (ZAUGG, 1976; OLDENBROEK, 1979; KORVER, 1982; GRUBER et al., 1991; BUCKLEY et al., 2000; SØNDERGAARD et al., 2002). Jedoch sind die beobachteten Futteraufnahmen in vielen dieser Versuche aufgrund der unterschiedlichen Kraftfutteranteile in der Ration streng genommen nicht vergleichbar. GRUBER et al. (2001) betont in seiner Veröffentlichung, dass auch bei Konstanzhaltung der wesentlichen Parameter wie Milchleistung, Lebendmasse, Grundfutterqualität und Kraftfutterniveau die milchbetonten Rassen und insbesondere HF-Tiere eine höhere Futteraufnahme aufweisen als Doppelnutzungsrasen. Der Grund scheint in einem erhöhten

Erhaltungsbedarf aufgrund einer höheren Stoffwechselrate und des hormonellen Status bei höherer Leistung zu liegen.

Körpergröße:

Grundsätzlich steigt die Futtermittelaufnahme mit zunehmendem Körpergewicht, wobei in der Literatur ein Verzehrzuwachs von 0,34 kg bis 2,0 kg Trockenmasse je 100 kg Lebendgewichtszunahme genannt wird (SCHWARZ und KIRCHGESSNER, 1985; POTT, 1990; STAMER, 1995). Dieser Effekt ist nach SCHWARZ und KIRCHGESSNER (1985) bei Erstlaktierenden (+ 2 kg TM-Aufnahme je 100 kg höheren Lebendgewichts) größer als bei höherlaktierenden Kühen (+ 0,6 kg TM-Aufnahme je 100 kg höheren Lebendgewichts). Da der Anstieg in der Futtermittelaufnahme überproportional zum Mehrbedarf an Erhaltungsenergie ansteigt, können nach GRUBER et al. (2001) Milchkühe mit einem höheren Lebendgewicht mehr Milch aus dem Grundfutter produzieren.

Phänotypische Korrelationen zwischen Verzehrleistung und Lebendgewicht von $r_p = 0,01$ bis $r_p = 0,82$ sind in diversen Untersuchungen gefunden worden (HAFEZ, 1987). Nach VEERKAMP et al. (2000) liegt die genetische Korrelation zwischen Lebendgewicht und Trockenmasseaufnahme bei $r_a = 0,70$ bis $r_a = 0,76$.

Zwischen dem Geburtsgewicht der Kuh und der späteren Futtermittelaufnahme in der Laktation haben MACKLE et al. (1996) keine signifikanten Korrelationen gefunden.

Leistung:

Bei der Betrachtung des Einflusses der Milchleistung auf die Futtermittelaufnahme ist das Futterregime mit zu berücksichtigen. In zahlreichen älteren Forschungsanstellungen wurde das Grundfutter zur freien Aufnahme ad libitum gefüttert und Kraftfutter entsprechend der Milchleistung zugeteilt (LINDNER et al., 1981; KORVER, 1988). Dieses Verfahren resultiert nach LEE et al. (1992) zwangsläufig in hohen phänotypischen Korrelationen zwischen der Milchleistung und der Gesamtfuttermittelaufnahme. Bei Differenzierung der Gesamtfuttermittelaufnahme in Grund- und Kraftfütterungsverzehr verbleiben jedoch nur zwischen der Kraftfütterungsaufnahme und der Milchleistung hohe Korrelationen bei diesem Fütterungsregime. Die von HAFEZ (1987) und BÖNING (1992) errechneten Korrelationskoeffizienten von $r_p = 0,22$ bis $r_p = -0,36$ zwischen Milchleistung und Grundfütterungsaufnahme zeigen, dass die Milchleistung bei Fütterungsregimen mit leistungsabhängiger Kraftfütterungszuteilung keinen bzw. einen

schwach negativen Einfluss auf die Grundfutteraufnahme hat. BÖNING (1992) bemerkt, dass bei diesem Fütterungsregime Kühe mit einer hohen Grundfutteraufnahme in der Tendenz weniger Milch produzieren. Die Höhe des Kraftfuttereinsatzes und damit die Grundfutterverdrängung sollte bei der Interpretation dieser Beobachtungen berücksichtigt werden.

BINES (1979) erwähnt eine mögliche Verzögerung des Einflusses der Milchleistung auf die Futteraufnahme, da die maximale tägliche Futteraufnahme erst 3–15 Wochen nach der maximalen täglichen Milchmenge erreicht wird. Im Gegensatz dazu hat die angebotene Futtermenge nach FRIGGENS et al. (1995) einen hochsignifikanten Einfluss auf die Milchmenge, indem die Kühe innerhalb einer Woche mit veränderten Milchleistungen auf die jeweils angebotene Futtermenge reagierten.

Um den Einfluss der leistungsabhängigen Kraftfuttermengen zu vermeiden, haben LINDNER et al. (1981) den Versuchstieren ein Kraft-Grundfuttergemisch ad libitum vorgelegt. Bei Höherlaktierenden fanden LINDNER et al. (1981) mit $r_p = 0,26$ eine geringere Korrelationen zwischen der Milchmenge und der Futteraufnahme als BÖNING (1992), der bei vergleichbarer Flatrate-Fütterung eine Korrelation von $r_p = 0,37$ geschätzt hat. Bei Erstlingskühen ist die Futteraufnahme nach LINDNER et al. (1981) mit $r_p = 0,5$ hochsignifikant korreliert mit der Milchleistung. CONRAD et al. hatten schon 1964 beschrieben, dass bei dieser Versuchsanstellung möglicherweise kein Einfluss der Milchleistung auf die Futteraufnahme bei Höherlaktierenden festgestellt wird, wenn die Futteraufnahmekapazität zuvor als limitierender Faktor wirksam wird.

Jüngere Untersuchungen indessen kommen zu gegensätzlichen Ergebnissen. So konnten HARRISON et al. (1990) eine hochsignifikante phänotypische Korrelation zwischen Milchleistung und Futteraufnahme bei höherlaktierenden Kühen von $r_p = 0,88$ bei ad libitum TMR-Fütterung finden.

LEE et al. (1992) fanden bei Erstlaktierenden, die Grundfutter ad libitum aufnehmen konnten und milchleistungsabhängig Kraftfutter zugeteilt bekamen, phänotypische und genetische Korrelationen von $r_p = 0,73$ und $r_a = 0,95$ zwischen Milchmenge und Energieaufnahme.

SØNDERGAARD et al. (2002) schätzten über die ersten drei Laktationen mittlere phänotypische Korrelationen zwischen der Milchmenge und der Energieaufnahme bzw. der Futteraufnahmekapazität von $r_p = 0,56$ bzw. $r_p = 0,65$. Die Futteraufnahmekapazität wurde als Verhältnis der TM-Aufnahme zum Körpergewicht definiert. Die genetischen Korrelationen der Milchmenge zur Energieaufnahme betragen $r_a = 0,38$ und zur Futteraufnahmekapazität $r_a = 0,78$.

Eine ergänzende Literaturzusammenstellung genetischer Korrelationen zwischen Futteraufnahme und Milchleistung ist im Abschnitt über die genetischen Parameter der Futteraufnahme gegeben (Abschnitt 2.4.2).

Laktationsnummer und -stadium, Gravidität, Trockenstezeit:

Bezogen auf das metabolische Körpergewicht haben erstlaktierende Kühe nach SCHWARZ und KIRCHGESSNER (1985) eine niedrigere Raufutteraufnahme als Höherlaktierende. HAFEZ (1987), BÖNING (1991), FRANCKE (1990) und STAMER (1995) haben ebenfalls einen geringeren Grundfutterverzehr bei Erstlingskühen registriert. Nach JARRIGE (1986) ist das Futteraufnahmevermögen am Laktationsanfang bei Erstlaktierenden mit einem Erstkalbealter von 24 Monaten und einem Lebendgewicht von ca. 500 kg um bis zu 20 % geringer als bei höherlaktierenden Tieren. Diese Überlegenheit der Kühe in der Futteraufnahme zeigt sich auch in der Trockenstezeit, wie HAYIRLI et al. (2002) in einem Vergleich der Futteraufnahmen bei Kühen und Färsen unter Berücksichtigung der Körpergewichte festgestellt haben.

In den letzten drei Wochen ante partum sinkt die Futteraufnahme zunehmend um bis zu 32 % (JOHNSON und OTTERBY, 1981; BERTICS et al., 1992; INGVARTSEN et al., 1992a; HAYIRLI et al., 2002), wobei in der letzten Woche ante partum fast 90 % dieses Rückgangs zu beobachten sind (HAYIRLI et al., 2002).

Dieser Rückgang kurz vor der Kalbung ist weniger als bisher angenommen auf die Verringerung des Pansenvolumens durch den wachsenden Fötus zurückzuführen, sondern wird vielmehr durch die metabolischen Veränderungen im Hinblick auf die Gravidität, die bevorstehende Laktation und die Änderungen in der Körperzusammensetzung bestimmt (INGVARTSEN und ANDERSEN, 2000). Da die Futteraufnahmen vor und nach der Kalbung nach GRUMMER (1995) positiv miteinander korreliert sind, sollte vor der Kalbung mit Maßnahmen zur Förderung der Futteraufnahme begonnen werden.

In einigen Forschungsvorhaben wurde der Einfluss einer Verkürzung der Trockenstezeit diskutiert. Im Gegensatz zu MAKUZA und McDANIEL (1996) sowie FUNK et al. (1987) fanden GULAY et al. (2003) keine signifikanten Unterschiede zwischen den Milchleistungsmerkmalen beim Vergleich laktierender Kühe, denen eine Trockenstezeit normaler (60 Tage) oder verkürzter (30 Tage) Dauer gewährt wurde. Allerdings wiesen die Kühe mit normaler Trockenstezeit eine signifikant negativere Ausprägung der Energiebilanz auf, was auf die tendenziell etwas geringere Futteraufnahme post partum bei etwas höherer

Milchleistung dieser Tiere zurückzuführen ist (GULAY, 2003). Ähnliche Ergebnisse haben auch RASTANI et al. (2005) gefunden: Eine Verkürzung der Trockenstehzeit führte zu einer höheren Futteraufnahme post partum bei einer geringeren Milchleistung, woraus eine verbesserte Energiebilanz und Stoffwechsellage post partum resultierte.

Beim völligen Weglassen der Trockenstehperiode zeigte sich in den Untersuchungen von MADSEN et al. (2004) kein Effekt auf die Futteraufnahme, obwohl die Milchleistung in der folgenden Laktation um ca. 24 % geringer war.

Krankheit:

Während der Einfluss von Krankheiten auf die Milchleistung Gegenstand zahlreicher Untersuchungen war, gibt es wenige Informationen über den Effekt einer Erkrankung auf die Futteraufnahme (FOURICHON et al., 1999; ØSTERGAARD und GRÖHN, 2000). BAREILLE et al. (2003) schätzten den Rückgang der Milchleistung und der Futteraufnahme durch verschiedene Krankheiten mit zwei linearen gemischten Modellen. Durchfall, Mastitis, Ketose und Gebärparese implizierten hohe Rückgänge der Milchleistung von 4,1 bis 25,7 kg Milch und der Futteraufnahme von 6,7 bis 14,7 kg TM am Diagnosetag. Die Krankheiten mit den höchsten Schätzwerten für den kumulativen Rückgang in der Trockenmasseaufnahme (46–72 kg TM) von Krankheitsbeginn bis zur Genesung waren Ketose, Mastitis und Sprunggelenkerkrankungen.

Verfettungsgrad/Body Condition Score (BCS):

Die Konditionierung der Kühe beeinflusst deren Futteraufnahme deutlich. Untersuchungen von BINES et al. (1969) sowie BINES und MORANT (1983) an nichtlaktierenden Kühen zeigen, dass magere Tiere bis zu 24 % mehr fressen als fette Kühe. In vielen Untersuchungen wurde deutlich, dass die Futteraufnahme bei zur Kalbung überkonditionierten Kühen post partum langsamer ansteigt als bei mageren Kühen (GARNSWORTHY und TOPPS, 1982; FORBES, 1983; KUNZ et al., 1985; TREACHER et al., 1986; AGENÄS et al., 2003), und sie erreicht nach GARNSWORTHY und TOPPS (1982) auch später das Maximum.

GRUMMER (1995) berichtet zudem, dass überkonditionierte Kühe anfälliger sind für einen Rückgang der Futteraufnahme in der Transitphase. Dies bestätigen die Ergebnisse von HAYIRLI et al. (2002), die einen linearen Rückgang der Futteraufnahme bei zunehmendem BCS während der Trockenstehzeit beobachten konnten.

2.2.2 Umweltbedingte Einflussfaktoren

2.2.2.1 Das Futtermittel betreffende Einflussfaktoren

Einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Futteraufnahme ist laut GRUBER et al. (2001) die Grundfutterqualität, welche besonders durch die Parameter Verdaulichkeit und Energiekonzentration charakterisiert wird. Einen ausführlichen Überblick über die Auswirkungen verschiedener Rationskennwerte und Inhaltsstoffe auf die Futteraufnahme geben die Veröffentlichungen von FAVERDIN (1999) und ALLEN (2000).

Allerdings herrscht bei vielen Variablen keine Einigkeit über deren Einfluss auf die Futteraufnahme. Während ALLEN (1996) beispielsweise den NDF-Gehalt noch als besten chemischen Parameter zur Schätzung der Futteraufnahme ansieht, kommen GRUBER et al. (2001) zu der Aussage, dass es nicht möglich ist, die Futteraufnahme anhand der NDF-Fraktion vorherzusagen.

Grundsätzlich erhöhen Nährstoffe, die die mikrobielle Aktivität im Pansen fördern, die Futteraufnahme (GRUMMER, 1995; FAVERDIN, 1999), denn sobald das Pansenvolumen begrenzend auf die Futteraufnahme wirkt, gewinnen die Verdaulichkeit und damit die Passagerate stark an Bedeutung (GRUBER et al., 2001). Zu beachten ist hierbei, dass die Verdaulichkeit auch durch das Ernährungsniveau beeinflusst wird. KAUFMANN und KIRCHGESSNER (1987) berichten von einem Rückgang der Verdaulichkeit um 2,3 % bei Kühen mit einer Energieaufnahme, die um 20 MJ NEL über dem Bedarf lag.

Wird die Grundfutterqualität über die Verdaulichkeit und die Energiegehalte (NEL) definiert, so steigt die Futteraufnahme mit besseren Futterqualitäten. Dies ist nach SCHWARZ und KIRCHGESSNER (1985) bei Erstlaktierenden deutlicher zu beobachten als bei höherlaktierenden Kühen.

In welcher Größenordnung die Verdaulichkeit der Ration die Futteraufnahme beeinflussen kann, zeigt der Versuch von DADO et al. (1996). Bei dem Verfüttern zweier Rationen gleichen NDF-Gehalts (35 %) aber unterschiedlicher NDF-Verdaulichkeiten (38,3 vs. 40,2 %) stieg die Milchmenge um 5,2 % und die Futteraufnahme um 5,1 % bei der höher verdaulichen Ration.

EUN und BEAUCHEMIN (2005) konnten dies in ihrer Versuchsanstellung nicht zeigen. Die Zugabe von proteolytischen Enzymen erhöhte zwar die Verdaulichkeit der Ration, aber dennoch ging die Futteraufnahme zurück. Möglicherweise hing dies mit einer Absenkung des pH-Werts im Pansen zusammen.

Selbiges könnte dazu geführt haben, dass ORDWAY et al. (2002) beim Verfüttern hochverdaulicher und damit schnellverfügbarer Kohlenhydrate wie Saccharose als Stärkeersatz über die ersten acht Laktationswochen weder einen Einfluss auf die Milchleistung noch auf die Futteraufnahme registrieren konnten.

Anderes hingegen beobachteten JACKSON et al. (1991) beim Verfüttern zweier Rationen, die zwar ähnliche Verdaulichkeiten und Energiegehalte aufwiesen, aber unterschiedliche Hauptenergiequellen (hochverdauliche und faserreiche vs. stärkereiche Komponenten) im Mischfutter hatten. Die Kühe, die das faserreiche Kraftfutter zugeteilt bekamen, haben bis zum 200. Laktationstag ca. 20,4 % mehr Grundfutter aufgenommen.

Der optimale Gehalt strukturwirksamer Bestandteile in der Ration stellt einen Kompromiss dar. Einerseits ist ein Rückgang der Trockenmasseaufnahme bei steigenden Gehalten an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten zu beobachten (KRAUSE et al., 2002; KRAUSE und COMBS, 2003), andererseits sinken mit steigenden Fasergehalten und Lignifizierungsgraden die Verdaulichkeit (DE BOEVER et al., 1993) und die Passagerate mit der Folge geringerer Futteraufnahmen. DE BRABANDER et al. (1990) quantifizieren den Rückgang der Futteraufnahme auf 0,24 kg je Prozentpunkt steigenden Fasergehaltes. Hierbei muss allerdings die Fermentationsrate der Faserbestandteile berücksichtigt werden (JACKSON et al., 1991). Bei der Verfütterung sehr faserreicher Rationen kann auch das Pansenvolumen begrenzend auf die Futteraufnahme wirken (DADO und ALLEN, 1995). Um bei adäquater Wiederkautätigkeit und Speichelbildung mit dem daraus resultierenden hohen pH-Wert eine optimale Aktivität der zellwandabbauenden Mikroflora im Pansen zu erreichen, wurden traditionell Fasergehalte von 18 % in der Trockenmasse empfohlen. Später wurden Mindestaufnahmen von 400 g strukturwirksamer Rohfaser je 100 kg Lebendgewicht als ausreichend angesehen, um einen ungestörten Verdauungsprozess zu gewährleisten. Bei Kühen mit einem Lebendgewicht von 600–650 kg und einer mittleren Futteraufnahme von 25 kg TM / Tier / Tag entspricht dies einem TM-Gehalt von 10 % strukturwirksamer Rohfaser in der Ration (GFE, 2001).

Im Zusammenhang mit den Fasergehalten und deren Strukturwirksamkeit wird u. a. auch die Häcksellänge häufig diskutiert. Während BEAUCHEMIN und ZANG (2005) in einem Fütterungsversuch mit Maissilage verschiedener Häcksellängen als alleinigem Raufutter keine Beeinflussung der Futteraufnahme durch die Häcksellängen gefunden haben, sehen DESWYSEN et al. (1984) beim Verfüttern von Grassilage deutliche Effekte. Mit einer Verringerung der Häcksellänge (von 11,6 auf 2,0 cm) stieg die Futteraufnahme von Grassilage signifikant an, wobei keine Unterschiede in der Verdaulichkeit der Grassilage festgestellt wurden. MOONEY und ALLEN (1997) beobachteten einen Anstieg der Futteraufnahme bei

einer Verringerung der Häcksellänge von 11,4 auf 5,8 mm. Wird die Häcksellänge noch weiter verringert auf unter 3 mm Länge, ist keine vermehrte Futteraufnahme, sondern ein Rückgang zu beobachten (KRAUSE und COMBS, 2003). Bei zu geringen Partikellängen sinkt die Strukturwirksamkeit des Futters, und es kann zu verminderter Speichelproduktion mit negativer Beeinflussung des Pansenmilieus, der Nährstoffverdaulichkeit und der Passage-rate kommen (GRANT et al., 1990; BEACHEMIN et al., 1994; CLARK und ARMENTANO, 1997). Im Zusammenhang mit dem Anteil strukturwirksamer Bestandteile in der Ration ist auch die Grundfuttermverdrängung zu betrachten. Sie nimmt mit steigenden Kraftfutteranteilen zu und hängt sowohl von der Grundfutterqualität als auch von der Laktationszahl ab. Das Ausmaß der Grundfuttermverdrängung ist nach SCHWARZ und KIRCHGESSNER (1985) bei höherlaktierenden Kühen stärker ausgeprägt als bei Erstkalbinnen. Bis zu welchen Kraftfutter : Raufutter-Verhältnissen eine Reduzierung der Häcksellänge die Futteraufnahme steigert, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Während KRAUSE et al. (2002), SHAVER et al. (1986) sowie WOODFORD et al. (1986) übereinstimmend angeben, dass die Häcksellänge keinen Einfluss auf die Futteraufnahme bei Rationen mit mehr als 39 % Kraftfutteranteil hat, bewirkt eine Häcksellängenreduzierung nach FISCHER et al. (1994) selbst bei Rationen mit einem Raufutteranteil von 45 % eine Steigerung der TM-Aufnahme. Zur Wahrscheinlichkeit einer Stoffwechselerkrankung schreiben ØSTERGAARD und GRÖHN (2000), dass diese mehr von der am Laktationsanfang verfütterten Kraftfuttermenge in den Kraftfutterstationen als von dem Kraftfutter : Raufutter-Verhältnis in der TMR abhängt.

Das Verfüttern energiereicher Rationen ad libitum in der Trockenstehzeit erhöht nach GRUBER et al. (2001) und AGENÄS et al. (2003) die Länge und das Ausmaß des Energiedefizits am Anfang der Folgelaktation. Kühe besitzen jedoch die Fähigkeit, die niedrigen Nährstoffaufnahmen in der Trockenstehzeit durch eine erhöhte Futteraufnahme am Laktationsanfang zu kompensieren, wenn ihnen eine energiereiche Ration hoher Schmackhaftigkeit angeboten wird (DEWHURST et al., 2000; AGENÄS et al., 2003). Von den Geschmacksrichtungen scheinen Kühe süß vor sauer und salzig zu bevorzugen (NOMBEKELA et al., 1994). NOMBEKELA und MURPHY (1995) beschreiben eine kurzfristig gesteigerte Futteraufnahme, ausgelöst durch den Reiz des Neuen nach einer Zugabe von Saccharose (1,5 % der TM). Nach BAUMONT et al. (1990) kommt es beim Verfüttern sehr schmackhafter Futtermittel am Ende einer Mahlzeit zu einer erhöhten Futteraufnahme aufgrund einer Übersättigung der Tiere. Dieser positive Effekt ist allerdings nur temporär.

2.2.2.2 Einflussfaktoren aus Klima, Haltung, Technik und Management

Hohe Temperaturen und Luftfechtigkeiten sind negativ mit der Futteraufnahme korreliert (HOLTER et al., 1997). Steigende Umgebungstemperaturen führen bei Milchkühen zu Hitzestress mit der Folge sinkender Milchleistungen und Futteraufnahmen (LOUGH et al., 1990; ALBRIGHT, 1993; BRITT et al., 2003), wobei die reduzierte Futteraufnahme nach WEST et al. (2003a) mit einer Verzögerung von zwei Tagen dem Temperaturanstieg folgt. HOLTER et al. (1997) zufolge reagieren mehrkalbige Kühe sensibler auf Hitzestress als Erstlaktierende. Den Rückgang der Futteraufnahme quantifizieren WEST et al. (2003a) mit 0,85 kg je °C Temperaturanstieg. GRUBER et al. (2001) berichten, dass es erst ab Umgebungstemperaturen von über 25 °C zu einem Rückgang der Futteraufnahme kommt. In einem Versuch an acht Milchkühen, die in klimatisierten Stoffwechselkäfigen gehalten wurden, konnten OMINSKI et al. (2002) schon bei kurzen moderaten Temperaturanstiegen (fünf Tage mit 32 °C für sechs Stunden täglich bei 20 °C Basistemperatur) einen bleibenden Rückgang der Milchleistung und Futteraufnahme beobachten. Das Verlegen der Fütterungszeiten in späte, kühlere Abendstunden verringerte den Leistungsabfall nicht.

BERMAN et al. (1985) berichten übereinstimmend mit dem Schwellenwert von GRUBER et al. (2001), dass Milchkühe ihre Körpertemperatur bis zu einer Umgebungstemperatur von 25 °C konstant halten können. Sie leiten daraus die Empfehlung ab, dass ab dieser Lufttemperatur Maßnahmen zur Temperatursenkung ergriffen werden sollten. Die Forschungsergebnisse von WEST et al. (2003a) zeigten hingegen, dass Milchmenge und Futteraufnahme stärker durch die Lufttemperatur- bzw. Luftfechtigkeitsveränderungen als durch Körpertemperaturveränderungen beeinflusst werden. Nach IGONO et al. (1992) vermindern drei bis sechs Stunden täglich mit einer Lufttemperatur von weniger als 21 °C an sonst heißeren Tagen den Hitzestress.

Der Effekt natürlicher oder künstlicher Tageslängen auf die Futteraufnahme ist in einer ausführlichen Literaturübersicht von INGVARTSEN et al. (1992b) nachzulesen. In eigenen Untersuchungen beobachteten INGVARTSEN et al. (1992b) eine Erhöhung der Futteraufnahme um 0,32 % bei einer Zunahme der Tageslänge um eine Stunde.

Die Beeinflussung der Futteraufnahme durch die Fütterungsfrequenz, die Futtevorlagezeit, das Platzangebot und andere Haltungs- bzw. Managementfaktoren haben COPPOCK et al. (1981) ausführlich beschrieben. Nach ERDMANN et al. (1989) führt eine Verringerung der Futtevorlagezeit von 20 auf 8 Stunden zu einer deutlich reduzierten Futteraufnahme. Auch GRUBER et al. (2001) fordern eine tägliche Zugangszeit zum Futter von mindestens acht

Stunden, da die Kühe sonst nicht die Chance zum Erreichen ihrer maximalen Futteraufnahme haben. Mit Fütterungstechniken, bei denen hohe Kraftfuttermengen appliziert werden, wird nicht das volle Futteraufnahmevermögen der Milchkühe ausgeschöpft (GRUBER et al., 2001). Durch das Einmischen von Kraftfutter in die Grundration (TMR-Fütterung) können die Pansenverhältnisse stabilisiert werden (COPPOCK et al., 1981), was zu höheren Futteraufnahmen führt (PETCHEY und BROADBENT, 1980; OWEN, 1984; NOCEK et al., 1986).

In der Literaturübersicht von GIBSON (1984) werden einige Untersuchungen beschrieben, bei denen bei einer gesteigerten Fütterungsfrequenz signifikant höhere Futteraufnahmen beobachtet worden sind. Die hohe Variabilität der Versuchsanstellungen sollte allerdings bei der Bewertung der Ergebnisse beachtet werden. So konnte KURDNA (2003) an 13 Milchkühen keine gesteigerte Futteraufnahme bei täglich zweimaliger gegenüber einer einmaligen TMR Winterfütterung feststellen.

Die Ausgestaltung des Fressplatzes hat einen wesentlichen Einfluss auf die Futteraufnahme bzw. Fresszeit. Wenn alle Milchkühe gleichzeitig fressen können, steigt die Futteraufnahme nach PHIPPS et al. (1983) um 9 % im Vergleich zur Einzeltierfütterung, wofür der Futterneid verantwortlich sein dürfte.

Die Ausgestaltung des Fressplatzes als Futtertisch scheint ebenfalls einen Einfluss auf die Futteraufnahme zu haben. Wenn die Kuh am Futtertisch in natürlicher Haltung wie auf der Weide mit dem Kopf nach unten fressen kann, dann steigt die Speichelbildung deutlich um 17 % gegenüber der horizontalen Kopfhaltung, was die Pansenfermentation positiv beeinflusst (ALBRIGHT, 1993). Ebenso verlängert sich die Fresszeit beim gleichzeitigen Fressen aller Kühe am Futtertisch im Vergleich zu einer Fütterung an Raufen mit vergleichbarem Fressplatzverhältnis.

COPPOCK et al. (1981) stellen fest, dass Kühe bezüglich des Fressplatzbedarfes anpassungsfähig sind, wenn sie ausreichend lange Zugang zum Futter haben. Eine zu starke Reduktion des Fressplatzangebotes führt allerdings stressbedingt zu einem Rückgang der Futteraufnahme. Nach MORITA et al. (2002), die mit steigender Fressplatzbreite längere Mahlzeiten beobachteten, sollte die Fressplatzbreite mindestens 0,34 m betragen.

Eine Steigerung der maschinellen Melkhäufigkeit führt infolge der gesteigerten Milchmenge und damit des höheren Nährstoffbedarfs zu einer höheren Futteraufnahme. Dies konnte bei einer gesteigerten Saughäufigkeit durch Kälber nicht gezeigt werden, obwohl die Milchmenge sogar stärker stieg. Diese Unstimmigkeit könnte das Ergebnis der appetitsenkenden Wirkung

der höheren Konzentration an Oxytocin bei den Milchkühen sein, bei denen die Milchmenge durch die Saugkälber stimuliert wurde (BAR-PELED et al., 1998).

2.3 Postpartales Energiedefizit

Das Anlegen von Körperreserven im Laufe der Trächtigkeit und die Nutzung dieser Reserven zur Milchproduktion während der Aufzucht gehört zur Reproduktionsstrategie der Säugetiere, die deren Verhalten und Physiologie maßgeblich beeinflusst (AGENÄS et al., 2003). Insofern kann ein gewisses Energiedefizit am Laktationsanfang als physiologisch normal bezeichnet werden. Mit der Milchleistungssteigerung in den letzten Jahrzehnten (WASSMUTH, 1998) wurde das Energiedefizit immer weiter ausgedehnt, denn obwohl die Futteraufnahme nach GRUBER et al. (2001) mit höheren Milchleistungen steigt, reicht sie am Laktationsanfang nicht aus, um den Mehrbedarf der Tiere an Energie für Erhaltung und Leistung zu decken.

Das Aufstellen von Energiebilanzen zur Abschätzung des Energiedefizits hat seinen Ursprung in der Tierernährungsforschung. 1898 wurde am Institut für Tierernährung des Pennsylvania State College das erste Respirationskalorimeter für Großtiere in Betrieb genommen, mit welchem Grundlagenwissen über die Energieaufnahme, die Energieverteilung im Organismus und die Energieabgabe erforscht wurde. Nach damaliger Definition der Energiebilanz musste diese immer den Wert Null betragen (LENKEIT, 1953). In den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts erfuhr der Begriff Energiebilanz einen Bedeutungswandel durch die Erkenntnis, dass gerade Säugetiere temporär in der Lage sind, durch Mobilisierung körpereigener Reserven mehr Energie zu verbrauchen als sie aufnehmen können. Seitdem wird die Energiebilanz eher als positive oder negative Körperenergiereention definiert (VAN ES und BOEKHOLT, 1987).

Zur Quantifizierung der Energiebilanz außerhalb von Respirationskammern wurden verschiedene Schätzverfahren entwickelt.

Eine Möglichkeit stellt die Ableitung der Energiebilanz aus verschiedenen Metaboliten und deren Kombination mit Leistungsmerkmalen dar. Allerdings zeigen die Arbeiten von VOLLSTEDT (1988) und SÜPHKE (1991), dass die Energiebilanz anhand multivariater Schätzansätze aus Leistungsdaten und Stoffwechselfparametern nur mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden kann.

Die sonographische Messung der Rückenfettdicke bietet eine weitere Möglichkeit zur Abschätzung der Energiebilanz, da die Rückenfettdicke phänotypisch mit $r_p = 0,8$ mit dem

Körperfettgehalt korreliert ist. Die Zunahme von 5 kg Körperfett entspricht ungefähr einer Steigerung der Rückenfettdicke von 1 mm (KLAUHN und STAUFENBIEL, 1997a, b). Wird die Energiebilanz wie von STAUFENBIEL et al. (1993) gefordert nicht als Energie- sondern als Fettretention definiert, so kann diese über die sonographische Rückenfettmessung geschätzt werden. ROSSOW (2006) zufolge eignet sich dieses Verfahren gut zur Bewertung der Energiebilanz im Rahmen des Herdenmanagements, für die Beurteilung des Einzeltieres ist es jedoch nicht zweckmäßig.

Zur Abschätzung der Energiebilanz bei Einzeltieren hat sich das Verfahren etabliert, die Energiebilanz als Differenz zwischen Energieaufnahme und Energiebedarf für Leistung und Erhaltung (in Abhängigkeit vom Lebendgewicht) zu kalkulieren. Nachteilig bei diesem Verfahren ist der hohe Aufwand für die Erhebung der individuellen Futteraufnahmen. Von den Leistungskomponenten wird in den meisten Versuchen nur die Milchleistung berücksichtigt (VILLA-GODOY et al., 1988; HARRISON et al., 1990; COLLARD et al., 2000; VEERKAMP et al., 2000; FRANCISCO et al., 2002; REIST et al., 2002; AGENÄS et al., 2003), in anderen Untersuchungen wird auch der Bedarf für Wachstum (DE VRIES et al., 1999; DE VRIES und VEERKAMP, 2000; HEUER, 2004) und Gravidität mit in die Energiebilanzberechnung einbezogen. Nach COFFEY et al. (2002) hat die Berücksichtigung des Energiebedarfes der Konzeptionsfrucht sehr geringe Effekte bei der Berechnung der Energiebilanz. Es gibt auch Untersuchungen, in denen die Energie aus eingeschmolzener Körpersubstanz mit in die Berechnung hineinfließt, indem sie zu der aufgenommenen Energiemenge addiert wird (STAPLES et al., 1990).

Des Weiteren ist es möglich, die Energiebilanz aus der Körperkondition (BCS) abzuleiten, welche nach CHILLARD et al. (1991) die kumulative Energiebilanz über den Beobachtungszeitraum darstellt. EMMANS (1994) hatte gezeigt, dass die Energiebilanz auch aus den Veränderungen der Fett- und Proteinmengen im Körper geschätzt werden kann. Das US National Research Council (NRC) hat Schätzformeln erarbeitet, mit denen diese Protein- und Fettmengen und damit der Energiegehalt anhand von BCS-Noten und Lebendgewichtsdaten kalkuliert werden können (NRC, 2001). Diese Methode hat den Vorteil, dass sie aufgrund der einfachen Datenerhebung auch auf kommerziellen Farmen angewandt werden kann bzw. routinemäßig im größeren Umfang erhobene Daten genutzt werden können. Allerdings zeigten COFFEY et al. (2001) in ihren Untersuchungen, dass die aus den Körperenergiegehalten errechnete Energiebilanz nicht mit der über die Aufnahme und den Bedarf kalkulierten Bilanz gleichzusetzen ist. Während die Energiebilanz aus den Körperenergiegehalten erst um den 87. Laktationstag wieder positiv wurde, war die

Energiebilanz aus der Energieaufnahme und dem Energiebedarf schon um den 40. Laktationstag positiv. COFFEY et al. (2001) merken dazu an, dass der Schätzfehler bei der Energiebilanzschätzung aus der Körpergewebemobilisation über einen kürzeren Zeitraum möglicherweise größer ist.

Zur Beschreibung der Energiebilanz werden in der Literatur verschiedene Merkmale benutzt (COLLARD et al., 2000). Primäres Merkmal ist die tägliche Energiebilanz, aus welcher dann die anderen Parameter abgeleitet werden:

- tiefste tägliche Energiebilanz,
- Intervall Kalbung bis tiefste tägliche Energiebilanz,
- Intervall Kalbung bis zum Erreichen einer ausgeglichenen täglichen Energiebilanz,
- mittlere tägliche Energiebilanz über einen bestimmten Zeitraum,
- kumulierte Energiebilanz über einen bestimmten Zeitraum.

Viele Beobachtungen über Einflussfaktoren auf die Energiebilanz spiegeln die Erwartungen infolge der Berechnungsformel der Energiebilanz wider. So fanden KUNZ et al. (1985) am Laktationsanfang eine ausgeprägtere negative Energiebilanz bei zu fetten Kühen als Konsequenz der verminderten Futterraufnahme überkonditionierter Kühe nach der Kalbung (siehe Abschnitt 2.2.1). Den Erwartungen entsprechend sind auch die Beobachtungen, dass erstlaktierende Kühe am Laktationsanfang ein geringeres Energiedefizit aufweisen als höherlaktierende (DE VRIES et al., 1999; KERTZ et al., 1991) und dass hochleistende Kühe ein höheres Energiedefizit haben als Kühe mit niedriger Milchleistung (WESTWOOD et al., 2000; WESTWOOD et al., 2002). Daher sind die Größe und die Dauer der negativen Energiebilanz zwischen einzelnen Tieren sehr verschieden (DE VRIES und VEERKAMP, 2000).

In der Regel beginnt das Energiedefizit schon einige Tage vor der Kalbung (BELL, 1995; BEAM und BUTLER, 1997), erreicht den Tiefpunkt um die erste bis zweite Laktationswoche (-16,3 MCal, das entspricht -68,13 MJ) und wird um den 40.–80. Laktationstag wieder positiv (VILLA-GODOY et al., 1988; KENDRICK et al., 1999; DE VRIES und VEERKAMP, 2000; SUTTER und BEEVER, 2000; COFFEY et al., 2002). Den Einfluss des Fütterungsregimes auf den Verlauf der Energiebilanzkurve zeigen die Ergebnisse von BÖNING (1992). Bei leistungsabhängiger Kraftfutterzuteilung haben die Kühe wesentlich früher wieder eine ausgeglichene tägliche Energiebilanz als bei der Verfütterung einer Einheitsration (Flatrate-Fütterung).

Das kumulative Energiedefizit am Laktationsanfang bei Erstlaktierenden ist nach COFFEY et al. (2001) im Mittel erst um den zweihundertsten Laktationstag wieder ausgeglichen.

In der von VILLA-GODOY et al. (1988) durchgeführten Untersuchung zeigten 19 % der Milchkühe (6 von 32 Kühen) bei vergleichbarer Milchleistung keine negative mittlere Energiebilanz in den ersten 9 Laktationstagen. Der Energiebilanzverlauf einzelner Tiere lässt sich nach VILLA-GODOY et al. (1988) wie folgt charakterisieren. Je tiefer die mittlere Energiebilanz bis zum 100. Laktationstag ist, desto kürzer wird das Zeitintervall von der Kalbung bis zum maximalen täglichen Energiedefizit.

Der Einfluss einer negativen Energiebilanz auf verschiedene Stoffwechselfparameter wird ausführlich in den Arbeiten von SÜPHKE (1988) und VOLLSTEDT (1991) beschrieben, weshalb an dieser Stelle der physiologische Komplex nur durch eine kurze Betrachtung des 1994 entdeckten Proteohormons Leptin gestreift werden soll (ZHANG et al., 1994).

Leptin wird hauptsächlich im Fettgewebe sezerniert (AHIMA und FLIER, 2000), und die Konzentration an Leptin steht in einem direkten Verhältnis zum Anteil adipöser Körpermasse (WOODS et al., 1998). Hohe Leptinkonzentrationen fördern katabole Stoffwechselwege, indem die Futtermittelaufnahme und der Gewichtszuwachs unterdrückt werden (HALAAS et al., 1995; WOODS et al., 1998; MORRISON et al., 2001). Das Verabreichen von Leptin bei Mäusen bewirkt im Gegensatz zum Hungerzustand nur den Abbau von Fettdepots und nicht der Muskelmasse (HALAAS et al., 1998). Die meisten Forschungsarbeiten bezüglich der Wirkungsmechanismen des Leptins bei Adipositas wurden an Nagetieren und Menschen durchgeführt (AHIMA und FLIER, 2000), über die Rolle des Leptins als Regulationsgröße bezüglich der energetischen Stoffwechselsituation gerade beim Milchvieh ist hingegen bis zur Jahrtausendwende wenig geforscht worden (BLOCK et al., 2001).

Aufgrund der beobachteten Korrelationen zwischen dem Plasmaleptingehalt und verschiedenen Blutparametern bei Milchkühen vor und nach der Kalbung und insbesondere aufgrund der negativen Korrelationen zum NEFA-Gehalt äußerten BLOCK et al. (2001) die Vermutung, dass ein Energiedefizit am Laktationsanfang zu einer anhaltenden Senkung des Plasmaleptingehalts führt.

Während REIST et al. (2002) jedoch keine Korrelation zwischen der Leptinkonzentration im Blut und der Energiebilanz in den ersten 10 Wochen post partum feststellen konnten, beschreiben LIEFERS et al. (2003) die Leptinkonzentration als Reflektion der Energiebilanz über den Laktationsverlauf. Die Leptinkonzentrationen waren geringer bei Kühen mit

niedrigerer Energiebilanz, welche wiederum ein längeres Intervall zwischen der Kalbung und der ersten beobachteten Brunst aufwiesen.

Einfluss der Energiebilanz auf die Fruchtbarkeit:

Je größer das Energiedefizit am Laktationsanfang ist, desto später setzt das Brunstgeschehen ein (CANFIELD und BUTLER, 1991; DE VRIES et al., 1999; ROYAL et al., 2002). Aufgrund der Verzögerung der lutealen Aktivität bei ausgeprägteren negativen Energiebilanzen finden bei diesen Tieren weniger Brunstzyklen bis zum geplanten Besamungszeitraum statt, was zu einem schlechteren Besamungserfolg führt (BUTLER und SMITH, 1989). In mehreren Versuchen (VILLA-GODOY et al., 1988; SPICER et al., 1990; SPICER et al., 1993) konnte die negative Beziehung zwischen der Energiebilanz und der Progesteronkonzentration aufgezeigt werden, welche nach FOLMAN et al. (1973) positiv mit der Fruchtbarkeit korreliert ist. Auch zeigte sich der negative Einfluss der energetischen Unterversorgung auf die Fruchtbarkeit in den reduzierten Gelbkörpergewichten in der Untersuchung von APGAR et al. (1975) und in der negativen Beeinflussung der IGF-I Konzentrationen in Bezug auf das Follikelwachstum in der Untersuchung von BEAM und BUTLER (1999).

Nach BUTLER et al. (1981) findet die erste Ovulation post partum im Mittel 10 Tage nach dem größten täglichen Energiedefizit statt. In der Untersuchung von ZUREK et al. (1995) betrug der Abstand hingegen 15,4 Tage. Während zwischen der täglichen Energiebilanz um den Tag der ersten Ovulation und dem Zeitintervall zwischen Kalbung und 1. Ovulation keine signifikanten Beziehungen gefunden wurden, konnte bei der Berücksichtigung der mittleren Energiebilanz über die ersten 20 Laktationstage eine signifikante Korrelation zum Zyklusstart von $r_p = -0,6$ berechnet werden (BUTLER et al., 1981).

Dieser Zusammenhang zwischen dem Beginn der Zyklusaktivität und einer mittleren Energiebilanz über einen bestimmten Zeitraum wird von BUTLER und SMITH (1989) und VEERKAMP et al. (2000) bestätigt. So berichten VEERKAMP et al. (2000) von einer genetischen Korrelation von $r_a = -0,6$ zwischen dem Beginn der Zyklusaktivität und der mittleren Energiebilanz über die ersten 15 Laktationswochen. Es gibt jedoch auch Forschungsgruppen, die eine Beziehung zwischen mittlerer Energiebilanz und dem Tag der ersten Ovulation nicht bestätigen können (HARRISON et al., 1990).

WESTWOOD et al. (2000) haben bei Kühen unterschiedlicher Leistungsstufen zwar signifikante Unterschiede in der Energiebilanz festgestellt, aber keine signifikante Beziehung

zwischen der Energiebilanz und dem Tag der 1. Ovulation zwischen den beiden Leistungsstufen finden können.

In der Forschungsarbeit von ZUREK et al. (1995) korrelierte weder die mittlere Energiebilanz über das Zeitintervall von Kalbung zur 1. Ovulation mit dem Tag der ersten Ovulation noch das maximale Energiedefizit. Die Dauer bis zur ersten Ovulation war hingegen mit $r_p = 0,49$ ($p < 0,05$) im mittleren Bereich korreliert mit der Energiebilanz am Tag der ersten Ovulation und im höheren Bereich mit der Anzahl an Tagen bis zum Tiefstpunkt der Energiebilanzkurve ($r_p = 0,61$, $p < 0,01$).

Auf die höhere Korrelation zwischen der Dauer bis zum maximalen Energiedefizit und dem Tag der 1. Ovulation wird auch von anderen Autoren hingewiesen (CANFIELD und BUTLER, 1990; CANFIELD und BUTLER, 1991; BEAM und BUTLER, 1997; WESTWOOD et al., 2002).

Im Gegensatz zu ZUREK et al. (1995) wurde in anderen Versuchen wiederum die größte Korrelation zwischen dem maximalen täglichen Energiedefizit und dem Start der lutealen Aktivität bei Erstlaktierenden gefunden (DE VRIES et al., 1999; DE VRIES und VEERKAMP, 2000). In der letztgenannten Untersuchung wurde diese Beziehung quantifiziert auf eine Verzögerung des Zyklusstarts um 1,25 Tage je 10 MJ NEL tieferen maximalen Energiedefizits. Allerdings muss bei der Interpretation der Ergebnisse von DE VRIES et al. (1999) sowie DE VRIES und VEERKAMP (2000) auch der Unterschied in der Energiebilanzberechnung im Vergleich zu anderen Forschungsgruppen berücksichtigt werden.

Nach SAKAGUCHI et al. (2004) gehen die Verzögerungen des Zyklusstarts einher mit dem Zeitpunkt der ersten Brunstaktivität. Die Auswirkungen des Energiedefizits auf die Brunstäußerungen werden in der Literatur kontrovers diskutiert. Während SPICER et al. (1990) und LIEFERS et al. (2003) ein weniger ausgeprägtes Brunstverhalten bei höheren Energiedefiziten beschreiben, konnten VILLA-GODOY et al. (1990) bei Färsen mit negativer Energiebilanz hingegen keine reduzierte Intensität der Brunstäußerung beobachten.

Einfluss der Energiebilanz auf die Gesundheit:

Die Unterversorgung mit Energie hat einen signifikanten, negativen Einfluss auf die Gesundheit und Fruchtbarkeit der Tiere (BUTLER und SMITH, 1989; VAN ARENDONK et al., 1991; ROBINSON, 1996; VEERKAMP, 1998; COLLARD et al., 2000; DE VRIES und VEERKAMP, 2000).

Zwischen der Energiebilanz und der NEFA-Konzentration im Blut wurden von HARRISON et al. (1990) hohe negative Korrelationen von $r_p = -0,71$ gefunden. Die negative Energiebilanz führt zu einer Mobilisation der Fettsäuren aus dem adipösen Gewebe und erhöht den Gehalt an freien Fettsäuren im Plasma, was zum Fettlebersyndrom führen kann (BERTICS et al., 1992). REHAGE (2002) verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen Krankheitskomplexen, Lipomobilisation und Fettlebersyndrom.

Nur wenige Forschungsarbeiten über die Beziehungen zwischen einzelnen Parametern der Energiebilanz und verschiedenen Krankheitskomplexen sind veröffentlicht. Dies mag seine Gründe in den niedrigen Inzidenzen der Stoffwechselerkrankungen (INGVARTSEN et al. (2003) ermittelten aus einer Literaturübersicht folgende Inzidenzen für das Auftreten von Stoffwechselerkrankungen in der Laktation: Ketose ~5 %, Labmagenverlagerung ~2 %, Gebärparese ~6 %) und dem daraus resultierenden großen Aufwand für die Erhebung entsprechend großer benötigter Datensätze haben. Als Folge wird häufig auf das Merkmal Körperkondition als Hilfsmerkmal für die Energiebilanz und auf die Zellzahl als Indikator für die Gesundheit des Tieres zurückgegriffen. Beispielsweise schätzten BERRY et al. (2004) eine genetische Korrelation zwischen der Körperkondition und der Zellzahl von $r_a = -0,57$ (SE = 0,01). DECHOW et al. (2004) untersuchten die genetischen Beziehungen zwischen Krankheitskomplexen und der Körperkondition in amerikanischen und dänischen Milchviehherden. Die genetische Korrelation zwischen den BCS-Noten und einem aus diversen Krankheiten zusammengesetzten Index betrug $r_a = -0,79$ (SE = 0,31) in Milchviehherden in den Vereinigten Staaten. In dänischen Milchviehherden ist eine signifikante genetische Korrelation von $r_a = -0,27$ zwischen den Zuchtwerten für Körperkondition (BCS) und Stoffwechselerkrankungen geschätzt worden. Daher schlagen DECHOW et al. (2004) eine Berücksichtigung der Körperkondition bei den Selektionsentscheidungen vor.

Die bisherigen Informationen über genetische Beziehungen zwischen dem Energiestatus und der Tiergesundheit stammen aus Untersuchungen, bei denen die Energiebilanz über das Lebendgewicht und die Körperkondition geschätzt worden ist. Mit dieser Methode haben BANOS et al. (2006) bei Erstlaktierenden eine genetische Korrelation von $r_a = -0,15$ (SE = 0,07) zwischen den kumulierten täglichen Energiebilanzen bis zur 6. Laktationswoche

und der Zellzahl gefunden. WALL et al. (2007) bestätigen diese Beziehungen und berichten weiterhin von einer genetischen Korrelation von $r_a = 0,10$ zwischen der täglichen Energiebilanz und der Lebensdauer.

Über genetische Korrelationen zwischen Krankheitskomplexen und Energiebilanzmerkmalen, die aus dem Energiebedarf und der Energieaufnahme ermittelt wurden, sind in der Literatur keine Informationen zu finden. Jedoch fanden COLLARD et al. (2000) auf phänotypischer Ebene hohe Korrelationen zwischen Erkrankungen des Bewegungsapparats und den Merkmalen größtes und totales Energiedefizit, welche zum Teil allerdings nur schwach signifikant waren. Zu den Stoffwechselerkrankungen hatte die Anzahl an Tagen mit negativer Energiebilanz die höchste Korrelation mit $r_p = 0,28$. Die Schätzung genetischer Korrelationen ist daher von großer Bedeutung, weil bei ihnen die Antagonismen zwischen Leistungs- und Funktionalmerkmalen deutlicher zum Ausdruck kommen als bei phänotypischen Korrelationen (EMANUELSEN, 1988; JAHNKE und FUNKE, 1989).

Somit kann bisher kein einzelnes Energiebilanzmerkmal als besonders gut geeignet hervorgehoben werden. Es scheint eher so zu sein, wie von BUTLER et al. (1981) postuliert, dass sowohl die Länge als auch das Ausmaß bzw. die Höhe der Energiebilanz ausschlaggebend für den Gesundheitsstatus des Tieres sind.

2.4 Züchterische Aspekte der Futteraufnahme

2.4.1 Messung der Futteraufnahme

Grundlage für die züchterische Bearbeitung eines Merkmals ist eine ordnungsgemäße Leistungsprüfung der Tiere. Zur Prüfung der Futteraufnahme stehen hierzu direkte sowie indirekte Schätzverfahren zur Verfügung, über die WASSMUTH (1998) in seiner Literaturübersicht einen Überblick gibt. Nachteilig bei den kostengünstigeren, indirekten Schätzverfahren ist die mangelhafte Genauigkeit (BRIGSTOCK et al., 1982; SÜPHKE, 1988; GRUBER et al., 1990; VOLLSTEDT, 1991; STAMER et al., 1993; FUENTES-PILA et al., 1996), da die Futteraufnahme zu komplex für eine Darstellung im Modell ist und somit die tierindividuellen Unterschiede nicht abgebildet werden können (INGVARTSEN, 1994). Daher ist die Messung der individuellen Futteraufnahme zur Leistungsprüfung unumgänglich, was aufgrund der hohen Kosten- und Arbeitsintensität vorwiegend auf Versuchsbetrieben möglich ist (BAREILLE et al., 2003).

Eine der ersten Einrichtungen zur Erfassung der individuellen Futteraufnahme war das Calan-Broadbent-System, welches jedem Tier über ein Erkennungssystem nur den Zugang zu einem bestimmten Trog freigab (BROADBENT et al., 1970). Die Tröge wurden bei diesem System noch von Hand befüllt und auch die gefressene Futtermenge wurde als Differenz zwischen Einwaage und rückgewogenem Rest manuell ermittelt. Weiterentwickelte Systeme der Firma AMERICAN CALAN INC. (2006) sind in zahlreichen Forschungszentren vornehmlich auf dem amerikanischen Kontinent im Einsatz (HOLTER et al., 1997; GULAY et al., 2003; CORNELL UNIVERSITY, 2005; HOWIE, 2005; SOUTH DAKOTA STATE UNIVERSITY, 2006), welche vom Konzept und von den technischen Anforderungen her mit dem von der niederländischen Firma Insentec B.V., Marknesse, entwickelten und im europäischen Raum verbreiteten RIC-System® (roughage intake control) übereinstimmen (z. B. Langhill Dairy Cattle Research Center, Schottland (YEATES et al., 2003), Lehr- und Versuchszentrum Futterkamp, BRD (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN, 2005), Animal Science Research Centre in Newport, UK (HARPER ADAMS UNIVERSITY COLLEGE, 2006), Research Centre Foulum, DK (JØRGENSEN et al., 2004), Research Center „De Waiboerhoeve“ in Lelystad, NL (INSENTEC B.V., 2006)). Das RIC-System® besteht aus einem pneumatisch bewegten Gatter, welches mittels eines Erkennungssystems gegebenenfalls den Zugang zu dem auf zwei Wägezellen montierten Trog freigibt. Sobald zwei Infrarotsensoren erkennen, dass die Kuh den Fressplatz verlassen hat, verschließt das Gatter wieder den Zugang. Das Erkennungssystem des Zugangstores, die Wägezellen und die Infrarotsensoren sind mit einem Computer verbunden, wodurch es möglich ist, einzelnen Kühen nur bestimmte Futterplätze freizugeben. Bei jedem Fressplatzbesuch werden die Kuhnummer, die Troggewichte und die Zeiten am Mahlzeitanfang und -ende für jeden Fressplatz aufgezeichnet (TOLKAMP und KYRIAZAKIS, 1997). HALACHMI et al. (1998) entwickelten das real-time control System, welches zuerst in dem Volcani Center in Bet-Dagan, Israel, installiert wurde und nunmehr kommerziell angeboten wird (HALACHMI, 2004). Die wesentlichen Baugruppen dieser Anlage entsprechen dem RIC-System®.

2.4.2 Genetische Parameter der Futteraufnahme

Neben einer ausreichend hohen Heritabilität ist auch eine möglichst große genetische Variation eines Merkmals Voraussetzung für dessen züchterische Bearbeitung. Bei schwer zu

erfassenden Merkmalen wie der Futtermittelaufnahme können die genetischen Korrelationen zu anderen Leistungs- oder Hilfsmerkmalen genutzt werden, um über den korrelierten Selektionserfolg eine Verbesserung des Merkmals zu erreichen.

Die in der Literatur zu findenden Erblichkeitsgrade für die Futtermittelaufnahme liegen in einem mittleren Bereich, was die Futtermittelaufnahme für die Züchtung zum interessanten Merkmal macht. In Tabelle 1 sind in Anlehnung an VEERKAMP (1998) und WASSMUTH (1998) veröffentlichte Heritabilitäten für die Futter- und Energieaufnahme zusammengetragen. Die Bandbreite der Erblichkeitsgrade für die Futtermittelaufnahme reicht von $h^2 = 0,14$ bis $h^2 = 0,61$ mit einer deutlichen Häufung im Bereich von $h^2 = 0,4$. Die Heritabilitäten für die Energieaufnahme sind im Mittel etwas niedriger.

Tabelle 1: Veröffentlichte Heritabilitäten für die Futter- bzw. Energieaufnahme

Merkmal bzw. Quelle	Datenmaterial	Heritabilität
Trockenmasseaufnahme		
BRANDT et al. (1985)	Milchkühe	0,17
KORVER et al. (1991)	Färsen	0,56
PERSAUD et al. (1991)	Milchkühe	0,45
VAN ARENDONK et al. (1991)	Färsen	0,46
LEE et al. (1992)	Färsen	0,27
SVENDSEN et al. (1994)	Färsen	0,49
VEERKAMP und BROTHERSTONE (1997)	Färsen & Milchkühe	0,44
VEERKAMP et al. (2000)	Färsen	0,61
COFFEY et al. (2001)	Färsen	0,14–0,24
Energieaufnahme		
MOORE et al. (1992)	Färsen	0,16
JENSEN et al. (1995)	Färsen	0,22
	Kühe	0,16
VEERKAMP et al. (1995)	Färsen & Milchkühe	0,36

Die Heritabilitäten einzelner Merkmale schwanken im Laktationsverlauf. COFFEY et al. (2001) schätzten diese Heritabilitätsverläufe der Körperkondition, des Lebendgewichts, der Milchmenge und der Futtermittelaufnahme mit Random-Regression-Methoden. Die mittlere Heritabilität der Futtermittelaufnahme lag dabei bis zum 90. Laktationstag mit $h^2 = 0,2$ unter der Heritabilität der Milchmenge ($h^2 = 0,3$), ab dem 90. Laktationstag waren die Heritabilitäten von Milchmenge und Futtermittelaufnahme weitestgehend gleich. Auffällig sind die beobachteten

genetischen Korrelationen der Futteraufnahme zwischen einzelnen Laktationstagen. Die Korrelationen zwischen Laktationsanfang und -mitte waren gering bis leicht negativ, aber hoch zwischen Laktationsanfang und -ende.

Die Beziehungen zwischen der Futteraufnahme von Bullen und der von verwandten Kühen zeigt die Arbeit von NIEUWHOF et al. (1992). Zwischen der Futter- bzw. Energieaufnahme erstlaktierender Kühe und wachsenden Jungtieren oder Jungbullen existieren mittlere bis hohe genetische Korrelationen. Diese betragen zwischen heranwachsenden Bullen und erstlaktierenden Kühen $r_a = 0,77$ für die Grundfutteraufnahme und $r_a = 0,80$ für die Energieaufnahme. Bei den erstlaktierenden Kühen wurden die Korrelationen über die ersten 105 Laktationstage, also dem Zeitraum mit dem höchsten postpartalen Energiedefizit geschätzt.

Die genetische Standardabweichung der Futteraufnahme beträgt nach BRANDT et al. (1985) 0,5 kg TM je Tier und Tag bei einer mittleren Aufnahme von 15 kg TM im Untersuchungszeitraum. Der Variationskoeffizient als das Verhältnis zwischen Standardabweichung und Mittelwert stellt ein weiteres Maß für die Varianz eines Merkmals in der Population dar. Für die Varianz der Futter- bzw. Energieaufnahme bei Bullen geben WASSMUTH (1998) Variationskoeffizienten von 6–8 % an. INGVRTSEN et al. (1992b) haben bei gemischten Gruppen Variationskoeffizienten von 24,6 % gefunden. Die in der Literaturübersicht von ABLEITER (1989) zitierten Forschungsarbeiten haben bei Kühen für die Futteraufnahme im Wesentlichen Variationskoeffizienten im Bereich von 8–12 % gefunden. Für den genetischen Variationskoeffizienten wird ein Wert von 6,3 % über die Gesamtlaktation zitiert. Damit sind die Koeffizienten etwas geringer als bei dem Merkmal Milchleistung, die Autoren sind jedoch der Ansicht, dass ein direkter Selektionserfolg möglich ist.

Ausgewählte genetische Korrelationen zwischen Futteraufnahme und Milchmenge sind in Tabelle 2 dargestellt. Da bei leistungsabhängiger Kraftfutterzuteilung Verzerrungen auftreten, wurden nur Untersuchungen berücksichtigt, bei denen eine TMR oder die Grundration ad libitum und Kraftfutter eventuell als konstante Menge gefüttert wurde. Die Bandbreite der genetischen Korrelationen reicht von $r_a = 0,26$ bis $r_a = 0,78$ mit einer Häufung im Bereich von $r_a = 0,6$.

Tabelle 2: Veröffentlichte genetische Korrelationen zwischen Futtermaufnahme (TM) und Milchmenge (n = Stichprobenumfang)

Quelle	n	Genet. Korrelation Futtermaufnahme– Milchmenge	Fütterungssystem
BRANDT et al. (1985)	64	0,26	TMR ad lib.
PERSAUD et al. (1991)	475	0,60	TMR ad lib.
SVENDSON et al. (1994)	353	0,46	KF fix; Grundration ad lib.
VAN ARENDONK et al. (1991)	360	0,65	KF fix; Grundration ad lib.
VEERKAMP u. BROTHERSTONE (1995)	1157	0,64	TMR ad lib.
VEERKAMP et al. (1995)	377	0,44	TMR ad lib.
JENSEN et al. (1995)	295	0,50	TMR ad lib.
SØNDERGAARD et al. (2002)	603	0,78	TMR ad lib.

TMR = Totale Mischration, KF = Kraftfutter

In der Tendenz bestätigen die dargestellten genetischen Korrelationen die Aussagen von VAN ARENDONK et al. (1991) und VEERKAMP et al. (1995), dass bei der alleinigen Zuchtauswahl nach hoher Milchleistung durch die somit indirekte Zucht auf höhere Futtermaufnahme nur 40–48 % des erhöhten Energiebedarfs abgedeckt werden.

2.4.3 Ökonomische Bedeutung der Futtermaufnahme

Die ökonomische Bedeutung beziehungsweise „das ökonomische Gewicht besagt, in welchem Ausmaß der genetische Fortschritt in einem bestimmten Merkmal zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beitragen kann“ (BÖBNER, 1994). Die ökonomische Bedeutung eines Merkmals wird nach dessen Wirtschaftlichkeitskoeffizienten beurteilt. Dieser entspricht dem Grenznutzen, also der Ertragsänderung bei einer Erhöhung des Merkmals um eine Einheit vom Mittel weg unter c. p. Bedingungen (FEWSON, 1994). POTTHAST (1999) beschreibt verschiedene Methoden zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeitskoeffizienten von Merkmalen:

- Die **Produktionsfunktionen** gelten als Standardmethoden zur Ermittlung von Wirtschaftlichkeitskoeffizienten. In der Produktionsfunktion sind alle Erlöse, Kosten und auch die bei der Produktion ökonomisch relevanten Leistungsparameter enthalten. Durch Ableitung der Funktion nach dem entsprechenden Merkmal ergibt sich dessen wirtschaftliches Gewicht.
- **Grenznutzenfunktionen** haben den Vorteil, dass sie einfach aufzustellen sind. Entsprechend der Formel $\text{Grenznutzen} = \text{Grenzertrag} - \text{Grenzaufwand}$ werden die Grenzfunktionen für jedes Merkmal separat aufgestellt. Durch Einsetzen der zu erwartenden Preise und Kosten wird der entsprechende Wirtschaftlichkeitskoeffizient abgeleitet. Problematisch ist die Ermittlung des Grenznutzens nach dieser Methode bei Merkmalen, die keinen direkten Marktwert besitzen.
- Bei **Regressionsmethoden** wird der Wirtschaftlichkeitskoeffizient über die Regression eines Zielparameters (z. B. des Nettogewinns) als abhängige Variable auf die übrigen Parameter mit wirtschaftlicher Bedeutung als unabhängige Variablen berechnet. Da dazu ein in der Vergangenheit gesammelter Datensatz notwendig ist, beruhen die errechneten Wirtschaftlichkeitskoeffizienten auf tatsächlichen Wirtschaftsdaten. Nachteilig ist bei dieser Methode, dass zukünftig zu erwartende Rahmenbedingungen nicht berücksichtigt werden können.
- Dies ist mit Hilfe der **Optimierungsmethoden** möglich. Mit ihnen lassen sich auf verschiedenen Ebenen z. B. Einzelbetrieb, Region, Land oder Staat unter diversen Szenarien die optimalen Wirtschaftlichkeitsgewichte ermitteln.

BÖBNER (1994) erläutert die allgemeinen Regeln, die bei der Schätzung wirtschaftlicher Gewichte zu beachten sind. Beispielsweise sollte grundsätzlich vom Populationsmittel ausgegangen werden, und die Markt- und Preisverhältnisse sollten den zukünftigen Rahmenbedingungen entsprechen, in denen sich das genetisch verbesserte Individuum befinden wird (HENZE, 1980; GIBSON, 1989; GROEN, 1989a; GIBSON, 1992; HARRIS und FREEMAN, 1993; GIBSON und WILTON, 1998). Der Abschätzung zukünftiger Rahmenbedingungen kommt dabei eine große Bedeutung zu, denn bei unzutreffenden ökonomischen Gewichten ist der Zuchterfolg reduziert (SMITH, 1983; GROEN, 1990).

Die Tabelle 3 gibt in Anlehnung an KOENEN et al. (2000) einen Überblick über die in der Literatur veröffentlichten ökonomischen Gewichte. Die Bandbreite der ökonomischen Koeffizienten von 0–164 € je Kuh und Jahr bei einer Steigerung der TM-Aufnahme um 1 kg/Tag weist auf die Schwierigkeiten bei der Vergleichbarkeit verschiedener inter-

nationaler Arbeiten hin. BÖBNER (1994) führt hierzu aus, dass sich die wirtschaftlichen Gewichte aus unterschiedlichen Arbeiten nur unzureichend miteinander vergleichen lassen, da häufig verschiedene Modelle und Modellannahmen insbesondere bezüglich der Berücksichtigung der fixen und variablen Kosten verwendet wurden.

Tabelle 3: Veröffentlichte ökonomische Gewichte der Futteraufnahme

Quelle	Ökonomisches Gewicht € / (kg / Tag) / je Kuh / Jahr ¹
GROEN und KORVER (1989)	2–17
ZEDDIES (1992)	77–164
ZEDDIES (1994)	66–99
BÖBNER (1994)	61
STEVERINK et al. (1994)	0–3
BERENTSEN und GIESSEN (1996)	7–37
VEERKAMP (1996)	5–27

¹ 1,00 € = 0,51 DM = 0,68 GBP = 0,45 NLG = 1,6 SFR
in Anlehnung an KOENEN et al. (2000)

KOENEN et al. (2000) sehen die Ursachen der hohen Variation hauptsächlich in den unterschiedlichen Milchleistungen und angesetzten marginalen Futterkosten. Der Effekt unterschiedlicher Preisrelationen zwischen Kraft- und Grundfutter wird bei dem von BÖBNER (1994) angestellten Vergleich mit den Ergebnissen von GROEN (1989b) und ZEDDIES (1994) deutlich. Da in den Arbeiten von GROEN (1989) und ZEDDIES (1992), die von einer Verbesserung der Gesamtfutteraufnahme ausgehen, die Fütterung durch die Substitution von Kraftfutter durch Grundfutter optimiert wird, ist ein Vergleich mit der Arbeit von BÖBNER (1994) möglich. Dieser modelliert eine Verbesserung der Grundfutteraufnahme und kommt je nach einkalkuliertem Preisverhältnis zwischen Kraft- und Grundfutteraufnahme zu ähnlichen wirtschaftlichen Gewichten des Futteraufnahmevermögens wie GROEN (1989b) und ZEDDIES (1994). Dem Prinzip des abnehmenden Grenznutzens entsprechend zeigt sich in allen drei Arbeiten, dass mit zunehmendem Niveau der Grundfutteraufnahme das wirtschaftliche Gewicht der zusätzlich aufgenommenen Grundfuttermenge sinkt. Der Grenznutzen ist hauptsächlich von der Höhe der substituierten Kraftfuttermenge beeinflusst, was die Abhängigkeit des Grenznutzens der Futteraufnahme von dem Milchleistungsniveau verdeutlicht. Die Zunahme der wirtschaftlichen Bedeutung der Futteraufnahme bei gesteigerten Milchleistungen zeigte sich auch in den Ergebnissen des simultan-dynamischen Optimierungsmodells von MACK (1996). Dass die Futteraufnahme in der Analyse von MACK (1996) das einzige untersuchte Merkmal mit einer positiven

Veränderung des Grenznutzens bei einer Milchleistungssteigerung ist (+0,0205 €/kg bei einer Milchleistungssteigerung um 100 kg FECM bei der Rasse Schwarzbunt), bekräftigt die zunehmende Bedeutung des Futteraufnahmevermögens. Wie MACK (1996) berechneten auch KOENEN et al. (2000) ökonomische Gewichte mit Hilfe der Simulation von verschiedenen Szenarien mit einem statisch dynamischen Modell. Die Auswirkungen verschiedener agrarpolitischer Rahmenbedingungen auf die ökonomische Bedeutung der Futteraufnahme zeigen sich folgendermaßen: Bei völliger Marktliberalisierung beträgt der Wirtschaftlichkeitskoeffizient 18 €/kg und steigt mit zunehmenden Restriktionen auf bis zu 40 €/kg pro Kuh und Jahr an.

Bei der Berechnung der ökonomischen Bedeutung in den bisher zitierten Forschungsarbeiten wird vornehmlich die mögliche Substitution teuren Kraftfutters durch kostengünstigeres Grundfutter bei einer gesteigerten Futteraufnahme berücksichtigt. Die vom AUSSCHUSS FÜR GENETISCH-STATISTISCHE METHODEN IN DER TIERZUCHT DER DGfZ (1990) beschriebene indirekte wirtschaftliche Bedeutung durch die Verringerung des postpartalen Energiedefizits mit den dadurch „bedingten positiven Wirkungen auf die Tiergesundheit und Fruchtbarkeit“ fließt nicht mit in die bisherigen Kalkulationen ein. Um diese mit in den ökonomischen Koeffizienten berücksichtigen zu können, sind nach VEERKAMP et al. (1998) weitere Untersuchungen über die genetischen Zusammenhänge zwischen der Futteraufnahme und den Merkmalskomplexen Fruchtbarkeit und Gesundheit erforderlich.

2.4.4 Berücksichtigung der Futteraufnahme in der Rinderzucht

Die Steigerung der Wirtschaftlichkeit bei der Erzeugung tierischer Produkte ist das Ziel der züchterischen Bearbeitung von Nutztierpopulationen in der Erwerbslandwirtschaft (REINSCH, 1993). Die Maximierung der Wirtschaftlichkeit geht einher mit der Berücksichtigung sowohl der Leistungsmerkmale als auch der funktionalen Merkmale, deren Beitrag sich nicht in direkten Verkaufserlösen ablesen lässt, sondern die meist durch Kostensenkungen zur Rentabilität der Produktion beitragen (CHRISTENSEN, 1990; REINSCH, 1993). Sollen solche Merkmale in der Zucht mitberücksichtigt werden, so ist der Gesamtzuchtwert optimalerweise als Index aus einer Linearkombination von Wirtschaftlichkeitskoeffizienten und den Teilzuchtwerten dieser Merkmale derart zu definieren, dass durch eine Maximierung des genetischen Fortschritts das Gesamtzuchtziel möglichst zügig erreicht wird.

Die Wirtschaftlichkeitskoeffizienten stellen den Grenznutzen bzw. den Grenzgewinn dar, und aus dem Produkt von genetischer Standardabweichung und Wirtschaftlichkeitskoeffizient kann der Wert der Verbesserung eines Merkmals um eine genetische Standardabweichung und folglich die relative Bedeutung der verschiedenen Merkmale zueinander abgelesen werden. Die Selektionswürdigkeit eines Merkmals hängt somit nicht nur von der guten Erfassbarkeit, der ausreichenden Erbllichkeit, der genügenden genetischen Varianz und der zu vernachlässigenden Korrelation zu anderen Merkmalen ab, sondern auch von dessen wirtschaftlichem Gewicht (WASSMUTH, 1998).

In den letzten Jahrzehnten war die Rinderzucht stark geprägt durch die Selektion auf höhere Milchleistungen (ANDERSEN, 1989; LASSEN et al., 2003), und diese wird auch zukünftig weiter steigen (SWALVE, 1999; LÜPPING, 2006). Der Grenznutzen der Milchleistung wird dabei aufgrund der steigenden variablen Kosten mit zunehmendem Leistungsniveau abnehmen (LÜPPING, 2003). Gleichzeitig werden die wirtschaftlichen Gewichte der funktionalen Merkmale nach BÖBNER (1994) zunehmen. So wird das wirtschaftliche Gewicht des Grundfutteraufnahmevermögens, der Nutzungsdauer und der Konzeptionsrate bezogen auf deren genetische Standardabweichungen bei einer Milchleistung von 8.100 kg pro Jahr mit dem der Milchleistung vergleichbar sein (BÖBNER, 1994).

Die in Tabelle 2 wiedergegebenen genetischen Korrelationen zeigen, dass mit der Selektion auf höhere Milchleistung schon in der Vergangenheit indirekt auf eine höhere Futteraufnahme selektiert wurde. Es wird jedoch auch deutlich, dass der Mehrbedarf an Energie nicht durch die indirekten Selektionserfolge in der Futteraufnahme kompensiert werden kann (KORVER, 1988; VAN ARENDONK et al., 1991; JENSEN et al., 1995; VEERKAMP, 1998). Daher forderten VAN ARENDONK et al. (1991) die direkte Einbeziehung der Futteraufnahme in das Zuchtziel. Es wurden in der Vergangenheit jedoch auch die Möglichkeiten der Einbindung anderer „Futteraufnahmeparameter“ in die Zuchtplanung diskutiert, worauf im Folgenden kurz eingegangen wird.

2.4.4.1 Futtermittelverwertung/-aufwand

Schon 1864 erwähnt KÜHN, dass in der Züchtung nicht allein auf die Milchleistung, sondern auch auf die Effizienz in Form der Futterausnutzung geachtet werden sollte. Die Effizienz wird als Futtermittelverwertung bzw. -aufwand definiert über den Quotienten aus Input (aufgenommener Futtermenge) und Output (Milchleistung), wobei zwischen der Gesamtfuttermittelverwertung (gross feed efficiency) und der Leistungsfuttermittelverwertung

(net efficiency) unterschieden wird. Während bei der Gesamtfutterverwertung die aufgenommene Energiemenge den Zähler darstellt, fließt bei der Leistungsfutterverwertung die um den Energiebedarf für Erhaltung und Körpergewichtsveränderungen bereinigte Energieaufnahme in den Quotienten ein (HOOVEN et al., 1972; GRAVERT, 1985; GIBSON, 1987; BUTTAZONI und MAO, 1989; WALTER und MAO, 1989).

Die Heritabilität der Gesamtfutterverwertung liegt nach VEERKAMP (1998) in demselben Bereich wie bei der Milchleistung. Probleme bei der züchterischen Bearbeitung der Futterverwertung dürfte jedoch die genetische Varianz bereiten. Diese scheint nach BAUMAN et al. (1985) sowie VEERKAMP und EMMANS (1995) eher gering zu sein. BAUMAN et al. (1985) zeigen in ihrer Literaturübersicht nach Aufteilung des biologischen Mechanismus der Futterverwertung in die Teilbereiche Verdaulichkeit/Absorption, Erhaltungsbedarf, Teilwirkungsgrade bei der Umsetzung der Umsetzbaren Energie (ME) in die Produkte sowie bei der Aufteilung der Nährstoffe, dass nur bei dem letzten Punkt eine wesentliche genetische Variation vorhanden ist. So werden bei milchbetonten Kühen mehr Nährstoffe der Leistungsrichtung Milch zugeteilt als bei Ansatztypen. Ein Teil einer vorhandenen genetischen Variation könnte BAUMAN et al. (1985) zufolge mit unterschiedlichen Enzymaktivitäten erklärt werden. Nach VEERKAMP und EMMANS (1995) liegen die Schwierigkeiten des Nachweises einer genetischen Varianz für Teilwirkungsgrade auch in den Unzulänglichkeiten des Datenmaterials bezüglich Anzahl und Genauigkeit. Neben diesem Gesichtspunkt verweist LEGATES (1990) bei der Interpretation der durch Selektion auf Milchleistung vom 71. bis zum 120. Laktationstag indirekt um 7,6 % verbesserten Gesamtfutterverwertung zusätzlich auf einen anderen Aspekt: Die Berücksichtigung der Gesamtfutterverwertung in einem Laktationsabschnitt könnte eine Selektion von Tieren mit einer hohen Mobilisationsfähigkeit von Körperreserven zur Folge haben. Eine Kuh, die wenig frisst und aufgrund einer hohen Milchleistung viel Körpersubstanz einschmilzt, erscheint in der Gesamtfutterverwertung vorteilhaft, solange die Körperreserven nicht ersetzt worden sind.

In der Milchviehzucht sind Effizienzparameter LEGATES (1990) und BÖNING (1991) zufolge als Selektionsmerkmale nicht zur Anwendung gekommen. Als viel versprechende Faktoren zur züchterischen Verbesserung der Effizienz sieht VEERKAMP (1998) das Futteraufnahmevermögen, den Energiebedarf für Milchleistung, Erhaltung und Körpergewichtsveränderungen sowie die eventuellen Unterschiede in der Aufteilung der Energie zwischen diesen Komponenten an.

2.4.4.2 Restfutteraufnahme

Die Abweichung zwischen tatsächlicher und der auf Grundlage von Erhaltungs- und Leistungsbedarf geschätzten Energieaufnahme wird als Restfutteraufnahme (RFI = residual feed intake) bezeichnet (LUITING et al., 1987). Die RFI ist im weiteren Sinne auch ein Effizienzparameter, da sie Unterschiede der Futtermittelverwertung des Einzeltieres zum Populationsmittel verdeutlicht. Obwohl LEUTHOLD et al. (1994) auch günstige Voraussetzungen dieses Effizienzmerkmals für die züchterische Bearbeitung des Milchrindes gefunden haben, ist die RFI jedoch wesentlich stärker in der Mastrinderzucht verbreitet. Die Heritabilitäten der RFI bei verschiedenen Fleischrassen reichen von $h^2 = 0,16$ bis $h^2 = 0,43$. Aufgrund der genetischen Korrelationen zu anderen Merkmalen schlagen HERD et al. (2003) eine Selektion der Mastrinder gegen hohe RFI vor, da dadurch der Futteraufwand ohne Beeinträchtigung der Wachstumsraten verbessert werden könnte.

Bei Milchkühen fanden VAN ARENDONK et al. (1991) eine Heritabilität von $h^2 = 0,19$. KENNEDY et al. (1993) und VEERKAMP et al. (1995) zeigten, dass es je nach Art der Ableitung des Energiebedarfes große Unterschiede in den resultierenden Heritabilitäten der Restfutteraufnahme beim Milchvieh gibt. Wird der Energiebedarf über genetische Regressionen geschätzt, so sinkt die Heritabilität gegen Null. Während VEERKAMP et al. (1995) das Vorhandensein einer geringen additiv genetischen Varianz der Restfutteraufnahme beim Milchvieh für wahrscheinlich halten, betonen NGWERUME und MAO (1992) sowie SVENDSEN et al. (1993), dass keine additiv genetische Varianz vorhanden ist. KENNEDY et al. (1993) zufolge werden durch die Restfutteraufnahme keine neuen genetischen Informationen gewonnen. Die Selektion auf RFI und Leistungsmerkmale führt zu dem gleichen Zuchtfortschritt wie die Selektion auf Futteraufnahme und Leistungsmerkmale.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch VAN DER WERF (2004) in seinen Untersuchungen zur Sinnhaftigkeit eines Zuchtprogramms mit Berücksichtigung der RFI. Diese führt zu keinem gesteigerten Züchterfolg gegenüber der multivariaten Selektion auf die einzelnen Bestandteile der RFI-Berechnung. Wahrscheinlich ist die multivariate genetische Bewertung der Einzelmerkmale mit individuellen Modellen genauer als mit der RFI alleine (VAN DER WERF, 2004).

2.4.4.3 Energiebilanz

Auf die Bedeutung und Ermittlung der Energiebilanz wurde im Abschnitt 2.3 bei der Erörterung des postpartalen Energiedefizits eingegangen. Die Heritabilität der Energiebilanz schätzten VEERKAMP et al. (2000) auf $h^2 = 0,33$. HARRISON et al. (1990) fanden eine hochsignifikante phänotypische Korrelation von $r_p = 0,86$ zwischen der Energiebilanz und der Futteraufnahme, BÖNING (1992) berechnete eine phänotypische Korrelation von $r_p = 0,75$ bei Verfütterung einer Einheitsration. Genetische Korrelationen zwischen Energiebilanz und Futteraufnahme bzw. Milchmenge werden von VEERKAMP et al. (2000) mit $r_a = 0,62$ und $r_a = -0,27$ angegeben. Dies bestätigt die von VILLA-GODOY et al. (1988) gemachten Aussagen, dass die Variation der Energiebilanz zum Großteil durch die Futteraufnahme ($r_p = 0,73$, mit $p < 0,01$) und weniger durch die Milchleistung ($r_p = -0,25$, mit $p < 0,05$) erklärt wird. Auch ZUREK et al. (1995) kommen zu diesem Ergebnis. In dem Zeitraum von dem größten Energiedefizit bis zu einer ausgeglichenen Energiebilanz (Erholungsphase) liegt die Korrelation zwischen Energieaufnahme und der Energiebilanz bei $r_p = 0,83$.

Während die Selektion auf Milchmenge und Lebendgewicht nach VEERKAMP et al. (2000) einen Fruchtbarkeitsrückgang (bzw. verspäteten Zyklusstart) unter Beibehaltung von 70–80 % der Proteinmengensteigerung verhindern kann, führt die Einbeziehung der Energiebilanz in die Selektionsentscheidungen zu ähnlichen Ergebnissen bei einem geringeren Anstieg der Lebendgewichte.

Allerdings ergeben sich auch einige Probleme bei der Nutzung der Energiebilanz als Selektionsmerkmal.

COFFEY et al. (2002, 2003b) untersuchten die Korrelationen zwischen den täglichen Energiebilanzen sowie den kumulativen Energiebilanzen an ausgewählten Laktationstagen der ersten drei Laktationen. Die Korrelationen sowohl der täglichen als auch der kumulativen Energiebilanzen zwischen den drei Laktationen sind gerade am Laktationsanfang gering. Die kumulativen Energiebilanzen der ersten drei Laktationen sind miteinander höher korreliert als die täglichen Energiebilanzen. COFFEY et al. (2002) kommen daher zu der Ansicht, dass der gesamte Energiebilanzverlauf über die ersten drei Laktationen als Selektionsmerkmal berücksichtigt werden sollte.

Auch zeigten COFFEY et al. (2002), dass verschiedene Methoden der Energiebilanzermittlung (alternativ z. B. über die BCS-Noten, welche nach CHILLARD et al. (1991) die kumulative Energiebilanz über den Betrachtungszeitraum darstellen) zu unterschiedlichen Energiebilanzen führen, was aus den Ungenauigkeiten bei den Messungen der einzelnen Parameter verbunden mit den Unzulänglichkeiten in den Schätzformeln resultiert.

Als eine potentielle Fehlerquelle ist die Schätzung des Erhaltungsbedarfes zu nennen. AGNEW und YAN (2000) beschreiben, dass der Erhaltungsbedarf heutiger Genotypen um ca. 25 % über den in den Energiebewertungssystemen angegebenen Werten liegt, deren experimentelle Basis Untersuchungen aus den 60er und 70er Jahren sind. CAMMELL et al. (2000) zufolge wird der Erhaltungsbedarf bei maisbasierter TMR-Fütterung sogar um 40 % unterschätzt. Als mögliche Ursache für den gestiegenen Erhaltungsbedarf sehen AGNEW und YAN (2000) eine veränderte Körperzusammensetzung mit deutlich höherem Proteingehalt der heutigen Genotypen im Vergleich zu den damaligen Versuchstieren. Muskelmasse unterliegt sehr viel intensiveren Stoffwechselfvorgängen als Fettgewebe und hat deshalb auch einen höheren Erhaltungsbedarf an Energie.

Des Weiteren erwähnen AGNEW und YAN (2000), dass in Futterbewertungssystemen mit konstanten Energiegehalten von Körpermasseveränderungen gerechnet wird. TAMMINGA et al. (1997) jedoch haben gezeigt, dass die Energiegehalte je Einheit mobilisierter Körpermasse in den ersten 8 Laktationswochen signifikant zunehmen, da das Fett / Proteinverhältnis der mobilisierten Körpersubstanz aufgrund der schnell sinkenden Proteinmobilisierung ansteigt. Dies sollte nach AGNEW und YAN (2000) ebenso bei der Energiebedarfsschätzung von Milchkühen Berücksichtigung finden wie die Beobachtung, dass der Erhaltungsbedarf von Milchkühen bei Aufnahme von faserreicheren Rationen steigt.

KORVER (1988) beschreibt in seiner Literaturübersicht, dass für die Streuung des Erhaltungsbedarfes Variationskoeffizienten von 4–8 % gefunden wurden. Die Verwendung eines mittleren Energiebedarfswertes bei der Rationsplanung einer Milchviehherde scheint daher gerechtfertigt zu sein, bei der individuellen Berechnung der Energiebilanzen stellt die Streuung jedoch eine Fehlerquelle dar.

Deutlich sichtbar wird das Problem der Berechnung der Energiebilanzen in der Untersuchung von STAPLES et al. (1990). Obwohl die Energie aus eingeschmolzener Körpersubstanz mit in die Berechnung der Energiebilanz einbezogen wurde, waren die Energiebilanzen am Laktationsanfang negativ.

3 Eigene Untersuchungen

3.1 Allgemeine Versuchsbedingungen

Zeitgleich zur Installation der Grundfutteranlage wurde auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm ein neues Melksystem eingerichtet. Für beide Anlagen waren umfangreiche Baumaßnahmen im Milchviehstall des Versuchsbetriebs Karkendamm notwendig. Im Folgenden werden deshalb der umgebaute Milchviehstall sowie Aufbau und Funktion der Grundfutteranlage dargestellt.

3.1.1 Aufbau und Funktion des Milchviehstalles

Die Ausgangssituation auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm stellt ein 4-reihiger Boxenlaufstall mit Außenfütterung dar, dessen Aufbau und Funktionen bereits von LUTHER (2003) ausführlich beschrieben worden ist. Somit soll an dieser Stelle der Fokus auf die Veränderungen von Aufbau und Funktionsweise gerichtet werden. Der erweiterte Grundriss des Milchviehstalles seit August 2005 ist in der Abbildung 2 abgebildet.

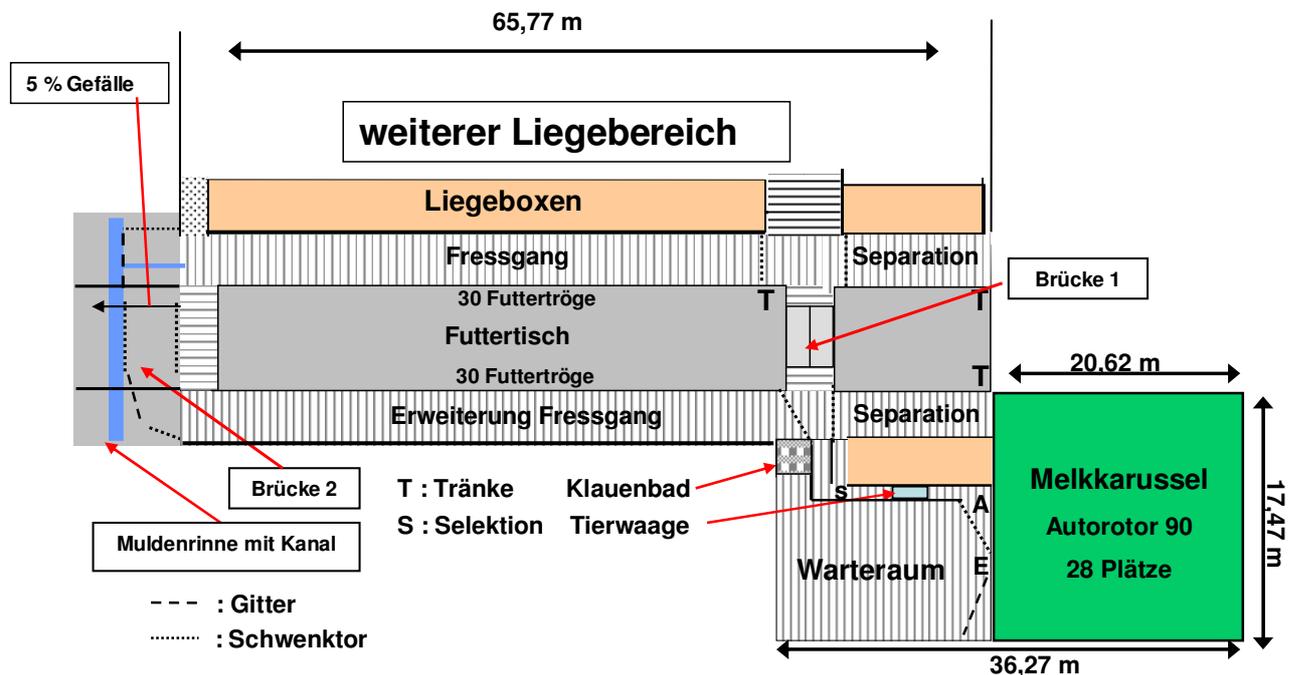


Abbildung 2: Erweiterter Grundriss des Milchviehstalles seit August 2005

Ausschlaggebend für die An- und Umbaumaßnahmen war zum einen die geplante Installation einer Futteraufnahmewiegeanlage (im folgenden Grundfutteranlage genannt), zum anderen die Entscheidung der WESTFALIASURGE Deutschland GmbH (2004), Bönen, zur Einstellung der Weiterentwicklung und längerfristig auch der Aftersale-Dienstleistungen für das AMS Leonardo®.

Dies bedeutete zwangsläufig den Wechsel der Melktechnik auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm. Es erfolgte die Rückkehr von der automatischen zur konventionellen Melktechnik, indem an der Ostseite des Milchviehstalles ein Melkhaus für ein Melkkarussell AutoRotor90[®] mit 28 Melkplätzen gebaut wurde.

Dementsprechend entstand eine neue Anordnung der drei Funktionsbereiche Liegen/Ruhen, Fressen und Melken.

Um vom Ruhe- und Liegebereich zum Melkbereich zu gelangen, müssen die Kühe jetzt zwangsläufig den Fressbereich und den Futtertisch überqueren. Da sich dadurch die Wege des Futtermischwagens und der Kühe kreuzen, besteht allgemein die Gefahr, dass durch Kot und Harn an den Reifen des Futtermischwagens nach dem Durchfahren der Übertreibewege der Futtertisch und das Grundfutter verschmutzt werden. Um diese Gefahr zu minimieren, wurden 2 „Brücken“ entsprechend der Abbildung 2 konstruiert.

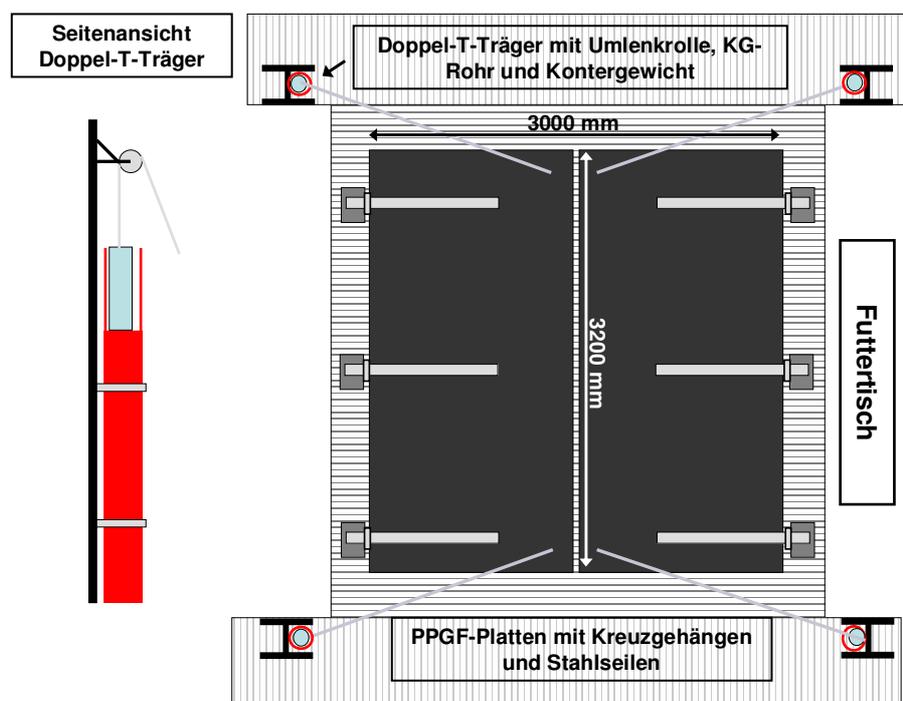


Abbildung 3: Konstruktion der Brücke 1 (Seitenansicht und Aufsicht)

Brücke 1 funktioniert nach dem Prinzip einer Zugbrücke, deren Fundament und Graben ein mit befahrbaren Spalten ausgestatteter Übertreibegang von ca. 3,50 m Breite auf dem Futtertisch darstellt (Abbildung 3). Dieser Übertreibegang wurde mit zwei einseitig genoppten Platten aus PPGF der Abmessungen 1500 x 3200 x 11 / 13 mm abgedeckt. Als Scharnier wurden jeweils drei Kreuzgehänge benutzt. Das Band der Kreuzgehänge wurde mit den PPGF-Platten fest verschraubt und die Platte auf massive Eisenplatten aufgeschweißt, welche mit Schwerlastdübeln an den befahrbaren Spalten befestigt wurden. Das Scharnier der

Kreuzgehänge konnte dadurch in dem Spalt zwischen PPGF-Platte und der massiven Stahlplatte versenkt werden. An der Innenseite der PPGF-Platten wurden VA-Stahlseile mit einem Durchmesser von 5 mm befestigt. Diese Stahlseile laufen über Umlenkrollen, die in entsprechender Höhe an den Doppel-T-Trägern der Pultdachkonstruktion befestigt sind, zu Kontergewichten aus Beton, die von KG Rohren (120 mm Durchmesser) im U-Raum der Doppel-T-Träger geführt werden. Die Masse der Kontergewichte wurde so bestimmt, dass sich die PPGF-Platten mit geringer Muskelkraft aufstellen lassen.

Parallel dazu wurden an der Brücke 1 vier Drehtore installiert, die je nach Stellung entweder den Futtertisch oder den Übertreibegang absperren. Diese Drehtore dienen auch der aus Sicherheitsgründen notwendigen Fixierung der PPGF-Platten im aufgestellten Zustand.

Der zusätzliche Arbeitsablauf vor dem Füttern besteht erstens aus dem Absperren der Übertreibgänge durch das Umschwenken und Verriegeln der Drehtore und zweitens aus dem anschließenden Absenken der PPGF-Platten.

Eine weitere Brücke dieser Bauart hätte auch an der Westseite des Futtertisches mit geringem Aufwand installiert werden können, da auch hier ein mit befahrbaren Spalten ausgestatteter Übertreibegang vorhanden ist. Allerdings war durch die fortschreitende Planung der Grundfutteranlage abzusehen, dass man bei einem weiteren Übergang im Bereich des Futtertisches zu viele Fressplätze verlieren würde. Deshalb wurde an der Westseite des Futtertisches ein als Brücke 2 bezeichneter Übergang außerhalb des vom Pultdach geschützten Futtertisches gebaut. Ausgangspunkt stellt hier die betonierte Anfahrtsrampe zum Futtertisch mit einem Gefälle von 5 % dar. An beiden Seiten der Rampe befinden sich betonierte Flächen auf dem Niveau des Spaltenbodens mit leichtem Gefälle in Richtung Westen. Die Lauffläche für die Kühe wurde auf diesen Flächen durch Absperrgitter erweitert, so dass ein ca. 3 m breiter Übertreibegang auf der Rampe genutzt werden kann. Der Treibegang bzw. die Durchfahrt für den Futtermischwagen wird hier wechselseitig durch zwei 3 m breite Drehtore mit DeBoer-Verschlüssen versperrt. Vor dem Durchfahren dieses Übertreibeweges wird die Rampe mit einem Gummischieber manuell gereinigt. Kurz unterhalb des äußeren Gitters wurde ein Kanal mit Muldenrinnensteinen und Abflüssen zum Auffangen von Harn, Kot und Wasser gebaut, der diese Verschmutzungen in den Güllekanal leitet. Das Betreten der an der höchsten Stelle etwa 20 cm hohen schrägen Rampe von der Seite stellt für die Kühe kein Hindernis dar.

In den Zwischenmelkzeiten sind beide Brücken für das Überqueren des Futtertisches für die Kühe geöffnet, damit diese freien Zutritt zum Grundfutter haben.

Zum Melken werden die Kühe aus dem Liegebereich über den „Erweiterten Fressgang“ durch das Klauenbad in den Warteraum vor dem Melkhaus getrieben. Der Warteraum hat eine Kapazität für 120 Kühe und ist mit einem automatischen Treiber ausgestattet. Durch eine Zwangsschleuse gelangen die Kühe nun einzeln auf die Plattform des Melkkarussells. Die Kühe verlassen den Melkbereich durch einen Rücktreibegang, der mit einer Tierwaage und einer Selektion ausgestattet ist. So werden die Tiere automatisch nach jeder Melkung gewogen und können bei Bedarf separiert werden. Die nicht ausselektierten Kühe gelangen am Ende des Rücktreibegangs zur Brücke 1 und können somit zum Ruhe- und Liegebereich zurückkehren oder den Fressgang betreten.

3.1.2 Aufbau und Funktion der Grundfutteranlage

Die Entwicklung und Installation der Grundfutteranlage erfolgte in den Teilbereichen mechanische Konstruktion, Elektrik und Software. Somit sollen auch Aufbau und Funktion der Grundfutteranlage nach einer kurzen Darstellung des Gesamtkonzeptes in derselben Einteilung in den folgenden Abschnitten beschrieben werden.

Zusätzlich zu dem Rechner mit dem Herdenmanagementprogramm, der die Daten aus dem Melkverfahren, der Tierwaage und den Kraffutterstationen verarbeitet, wurde ein zweiter Rechner zur Erfassung der Daten aus der Grundfutteranlage aufgestellt (Abbildung 4).

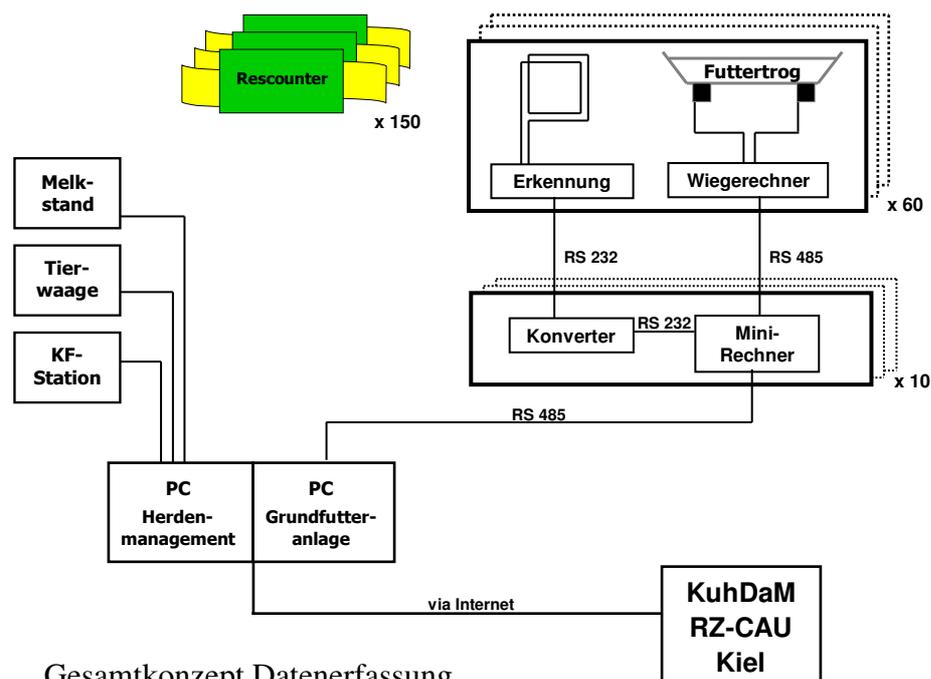


Abbildung 4: Gesamtkonzept Datenerfassung

Dieser Rechner kommuniziert mit 10 Mini-Rechnern, die jeweils die Daten von 6 Futterplätzen erfassen und an den Hauptrechner verschicken. Jeder Futterplatz besteht aus einer wiegenden Futterschale und einem Erkennungssystem, damit die individuelle Grundfutteraufnahme der Milchkühe gemessen werden kann. Die täglichen Datensätze aus der Grundfutteranlage und dem Herdenmanagementprogramm werden nachts via Internet an einen Server des Rechenzentrums Kiel geschickt, in die Datenbank KuhDaM (KARSTEN und STAMER, 2006) eingelesen und stehen dann für weitere Auswertungen zur Verfügung.

3.1.2.1 Die Konstruktion der Grundfutteranlage

Grundsätzlich gibt es zwei Bauweisen beim Wiegen von Futtertrögen. Entweder sind die Futtertröge links und rechts an Kraftaufnehmern aufgehängt oder sie stehen auf einer zentralen Wiegeeinheit.

Erfahrungen mit anderen Grundfutteranlagen mit links- und rechtsseitiger Trogaufhängung haben gezeigt, dass solche Systeme einen sehr hohen Zeitaufwand für die Reinigung in Anspruch nehmen, bei denen die Futtertröge mit ihren Ständern einzeln auf den Futtertisch aufgedübelt sind. Deshalb wurde eine leichter zu reinigende, freitragende Konstruktion entwickelt. Ausgangspunkt für diese Konstruktion war zum einen die Form der Tröge, zum anderen der Aufbau des vorhandenen Fressbereiches.

Diese Tröge bestehen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) und haben an der Oberkante die Maße 160 x 71 cm. Dieses Maß verjüngt sich bei einer Tiefe von 67 cm auf die Maße 120 x 49 cm. An den beiden Außenseiten ist jeweils eine Edelstahlplatte mit Handgriff und Halterung für die Aufnahme eingeklebt. An der dem Fressgang zugewandten Seite hat jeder Trog mittig eine Aussparung von 52 x 34 cm synchron zu den V-Öffnungen der Fressgitter.

Der Fressbereich besteht aus einem überdachten Futtertisch mit zwei Fressgängen (Abbildung 2). Das Pultdach des Futtertisches zwischen Brücke 1 und Brücke 2 besteht aus 10 Feldern mit je ca. 5 m Breite, getragen von 270 x 135 mm starken Doppel-T-Trägern.

Aus den genannten Maßen ergibt sich, dass in jedem Feld drei Fressplätze entstehen konnten (Abbildung 5).

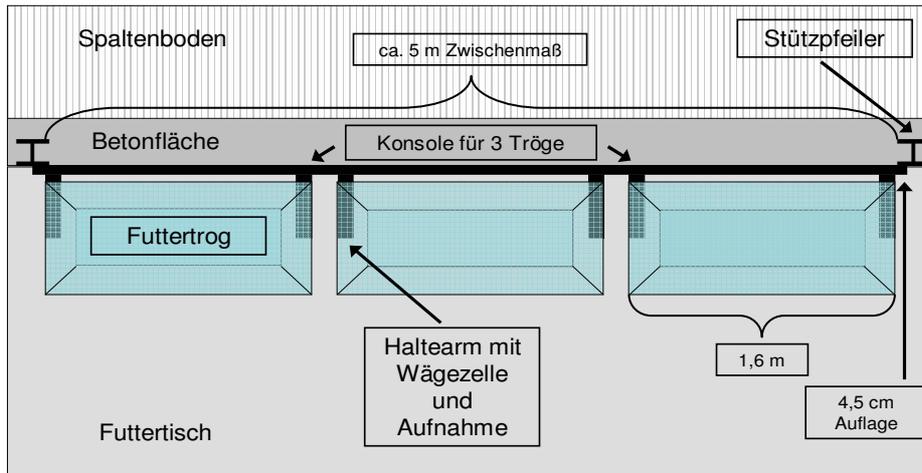


Abbildung 5: Aufsicht Futtertischfeld

Um dieses möglichst freitragend zu realisieren, wurden 20 Konsolen gefertigt, die je drei Tröge aufnehmen und an den Doppel-T-Trägern befestigt werden können. Mit der resultierenden Anzahl von 60 Futtertrögen wird die Herdengröße bei einem Tier-Fressplatz-Verhältnis von 2,5 : 1 auf maximal 150 Kühe begrenzt. Dies entspricht in etwa der Kapazitätsobergrenze des während der Planungen aktuellen automatischen Melkverfahrens (AMS Leonardo[®]).

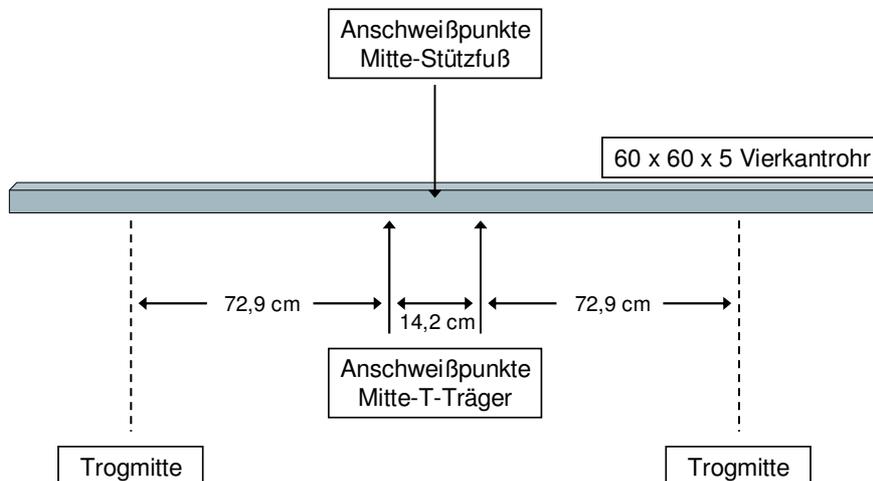


Abbildung 6: Anschweißpunkte der Konsole

Für die Konsolen wurden 6 m lange 60 x 60 x 5 mm starke Vierkantrohre auf das Zwischenmaß der Doppel-T-Träger plus zweimal 4,5 cm Auflage abgelängt. Die halbe Länge des Vierkantrohres markiert die Trogmitte des mittleren Troges. Anhand der ermittelten Abstände von 72,9 cm von der Trogmitte zu den Anschweißpunkten der Arme und 14,2 cm zwischen den Anschweißpunkten der Arme benachbarter Tröge (Abbildung 6) konnten die Anschweißpunkte für alle sechs Arme an dem Vierkantrohr markiert werden. Diese Arme

wurden als 27 cm lange Stücke aus einem 80 x 80 x 9 mm starken T-Träger gesägt, an einer Seite abgeschrägt (Abbildung 8) und mit sechs Bohrungen versehen. Vier dieser Bohrungen dienen der Verschraubung der Wägezelle, durch zwei Bohrungen wird später das Kabel der Wägezelle geführt.

Weiterhin wurden für jede Konsole vier 19,5 cm lange Stützfüße mit Bodenplatten hergestellt. Dazu wurde ein Flacheisen (80 x 80 x 8 mm) mit zwei 11 mm Bohrungen als Bodenplatte an 18,7 cm lange T-Eisen Profile (60 x 60 x 5 mm) geschweißt.

Abschließend wurden die Stützfüße und Arme an den jeweiligen Anschweißpunkten rechtwinklig mit dem Vierkantprofil verschweißt und die Konsolen galvanisch verzinkt.

Passend zu den Konsolen wurden verzinkte Fressgitter entsprechend Abbildung 7 angefertigt.

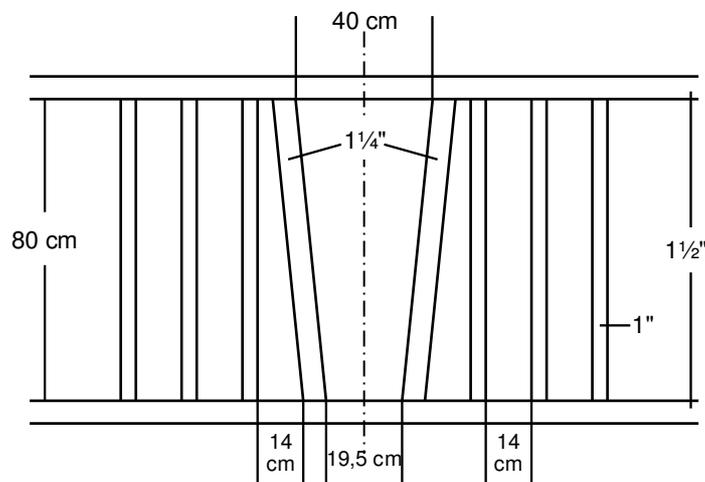


Abbildung 7: Maße Fressgitter

Mit der Montage der Konsolen und der Fressgitter wurde bei der bisher ungenutzten Erweiterung des Fressganges begonnen (Abbildung 1), um den Betriebsablauf möglichst wenig zu beeinträchtigen. Die Konsolen wurden entsprechend Abbildung 8 so an den Doppel-T-Trägern des Pultdaches mit Schellen befestigt, dass an jedem zweiten Doppel-T-Träger noch Platz für einen später zu installierenden 4 cm breiten Kabelkanal ist.

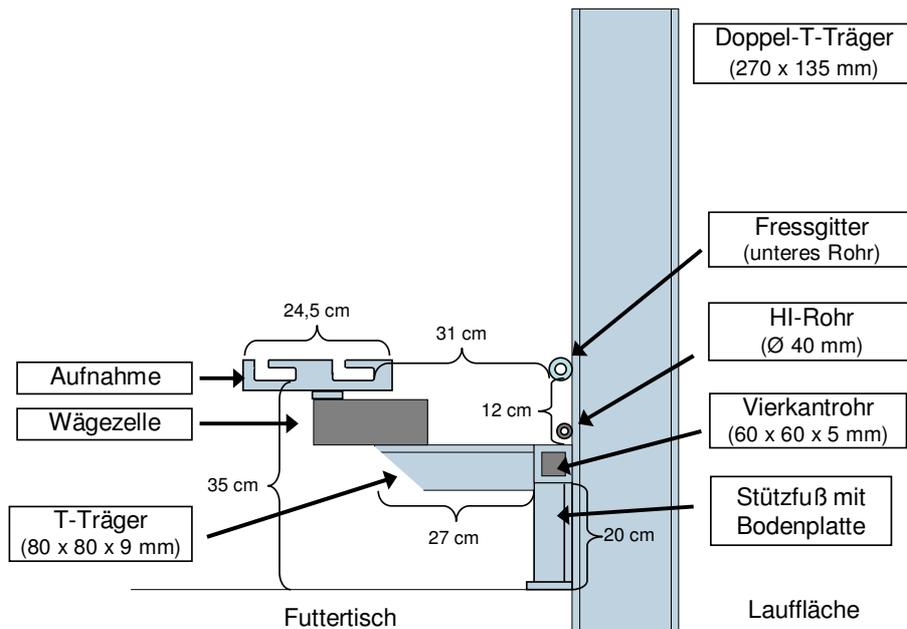


Abbildung 8: Seitenansicht Anbringung und Aufbau der Konsole

Das horizontale und vertikale Ausrichten der Konsolen erfolgte beim Andübeln der Stützfüße der Konsolen auf den Futtertisch. Der Zwischenraum zwischen Stützfuß, Konsole und Futtertisch wurde mit Holzbohlen abgedichtet, damit kein verschüttetes Futter vom Futtertisch auf die Spalten gelangen kann. Die Fressgitter wurden mit einem Abstand von 12 cm zwischen Konsole und unterem Fressgitterrohr an den Doppel-T-Trägern angeschellt. Bevor die Wägezellen auf die Arme geschraubt worden sind, wurden diese paarweise nach deren Kennwert sortiert. Bei den Wägezellen handelt es sich um das Model 1250 der Firma Teda Huntleigh GmbH, Darmstadt, mit einer Kapazität von 200 kg und einem Messfehler von 0,02 %. Abschließend wurden die Aufnahmen in Abstimmung an den jeweiligen Trog an die Wägezellen geschraubt und die Tröge eingesetzt.

3.1.2.2 Installation der Elektrik

Die elektronischen Bauteile der Grundfutteranlage benötigen zwei verschiedene Spannungen. Die Erkennung arbeitet mit einer Spannung von 27 Volt, die Wiegerechner, die Konverter und die Mini-Rechner hingegen erfordern eine Netzspannung von 13 Volt. Dafür wurden an beiden Futtertischseiten am mittleren Pultdachpfeiler Stromversorgungen mit zwei entsprechenden Netzteilen in 2,5 m Höhe angebracht. Entlang beider Futtertischseiten wurde ein offener Aluminium-Kabelkanal in 2,2 m Höhe installiert. Wie in der Abbildung 4 abgebildet ist, bedient ein Mini-Rechner sechs Futtertröge. Deshalb wurde an jedem zweiten Pultdachpfeiler über dem Kabelkanal ein Modul bestehend aus einer Betoplan-Platte mit zwei

Installationskästen befestigt (Abbildung 9). Die Stromversorgung dieser Module mit den beiden Spannungen erfolgt über ein in der Stromversorgung für jedes Modul einzeln abgesichertes Kabel.

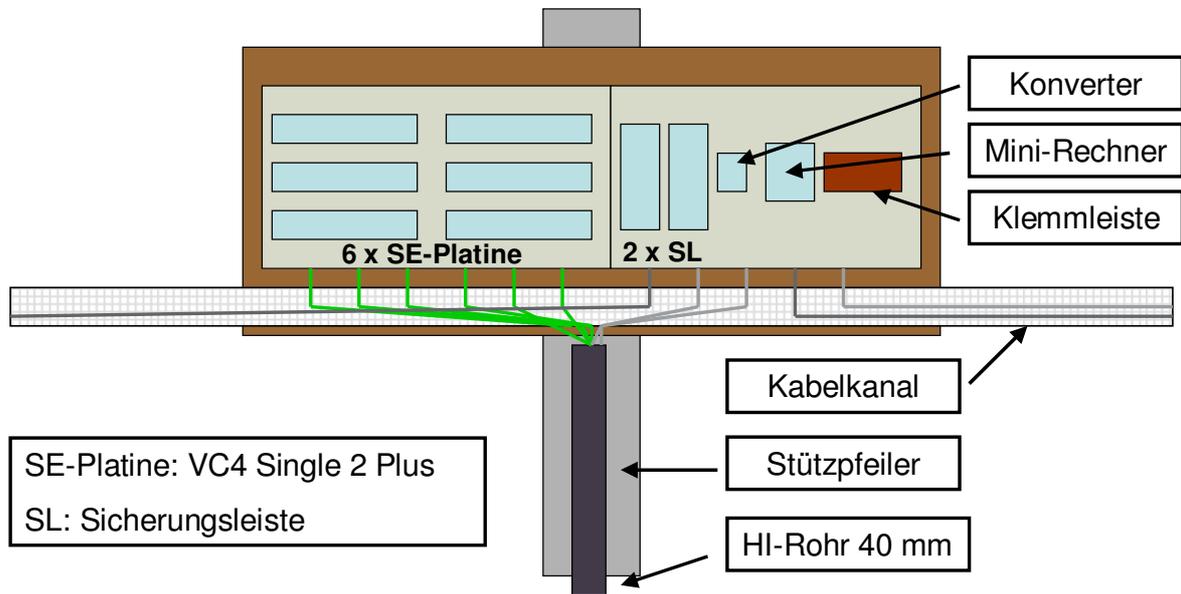


Abbildung 9: Anordnung Schaltkasten

Um die tierindividuelle Futteraufnahme messen zu können, ist jeder Fressplatz mit einem Erkennungssystem der Firma WestfaliaSurge Deutschland GmbH, Bönen, ausgestattet. Dazu wurden Ringantennen in Form einer 40 x 40 cm großen Doppelschleife eines 6 mm² Kabels in einen 50 cm breiten, unbewehrten Betonstreifen (siehe Abbildung 5) zwischen Futtertischkante und Spalten vor jedem Fressplatz einbetoniert. Die Kabelenden der Ringantenne führen in einen KG-Rohr Stutzen, welcher jeweils in der Mitte der Fressplätze in den Futtertisch einbetoniert sind. In diesen Stutzen sind die Antennentransformatoren versenkt, an die die Antennenkabel angeschlossen sind. Von jedem Antennentransformator führt ein Koaxialkabel (0,6 / 3,7 FRNC grün) zu einer VC4 Single 2 Plus Sender/Empfänger-Platine. Als Kabelkanal von den einzelnen Futterplätzen zu den zugehörigen Feldmodulen sind auf der Konsole und den entsprechenden Pultdachpfeilern HI-Rohre mit einem Durchmesser von 40 mm angebracht. Unter Verwendung von HI-T-Stücken und Endkappen ergibt sich somit ein für Nagetiere nicht zugängliches Rohrsystem, in dem die Kabel verlaufen

Auf der Betoplan-Platte sind in dem linken Gehäuse (Maße 60 x 30 x 13 cm) jeweils sechs VC4 Single 2 Plus Platinen untergebracht. Um die LED-Anzeigen auf diesen Platinen durch den transparenten Gehäusedeckel vom Futtertisch aus ablesen zu können, sind die Platinen leicht schräg angeordnet. Dazu wurden aus Plexiglas drei Leisten gesägt, mit entsprechenden

Nuten versehen und so in den linken Gehäusekasten geklebt, dass sechs Einschübe für die VC4 Single 2 Plus Platinen entstanden sind.

Jeweils drei dieser Platinen sind an eine Sicherungsleiste im rechten Gehäusekasten angeschlossen. In diesem Gehäusekasten (Maße 45 x 30 x 13 cm) sind zuzüglich zu den beiden Sicherungsleisten auf einer Hutschiene noch ein Konverter, der Mini-Rechner sowie ein Block Reihenklemmen untergebracht (siehe Abbildung 9). Neben der Sicherungsfunktion werden in den Sicherungsleisten auch die Erkennungssignale der drei angeschlossenen Platinen zusammengefasst. Um die Erkennungsdaten beider Sicherungsleisten auf eine Leitung zu bekommen, werden die Sicherungsleisten im Master-Slave-Modus betrieben. Weitere Informationen über die Verkabelung und weitere Einstellmöglichkeiten des Erkennungssystems sind im Anhang bzw. in den Installationsplänen der WestfaliaSurge Deutschland GmbH, Bönen, zu finden. Die ausgehenden Daten der Master Sicherungsleiste werden in dem Konverter in ein handelsübliches RS232-Signal gewandelt, welches der Mini-Rechner über die COM3-Schnittstelle (RS232) empfängt.

Die Wägezellen eines Futtertroges sind jeweils an einen Wiegerechner angeschlossen. Bei den Wiegerechnern handelt es sich um von der Firma Mantracourt Electronics Ltd., Exeter, hergestellte DSJ1-Module Typ3. Diese Module sind in 8 x 16 cm Gehäusen an der Bohle unterhalb der Konsole angebracht und wandeln die Spannungsänderung in der Wägezelle um in ein digitales Signal. Entsprechend wird auch an diesen Wiegerechnern die Kalibrierung der einzelnen Wiegeeinheiten vorgenommen. Dazu wird ein Laptop direkt an den Wiegerechner über eine RS232-Schnittstelle angeschlossen. Anschließend werden mittels der mitgelieferten Kalibrierungssoftware dem Nullgewicht und einem Eichgewicht die entsprechenden Spannungen zugewiesen und die Einstellungen gespeichert, womit die Kalibrierung abgeschlossen ist.

Da die Wiegerechner eine RS485-Schnittstelle haben, konnten diese in Reihe geschaltet werden. Von dem Klemmenblock im rechten Kasten wurde dementsprechend ein Kabel (LIYCY 4 x 0,25 mm²) zu den drei Wiegerechnern des linken und des rechten Feldes gezogen, wobei jeweils am Busende eine Terminierung von 120 Ω zur Verminderung von Signalreflexionen gesetzt wurde. Von diesen Kabeln wurden jeweils zwei Adern zur Stromversorgung und zum Datentransfer genutzt. Entsprechend der Schaltpläne im Anhang sind die Kabel über den Klemmenblock an den Mini-Rechner angeschlossen.

Der Datenverkehr zwischen Mini-Rechnern und dem Zentralrechner (CPU 1,3 GHz, 256 MB RAM) läuft über einen Einzelstrang Bus. Bei dieser Topologie sind alle Teilnehmer an einem Hauptkabel, dem Bus, angeschlossen. Der Vorteil dieser Topologie sind die niedrigen Kosten

durch den geringen Kabelbedarf sowie die relativ einfache Verkabelung. Dafür wurde ein YSLY-JZ 4 x 1,5 mm² Kabel von dem Büro über den Futtertisch geführt, auf beiden Seiten in dem Kabelkanal verlegt und über den Klemmenblock jeden Schaltkastens an die einzelnen Mini-Rechner angeschlossen (siehe Schaltpläne im Anhang).

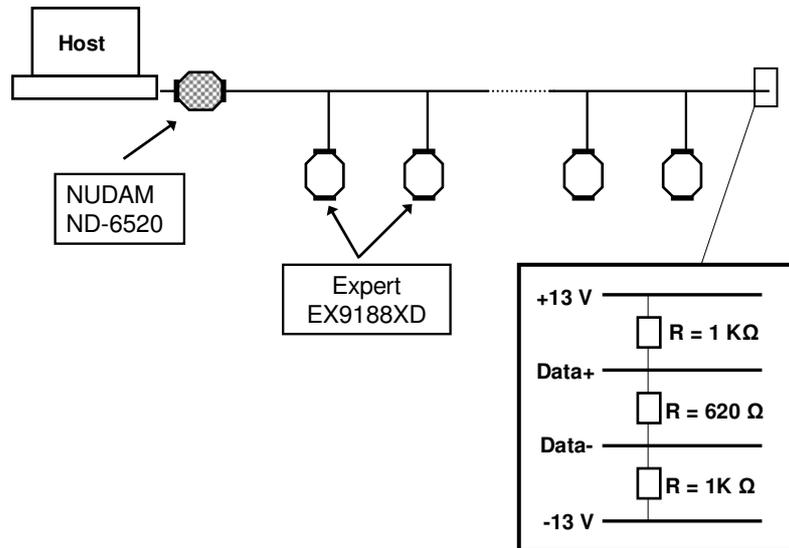


Abbildung 10: Bustopologie und Terminierung

Um Signalreflexionen am Busende zu vermeiden, wurde entsprechend der Abbildung 10 der Bus mit Abschlusswiderständen terminiert. Das büroseitige Kabelende wurde an einen RS485/RS232 Konverter (NUDAM ND-6520 Auto Direction Control Switcher Bench Rate Adjust) angeschlossen, der mit dem Hauptrechner über dessen COM2-Schnittstelle kommuniziert.

3.1.2.3 Software und Datenverkehr der Grundfutteranlage

Für die Grundfutteranlage wurden zwei Programme entwickelt. Das erste Programm läuft auf dem Hauptrechner auf einer DOS-Ebene und aggregiert im Wesentlichen die einzelnen Nachrichten zu Tageswerten und speichert die entsprechenden Tageslisten. Das zweite Programm läuft auf den Mini-Rechnern und verarbeitet die eingehenden Daten der Wiegerechner und der Erkennungen zu Befüllungs-, Entleerungs- oder Fressvorgangsnachrichten, welche über den vorgestellten Einzelstrangbus an den Hauptrechner

weitergeleitet werden. Das zweite Programm wird im Folgenden näher beschrieben und damit auch der Algorithmus, mit dem die einzelnen Vorgänge am Futtertrog identifiziert werden.

Der Mini-Rechner ist ein Expert EX9188AD Modul der Firma Tops CCC Products Co. Ltd., Taipei. Dabei handelt es sich um einen Mikrocomputer mit äußerst kompakten Ausmaßen. Das Modul besitzt eine AMD Am188 ES 40 MHz CPU, 512 KB Flash-Speicher, sowie 256 KB SRAM-Speicher. Es stehen zwei RS-232, eine RS-485 und eine Schnittstelle mit wählbarem Protokoll (RS-232 oder RS-485) zur Verfügung. Außerdem verfügt das Modul über ein 7-Segment-Display mit fünf Zeichen. Das Modul verwendet als Betriebssystem ROM-DOS der Firma Datalight Inc., Bothell, ein DOS-Derivat, welches an die Hardware des Moduls angepasst ist. Programme, die auf dem Modul laufen sollen, müssen für den 80186/186-Prozessor kompiliert werden. Solche Anweisungen lassen sich beispielsweise mit dem in diesem Projekt verwendeten Borland Turbo C++ in der Version 1.01 generieren. Dem Modul beigelegt ist eine (vorkompilierte) C-Bibliothek, die die Hardware unter C(++) nutzbar macht.

Zur Erkennung von Fressvorgängen und Befüllungen bzw. Entleerungen stehen dem Programm Daten über das Gewicht eines Futtertroges vom jeweiligen Wiegerechner und über die Identität (ID) des Tieres, welches gerade am Fressplatz steht, von dem Erkennungssystem zur Verfügung. Da ein Mini-Rechner für sechs Tröge zuständig ist, fragt das Programm ein- bis zweimal je Sekunde nacheinander das aktuelle Gewicht und den Zustand der Erkennung der sechs Tröge in einer Programmschleife ab.

Durch Kombination der Daten vom Erkennungssystem und vom Wiegerechner ist das Programm in der Lage, die drei Ereignisse Entleerung, Befüllung und Fressvorgang anhand ihrer spezifischen charakteristischen Eigenschaften voneinander zu unterscheiden.

Bei dem Ereignis Entleerung, welches wie eine Befüllung auch während eines Fressvorganges auftreten kann, wird der Futtertrog entriegelt und aus der Aufnahme genommen. Dabei tritt ein sofortiger Gewichtsverlust von mindestens 15 kg auf, der sich auf diesem Niveau stabilisiert und somit leicht von normalem Fressen unterschieden werden kann.

Auch die Befüllung hebt sich durch einen charakteristischen Gewichtszuwachs von den durch ein Tier verursachten Gewichtsschwankungen ab. Die beiden Abbildungen 11 und 12 veranschaulichen die charakteristischen Gewichtsverläufe beider Ereignisse.

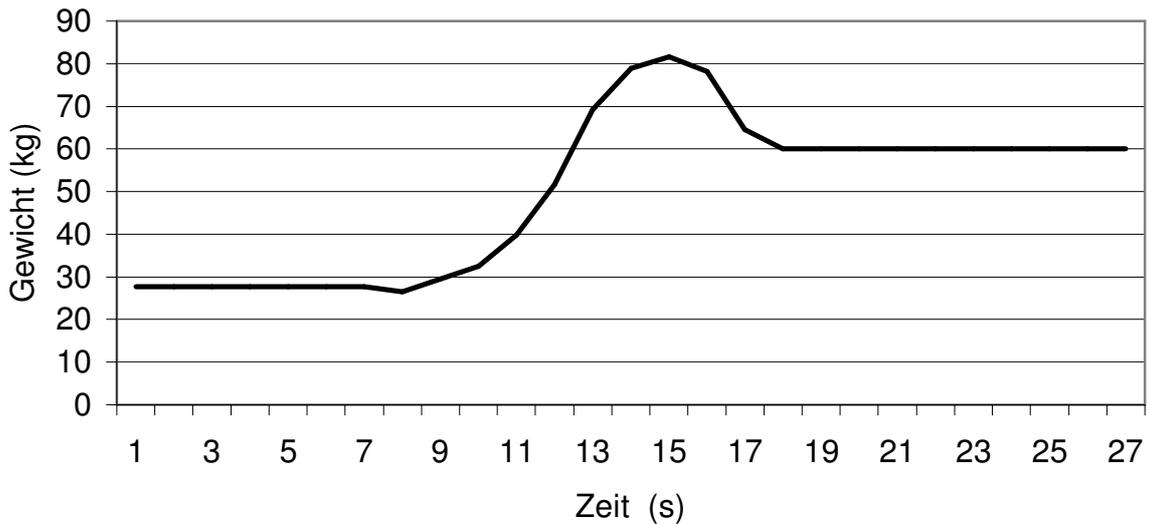


Abbildung 11: Gewichtsveränderungen des Troges bei einem Befüllungsvorgang

In Abbildung 11 ist die Gewichtsveränderung eines Futtertroges über den Zeitraum von 27 Sekunden während einer normalen Befüllung von ca. 30 kg dargestellt. Deutlich zu erkennen ist das kurzzeitige Hinausschießen der Gewichte auf Werte über 70 kg und die anschließende Stabilisierung bei ca. 60 kg Troggewicht. Beim Vergleich dieser Kurve mit dem Gewichtsverlauf bei einem Fressvorgang (Abbildung 12) werden deutliche charakteristische Unterschiede sichtbar, die sich ein Algorithmus bei der Unterscheidung von Fressvorgang und Befüllung zu Nutze macht.

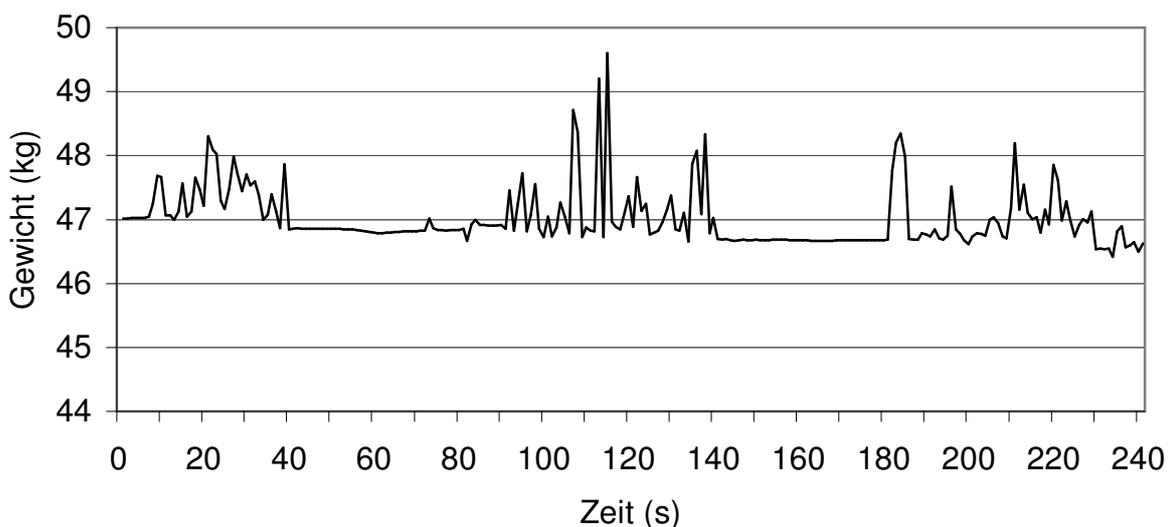


Abbildung 12: Gewichtsverlauf des Futtertroges während eines Fressvorganges

Die Abbildung 12 veranschaulicht über einen Zeitraum von 172 Sekunden die Schwankungen, die bei einem Fressvorgang durch ein Tier ausgelöst werden können. Beim

Aufnehmen von Futter drückt das Tier in den Trog, wobei in der Regel Ausschläge um etwa drei Kilogramm stattfinden, allerdings wurden auch Ausschläge um bis zu 10 kg beobachtet. Im Gegensatz zur Befüllung stabilisiert sich der Graph aber nicht auf einem höheren Niveau, sondern kehrt innerhalb kurzer Zeit wieder auf sein ursprüngliches Niveau abzüglich der aufgenommenen Futtermenge zurück.

Bei der Implementierung dieser unterschiedlichen Charakteristika der drei Ereignisse in das Programm wird jedem Fressplatz ein Zustand zugeordnet: eine Station kann im Test-, Aufnahme- oder Neutralmodus sein. Der Normalzustand einer Station ist der Neutralmodus. In diesem Modus findet weder eine Befüllung/Entleerung noch ein Fressvorgang statt. Wird in diesem Modus eine Identität (ID) erkannt, so geht die Station sofort in den Aufnahmemodus über. Wird im Neutralmodus eine große Schwankung von mehr als 4 kg Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Realwerten auf der Waage festgestellt, so wechselt der Zustand des Fressplatzes in den Testmodus über, in dem nach (frühestens) 15 Sekunden unter Berücksichtigung eines etwaigen Niveauunterschiedes entschieden wird, ob es sich um eine Befüllung/Entleerung oder um vom Tier verursachte Schwankungen gehandelt hat. Die Abbildung 13 verdeutlicht die Zusammenhänge der drei Zustände untereinander. Darin bedeutet *(keine) Befüllung/Entleerung*, dass der Übergang in den jeweiligen Nachfolgezustand unabhängig davon ist, ob eine Befüllung oder Entleerung stattgefunden hat.

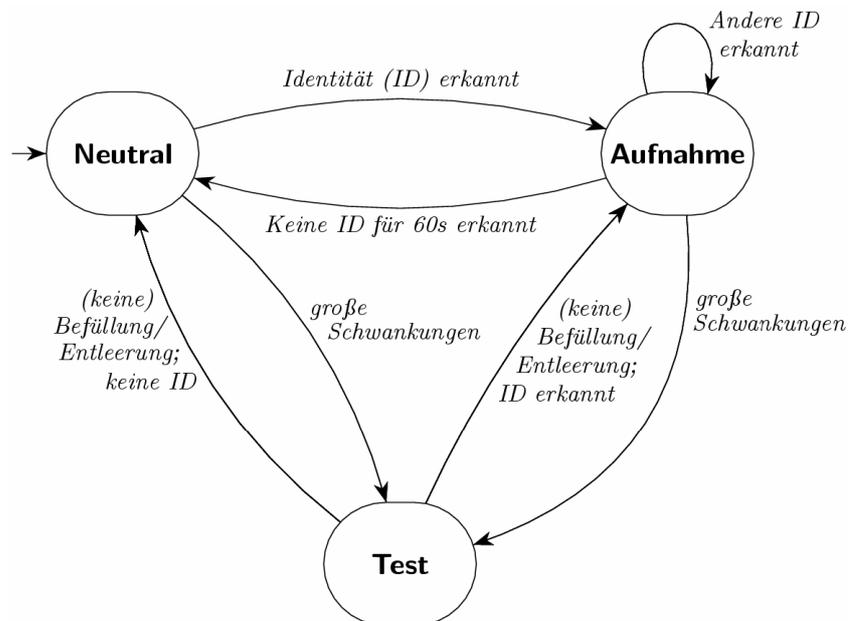


Abbildung 13: Verknüpfung der drei Zustände Neutral (Startzustand), Test und Aufnahme
Das Programm erkennt einen Fressvorgang oder eine Befüllung/Entleerung beim Wechsel von einem Zustand in den anderen. Eine abgeschlossene Aufnahme wird in der Regel

während des Wechsels von *Aufnahme* zu *Neutral* erkannt, eine Befüllung/Entleerung während des Wechsels von *Test* zu *Neutral* oder *Aufnahme*.

Die Zusammenhänge zwischen Zustandswechsel und erkanntem Fressvorgang bzw. Befüllung/Entleerung sind der Abbildung 14 zu entnehmen (ein Zustandswechsel von X nach Y wird in Zeichen durch „ $X \rightarrow Y$ “ ausgedrückt).

Besondere Aufmerksamkeit verdient der Fall, bei dem gleichzeitig ein Fressvorgang und eine Befüllung bzw. Entleerung erkannt werden. Dieser tritt genau dann ein, wenn sich die Station vor dem Eintritt in den Testmodus im Aufnahmemodus befand („*Aufnahme* \rightarrow *Test* \rightarrow *Neutral*“). Es hat vor dem Wechsel in den Zustand *Test* also ein Fressvorgang stattgefunden, der aufgrund des Wechsels jedoch nicht abgeschlossen wurde und auch nicht fortgesetzt wird, da keine Identität mehr erkannt wird. Ein solcher Fressvorgang wird dann beim folgenden Wechsel der Zustände *Test* \rightarrow *Neutral* abgeschlossen.

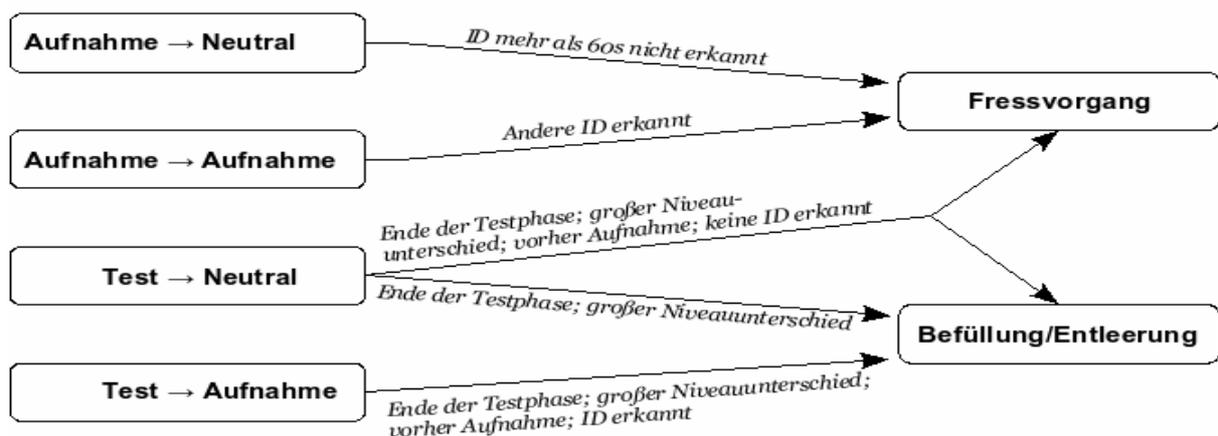


Abbildung 14: Zusammenhänge zwischen Zustandswechsel, erkanntem Fressvorgang und Befüllung bzw. Entleerung (ID = Identität)

Nach Abschluss eines Vorganges wird dieser in einer Meldung gekapselt (siehe unten), die dann über das bereits beschriebene RS485-Bussystem an den Hauptrechner geschickt werden kann. Das Bussystem erlaubt eine serielle Datenübertragung im Halbduplexmodus, daher müssen Sender und Empfänger die Kommunikation so koordinieren, dass nicht zwei Teilnehmer gleichzeitig Daten über das Netz senden. Deshalb kommunizieren die Teilnehmer im Client-Server-Modus, wobei der Hauptrechner den Server und die Mini-Rechner die Clients darstellen. In diesem Modus erhalten die Clients nacheinander vom Server die Aufforderung, ihre Nachrichtenpakete über das zuletzt erkannte Ereignis zu senden. Die Clients antworten dieser Aufforderung dann mit der entsprechenden Meldung über einen Fressvorgang, eine Befüllung oder eine Entleerung. Wenn kein Ereignis stattgefunden hat,

quittieren die Clients die Aufforderung mit einer leeren Nachricht. Haben innerhalb eines Rundlaufes zwei Ereignisse stattgefunden, dann wird das vorletzte Ereignis zwischengespeichert. Dies bedeutet, dass die Nachrichten eines Fressplatzes nicht in chronologisch-logischer Reihenfolge bei dem Hauptrechner ankommen müssen. Die Mini-Rechner haben eine Speicherkapazität von 16 Nachrichten mit dem Vorteil, dass der Hauptrechner für Wartungsarbeiten etc. kurzzeitig heruntergefahren werden kann, ohne dass Fressvorgänge verloren gehen.

Für die Kommunikation wurde ein proprietäres Protokoll entwickelt, bei dem Datenpakete zwischen Sender und Empfänger ausgetauscht werden. Da die Clients sowie der Server zur eindeutigen Identifizierung mit Adressen versehen sind, werden die Datenpakete mit einer Quell- und Zieladresse versehen. Aufgrund der Beschaffenheit des RS-485-Bussystems ist jede Nachricht an einen bestimmten Empfänger ein Broadcast an alle Empfänger. Die Empfänger lesen daher sämtliche über das Netz verschickten Nachrichten, ignorieren dabei aber alle Nachrichten, die nicht an sie adressiert sind.

Die Nachricht über ein Ereignis wird zum Verschicken in ein Paket des Protokolls gekapselt. Das resultierende Paket besteht aus einer Anzahl von Headern, die die Quell- und Zieladresse beinhalten, sowie Mechanismen zur Sicherstellung der einwandfreien Übertragung sowohl des Paketes als auch der eingekapselten Nachricht. Die Tabelle 4 stellt den Aufbau eines solchen Paketes der Bytelänge n mit einer Nachricht der Bytelänge $m+1$ dar, wobei die Struktur der Nachricht in der Tabelle 5 erläutert wird. Im Folgenden steht $0x..$ für einen Wert in hexadezimaler Schreibweise und „X“ für den ASCII-Großbuchstaben X.

Tabelle 4: Aufbau eines Nachrichtenpaketes

Byte	Inhalt	
1	Start of Header ASCII-Zeichen	0x01
2	Zeit (nicht benutzt)	0x..
3	Zieladresse	0x..
4	Länge der Nachricht	0x..
5	Quelladresse	0x..
6	Null	0x00
7	Header Checksumme	0x..
8	Start of Text ASCII-Zeichen	0x02
9	Nachricht	„{D, B, E, ...}“
...	Nachricht	0x..
9+m	Nachricht	0x..
n-1	End of Text ASCII-Zeichen	0x03
n	Nachricht Checksumme	0x..

Die Nachrichten beinhalten ebenfalls in einem proprietären Format die Angaben, die zur Einordnung des Ereignisses nötig sind. Es existieren für diesen Zweck drei verschiedene Nachrichtentypen: Fressvorgang (D), Befüllung (B) und leere Nachricht (E). In der Tabelle 5 ist der Aufbau der verschiedenen Nachrichtentypen dargestellt. Jedes Kästchen entspricht dabei einem Byte.

Tabelle 5: Aufbau der verschiedenen Nachrichtentypen

Fressvorgang												
Typ	Null	ID	ID	Dauer	Dauer	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Vorz.	Unb.	
„D“	0x00	0x..	0x..	0x..	0x..	0x..	0x..	0x..	0x..	0x01/0	0x00	
Befüllung												
Typ	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Vorz.	Unb.						
„B“	0x..	0x..	0x..	0x..	0x01	0x00						
Entleerung												
Typ	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Vorz.	Unb.						
„B“	0x..	0x..	0x..	0x..	0x00	0x00						
Leere Nachricht												
Typ	Unb.	Unb.	Unb.	Unb.								
„E“	„1“	„2“	„3“	„4“								

ID = Identität, Gew. = Gewicht, Vorz. = Vorzeichen, Unb. = Unbenutzt

3.2 Datenerfassung, -aufbereitung und Auswertungsmaterial

Das Datenmaterial für die eigenen Untersuchungen wurde in dem Zeitraum vom 01.09.2005 bis zum 31.12.2006 auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel erhoben, auf dem seit April 2001 das Pilotprojekt „Entwicklung einer stationären Leistungsprüfung für Bullenmütter“ im Rahmen des Zuchtprogramms der Nord-Ost Genetic GmbH & Co. KG, Verden, durchgeführt wird.

3.2.1 Herdenstruktur und genetische Verknüpfung

Insgesamt liegen Beobachtungen aus 408 Laktationen von 366 Kühen vor. Von diesen weisen 40 Kühe Beobachtungen aus zwei aufeinander folgenden Laktationen auf, und von einer Kuh liegen Beobachtungen aus drei Laktationen vor. Da im Rahmen der Bullenmutterprüfung kontinuierlich die als Jungrind selektierten Färsen auf dem Betrieb Karkendamm abkalben und anschließend für 180 Laktationstage die stationäre Leistungsprüfung in der Milchviehherde absolvieren, ist der Anteil an Erstlaktierenden mit 79 % im Datensatz hoch. Unter den 289 Erstlaktierenden befinden sich 262 Prüffärsen der Nord-Ost Genetic GmbH & Co. KG, Verden. Die Erstlaktierenden wiesen im Mittel ein Erstkalbealter von 27 ± 2 Monaten bei einer Schwankungsbreite von 22 bis 36 Monaten auf.

Die Zusammensetzung der Milchviehherde über den Versuchszeitraum ist in der Abbildung 15 dargestellt. Es waren Kühe bis zur 6. Laktation vertreten. Die durchschnittliche Laktationsnummer der Herde beträgt 1,46. Die Herdengröße variierte zwischen 98 und 139 Kühen mit einem Mittel von 121 Kühen. Demzufolge schwankte das Tier-Fressplatzverhältnis in der Auswertungsperiode zwischen 1,63 : 1 und 2,32 : 1 bei einer mittleren Belegungsdichte von $2,0 \pm 0,17$ Tieren je Futtertrog.

Im Ganzen stehen 58.930 Kuhtage zur Auswertung zur Verfügung, davon stammen 77,6 % von den Färsen.

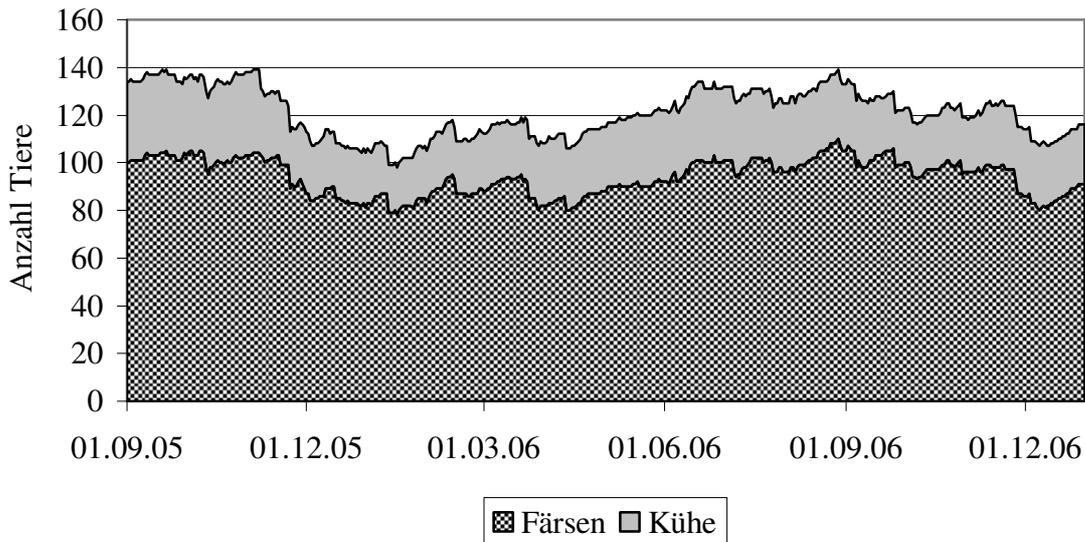


Abbildung 15: Anzahl der Färsen und Kühe in dem Beobachtungszeitraum

289 Färsen, die Beobachtungen vor dem 180. Laktationstag aufweisen, stammen von 92 Holstein-Friesian Bullen ab. Damit hat jeder Bulle durchschnittlich 3,14 Töchter bei einer sehr ungleichmäßigen Verteilung. Während 59 Bullen weniger als 3 Töchter haben, sind fünf Bullen mit jeweils mehr als 10 Töchtern vertreten (Abbildung 16). Die Beobachtungen nach dem 180. Laktationstag fließen nicht in die statistische Analyse ein, da die nichtqualifizierten Prüffärsen die Herde nach dem 180. Laktationstag verlassen und die verbleibenden Tiere daher stark vorselektiert sind. Die mehrkalbigen Kühe finden aufgrund ihrer geringen Anzahl keine Berücksichtigung in den Auswertungen.

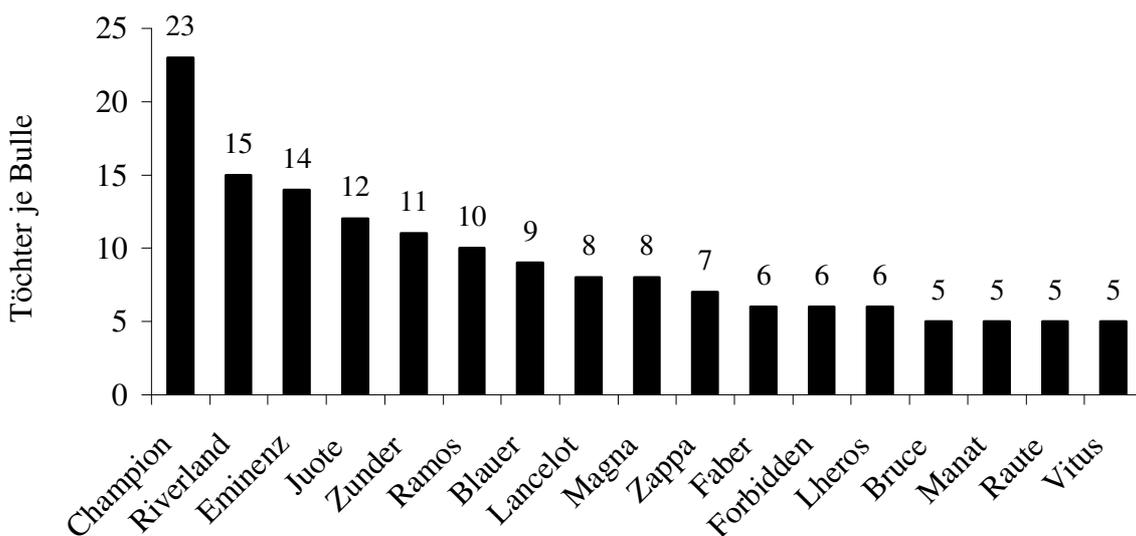


Abbildung 16: Verteilung der Anzahl der Töchter in Abhängigkeit vom Vater (mindestens vier Töchter)

Bei den väterlichen Großvätern wird die ungleichmäßige Verteilung noch deutlicher, denn 152 Färsen stammen von sieben verschiedenen Großvätern (Tabelle 6) ab.

Tabelle 6: Väterliche Großväter mit mehr als zehn Färsen in der Herde

Väterlicher Großvater	Anzahl Färsen
Mandel	12
Lukas	13
Esquimau	16
Juror	16
Zack	19
Storm	20
Rudolph	56

In der Tabelle 7 ist die Verteilung der Inzuchtkoeffizienten aller im Pedigree berücksichtigten Tiere dargestellt ($n = 1377$). Von diesen Tieren wiesen 93,4 % einen Inzuchtkoeffizienten von null auf. 6 % der Tiere lagen im Bereich eines Inzuchtkoeffizienten bis 0,05, und 0,6 % (9 Tiere) hatten einen Inzuchtkoeffizienten zwischen 0,05 und 0,10.

Tabelle 7: Verteilung der Inzuchtkoeffizienten

Inzuchtkoeffizient (F_x)	Anteil der Tiere	
	absolut (n)	relativ (%)
$F_x = 0$	1286	93,4
$0 < F_x \leq 0,05$	82	6,0
$0,05 < F_x \leq 0,10$	9	0,6
Gesamt	1377	100,0

3.2.2 Milchmenge, Milchinhaltsstoffe, Lebendgewicht und Body Condition Score

Mit einem 28er Melkkarussell AutoRotor 90[®], bei dem jeder Platz mit Tiererkennung und elektronischer Milchmengenmessung ausgerüstet ist, wurden die Tiere zweimal täglich ab ca. 5⁰⁰ und 16⁰⁰ gemolken. Zur Bestimmung der Fett-, Eiweiß-, Harnstoff- und Laktosegehalte sowie der Zellzahl wurden wöchentlich montags und/oder dienstags Proben von aufeinander folgenden Morgen- und Abendgemelken genommen und diese beim Landeskontrollverband (LKV) Schleswig-Holstein analysiert. Von den 17.161 im Beobachtungszeitraum analysierten Milchproben wurden 99 in der Auswertung nicht berücksichtigt, da deren Fett- und Eiweißgehalte nicht zwischen 1,5 und 8,5 % lagen. Zur Bestimmung der Inhaltsstoffe des Probetags wurden die Ergebnisse der Milchprobenanalyse mit der Milchmenge der

Einzelgemelke unter der Voraussetzung gewichtet, dass von der Kuh zwei analysierte Milchproben mit weniger als 15 Stunden Zwischenmelkzeit vorliegen. Die Tabelle 10 (Seite 61) informiert über die wichtigsten Leistungsmerkmale der Milchviehherde. Unter Verwendung der Fett- und Eiweißgehalte des zeitlich nächsten Analyseergebnisses wurden die täglichen, energiekorrigierten Milchmengen (ECM) nach folgender Formel berechnet (KIRCHGESSNER, 1997):

$$\text{ECM (kg)} = (0,39 * \text{Fett-\%} + 0,24 * \text{Eiweiß-\%} + 0,17 * \text{Lactose-\%}) * \text{Milchmenge (kg)} / 3,17$$

Seit dem 11. März 2006 ist eine Durchlaufwaage im Rücktreibegang des Melkhauses installiert, so dass von jedem Tier in der Regel täglich zwei Messwerte für das Lebendgewicht vorliegen. Als arithmetischer Mittelwert der täglichen Messwerte geht das mittlere Lebendgewicht in die folgenden Untersuchungen ein.

Die Beurteilung der Körperkondition (BCS) erfolgte monatlich und wurde immer von derselben, betriebsfremden Person durchgeführt. In der Tabelle 10 ist ebenfalls ein Überblick über die erhobenen Werte für das Lebendgewicht und die BCS-Noten gegeben.

3.2.3 Fütterung, Futtermittel und Futteraufnahme

Die Kühe erhielten einheitlich eine aufgewertete Teilmischung ad libitum bei einer zweimaligen Futtervorlage je Tag jeweils nach der morgend- und abendlichen Melkzeit. Zusätzlich konnten die Tiere leistungsunabhängig an Abrufstationen fixe Kraftfuttermengen aufnehmen (4,7 kg KF je Tag bis zum 27.09.2005, danach 2,7 kg KF je Tag). Es wurde während der Beobachtungszeit versucht, die Futtermenge auf einen Futterrest von 5–10 % anzumischen und den Anteil der Komponenten in der Mischung möglichst konstant zu halten. Von der TMR wurden zweimal wöchentlich repräsentative Proben zur Bestimmung der Trockenmassegehalte genommen. Die Analyse der 118 Proben erfolgte dreifach im institutseigenen Labor mit einer Vortrocknung bei 60 °C und anschließender dreistündiger Endtrocknung bei 105 °C. Anschließend wurden die ermittelten Werte WEISSBACH und KUHLA (1995) entsprechend um die Verluste an flüchtigen Substanzen korrigiert. Die Abbildung 17 zeigt den Verlauf des Trockenmassegehaltes über den Versuchszeitraum.

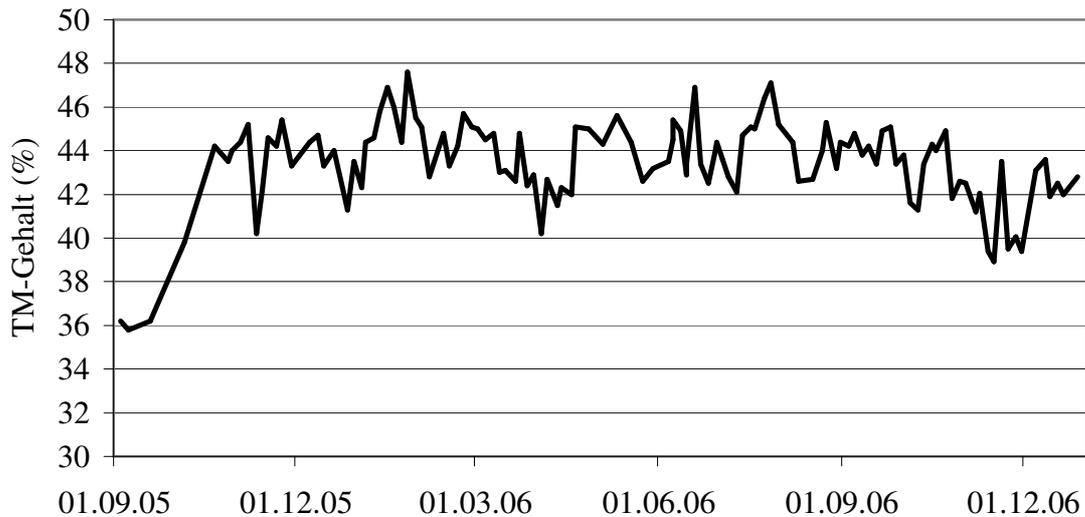


Abbildung 17: Verlauf des Trockenmassegehaltes (TM-Gehalt) der Mischrationen über den Beobachtungszeitraum

In Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Grundfutterkomponenten wurde sowohl die Zusammensetzung der TMR als auch die abrufbare Kraftfuttermenge an den Abrufautomaten mehrmals während des Beobachtungszeitraums geändert. Die Inhaltsstoffe der TMR wurden additiv über die Nährstoffgehalte der Komponenten berechnet (SPIEKERS et al., 2003). Dazu wurden monatlich Proben von den Komponenten genommen und diese bei der LUFA Nord-West, Oldenburg, analysiert. Da HAFEZ (1987) zeigte, dass sich die frische TMR und der Futterrest hinsichtlich Trockenmasse- und Nährstoffgehalt nicht unterscheiden, blieb der Futterrest unbeprobt. Die Anteile der Grund- und Kraftfutterkomponenten an der TMR sowie die Inhaltsstoffe sind in der Tabelle 8 angegeben. Zusätzlich wurden an Ergänzungsfuttermitteln 30 g Viehsalz, 50 g Futterkalk und 300 g Mineralstoffergänzung je Tier und Tag in die TMR eingemischt. Die Kühe hatten bis zum 27.09.2006 ein Anrecht auf 4,7 kg Kraftfutter an den Abrufstationen. Diese Menge wurde entsprechend der Änderung der Zusammensetzung der TMR bis zum 14.10.2006 stetig auf 2,7 kg KF gesenkt und diese Menge bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes beibehalten. Die Komponenten des Kraftfutters und deren Anteile sind im Anhang in Tabelle A1 aufgeführt. Im Mittel hatte das Kraftfutter einen Energiegehalt von 8 MJ NEL / kg TM.

Des Weiteren wurde der Synchronismus des Kohlenhydrat- und Rohproteinabbaus der einzelnen Rationen über den Tag in Anlehnung an die DLG-Information „Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh“ (2001) untersucht (Abbildung 18).

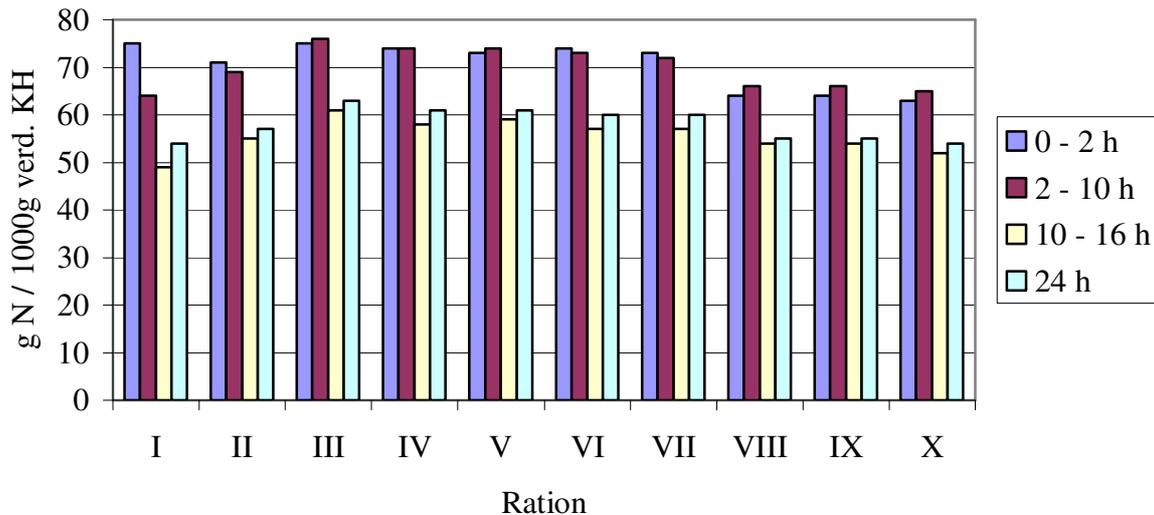


Abbildung 18: Synchronismusverhältnisse (g N / kg KH) der einzelnen Rationen

Das Ziel des Synchronismus-Konzepts ist die Abstimmung (Synchronisierung) des Abbaus an Rohprotein und Kohlenhydraten im Pansen, so dass eine maximale Effizienz der mikrobiellen Synthese erreicht wird. Als optimal wird ein Wert von 32 g N / kg fermentierbarer Kohlenhydrate in jedem Stundenintervall angesehen. Die in der DLG-Information angegebenen Werte für den Umfang und die Geschwindigkeit des Abbaus der fermentierbaren Kohlenhydrate und abbaubaren Rohproteine wurden von GRUBER und SÜDEKUM (2006) in konkrete Werte für Abbauraten (% / h) umgesetzt und daraus die ruminal abgebauten Mengen an Kohlenhydraten und Rohprotein ($N \times 6,25$) in verschiedenen Zeitintervallen berechnet.

Der Zielwert von 32 g N / kg fermentierbarer Kohlenhydrate wird bei den Rationen deutlich überschritten, was sich auch in dem erhöhten mittleren Harnstoffgehalt von 266 mg / l (siehe Tabelle 10, Seite 61) und den positiven ruminalen Stickstoffbilanzen widerspiegelt (Tabelle 8). Für eine weitergehende Interpretation der Synchronismusverhältnisse liegen derzeit noch keine Erfahrungswerte vor.

Tabelle 8: Zusammensetzung und Inhaltsstoffe der aufgewerteten Teilmischung

Ration	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Zeitraum	01.09.05- 26.09.05	27.09.05- 13.10.05	14.10.05- 26.01.06	27.01.06- 24.03.06	25.03.06- 03.04.06	04.04.06- 13.04.06	14.04.06- 26.04.06	27.04.06- 01.10.06	02.10.06- 31.10.06	01.11.06- 31.12.06	
Anteile (% TM)											
Maissilage	45,3	41,2	40,6	42,4	42,9	44,3	43,6	43,0	43,4	44,4	
Grassilage 1./2. Sch.	21,9	17,1	17,7	18,2	17,3	18,1	18,0	11,5	11,5	12,2	
Grassilage 3. Sch.								7,3	7,2	7,2	
Sojaextrakt.-schrot	14,4	13,4	13,4	12,5	12,6	12,8	12,80	12,4	12,3	11,3	
Pressschnitzel	8,3	8,1									
Kraftfutter	7,3	18,3	26,4	25,0	25,3	23,0	22,9	23,1	22,9	22,2	
Grassamenstroh							2,7	2,7			
Stroh	2,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8			2,7	2,7	
Inhaltsstoffe											
XP	g / kg TM	175	177	190	185	187	185	184	184	185	178
nXP	g / kg TM	165	172	179	177	176	175	175	175	173	171
XL ¹	g / kg TM	33	33	39	39	39	38	38	39	38	38
XF ²	g / kg TM	181	160	150	148	153	155	156	157	162	162
NDF ³	g / kg TM	314*	297*	315*	319*	324	327	328	334	333	339
ADF ³	g / kg TM	172*	166*	177*	179*	194	196	195	199	200	187
Stärke ⁴	g / kg TM	191	217	216	227	229	228	226	224	231	221
Zucker ⁴	g / kg TM	32	58	56	55	45	43	43	41	41	33
SW ⁴		1,54	1,23	1,17	1,16	1,22	1,26	1,28	1,30	1,29	1,30
RNB ²	g / kg TM	2,0	1,9	3,1	2,6	2,7	2,5	2,5	2,6	2,4	1,6
NEL ²	MJ / kg TM	7,0	7,2	7,3	7,3	7,2	7,2	7,2	7,1	7,1	7,1

Für Nährstoffe, auf die die Komponenten nicht analysiert wurden, wurden Literaturwerte aus der Futterwerttabelle der DLG-Information 2/2001 bzw. deren Quellen genutzt:

¹ Auf XL wurden nur Kraftfutter und Sojaextraktionsschrot analysiert. Für die restlichen Komponenten wurden Literaturangaben eingesetzt.

² Bei Stroh, Grassamenstroh und Pressschnitzel wurden Literaturangaben genutzt.

³ Bei Stroh, Grassamenstroh und Sojaextraktionsschrot wurden Literaturangaben genutzt.

⁴ Bei Stroh, Grassamenstroh, Pressschnitzel und Sojaextraktionsschrot wurden Literaturangaben genutzt.

* Bei der Grassilage wurden Literaturangaben eingesetzt.

Die Futteraufnahmen der einzelnen Tiere wurden mit der in Abschnitt 3.1.2 beschriebenen Grundfutteranlage erhoben. Als Ergebnis wird ein Tagesprotokoll ausgegeben, das neben den Kontrollkennwerten für die Anlage für jeden erkannten Pedometer die aggregierte Futteraufnahme und Dauer sowie die Anzahl der Erkennungen ausgibt. Die Mittelwerte und die Standardabweichungen dieser Parameter sind getrennt für die Laktationsklassen 1, 2 und ≥ 3 in der Tabelle 9 wiedergegeben.

Tabelle 9: Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) der täglichen Dauer und der Anzahl der Erkennungen am Futtertrog sowie der TMR-Aufnahme in Abhängigkeit von der Laktationsnummer

		\bar{x}	s
Dauer (Minuten / Tier / Tag)			
Laktationsnummer	1	211	65
	2	209	71
	≥ 3	172	60
Erkennungen / Tier / Tag			
Laktationsnummer	1	56,2	17,2
	2	57,0	17,5
	≥ 3	44,2	15,1
TMR-Aufnahme (kg TM / Tier / Tag)			
Laktationsnummer	1	18,7	4,3
	2	19,8	4,6
	≥ 3	18,1	4,7

Hierbei ist zu beachten, dass die Dauer und Anzahl der Erkennungen aufgrund der Konstruktion der Anlage nicht mit der realen Verweildauer und der Anzahl an Fressvorgängen der einzelnen Kuh interpretiert werden dürfen, da das Ende eines Fressvorganges nur bei einem abrupten Kuhwechsel an einem Futtertrog direkt festgestellt werden kann. Häufiger wird daher das Ende des Fressvorganges durch das Timeout beim Ausbleiben einer erneuten Erkennung innerhalb von 60 Sekunden bestimmt. Weiterhin ist auch das Überspringen der Erkennung an benachbarten Futterplätzen oder das Auftreten so genannter Fehlerkennungen möglich. Diese treten auf, wenn der Transponder im Grenzbereich der Erkennung nicht richtig erkannt wird. Die zugehörigen Mengen aufgenommenen Futters dieser Fehlerkennungen sind so gering, dass sie nicht beachtet werden müssen. Durch einen Vergleich der erkannten Pedometernummern mit den im Herdenmanagementprogramm vergebenen Pedometernummern erfolgt die Zuordnung der jeweiligen Futteraufnahme zu dem einzelnen Tier und die Identifizierung der Fehlerkennungen. In der Abbildung 19 sind die täglichen Erkennungen und Fehlerkennungen

über den Beobachtungszeitraum abgebildet. Die Peaks in der Erkennungskurve zeigen, dass die Tiere der Vorbereitungsgruppe wöchentlich einmal über den Fressgang zum Klauenbad getrieben wurden.

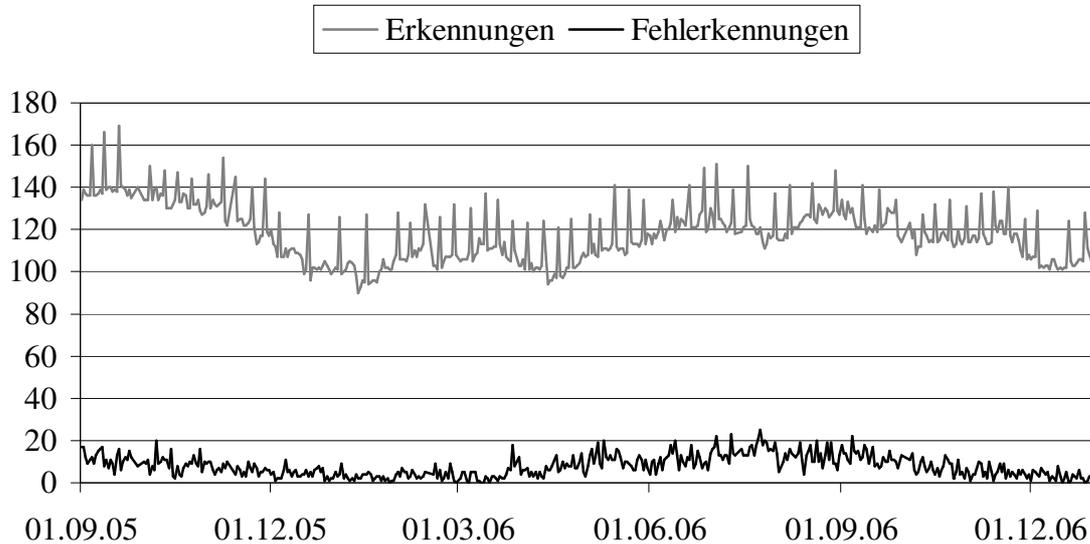


Abbildung 19: Tägliche Anzahl an Erkennungen und Fehlerkennungen im Beobachtungszeitraum

Die Messgenauigkeit der Grundfutteranlage wurde durch Kontrollwiegungen geprüft. Dazu wurden die Einzelfressmengen des Kontrolltags über den Testzeitraum protokolliert und die Summe der Einzelfressmengen mit der Differenz zwischen morgendlicher Einwaage laut Futtermischwagen und abendlicher manueller Rückwaage des Futterrestes verglichen. Die Grundfutteranlage weist bezüglich der Gesamtmengen einen Messfehler von $\pm 3\%$ auf.

Die Robustheit der Grundfutteranlage kann an der Anzahl an Fehltagen beurteilt werden. An Fehltagen lieferte die Anlage aufgrund eines Komplettausfalls entweder gar keine Daten, oder diese wurden aufgrund einer täglichen Betriebsdauer von weniger als 22 Stunden nicht in die KuhDaM Datenbank eingelesen. In der 487 Tage dauernden Beobachtungsphase traten 18 solcher Fehltag auf, von denen 3 Tage primär durch Defekte der Grundfutteranlage verursacht wurden. Die meisten Fehltag traten aufgrund von Stromausfällen während der Umbauphase des Melksystems auf.

Insgesamt liegen 52.930 Beobachtungen über die tägliche TMR-Frischmasseaufnahme der einzelnen Tiere vor. Durch Multiplikation mit dem TM-Gehalt der TMR aus der zeitlich nächsten TM-Analyse wurde die Trockenmasseaufnahme aus der TMR geschätzt. Die Gesamtfutteraufnahme ergibt sich durch die Addition der Trockenmasseaufnahme an Kraftfutter zur TMR-Trockenmasseaufnahme. Da die Tiere auf Karkendamm generell bis

zum 11. Laktationstag in einem Separationsabteil gehalten werden (siehe Abbildung 2), in dem keine Wiegetröge installiert werden konnten, werden die Beobachtungen der ersten 10 Laktationstage in den weiteren Untersuchungen nicht berücksichtigt. Gleiches gilt für die insgesamt 1934 Futteraufnahmen von Selektions- oder Besamungstagen. Bei der Aufbereitung der verbliebenen Beobachtungen wurden zur Festlegung der oberen Grenze der Futteraufnahme die 100 höchsten Werte der Rohdaten betrachtet. Die maximale tägliche TMR-Aufnahme wurde auf 36 kg TM festgesetzt (Abbildung 20), wodurch 46 höhere Werte von den weiteren Analysen ausgeschlossen wurden.

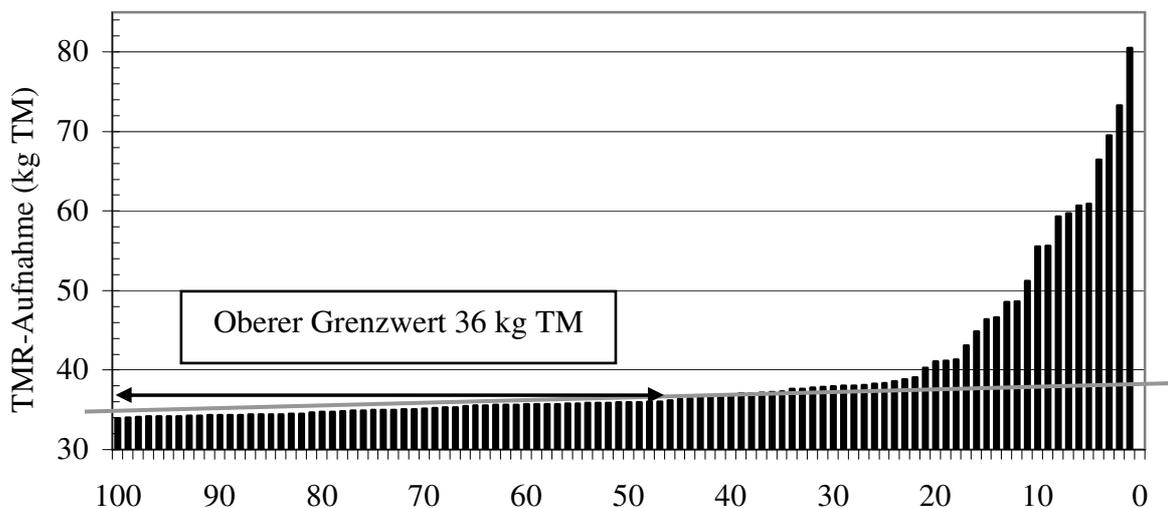


Abbildung 20: Die höchsten 100 Rohwerte für die TMR-Aufnahme (kg TM TMR / Tag)

Eine untere Begrenzung der Futteraufnahmen erfolgte bei 5,2 kg TM. Dieser Wert wurde durch die Subtraktion der dreifachen Standardabweichung vom Mittelwert der verbliebenen Futteraufnahmen festgelegt. Nach Bereinigung der Rohdaten um die Futteraufnahmen außerhalb der festgelegten oberen und unteren Grenzen stehen insgesamt 50.750 Beobachtungen der TMR-Aufnahme für weitere Untersuchungen zur Verfügung. Eine Übersicht über die aufbereiteten Daten gibt die Tabelle 10.

Tabelle 10: Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte, Standardabweichungen und Wertebereich der aufbereiteten Daten

Merkmal	n	\bar{x}	s	Min.	Max.
Laktationsnummer	58998	1,5	1,0	1	6
Laktationstag	58998	143,5	90,4	11	505
Tägliche Milchleistung (kg)	54836	34,1	7,4	3,8	67,2
Fettgehalt (%)	7770	3,67	0,67	1,57	7,76
Eiweißgehalt (%)	7796	3,33	0,29	2,38	4,60
ECM (kg)	54806	32,1	6,5	4,7	65,7
Zellzahl (1000 / ml)	7796	121	317	3	13005
Harnstoffgehalt (mg / l)	7796	266	50	37	506
Tägliches Lebendgewicht (kg)	30627	611	62	397	840
BCS-Note	1448	3,12	0,30	2,20	3,90
TMR-Aufnahme (kg TM)	50750	18,7	4,4	5,2	36,0
Kraftfutteraufnahme (kg TM)	53578	2,3	1,2	0,0	5,9
Gesamtfutteraufnahme (kg TM)	50618	21,1	4,5	5,3	40,7

3.2.4 Berechnung der Energiebilanz

Die tägliche Energiebilanz wurde als Differenz zwischen Energieaufnahme und Energiebedarf für Milchleistung und Erhaltung geschätzt.

Die Energieaufnahme ergibt sich aus der Addition der Produkte von Kraft- bzw. TMR-Aufnahme mit deren Energiegehalten.

$$\text{Energieaufnahme (MJ)} = \text{Kraftfutter (kg TM)} * \text{Energiegehalt KF (MJ / kg TM)} + \\ \text{TMR (kg TM)} * \text{Energiegehalt TMR (MJ / kg TM)}$$

Der Energiebedarf für die Milchleistung ergibt sich durch Multiplikation der energiekorrigierten Milchmenge (ECM) mit deren Energiegehalt von 3,17 MJ / kg ECM.

Der Erhaltungsbedarf einer Milchkuh wurde nach KIRCHGESSNER (1997) mit folgender Formel ermittelt:

$$\text{Erhaltungsbedarf (MJ NEL / Tag)} = 0,293 * \text{Körpermasse}^{0,75}$$

3.3 Auswertungen täglicher Beobachtungswerte

Um die Entwicklung der Heritabilität bzw. der Wiederholbarkeit sowie der Beziehungen zwischen den Merkmalen über den Laktationsverlauf zu schätzen, wurde die Auswertung auf Basis der täglichen Beobachtungswerte anhand des Datensatzes I vorgenommen. In diesen Datensatz fließen aufgrund der geringeren Besetzung der höheren Laktationsnummern nur die Beobachtungen der Erstlaktierenden ein. Weiterhin wurde dieser Datensatz beschränkt auf den Abschnitt vom 11. bis zum 180. Laktationstag, da im Rahmen der Bullenmutterprüfung nichtqualifizierte Prüffärsen den Betrieb nach dem 180. Laktationstag verlassen und später anfallende Daten von stark vorselektierten Tieren stammen.

Den Untersuchungen liegt das folgende gemischte lineare Modell I zu Grunde:

Modell I:

$$y_{ijkl} = \mu + TAG_i + EKA_j + \sum_{m=1}^4 b_m * x_{ijklm}(d) + tier_k + e_{ijkl}$$

mit y_{ijkl} = 1-te Beobachtung der energiekorrigierten Milchmenge, der Gesamtfutteraufnahme, des Lebendgewichts, der Energiebilanz oder der Beurteilungsnote der Körperkondition (BCS)

μ = allgemeines Mittel

TAG_i = fixer Effekt des i-ten Testtags (i = 1–487 bei der Milchmenge, i = 1–468 bei der Gesamtfutteraufnahme, i = 1–268 beim Lebendgewicht, i = 1–258 bei der Energiebilanz, i = 1–16 bei der Körperkondition)

EKA_j = fixer Effekt der j-ten Erstkalbealterklasse (j = 1–5)

b_m = fixe Regressionskoeffizienten auf den Laktationstag d

$$\text{mit } x_{ijkl0}(d) = 1, x_{ijkl1}(d) = \frac{d}{190}, x_{ijkl2}(d) = \left(\frac{d}{190}\right)^2,$$

$$x_{ijkl3}(d) = \ln \frac{190}{d} \text{ und } x_{ijkl4}(d) = \left(\ln \frac{190}{d}\right)^2$$

$tier_k$ = zufälliger Effekt des k-ten Tieres (k = 1–282 bei der Milchmenge, k = 1–273 bei der Gesamtfutteraufnahme, k = 1–201 beim Lebendgewicht, k = 1–192 bei der Energiebilanz, k = 1–259 bei der Körperkondition)

e_{ijkl} = zufälliger Restfehler

Als fixe Einflussfaktoren werden der Testtag und das Erstkalbealter der Färsen berücksichtigt. Das Erstkalbealter beträgt im Mittel $27,1 \pm 2,0$ Monate bei einer Spannweite von 22 bis

36 Monaten. Für die weiteren Auswertungen wurden die Färsen entsprechend ihrem Erstkalbealter in 5 Klassen eingeteilt (Tabelle 11).

Tabelle 11: Definition und Verteilung der Erstkalbealterklassen

Erstkalbealterklasse	1	2	3	4	5
Erstkalbealter (Monate)	22–25	26	27	28	29–36
Anzahl Färsen	58	65	69	44	53

Der Laktationsverlauf wird nach ALI und SCHAEFFER (1987) durch die Regressionskoeffizienten b_m modelliert, wobei b_1 und b_2 die Regressionskoeffizienten auf den linearen und quadratischen Effekt des Quotienten aus Laktationstag d und der Konstanten $c = 190$ und b_3 und b_4 die Regressionen auf die Terme $\ln(c/d)$ und $[\ln(c/d)]^2$ darstellen. Daneben fließt der zufällige Tiereffekt in das Modell ein.

Über die standardisierten Residuen wurden in dem Merkmal Futteraufnahme 21 Beobachtungen als extreme Ausreißer identifiziert und eliminiert. Bei der energiekorrigierten Milchmenge wurden 39 und beim Lebendgewicht 5 Beobachtungen als Ausreißer behandelt.

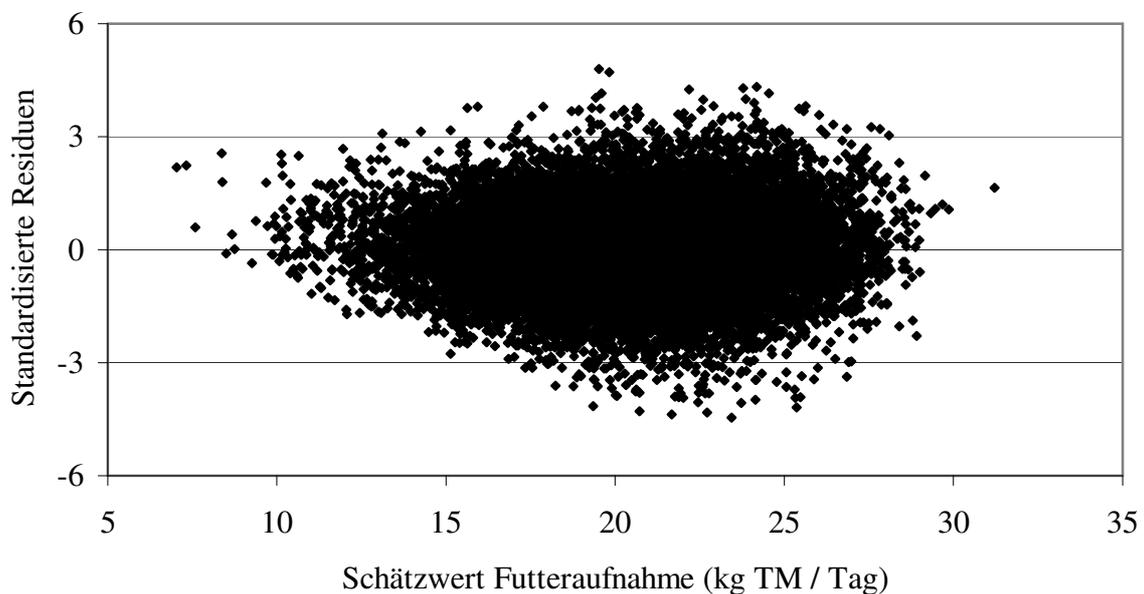


Abbildung 21: Residuen-Schätzwerteplot des Modells I für die Futteraufnahme (kg TM / Tag)

Der Residuen-Schätzwerteplot der Futteraufnahme der bereinigten Daten (Abbildung 21) bestätigt die Annahmen der Varianzhomogenität und Unabhängigkeit der Residuen. Eine Transformation erscheint nicht erforderlich. Diese Folgerungen gelten entsprechend für die anderen Merkmale, deren Residuen-Schätzwerteplots im Anhang abgebildet sind (Abbildungen A5–A7).

Eine Übersicht über den resultierenden Datensatz I gibt die Tabelle 12.

Tabelle 12: Übersicht Datensatz I (Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte, Standardabweichungen und Wertebereich)

Merkmal		n	\bar{x}	s	Min.	Max.
Laktationstag		33073	93,6	49,4	11	180
Milchleistung	(kg)	30595	34,3	5,6	4,0	58,3
Fettgehalt	(%)	4369	3,57	0,65	1,57	7,76
Eiweißgehalt	(%)	4388	3,25	0,25	2,38	4,13
ECM	(kg)	26389	31,8	5,0	5,2	51,5
Harnstoffgehalt	(mg / l)	4388	266	51	77	506
Zellzahl	(1000 / ml)	4388	94	302	3	13005
TMR-Aufnahme	(kg TM)	27699	18,2	4,4	5,2	36,0
Kraftfutteraufnahme	(kg TM)	29440	2,2	0,8	0,0	5,0
Gesamtfutteraufnahme	(kg TM)	27642	20,6	4,4	6,2	38,2
Lebendgewicht	(kg)	17716	584	50	404	771
BCS-Note		1074	3,07	0,29	2,20	3,80
Energiebilanz	(MJ NEL / Tag)	14101	13,6	33,8	-114,0	144,2

Die geringere Anzahl an Beobachtungen bei den Merkmalen tägliche Energiebilanz und tägliches Lebendgewicht hat seine Ursachen zum einen in der später (11.03.2006) begonnenen Erfassung der täglichen Lebendgewichte. Zum anderen kann die tägliche Energiebilanz nur an den Tagen berechnet werden, an denen Beobachtungen der Milchleistung, des Lebendgewichts und der Futteraufnahme vorliegen. Da auffällige Tiere in den gesonderten Stallbereich ohne Wiegetröge selektiert wurden, fehlten ab der Installation der Durchgangswaage vornehmlich die Futteraufnahmen zur Berechnung der täglichen Energiebilanz.

In der Abbildung 22 ist die Anzahl der beobachteten Tiere und der erhobenen Milchleistungen und Futteraufnahmen an den einzelnen Laktationstagen dargestellt. Auf die Abbildung der Anzahl erhobener Lebendgewichte je Laktationstag wurde verzichtet, da deren Verlauf der Kurve der Anzahl an beobachteten Milchleistungen mit etwas geringeren Werten ähnelt.

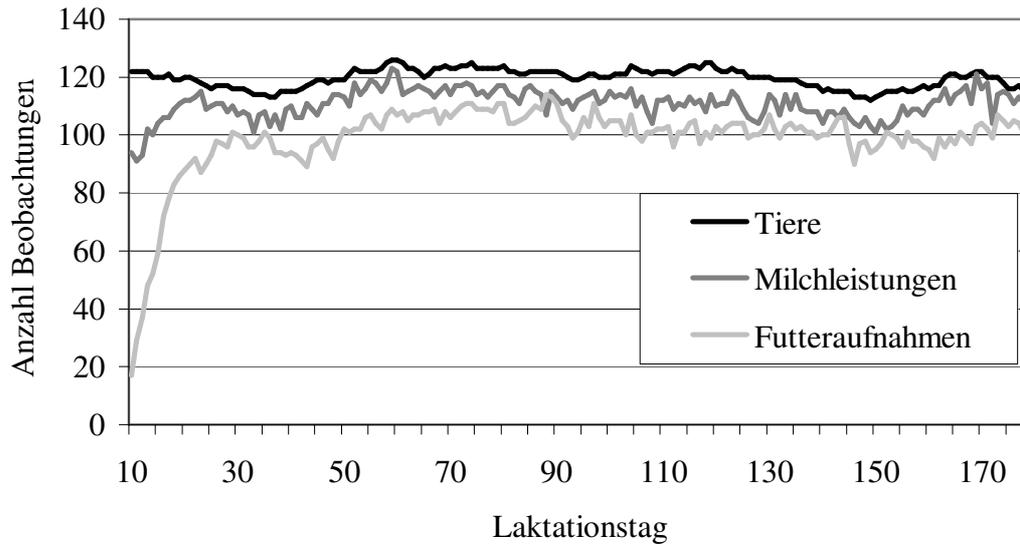


Abbildung 22: Anzahl an beobachteten Tieren und erhobenen Milchleistungen und Futteraufnahmen an den einzelnen Laktationstagen

Die systematischen Einflussfaktoren wurden mit dem F-Test gegen die Nullhypothese geprüft, die resultierenden Signifikanzen sind in der Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Überschreitungswahrscheinlichkeiten der fixen Einflussfaktoren auf die täglichen Beobachtungen der energiekorrigierten Milchmenge (kg ECM / Tag), der Futteraufnahme (kg TM / Tag), des Lebendgewichts (kg / Tag), der Energiebilanz (MJ NEL / Tag) und auf die Körperkondition

Effekt	Milch- menge	Futter- aufnahme	Lebend- gewicht	Energie- bilanz	Körper- kondition
Testtag	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Erstkalbealterklasse	0,0016	0,5107	0,0004	0,0002	0,6299
b ₁	<0,0001	0,0417	0,4886	0,7873	0,1345
b ₂	<0,0001	0,0340	0,3281	0,7953	0,2369
b ₃	<0,0001	0,0775	0,0001	0,7307	0,1412
b ₄	<0,0001	0,8197	<0,0001	0,3918	0,2446

Während der Testtag auf alle Merkmale einen hochsignifikanten Einfluss hat, sind bei der Erstkalbealterklasse nur signifikante Einflüsse auf die Merkmale Milchmenge, Lebendgewicht und Energiebilanz zu beobachten. Bei den Regressionskoeffizienten b₁–b₄ lässt sich bezüglich der Signifikanzen kein einheitliches Bild bei den verschiedenen Merkmalen erkennen. Im Gegensatz zum Merkmal Milchmenge, bei dem alle vier Regressionsfaktoren einen signifikanten Einfluss haben, ist bei den Merkmalen Energiebilanz und Körperkondition bei keinem Regressionsfaktor ein signifikanter Einfluss zu erkennen. Beim Merkmal Lebendgewicht sind lediglich die Regressionsfaktoren b₃ und b₄ hochsignifikant, bei der Futteraufnahme haben die Regressionsfaktoren b₁ und b₂ einen signifikanten Effekt.

3.3.1 Autokorrelationen zwischen aufeinander folgenden Tagen

Tägliche Beobachtungswerte sind als wiederholte Messungen zu interpretieren und stellen somit eine Zeitreihe dar, bei deren Auswertung die Autokorrelationen bzw. Kovarianzen zwischen den Resteffekten zu berücksichtigen sind (MIELENZ et al., 2006). Das Schätzverfahren zur Untersuchung autokorrelativer Strukturen basiert auf der Methode REML innerhalb der Prozedur MIXED aus dem SAS-Programmpaket (SAS INSTITUTE INC., 2004). Die Autokorrelationen sind als Hinweis für den Zusammenhang zwischen Beobachtungen mit einem bestimmten zeitlichen Abstand zu interpretieren. Nach JENNRICH und SCHLUCHTER (1986) beträgt die Anzahl q der zu schätzender Parameter bei einer unstrukturierten Korrelationsmatrix $q = \frac{T * (T + 1)}{2}$,

wobei T die Länge der Beobachtungsserie ist. Bei einer maximalen Beobachtungsserie von 170 Messungen (11. bis 180. Laktationstag) wären somit $q = 14.535$ Parameter zu schätzen, was aufgrund der begrenzten Rechnerkapazitäten nicht realisierbar ist. Daher wurde versucht, die Daten mit Hilfe fest vorgegebener Kovarianzmuster adäquat zu modellieren.

Die dazu ausgewählten Kovarianzmuster umfassen die Standardeinstellung „Variance Components“ (VC) der Prozedur MIXED, die autoregressive Struktur 1. Ordnung (AR(1)), die zwei Varianten Töplitz(3) und Töplitz(4) der Bandenmuster (TOEP(3), TOEP(4)) sowie eine räumliche Exponentialfunktion (SP(EXP)) für die Korrelationskoeffizienten zwischen wiederholten Messungen. Die entsprechenden Varianz-Kovarianzmatrizen der Resteffekte (R) sind folgendermaßen aufgebaut:

$$\begin{aligned}
 R = \sigma_e^2 * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ & 1 & 0 & 0 \\ & & 1 & 0 \\ & & & 1 \end{bmatrix} & \text{ bei VC;} & \quad R = \sigma_e^2 * \begin{bmatrix} 1 & r & r^2 & r^3 \\ & 1 & r & r^2 \\ & & 1 & r \\ & & & 1 \end{bmatrix} & \text{ bei AR(1);} \\
 R = \sigma_e^2 * \begin{bmatrix} 1 & r_1 & r_2 & 0 \\ & 1 & r_1 & r_2 \\ & & 1 & r_1 \\ & & & 1 \end{bmatrix} & \text{ bei Töplitz(3);} & \quad R = \sigma_e^2 * \begin{bmatrix} 1 & r_1 & r_2 & r_3 \\ & 1 & r_1 & r_2 \\ & & 1 & r_1 \\ & & & 1 \end{bmatrix} & \text{ bei Töplitz(4).}
 \end{aligned}$$

Für die räumliche Exponentialfunktion SP(EXP) nehmen die Korrelationen als Funktion der Zeit ab nach $g_{\text{exp}}(d) = e^{-(d/p)}$, wobei d der Anzahl an Tagen zwischen den beiden Beobachtungstagen t_1 and t_2 entspricht ($d = |t_1 - t_2|$). Somit modelliert SP(EXP) die Kovarianzen der Beobachtungen zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 mit $\text{Cov}[Y_{t_1}, Y_{t_2}] = \sigma_e^2 * e^{-(d/p)}$.

Die Güte der Anpassung an den Datensatz wurde mit dem Likelihood-Ratio-Test (LRT) geprüft, wobei die beste Anpassung die präziseste Abbildung der Korrelationsstrukturen zwischen den wiederholten Beobachtungen verspricht.

Der LRT ist ein allgemein einsetzbares Verfahren zum Vergleich von Modellen mit Hilfe des Maximum-Likelihood Schätzverfahrens. Dabei werden jeweils die Likelihood-Werte eines Ausgangsmodells mit denen eines durch auferlegte Restriktionen aus dem Ausgangsmodell hergeleiteten, hierarchisch untergeordneten Vergleichsmodells (restringiertes Modell) verglichen (MIELENZ et al., 2006). Hierbei wird mit der Teststatistik geprüft, ob das unrestringierte Modell (M2) eine signifikant bessere Anpassung aufweist als das restringierte Modell (M1). Ist dies nicht der Fall, so wird das restringierte Modell dem unrestringierten vorgezogen, da es einfacher und gleichwohl hinsichtlich seiner Erklärungskraft nicht schlechter ist. Die entsprechende Prüfgröße des LRT wird durch die nachfolgende Formel bestimmt:

$$LRT = (-2) * \log \left[\frac{L_{REML}(M1)}{L_{REML}(M2)} \right] = -2 * \log L_{REML}(M1) + 2 * \log L_{REML}(M2) \approx \chi^2(FG)$$

(log = natürlicher Logarithmus)

Dabei stimmt die Anzahl an Freiheitsgraden (FG) mit der Anzahl an Restriktionen überein, durch welche das erweiterte Modell M2 zu dem restringierten Modell M1 reduziert wird. Demnach ergibt sich die Anzahl an Freiheitsgraden aus der Anzahl an Varianzkomponenten, die durch die Restriktionen auf Null gesetzt werden müssen. In χ^2 -Tabellen kann nun gemäß der Anzahl an Freiheitsgraden geprüft werden, ob eine signifikante Differenz der Log-Likelihood-Werte [$\Delta(-2\log L)$] vorliegt.

Des Weiteren wurde in diesen Modelltest der Vergleich des Fixed Regression Modells I mit dem daraus weiterentwickelten Random Regression Modell II eingebunden.

Die Weiterentwicklung des Fixed Regression Modells zum Random Regression Modell ermöglicht es, auch zufällige Effekte in die Schätzung der Regressionskurven aufzunehmen. Durch die Modellierung der zufälligen Effekte mit einer Funktion des Laktationstags werden mit einem Random Regression Testtagsmodell (SCHAEFFER und DEKKERS, 1994) für jeden Laktationstag tierspezifisch die zufälligen Effekte geschätzt, während mit dem Fixed

Regression Testtagsmodell (PTAK und SCHAEFFER, 1993) von konstanten zufälligen Effekten über die Laktation ausgegangen wird.

Die Modellierung der zufälligen Effekte über den Laktationsverlauf wurde zum einen nach ALI und SCHAEFFER (1987), zum anderen mit einem Polynom 2. Grades modelliert. Die Formulierung der Random Regression Varianten entspricht dem Modell II:

Modell II mit der Modellierung nach ALI und SCHAEFFER (1987):

$$y_{ijkl} = \mu + TAG_i + EKA_j + \sum_{m=1}^4 b_m * x_{ijklm}(d) + \sum_{m=0}^4 tier_{km} * x_{ijklm}(d) + e_{ijkl}$$

mit:

y_{ijkl} = l-te Beobachtung der energiekorrigierten Milchmenge, der Futteraufnahme, des Lebendgewichts oder der Energiebilanz

μ = allgemeines Mittel

TAG_i = fixer Effekt des i-ten Testtags ($i = 1-487$ bei der Milchmenge und der Futteraufnahme, $i = 1-296$ beim Lebendgewicht und bei der Energiebilanz)

EKA_j = fixer Effekt der j-ten Erstkalbealterklasse ($j = 1-5$)

b_m = m-ter fixer Regressionskoeffizient auf den Laktationstag

$tier_{km}$ = m-ter zufälliger tierbedingter Regressionskoeffizient des k-ten Tieres ($k = 1-265$ bei der Milchmenge, $k = 1-258$ bei der Futteraufnahme, $k = 1-184$ beim Lebendgewicht, $k = 1-172$ bei der Energiebilanz) auf den Laktationstag d

$$\text{mit } x_{ijkl0}(d) = 1, x_{ijkl1}(d) = \frac{d}{305}, x_{ijkl2}(d) = \left(\frac{d}{305}\right)^2, x_{ijkl3}(d) = \ln \frac{305}{d}$$

$$\text{und } x_{ijkl4}(d) = \left(\ln \frac{305}{d}\right)^2, \text{ wobei } d = \text{Laktationstag}$$

e_{ijkl} = zufälliger Restfehler

Die Formulierung für die Random Regression Modellvariante mit dem Polynom 2. Grades entspricht der um die „Logarithmus-Monome“ reduzierten obigen Gleichung.

$$\text{Hierbei ist } x_{ijkl0}(d) = 1, x_{ijkl1}(d) = \frac{d}{190}, x_{ijkl2}(d) = \left(\frac{d}{190}\right)^2.$$

Der Modelltest mit dem LRT umfasste für die täglich beobachteten Merkmale energiekorrigierte Milchmenge, Futteraufnahme, Lebendgewicht und Energiebilanz somit 15 verschiedene Modellvarianten, über die in der Tabelle 14 eine Übersicht gegeben wird.

Tabelle 14: Bezeichnung der verschiedenen getesteten Modellvarianten

Modellbezeichnung	Regression (fixed/random)	Modellierung der Laktationskurve	Unterlegte Kovarianzstruktur
FR AS VC	fixed regression	ALI und SCHAEFFER	Variance Components
FR AS AR(1)	fixed regression	ALI und SCHAEFFER	Autoregression 1
FR AS SP(EXP)	fixed regression	ALI und SCHAEFFER	Spatial exponential
FR AS TOEP(3)	fixed regression	ALI und SCHAEFFER	Töplitz(3)
FR AS TOEP(4)	fixed regression	ALI und SCHAEFFER	Töplitz(4)
RR P2 VC	random regression	Polynom 2. Grades	Variance Components
RR P2 AR(1)	random regression	Polynom 2. Grades	Autoregression 1
RR P2 SP(EXP)	random regression	Polynom 2. Grades	Spatial exponential
RR P2 TOEP(3)	random regression	Polynom 2. Grades	Töplitz(3)
RR P2 TOEP(4)	random regression	Polynom 2. Grades	Töplitz(4)
RR AS VC	random regression	ALI und SCHAEFFER	Variance Components
RR AS AR(1)	random regression	ALI und SCHAEFFER	Autoregression 1
RR AS SP(EXP)	random regression	ALI und SCHAEFFER	Spatial exponential
RR AS TOEP(3)	random regression	ALI und SCHAEFFER	Töplitz(3)
RR AS TOEP(4)	random regression	ALI und SCHAEFFER	Töplitz(4)

Da die autoregressive Struktur 1. Ordnung (AR(1)) sowie die beiden Varianten Töplitz(3) und Töplitz(4) vollständige Datenverläufe des jeweiligen Merkmals benötigen, wurden fehlende Werte zwischen erster und letzter Beobachtung mit Hilfe von zwei verschiedenen Methoden ersetzt und der LRT der 15 Modellvarianten an beiden geschlossenen Datenverläufen durchgeführt.

Bei der ersten Methode wurden nach dem Moving Average Verfahren gleitende Mittelwerte zum Auffüllen von Datenlücken genutzt. Betrug die Datenlücke nur einen Wert, wurde hier der Mittelwert der vorhergehenden drei und nachfolgenden drei Beobachtungen eingefügt. Bei größeren Datenlücken wurden diese bis zur Hälfte mit dem Mittelwert der drei Beobachtungen vor Lückenbeginn aufgefüllt. Für die restlichen fehlenden Werte wurde der Mittelwert der drei nachfolgenden Beobachtungen nach Lückende eingesetzt.

Bei der zweiten Methode wurden für die fehlenden Werte unter Verwendung des Modells II mit den Regressionskoeffizienten nach ALI und SCHAEFFER (1987) tierindividuell die Schätzwerte aus der Summe der fixen Effekte und dem BLUP-Wert des zufälligen Effekts eingesetzt.

Damit genügend Vorinformationen zum Abschätzen der tierspezifischen Laktationskurve bereitstehen und die Testergebnisse beider Methoden miteinander vergleichbar sind, wurden nur die Daten von Tieren berücksichtigt, die im jeweiligen Merkmal mehr als

10 Beobachtungen haben. Daher variierte die Anzahl an Tieren in dem Modelltest je nach Merkmal zwischen 172 und 265 Färsen.

Durch das Auffüllen der Datenverläufe und die Einschränkung der Tiere unterscheiden sich auch Zahlen der berücksichtigten Testtage und Tiere in (i- und k-Werte) in den Formulierungen der Modelle I und II.

Die Anzahl an Beobachtungen, der prozentuale Anteil an aufgefüllten Werten sowie die Mittelwerte und Standardabweichungen der durch die jeweilige Methode aufgefüllten Datensätze sind in der Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Anzahl der Beobachtungen, Anteil an aufgefüllten Fehlwerten sowie Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) der aufgefüllten Daten im jeweiligen Merkmal

Milchmenge (ECM) (265 Färsen)	32651 Beobachtungen, davon 6,8 % aufgefüllt	
aufgefüllt durch	Moving Average	Polynomiale Regression
\bar{x} (kg / Tag)	31,9	32,0
s (kg / Tag)	5,0	4,9
Futtermenge (258 Färsen)	30717 Beobachtungen, davon 10,3 % aufgefüllt	
aufgefüllt durch	Moving Average	Polynomiale Regression
\bar{x} (kg TM / Tag)	20,4	20,5
s (kg TM / Tag)	4,3	4,3
Lebendgewicht (184 Färsen)	20255 Beobachtungen, davon 13,0 % aufgefüllt	
aufgefüllt durch	Moving Average	Polynomiale Regression
\bar{x} (kg / Tag)	584	584
s (kg / Tag)	49	49
Energiebilanz (172 Färsen)	18615 Beobachtungen, davon 24,9 % aufgefüllt ¹	
aufgefüllt durch	Moving Average	Polynomiale Regression
\bar{x} (MJ NEL / Tag)	13,7	13,4
s (MJ NEL / Tag)	32,6	33,1

¹ Bei 77 Beobachtungen fehlten 3, bei 583 Beobachtungen 2 und bei 3969 Beobachtungen fehlte 1 Komponente.

Die Unterschiede in den Mittelwerten und Standardabweichungen zwischen den beiden Methoden sind bei den meisten Merkmalen gering. Lediglich beim Merkmal Energiebilanz sind größere Unterschiede zu erkennen. Fehlende Werte von Merkmalen mit einer stärker gekrümmten Laktationskurve am Laktationsanfang werden durch die polynomiale Regression realistischer aufgefüllt, da es bei größeren Datenlücken durch das Einbeziehen des Effekts des Laktationstags zu einer stetigeren Änderung von Tag zu Tag kommt. Beim Moving Average Verfahren hingegen ist bei größeren Datenlücken eine größere Stufe im Datenverlauf an der Stelle zu verzeichnen, an der der Mittelwert der letzten drei Beobachtungen vor Beginn der Datenlücke auf den Mittelwert der ersten drei Beobachtungen nach Lückende trifft.

Infolgedessen werden nachfolgend die Ergebnisse des LRT der mit der polynomialen Regression aufgefüllten Datenreihen der Merkmale energiekorrigierte Milchmenge, Futteraufnahme, Lebendgewicht sowie Energiebilanz dargestellt.

In der Ergebnistabelle 16 sind jeweils für vier Modellvarianten neben den Anzahlen der zu schätzenden, zufälligen Parameter und Freiheitsgrade die Restvarianzen sowie die Log-Likelihood-Werte und deren Differenz zur komplexesten Modellvariante dargestellt.

Tabelle 16: Geschätzte Restvarianzen, Log-Likelihood-Werte sowie LRT-Ergebnisse für ausgewählte Modellvarianten der analysierten Merkmale

Modellvariante	q	σ_e^2	-2logL	FG	$\Delta(-2\log L)$
Milchmenge (kg ECM / Tag)					
FR AS VC*	2	5,98	152296	17	14131 ^a
FR AS SP(EXP)	3	6,12	142055	16	3890 ^b
RR AS VC	16	4,11	142515	3	4350 ^c
RR AS TOEP(4)	19	4,18	138165		0 ^d
Futteraufnahme (kg TM / Tag)					
FR AS VC	2	9,83	157875	17	3008 ^a
FR AS TOEP(3)	4	9,75	156510	15	1643 ^b
RR AS VC	16	8,71	155366	3	499 ^c
RR AS TOEP(4)	19	8,82	154867		0 ^d
Lebendgewicht (kg / Tag)					
FR AS VC	2	192,56	164071	17	14035 ^a
FR AS AR(1)	3	200,80	154439	16	4403 ^b
RR AS VC	16	94,06	151440	3	1404 ^c
RR AS TOEP(4)	19	96,01	150934		0 ^d
Energiebilanz (MJ NEL / Tag)					
FR AS VC	2	538,08	169035	17	1704 ^a
FR AS AR(1)	3	540,13	168560	16	1229 ^b
RR AS VC	16	478,75	167610	3	279 ^c
RR AS TOEP(4)	19	484,50	167331		0 ^d

q = Anzahl der zu schätzenden, zufälligen Parameter

σ_e^2 = Restvarianz

FG = Freiheitsgrade für den LRT

-2logL = Log-Likelihood Informationskriterium

$\Delta(-2\log L)$ = Differenz der Log-Likelihood-Werte zur Modellvariante RR AS TOEP(4)

^{a-d}: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen ($\alpha = 0,01$)

* Eine Übersicht über die Modellbezeichnungen gibt die Tabelle 14.

Aufgrund der geringen Abweichung der Akaike und Bayesian Informationskriterien zu den Log-Likelihood-Werten ($-2\log L$) wurden diese nicht berücksichtigt. Bei den 4 abgebildeten Modellvarianten handelt es sich jeweils um die einfachsten und komplexesten Varianten mit der besten Datenanpassung der Fixed und Random Regression Modelle.

Bei allen untersuchten Merkmalen zeigte sich anhand der geringen Log-Likelihood-Werte, dass die Anpassung an den Datensatz bei der komplexesten Modellvariante RR AS TOEP(4) am besten ist. Die vier dargestellten Modellvarianten unterscheiden sich bei allen Merkmalen signifikant mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,01$ voneinander.

Aus den Differenzen der Log-Likelihood-Werte der verschiedenen Modelle zur jeweils komplexesten Variante (RR AS TOEP(4)) kann der Einfluss abgelesen werden, den die Random Regression Komponente oder die unterstellte Kovarianzstruktur der wiederholten Messungen bzw. deren Kombination auf die Datenanpassung haben. Mit Ausnahme des Merkmals energiekorrigierte Milchmenge zeigte sich bei den übrigen Merkmalen eine stärkere Verbesserung der Datenanpassung durch die Integration der Random Regression Komponente im Vergleich zur Wahl einer bestimmten Kovarianzstruktur.

Mit Ausnahme des Merkmals Futteraufnahme konvergierten bei den anderen Merkmalen die Fixed Regression Modelle mit den unterlegten Kovarianzstrukturen Töplitz(3) und Töplitz(4) nicht. Bei den Random Regression Modellen wurde jedoch deutlich, dass diese beiden Kovarianzstrukturen die Daten besser erklären als die Kovarianzstrukturen VC, AR(1) und SP(EXP). Die Ergebnisse der Varianten mit den Kovarianzstrukturen AR(1) und SP(EXP) sind meist identisch, da sich die Varianz-Kovarianzmatrizen bei den beiden Kovarianzstrukturen erst ab der fünften Dezimalstelle unterscheiden.

Nachstehend sind die Varianz-Kovarianzmatrizen der Resteffekte (R) für die Merkmale Gesamtfutteraufnahme und energiekorrigierte Milchmenge aufgeführt, die entsprechenden Matrizen für das Lebendgewicht und die Energiebilanz sind in der Anlage hinterlegt. Die Matrizen resultieren aus den Random Regression Modellen mit Modellierung der Laktationskurve nach ALI und SCHAEFFER (1987) in Kombination mit der jeweils unterlegten Kovarianzstruktur.

Beim Merkmal Gesamtfutteraufnahme wurden bei allen getesteten Kovarianzmustern geringe Korrelationen zwischen den aufeinander folgenden Beobachtungen geschätzt. Während jedoch bei den Kovarianzmustern AR(1) und SP(EXP) die Beziehungen zwischen Beobachtungen mit wachsendem Abstand sehr stark abnehmen, werden bei den Kovarianzmustern nach Töplitz deutlich höhere Korrelationen zwischen Beobachtungen mit mehrtägigem Abstand zueinander gefunden.

Gesamtfutteraufnahme:

$$R = 8,75 * \begin{bmatrix} 1 & 0,07 & 0,00 & 0,00 \\ & 1 & 0,07 & 0,00 \\ & & 1 & 0,07 \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

bei AR(1);

$$R = 8,75 * \begin{bmatrix} 1 & 0,07 & 0,01 & 0,00 \\ & 1 & 0,07 & 0,01 \\ & & 1 & 0,07 \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

bei SP(EXP);

$$R = 8,78 * \begin{bmatrix} 1 & 0,06 & 0,09 & 0,00 \\ & 1 & 0,06 & 0,09 \\ & & 1 & 0,06 \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

bei TOEP(3);

$$R = 8,82 * \begin{bmatrix} 1 & 0,07 & 0,10 & 0,07 \\ & 1 & 0,07 & 0,10 \\ & & 1 & 0,07 \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

bei TOEP(4);

In den Varianz-Kovarianz-Matrizen der Resteffekte beim Merkmal energiekorrigierte Milchmenge wird dies noch deutlicher. Die signifikant besseren Ergebnisse des LRT für die Kovarianzmuster Töplitz(3) und Töplitz(4) deuten daraufhin, dass zwischen den wiederholten Messungen in allen vier untersuchten Merkmalen auch bei einem Abstand bis zu drei Tagen noch deutliche Beziehungen bestehen.

Energiekorrigierte Milchmenge:

$$R = 4,26 * \begin{bmatrix} 1 & 0,33 & 0,11 & 0,04 \\ & 1 & 0,33 & 0,11 \\ & & 1 & 0,33 \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

bei AR(1);

$$R = 4,26 * \begin{bmatrix} 1 & 0,33 & 0,11 & 0,04 \\ & 1 & 0,33 & 0,11 \\ & & 1 & 0,33 \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

bei SP(EXP);

$$R = 4,11 * \begin{bmatrix} 1 & 0,26 & 0,18 & 0,00 \\ & 1 & 0,26 & 0,18 \\ & & 1 & 0,26 \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

bei TOEP(3);

$$R = 4,18 * \begin{bmatrix} 1 & 0,30 & 0,23 & 0,13 \\ & 1 & 0,30 & 0,23 \\ & & 1 & 0,30 \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

bei TOEP(4);

Aufgrund der einmal monatlichen Erhebung der Körperkondition wurde bei diesem Merkmal von einer Unabhängigkeit der Resteffekte ausgegangen und somit von einem Test verschiedener potentieller Kovarianzstrukturen abgesehen. Der Einfluss der Random Regression Komponente wird aus der Tabelle 17 deutlich. Zugrunde liegen die Modelle I und II, wobei für das Modell II die unter Modell I beschriebenen Anzahlen an Testtagen und Tieren Geltung haben. Die Random Regression Modellvariante nach ALI und SCHAEFFER (1987) konvergierte aufgrund der ungenügenden Datenstruktur nicht. Im Mittel liegen

3,72 Beurteilungen je Tier vor, wobei im Datensatz Tiere mit bis zu sieben Konditionsbewertungen und Tiere ohne eine Bewertung vorhanden sind.

Infolgedessen wurden die weiteren Auswertungen mit der Random Regression Modellvariante mit spezifischer Laktationskurve 2. Grades (RR P2 VC) vorgenommen.

Tabelle 17: Geschätzte Restvarianzen, Log-Likelihood-Werte sowie LRT-Ergebnisse für die Modellvarianten FR VC sowie RR P2 VC des Merkmals Körperkondition

Modellvariante	q	σ_e^2	-2logL	FG	$\Delta(-2\log L)$
FR AS VC*	2	0,0218	-352	5	111 ^a
RR P2 VC	7	0,0151	-463		0 ^b

q = Anzahl der zu schätzenden zufälligen Parameter, σ_e^2 = Restvarianz

FG = Freiheitsgrade für den LRT, -2logL = Log-Likelihood Informationskriterium

$\Delta(-2\log L)$ = Differenz der Log-Likelihood-Werte zur Modellvariante RR AS TOEP(4)

^{a, b}: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Differenzen ($\alpha = 0,01$)

* Eine Übersicht über die Modellbezeichnungen gibt die Tabelle 14.

3.3.2 Auswirkungen der Berücksichtigung der Kovarianzstrukturen auf die Rangkorrelation der Kuheffekte und auf die fixen Effekte

Wie die Ergebnisse des in Abschnitt 3.3.1 beschriebenen Modelltests veranschaulichen, haben sowohl das Unterlegen spezieller Kovarianzstrukturen als auch die Random Regression Komponente einen signifikanten Einfluss auf die Datenanpassung. Um einen Hinweis auf die Auswirkungen der Berücksichtigung einer bestimmten Kovarianzstruktur zu bekommen, wurden einerseits die F-Werte und Signifikanzen der fixen Effekte bei den unterschiedlichen Merkmalen analysiert.

Diese sind jeweils für die einfachste und komplexeste Fixed bzw. Random Regression Variante (siehe Abschnitt 3.3.1) in Tabelle 18 dargestellt. Es wird deutlich, dass sich mit den Modellvarianten auch die F-Werte der fixen Effekte ändern. Allerdings bleiben die Signifikanzen selbst bei einem Vergleich der Fixed und Random Regression Varianten weitestgehend gleich. Lediglich beim Merkmal Lebendgewicht ist eine Änderung der Signifikanzen auch innerhalb des paarweisen Vergleichs der jeweils einfachsten mit der komplexesten Modellvariante zu beobachten. So verliert beispielsweise der Regressionskoeffizient b_2 bei den Fixed Regression Modellvarianten nach ALI und SCHAEFFER (1987) seinen signifikanten Einfluss beim Wechsel der unterlegten Kovarianzstruktur von „Variance Components“ zur autoregressiven Struktur 1. Ordnung (von FR AS VC zu FR AS AR(1)).

Tabelle 18: F-Werte und Signifikanzen der fixen Effekte der analysierten Merkmale bei ausgewählten Modellvarianten

Milchmenge (kg ECM / Tag)				
Modellvariante	FR AS VC ¹	FR AS SP(EXP)	RR AS VC	RR AS TOEP(4)
Testtag	8,08 ***	9,37 ***	8,19 ***	8,82 ***
EKA-Klasse	5,26 ***	5,21 ***	5,18 ***	4,95 ***
b ₁	17,52 ***	30,35 ***	14,52 ***	15,49 ***
b ₂	65,28 ***	24,61 ***	11,44 ***	12,08 ***
b ₃	130,57 ***	52,01 ***	25,38 ***	27,66 ***
b ₄	165,71 ***	67,42 ***	33,92 ***	37,44 ***
Futteraufnahme (kg TM / Tag)				
Modellvariante	FR AS VC	FR AS TOEP(3)	RR AS VC	RR AS TOEP(4)
Testtag	8,26 ***	7,80 ***	8,22 ***	7,97 ***
EKA-Klasse	0,79 n. s.	0,82 n. s.	1,51 n. s.	1,62 n. s.
b ₁	2,22 n. s.	1,40 n. s.	0,17 n. s.	0,49 n. s.
b ₂	2,24 n. s.	1,45 n. s.	0,25 n. s.	0,60 n. s.
b ₃	1,62 n. s.	0,98 n. s.	0,05 n. s.	0,27 n. s.
b ₄	0,70 n. s.	0,63 n. s.	1,26 n. s.	0,77 n. s.
Lebendgewicht (kg / Tag)				
Modellvariante	FR AS VC	FR AS AR(1)	RR AS VC	RR AS TOEP(4)
Testtag	16,31 ***	10,27 ***	14,05 ***	12,28 ***
EKA-Klasse	4,72 ***	4,78 ***	4,97 ***	5,09 ***
b ₁	2,53 n. s.	0,90 n. s.	0,58 n. s.	0,68 n. s.
b ₂	4,28 *	1,33 n. s.	0,97 n. s.	1,14 n. s.
b ₃	24,69 ***	8,06 **	6,01 *	6,86 **
b ₄	43,92 ***	14,66 ***	11,95 ***	13,78 ***
Energiebilanz (MJ NEL / Tag)				
Modellvariante	FR AS VC	FR AS AR(1)	RR AS VC	RR AS TOEP(4)
Testtag	8,73 ***	8,38 ***	9,15 ***	8,90 ***
EKA-Klasse	6,64 ***	6,61 ***	6,56 ***	6,66 ***
b ₁	0,03 n. s.	0,04 n. s.	0,04 n. s.	0,00 n. s.
b ₂	0,05 n. s.	0,06 n. s.	0,04 n. s.	0,00 n. s.
b ₃	0,00 n. s.	0,00 n. s.	0,09 n. s.	0,02 n. s.
b ₄	1,49 n. s.	1,31 n. s.	0,17 n. s.	0,35 n. s.

¹ Eine Übersicht über die Modellbezeichnungen gibt die Tabelle 14 (Seite 69).

EKA-Klasse = Erstkalbealterklasse

* = p<0,05, ** = p<0,01, *** = p<0,001, n. s. = nicht signifikant

Dies verdeutlicht, dass grundsätzlich die Kovarianzstrukturen geprüft werden sollten, da mit deren Wahl das Signifikanzniveau systematischer Einflussfaktoren unterschiedlich ausfallen kann. Infolgedessen wird die Analyse der systematischen Einflussfaktoren auf die täglich beobachteten Merkmale in Abschnitt 3.3.3 mit dem Random Regression Modell mit der Laktationskurvenmodellierung nach ALI und SCHAEFFER (1987) unter Berücksichtigung der Kovarianz-struktur Töplitz(4) vorgenommen und für die monatlich beurteilte Körperkondition entsprechend Abschnitt 3.3.1 das Random Regression Modell mit einem Polynom 2. Grades ohne Berücksichtigung der Kovarianzstrukturen der Resteffekte.

Zum anderen wurden die Spearman'schen Rangkorrelationen der Kuheffekte zwischen der einfachsten Fixed Regression Variante (FR AS VC) und der jeweiligen Fixed Regression Variante mit der besten Datenanpassung in den einzelnen Merkmalen mit den Prozeduren MIXED und CORR des SAS-Programmpakets (SAS INSTITUTE INC., 2004) berechnet.

Tabelle 19: Spearman'sche Rangkorrelationen und höchste Rangverschiebungen der Kuheffekte in den einzelnen Merkmalen

Merkmal	Spearman'sche Rangkorrelation	Höchste Rangverschiebung
Futteraufnahme (kg TM / Tag)	0,99987	4 Plätze
Milchmenge (kg ECM / Tag)	0,99975	5 Plätze
Lebendgewicht (kg / Tag)	0,99994	2 Plätze
Energiebilanz (MJ NEL / Tag)	0,99998	4 Plätze

ECM = energiekorrigierte Milchmenge

Bei allen Merkmalen sind die Rangkorrelationen zwischen den Kuheffekten der Modellvarianten mit und ohne Berücksichtigung der „besten“ getesteten Kovarianzstruktur sehr hoch (siehe Tabelle 19). Es traten bei keinem Merkmal Rangverschiebungen um mehr als fünf Plätze auf. Unter den ersten zehn Plätzen war nur ein Platzwechsel beim Merkmal Lebendgewicht zu beobachten.

Aufgrund der sehr hohen Rangkorrelationskoeffizienten werden die Auswertungen auf tierbedingter und genetischer Ebene in den Abschnitten 3.3.4 und 3.3.5 ohne die Berücksichtigung der Kovarianzstrukturen vorgenommen.

3.3.3 Systematische Einflussfaktoren und Laktationskurven

Den Ergebnissen der Abschnitte 3.3.1 und 3.3.2 entsprechend wird die Analyse der systematischen Einflussfaktoren auf die Milchmenge, die Gesamtfutteraufnahme, das Lebendgewicht und die tägliche Energiebilanz mit dem Random Regression Modell II nach ALI und SCHAEFFER (1987) unter Berücksichtigung der Kovarianzstruktur Töplitz(4) der Resteffekte vorgenommen. Bei dem Merkmal Körperkondition (BCS) wurde das Random Regression Modellvariante II mit dem Polynom 2. Grades ohne Berücksichtigung einer speziellen Kovarianzstruktur angewandt.

Für die Versuchstage und die Erstkalbealterklassen wurden LSQ-Mittelwerte geschätzt und diese nach Bonferroni auf signifikante Unterschiede ($\alpha = 0,05$) geprüft. Weiterhin wurden Kurven für den Verlauf der verschiedenen Merkmale über die Laktation geschätzt.

Der Einfluss des Versuchstags auf die Merkmale ECM, Futteraufnahme, Lebendgewicht, Energiebilanz und BCS-Note wird in den folgenden Abbildungen 23–27 dokumentiert. Der Tageseinfluss setzt sich u. a. zusammen aus Herdenbehandlungen und den klimatischen Einflüssen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlagsmenge und Sonnenscheindauer.

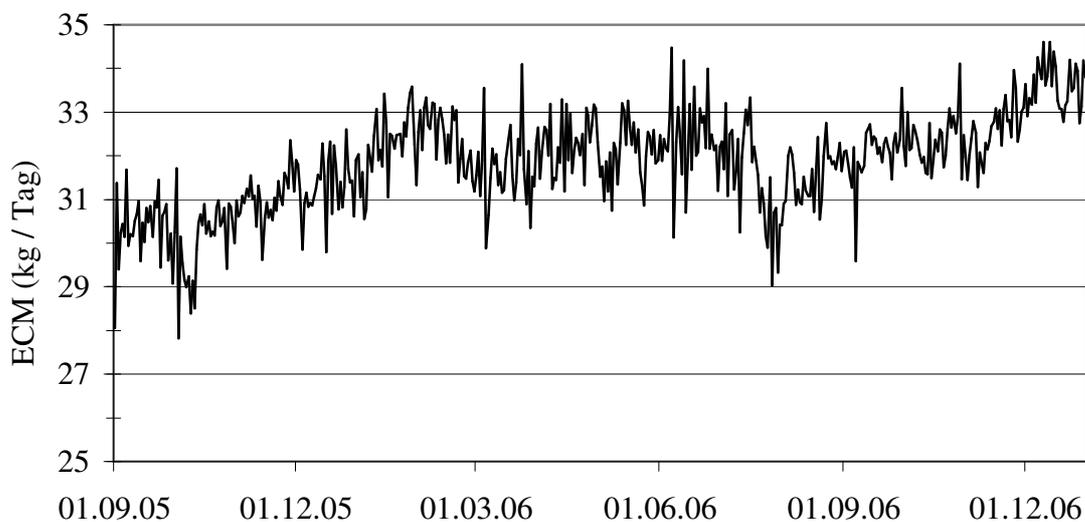


Abbildung 23: Einfluss des Beobachtungstags auf die tägliche energiekorrigierte Milchmenge (LSQ-Mittelwerte)

Beim Merkmal energiekorrigierte Milchmenge variieren die LSQ-Mittelwerte an aufeinander folgenden Tagen um bis zu 4,3 kg ECM (Abbildung 23). Der Variationskoeffizient der LSQ-Mittelwerte ist mit 3,5 % jedoch geringer als bei der Futteraufnahme (Variationskoeffizient = 5,5 %). Über den Beobachtungszeitraum ist ein Anstieg der energiekorrigierten Milchmenge um etwas mehr als 10 % von 30 kg ECM auf über 33 kg ECM zu beobachten.

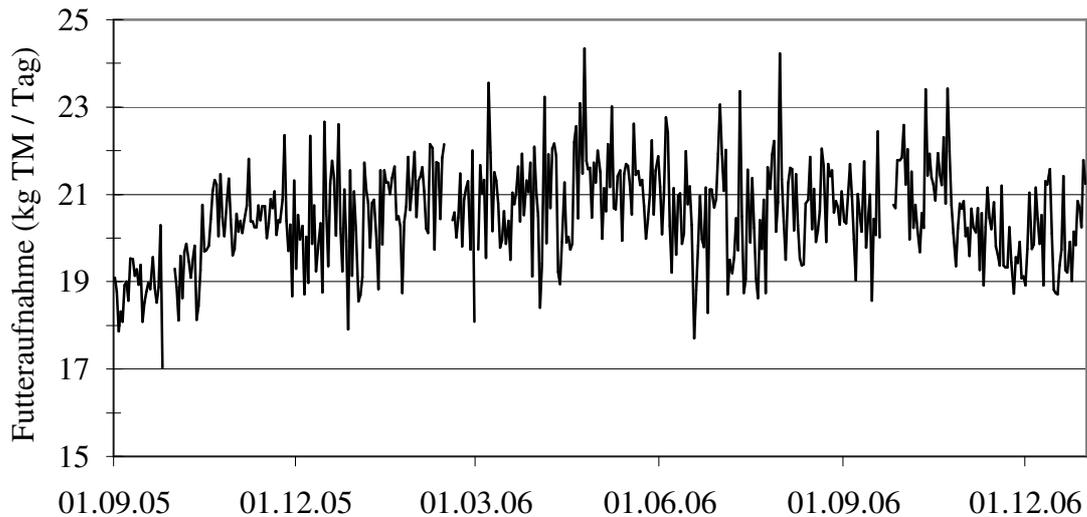


Abbildung 24: Einfluss des Beobachtungstags auf die tägliche Futteraufnahme (LSQ-Mittelwerte)

Die LSQ-Mittelwerte der Futteraufnahme schwanken um bis zu 4 kg TM zwischen aufeinander folgenden Tagen (Abbildung 24). Ein eindeutiger Trend hinsichtlich der Entwicklung der Futteraufnahme ist über den Beobachtungszeitraum nicht auszumachen, jedoch fällt der kontinuierliche Anstieg der Futteraufnahme über die ersten beiden Monate auf.

Der Einfluss des Beobachtungstags auf das Lebendgewicht ist in der Abbildung 25 dargestellt. Hierbei ist der kürzere Beobachtungszeitraum zu beachten.

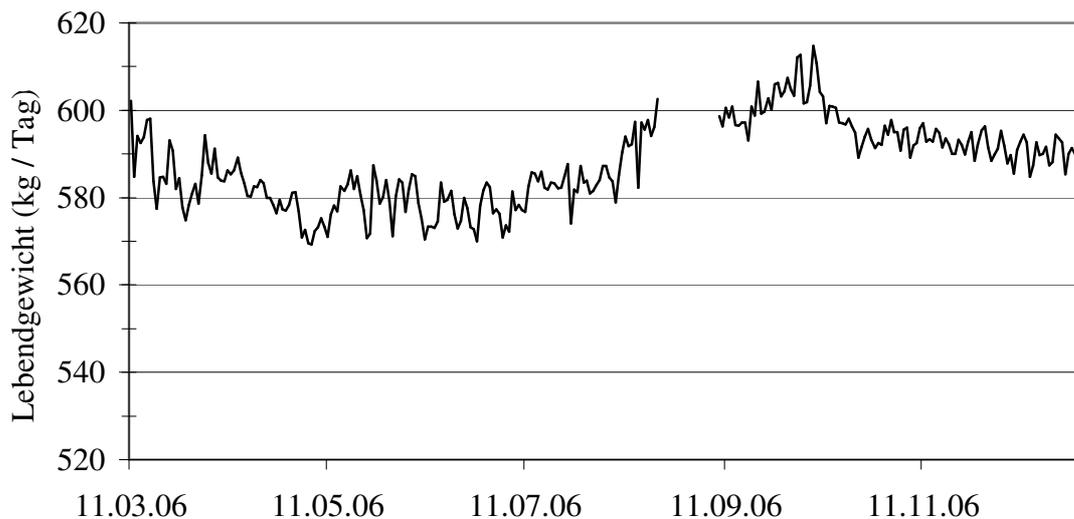


Abbildung 25: Einfluss des Beobachtungstags auf das tägliche Lebendgewicht (LSQ-Mittelwerte)

Die LSQ-Mittelwerte für das Lebendgewicht schwanken um bis zu 17 kg zwischen aufeinander folgenden Tagen. Der Variationskoeffizient der LSQ-Mittelwerte über den Beobachtungszeitraum ist mit 1,6 % der niedrigste der dargestellten Merkmale. Ein Trend über die Lebendgewichtsentwicklung ist nicht zu erkennen. Auffällig ist die durch den Ausfall der Waage bedingte Datenlücke der Lebendgewichte Ende August/Anfang September 2006. Die größte Schwankungsbreite tritt bei den LSQ-Mittelwerten des Merkmals tägliche Energiebilanz auf (Abbildung 26). Hier kommen Unterschiede von bis zu 33 MJ NEL an aufeinander folgenden Tagen vor, was in etwa dem Energiebedarf für 10 kg ECM entspricht. Ein Trend hinsichtlich der Entwicklung der Energiebilanz kann nicht festgestellt werden.

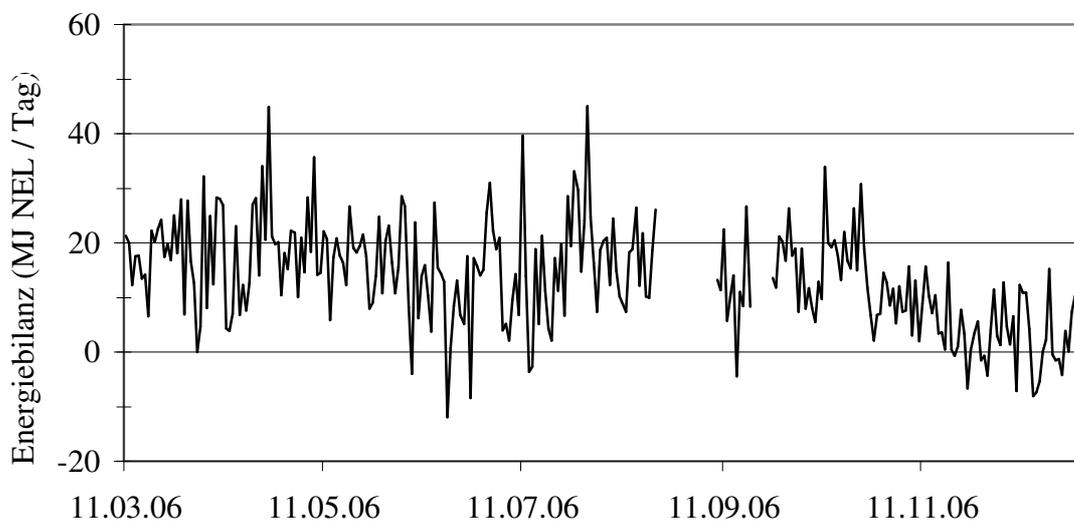


Abbildung 26: Einfluss des Beobachtungstags auf die tägliche Energiebilanz (LSQ-Mittelwerte)

Die LSQ-Mittelwerte der monatlichen BCS-Benotungstage sind in der Abbildung 27 dargestellt. Sie variieren von 2,96 bis 3,20, wobei signifikante Unterschiede zwischen den Beurteilungstagen mit den niedrigsten und höchsten Werten zu finden sind, wie beispielsweise dem 18.12.2006 und dem 14.08.2006. Ansonsten sprechen die geringen Unterschiede zwischen den LSQ-Mittelwerten für die fachliche Kompetenz der BCS-„Prüfperson“ und für ein gutes Fütterungsmanagement.

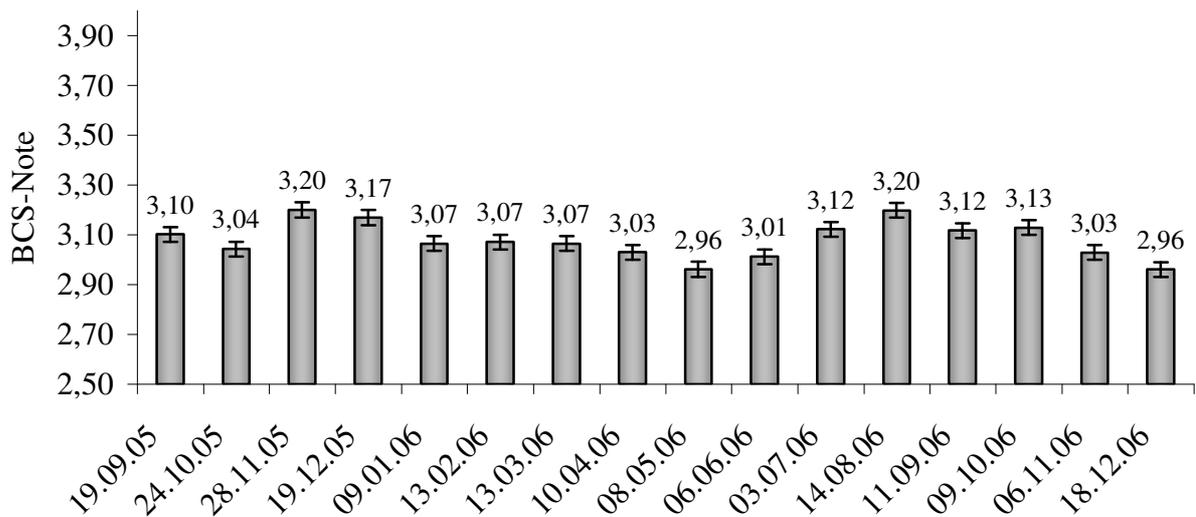


Abbildung 27: LSQ-Mittelwerte der BCS-Note an den einzelnen Beurteilungstagen

Der Einfluss des Erstkalbealters ist in Tabelle 20 dargestellt. Für die Gesamtfutteraufnahme liegen die LSQ-Mittelwerte der Erstkalbealtersklassen in einem einheitlichen Bereich von 19,8 bis 20,8 kg TM / Tag. Signifikante Unterschiede zwischen den LSQ-Mittelwerten der einzelnen Klassen sind bei der Futteraufnahme nicht zu finden. Dies gilt auch für die LSQ-Mittelwerte der energiekorrigierten Milchmenge in den ersten vier Erstkalbealtersklassen. Lediglich die Milchmenge der Färsen mit einem Erstkalbealter über 28 Monaten unterscheidet sich mit 33,7 kg ECM / Tag signifikant von den LSQ-Mittelwerten der Erstlaktierenden mit einem Abkalbealter unter 27 Monaten. Ähnliches ist bei den LSQ-Mittelwerten des Lebendgewichtes zu beobachten. Das Lebendgewicht der Färsen mit einem Erstkalbealter über 28 Monaten ist mit 609 kg signifikant höher als bei den Färsen der 1. und 3. Erstkalbealtersklasse.

Bei dem Merkmal Energiebilanz unterscheiden sich die LSQ-Mittelwerte der Klassen 1 bis 4 nicht signifikant untereinander. Nur die Färsen mit einem Erstkalbealter über 28 Monaten weisen mit einem LSQ-Mittelwert von 0,7 MJ NEL eine signifikant niedrigere Energiebilanz auf als die jünger abgekalbten Erstlaktierenden. Dieser signifikante Unterschied der Färsen mit einem Erstkalbealter über 28 Monaten ist in der Bewertung der Körperkondition nicht zu finden.

Tabelle 20: Einfluss der Erstkalbealterklasse (1–5) auf die täglichen Merkmale energie-korrigierte Milchmenge (kg ECM / Tag), Futtermenge (kg TM / Tag), Lebendgewicht (kg / Tag), Energiebilanz (MJ NEL / Tag) und die Körperkondition (BCS-Note) (LSQ-Mittelwerte (LSM) und Standardfehler (SE))

Klasse	EKA	Milchleistung		Futteraufnahme		Lebendgewicht		Energiebilanz		Körperkondition	
		LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE
1	22–25	30,7 ^a	0,56	20,8 ^a	0,32	574 ^a	6,95	21,4 ^a	3,11	3,11 ^a	0,04
2	26	31,0 ^a	0,48	20,6 ^a	0,26	585 ^{ab}	6,08	16,4 ^a	2,62	3,07 ^a	0,03
3	27	32,1 ^{ab}	0,49	20,5 ^a	0,27	573 ^a	6,51	13,0 ^a	2,79	3,02 ^a	0,03
4	28	31,7 ^{ab}	0,61	20,6 ^a	0,33	600 ^{ab}	7,46	15,1 ^a	3,18	3,12 ^a	0,04
5	29–36	33,7 ^b	0,54	19,8 ^a	0,30	609 ^b	7,12	0,3 ^b	3,06	3,08 ^a	0,04

^{a, b}: Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede
EKA: Erstkalbealter

Die geschätzten Laktationskurven für die betrachteten Merkmale sind in den Abbildungen 28 und 29 dargestellt.

Wie die Abbildung 28 veranschaulicht, erreicht die Milchleistung der erstlaktierenden Färsen bereits nach drei Wochen das Maximum von ca. 33 kg ECM / Tag und sinkt dann bis zum 160. Laktationstag auf unter 30 kg ECM / Tag. Der Anstieg der Futteraufnahme erfolgt langsamer. Sie erreicht erst um den 50. Laktationstag einen Wert von über 20 kg TM / Tag und bleibt dann auf diesem Niveau bis über den 180. Laktationstag hinaus. Daraus resultiert zu Beginn der Laktation eine negative tägliche Energiebilanz, die erst am 42. Laktationstag in den positiven Bereich wechselt.

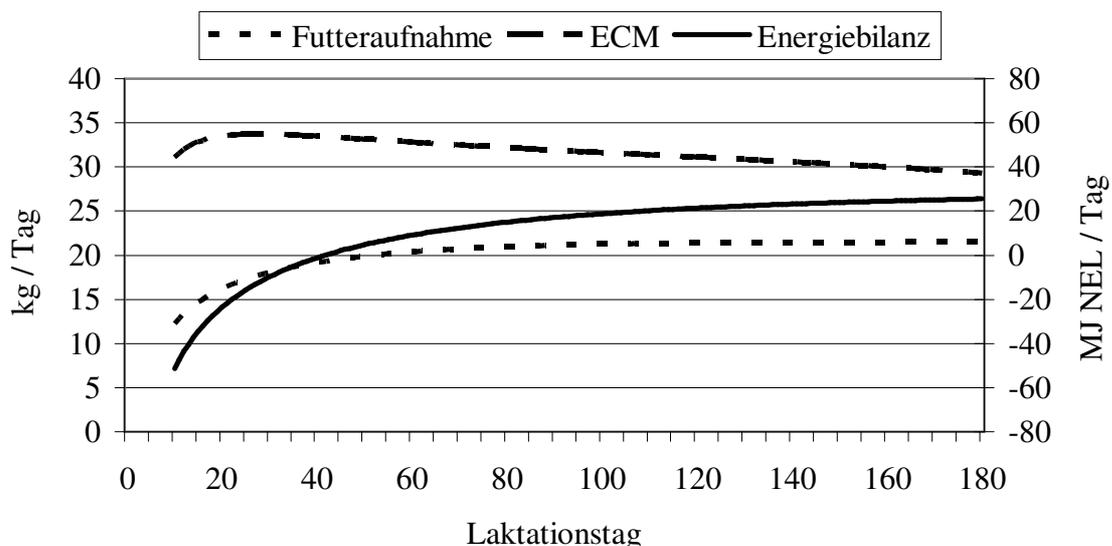


Abbildung 28: Entwicklung der energiekorrigierten Milchmenge (ECM), der Futteraufnahme und der Energiebilanz im Verlauf der Laktation

In der Abbildung 29 sind die korrespondierenden Kurven der Lebendgewichtsentwicklung und des Verlaufs der Körperkondition (BCS) wiedergegeben. Wird die Lebendgewichtskurve linksseitig extrapoliert, beträgt das Gewicht zum Zeitpunkt der Abkalbung etwa 600 kg. Danach sinkt das Lebendgewicht bis zum 30. Laktationstag auf ein Minimum von etwa 565 kg ab. Um den 130. Laktationstag erreichen die Färsen wieder das Gewicht von 600 kg, welches sie zum Abkalbezeitpunkt hatten. Am Ende der Prüfperiode (180. Laktationstag) wiegen die Tiere ca. 620 kg.

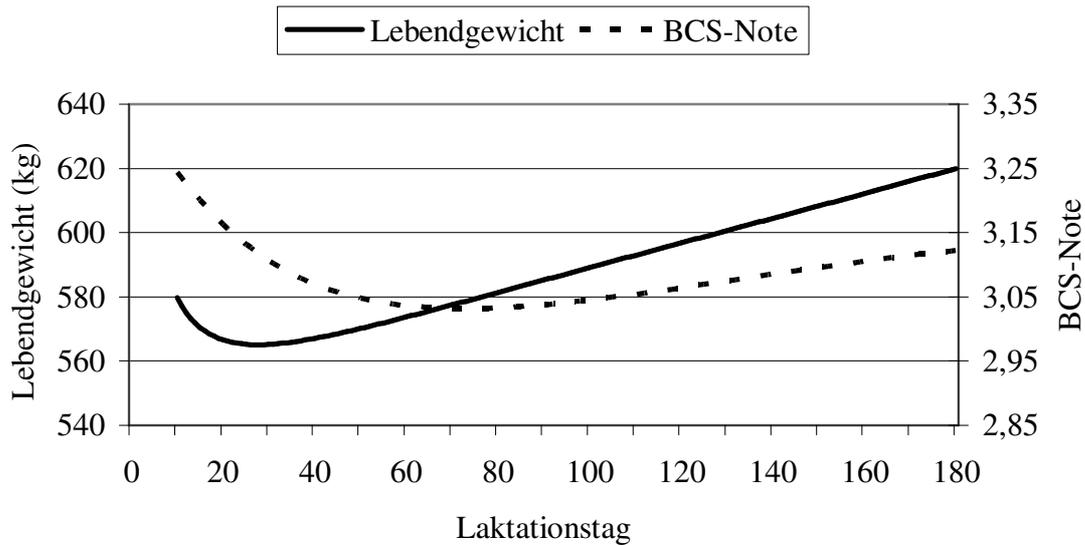


Abbildung 29: Entwicklung des Lebendgewichts (LG) und der Körperkondition (BCS) im Verlauf der Laktation

Die Körperkonditionsbenotung folgt der Körpergewichtsentwicklung mit zeitlicher Verzögerung. Ausgehend von einer BCS-Note von 3,05 am 11. Laktationstag erreicht die Kurve der Körperkondition das Minimum von 3,02 um den 75. Laktationstag und steigt danach kontinuierlich an.

3.3.4 Schätzung der Wiederholbarkeiten, Heritabilitäten und Korrelationen mit der Fixed Regression Modellvariante

Aufgrund der für genetische Analysen geringen Anzahl an Färsen wurden im ersten Schritt die tierbedingten Zusammenhänge zwischen den Merkmalen mit einem Fixed Regression Modell analysiert. Daher erfolgte die Schätzung der Varianzkomponenten ohne Berücksichtigung der Abstammungsinformationen mit der Fixed Regression Modellvariante nach ALI und SCHAEFFER (1987) des Modells I multivariat unter Verwendung des Programmpakets VCE-4, Version 4.2.5 mittels REML-Methode (NEUMAIER und GROENEVELD, 1998). Da bei den täglichen Beobachtungswerten die aufgefüllten Datenverläufe genutzt wurden, gelten wiederum die bei dem Modell II angegebenen i- und k-Werte für die Anzahl berücksichtigter Testtage und Tiere.

In der Tabelle 21 werden die resultierenden Kuh- und Restvarianzen sowie die Wiederholbarkeiten mit ihren Standardfehlern aufgeführt.

Tabelle 21: Kuh- (σ_k^2) und Restvarianzen (σ_e^2) sowie Wiederholbarkeitskoeffizienten (w) und deren Standardfehler (SE_w) der Merkmale Futteraufnahme, Milchmenge, Lebendgewicht, Energiebilanz und Körperkondition

Merkmal	σ_k^2	σ_e^2	w	SE_w
Milchmenge (kg ECM / Tag)	15,42	5,47	0,74	0,00
Futteraufnahme (kg TM / Tag)	4,66	9,83	0,32	0,01
Lebendgewicht (kg / Tag)	1741,59	177,75	0,91	0,01
Energiebilanz (MJ NEL / Tag)	250,39	468,51	0,35	0,01
Körperkondition (BCS-Note)	0,06	0,02	0,73	0,01

Die Wiederholbarkeit beschreibt das Verhältnis der genetischen und permanenten umweltbedingten Varianz zwischen den Kühen zur phänotypischen Varianz und stellt somit die obere Grenze der Heritabilität dar.

$$w = \sigma_k^2 / \sigma_k^2 + \sigma_e^2$$

mit

w = Wiederholbarkeit

σ_k^2 = Varianz zwischen den Kühen

σ_e^2 = Restvarianz

Die Futteraufnahme hat eine Varianz zwischen den Kühen von $\sigma_k^2 = 4,66$ und eine Restvarianz von $\sigma_e^2 = 9,83$. Von den anderen Merkmalen ist nur bei der täglichen Energiebilanz die Restvarianz ebenfalls größer als die Varianz zwischen den Kühen. Die entsprechende Wiederholbarkeit für die Futteraufnahme beträgt $w = 0,32$. Die höchste Wiederholbarkeit ist beim täglichen Lebendgewicht mit $w = 0,91$ zu finden, dann folgen die energiekorrigierte Milchmenge und die Körperkondition mit $w = 0,74$ bzw. $w = 0,73$. Die Wiederholbarkeit der täglichen Energiebilanz liegt mit $w = 0,35$ auf gleichem Niveau wie bei der Futteraufnahme.

In der Tabelle 22 sind die phänotypischen und tierbedingten Korrelationen zwischen den analysierten Merkmalen dargestellt.

Tabelle 22: Phänotypische (r_p , oberhalb der Diagonalen) und tierbedingte Korrelationen (r_t , unterhalb der Diagonalen) zwischen den Merkmalen Futteraufnahme (FUATM), Milchmenge (ECM), Lebendgewicht (LG), Energiebilanz (EB) und Körperkondition (BCS)

	ECM	FUATM	LG	EB	BCS
ECM		0,23	0,05	-0,31	-0,17
FUATM	0,39 (0,01)		0,09	0,85	0,03
LG	0,02 (0,03)	0,11 (0,03)		-0,01	0,56
EB	-0,42 (0,02)	0,67 (0,02)	-0,03 (0,04)		0,08
BCS	-0,27 (0,02)	0,02 (0,03)	0,65 (0,03)	0,16 (0,04)	

Standardfehler in Klammern

Sowohl phänotypisch als auch tierbedingt ist die Beziehung der Energiebilanz zur Futteraufnahme ($r_t = 0,67$) stärker als zur Milchleistung ($r_t = -0,42$). Die Körperkondition (BCS) ist am stärksten korreliert mit dem Lebendgewicht ($r_t = 0,65$), die Beziehungen zu Futteraufnahme, Milchleistung und Energiebilanz sind eher gering.

In einem zweiten Schritt erfolgte die Aufteilung der Kuhvarianzen in permanent umweltbedingte und additiv-genetische Varianzkomponenten durch die Berücksichtigung der Abstammungsinformationen. Dazu wurde das Modell I durch Aufteilung des zufälligen tierbedingten Varianzanteils in die zufällige permanent umweltbedingte und die additiv genetische Varianzkomponente zum Modell III erweitert.

Modell III:

$$y_{ijklm} = \mu + TAG_i + EKA_j + \sum_{n=1}^4 b_n * x_{ijklmn}(d) + p_k + a_l + e_{ijklm}$$

mit: y_{ijklm} = m-te Beobachtung der energiekorrigierten Milchmenge, der Gesamtfutteraufnahme, des Lebendgewichts, der Energiebilanz oder der Beurteilungsnote der Körperkondition (BCS)

μ = allgemeines Mittel

TAG_i = fixer Effekt des i-ten Testtags ($i = 1-487$ bei der Milchmenge und der Futteraufnahme, $i = 1-296$ beim Lebendgewicht und bei der Energiebilanz, $i = 1-16$ bei der Körperkondition)

EKA_j = fixer Effekt der j-ten Erstkalbealterklasse ($j = 1-5$)

b_n = fixe Regressionskoeffizienten auf den Laktationstag d

$$\text{mit } x_{ijklm0}(d) = 1, x_{ijklm1}(d) = \frac{d}{190}, x_{ijklm2}(d) = \left(\frac{d}{190}\right)^2,$$

$$x_{ijklm3}(d) = \ln \frac{190}{d} \text{ und } x_{ijklm4}(d) = \left(\ln \frac{190}{d}\right)^2$$

p_k = zufälliger permanenter Umwelteffekt des k-ten Tieres im Pedigree

a_l = zufälliger additiv genetischer Effekt des l-ten Leistungstieres ($l = 1-265$ bei der Milchmenge, $l = 1-258$ bei der Gesamtfutteraufnahme, $l = 1-184$ beim Lebendgewicht, $l = 1-172$ bei der Energiebilanz, $l = 1-259$ bei der Körperkondition)

e_{ijkl} = zufälliger Restfehler

Der Laktationsverlauf wird nach ALI und SCHAEFFER (1987) durch die Regressionskoeffizienten b_1 – b_4 modelliert.

Die resultierenden Varianzkomponenten zeigt die Tabelle 23.

Tabelle 23: Additiv-genetische Varianz (σ_a^2), permanent umweltbedingte Varianz (σ_{pe}^2) und Restvarianz (σ_e^2) für die Merkmale Futteraufnahme, energiekorrigierte Milchmenge, Lebendgewicht, Energiebilanz und Körperkondition

Merkmal		σ_a^2	σ_{pe}^2	σ_e^2
Milchmenge	(kg ECM / Tag)	4,8	10,8	5,5
Futteraufnahme	(kg TM / Tag)	1,4	3,3	9,8
Lebendgewicht	(kg / Tag)	335	1434	178
Energiebilanz	(MJ NEL / Tag)	48,1	204,5	468,5
Körperkondition	(BCS-Note)	0,04	0,02	0,02

Mit Ausnahme des Merkmals Körperkondition (BCS) ist bei den übrigen Merkmalen die additiv-genetische Varianz geringer als die permanent umweltbedingte und die restliche Varianz. Folglich hebt sich das Merkmal Körperkondition auch bei den Heritabilitäten deutlich von den anderen Merkmalen ab (Tabelle 24). Die Heritabilität beschreibt den Anteil additiv-genetischer Varianz an der Gesamtvarianz ($\sigma_p^2 = \sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2$). Diese liegt für die Körperkondition mit $h^2 = 0,53$ im hohen Bereich, während für die energiekorrigierte Milchmenge mit $h^2 = 0,23$ eine mittlere Heritabilität und für die Merkmale Futteraufnahme, Lebendgewicht und Energiebilanz etwas niedrigere Heritabilitäten unter $h^2 = 0,20$ geschätzt wurden.

Tabelle 24: Heritabilitäten (h^2), permanente Varianzanteile (pe^2) und deren Standardfehler ($\pm SE_{h^2}$, $\pm SE_{pe^2}$) für die Merkmale Futteraufnahme, energiekorrigierte Milchmenge, Lebendgewicht, Energiebilanz und Körperkondition

Merkmal	h^2	$\pm SE_{h^2}$	pe^2	$\pm SE_{pe^2}$
Milchmenge (kg ECM/Tag)	0,23	0,09	0,51	0,09
Futteraufnahme (kg TM/Tag)	0,10	0,05	0,23	0,04
Lebendgewicht (kg/Tag)	0,17	0,08	0,74	0,08
Energiebilanz (MJ NEL/Tag)	0,07	0,04	0,28	0,04
Körperkondition (BCS-Note)	0,53	0,02	0,21	0,08

Die permanent umweltbedingte Varianz hat bei den Merkmalen energiekorrigierte Milchmenge und Lebendgewicht mit $pe^2 = 0,51$ bzw. $pe^2 = 0,74$ hohe Anteile an der Gesamtvarianz. Bei den übrigen Merkmalen liegt der permanent umweltbedingte Varianzanteil zwischen 21 % und 28 %. Die Standardfehler der Heritabilität entsprechen mit Ausnahme des Merkmals Körperkondition denen des permanent umweltbedingten Varianzanteils und liegen in einem Bereich von 0,02 bis 0,09.

Die genetischen Korrelationen der analysierten Merkmale sowie deren Standardfehler sind in der Tabelle 25 abgebildet. Die tägliche Futteraufnahme ist genetisch mit $r_a = 0,65$ mit der Milchmenge korreliert. Die genetische Beziehung der Energiebilanz zur Futteraufnahme ist mit $r_a = 0,56$ stärker als zur Milchmenge mit $r_a = -0,26$. Die deutlichste genetische Korrelation ist zwischen dem Lebendgewicht und der Körperkondition mit $r_a = 0,60$ geschätzt worden. Die Standardfehler fielen für diese Schätzwerte hoch bis sehr hoch aus, was auf die für genetische Analysen geringe Anzahl an Kühen zurückzuführen ist. Die Aussagekraft der Schätzwerte ist daher begrenzt.

Tabelle 25: Genetische Korrelationen und deren Standardfehler zwischen den täglichen Merkmalen Futteraufnahme (FUATM), Milchmenge (ECM), Lebendgewicht (LG), Energiebilanz (EB) und der Körperkondition (BCS)

	FUATM	LG	EB	BCS
ECM	0,65 (0,17)	-0,36 (0,53)	-0,26 (0,33)	-0,11 (0,20)
FUATM		-0,41 (0,45)	0,56 (0,24)	-0,48 (0,22)
LG			-0,21 (0,16)	0,60 (0,08)
EB				0,33 (0,13)

Standardfehler in Klammern

3.3.5 Schätzung der Wiederholbarkeiten, Heritabilitäten und Korrelationen mit der Random Regression Modellvariante

Der Vorgehensweise in Abschnitt 3.3.4 entsprechend wurde auch bei der Auswertung der täglichen Beobachtungswerte mit dem Random Regression Testtagsmodell vorgegangen. Nach der Kodierung der Daten wurden die Varianzkomponenten mit dem Modell II unter Verwendung des Programmpakets VCE-5 (KOVAC et al., 2002) sowohl ohne als auch mit Berücksichtigung der Abstammungsinformationen analysiert. Die Varianzanalyse ohne Berücksichtigung der Verwandtschaftsinformationen wurde mit dem Modell II vorgenommen. Zur Analyse der genetischen Parameter ist das Modell II zum genetischen Modell IV erweitert worden, so dass der zufällige tierbedingte Varianzanteil in die zufällige permanent umweltbedingte und additiv genetische Varianzkomponente aufgeteilt wird.

Die Modellierung der zufälligen Effekte über den Laktationsverlauf wird bei den täglichen Beobachtungswerten nach ALI und SCHAEFFER (1987), bei der Körperkondition hingegen mit einem Polynom 2. Grades (RR P2) vorgenommen.

Modell IV mit der Modellierung nach ALI und SCHAEFFER (1987):

$$y_{ijklm} = \mu + TAG_i + EKA_j + \sum_{n=1}^4 b_n * x_{ijklmn}(d) + \sum_{n=0}^4 p_{kn} * x_{ijklmn}(d) + \sum_{n=0}^4 a_{ln} * x_{ijklmn}(d) + e_{ijklm}$$

mit:

y_{ijklm} = m-te Beobachtung der energiekorrigierten Milchmenge, der Futteraufnahme, des Lebendgewichts, der Energiebilanz oder der Körperkondition

μ = allgemeines Mittel

TAG_i = fixer Effekt des i-ten Testtags ($i = 1-487$ bei der Milchmenge und der Futteraufnahme, $i = 1-296$ beim Lebendgewicht und bei der Energiebilanz, $i = 16$ bei der Körperkondition)

EKA_j = fixer Effekt der j-ten Erstkalbealterklasse ($j = 1-5$)

b_n = n-ter fixer Regressionskoeffizient auf den Laktationstag

p_{kn}, a_{ln} = n-ter zufälliger permanent umweltbedingter Regressionskoeffizient des k-ten Tieres im Pedigree bzw. n-ter zufälliger additiv genetischer Regressionskoeffizient des l-ten Leistungstieres ($l = 1-265$ bei der Milchmenge, $l = 1-258$ bei der Futteraufnahme, $l = 1-184$ beim Lebendgewicht, $l = 1-172$ bei der Energiebilanz, $l = 259$ bei der Körperkondition) auf den Laktationstag mit $x_{ijklm0}(d) = 1$, $x_{ijklm1}(d) = \frac{d}{305}$,

$$x_{ijklm2}(d) = \left(\frac{d}{305}\right)^2, x_{ijklm3}(d) = \ln\frac{305}{d} \text{ und } x_{ijklm4}(d) = \left(\ln\frac{305}{d}\right)^2,$$

wobei d = Laktationstag

e_{ijklm} = zufälliger Restfehler

Die Formulierung für die Random Regression Modellvariante mit dem Polynom 2. Grades entspricht der um die „Logarithmus-Monome“ reduzierten obigen Gleichung.

$$\text{Hierbei ist } x_{ijklm0}(d) = 1, x_{ijklm1}(d) = \frac{d}{190}, x_{ijklm2}(d) = \left(\frac{d}{190}\right)^2.$$

Bei Testtagsmodellen mit zufälliger Regression (Random Regression Modelle) können die Varianz-Kovarianzmatrizen der zufälligen Effekte für beliebige Testtage aufgestellt werden. Dies ermöglicht die Schätzung der Wiederholbarkeiten und Heritabilitäten über den Laktationsverlauf sowie die Berechnung der tierbedingten und genetischen Korrelationen zwischen beliebigen Zeitpunkten.

Zur Vereinfachung wurde in der vorliegenden Untersuchung der Laktationsverlauf vom 11. bis zum 180. Laktationstag in 6 Abschnitte unterteilt, für die die Laktationstage 20, 45, 75, 105, 135 und 165 stellvertretend sind (Tabelle 26).

Tabelle 26: Definition der Laktationsabschnitte im Random Regression Modell

Laktationsabschnitt	1	2	3	4	5	6
Abschnittsgrenzen	11–30	31–60	61–90	91–120	121–150	151–180
stellv. Laktationstag	20	45	75	105	135	165

Die Schätzungen der Verläufe der Wiederholbarkeiten und der Heritabilitäten über den Laktationsverlauf vom 11. bis zum 180. Laktationstag sowie die Berechnung der tierbedingten und genetischen Korrelationen zwischen den Beobachtungen eines Merkmals an verschiedenen Laktationstagen wurden in univariaten Analysen durchgeführt. Die tierbedingten und genetischen Korrelationen zwischen den verschiedenen Merkmalen an den unterschiedlichen Laktationstagen wurden in bivariaten Analysen berechnet. Da beim Merkmal Körperkondition (BCS) die Random Regression Modellvariante nach ALI und SCHAEFFER (1987) nicht konvergierte, wurde stattdessen die Modellvariante mit dem Polynom 2. Grades genutzt (RR P2, siehe Abschnitt 3.3.1).

Die Ergebnisse der Analyse ohne die Verwandtschaftsinformationen sind in den Tabellen 27 und 28 dargestellt. Generell sind die aus dem Random Regression Modell resultierenden Wiederholbarkeiten an den verschiedenen Laktationstagen etwas höher als die mit dem Fixed Regression Modell über den gesamten Laktationsverlauf ermittelten Wiederholbarkeiten. Bei der Futteraufnahme steigt die Wiederholbarkeit kontinuierlich von $w = 0,39$ zu Beginn der Laktation auf $w = 0,50$ im sechsten Laktationsabschnitt an. Bei der energiekorrigierten Milchmenge ist ebenfalls ein leichter, stetiger Anstieg der Wiederholbarkeit über den Laktationsverlauf zu beobachten, während bei der Energiebilanz ein stärkerer Abfall der Wiederholbarkeit von $w = 0,53$ im ersten Abschnitt auf $w = 0,39$ um den 100. Laktationstag mit einem anschließenden Anstieg auf $w = 0,46$ am 165. Laktationstag zu verzeichnen ist. Ein ähnlicher Verlauf der Wiederholbarkeit in abgeschwächter Form zeigt sich auch beim Merkmal Körperkondition. Für das Merkmal Lebendgewicht sind die Wiederholbarkeiten über den Laktationsverlauf konstant mit $w = 0,95$ bzw. $w = 0,96$.

Die tierbedingten Korrelationen zwischen den verschiedenen Beobachtungen eines Merkmals an direkt aufeinander folgenden Laktationsabschnitten sind über alle Merkmale sehr hoch einzustufen mit Werten im Bereich von $r_t = 0,85$ bis $r_t = 0,98$.

Tabelle 27: Wiederholbarkeiten (Diagonalelemente) und tierbedingte Korrelationen der analysierten Merkmale an und zwischen den Laktationsabschnitten

Laktationstag	11-30	31-60	61-90	91-120	121-150	151-180
energiekorrigierte Milchmenge (kg ECM / Tag)						
11-30	0,79	0,93	0,83	0,75	0,72	0,67
31-60		0,77	0,95	0,87	0,80	0,69
61-90			0,79	0,97	0,90	0,72
91-120				0,81	0,96	0,79
121-150					0,83	0,92
151-180						0,84
Futteraufnahme (kg TM / Tag)						
11-30	0,39	0,85	0,65	0,49	0,41	0,35
31-60		0,37	0,91	0,77	0,67	0,53
61-90			0,36	0,96	0,86	0,62
91-120				0,37	0,95	0,72
121-150					0,41	0,88
151-180						0,50
Lebendgewicht (kg / Tag)						
11-30	0,96	0,96	0,90	0,83	0,77	0,71
31-60		0,95	0,98	0,92	0,87	0,80
61-90			0,95	0,98	0,94	0,86
91-120				0,95	0,98	0,92
121-150					0,95	0,97
151-180						0,96
Energiebilanz (MJ NEL / Tag)						
11-30	0,53	0,86	0,73	0,64	0,65	0,67
31-60		0,42	0,91	0,75	0,71	0,72
61-90			0,39	0,96	0,90	0,74
91-120				0,39	0,98	0,74
121-150					0,42	0,86
151-180						0,46
Körperkondition (BCS-Note)						
11-30	0,91	0,98	0,92	0,79	0,60	0,41
31-60		0,81	0,97	0,88	0,73	0,56
61-90			0,84	0,97	0,86	0,72
91-120				0,89	0,96	0,88
121-150					0,91	0,97
151-180						0,92

Mit größerem zeitlichem Abstand zwischen den Beobachtungen nehmen die tierbedingten Korrelationen bei allen Merkmalen ab. Dieser Abfall ist bei den Merkmalen Futteraufnahme und Körperkondition am stärksten. Etwas schwächer ausgeprägt ist der Rückgang der tierbedingten Korrelationen bei den Merkmalen energiekorrigierte Milchmenge und Energiebilanz. Am höchsten sind die tierbedingten Korrelationen zwischen Beobachtungen am Laktationsanfang und späteren Laktationstagen bei dem Lebendgewicht.

Der Verlauf der tierbedingten Korrelationen zwischen den bivariat analysierten Merkmalen bis zum 180. Laktationstag wird in der Tabelle 28 gezeigt.

Tabelle 28: Tierbedingte Korrelationen zwischen den Merkmalen in den verschiedenen Laktationsabschnitten

Merkmale	Laktationstage	11-	31-	61-	91-	121-	151-
		30	60	90	120	150	180
Milchmenge - Futteraufnahme		0,11	0,25	0,38	0,44	0,44	0,52
Milchmenge - Lebendgewicht		0,25	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03
Milchmenge - Energiebilanz		-0,59	-0,52	-0,45	-0,36	-0,32	-0,32
Milchmenge - Körperkondition		-0,17	-0,23	-0,22	-0,10	0,04	0,15
Futteraufnahme - Lebendgewicht		0,11	0,05	0,05	0,03	0,05	0,11
Futteraufnahme - Energiebilanz		0,32	0,64	0,74	0,78	0,78	0,77
Futteraufnahme - Körperkondition		-0,01	0,02	0,04	0,01	-0,05	-0,12
Lebendgewicht - Energiebilanz		0,02	0,00	-0,01	-0,02	-0,01	0,00
Lebendgewicht - Körperkondition		0,57	0,66	0,81	0,88	0,92	0,89
Energiebilanz - Körperkondition		0,10	0,18	0,24	0,17	0,05	-0,07

Während die tierbedingte Korrelation zwischen der Energiebilanz und der Milchmenge im Laktationsverlauf abnimmt, steigen die tierbedingten Korrelationen zwischen der Futteraufnahme und der Energiebilanz bzw. der Milchmenge an. Hierbei fällt der Anstieg der tierbedingten Korrelation zwischen der Futteraufnahme und der Energiebilanz stärker aus als der Abfall der tierbedingten Korrelation zwischen Milchmenge und Energiebilanz. Zwischen dem Lebendgewicht und der Körperkondition wurden tierbedingte Korrelationen im hohen bis sehr hohen Bereich geschätzt, das Lebendgewicht hingegen ist mit der Energiebilanz, der Futteraufnahme bzw. der Milchmenge auf tierbedingter Ebene nicht korreliert.

Die entsprechenden Ergebnisse unter Berücksichtigung der Verwandtschaftsinformationen sind in den folgenden Tabellen 29 und 30 dargestellt. Im Mittel sind die mit dem Random Regression Modell ermittelten Heritabilitäten etwas höher als bei der Schätzung mit einem Fixed Regression Modell. Der Verlauf der Erblichkeit über die Laktation ist bei den Merkmalen unterschiedlich.

Tabelle 29: Heritabilitäten (Diagonalelemente) und genetische Korrelationen der analysierten Merkmale an und zwischen den Laktationsabschnitten

Laktationstag	11-30	31-60	61-90	91-120	121-150	151-180
energiekorrigierte Milchmenge (kg ECM / Tag)						
11-30	0,47	0,95	0,79	0,73	0,77	0,85
31-60		0,24	0,95	0,90	0,91	0,90
61-90			0,22	0,99	0,97	0,89
91-120				0,24	0,98	0,90
121-150					0,28	0,96
151-180						0,31
Futtermittelaufnahme (kg TM / Tag)						
11-30	0,06	0,88	0,65	0,40	0,29	0,30
31-60		0,11	0,87	0,64	0,61	0,67
61-90			0,11	0,94	0,90	0,70
91-120				0,11	0,97	0,63
121-150					0,11	0,76
151-180						0,12
Lebendgewicht (kg / Tag)						
11-30	0,45	0,94	0,86	0,78	0,74	0,76
31-60		0,41	0,98	0,93	0,90	0,91
61-90			0,31	0,99	0,97	0,97
91-120				0,26	1,00	1,00
121-150					0,26	1,00
151-180						0,31
Energiebilanz (MJ NEL / Tag)						
11-30	0,34	0,99	0,67	0,02	-0,16	0,17
31-60		0,18	0,76	0,14	-0,13	0,06
61-90			0,06	0,73	0,24	-0,24
91-120				0,04	0,34	-0,20
121-150					0,04	0,52
151-180						0,15
Körperkondition (BCS-Note)						
11-30	0,64	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93
31-60		0,58	1,00	0,99	0,98	0,95
61-90			0,60	1,00	0,99	0,97
91-120				0,60	1,00	0,98
121-150					0,51	0,99
151-180						0,38

Während die Heritabilitäten der Futteraufnahme und der Körperkondition recht stabil bleiben, ist bei der Milchleistung und der Energiebilanz ein Abfall der Heritabilitäten zum 100. Laktationstag mit einem anschließenden Wiederanstieg zu beobachten.

Bezüglich der genetischen Korrelationen zwischen den Beobachtungen eines Merkmals zu verschiedenen Zeitpunkten ist der Sachverhalt ähnlich wie bei den tierbedingten Korrelationen. Mit zeitlich steigendem Abstand nehmen die genetischen Korrelationen tendenziell ab, während zwischen den Beobachtungen der direkt aufeinander folgenden Laktationsabschnitte meist hohe Korrelationen geschätzt wurden. Eine Ausnahme stellt hier das Merkmal Energiebilanz dar, bei dem die genetischen Korrelationen zwischen den Beobachtungen aus benachbarten Laktationsabschnitten nach dem 90. Laktationstag deutlich tiefere Werte aufweisen. Auch nehmen die genetischen Korrelationen zwischen den Beobachtungen mit zeitlich größerem Abstand bei der Energiebilanz sehr viel stärker ab als bei den übrigen Merkmalen. Zwischen den zu Beginn der Laktation und den um den 165. Laktationstag ermittelten Energiebilanzen wurde eine sehr schwache Korrelation von $r_a = 0,17$ geschätzt. Damit stellt die Energiebilanz am Laktationsanfang ein genetisch anderes Merkmal dar als die Energiebilanz um den 180. Laktationstag. Dies gilt in etwas schwächerer Ausprägung auch für das Merkmal Futteraufnahme, denn zwischen den Beobachtungen im ersten und letzten Laktationsabschnitt wurde eine genetische Korrelation von $r_a = 0,30$ geschätzt.

Bei den übrigen Merkmalen und insbesondere bei der Körperkondition sind die Beobachtungen aus den verschiedenen Laktationsabschnitten auf genetischer Ebene deutlich höher korreliert. Bei diesen Merkmalen wurden nur bei den Kombinationen mit den Beobachtungen zu Beginn der Laktation genetische Korrelationen unter $r_a = 0,8$ geschätzt, zwischen den Beobachtungen der höheren Laktationsabschnitte lagen alle genetischen Korrelationen über $r_a = 0,87$.

Die Entwicklung der genetischen Korrelationen zwischen verschiedenen Merkmalen über den Laktationsverlauf ist der Tabelle 30 zu entnehmen. Zwischen der Futteraufnahme und der Milchmenge besteht am Laktationsanfang eine mittlere genetische Korrelation, welche dann ab dem 90. Laktationstag auf sehr hohe Werte ansteigt. Die genetische Beziehung zwischen der Futteraufnahme und der Energiebilanz liegt bis zum 180. Laktationstag im hohen bis sehr hohen Bereich, während die Milchmenge nur zu Beginn der Laktation mit $r_a = -0,20$ mit der Energiebilanz schwach genetisch korreliert ist. Die genetische Korrelation zwischen der Körperkondition und der Energiebilanz nimmt im Laktationsverlauf ab von $r_a = 0,61$ am

Laktationsanfang auf $r_a = -0,10$ um den 180. Laktationstag, während die genetische Beziehung der Körperkondition zum Lebendgewicht von mittleren auf sehr hohe Werte ansteigt.

Tabelle 30: Genetische Korrelationen zwischen den Merkmalen in den verschiedenen Laktationsabschnitten

Merkmale \ Laktationstag	11-30	31-60	61-90	91-120	121-150	151-180
Milchmenge - Futteraufnahme	0,44	0,42	0,66	0,90	0,93	0,82
Milchmenge - Lebendgewicht	-0,38	-0,41	-0,31	-0,15	-0,06	-0,04
Milchmenge - Energiebilanz	-0,20	-0,04	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03
Milchmenge - Körperkondition	-0,23	-0,14	-0,22	-0,42	-0,64	-0,80
Futteraufnahme - Lebendgewicht	0,17	0,03	0,16	0,34	0,42	0,42
Futteraufnahme - Energiebilanz	0,79	0,94	0,95	0,85	0,73	0,69
Futteraufnahme - Körperkondition	0,01	0,16	0,09	-0,13	-0,31	-0,43
Lebendgewicht - Energiebilanz	-0,24	-0,18	-0,11	-0,06	-0,02	0,00
Lebendgewicht - Körperkondition	0,54	0,66	0,77	0,87	0,91	0,89
Energiebilanz - Körperkondition	0,61	0,67	0,36	0,19	0,04	-0,10

3.4 Beziehung zwischen Energiebilanz- und Teillaktationsmerkmalen

3.4.1 Datenaufbereitung und Merkmalsdefinition

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war die Analyse der Beziehungen zwischen verschiedenen Energiebilanz- und Teillaktationsmerkmalen über die ersten 100 Laktationstage, welche auf Grundlage der täglichen Beobachtungswerte des Datensatzes I berechnet wurden. Die Energiebilanzmerkmale wurden in Anlehnung an COLLARD et al. (2000) wie folgt definiert:

- Die mittlere Energiebilanz vom 11. bis zum 50. Laktationstag (MEB50) beschreibt das arithmetische Mittel über diesen Zeitraum. Des Weiteren wurde die mittlere Energiebilanz vom 11. bis zum 100. Laktationstag (MEB100) berechnet.
- Die Dauer des Energiedefizits (DED) beschreibt die Anzahl an Tagen mit einer negativen täglichen Energiebilanz nach der Kalbung. Da der Übergang vom dauerhaft Negativen ins stabil Positive selten an einem einzelnen Tag auftrat, sondern die täglichen Energiebilanzen mehrere Tage um die Nullgrenze schwankten, wurde die nachfolgend beschriebene Methode zur Bestimmung des Zeitpunkts der Rückkehr in eine positive tägliche Energiebilanz angewandt. Bei einer fortlaufenden Betrachtung von 20-Tage-Intervallen wurde der 10. Tag des Intervalls als Endtag des Energiedefizits deklariert, wenn in diesem Intervall 10 Tage mit positiver täglicher Energiebilanz gezählt wurden.
- Das totale Energiedefizit (TED) ist definiert als die Summe der täglichen Energiebilanzen vom 11. Laktationstag bis zum Ende des Energiedefizits.
- Das mittlere tägliche Energiedefizit (MED) wurde berechnet als Quotient von dem totalen Energiedefizit (TED) durch die Anzahl an Tagen vom 11. Laktationstag bis zum Endtag des Energiedefizits (DED).
- Des Weiteren wurde die negativste tägliche Energiebilanz (MinEB) bestimmt.

Bei den Teillaktationsmerkmalen handelt es sich um Summenmerkmale der täglichen Futteraufnahmen, energiekorrigierten Milchmengen, Fett- und Eiweißmengen sowie die Durchschnittsmerkmale der Lebendgewichte, der Fett- und Eiweißgehalte und der BCS-Noten in dem Zeitraum vom 11. bis zum 100. Laktationstag.

Tabelle 31: Übersicht über die aus dem Datensatz I gezogenen Tagesdaten der 63 Erstlaktierenden (Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte, Standardabweichungen und Wertebereich)

Merkmal	n	\bar{x}	s	Min.	Max.
Laktationstag	5670	55,5	26,0	11	100
Milchleistung (kg)	5361	36,2	4,9	12,7	55,1
Fettgehalt (%)	773	3,60	0,61	2,02	6,30
Eiweißgehalt (%)	775	3,09	0,19	2,53	3,68
ECM (kg)	5360	33,5	4,5	12,7	51,5
Harnstoffgehalt (mg / l)	775	270	48	125	426
Zellzahl (1000 / ml)	775	73	118	7	1972
Futtermaufnahme (kg TM)	4900	20,0	4,4	6,5	35,9
Lebendgewicht (kg)	4837	566	49	404	703
BCS-Note	177	3,04	0,31	2,30	3,70
Energiebilanz (MJ / Tag)	3993	3,5	33,8	-108,0	144,3

Daher konnten in den weiteren Auswertungen nur die Daten von 63 Tieren berücksichtigt werden, die vom 11. bis zum 100. Laktationstag beobachtet worden sind. In der Tabelle 31 ist ein Überblick über den Auszug der Daten dieser 63 Tiere aus dem Datensatz I gegeben.

Die fehlenden Beobachtungen in den Datensätzen der 63 Erstlaktierenden wurden mit demselben Verfahren aufgefüllt, das schon bei der Auswertung der täglichen Beobachtungen zur Anwendung gekommen ist, damit zur Berechnung der Energiebilanz- und Teillaktationsmerkmale der täglich erhobenen Merkmale vollständige Datenverläufe vorhanden sind. Für die Körperkondition wurde der Mittelwert der erhobenen Rohdaten verwandt. Von den Tieren lagen im Mittel 2,8 Konditionsbewertungen vor, wobei die Anzahl an Bewertungen je Tier zwischen eins und vier schwankte.

In der Tabelle 32 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen vor und nach dem Auffüllen der Merkmale Milchmenge, Futtermaufnahme, Lebendgewicht und Energiebilanz sowie deren mittlere Anzahlen an Beobachtungen je Tier abgebildet. Auf die Abbildungen der Kennzahlen der übrigen aufgefüllten Merkmale wurde verzichtet.

Eine Übersicht über die Mittelwerte, Standardabweichungen und den Wertebereich der berechneten Energiebilanz- und Teillaktationsmerkmale wird in Tabelle 33 dargestellt.

Tabelle 32: Mittlere Anzahl an Beobachtungen je Tier sowie Mittelwerte und Standardabweichungen der un-/aufgefüllten Merkmale

Energiekorrigierte Milchmenge (im Mittel 85 Beobachtungen je Tier)		
	Rohdaten	aufgefüllt
\bar{x} (kg / Tag)	33,5	33,5
s (kg / Tag)	4,5	4,5
Futteraufnahme (im Mittel 78 Beobachtungen je Tier)		
	Rohdaten	aufgefüllt
\bar{x} (kg TM / Tag)	20,0	19,6
s (kg TM / Tag)	4,4	4,5
Lebendgewicht (im Mittel 77 Beobachtungen je Tier)		
	Rohdaten	aufgefüllt
\bar{x} (kg / Tag)	584	584
s (kg / Tag)	49	49
Energiebilanz (im Mittel 63 Beobachtungen je Tier)		
	Rohdaten	aufgefüllt
\bar{x} (MJ NEL / Tag)	3,5	0,7
s (MJ NEL / Tag)	33,8	34,5

Tabelle 33: Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichungen (s) und Wertebereich der Energiebilanz- sowie der Teillaktationsmerkmale

Merkmal		\bar{x}	s	Min.	Max.
Mittlere EB ¹ 11. – 50. LTG	MJ NEL / Tag	-11,9	22,3	-58,0	30,8
Mittlere EB 11. – 100. LTG	MJ NEL / Tag	0,7	20,0	-40,7	44,3
Dauer des Energiedefizits	Tage	47	28	20	100 ²
Totales Energiedefizit	MJ NEL	-879	940	-3660	59
Mittleres tägl. Energiedefizit	MJ NEL / Tag	-19,5	10,6	-40,7	5,9
Negativste tägl. Energiebilanz	MJ NEL / Tag	-65,9	19,8	-108,0	-35,9
Kumulierte Futteraufnahme	kg TM	1761	208	1329	2294
Kumulierte Milchleistung	kg ECM	3013	344	2411,0	3999
Kumulierte Fettmenge	kg	116,9	17,6	88,4	160,5
Kumulierte Eiweißmenge	kg	100,1	9,8	77,5	24,1
Mittlerer Fettgehalt	%	3,62	0,41	2,65	4,80
Mittlerer Eiweißgehalt	%	3,08	0,15	2,75	3,46
Mittleres Lebendgewicht	kg / Tag	567	46	451	672
Mittlere BCS-Note		3,1	0,3	2,4	3,6

¹ EB = Energiebilanz² 5 Färsen befanden sich bis über den 100. Laktationstag hinaus im Energiedefizit. Bei diesen Tieren wurde die Dauer des Energiedefizits auf 100 gesetzt.

Bei dem Merkmal „Totales Energiedefizit“ fällt der positive Maximalwert auf. Aufgrund der Definition der Dauer des Energiedefizits und des daraus abgeleiteten „totalen Energiedefizits“ nimmt dieses bei 3 Tieren positive Werte an.

3.4.2 Auswertungsmethodik

Der Einfluss der fixen Effekte auf die Energiebilanzmerkmale wurde univariat mit dem linearen Modell V unter Verwendung der Prozedur MIXED aus dem SAS-Programmpaket (SAS INSTITUTE INC., 2004) analysiert.

Modell V:

$$y_{ijkl} = \mu + EKA_i + KS_j + TLM_k + e_{ijkl}$$

mit y_{ijkl} = l-te Beobachtung des Energiebilanzmerkmals

μ = allgemeines Mittel

EKA_i = fixer Effekt der i-ten Erstkalbealterklasse ($i = 1-4$)

KS_j = fixer Effekt der j-ten Kalbesaison ($j = 1-4$)

TLM_k = fixer Effekt der k-ten Teillaktationsmerkmalsklasse ($k = 1-5$)

e_{ijkl} = zufälliger Restfehler

Als fixe Effekte auf die beobachteten Energiebilanzmerkmale fanden das Erstkalbealter, die Kalbesaison und das jeweilige Teillaktationsmerkmal Berücksichtigung. Dafür wurden die Tiere entsprechend ihres Erstkalbealters und ihres Abkalbedatums in 4 Klassen eingeteilt (Tabelle 34).

Tabelle 34: Besetzung der Erstkalbealterklassen und der Kalbesaison

Klasse	1	2	3	4
	Erstkalbealter (Monate)			
Klassengrenze	22–25	26	27	28–36
n	12	16	16	19
	Kalbesaison			
Klassengrenze	bis 22.04.06	23.04. – 22.06.06	23.06. – 22.08.06	nach 22.08.06
n	16	18	13	16

Bei den Teillaktationsmerkmalen erfolgte eine Einstufung in 5 Klassen (Tabelle 35). Die Prüfung der Signifikanzen der fixen Effekte erfolgte mit dem F-Test. Sukzedan wurden für die Klassen der Teillaktationsmerkmale LSQ-Mittelwerte geschätzt und diese nach Bonferroni auf signifikante Unterschiede ($\alpha = 0,05$) geprüft.

Tabelle 35: Besetzung der Klassen der Teillaktationsmerkmale über die ersten 100 Laktationstage

Klasse	1	2	3	4	5
Kumulierte Futtermenge (kg)					
Klassengrenzen	≤ 1550	1551–1700	1701–1825	1826–1925	> 1925
n	13	12	10	15	13
Kumulierte Milchleistung (kg)					
Klassengrenzen	≤ 2750	2751–3000	3001–3100	3101–3300	> 3300
n	17	10	11	13	12
Kumulierte Fettmenge (kg)					
Klassengrenzen	≤ 100	101–110	111–120	121–130	> 131
n	14	10	13	12	14
Kumulierte Eiweißmenge (kg)					
Klassengrenzen	≤ 92	93–98	99–102	103–108	> 108
n	13	13	12	12	13
Mittlerer Fettgehalt (%)					
Klassengrenzen	$\leq 3,30$	3,31–3,52	3,53–3,68	3,69–3,90	$> 3,90$
n	12	13	12	13	13
Mittlerer Eiweißgehalt (%)					
Klassengrenzen	$\leq 2,96$	2,97–3,04	3,05–3,12	3,13–3,20	$> 3,20$
n	14	10	14	12	13
Mittleres Lebendgewicht (kg)					
Klassengrenzen	≤ 525	526–550	551–580	581–600	> 600
n	10	14	15	11	13
Mittlere BCS-Note					
Klassengrenzen	$\leq 2,80$	2,81–3,00	3,01–3,20	3,21–3,30	$> 3,30$
n	13	13	11	15	11

Im zweiten Auswertungsschritt wurden die Residualkorrelationen zwischen den Energiebilanzmerkmalen und den Teillaktationsmerkmalen nach Korrektur der Beobachtungswerte um die fixen Effekte des Erstkalbealters und der Kalbesaison unter Verwendung des Modells VI berechnet.

Modell VI:

$$y_{ijk} = \mu + EKA_i + KS_j + e_{ijk}$$

mit y_{ijk} = k-te Beobachtung des Energiebilanz- bzw. des Teillaktationsmerkmals

μ = allgemeines Mittel

EKA_i = fixer Effekt der i-ten Erstkalbealterklasse ($i = 1-4$)

KS_j = fixer Effekt der j-ten Kalbesaison ($j = 1-4$)

e_{ijk} = zufälliger Restfehler

In der Abbildung 30 ist stellvertretend für die Zielmerkmale der Residuen-Schätzwerteplot der mittleren Energiebilanz vom 11. bis zum 50. Laktationstag (MEB50) dargestellt. Die Annahmen der Varianzhomogenität und Unabhängigkeit der Residuen werden durch die Punkteverteilung der Zielmerkmale bestätigt.

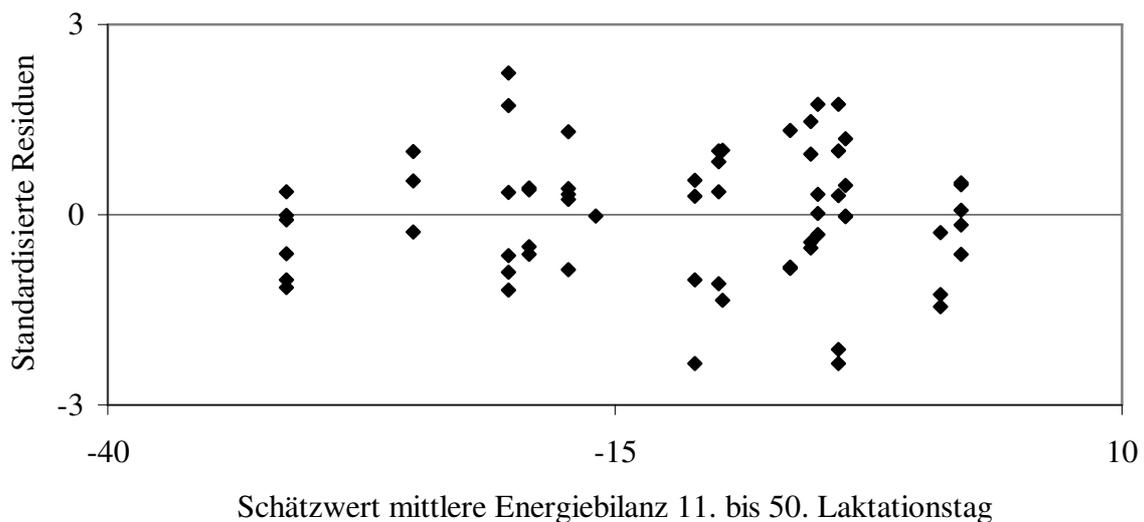


Abbildung 30: Residuen-Schätzwerteplot des Modells VI für die mittlere Energiebilanz (MJ NEL / Tag) vom 11. bis 50. Laktationstag

3.4.3 Ergebnisse

Im Rahmen der Varianzanalyse unter Verwendung des linearen Modells V zeigte sich kein einheitliches Bild bezüglich der Signifikanz des Einflusses der fixen Effekte auf die Energiebilanzmerkmale. Die Überschreitungswahrscheinlichkeiten (p-Werte) des F-Tests bei der Prüfung auf Signifikanz des Einflusses des Erstkalbealters auf die Energiebilanzmerkmale

in Kombination mit den fixen Effekten der Kalbesaison und der verschiedenen Teillaktationsmerkmale sind im Anhang in der Tabelle A2 aufgeführt. Nur in Kombination mit den fixen Effekten des Eiweißgehaltes bzw. der Eiweißmenge hatte das Erstkalbealter einen signifikanten Einfluss auf alle analysierten Energiebilanzmerkmale. Für den fixen Effekt der Kalbesaison ergab sich ein ähnliches Bild mit tendenziell deutlich höheren Überschreitungswahrscheinlichkeiten. Auch die Kalbesaison hatte vornehmlich in der Kombination mit der Eiweißgehaltsklasse einen signifikanten Einfluss auf die Energiebilanzmerkmale. Die entsprechende Tabelle A3 ist im Anhang aufgeführt.

In der Tabelle 36 ist der Einfluss der jeweiligen Teillaktationsmerkmale auf die mittlere Energiebilanz vom 11. bis zum 50. Laktationstag (MEB50) dargestellt.

Tabelle 36: Einfluss der Teillaktationsmerkmale* auf die mittlere Energiebilanz vom 11. bis 50. Laktationstag (p-Werte, LSQ-Mittelwerte und paarweiser Mittelwertvergleich)

Teillaktationsmerkmal	p-Wert	Teillaktationsmerkmalsklasse				
		1	2	3	4	5
Milchleistungsklasse	0,0020	0,9 ^a	-5,5 ^{ab}	-7,0 ^{ab}	-22,8 ^b	-26,6 ^b
Fettmengenkategorie	< 0,0001	1,1 ^a	-4,6 ^a	-3,0 ^a	-16,7 ^{ab}	-33,3 ^b
Eiweißmengenkategorie	0,0184	2,1 ^a	-5,4 ^{ab}	-22,1 ^b	-13,4 ^{ab}	-19,4 ^{ab}
Fettgehaltsklasse	0,1490	-2,9 ^a	-11,4 ^a	-2,3 ^a	-13,9 ^a	-23,6 ^a
Eiweißgehaltsklasse	0,0004	-34,2 ^a	-12,1 ^{ab}	-7,3 ^b	-5,4 ^b	3,8 ^b
Futteraufnahme	< 0,0001	-33,6 ^a	-20,9 ^a	-13,0 ^{ab}	3,2 ^b	4,8 ^b
Lebendgewichtskategorie	0,5022	-7,6 ^a	-6,9 ^a	-14,4 ^a	-5,7 ^a	-20,5 ^a
BCS-Kategorie	0,4659	-14,8 ^a	-5,2 ^a	-14,2 ^a	-17,3 ^a	-3,2 ^a

* Einteilung Tabelle 35 (Seite 99)

^{a, b}: Bei unterschiedlichen Buchstaben sind die Unterschiede signifikant ($\alpha = 0,05$)

Die Überschreitungswahrscheinlichkeiten (p-Werte) verdeutlichen, dass die Futteraufnahme, die Milchleistung, die Fett- und Eiweißmengen sowie der Eiweißgehalt einen signifikanten Einfluss auf das Merkmal MEB50 haben. Dies spiegelt sich auch in dem paarweisen Mittelwertvergleich wider. Bei unterschiedlichen Buchstaben sind die LSQ-Mittelwerte der MEB50 zwischen den jeweiligen Klassen signifikant verschieden. Signifikante Abweichungen zwischen den LSQ-Mittelwerten treten ebenfalls nur bei den Teillaktationsmerkmalen Futteraufnahme, Milchleistung, Fett- und Eiweißmenge sowie dem Eiweißgehalt auf. Ein Anstieg sowohl der Futteraufnahme als auch des Eiweißgehaltes geht einher mit einer signifikanten Erhöhung der mittleren Energiebilanz vom 11. bis 50. Laktationstag, während Tiere mit einer hohen 100-Tage-Leistung an Milch-, Fett- und Eiweißmengen eine signifikant niedrigere Energiebilanz über die 50 Laktationstage

aufweisen als Tiere mit einer geringeren 100-Tage-Leistung in den Mengenmerkmalen Milch, Fett und Eiweiß.

Den hohen p-Werten entsprechend sind bei den übrigen Teillaktationsmerkmalen keine signifikanten Unterschiede zwischen den LSQ-Mittelwerten der MEB50 aufgetreten. Bei den übrigen Energiebilanzmerkmalen sind weitestgehend dieselben Zusammenhänge zu beobachten. Lediglich beim Energiebilanzmerkmal „mittleres Energiedefizit“ weisen die Teillaktationsmerkmale Milchleistung, Eiweißmenge und Eiweißgehalt keinen signifikanten Einfluss auf, was auch bei dem Einfluss der Eiweißmenge auf das „totale Energiedefizit“ zu beobachten ist. Die entsprechenden Tabellen A4 bis A8 sind im Anhang aufgeführt.

Die Residualkorrelationen zwischen den Energiebilanzmerkmalen sind in der Tabelle 37 dargestellt.

Tabelle 37: Residualkorrelationen¹ zwischen den Energiebilanzmerkmalen²

	MEB100	DED	TED	MED	MinEB
MEB50	0,95	-0,85	0,86	0,67	0,78
MEB100		-0,85	0,86	0,65	0,76
DED			-0,88	-0,44	-0,72
TED				0,70	0,80
MED					0,72

¹ Alle Korrelationen haben ein Signifikanzniveau von $p < 0,001$

² MEB50 bzw. MEB100 = Mittlere Energiebilanz vom 11.–50. bzw. 11.–100. Laktationstag

DED = Dauer des Energiedefizits, TED = Totales Energiedefizit

MED = mittleres Energiedefizit, MinEB = negativste tägliche Energiebilanz

Bis auf die Residualkorrelation zwischen dem mittleren Energiedefizit (MED) und der Dauer des Energiedefizits (DED) liegen alle Korrelationen im hohen bis sehr hohen Bereich und sind mit Überschreitungswahrscheinlichkeiten von $p < 0,001$ hochsignifikant. Während zwischen den mittleren Energiebilanzen über die ersten 50 bzw. 100 Laktationstage, der Energiedefizitdauer und dem totalen Energiedefizit sehr hohe Residualkorrelationen mit Absolutwerten über 0,8 bestehen, sind diese bei den Kombinationen mit dem mittleren Energiedefizit (MED) und der tiefsten täglichen Energiebilanz (MinEB) tendenziell etwas niedriger.

Die Residualkorrelationen zwischen den Energiebilanz- und den Teillaktationsmerkmalen (Tabelle 38) stellen sich hinsichtlich ihres Wertebereichs und ihrer Signifikanzen wesentlich heterogener dar. Die höchste Korrelation wurde mit $r_e = 0,72$ zwischen der vom 11. bis zum 100. Laktationstag kumulierten Futteraufnahme und der mittleren Energiebilanz in diesem Zeitraum geschätzt. In der Tendenz werden mittlere bis höhere Korrelationen zu den Energiebilanzmerkmalen bei den Teillaktationsmerkmalen Futteraufnahme, Milchleistung,

Fettmenge und Eiweißgehalt gefunden. Die Beziehung der kumulierten Eiweißmenge und des mittleren Fettgehalts zu den Energiebilanzmerkmalen ist dagegen eher schwach. Das mittlere Lebendgewicht und die mittlere Körperkondition sind nicht mit den Energiebilanzmerkmalen korreliert.

Tabelle 38: Residualkorrelationen zwischen den Energiebilanz-¹ und den Teillaktationsmerkmalen

	MEB50	MEB100	DED	TED	MED	MinEB
Kumulierte Milchleistung	-0,57***	-0,54***	0,49***	-0,53***	-0,42***	-0,53***
Kumulierte Fettmenge	-0,59***	-0,55***	0,52***	-0,56***	-0,43***	-0,56***
Kumulierte Eiweißmenge	-0,37**	-0,36**	0,30*	-0,33**	-0,29*	-0,36**
Mittlerer Fettgehalt	-0,31*	-0,28*	0,24 n. s.	-0,30*	-0,23 n. s.	-0,29*
Mittlerer Eiweißgehalt	0,47***	0,42***	-0,51***	0,45***	0,28*	0,38**
Kumulierte Futteraufnahme	0,64***	0,72***	-0,58***	0,57***	0,40***	0,44***
Mittleres Lebendgewicht	-0,10 n. s.	-0,18 n. s.	0,09 n. s.	-0,08 n. s.	-0,15 n. s.	-0,17 n. s.
Mittlere BCS-Note	0,14 n. s.	0,11 n. s.	-0,10 n. s.	0,17 n. s.	0,10 n. s.	0,08 n. s.

*** (p < 0,001), ** (p < 0,01), * (p < 0,05), n. s. nicht signifikant

¹ MEB50 bzw. MEB100 = Mittlere Energiebilanz vom 11.–50. bzw. 11.–100. Laktationstag

DED = Dauer des Energiedefizits, TED = Totales Energiedefizit

MED = mittleres Energiedefizit, MinEB = negativste tägliche Energiebilanz

Die reziproke Wirkungsweise von Futteraufnahme und Milchleistung auf die Energiebilanzmerkmale wird durch die Residualkorrelationen deutlich sichtbar. Mit steigenden Futteraufnahmen über die ersten 100 Laktationstage werden die mittleren Energiebilanzen erhöht und die Dauer des Energiedefizits verkürzt, was sich entsprechend auf das totale und mittlere Energiedefizit auswirkt. Eine Steigerung der Milchleistung hat durch die Erhöhung des Energiebedarfes einen genau gegenteiligen Effekt auf die Energiebilanzmerkmale, was durch die Umkehrung der Vorzeichen der Residualkorrelationen im Vergleich zur Futteraufnahme bestätigt wird. Zur Interpretation der Residualkombinationen im Zusammenhang mit den Merkmalen totales und mittleres Energiedefizit (TED bzw. MED) ist Folgendes anzumerken: Eine positive Residualkorrelation zwischen der Futteraufnahme und den Energiedefizitmerkmalen bedeutet nicht einen Anstieg des Absolutwertes des Energiedefizits, sondern der (zumeist) negative Energiefehlbetrag wird kleiner, was einer Verbesserung der Stoffwechselsituation des Tieres entspricht.

4 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Verbesserung der Leistungsprüfung bei genetisch hochveranlagten Erstlaktierenden durch die Integration der Futteraufnahme bzw. der Energiebilanz in die Eigenleistungsprüfung von Bullenmüttern. Dazu wurden genetische Parameter mit genetisch-statistischen Modellen geschätzt, die auf Random Regression Methoden basieren. Des Weiteren wurden verschiedene Energiebilanzmerkmale definiert und deren Beziehung zu den Leistungsmerkmalen analysiert.

Als Vorleistung dafür wurde eine Anlage zur automatisierten Erfassung der individuellen Futteraufnahme auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel entwickelt. Bei der Beurteilung des Messfehlers von ± 3 % dieser Grundfutteranlage im Vergleich zu anderen Wiegesystemen mit freiem Zugang zu den Futtertrögen (BACH et al., 2004) ist zu berücksichtigen, dass die Futteraufnahmen in Karkendamm an einem Außenfuttertisch gemessen werden und somit direkt durch die Witterungsbedingungen beeinflusst werden. Die geringe Anzahl an Fehltagen, die durch technische Probleme der Grundfutteranlage verursacht wurden, spricht für deren technische Robustheit. Allerdings ist die Grundfutteranlage im Vergleich zu marktführenden kommerziellen Systemen einfacher aufgebaut, da sie nicht über eine Trogverriegelung verfügt, die nur bei einer positiven Erkennung den Zugang freigibt. Dies hat zum Nachteil, dass Fehlerkennungen und falsch zugeordnete Futteraufnahmen nicht ausgeschlossen werden können. Andererseits ist der Aufwand für Reinigung und Wartung der Grundfutteranlage durch die Bauweise vergleichsweise gering.

Bei der Plausibilitätsprüfung der durch die Grundfutteranlage übermittelten täglichen Futteraufnahmen wurde die von COFFEY et al. (2001) genutzte Methode zur Festlegung des plausiblen Wertebereichs durch die dreifache Subtraktion bzw. Addition der Standardabweichung zum Mittelwert nur bei der unteren Grenze angewandt. Die obere Grenze wurde nicht mit diesem Verfahren festgelegt, da dadurch unter Umständen die Beobachtungen von den züchterisch wertvollen Tieren mit den höchsten Futteraufnahmen als Ausreißer behandelt worden wären. Bei einer Betrachtung der höchsten 100 Rohwerte fiel auf, dass die Zuwächse zum nächst höheren Rohwert ab 36 kg TM / Tag sichtbar ansteigen. Daher wurde die obere Grenze der TMR-Aufnahme auf 36 kg TM / Tag festgelegt, was deutlich über den maximalen Futteraufnahmen anderer Untersuchungen liegt (VEERKAMP et al., 2000; HEUER et al., 2001).

Dass Kühe in der Lage sind, TMR-Aufnahmen von mehr als 34 kg TM / Tag zu realisieren, wird zum einen durch die maximale Futteraufnahme von über 40 kg TM / Tag in der Untersuchung von KAUFMANN et al. (2007) bestätigt. Zum anderen ist auch die Feststellung, dass einige Kühe wiederholt mit TMR-Aufnahmen über 34 kg TM / Tag beobachtet wurden, als weiteres Argument dafür zu werten. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das Fressverhalten der Kühe möglicherweise nicht an den vorgegebenen 24 h Rhythmus gekoppelt ist und die langfristige Regulation der Futteraufnahme nicht auf Basis von Tageslängen erfolgt. In dem Zusammenhang zeigte FRANCKE (1990), dass Kühe von 22–02 Uhr erhebliche Mengen Futter aufnehmen können, was bei ad libitum Fütterung zu Verschiebungen der Tagesleistungen führen kann. Dies mag einer der Gründe dafür sein, dass die Futteraufnahme eine größere Schwankung innerhalb Tier aufweist als die Milchleistung, welche zweimal täglich zu festen Zeitpunkten erfasst wird.

In der Zusammensetzung und den Leistungsdaten der Milchviehherde spiegeln sich die Auswirkungen der Bullenmutterprüfung in Karkendamm wider. Die Herde mit einem Färsenanteil von 79 % stellt eine vorselektierte Milchviehpopulation dar. Aufgrund des hohen Färsenanteils wurden die mehrkalbigen Kühe nicht in den weiteren Auswertungen berücksichtigt.

Auswertung der täglichen Beobachtungswerte

Für den Zeitraum kurz nach der Kalbung liegen leider keine Futteraufnahmen bzw. Energiebilanzen vor, da die Tiere in Karkendamm routinemäßig in den ersten zehn Laktationstagen in einem separaten Selektionsbereich gehalten werden, der nicht mit Wiegetrögen ausgestattet werden konnte. Allerdings ist hierzu anzumerken, dass nach HEUER et al. (2000) die Energiebilanzen der ersten Laktationswoche aufgrund der möglichen Verzerrungen durch die Inhaltsstoffe der Kolostralmilch nicht zu bewerten sind.

Als Voraussetzung für die spätere Berechnung der Energiebilanzmerkmale sowie für die Analyse der Beziehungen zwischen den aufeinander folgenden Tagesmessungen mussten fehlende Werte in den Datenverläufen aufgefüllt werden. Hierbei wurde das Auffüllen durch die polynomiale Regression mit dem Random Regression Modell II dem Einsetzen laufender Mittelwerte vorgezogen, da mit der polynomialen Regression die fehlenden Werte bei Merkmalen mit einem stark gekrümmten Kurvenverlauf am Laktationsanfang realistischer aufgefüllt werden. Auch LUCY et al. (1991), DE VRIES et al. (1999) und HEUER (2000) haben bei der Schätzung von Energiebilanzen fehlende Werte mittels polynomialer

Regressionen aufgefüllt. Aufgrund der Ergebnisse von DE VRIES et al. (1999) wurden in der vorliegenden Untersuchung die Modellierung der Kurven über den Laktationsverlauf durch die Funktion von ALI und SCHAEFFER (1987) den von LUCY et al. (1991) und HEUER (2000) benutzten Polynomen 3. Grades vorgezogen. Zu der Anzahl an aufgefüllten Werten werden in keiner der drei zitierten Untersuchungen Angaben gemacht. In der vorliegenden Untersuchung liegt die Anzahl aufgefüllter Werte bei den Merkmalen Milchmenge, Futteraufnahme und Lebendgewicht mit 6,8 %, 10,3 % und 13,0 % in einem subjektiv vertretbaren Bereich. Da bei einer fehlenden Tagesmessung eines dieser Merkmale auch kein Wert für die aus diesen Einzelkomponenten geschätzte Energiebilanz berechnet werden kann, ist die Anzahl aufgefüllter Werte bei der Energiebilanz deutlich höher. Um soviel Wahrheitsgehalt wie möglich zu konservieren, wurde die Energiebilanz erst aus den aufgefüllten Datenverläufen der Einzelkomponenten Milchleistung, Futteraufnahme und Lebendgewicht geschätzt, wobei mit 24,9 % fast jeder vierte Energiebilanzwert zumindest teilweise aus der polynomialen Regression resultiert. Im Mittel wurde jeder fehlende Energiebilanzwert zu 38,6 % über die polynomiale Regression geschätzt, wodurch der hohe Anteil aufgefüllter Werte beim Merkmal Energiebilanz relativiert wird.

Bei der Analyse der Autokorrelationen in Verbindung mit dem Modelltest zeigte die Kombination des Random Regression Modells II mit der Kovarianzstruktur Töplitz(4) bei allen analysierten Merkmalen die beste Anpassung an den Datensatz. Die starke Verbesserung der Anpassung bei der Wahl eines Random Regression Modells anstelle eines Fixed Regression Modells wird durch die Ergebnisse von AMMON und SPILKE (2004) sowie MIELENZ et al. (2006) bestätigt. Gleichzeitig wird mit Ausnahme des Merkmals Milchmenge deutlich, dass die Wahl eines Random Regression Modells einen stärkeren Einfluss auf die Datenanpassung ausübt als die Berücksichtigung einer speziellen Kovarianzstruktur der Resteffekte.

Die Analyse der Beziehungen zwischen den Beobachtungen aufeinander folgender Tage zeigt, dass keine Abhängigkeiten in der Höhe der Futteraufnahmen und der Energiebilanzen an direkt benachbarten Tagen bestehen. Zwischen den Beobachtungen mit zweitägigem Zeitabstand ergibt sich eine sehr schwache Autokorrelation von $r_2 = 0,10$ bzw. $r_2 = 0,09$ zwischen den Resteffekten bei der Modellvariante mit der besten Datenanpassung. Bezüglich des Merkmals Futteraufnahme bestätigen diese Ergebnisse die Untersuchungen von STAMER (1995).

Bei den Merkmalen energiekorrigierte Milchmenge und Lebendgewicht wurden bei den direkt benachbarten Beobachtungen schwache Korrelationen von $r_1 = 0,30$ bzw. $r_1 = 0,22$ zwischen den Resteffekten geschätzt. Bei diesen Merkmalen zeigte sich durch das Unterlegen der Kovarianzstruktur Töplitz(4), dass auch zwischen Beobachtungen mit zwei- bzw. dreitägigem Abstand schwache bis sehr schwache Autokorrelationen bestehen. Beim Merkmal energiekorrigierte Milchmenge sind diese Korrelationen mit $r_2 = 0,23$ und $r_3 = 0,13$ höher als beim Lebendgewicht mit $r_2 = 0,15$ und $r_3 = 0,10$.

Wie mit dem Likelihood-Ratio-Test gezeigt wurde, geht die Berücksichtigung der Kovarianzstrukturen in den Modellen einher mit einer signifikanten Verbesserung der Datenanpassung. Allerdings führt das Unterlegen der Kovarianzstrukturen zu einer Erhöhung der Restvarianzen, was im Widerspruch zu dem Ziel steht, mit Hilfe der Kovarianzstrukturen die Restvarianzen zu reduzieren (GILL, 1990).

Zur weiteren Einstufung der Bedeutung der Autokorrelationen wurden zum einen die Spearman'schen Rangkorrelationen zwischen den Kuheffekten der Modellvarianten mit und ohne Berücksichtigung der Kovarianzstrukturen berechnet, zum anderen wurden die Veränderungen des Einflusses der fixen Effekte durch die Modellvariantenwahl analysiert. Die Rangkorrelationen zwischen den Kuheffekten liegen bei allen Merkmalen mit $r > 0,999$ im sehr hohen Bereich, und es sind keine Verschiebungen um mehr als 5 Ränge aufgetreten. Der Vergleich der F-Werte zeigt, dass diese mit der Modellvariantenwahl variieren. Eine Änderung des Signifikanzniveaus wurde jedoch nur bei den Regressionskoeffizienten b_2 und b_3 beim Merkmal Lebendgewicht beobachtet. Eine Analyse der systematischen Einflussfaktoren sollte deshalb grundsätzlich unter Beachtung der Autokorrelationen erfolgen, da diese zu einer Änderung des Signifikanzniveaus der systematischen Einflussfaktoren führen kann.

Demzufolge wurden in der vorliegenden Untersuchung die systematischen Einflüsse auf die Milchleistung, die Futteraufnahme, das Lebendgewicht und die Energiebilanz mit dem Random Regression Modell II unter Berücksichtigung der Kovarianzstruktur Töplitz(4) analysiert. Die Schätzung der Wiederholbarkeiten und der genetischen Parameter hingegen erfolgte aufgrund der sehr hohen Rangkorrelationen zwischen den Kuheffekten unter Vernachlässigung der Kovarianzstrukturen.

Systematische Einflüsse auf die täglichen Beobachtungswerte

Im Gegensatz zu den Merkmalen Milchmenge, Lebendgewicht und Energiebilanz wurde bei der Futteraufnahme und der Körperkondition kein signifikanter Einfluss des Erstkalbealters festgestellt. Die Milchleistung von Färsen mit einem Erstkalbealter über 28 Monaten ist um 2,7 kg ECM signifikant höher als bei Erstlaktierenden mit einem Abkalbealter von weniger als 27 Monaten. Die Beobachtung steigender Milchleistungen bei höherem Erstkalbealter ist in der Literatur dokumentiert (LEE, 1976; MOORE et al., 1992; PIRLO et al., 2000), wobei in dem geringeren Körpergewicht der jüngeren Erstlaktierenden die Hauptursache für die geringere Milchleistung vermutet wird. In der vorliegenden Untersuchung sind die Erstlaktierenden mit einem Abkalbealter von unter 26 Monaten mit einem Lebendgewicht von 574 kg signifikant leichter als die Färsen mit einem Erstkalbealter über 28 Monaten. Der hochsignifikante Einfluss des Erstkalbealters auf die Energiebilanz zeigt sich in der signifikanten Differenz des LSQ-Mittelwerts der Färsen mit einem Erstkalbealter über 28 Monaten zu den jünger abgekalbten Erstlaktierenden. Während die Färsen mit einem Erstkalbealter von über 28 Monaten eine mittlere tägliche Energiebilanz von 0,3 MJ NEL / Tag (LSQ-Mittelwert) bis zum 180. Laktationstag aufweisen, ist diese bei den jünger abgekalbten Erstlaktierenden mit LSQ-Mittelwerten von 13,0–21,4 MJ NEL / Tag signifikant höher. Ein signifikanter Unterschied in den LSQ-Mittelwerten der verschiedenen Erstkalbealterklassen ist bei der Futteraufnahme nicht vorhanden, was die von MOORE et al. (1992) bei HF-Färsen gefundene geringe genetische Korrelation von $r_a = 0,05$ zwischen dem Erstkalbealter und der Energieaufnahme bestätigt.

Der Einfluss des Beobachtungstags ist auf alle Merkmale hochsignifikant. Die Schwankung der täglichen Milchleistungen ist mit einem Variationskoeffizienten der LSQ-Mittelwerte von 3,5 % geringer als bei der Futteraufnahme (Variationskoeffizient = 5,5 %). Die Differenzen zwischen den LSQ-Mittelwerten der Futteraufnahmen an benachbarten Tagen betragen bis zu 4 kg TM und sind damit etwas geringer als bei STAMER (1995). An den Ergebnissen von INGVARTSEN et al. (1992b), die in ihren Untersuchungen 66,5 % der Gesamtvarianz der Futteraufnahme wachsender Rinder durch den Tageseinfluss erklären konnten, spiegelt sich die große Bedeutung des Tageseinflusses wider. Hier fließen verschiedene, schwer zu kontrollierende Faktoren wie beispielsweise die Wetterverhältnisse, kurzfristig schwankende Futterqualitäten, Krankheiten, Behandlungen oder die Auswirkungen wechselnden Betreuungspersonals ein.

Ein analog zur Milchleistung steigender Trend in der Futtermittelaufnahme über den Beobachtungszeitraum lässt sich nicht erkennen. LOUGH et al. (1990), ALBRIGHT (1993), HOLTER et al. (1997) und BRITT et al. (2003) berichten, dass höhere Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten in den Sommermonaten zu sinkenden Futtermittelaufnahmen führen. Dies ließ sich in der vorliegenden Untersuchung nicht erkennen. Aus dem Verlauf der LSQ-Mittelwerte der Milchleistung wird hingegen ersichtlich, dass in dem Zeitraum Juli bis September 2006 ein leichter Einbruch der Milchleistung zu verzeichnen war.

Die geringsten Schwankungen über den Beobachtungszeitraum treten bei den LSQ-Mittelwerten des Merkmals Lebendgewicht auf. Eine langfristige Tendenz ist in der Entwicklung der Lebendgewichte über den kurzen Beobachtungszeitraum nicht zu erkennen.

Bei der aus den Merkmalen energiekorrigierte Milchmenge, Futtermittelaufnahme und Lebendgewicht täglich geschätzten Energiebilanz treten die größten Schwankungen zwischen den LSQ-Mittelwerten benachbarter Beobachtungstage auf. In den letzten drei Monaten des Beobachtungszeitraums ist eine deutliche Verringerung der täglichen Energiebilanzen aufgrund der steigenden Milchleistung bei konstanter Energieaufnahme zu erkennen. Dass die Lebendgewichte in diesem Zeitraum abnehmen, obwohl die täglichen Energiebilanzen größtenteils positiv sind, veranschaulicht ein generelles Problem der Energiebilanzen.

Zum einen lässt sich der Wert der geschätzten Energiebilanz nicht unmittelbar in der Veränderung des Lebendgewichts wieder finden, da Schwankungen im Körperenergiegehalt nicht unbedingt mit Gewichtsveränderungen einhergehen müssen (KIRCHGESSNER, 1997).

Zum anderen können die Ungenauigkeiten bei der Erfassung und der Analyse der einzelnen Parameter durch die Fehlerfortpflanzung bei der Schätzung der Energiebilanz sicherlich zu größeren Schätzfehlern führen. Dieses Problem der Saldierung der Energiemengen wird in der Untersuchung von STAPLES et al. (1990) sichtbar, in der die Energie aus der eingeschmolzenen Körpersubstanz mit in die Bilanzberechnung einbezogen wurde. Dennoch waren die Energiebilanzen am Laktationsanfang negativ.

Des Weiteren stellten AGNEW und YAN (2000) fest, dass die Schätzformeln zur Ableitung des Erhaltungsbedarfs, welche auf Untersuchungen aus den 60er bzw. 70er Jahren basieren, zu einer Unterschätzung von ca. 25 % führen. CAMMELL et al. (2000) haben bei maisbasierter TMR-Fütterung sogar einen im Vergleich zu den Empfehlungen des ARC (1980) und ARFC (1993) um 40 % höheren Erhaltungsbedarf gefunden. KORVER (1988) führte dazu schon früher aus, dass der Erhaltungsbedarf zwischen den Tieren eine beträchtliche Streuung aufweist, was bei der individuellen Energiebilanzberechnung eine große Fehlerquelle darstellen kann.

Die geschätzten Kurven der Milchmenge und der Futteraufnahme über die Laktation ähneln sehr stark den Beobachtungen von BEERDA et al. (2007). Während die Milchmenge schon in der dritten Laktationswoche das Maximum erreicht und dann langsam wieder abfällt, steigt die Futteraufnahme bis über die 7. Laktationswoche hinaus an und bleibt dann bis über den 180. Laktationstag hinaus auf einem hohen Niveau von über 20 kg TM. Die daraus resultierende Energiebilanz wird am 42. Laktationstag wieder positiv, was sehr gut übereinstimmt mit den Ergebnissen über die Dauer des postpartalen Energiedefizits bei Färsen von 35–45 Tagen in den Untersuchungen von DE VRIES und VEERKAMP (2000), COFFEY et al. (2001) und BANOS et al. (2005), die die Energiebilanz ebenfalls aus der Differenz zwischen Aufnahme und Bedarf geschätzt haben. Erstaunlicherweise fanden auch WALL et al. (2007) eine durchschnittliche Dauer des postpartalen Energiedefizits von etwa 45 Tagen bei Erstlaktierenden, obwohl sie die Energiebilanz über die Änderungen der Körperenergiegehalte, welche aus den Körpergewichten und der Körperkondition geschätzt wurden, errechnet haben. COFFEY et al. (2001) hatten gezeigt, dass aus den beiden Methoden unterschiedliche Energiebilanzen resultieren, was in der Differenz von ca. 50 Tagen zwischen den auf unterschiedliche Weise geschätzten Energiedefizitdauern sichtbar wird. WALL et al. (2007) führen diese Differenz unter anderem darauf zurück, dass die von COFFEY et al. (2001) genutzten Schätzformeln zur Ableitung der Energiebilanz aus den Körpergewichten und der Körperkondition auf den Ergebnissen von WRIGHT (1982) beruhen, welche möglicherweise für heutige Holstein-Friesian Genotypen keine Geltung mehr haben. Die Vermutung, dass diese Unstimmigkeit durch die Anwendung der vom NRC (2001) erarbeiteten Schätzformeln ausgeräumt werden kann, sollte durch weitere Forschungsarbeiten verifiziert werden.

Das Lebendgewicht der Färsen erreicht das Minimum mit 600 kg am 30. Laktationstag und steigt anschließend stetig an. Aufgrund der zeitlichen Differenz von zwölf Tagen zwischen dem Minimum des Lebendgewichts und dem Erreichen einer positiven Energiebilanz post partum kann die Methodik der Energiebilanzschätzung in der vorliegenden Arbeit nicht in Frage gestellt werden. Zum Teil ist dieser zeitliche Versatz sicherlich verursacht durch die bereits erwähnten Ungenauigkeiten bei der Energiebilanzschätzung, jedoch führt auch die steigende Futteraufnahme am Laktationsanfang nach KERTZ et al. (1991) zu höheren Futtermengen im Verdauungstrakt, die die Lebendgewichtsveränderungen maskieren. Daher sehen KERTZ et al. (1991) die Lebendgewichtsveränderungen in Übereinstimmung mit YAN et al. (2003) als ungeeignete Indikatoren für die Energiebilanz an.

Des Weiteren ist hierbei anzumerken, dass die zeitliche Differenz noch größer ausgefallen wäre, wenn in der Energiebilanzschätzung der von AGNEW und YAN (2000) oder CAMELL et al. (2000) berechnete Erhaltungsbedarf berücksichtigt worden wäre.

Andererseits führt KIRCHGESSNER (1997) aus, dass in Untersuchungen mit Tieren in defizitärem Energiestatus keine Gewichtsveränderungen bzw. sogar Gewichtszunahmen festgestellt wurden.

Als Ursache dafür kann einerseits die Wassereinlagerung bei der Fettmobilisation angesehen werden. Während der Fettansatz mit einer Wasserverdrängung einhergeht, wird bei der Lipomobilisation das Fett partiell durch Wasser ersetzt (FERREL und JENKINS, 1985; ROBINSON, 1986; CHESTNUTT, 1987). Nach GIBB et al. (1992) wird zur Mobilisierung von Körperenergie vornehmlich Fett genutzt. REYNOLDS und BEEVER (1995) bemerken dazu, dass die am Gewebe des Verdauungstraktes und der Leber beobachtete Hypertrophie am Laktationsanfang darauf hinweist, dass Proteinreserven eher zur Umlagerung im Körper als zur Milchproteinsynthese genutzt werden.

Zum anderen beobachteten TAMMINGA et al. (1997) sowie SUTTER und BEEVER (2000) bei Kühen trotz negativer Energiebilanz eine Proteinretention, welche bei TAMMINGA et al. (1997) mit einer Wassereinlagerung im Verhältnis Protein / Wasser = 1 / 3,4 verbunden war. Allerdings kam es zu keiner Lebendgewichtszunahme, da die Fettmobilisation größer war als der Protein- und Wasseransatz.

Als Erklärung für den beobachteten Gewichtszuwachs trotz Energiedefizits ist eine insgesamt anabol wirkende Kombination dieser beiden Effekte denkbar vor dem Hintergrund, dass es sich bei den analysierten Tieren der vorliegenden Untersuchung um noch nicht ausgewachsene Färsen handelt.

Dies würde auch den Verlauf der Körperkonditionsbeurteilung über die Laktation erklären, denn diese folgt der Gewichtsentwicklung mit zeitlicher Verzögerung. Das Minimum für die Körperkondition wird im Mittel um den 80. Laktationstag erreicht, danach steigen die Werte kontinuierlich an. Da die mittlere BCS-Note nicht unter den als kritisch angesehenen Wert von 2,75 fällt, kann das mittlere Energiedefizit der Erstlaktierenden als undramatisch eingestuft werden. In der Untersuchung von WALTNER et al. (1993) wird die Abhängigkeit des Verlaufs der Körperkondition von der Laktationsnummer deutlich. Während die Körperkondition der Färsen bereits am 60. Laktationstag im Minimum ist, wird dieses mit steigenden Laktationsnummern tendenziell später erreicht. So wurde auch von PRYCE et al. (2001) bei mehrkalbigen Kühen ein starker Abfall der Körperkondition bis zur 12. Laktationswoche beobachtet. Diese Tendenz steht im Einklang mit der Feststellung von

COFFEY et al. (2002), dass die Ausprägung des postpartalen Energiedefizits mit der Anzahl an Laktationen zunimmt. In guter Übereinstimmung zur vorliegenden Untersuchung wurde auch von COFFEY et al. (2001), COFFEY et al. (2002), COFFEY et al. (2003) und McCARTHY et al. (2007) eine Abnahme der Körperkondition bei steigenden Lebendgewichten festgestellt. Offenbar führt das fortgesetzte Wachstum der Färsen zu einer schlechteren Konditionsbeurteilung, wofür zwei Gründe anzuführen sind. Erstens werden primär Muskel- und Skelettgewebe aufgebaut, während die durch die BCS-Noten quantifizierten Fettdepots erst später wieder angelegt werden. Zweitens hat das Längenwachstum einen streckenden Effekt auf die vorhandenen und anfangs noch in einer katabolen Stoffwechsellage befindlichen Fettdepots.

Wiederholbarkeiten, Heritabilitäten und Korrelationen

Die Schätzung der populationsgenetischen Parameter wurde sowohl mit einem Fixed Regression als auch mit einem Random Regression Modell durchgeführt. Bei Fixed Regression Modellen wird für jedes Tier ein zufälliger Effekt geschätzt, um den die tierspezifische Laktationskurve konstant über die mittlere Laktationskurve aller Tiere verschoben wird. Mit den Random Regression Modellen hingegen wird für jedes Tier eine eigene Laktationskurve mit individuellen Steigungen und Gefällen ermittelt, da neben den fixen Regressionskoeffizienten zur Beschreibung der Laktationskurve auf Herdenniveau zusätzlich tierspezifische Regressionskoeffizienten geschätzt werden. Aufgrund der daraus resultierenden besseren Anpassung des Random Regression Modells ist dieses dem Fixed Regression Modell bei der Datenanalyse vorzuziehen (AMMON und SPILKE, 2004). Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung mit den in der Literatur angegebenen Werten zu gewährleisten, wurden beide Modelle zur Analyse der genetischen Parameter genutzt.

Die mit dem Fixed Regression Modell I geschätzten Wiederholbarkeitskoeffizienten der Milchleistung, des Lebendgewichts und der Körperkondition von $w = 0,73$ bis $w = 0,91$ dokumentieren, dass diese Merkmale weniger von der temporären Umwelt beeinflusst werden als die Futtermittelaufnahme und die Energiebilanz mit Wiederholbarkeitskoeffizienten von $w = 0,32$ bzw. $w = 0,35$. Für die Wiederholbarkeit der Futtermittelaufnahme bzw. der Nettoenergieaufnahme wurden von OLDENBROEK (1989), PERSAUD et al. (1991), SVENDSEN et al. (1993) und STAMER (1995) Werte von 39 % bis 60 % gefunden. Die in der vorliegenden Untersuchung gefundene niedrigere Wiederholbarkeit der Futtermittelaufnahme wird durch

KRAMER (2007) bestätigt, der an einer aus erstlaktierenden und mehrkalbigen Kühen zusammengesetzten Herde vom 6. bis zum 230. Laktationstag eine Wiederholbarkeit von 34 % schätzte. Zusätzlich ist bei der Beurteilung der Wiederholbarkeiten die Zusammensetzung der Versuchsherden zu berücksichtigen, denn bei Färsen ist die Wiederholbarkeit der Futteraufnahme in den ersten 180 Laktationstagen geringer als bei mehrkalbigen Kühen (PERSAUD et al., 1991).

Der durch die Auswertung mit dem Random Regression Modell II gefundene Anstieg der Wiederholbarkeitskoeffizienten der Futteraufnahme der Färsen über den Laktationsverlauf von 39 % am Laktationsbeginn auf 50 % zum 180. Laktationstag ist bei PERSAUD und SIMM (1991) sowie KRAMER (2007) nicht zu beobachten. Die bei einigen Merkmalen auffällige Abweichung der mit dem Fixed Regression Modell geschätzten Wiederholbarkeiten über die 180 Laktationstage von den Ergebnissen der Analyse mit dem Random Regression Modell zeigte sich auch bei KRAMER (2007). Diese Abweichung kann nach VEERKAMP und THOMPSON (1998) zufolge darin begründet sein, dass diese Merkmale fälschlicherweise bei dem Fixed Regression Modell als das genetisch selbe Merkmal behandelt werden. Dies wird auch bei der genetischen Analyse sichtbar. Allerdings sind aufgrund der geringen Tierzahlen die genetischen Parameter mit großen Schätzfehlern behaftet, was durch die Standardfehler bei der genetischen Analyse mit dem Fixed Regression Modell III deutlich wird. Dies ist bei der Interpretation der Heritabilitäten und genetischen Korrelationen zu beachten. In Übereinstimmung mit den Beobachtungen von JAMROZIK und SCHAEFFER (1997) führte die Schätzung der Heritabilitäten mit Random Regression Methoden (Modell IV) in der Tendenz zu höheren Erblichkeitsgraden als die Analyse mit Fixed Regression Methoden (Modell III).

Die mit dem Fixed Regression Modell III geschätzte Heritabilität der Futteraufnahme liegt mit $h^2 = 0,10 \pm 0,05$ unter der für Färsen veröffentlichten Spannweite der Heritabilitäten von $h^2 = 0,14$ bis $h^2 = 0,56$ (KORVER et al., 1991; VAN ARENDONK et al., 1991; LEE et al., 1992; VAN ELZAKKER und VAN ARENDONK, 1993; SVENDSEN et al., 1994; VEERKAMP und THOMPSON, 1999; VEERKAMP et al., 2000; COFFEY et al., 2002). Grundsätzlich ist bei der Interpretation der gefundenen Ergebnisse für die genetischen Parameter im Zusammenhang mit den in der Literatur veröffentlichten Werten der z. T. große Leistungsunterschied der analysierten Färsen im Vergleich mit den anderen untersuchten Milchviehpopulationen zu berücksichtigen. Die geschätzten genetischen Parameter sind daher nicht auf die nationale Milchviehpopulation zu verallgemeinern.

Der mit dem Random Regression Modell II geschätzte Verlauf der Heritabilität der Futteraufnahme ähnelt den Ergebnissen von BERRY et al. (2007) in deren Untersuchung an grasenden Kühen. Ein Anstieg der Heritabilität auf ein Maximum um den 100. bis 120. Laktationstag wie in den Untersuchungen von KOENEN und VEERKAMP (1998) sowie KARACAÖREN et al. (2007) ist nicht zu erkennen. Bei COFFEY et al. (2001) nahm die Heritabilität der Futteraufnahme ähnlich ab wie bei VAN ELZAKKER und VAN ARENDONK (1993) von $h^2 = 0,22$ zu Beginn der Laktation auf $h^2 = 0,14$ um den 180. Laktationstag. VAN ARENDONK et al. (1991) merken dazu an, dass die große Streuung veröffentlichter Erblichkeitsgrade bei der Futteraufnahme auf die gerade bei diesen Untersuchungen sehr unterschiedlichen Tierzahlen, die verschiedenen Fütterungsverfahren und die diversen statistischen Methoden zurückzuführen ist. Die Aussage von VEERKAMP (1998), dass die Heritabilität der Futteraufnahme in etwa auf dem Niveau der Heritabilität der Milchmenge liegt, wird in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt.

Für die Milchmenge wurde mit dem Fixed Regression Modell III eine Heritabilität von $h^2 = 0,23 \pm 0,01$ geschätzt. In der Literatur sind für die Milchmenge Heritabilitäten von $h^2 = 0,16$ bis $h^2 = 0,59$ zu finden (JAMROZIK und SCHAEFFER, 1997; OLORI et al., 1999; COFFEY et al., 2001; DRUET et al., 2003; KARACAÖREN et al., 2006; DECHOW und NORMAN, 2007). Bei der Analyse mit dem Random Regression Modell IV wurde am Laktationsanfang mit $h^2 = 0,47$ eine deutlich höhere Heritabilität geschätzt als im weiteren Laktationsverlauf. Dieselbe Beobachtung deutlich erhöhter Heritabilitäten der Milchleistung am Laktationsanfang machten auch JAMROZIK und SCHAEFFER (1997) sowie KARACAÖREN et al. (2006). JAMROZIK und SCHAEFFER (1997) schreiben dies der genaueren Berücksichtigung des Laktationstags innerhalb des Testtags durch das Random Regression Modell zu.

Die in der Literatur zu findenden Heritabilitäten für das Lebendgewicht von Färsen liegen hauptsächlich im hohen Bereich (Mittel bei 0,50) bei einer Spannweite von $h^2 = 0,23$ bis $h^2 = 0,88$ (VEERKAMP, 1998; VEERKAMP et al., 2000; COFFEY et al., 2001; KARACAÖREN et al., 2006). Die mit dem Fixed Regression Modell III geschätzte Heritabilität des Lebendgewichts beträgt in der vorliegenden Untersuchung $h^2 = 0,17 \pm 0,08$, während mit dem Random Regression Modell IV Erblichkeitsgrade von $h^2 = 0,26$ bis $h^2 = 0,45$ berechnet wurden. Damit stehen die Ergebnisse in deutlichem Widerspruch zu den Ausführungen von VEERKAMP (1998), dass die Heritabilität des Lebendgewichts generell hoch ist, insbesondere wenn das Lebendgewicht als Mittelwert mehrerer Messungen in die Schätzung einfließt. Diese Diskrepanz ist sicherlich mitverursacht durch den kürzeren

Beobachtungszeitraum der Lebendgewichte, der aus der späteren Inbetriebnahme der Durchlaufwaage Mitte März 2006 resultiert. Die abnehmende Tendenz der Heritabilität über die ersten 180 Laktationstage findet sich auch in der Untersuchung von COFFEY et al. (2001) und COFFEY et al. (2003), bei KOENEN und VEERKAMP (1998) hingegen nimmt die Heritabilität des Lebendgewichts über die Laktation zu.

Die Erblichkeitsgrade für die Körperkondition liegen VEERKAMP (1998) zufolge meist auf Höhe der Heritabilitäten für die Milchmenge. In der vorliegenden Untersuchung bestätigt sich dies weder bei der Schätzung mit dem Fixed Regression ($h^2 = 0,53 \pm 0,02$) noch mit dem Random Regression Modell ($h^2 = 0,38$ bis $h^2 = 0,64$). Wie in der Untersuchungen von COFFEY et al. (2003) nimmt die Heritabilität der Körperkondition bis zum 180. Laktationstag ab, während KOENEN und VEERKAMP (1998) und COFFEY et al. (2001) über den gleichen Zeitraum einen Anstieg der Heritabilität von $h^2 = 0,21$ auf $h^2 = 0,45$ bzw. $h^2 = 0,38$ auf $h^2 = 0,77$ beobachteten.

Für die Energiebilanz wurde mit dem Fixed Regression Modell III eine Heritabilität von $h^2 = 0,07 \pm 0,04$ geschätzt, während sich aus den mit dem Random Regression Modell geschätzten Heritabilitäten ein zunächst sinkender Verlauf von $h^2 = 0,34$ am Laktationsanfang auf $h^2 = 0,04$ um den 100. Laktationstag ablesen lässt, der dann wieder bis zum 180. Laktationstag auf eine Heritabilität von $h^2 = 0,15$ ansteigt. Von VEERKAMP et al. (2000) wurde für die Energiebilanz eine Heritabilität von $h^2 = 0,33 \pm 0,10$ über 105 Laktationstage an 622 Erstlaktierenden geschätzt. Den Abfall der Heritabilität in der vorliegenden Arbeit haben SVENDSEN et al. (1994) in ihrer Untersuchung an 331 Färsen nicht gefunden, die Erblichkeitsgrade stiegen bei ihnen von $h^2 = 0,15 \pm 0,19$ am Laktationsanfang auf $h^2 = 0,37 \pm 0,22$ um den 180. Laktationstag. Dies stimmt mit den Ergebnissen von BERRY et al. (2007) an grasenden Milchkühen überein.

Die tierbedingten Korrelationen zwischen den Beobachtungen eines Merkmals an verschiedenen Zeitpunkten nehmen bei allen Merkmalen mit zeitlich wachsendem Abstand zwischen den Beobachtungen ab. Tendenziell ist diese Entwicklung auch bei den genetischen Korrelationen zu beobachten, wobei die Abnahme der Korrelationen bei den Merkmalen Futteraufnahme und Energiebilanz stärker ausgeprägt ist als bei der Milchmenge, dem Lebendgewicht und der Körperkondition. Während bei der Futteraufnahme und der Energiebilanz nur schwache genetische Korrelationen von $r_a = 0,30$ bzw. $r_a = 0,17$ zwischen den Beobachtungen vom 25. und 165. Laktationstag existieren, sind diese bei der Milchmenge, dem Lebendgewicht und der Körperkondition im sehr hohen Bereich. So ist

beispielsweise die Körperkondition um den 165. Laktationstag mit $r_a = 0,93$ mit der Körperkondition am Laktationsanfang genetisch hoch korreliert. Aufgrund dieser Ergebnisse erscheint eine monatliche Beurteilung der Körperkondition nicht notwendig.

Tendenziell werden die gefundenen genetischen Beziehungen zwischen den Beobachtungen zu verschiedenen Zeitpunkten durch die Ergebnisse von KOENEN und VEERKAMP (1998), VEERKAMP und THOMPSON (1999) sowie COFFEY et al. (2001) bestätigt. Allerdings wurde in der letztgenannten Untersuchung eine deutliche Abnahme der genetischen Korrelationen zwischen den Körperkonditionen mit zeitlich wachsendem Abstand zwischen den Beobachtungen festgestellt.

Die schwachen genetischen Korrelationen zwischen den Beobachtungen um den 25. und den 165. Laktationstag bei den Merkmalen Futteraufnahme und Energiebilanz weisen daraufhin, dass über den Laktationsverlauf verschiedene Gene für die Ausprägung dieser Merkmale verantwortlich sein können. Die Untersuchung von COFFEY et al. (2001) zeigt, dass ab dem 190. Laktationstag wieder ein Anstieg der genetischen Korrelationen zu den Futteraufnahmen am Laktationsanfang erfolgt. So sind die Futteraufnahmen um den 7. und den 247. Laktationstag mit $r_a = 0,87$ genetisch korreliert. Den Autoren zufolge ist dies auf die genetische Kontrolle der Nährstoffaufteilung zu Beginn und gegen Ende der Laktation zurückzuführen. Möglicherweise sind für die Zuteilung der obersten Priorität bei der Nährstoffaufteilung an das zu versorgende geborene und ungeborene Kalb dieselben Gene verantwortlich.

Die aus dem Fixed Regression Modell resultierenden tierbedingten Korrelationen zwischen den Merkmalen stimmen von der Richtung her mit den phänotypischen Korrelationen überein und bestätigen die Erwartungen. Steigende Milchleistungen gehen mit niedrigeren Energiebilanzen einher, während höhere Futteraufnahmen zu höheren Energiebilanzen führen. Die Beziehung der Energiebilanz zur Futteraufnahme ist deutlich höher als zur Milchmenge. Dies bestätigt die Beobachtungen von VILLA-GODOY et al. (1988), ZUREK et al. (1995) und VEERKAMP et al. (2000), dass die Energiebilanz in stärkerem Maße von der Futteraufnahme als von der Milchmenge abhängt. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass eine Art Autokorrelation implementiert ist, da die Energiebilanz eine Linearkombination der Milchleistung, der Futteraufnahme und des Lebendgewichts darstellt. Die genetischen Korrelationen sind aufgrund des Datenmaterials mit hohen Standardfehlern behaftet. Tendenziell bestätigen sie jedoch die Richtung der phänotypischen und tierbedingten Korrelationen. Zwischen der Futteraufnahme und der Milchleistung wurde bis zum 180. Laktationstag eine genetische Korrelation von $r_a = 0,65$ geschätzt, was im Rahmen der

bei vergleichbarer Fütterung veröffentlichten genetischen Korrelationen liegt. Diese Korrelation bestätigt die Aussagen von VAN ARENDONK et al. (1991) und VEERKAMP et al. (1995), dass bei der alleinigen Zuchtauswahl nach hoher Milchleistung durch den korrelierten Futteraufnahmeanstieg nur 40–48 % des erhöhten Energiebedarfs durch die Energieaufnahme abgedeckt werden. Für den restlichen Energiebedarf müssen Körperreserven mobilisiert werden.

Die Körperkonditionsbenotung ist nur schwach mit der Energiebilanz korreliert, obwohl der Body Condition Score (BCS) von CHILLARD et al. (1991) als die kumulative Energiebilanz über den Betrachtungszeitraum angesehen wird. Diese geringe Korrelation wird sicherlich durch die bereits bei den Verlaufskurven der Merkmale über die Laktation diskutierten zeitlichen und biologischen Zusammenhänge zwischen Energiebilanz und Körpergewicht erklärt. In Übereinstimmung zur vorliegenden Untersuchung ist die Energiebilanz auch bei SPICER et al. (1990) nicht mit der Körperkondition phänotypisch korreliert. Die schwache genetische Korrelation der Körperkondition zur Futteraufnahme, die mittlere negative Korrelation zur Milchmenge sowie die hohe genetische Beziehung der Kondition zum Lebendgewicht stimmen mit den Ausführungen von VEERKAMP (1998) überein.

Mit dem Random Regression Modell wurde in bivariaten Analysen die Entwicklung der Korrelationen zwischen den Merkmalen über den Laktationsverlauf untersucht. Zu den Untersuchungen von VEERKAMP und THOMPSON (1999) und KARACAÖREN et al. (2006) sind nur wenig Gemeinsamkeiten im Verlauf der Korrelationen zwischen den Merkmalen zu erkennen. Während in den oben genannten Untersuchungen beispielsweise am Laktationsanfang negative Korrelationen zwischen der Futteraufnahme und der Milchleistung geschätzt wurden, sind diese in der vorliegenden Untersuchung am Laktationsanfang schwach positiv korreliert und nehmen bis zum 180. Laktationstag zu. Insgesamt gesehen ist in den bisher publizierten Entwicklungen genetischer Korrelationen über die Laktation kein einheitlicher Trend zu erkennen.

Der geschätzte Verlauf der genetischen Korrelationen zwischen der Futteraufnahme und der Milchleistung bestätigt, dass bei fortgesetzter Selektion auf Milchleistung der erhöhte Energiebedarf gerade am Laktationsanfang nicht durch die Futteraufnahme kompensiert werden kann. Aufgrund der schwach negativen genetischen Korrelation der Milchleistung zur Energiebilanz in den ersten 30 Laktationstagen wird es daher bei alleiniger Zucht auf Milchleistung zu einer stärkeren Ausprägung des Energiedefizits am Laktationsanfang kommen.

Eine Integration der täglichen Energiebilanz in die Selektionsentscheidungen bietet sich aufgrund der mit dem Random Regression Modell geschätzten Heritabilität von $h^2 = 0,34$ an. Vor dem Hintergrund des großen Aufwands der Energiebilanzschätzung wird die Integration der Energiebilanz in Selektionsentscheidungen nur über Nukleuszuchtprogramme mit einer Leistungsprüfung der Bullenmütter auf Station realisierbar sein (vgl. SIMM et al., 1991, PERSAUD et al., 1991).

Auf Basis der hohen genetischen Korrelationen zwischen der Energiebilanz und den Merkmalen Futteraufnahme und Körperkonditionsbewertung am Laktationsanfang erscheint eine indirekte Selektion auf eine höhere Energiebilanz auch über eine Feldprüfung im größeren Umfang möglich. Als Vorteil für die indirekte Selektion über die Körperkondition muss die einfache Datenerhebung der BCS-Noten vor allem vor dem Hintergrund der sehr hohen genetischen Korrelationen zwischen den Körperkonditionen bis zum 180. Laktationstag gesehen werden. Die indirekte Selektion auf höhere Energiebilanzen am Laktationsanfang wäre durch eine halbjährliche Konditionsbeurteilung kostengünstig zu bewerkstelligen. Allerdings ist dabei wegen der hohen genetischen Beziehung der BCS-Noten zum Lebendgewicht mit einem Anstieg der Körpergewichte zu rechnen. Weiterhin ist auch der deutliche Abfall der genetischen Korrelation zwischen der Energiebilanz und der Körperkondition ab dem 60. Laktationstag nachteilig zu sehen.

Alternativ zur indirekten Selektion über die Körperkondition wäre auch eine indirekte Selektion auf die Energiebilanz über die Futteraufnahme denkbar, da beide Merkmale bis über den 90. Laktationstag hinaus sehr hoch miteinander genetisch korreliert sind. Diese wäre auch vor dem Hintergrund, dass eine Vorhersage der Futteraufnahme aus den Verhaltensmerkmalen nicht möglich ist (KAUFMANN et al., 2007), nur im Rahmen einer Stationsprüfung zu bewerkstelligen. Dabei wäre abzuwägen, ob anstelle der indirekten Selektion über die Futteraufnahme nicht doch der methodische Mehraufwand für die direkte Selektion auf die Energiebilanz gerechtfertigt ist. Als Konsequenz ist eine Leistungsprüfung der Futteraufnahme potentieller Bullenmütter auf Station in jedem Falle erforderlich.

Die im Vergleich zu den in der Literatur angegebenen Werten geringe Heritabilität der Futteraufnahme in dem relevanten Zeitraum verdeutlicht, dass die vorliegenden Ergebnisse vor einer Anwendung in Selektionsprogrammen an größeren Datensätzen verifiziert werden müssen.

Beziehung zwischen Energiebilanz- und Teillaktationsmerkmalen

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war die Analyse der Beziehungen zwischen verschiedenen Energiebilanz- und Teillaktationsmerkmalen. Die Energiebilanzmerkmale wurden in Anlehnung an COLLARD et al. (2000) definiert, die die phänotypischen Beziehungen zwischen diesen Energiebilanzmerkmalen und Krankheitskomplexen untersucht haben. Der Hintergrund dafür ist die Fragestellung, welches Energiebilanzmerkmal am höchsten mit Krankheitskomplexen korreliert ist, so dass auf dieses Merkmal selektiert werden sollte. So scheinen nach COLLARD et al. (2000) beispielsweise die Erkrankungen des Bewegungsapparates von der Höhe des Energiedefizits abzuhängen, während Reproduktionsprobleme und Stoffwechselerkrankungen am höchsten mit der Dauer des Energiedefizits korreliert sind. Zu den Reproduktionsproblemen ist anzumerken, dass diese in vielen Untersuchungen über ein längeres Zeitintervall zwischen Kalbung und erster Ovulation bzw. über die Non-Return-Rate definiert werden (DE VRIES et al., 1999; DE VRIES und VEERKAMP, 2000; GILLUND et al., 2001; BERRY et al., 2003; WALL et al., 2007), wobei ein späteres Einsetzen der Zyklusaktivität als negativ ausgelegt wird. Unter biologischen Gesichtspunkten hingegen ist dieses verzögerte Einsetzen der Zyklusaktivität jedoch sinnvoll, da es die Konzeption in einer kritischen Nährstoffsituation verhindert. Somit sollte das verzögerte Anlaufen des Fruchtbarkeitsgeschehens bei hochleistenden Kühen nicht als Reproduktionsproblem angesehen und bezeichnet werden.

Genetische Korrelationen zwischen Krankheitskomplexen und Energiebilanzmerkmalen sind in der Literatur selten zu finden. Dies ist sicherlich bedingt durch den hohen Aufwand der Energiebilanzschätzung in Kombination mit den geringen Inzidenzen der meisten Erkrankungen. Daher kann diese Arbeit auch als Vorleistung für eine genetische Analyse dieser Zusammenhänge gesehen werden, da die dafür erforderliche Datenerhebung auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm fortgeführt wird.

Die Berechnung der Energiebilanz- und Teillaktationsmerkmale erfolgte auf Basis der vom 11. bis zum 100. Laktationstag aufgefüllten täglichen Beobachtungswerte. Dazu wurde das bereits bei der Analyse der täglichen Beobachtungswerte vorgestellte Verfahren nicht nur zwischen der ersten und letzten Beobachtung eines Tieres in dem jeweiligen Merkmal angewandt, sondern auch davor bis zum 11. Laktationstag und danach bis zum 100. Laktationstag. Während beim Auffüllen alle Beobachtungen zur Schätzung der fixen Effekte genutzt wurden, ist die Berechnung der Energiebilanz- und Teillaktationsmerkmale nur bei den 63 Erstlaktierenden mit im Beobachtungszeitraum abgeschlossenen

100 Laktationstagen und mehr als 50 Beobachtungen in allen Merkmalen durchgeführt worden.

Um den Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf die Energiebilanzmerkmale zu veranschaulichen, wurden Klassen über die Teillaktationsmerkmale gebildet und deren LSQ-Mittelwerte paarweise verglichen. Dabei wurden zur Vereinheitlichung die Energiebilanzmerkmale als abhängige Zielvariablen aller analysierten Teillaktationsmerkmale behandelt, was zu Recht kritikwürdig ist, da die dabei unterstellte Richtung der Abhängigkeiten fraglich ist. So fällt es beispielsweise schwer, den Wechselwirkungen zwischen Energiebilanz und Milchmenge dieselbe Richtung zuzuweisen wie der Abhängigkeit zwischen Energiebilanz und Körperkondition.

Bei fast allen Energiebilanzmerkmalen wurde eine signifikante Beeinflussung durch die Milchleistung, die Fettmenge, die Eiweißmenge, den Eiweißgehalt und die Futteraufnahme gefunden, während der Fettgehalt, das Lebendgewicht und die Körperkondition keinen Einfluss auf die Energiebilanzmerkmale zeigten. Höhere Futteraufnahmen über 100 Tage führen zu höheren mittleren Energiebilanzen über 50 und 100 Laktationstage und zu signifikant kleineren und kürzer anhaltenden Energiedefiziten. Bei den höheren Klassen der Milch-, Fett- und Eiweißmenge hingegen ist der gegenteilige Effekt zu beobachten. Auffällig ist, dass der Eiweißgehalt im Gegensatz zum Fettgehalt einen signifikanten Einfluss auf die meisten Energiebilanzmerkmale ausübt. Während steigende Eiweißgehalte mit einer positiven Entwicklung im Sinne von einem weniger belastenden Energiestatus des Tieres einhergehen, zeigt sich bei den Fettgehalten eine gegenläufige Tendenz, die jedoch nicht signifikant ist. Durch eine Umkehrung der Abhängigkeiten wird die Interpretation erleichtert. Bei Tieren mit größeren Energiedefiziten sinken die Proteingehalte, während ketosegefährdete Tiere hohe Milchfettgehalte realisieren.

Die Beziehung der Energiebilanzmerkmale zueinander und zu den Teillaktationsmerkmalen wird durch die Residualkorrelationen nach Korrektur der Merkmale um die fixen Effekte der Kalbesaison und des Erstkalbealters veranschaulicht.

Der gegenläufige Effekt der Futteraufnahme und der Milchleistungsmerkmale auf die Energiebilanzmerkmale wird durch die Umkehr der Vorzeichen der Residualkorrelationen deutlich sichtbar. Insgesamt wird der bereits durch die Entwicklung der LSQ-Mittelwerte beschriebene Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf die Energiebilanzmerkmale durch die Korrelationen bestätigt.

Wie bei den LSQ-Mittelwerten zeigt sich auch bei den Residualkorrelationen durch die verschiedenen Vorzeichen die unterschiedliche Beziehung von Fett- und Eiweißgehalt zu allen Energiebilanzmerkmalen. Während höhere Energiebilanzen mit höheren Eiweißgehalten einhergehen, ist bei den Fettgehalten das Gegenteil zu beobachten (vgl. KAUFMANN, 1976; GRAVERT, 1991; DE VRIES und VEERKAMP, 2000; SEGGEWISS, 2004).

Die Residualkorrelationen zwischen den Energiebilanzmerkmalen sind in der vorliegenden Untersuchung überwiegend im hohen bis sehr hohen Bereich und liegen zum Teil deutlich über den von COLLARD et al. (2000) geschätzten Korrelationen. Wie bei COLLARD et al. (2000) sind alle Korrelationen bis auf die Kombinationen mit der Energiedefizitdauer positiv. Bei der Interpretation der Residualkorrelationen zwischen den Energiebilanzmerkmalen ist zu bedenken, dass diese zum Teil voneinander abgeleitet wurden.

Schlussfolgerung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine Selektion auf geringere Energiedefizite am Laktationsanfang aufgrund der geschätzten genetischen Parameter möglich erscheint. Die Heritabilitäten und genetischen Korrelationen sind allerdings aufgrund der geringen Tierzahlen noch mit großen Standardfehlern behaftet. Daher gilt es, diese zu einem späteren Zeitpunkt an einem dann verfügbaren größeren Datensatz erneut zu schätzen. Die entsprechende systematische Datenerfassung auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm ist etabliert. Aufgrund der umfangreichen und qualitativ hochwertigen Datenerfassung auf dem Versuchsbetrieb bietet es sich an, dabei auch eine genetische Analyse der Beziehungen zwischen Krankheitskomplexen und Energiebilanzmerkmalen durchzuführen. Obwohl in der Literatur das vergrößerte postpartale Energiedefizit als Ursache für die gestiegene Krankheitsanfälligkeit diskutiert wird, sind bisher keine Veröffentlichungen über genetische Korrelationen zwischen Energiebilanzmerkmalen und Krankheitskomplexen bekannt. BUTLER et al. haben 1981 die These aufgestellt, dass sowohl das Ausmaß bzw. die Höhe als auch die Dauer des Energiedefizits einen Einfluss auf den Gesundheitsstatus des Tieres ausüben. COLLARD et al. (2000) haben verschiedene Energiebilanzmerkmale definiert und deren phänotypische Beziehung zu unterschiedlichen Krankheitskomplexen analysiert. Die Energiedefizitdauer war dabei mit Reproduktionsstörungen und Stoffwechselerkrankungen korreliert, während Erkrankungen des Bewegungsapparates eine engere Beziehung zur Strenge des Energiedefizits aufwiesen. Die sehr hohen Residualkorrelationen zwischen der Energiedefizitdauer und dem totalen sowie größten Energiedefizit von $r_e = -0,88$ bzw.

$r_e = -0,72$ in der vorliegenden Untersuchung stellen die Definition der verschiedenen Energiebilanzmerkmale und die Differenzierung in Dauer und Ausmaß des Energiedefizits in Frage. Eine genaue Schätzung der genetischen Korrelationen zwischen Energiebilanzen und Gesundheits- bzw. Fruchtbarkeitsmerkmalen erscheint daher umso wichtiger, ist jedoch aufgrund der geringen Heritabilitäten der Fruchtbarkeits- und Gesundheitsmerkmale und des oft sehr geringen Datenmaterials schwer zu realisieren (VEERKAMP et al., 2000).

Des Weiteren sind in der Literatur auch gegenläufige Publikationen zu finden. Während STANGASSINGER (2006) auf physiologischer Ebene herleitet, dass ein Energiedefizit unweigerlich zu einer höheren Krankheitsanfälligkeit führen muss, führen STAUFENBIEL et al. (1993) aus, dass eine Aussage über das Risiko einer Erkrankung aufgrund einer negativen Energiebilanz nicht möglich ist, da die pathologischen Auswirkungen des Energiedefizits von vielen Faktoren, wie beispielsweise der individuellen Fähigkeit des Tieres zur Adaption an die Verwertung freier Fettsäuren, modifiziert werden. Dadurch wird die Empfehlung eines als Selektionskriterium geeigneten Energiebilanzmerkmals stark erschwert.

Als eine Alternative wäre die von TAMMINGA und VAN VUUREN (1996) vorgeschlagene Selektion auf flachere Laktationskurven mit höherer Persistenz zu nennen. Dadurch könnte auf das postpartale Energiedefizit reagiert und die Milchleistung bei gleich bleibender metabolischer Belastung gesteigert werden.

Aber auch andere alternative Merkmale zur Selektion auf Stoffwechselstabilität wie beispielsweise die Passagerate oder die Wiederkautätigkeit bzw. die Speichelproduktion können in Betracht gezogen werden. In dem Zusammenhang beobachteten FRANZOLIN und DEHORITY (1996) bei der Verfütterung extrem kraftfutterreicher Rationen bei einigen Tieren stabil hohe pH-Werte im Pansen, während diese bei anderen Tieren deutlich abfielen. Tiefe pH-Werte führen zu einer Reduktion der Anzahl cellulolytisch aktiver Bakterien und infolgedessen zu einem verminderten Abbau der Strukturkohlenhydrate (MOULD und ØRSKOV, 1983; VERBIČ, 2002). Der Anteil an Strukturkohlenhydraten in der Ration hat neben der Bereitstellung von Energie zwar aufgrund der Anregung der Speichelproduktion durch das Widerkauen die entscheidende Bedeutung für die Stabilität des Pansenmilieus und somit für die Futteraufnahme (SÜDEKUM, 1999), allerdings nimmt die Passagerate bei steigenden Strukturanteilen in der Ration ab (BOSCH et al., 1991). Aufgrund dessen sind die Rationen für hochleistende Milchkühe hinsichtlich des Strukturanteils oft nahe des physiologisch bedenklichen Bereichs, weshalb den tierindividuellen Unterschieden in der Pansenstabilität vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte.

Die direkte und kontinuierliche Messung des pH-Wertes im Pansen ist im größeren Umfang unter Produktionsbedingungen derzeit nicht praktikabel. Auch zeigte SIEVERS (2005), dass der Rückschluss von der mit einem Bolus im Pansen gemessenen Leitfähigkeit auf den pH-Wert nicht möglich ist. Umsetzbar hingegen wäre die Abschätzung der als Ursache für die individuellen Unterschiede des pH-Wertes im Pansen angesehenen Speichelproduktion über die Wiederkauaktivität. In diesem Zusammenhang konnte JILE (2003) eine deutliche Varianz der Frequenz der Kieferschläge zwischen Kühen aufzeigen. Die entsprechende Sensortechnik zur Messung der Wiederkauaktivität ist kommerziell verfügbar.

5 Zusammenfassung

Als Weiterentwicklung der Leistungsprüfung bei Bullenmüttern wird seit dem 01.09.2005 auf dem Versuchsbetrieb Karkendamm die individuelle Futteraufnahme mit einer automatischen Wiegeeinrichtung zur Schätzung der täglichen Energiebilanz gemessen. Die Daten von 289 Erstlaktierenden mit Beobachtungen zwischen dem 11. und dem 180. Laktationstag über einen Beobachtungszeitraum von 487 Tagen wurden analysiert. Die Färsen realisierten im Mittel täglich eine Milchleistung von 31,8 kg ECM, eine Futteraufnahme von 20,6 kg TM bei einem Lebendgewicht von 584 kg und einer Energiebilanz von 13,6 MJ NEL je Tag. Sowohl Fixed als auch Random Regression Modelle wurden auf die beste Datenanpassung unter Berücksichtigung von Kovarianzstrukturen geprüft. Die Ergebnisse des Likelihood-Ratio-Tests zeigen bei allen analysierten Merkmalen, dass die beste Datenanpassung mit einem Random Regression Modell unter Berücksichtigung der Kovarianzstruktur Töplitz(4) erreicht wird. Die Auswirkungen der Berücksichtigung dieser wurden zum einen anhand des Vergleiches der Signifikanzen der fixen Effekte und zum anderen über die Rangkorrelationen der Kuheffekte aufgezeigt. Die Änderungen des Signifikanzniveaus der fixen Effekte veranschaulichen, dass diese grundsätzlich unter Berücksichtigung der Kovarianzstrukturen analysiert werden sollten, während die hohen Rangkorrelationen die Schätzung der genetischen Parameter ohne Berücksichtigung der Kovarianzstrukturen erlauben.

Die genetischen Korrelationen zwischen den Beobachtungen zu verschiedenen Zeitpunkten zeigen, dass die Futteraufnahmen und die Energiebilanzen zu Beginn und in der Mitte der Laktation genetisch verschiedene Merkmale sind. Der Erblichkeitsgrad der Futteraufnahme ist mit $h^2 = 0,06$ am Laktationsanfang niedrig und steigt zur Laktationsmitte an, während die Energiebilanz mit $h^2 = 0,34$ in den ersten 30 Laktationstagen die höchste Erblichkeit aufweist. Die genetischen Korrelationen zwischen der Energiebilanz und der Futteraufnahme bzw. der Milchmenge verdeutlichen, dass diese mehr von der Futteraufnahme als von der Milchmenge abhängt. Zwischen der Körperkondition und der Energiebilanz nimmt die genetische Korrelation bis zum 100. Laktationstag schnell ab. Aufgrund der geringen Tierzahlen sollte die genetische Analyse später an einem dann vergrößerten Datensatz wiederholt werden.

Des Weiteren wurden verschiedene Energiebilanzmerkmale definiert: Die mittlere Energiebilanz über die ersten 50 bzw. 100 Laktationstage, die Energiedefizitdauer, das totale und mittlere Energiedefizit sowie die negativste tägliche Energiebilanz. Die Residualkorrelationen zwischen den Energiebilanzmerkmalen sind überwiegend hoch. Daher erscheint die Definition verschiedener Energiebilanzmerkmale nicht notwendig.

6 Summary

As a further development of the bull dams performance test at the dairy research farm Karkendamm the individual roughage intake has been measured since September 1, 2005 utilizing a computerized scale system to estimate daily energy balances as the difference between energy intake and calculated energy requirements for lactation and maintenance. Data of 289 heifers with observations between the 11th and 180th day of lactation over a period of 487 days have been analyzed. Average energy corrected milk yield, feed intake, live weight and energy balance were 31.8 kg, 20.6 kg, 584 kg and 13.6 MJ NEL, respectively, per day. Fixed and random regression models have been used to find the model with the best fit under consideration of (co)variance structures. The results of the likelihood-ratio-test show that the best model-fitting is achieved with the random regression model including the (co)variance structure Töplitz(4) for all traits. The consequences of a consideration of the (co)variance structure have been determined by a comparison of the significance of the fixed effects and the rank correlation between cow effects. As the significance levels changed for some fixed effects, they should be analyzed under consideration of (co)variance structures, whereas the very high rank correlations between cow effects allow the estimation of genetic parameters without consideration of the (co)variance structures.

The resulting genetic correlations between observations made on different lactation stages demonstrate that feed intake and energy balance at the beginning and the middle of lactation are genetically different traits. Heritability of feed intake is low with $h^2 = 0.06$ during the first days after parturition and increasing towards the middle of lactation, whereas the energy balance shows the highest heritability with $h^2 = 0.34$ until the 30th day of lactation. Genetic correlations between energy balance and feed intake and milk yield, respectively, illustrate that energy balance depends more on the feed intake than the milk yield. Genetic correlation between body condition and energy balance decreases rapidly within the first 100 days of lactation. Since the number of animals is rather small for a genetic analysis, the genetic parameters have to be evaluated on a larger dataset.

Several criteria of energy balance have been defined over different lactation stages: mean daily energy balance during the first 50 and 100 days of lactation, duration of negative energy balance, total energy deficit and minimum daily energy balance in the early stage of lactation. Residual correlations between the energy balance traits are predominantly high. Therefore, it does not seem to be necessary to define different energy balance traits.

7 Literaturverzeichnis

- ABLEITER, H.J. (1989): Untersuchungen über Möglichkeiten der züchterischen Verbesserung der Grundfutteraufnahme beim Rind in Betrieben mit Kraftfutterabrufautomaten. Diss. Hohenheim.
- ADR (2002): Rinderproduktion in Deutschland 2001. Ausgabe 2002.
- ADR (2007): Rinderproduktion in Deutschland 2006. Ausgabe 2007.
- AHIMA, R.S., J.S. FLIER (2000): Leptin. *Annual Rev. Physiol.* 62: 413–437.
- AGENÄS, S., E. BURSTEDT, K. HOLTENIUS (2003): Effects of feeding intensity during the dry period. 1. Feed intake, body weight, and milk production. *J. Dairy Sci.* 86: 870–882.
- AGNEW, R.E., T. YAN (2000): Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* 66: 197–215.
- ALBRIGHT, J.L. (1993): Feeding behavior of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 76: 485–498.
- ALI, T.E., L.R. SCHAEFFER (1987): Accounting for covariances among test day milk yields in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 67: 637–644.
- ALLEN, M.S. (1996): Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 74: 3063–3075.
- ALLEN, M.S. (2000): Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 83: 1598–1624.
- AMERICAN CALAN INC. (2006): Company Description. <http://www.americancalan.com/> (abgerufen am 16.08.2006).
- AMMON, C., J. SPILKE (2004): Vergleich von Fixed- und Random-regression Modellen bei verschiedenen Funktionsansätzen für Laktationskurven zur Vorhersage der Milchleistung. GIL Jahrestagung 2004, 149–152.
- ANDERSEN, B.B. (1989): Futteraufnahmevermögen als Selektionsmerkmal? *Der Tierzüchter* 10/41.Jg.: 446–447.
- APGAR, J., D. ASPAROS, J.E. HIXON, R.R. SAATMAN, W. HANSEL (1975): Effect of restricted feed intake on the sensitivity of the bovine corpus luteum to LH in vitro. *J. Anim. Sci.* 41: 1120–1123.
- ARC (1980): Agricultural Research Council: The nutrient requirements of ruminant livestock. Commonwealth Agricultural Bureau, Slough.
- ARFC (1993): Agricultural and Food Research Council: Energy and protein requirements of ruminants. An advisory manual prepared by the Technical Committee on Responses for nutrients. CAB International, Wallingford.

- AUSSCHUSS FÜR GENETISCH-STATISTISCHE METHODEN IN DER TIERZUCHT DER DGfZ (1990): Stellungnahme zur Futteraufnahme und Futterverwertung bei Milchkühen. *Züchtungskunde* 62: 165–166.
- BACH, A., C. IGLESIAS, I. BUSTO (2004): Technical note: A computerized system for monitoring feeding behaviour and individual feed intake of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87: 4207–4209.
- BANOS, G., M.P. COFFEY, S. BROTHERSTONE (2005): Modeling daily energy balance of dairy cows in the first three lactations. *J. Dairy Sci.* 88: 2226–2237.
- BANOS, G., M.P. COFFEY, E. WALL, S. BROTHERSTONE (2006): Genetic relationship between first-lactation body energy and later-life udder health in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89: 2222–2232.
- BAREILLE, N., F. BEAUDEAU, S. BILLON, A. ROBERT, P. FAVERDIN (2003): Effects of health disorders on feed intake and milk production in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 83: 53–62.
- BAUMAN, D.E., S.N. Mc CUTCHEON, W.D. STEINHOOR, P.J. EPPARD, S.J. SECHEN (1985): Sources of variation and prospects for improvement of productive efficiency in the dairy cow: a review. *J. Anim Sci.* 60: 583–592.
- BAUMONT, R., N. SEGUIER, J.P. DULPHY (1990): Rumen fill, forage palatability and alimentary behaviour in sheep. *J. Agric. Sci. Camp.* 115: 277–284.
- BEAUCHEMIN, K.A., B.I. FARR, L.M. RODE, G.B. SCHAALJE (1994): Effects of alfalfa silage chop length and supplementary long hay on chewing and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77: 1326–1339.
- BEACHEMIN, K.A., W.Z. YANG (2005): Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *J. Dairy Sci.* 88: 2117–2129.
- BEAM, S.W., W.R. BUTLER (1997): Energy Balance and ovarian follicle development prior to the first ovulation postpartum in dairy cows receiving three levels of dietary fat. *Biology of Reproduction* 56: 133–142.
- BEAM, S.W., W.R. BUTLER (1990): Effects on energy balance on follicular development and first ovulation in postpartum dairy cows. *J. Reprod. Fertil., Suppl.* 54: 411–424.
- BEERDA, B., W. OUWELTJES, L.B. ŠEBEK, J.J. WINDING, R.F. VEERKAMP (2007): Effects of genotype by environment interactions on milk yield, energy balance, and protein balance. *J. Dairy Sci.* 90: 219–228.
- BELL, A.W. (1995): Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J. Anim. Sci.* 73: 2804–2819.
- BERENTSEN, P.B.M., G.W.J. GIESSEN (1996): The effect of sustainability requirements on the economic value of dry-matter intake capacity. In: Groen, A.F., Van Bruchem, J. (Eds.): *Utilization of Local Feed Resources by Dairy Cattle*. Wageningen pers, Wageningen, pp. 128–130.

- BERMAN, A., Y. FOLMAN, M. KAIM, M. MAMEN, Z. HERZ, D. WOLFENSON, A. ARIELI, Y. GRABER (1985): Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 68: 1488-1495.
- BERRY, D.P., F. BUCKLEY, P. DILLON, R.D. EVANS, R.F. VEERKAMP (2004): Genetic relationships among linear type traits, milk yield, body weight, fertility and somatic cell count in primiparous dairy cows. *Irish J. Agric. and Food Research* 43: 161-176.
- BERRY, D.P., B. HORAN, M. O'DONOVAN, F. BUCKLEY, E. KENNEDY, M. McEVOY, P. DILLON (2007): Genetics of grass dry matter intake, energy balance and digestibility in grazing Irish dairy cows. *J. Dairy Sci.* Submitted.
- BERTICS, S.J., R.R. GRUMMER, C. CARLOS-VALINO, E.E. STODDARD (1992): Effect of prepartum dry matter intake on liver triglyceride concentration and early lactation. *J. Dairy Sci.* 75: 1914-1922.
- BINES, J.A. (1979): Voluntary food intake. In: Broster, W.H., H. Swan (Eds.): *Feeding strategy for the high yielding dairy cow*. Granada Publishing, London, pp. 23-48.
- BINES, J.A., S. SUZUKI, C.C. BALCH (1969): The quantitative significance of long-term regulation of food intake in the cow. *Br. J. Nutr.* 23: 659-704.
- BINES, J.A., S.V. MORANT (1983): The effect of body condition on metabolic changes associated with intake of food by the cow. *Br. J. Nutr.* 50: 81-89.
- BLOCK, S.S., W.R. BUTLER, R.A. EHRHARDT, A.W. BELL, M.E. VAN AMBURGH, Y.R. BOISCLAIR (2001): Decreased concentration of plasma leptin in periparturient dairy cows is caused by negative energy balance. *J. Endocrinol.* 171: 339-348.
- BMELV (2007): Statistischer Monatsbericht 03/2007. <http://www.bmelv-statistik.de/data/000E9A7030A7161FA2426521C0A8D816.0.pdf> (abgerufen am 09.05.2007).
- BÖNING, I. (1992): Fütterungsstrategien bei Hochleistungskühen und deren Auswirkungen auf biologische und ökonomische Effizienzparameter. Schriftenreihe des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Heft 73.
- BÖBNER, C. (1994): Schätzung wirtschaftlicher Gewichte für sekundäre Leistungsmerkmale bei Schweizerischen Zweinutzungsrindern unter Anwendung der dynamischen Optimierung. Diss. ETH Zürich.
- BOSCH, M.W., S. TAMMINGA, J.P. VAN BRUCHEM (1991): Dietary and animal factors affecting rumen capacity in dairy cows. *Arch. Tierz.* 34: 469-481.
- BRANDT, A., K. PAPST, H. SCHULTE-COERNE, H.O. GRAVERT (1985): Die Heritabilität der Futteraufnahme bei Milchkühen. *Züchtungskunde* 57: 299-308.
- BRIGSTOCK, T.D.A., M.A., LINDEMANN, N.H. CUTHBERT, P.N. WILSON, J.P.L. COLE (1982): A note on the dry-matter intake of Jersey cows. *Anim. Prod.* 35: 285-287.

- BRITT, J.S., R.C. THOMAS, N.C. SPEER, M.B. HALL (2003): Efficiency of converting nutrient dry matter to milk in Holstein herds. *J. Dairy Sci.* 86: 3796–3801.
- BROADBENT, P.J., J.A.R. McINTOSH, A. SPACE (1970): The evaluation of a device for feeding group-housed animals individually. *Anim. Prod.* 12: 245–252.
- BUCKLEY, F., P. DILLON, M. RATH, R.F. VEERKAMP (2000): The relationship between genetic merit for yield and live weight, condition score, and energy balance of spring calving Holstein Friesian dairy cows on grass based systems of milk production. *J. Dairy Sci.* 83: 1878–1886.
- BUTTAZONI, L., I.L. MAO (1989): Genetic parameters of estimated net efficiencies for milk production, maintenance, and bodyweight change in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72: 671–677.
- BUTLER, W.R., R.W. EVERETT, C.E. COPPOCK (1981): The relationships between energy balance, milk production and ovulation in postpartum Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 53: 742–747.
- BUTLER, W.R., R.D. SMITH (1989): Interrelationships between energy balance on postpartum reproductive function in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 72: 767–783.
- CAMMELL, S.B., D.E. BEEVER, J.D. SUTTON, J. FRANCE, G. ALDERMAN, D.J. HUMPHRIES (2000): An examination of energy utilization in lactating dairy cows receiving a total mixed ration based on maize silage. *Anim. Sci.* 71: 585–596.
- CANFIELD, R.W., W.R. BUTLER (1990): Energy balance and pulsatile luteinizing hormone secretion in early postpartum dairy cows. *Domest. Anim. Endocrinol.* 7: 323–330.
- CANFIELD, R.W., W.R. BUTLER (1991): Energy balance, first ovulation and the effects of naxolone on LH secretion in early postpartum dairy cows. *J. Anim. Sci.* 69: 740–746.
- CHESTNUTT, D.M.B. (1987): Effect of high-protein supplements on the utilization of body reserves by single-suckling cows. *Anim. Prod.* 45: 15–21.
- CHILLIARD, Y., M. CISSE, R. LEFAIVRE, B. REMOND (1991): Body-composition of dairy-cows according to lactation stage, somatotropin treatment, and concentrate supplementation. *J. Dairy Sci.* 74: 3103–3116.
- CHRISTENSEN, L.G. (1990): Principles of total merit indexing of bulls in Nordic countries. INTERBULL Mtg., Paris. Mimeo. Swed. Univ. Agric. Sci., Uppsala, Sweden.
- CLARK, P.W., L.E. ARMENTANO (1997): Influence of particle size on the effectiveness of beet pulp fiber. *J. Dairy Sci.* 80: 898–904.
- COFFEY, M.P., G.C. EMMANS, S. BROTHERSTONE (2001): Genetic evaluation of dairy bulls for energy balance traits using random regression. *Anim. Sci.* 73: 29–40.
- COFFEY, M.P., G. SIMM, S. BROTHERSTONE (2002): Energy balance profiles for the first three lactations of dairy cows estimated using random regression. *J. Dairy Sci.* 85: 2669–2678.

- COFFEY, M.P., G. SIMM, W.G. HILL, S. BROTHERSTONE (2003a): Genetic evaluations of dairy bulls for daughter energy balance profiles using linear type scores and body condition score analyzed using random regression. *J. Dairy Sci.* 86: 2205–2212.
- COFFEY, M.P., G. SIMM, W.G. HILL, S. BROTHERSTONE (2003b): Genetic control of energy balance and its relationship to health, fertility and survival of dairy cattle. In: *Proceedings of the National Dairy Genetics Workshop, Raleigh, NC.*
- COLLARD, B.L., P.J. BOETTCHER, J.C.M. DEKKERS, D. PETITCLERC, L.R. SCHAEFFER (2000): Relationships between energy balance and health traits of dairy cattle in early lactation. *J. Dairy Sci.* 83: 2683–2690.
- CONRAD, H.R., A.D. PRATT, J.W. HIBBS (1964): Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *J. Dairy Sci.* 47: 54–62.
- CORNELL UNIVERSITY (2006): Animal facilities. <http://ansci.cornell.edu/facilities.html> (abgerufen am 16.08.2006).
- DADO, R.G., M.S. ALLEN (1995): Intake limitations, feeding behaviour, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. *J. Dairy Sci.* 78: 118–133.
- DADO, R.G., M.S. ALLEN (1996): Enhanced intake and production of cows offered ensiled alfalfa with higher neutral detergent fiber digestibility. *J. Dairy Sci.* 79: 418–428.
- DE BOEVER, J.L., A. DE SMET, D.L. DE BRABANDER, C.V. BOUCQUE (1993): Evaluation of physical structure. 1. Grass silage. *J. Dairy Sci.* 76: 140–153.
- DE BRABANDER, D.L., J.I. ANDRIES, J.L. DE BOEVER, F.X. BUYASSE (1990): Fütterung der Milchkühe durch Verabreichung besseren Rauhfutters (II). *Prakt. Tierarzt* 2: 10.
- DECHOW, C.D., G.W. ROGERS, U. SANDER-NIELSEN, L. KLEI, T.J. LAWLOR, J.S. CLAY, A.E. FREEMAN, G. ABDEL-AZIM, A. KUCK, S. SCHNELL (2004): Correlations among body condition scores from various sources, dairy form, and cow health from the United States and Denmark. *J. Dairy Sci.* 87: 3526–3533.
- DECHOW, C.D., H.D. NORMAN (2007): Within-herd heritability estimated with daughter-parent regression for yield and somatic cell score. *J. Dairy Sci.* 90: 482–492.
- DEMPFLE, L. (1992): Berücksichtigung von Fruchtbarkeit und Eutergesundheit in der Rinderzucht. *Züchtungskunde* 64: 447–457.
- DESWYSEN, A.G., D.C. BRUYER, M. VANBELLE (1984): Circadian rumination quality and voluntary silage intake in sheep and cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 64 (Suppl.): 341–342.
- DE VRIES, M.J., S. VAN DER BEEK, L.M.T.E. KAAL-LANSBERGEN, W. OUWELTJES, J.B.M. WILMINK (1999): Modeling of energy balance in early lactation and the effect of energy deficits in early lactation on first detected estrus postpartum in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82: 1927–1934.

- DE VRIES, M.J., R.F. VEERKAMP (2000): Energy balance of dairy cattle in relation to milk production variables and fertility. *J. Dairy Sci.* 83: 62–69.
- DLG (2001): Information 2/2001: Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkühe.
- DRUET, T., F. JAFFRÉZIC, D. BOICHARD, V. DUCROCQ (2003): Modeling lactation curves and estimation of genetic parameters for first lactation test-day records of French Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 86: 2480–2490.
- DULPHY, J.P., C. DEMARQUILLY (1994): The regulation and prediction of food intake in ruminants in relation to feed characteristics. *Livest. Prod. Sci.* 39: 1–12.
- EMANUELSON, U. (1988): Recording of production diseases in cattle and possibilities for genetic improvement: a review. *Livest. Prod. Sci.* 20: 89–106.
- EMMANS, G.C. (1994): Effective energy: A concept of energy utilization applied across species. *Br. J. Nutr.* 71: 801–821.
- FAVERDIN, P. (1999): The effect of nutrients on feed intake in ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society* 58: 523–531.
- FAVERDIN, P., BAUMONT, R., INGVARTSEN, K.L. (1995): Control and prediction of feed intake in ruminants. In: *Recent developments in the nutrition of herbivores. Proceedings of the fourth international symposium on the nutrition of herbivores.* pp. 95–120. Paris: INRA Editions.
- FERREL, C.L., T.G. JENKINS (1984): Energy utilization by mature, nonpregnant, nonlactating cows of different types. *J. Anim. Sci.* 58: 234–243.
- FEWSON, D. (1994): Zuchtplanung. In: Kräußlich, H. (Ed.): *Tierzüchtungslehre.* Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, pp. 380–394.
- FOLDAGER, J., K. HAARBO (1994): Effect of breed and feeding intensity during rearing on the feed intake capacity of first lactation dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 39: 39–42.
- FOLMAN, Y., M. ROSENBERG, Z. HERZ, M. DAVIDSON (1973): The relationship between plasma progesterone concentration and conception in post-partum dairy cows maintained on two levels of nutrition. *J. Reprod. Fertil.* 34: 267–278.
- FORBES, J.M. (1983): Models for the prediction of food intake and energy balance in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 10: 149–157.
- FOURICHON, C., SEEGERS, H., BAREILLE, F., BEAUDEAU, F. (1999): Effects of disease on milk production on the dairy cow: a review. *Prev. Vet. Med.* 41: 1–35.
- FRANCISCO, C.C., C.S. CHAMBERLAIN, D.N. WALDNER, R.P. WETTEMANN, L.J. SPICER (2002): Propionibacteria fed to dairy cows: Effects on energy balance, plasma metabolites and hormones, and reproduction. *J. Dairy Sci.* 85: 1738–1751.
- FRANCKE, H. (1990): Nutzung ethologischer Parameter zur Schätzung der Grundfutteraufnahme bei Milchkühen. *Schriftenreihe des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Heft 56.*

- FRANZOLIN, R., B.A. DEHORITY (1996): Effect of prolonged high-concentrate feeding on ruminal protozoa concentrations. *J. Anim. Sci.* 74: 2803–2809.
- FRIGGENS, N., G.C. EMMANS, S. ROBERTSON, D.G. CHAMBERLAIN, C.T. WHITTEMORE, J.D. OODHAM (1995): The lactational response of dairy cows to amount of feed and to the source of carbohydrate energy. *J. Dairy Sci.* 78: 1734–1744.
- FRIGGENS, N.C., G.C. EMMANS, I. KYRIAZAKIS, J.D. OLDHAM, M. LEWIS (1998): Feed intake relative to stage of lactation of dairy cows consuming total mixed diets with a high or low ratio of concentrate to forage. *J. Dairy Sci.* 81: 2228–2239.
- FUENTES-PILA, J., M.A. DELORENZO, D.K. BEEDE, C.R. STAPLES, J.B. HOLTER (1996): Evaluation of equations based on animal factors to predict intake of lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 79: 1562–1571.
- FUNK, D.A., A.E. FREEMAN, P.J. BERGER (1987): Effects of previous days open, previous days dry, and present days open on lactation yield. *J. Dairy Sci.* 70: 2366–2373.
- GFE (2001): Gesellschaft für Ernährungsphysiologie: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt a. Main, p. 65.
- GIBB, M.J., W.E. IVINGS, M.S. DHANOA, J.D. SUTTON (1992): Changes in body components of autumn-calving Holstein-Friesian cows over the first 29 weeks of lactation. *Anim. Prod.* 55: 339–353.
- GIBSON, J.P. (1984): The effect of frequency of feeding on milk production of dairy cattle: An analysis of published results. *Anim. Prod.* 38: 181–189.
- GIBSON, J.P. (1989): The effects of pricing systems, economic weights and population parameters on economic response to selection on milk components. *J. Dairy Sci.* 72: 3314–3326.
- GIBSON, J.P. (1987): Part-lactation predictors of complete lactation milk-energy yield, food intake and food conversion efficiency. *Livest. Prod. Sci.* 17: 323–335.
- GIBSON, J.P. (1992): The design and economics of animal breeding strategies. Nordic graduate course. Greve, Denmark.
- GIBSON, J.P., J.W. WILTON (1998): Defining multiple-trait objectives for sustainable genetic improvement. *J. Anim. Sci.* 76: 2302–2307.
- GILL, J.L. (1990): Repeated measurement of animals: Why not assume auto-correlation? *J. Anim. Breeding Genetics* 107: 89–95.
- GILLUND, P., O. REKSEN, Y.T. GRÖHN, K. KARLBERG (2001): Body condition related to ketosis and reproductive performance in Norwegian dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84: 1390–1396.
- GULAY, M.S., M.J. HAYEN, K.C. BACHMANN, T. BELLOSO, M. LIBONI, H.H. HEAD (2003): Milk production and feed intake of Holstein cows given short (30-d) or normal (60-d) dry periods. *J. Dairy Sci.* 86: 2030–2038.

- GRANT, R.J., V.F. COLENBRANDER, D.R. MERTENS (1990): Milk fat depression in dairy cows: Role of silage particle size. *J. Dairy Sci.* 73: 1834–1842.
- GRAVERT, H.O. (1985): Genetic factors controlling feed efficiency in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 12: 87–99.
- GRAVERT, H.O. (1991): Indikatoren zur Beurteilung der Energiebilanz der Milchkuh. *Mh. Vet.-Med.* 46: 536–537.
- GROEN, A.F. (1989a): Economic values in cattle breeding. II. Influences of production circumstances in situations with output limitations. *Livest. Prod. Sci.* 22: 17–30.
- GROEN, A.F. (1989b): Cattle breeding goals and production circumstances. Diss. Wageningen.
- GROEN, A.F. (1990): Influences of production circumstances on the economic revenues of cattle breeding programmes. *Anim. Prod.* 51: 469–480.
- GROEN, A.F., S. KORVER (1989): The economic value of feed intake capacity of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 22: 269–281.
- GRUBER, L., R. STEINWENDER; K. KRIMBERGER, J. SÖLKNER (1991): Roughage intake of Simmental, Brown Swiss and Holstein Friesian cows fed rations with 0,25 and 50 % concentrates. *Livest. Prod. Sci.* 27: 123–136.
- GRUBER, L., K. KRIMBERGER, R. STEINWENDER, A. SCHAUER (1990): Forage intake of dairy cows depending on physiological and nutritional factors. Proceedings of the International Symposium “New systems of energy and nitrogen evaluation for ruminants“, pp. 155–165, Prague.
- GRUBER, L., A. STEINWIDDER, T. GUGGENBERGER (2001): Futteraufnahme von Milchkühen: Regulation – wichtige Einflußfaktoren – Vorhersage. *ÖAG Info* 4/2001.
- GRUBER, L., K.-H. SÜDEKUM (2006): persönliche Mitteilung.
- GRUMMER, R.R. (1995): Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *J. Anim. Sci.* 73: 2820–2833.
- HAFEZ, M.S. (1987): Untersuchungen zur Futteraufnahme bei Milchkühen unter Laufstallbedingungen. Schriftenreihe des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Heft 43.
- HALAAS, J.L., K.S. GAJIWALA, M. MAFFEI, S.L. COHEN, B.T. CHAIT, D. RABINOWITZ, R.L. LALLONE, S.K. BURLEY, J.M. FRIEDMANN (1995): Weight-reducing effects of plasma protein encoded by the obese gene. *Science* 269: 543–546.
- HALAAS, J.L., C. BOOZER, J. BLAIR-WEST, N. FIDAHUSEIN, D.A. DENTON, J.M. FRIEDMAN (1998): Physiological response to longterm peripheral and central leptin infusion in lean and obese mice. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94: 8878–8883.
- HALACHMI, I. (2004): persönliche Mitteilung.

- HALACHMI, I., Y. EDAN, E. MALTZ, U.M. PEIPER, U. MOALLEM, I. BRUKENTAL (1998): A real-time control system for individual dairy cow food intake. *Computers and Electronics in Agriculture* 20: 131–144.
- HARPER ADAMS UNIVERSITY COLLEGE (2006): Animal science research centre: Facilities for animals. <http://www.harper-adams.ac.uk/groups/animals/asrc.htm> (abgerufen am 10.5.2007).
- HARRIS, B.L., A.E. FREEMAN (1993): Economic weights for milk yield traits and herd life under various economic conditions and production quotas. *J. Dairy Sci.* 76: 868–879.
- HARRISON, R.O., S.P. FORD, J.W. YOUNG, A.J. CONLEY, A.E. FREEMAN (1990): Increased milk production versus reproductive and energy status of high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73: 2749–2758.
- HAYIRLI, A., R.R. GRUMMER, E.V. NORDHEIM, P.M. CRUMP (2002): Animal and dietary factors affecting feed intake during the prefresh transition period in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 85: 3430–3443.
- HAYIRLI, A., R.R. GRUMMER, E.V. NORDHEIM, P.M. CRUMP (2003): Models for predicting dry matter intake of Holsteins during the prefresh transition period. *J. Dairy Sci.* 86: 1771–1779.
- HENZE, A. J. ZEDDIES, D. FEWSON, E. NIEBEL (1980): Leistungsprüfungen in der Tierzucht. Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Heft 234. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- HERD, R.M., J.A. ARCHER, P.F. ARTHUR (2003): Reducing the costs of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. *J. Anim. Sci.* 81: E9–E17.
- HEUER, C. (2000): Negative energy balance in dairy cows – prediction, consequences, prevention. Diss. Utrecht.
- HEUER, C. (2004): The use of test day information to predict energy intake of dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 87: 593–601.
- HOEKSTRA, J., A.W. VAN DER KUGT, J.H.J. VAN DER WERF, W. OUWELTJES (1994): Genetic and phenotypic parameters for milk production and fertility traits in upgraded dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* 40: 225–232.
- HOLDEN, L.A., L.D. MULLER, S.L. FALES (1994): Estimation of intake in high producing Holstein cows grazing grass pasture. *J. Dairy Sci.* 77: 2332–2340.
- HOLTER, J.B., J.W. WEST, M.L. MCGILLIARD (1997): Predicting ad libitum dry matter intake and yield of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 80: 2188–2199.
- HOOVEN, N.W., R.H. MILLER, J.W. SMITH (1972): Relationships among whole- and part-lactation gross efficiency, feed consumption and milk yield. *J. Dairy Sci.* 55: 1113–1122.
- HOWIE, M. (2005): Complex consolidates: dairy research efforts, expertise. *Feedstuffs* Vol. 77, No. 23.

- IGONO, M.O., G. BJOTVEDT, H.T. SANFORD-CRANE (1992): Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int. J. Biometeorol.* 36: 77–87.
- INGVARTSEN, K.L. (1994): Models of voluntary food intake in cattle. *Livest. Prod. Sci.* 39: 19–38.
- INGVARTSEN, K.L., H.R. ANDERSEN, J. FOLDAGER (1992a): Effect of sex and pregnancy on feed intake capacity of growing cattle. *Acta agriculturae Scand.* 42: 40–46.
- INGVARTSEN, K.L., H.R. ANDERSEN, J. FOLDAGER (1992b): Random variation in voluntary dry matter intake and the effect of day length on feed intake capacity in growing cattle. *Acta agriculturae Scand.* 42: 121–126.
- INGVARTSEN, K.L., M.R. WEISBJERG (1993): Jersey cows have a higher feed intake capacity and higher rate of passage than Friesian cows. *Arch. Tierz.* 36: 495–498.
- INGVARTSEN, K.L., J.B. ANDERSEN (2000): Integration of metabolism and intake regulation: a review focusing on periparturient animals. *J. Dairy Sci.* 83: 1573–1597.
- INGVARTSEN, K.L., R.J. DEWHURST, N.C. FRIGGENS (2003): On the relationship between lactational performance and health: Is it yield or metabolic imbalance that cause production diseases in dairy cattle? A position paper. *Livest. Prod. Sci.* 83: 277–308.
- INSENTEC B.V. (2006): Special products. <http://www.insentec.nl/> (abgerufen am 16.08.2006).
- JACKSON, D.A., C.L. JOHNSON, J.M. FORBES (1991): The effect of compound composition and silage characteristics on silage intake, feeding behaviour, production of milk and live-weight change in lactating cows. *Anim. Prod.* 52: 11–19.
- JAHNKE, B., U. FUNKE (1989): Züchterische Verbesserung der Eutergesundheit – Möglichkeiten und Grenzen. *Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft.* Band 27, Berlin.
- JAMROZIK, J., L.R. SCHAEFFER (1997): Estimates of genetic parameters for a test-day model with random regressions for yield traits of first lactation Holsteins. *J. Dairy Sci.* 80: 762–770.
- JARRIGE, R., (1986): Voluntary intake in dairy cows and its prediction. *Int. Dairy Fed. Bull.* 196: 4–16.
- JENRICH, R.I., M.D. SCHLUCHTER (1986): Unbalanced repeated-measures models with structured covariance matrices. *Biometrics* 42: 805–820.
- JENSEN, J., W.D. HOHENBOKEN, P. MADSEN, B.B. ANDERSEN (1995): Sire x nutrition interactions and genetic parameters for energy intake, production and efficiency of nutrient utilization in young bulls, heifers and lactating cows. *Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci.* 45: 81–91.

- JILE, Y.H. (2003): Untersuchungen zur Bedeutung der Frequenz der Kieferschläge während des Wiederkauens für die Einschätzung der Wiederkauaktivität von Milchkühen. Diss. Hannover.
- JØRGENSEN, K.F., S.B. LARSEN, H.R. ANDERSEN, M. VESTERGAARD (2004): Effect of starch level and straw intake on animal performance, rumen wall characteristics and liver abscesses in intensively fed Friesian bulls. 55th Ann. Meeting of the EAAP, Bled.
- JOHNSON, D.G., D.E. OTTERBY (1981): Influence of dry period diet on early postpartum health, feed intake, milk production, and reproductive efficiency of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 64: 290–295.
- KARACAÖREN, B., F. JAFFRÉZIC, H.N. KADARMIDEEN (2006): Genetic parameters for functional traits in dairy cattle from daily random regression models. *J. Dairy Sci.* 89: 791–798.
- KARSTEN, S., E. STAMER (2006): Datenerfassungssysteme für Bullenmütterprüfung und Testherden. 4. Rinder-Workshop, Uelzen, pp. 172–179.
- KAUFMANN, O., O. AZIZI, L. HASSELMANN (2007): Untersuchungen zum Fressverhalten hochleistender Milchkühe in der Früh lactation. *Züchtungskunde* 79: 219–230.
- KAUFMANN, T.E.G., M. KIRCHGESSNER (1987): Futtermittelaufnahme und Nährstoffverdaulichkeit bei der Milchkuh während und nach energetischer Überversorgung. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 58: 237–251.
- KAUFMANN, W. (1976): Zur Bedeutung der Energieversorgung hochleistender Milchkühe für den Milcheiweißgehalt und die Fruchtbarkeit. *Kieler Milchw. Forschungsber.* 28: 347–347.
- KENDRICK, K.W., T.L. BAILEY, A.S. GARST, A.W. PRYOR, A. AHMADZADEH, R.M. AKERS, W.E. EYESTONE, R.E. PEARSON, F.C. GWAZDAUSKAS (1999): Effects of energy balance on hormones, ovarian activity, and recovered oocytes in lactating Holstein cows using transvaginal follicular aspiration. *J. Dairy Sci.* 82: 1731–1740.
- KENNEDY, B.W., J.H.J. VAN DER WERF, T.H.E. MEUWISSEN (1993): Genetic and statistical properties of residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 71: 3239–3250.
- KERTZ, A.F., L.F. REUTZEL, G.M. THOMSON (1991): Dry matter intake from parturition to midlactation. *J. Dairy Sci.* 74: 2290–2295.
- KIRCHGESSNER, M. (1997): Tierernährung. 10. Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt a. Main.
- KLAWUHN, D., R. STAUFENBIEL (1997a): Aussagekraft der Rückenfettdicke zum Körperfettgehalt beim Rind. *Tierärztl. Praxis* 25: 133–138.
- KLAWUHN, D., R. STAUFENBIEL (1997b): Die Ermittlung der Körperzusammensetzung über die Gesamtkörperwasserbestimmung mit Phenazon zur Beschreibung des Körperfettansatzes beim Rind. *Dtsch. Tierärztl. Wochenschrift* 104: 515–520.

- KOENEN, E.P.C., R.F. VEERKAMP (1998): Genetic covariance functions for live weight, condition score, and dry-matter intake measured at different lactation stages of Holstein-Friesian heifers. *Livest. Prod. Sci.* 57: 67–77.
- KOENEN, E.P.C., P.B.M. BERENTSEN, A.F. GROEN, (2000): Economic values of live weight and feed-intake capacity of dairy cattle under Dutch production circumstances. *Livest. Production Science* 66: 235–250.
- KORVER, S. (1982): Feed intake and production in dairy breeds dependent on the ration. *Diss. Wageningen*.
- KORVER, S. (1988): Genetic aspects of feed intake and feed efficiency in dairy cattle: A review. *Livest. Prod. Sci.* 20: 1–13.
- KORVER, S. E.A.M. VAN EKELEN, H. VOS, G.J. NIEUWHOF, J.A.M. VAN ARENDONK (1991): Genetic parameters for feed intake and feed efficiency in growing dairy heifers. *Livest. Prod. Sci.* 29: 49–59.
- KOVAC, M., E. GROENEVELD, L.A. GARCIA-CORTES (2002): VCE-5. A package for estimation of dispersion parameters. *Proc. 7th WCGALP, Montpellier*.
- KRAMER, E. (2007): Persönliche Mitteilung.
- KRAUSE, K.M., D.K. COMBS, K.A. BEAUCHEMIN (2002): Effects of forage particle size and grain fermentability in midlactation cows. II. Ruminal pH and chewing activity. *J. Dairy Sci.* 85: 1947–1957.
- KRAUSE, K.M., D.K. COMBS (2003): Effects of forage particle size, forage sources, and grain fermentability on performance and ruminal pH in midlactation cows. *J. Dairy Sci.* 86: 1382–1397.
- KRISTENSEN, V.F., T. KRISTENSEN (1987): Vurdering og justering af foderoptagelsessystemet til malkekøer. Bilag til Statens Husdyrbrugsforsøgs Årsmøde, pp. 9–11.
- KUNZ, P.L., J.W. BLUM, I.C. HART, H. BICKEL, J. LANDIS (1985): Effects of different energy intakes before and after calving on food intake, performance and blood hormones and metabolites in dairy cows. *Anim. Prod.* 40: 219–231.
- KURDNA, V. (2003): Effect of different feeding frequency employing total mixed ration (TMR) on dry matter intake and milk yield in dairy cows during the winter. *Acta Vet. Brno.* 72: 553–539.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN (2006): Bildung und Beratung: Bereich Rinder. http://www.lwk-sh.de/start_i.php3?quelle=http://www.lwk-sh.de/dienststellen/bbz_futterkamp/inhalt.html (abgerufen am 16.08.2006).
- LASSEN, J., M. HANSEN, M.K. SØRENSEN, G.P. AAMAND, L.G. CHRISTENSEN, P. MADSEN (2003): Genetic relationship between body condition score, dairy character, mastitis, and diseases other than mastitis in first-parity Danish Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 86: 3730–3735.

- LEE, A.J. (1976): Relationship between milk yield and age at calving in first lactation. *J. Dairy Sci.* 59: 1794–1801.
- LEE, A.J., D.A. BOICHARD, A.J. McALLISTER, C.Y. LIN, K. NADARAJAH, T.R. BATRA, G.L. ROY, J.A. VESELY (1992): Genetics of growth, feed intake, and milk yield in Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* 75: 3145–3154.
- LEGATES, J.E. (1990): Efficiency of feed utilization on Holsteins selected for yield. *J. Dairy Sci.* 73: 1533–1536.
- LENKEIT, W. (1953): Einführung in die Ernährungsphysiologie der Haustiere. Verlag F. Enke, Stuttgart.
- LEUTHOLD, G., U. MÜLLER, P. REINECKE (1994): Züchterische und physiologische Bewertung der RFI (residual feed intake) beim Milchrind. *Arch. Tierz.* 37: 579–588.
- LIEFERS, S.C., R.F. VEERKAMP, M.F.W. TE PAS, C. DELAVAUD, Y. CHILLIARD, T. VAN DER LENDE (2003): Leptin concentrations in relation to energy balance, milk yield, intake, live weight, and estrus in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86: 799–807.
- LINDNER, H.P., M. KIRCHGESSNER, F.J. SCHWARZ (1981): Zur Futteraufnahme von Kühen in Abhängigkeit von der Milchleistung. *Züchtungskunde* 53: 99–112.
- LOUGH, D.S., D.L. BEEDE, C.J. WILCOX (1990): Effects of feed intake and thermal stress on mammary blood flow and other physiological measurements in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73: 325–332.
- LUCY, M.C. (2001): Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? *J. Dairy Sci.* 84: 1277–1293.
- LÜPPING, W. (2003): Einzelbetriebliche Perspektiven (national). 3. Rinder-Workshop, Uelzen. *DGfZ-Schriftenreihe* 30: 22–26.
- LÜPPING, W. (2006): Einzelbetriebliche Perspektiven – Norddeutschland. 4. Rinder-Workshop. Uelzen: 23–28.
- LUITING, P., E.M. URF (1987): Residual food intake: A new source of genetic variation for feed efficiency. 38th Ann. Meeting of the EAAP, Lisbon.
- LUTHER, H. (2003): Untersuchungen zum automatischen Melken am Beispiel einer Mehrboxenanlage. *Schriftenreihe des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*, Heft 141.
- MACK, G. (1996): Wirtschaftlichkeit des züchterischen Fortschritts in Milchviehherden: gesamtbetriebliche Analyse mit Hilfe eines simultan-dynamischen linearen Planungsansatzes. Diss. Hohenheim.
- MACKLE, T.R., C.R. PARR, G.K. STAKELUM, A.M. BRYANT, K.L. MacMILLAN (1996): Feed conversion efficiency, daily pasture intake, and milk production of primiparous Friesian and Jersey cows calved at two different liveweights. *N.Z. J. Agric. Res.* 39: 357–370.

- MADSEN, T.G., J.B. ANDERSEN, K.L. INGVRTSEN, M.O. NIELSEN (2004): Continuous lactation in dairy cows: Effects on feed intake, milk production, and mammary nutrient extraction. *J. Anim. Feed Sci.* 13: 503–506.
- MAKUZA, S.M., B.T. McDANIEL (1996): Effects of days dry, previous days open, and current days open on milk yields of cows in Zimbabwe and North Carolina. *J. Dairy Sci.* 79: 702–709.
- McCARTHY, S., D.P. BERRY, P. DILLON, M. RATH, B. HORAN (2007): Influence of Holstein-Friesian strain and feed system on body weight and body condition score lactation profiles. *J. Dairy Sci.* 90: 1859–1869.
- MIELENZ, N., J. SPILKE, H. KREJCOVA, L. SCHÜLER (2006): Statistical analysis of test-day milk yields using random regression models for the comparison of feeding groups during the lactation period. *Arch. Anim. Nutr.* 60: 341–357.
- MOONEY, C.S., M.S. ALLEN (1997): Physical effectiveness of the neutral detergent fiber of whole linted cottonseed relative to that of alfalfa silage at two lengths of cut. *J. Dairy Sci.* 80: 2052–2061.
- MOORE, R.K., B.W. KENNEDY, L.R. SCHAEFFER, J.E. MOXLEY (1992): Relationships between age and body weight at calving, feed intake, production, days open, and selection indexes in Ayrshires and Holsteins. *J. Dairy Sci.* 75: 294–306.
- MORITA, S., S. SUGITA, T. KOBARI, S. HOSHIBA (2002): Effect of feeding space allowance for cows on meal length in free-stall barn, *J. Rakuno Gakuen Univ.* 26: 271-276.
- MORRISON, C.D., J.A. DANIEL, B.J. HOLMBERG, J. DJIANE, N.RAVER, A. GERTLER, D.H. KEISLER (2001): Central infusion of leptin into well-fed and undernourished ewe lambs: effects on feed intake and serum concentrations of growth hormone and luteinizing hormone. *J. Endocrinol.* 168: 327–324.
- MOULD, F.L., E.R. ØRSKOV (1983): Manipulation of rumen fluid pH and its influence on cellulolysis in sacco, dry matter degradation and the rumen microflora of sheep offered either hay or concentrate. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 10: 1–14.
- NEUMAIER, A., E. GROENEVELD (1998): Restricted maximum likelihood estimation of covariances in sparse linear models. *Genetics Selection Evolution* 30: 3–26.
- NGWERUME, F., I.L. MAO (1992): Estimation of residual energy intake for lactating cows using an animal model. *J. Dairy Sci.* 75: 2283–2287.
- NOMBEKELA, S.W., M.R. MURPHY, H.W. GONYOU, J.I. MARDEN (1994): Dietary preferences in early lactation cows as affected by primary tastes and some common feed flavours. *J. Dairy Sci.* 77: 2393–2399.
- NOMBEKELA, S.W., M.R. MURPHY (1995): Sucrose supplementation and feed intake of dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 78: 880–885.
- NRC (2001): Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. Natl. Acad. Press., Washington, DC.

- OLDENBROEK, J.K. (1979): Differences in the intake of roughage between cows of three breeds fed two levels of concentrates according to milk. *Livest. Prod. Sci.* 6: 147–151.
- OLDENBROEK, J.K. (1986): The performance of Jersey heifers and heifers of larger dairy breeds on two complete diets with different roughage contents. *Livest. Prod. Sci.* 14: 1–14.
- OLDENBROEK, J.K. (1988): The performance of Jersey cows and cows of larger dairy breeds on two complete diets with different roughage contents. *Livest. Prod. Sci.* 18: 1–17.
- OLDENBROEK, J.K. (1989): Parity effects on feed intake and feed efficiency in four dairy breeds fed ad libitum two different diets. *Livest. Prod. Sci.* 21: 115–129.
- OLORI, V.E., W.G. HILL, B.J. McGUIRK, S. BROTHERSTONE (1999): Estimating variance components for test day milk records by restricted maximum likelihood with a random regression animal model. *Livest. Prod. Sci.* 61: 53–63.
- OMINSKI, K.H., A.D. KENNEDY, K.M. WITTENBERG, S.A. MOSHTAGHI NIA (2002): Physiological and production responses to feeding schedule in lactating dairy cows exposed to short-term, moderate heat stress. *J. Dairy Sci.* 85: 730–737.
- ORDWAY, R.S., V.A. ISHLER, G.A. VARGA (2002): Effects of sucrose supplementation on dry matter intake, milk yield, and blood metabolites of periparturient Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 879–888.
- ØSTERGAARD, S., Y.T. GRÖHN (2000). Concentrate feeding, dry-matter intake, and metabolic disorders in Danish dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 65: 107–118.
- PERSAUD, P., G. SIMM, W.G. HILL (1991): Genetic and phenotypic parameters for yields, food intake and efficiency of dairy cows fed ad libitum. 1. Estimates for total measures and their relationship with live weight traits. *Anim. Prod.* 52: 435–444.
- PHIPPS, R.H., J.A. BINES, A. COOPER (1983): A preliminary study to compare individual feeding through calan electronic feeding gates to group feeding. *Anim. Prod.* 36: 544 (Abstr.).
- PIRLO, G., F. MIGLIOR, M. SPERONI (2000): Our industry today: Effect of age at first calving on production traits and on difference between milk yield returns and rearing costs in Italian Holsteins. *J. Dairy Sci.* 83: 603–608.
- POTT, J. (1990): Untersuchungen zur innerbetrieblichen Selektion von Milchkühen. Schriftenreihe des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Heft 58.
- POTTHAST, J. (1999): Untersuchungen zur Integration funktionaler Selektionsmerkmale in große Besamungszuchtprogramme bei Milchrindern. Diss. Bonn.
- PRYCE, J.E., B.L. NIELSEN, R.F. VEERKAMP, G. SIMM (1999): Genotype and feeding system effects and interactions for health and fertility traits in dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* 57: 193–201.

- PRYCE, J.E., M.P. COFFEY, G. SIMM (2001): The relationship between body condition score and reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 84: 1508–1515.
- PTAK, E., L.R. SCHAEFFER (1993): Use of test day yields for genetic evaluation of dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* 34: 23–34.
- RASTANI, R.R., R.R. GRUMMER, S.J. BERTICS, A. GÜMEN, M.C. WILTBANK, D.G. MASHEK, M.C. SCHWAB (2005): Reducing dry period length to simplify feeding transition cows: Milk production, energy balance, and metabolic profiles. *J. Dairy Sci.* 88: 1004–1014.
- REHAGE, J. (2002): Steigende Leistungsanforderungen an Milchkühe – bleibt die Tiergesundheit auf der Strecke? *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 242*: 53-57.
- REINSCH, N. (1993): Berechnung wirtschaftlicher Gewichtungsfaktoren für sekundäre Leistungsmerkmale beim Fleckvieh. *Diss. Weihenstephan*.
- REIST, M., D. ERDIN, D. VON EUW, K. TSCHUEMPERLIN, H. LEUENBERGER, Y. CHILLIARD, H.M. HAMMON, C. MOREL, C. PHILIPONA, Y. ZBINDEN, N. KUENZI, J.W. BLUM (2002): Estimation of energy balance at the individual and herd level using blood and milk traits in high-yielding dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85: 3314-3327.
- REYNOLDS, C.K., D.E. BEEVER (1995): Energy requirements and response; a UK perspective. In: T.L.J. Lawrence, F.J. Gordon, A.F. Carson (Eds.): *Breeding and feeding of the high genetic merit dairy cow*. *Br. Soc. Anim. Sci. occasional publication 19*: 31–41.
- ROBINSON, J.J. (1996): Nutrition and reproduction. *Anim. Reprod. Sci.* 42: 25–34.
- ROBINSON, J.J. (1986): Changes in body composition during pregnancy and lactation. *Proc. Nutr. Soc.* 45: 71–80.
- ROSSOW, N. (2006): Neuere Erkenntnisse zur postpartalen Energiebilanz der Milchkuh. <http://www.portal-rind.de/portal/index.php> (abgerufen am 16.08.2006).
- ROYAL, M.D., J.E. PRYCE, J.A. WOOLLIAMS, A.P.F. FLINT (2002): The genetic relationship between commencement of luteal activity and calving interval, body condition score, production, and linear type traits in Holstein-Friesian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 85: 3071–3080.
- SAKAGUCHI, M., Y. SASAMOTO, T. SUZUKI, Y. TAKAHASHI, Y. YAMADA (2004): Postpartum ovarian follicular dynamics and estrous activity in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87: 2114–2121.
- SAS INSTITUTE INC. (2004): *SAS/STAT User's Guide, Version 9.0*.
- SCHAEFFER, L.R., J.C.M. DEKKERS (1994): Random regressions in animal models for test-day production in dairy cattle. *Proc. 5th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Guelph, Vol. XVIII*: 443.

- SCHWARZ, F.J., M. KIRCHGESSNER (1985): Grundfutteraufnahme von Milchkühen in Abhängigkeit von Lebendgewicht, Zahl der Laktationen, Kraftfutterzufuhr und Grundfutterqualität. *Züchtungskunde* 57: 267–277.
- SEGGEWISS, S. (2004): Überprüfung der Bedeutung von Milchinhaltsstoffen für die Beurteilung der Energie-, Protein- und Strukturversorgung von HF-Kühen. Diss. Hannover.
- SIEVERS, A. (2005): Entwicklung einer intraruminalen Datenmesseinheit als Managementhilfe in der Milchviehhaltung. Diss. Kiel.
- SIMM, G., P. PERSAUD, D.R. NEILSON, H. PARKINSON, B.J. MCGUIRK (1991): Predicting food intake in dairy heifers from early lactation records. *Anim. Prod.* 52: 421–434.
- SMITH, C. (1983): Effects of changes in economic weights on the efficiency of index selection. *J. Anim. Sci.* 56: 1057–1064.
- SØNDERGAARD, E., M.K. SØRENSEN, I.L. MAO, J. JENSEN (2002): Genetic parameters of production, feed intake, body weight, body composition, and udder health in lactating dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 77: 23–34.
- SOUTH DAKOTA STATE UNIVERSITY (2006): Dairy Research and Training Facility. <http://dairysci.sdstate.edu/DepartmentInfo/Facilities/ResearchandTrainingFacility/researchandtrainingfacility.htm> (abgerufen am 16.08.2006).
- SPICER, L.J., W.B. TUCKER, G.D. ADAMS (1990): Insulin-like growth factor-1 in dairy cows: relationships among energy balance, body condition, ovarian activity and estrous behaviour. *J. Dairy Sci.* 73: 929–947.
- SPICER L.J., R.K. VERNON, W.E. TUCKER, R.P. WETTEMANN, J.F. HOGUE, G.D. ADAMS (1993): Effects of Inert Fat on Energy Balance, Plasma Concentrations of Hormones, and Reproduction in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 76: 2664–2673.
- SPIEKERS, H., A. MENKE, N. MUES (2003): Untersuchungen zur Additivität der Energie- und Nährstoffgehalte in Mischrationen. http://www.riswick.de/pdf/Additivitaet_Mischrationen.pdf#search=%22untersuchungen%20zur%20Additivit%C3%A4t%20der%20Energie-%22 (abgerufen am 11.10.2006).
- SPIEKERS, H., V. POTTHAST (2004): Erfolgreiche Milchviehfütterung. DLG-Verlag, Frankfurt a. Main.
- STAMER, E. (1995): Futteraufnahmeverhalten von Milchkühen – Analyse der Zeitstruktur und Nutzungsmöglichkeiten. Schriftenreihe des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Heft 85.
- STAMER, E., A. PETZOLDT, E. KALM (1993): Anwendung und Überprüfung von indirekten Schätzgleichungen zur Ermittlung der Futteraufnahme beim Milchrind. *Züchtungskunde* 65: 112–118.

- STANGASSINGER, M. (2006): Physiologische Grundlagen von Merkmalsantagonismen. 21. Hülsenberger Gespräche, pp. 48–66.
- STAPLES, C.R., W.W. THATCHER, J.H. CLARK (1990): Relationship between ovarian activity and energy status during the early postpartum period of high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73: 938–947.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2007): Betriebe mit Rindern und Rinderbestand. <http://www.destatis.de/basis/d/forst/forsttab10.php> (abgerufen am 08.05.2007).
- STAUFENBIEL, R., I. LACHMANN, J. BAUER, B. STAUFENBIEL (1993): Energie- und Fettstoffwechsel des Rindes – Beziehungen der Rückenfettdicke zur Energieaufnahme und zur Energiebilanz. *Mh. Vet.-Med.* 48: 58–66.
- STEVERINK, M.H.A., A.F. GROEN, P.B.M. BERENTSEN (1994): The influence of environmental policies for dairy farms on dairy cattle breeding goals. *Livest. Prod. Sci.* 40: 251–261.
- SÜDEKUM, K.-H. (1999): Wiederkäuergerechte Ernährung der Hochleistungskuh. 25. Viehwirtschaftliche Fachtagung. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein. Tagungsband, pp. 1–8.
- SÜPHKE, E.H. (1988): Stoffwechselfparameter, Milchleistung und Futteraufnahme bei Deutschen Schwarz- und Rotbunten Kühen. Schriftenreihe des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Heft 45.
- SUTTER, F., D.E. BEEVER (2000): Energy and nitrogen metabolism in Holstein-Friesian cows during early lactation. *Anim. Sci.* 70: 503–514.
- SVENDSEN, M., P. SKIPENES, I.L. MAO (1993): Genetic parameters in the feed conversion complex of primiparous cows in the first two trimesters. *J. Anim. Sci.* 71: 1721–1729.
- SVENDSEN, M., P. SKIPENES, I.L. MAO (1994): Genetic correlations in the feed conversion complex of primiparous cows at a recommended and a reduced plane of nutrition. *J. Anim. Sci.* 72: 1441–1449.
- SWALVE, H.H. (1999): Gibt es Grenzen in der Zucht auf Milchleistung? – Aus der Sicht der Züchtung. *Züchtungskunde* 71: 428–436.
- TAMMINGA, S., A.M. VAN VUUREN (1996): Physiological limits of fibrous feed intake and conversion in dairy cows. In: A.F. Groen, J. van Bruchem (Eds.): Utilization of local feed resources by dairy cattle: perspectives of environmentally balanced production systems. Wageningen press, Wageningen, Netherlands, pp. 19–33.
- TAMMINGA, S., P.A. LUTEIJM, R.G.M. MEIJER (1997): Changes in composition and energy content of liveweight loss in dairy cows with time after parturition. *Livest. Prod. Sci.* 52: 31–38.
- TOLKAMP, B.J., I. KYRIAZAKIS (1997): Measuring diet selection in dairy cows: effect of training on choice of dietary protein level. *Anim. Sci.* 64: 197–207.

- VAN ARENDONK, J.A.M., R. HOVENIER, W. DE BOER (1989): Phenotypic and genetic association between fertility and production in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 21: 1–12.
- VAN ARENDONK, J.A.M., G.J. NIEUWHOF, H. VOS, S. KORVER (1991): Genetic aspects of feed intake and efficiency in lactating dairy heifers. *Livest. Prod. Sci.* 29: 263–275.
- VAN DER WERF, J.H.J. (2004): Is it useful to define residual feed intake as a trait in animal breeding programs? *Austr. J. Exp. Agric.* 44: 1–5.
- VAN ELZAKKER, P.J.M., J.A.M. VAN ARENDONK (1993): Feed intake, body weight and milk production: genetic analysis of different measurements in lactating dairy heifers. *Livest. Prod. Sci.* 37: 37–51.
- VAN ES, A.J.H., H.A. BOEKHOLT (1987): Energy metabolism of farm animals. In: Verstegen, M.W.A., A.M. Henken (Eds.): *Energy metabolism in farm animals*. Martinus Nijhoff Publ., Dordrecht, pp. 3–19.
- VEERKAMP, R.F. (1996): Live weight and feed intake in dairy cattle breeding goal. In: *Proc. Int. Workshop on Genetic Improvement of Functional Traits in Cattle*, pp. 173–180.
- VEERKAMP, R.F. (1998): Selection for Economic Efficiency of Dairy Cattle Using Information on Live Weight and Feed Intake: a review. *J. Dairy Sci.* 81: 1109–1119.
- VEERKAMP, R.F., G. SIMM, J.D. OLDHAM (1994): Effects of interaction between genotype and feeding system on milk production, feed intake, efficiency and body tissue mobilization in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 39: 229–241.
- VEERKAMP, R.F., G.C. EMMANS (1995): Sources of genetic variation in energy efficiency of dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 44: 87–97.
- VEERKAMP, R.F., G.C. EMMANS, A.R. CROMIE, G. SIMM (1995): Variance components for residual feed intake in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 41: 111–120.
- VEERKAMP, R.F., S. BROTHERSTONE (1997): Genetic correlations between linear type traits, food intake, live weight and body condition score in Holstein Friesian dairy cattle. *Anim. Sci.* 64: 385–392.
- VEERKAMP, R.F., R. THOMPSON (1999): A covariance function for feed intake, live weight, and milk yield estimated using a random regression model. *J. Dairy Sci.* 82: 1565–1573.
- VEERKAMP, R.F., J.K. OLDENBROEK, H.J. VAN DER GAAST, J.H.J. VAN DER WERF (2000): Genetic correlation between days until start of luteal activity and milk yield, energy balance, and live weights. *J. Dairy Sci.* 83: 577–583.
- VEERKAMP, R.F., G. SIMM, W.G. HILL, S. BROTHERSTONE (2003): Genetic evaluations of dairy bulls for daughter energy balance profiles using linear type scores and body condition score analyzed using random regression. *J. Dairy Sci.* 86: 2205–2212.

- VERBIČ, J. (2002): Factors affecting microbial protein synthesis in the rumen with emphasis on diets containing forages. 29. Viehwirtschaftliche Fachtagung. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein. Tagungsband, pp. 13–18.
- VILLA-GODOY, A., T.L. HUGHES, R.S. EMERY, L.T. CHAPIN, R.L. FOGWELL (1988): Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71: 1063–1072.
- VILLA-GODOY, A., T.L. HUGHES, R.S. EMERY, E.P. STANISIEWSKI, R.L. FOGWELL (1990): Influence of energy balance and body condition on estrus and estrous cycles in Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 73: 2759–2765.
- VOLLSTEDT, E. (1991): Physiologische Kennwerte und ihre Beziehung zu ausgewählten Leistungsmerkmalen bei Kühen in der Hochlaktation. Schriftenreihe des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Heft 61.
- WALL, E., M.P. COFFEY, S. BROTHERSTONE (2007): The relationship between body energy traits and production and fitness traits in first-lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90: 1527–1537.
- WALTER, J.P., I.L. MAO (1989): Modelling net efficiencies as quantitative characteristics in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 72: 2363–2374.
- WALTNER, S.S., J.P. McNAMARA, J.K. HILLERS (1993): Relationships of body condition score to production variables in high producing Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 76: 3410–3419.
- WANGSNES, P.J., L.D. MULLER (1981): Maximum forage for dairy cows: review. *J. Dairy Sci.* 64: 1–13.
- WASSMUTH, R. (1998): Die stationäre Futteraufnahmeprüfung von Bullen als Indikator der Gesundheit bei Milchkühen. Habilitationsschrift, Universität Göttingen. Cuvillier Verlag Göttingen.
- WEISSBACH, F., S. KUHLA (1995): Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. *Übers. Tierernähr.* 23: 189–214.
- WEST, J.W. (2003): Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86: 2131–2144.
- WEST, J.W., B.G. MULLINIX, J.K. BERNARD (2003): Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86: 232–242.
- WESTWOOD, C.T., I.J. LEAN, J.K. GARVIN, P. WYNN (2000): Effects of genetic merit and varying dietary protein degradability on lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83: 2926–2940.
- WESTWOOD, C.T., I.J. LEAN, J.K. GARVIN (2002): Factors influencing fertility of Holstein dairy cows: a multivariate description. *J. Dairy Sci.* 85: 3225–3237.

- WESTFALIASURGE (2004): AMS: WestfaliaSurge nimmt klar Stellung.
http://www.westfalia.com/at/de/what_is_new/news/2004/ams.aspx
(abgerufen am 02.05.2006).
- WOODS, S.C., R.J. SEELEY, D. PORTE, M.W. SCHWARTZ (1998): Signals that regulate food intake and energy homeostasis. *Science* 280: 1378–1383.
- WRIGHT, I.A. (1992): Studies on the body composition of beef cows. Diss. Edinburgh.
- YAN, T., R.E. AGNEW, J.J. MURPHY, C.P. FERRIS, F.J. GORDON (2003): Evaluation of different energy feeding systems with production data from lactating dairy cows offered grass silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 86: 1415–1428.
- YEATES, M.P., B.J. TOLKAMP, I. KYRIAZAKIS (2003): The relationship between meal composition and long-term diet choice. *J. Anim. Sci.* 81: 3165–3178.
- ZAUGG, U. (1976): Vergleichsversuch mit Braunvieh, Simmentaler Fleckvieh und Holstein Friesian amerikanischer Herkunft. Diss. Zürich.
- ZEDDIES, J. (1992): Die wirtschaftliche Bedeutung der Leistungsmerkmale beim Rind. Polykopie. Universität Hohenheim.
- ZEDDIES, J. (1994): Methodology and calculation of economic values for breeding traits. Workshop “Economic weights in cattle”, Futterkamp.
- ZHANG, Y, R. PROENCA, M. MAFFEI, M. BARONE, L. LEOPOLD, J.M. FRIEDMAN (1994): Positional cloning of the mouse obese gene and its human homologue. *Nature* 372: 425–432.
- ZUREK, E., G.R. FOXCROFT, J.J. KENNELLY (1995): Metabolic status and interval to first ovulation in postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78: 1909–1920.

8 Anhang

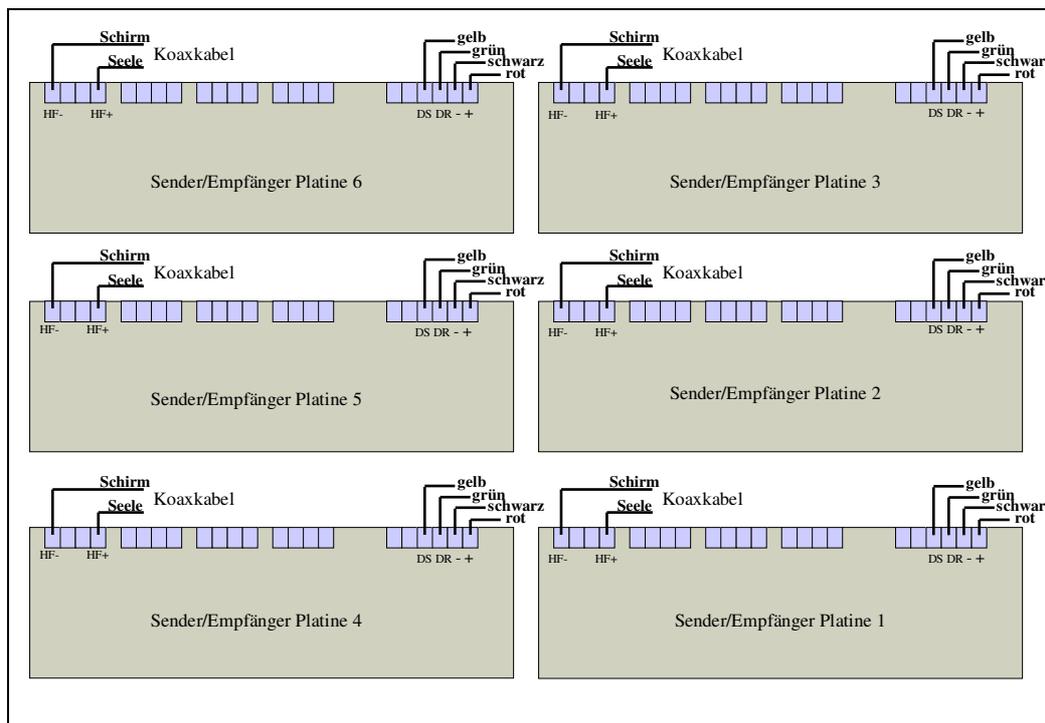


Abbildung A1: Verkabelung linker Schaltkasten

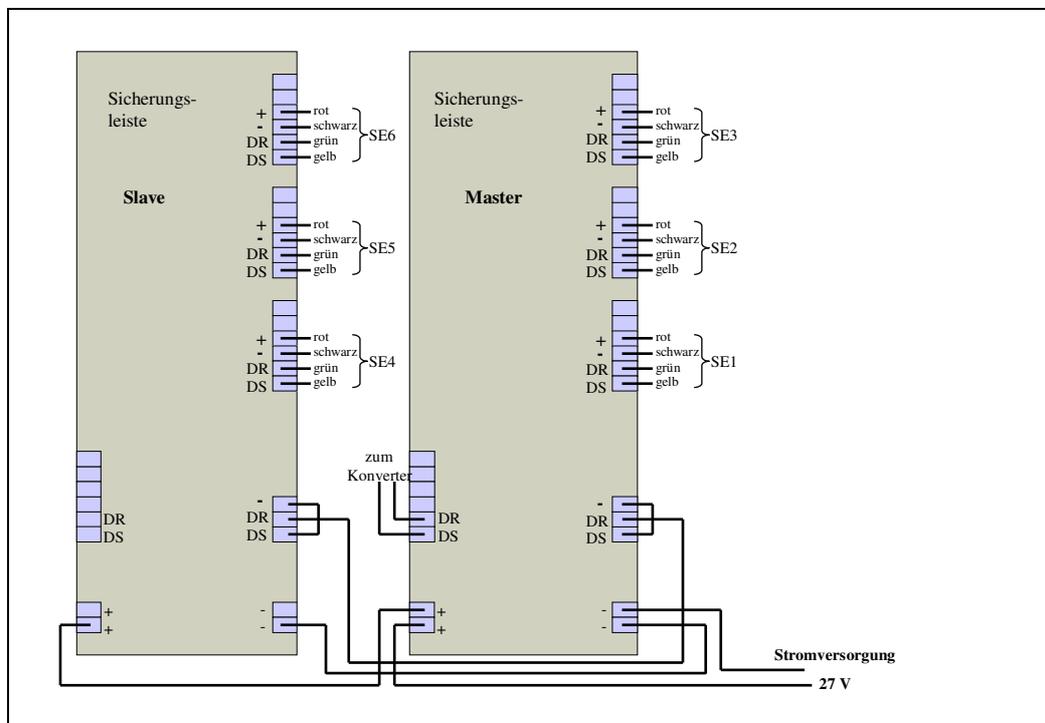


Abbildung A2: Verkabelung rechter Schaltkasten (Sicherungsplatten)

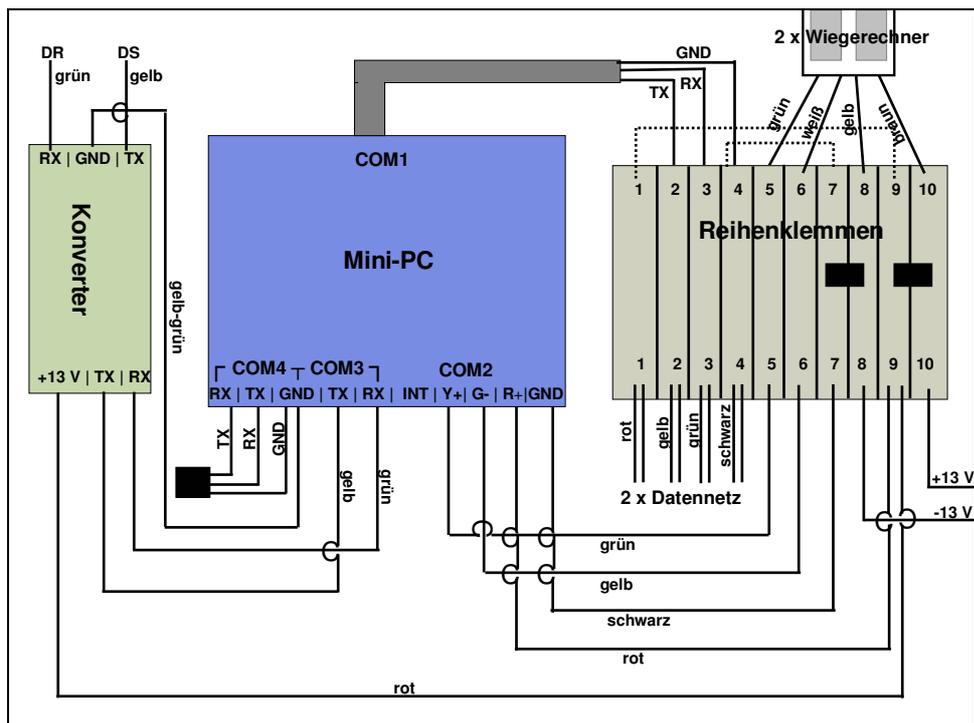


Abbildung A3: rechter Schaltkasten (Datenverkehr)

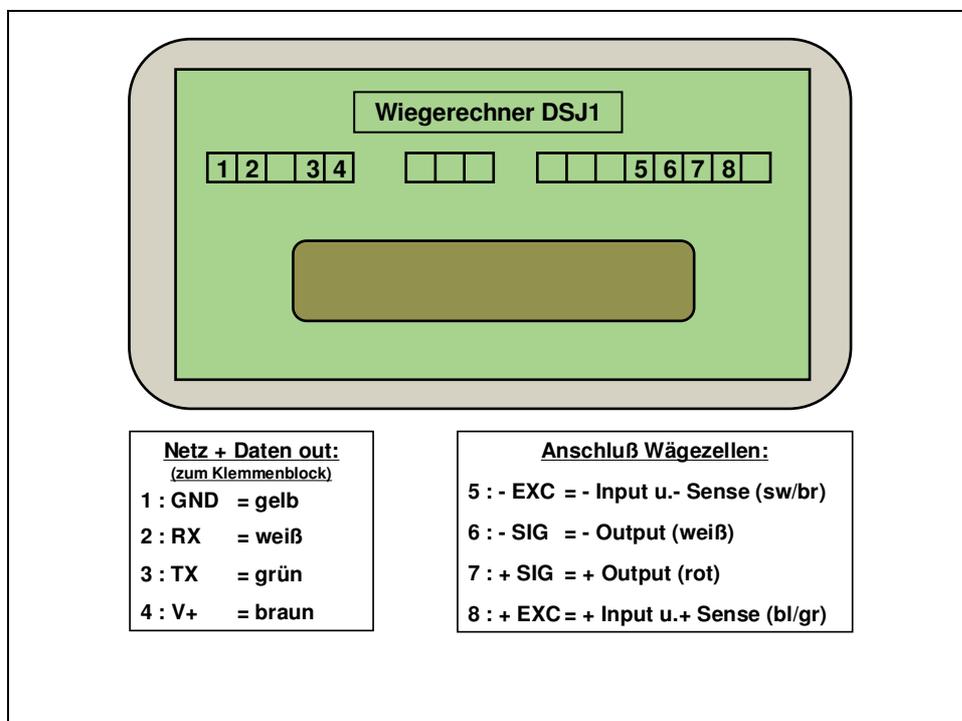


Abbildung A4: Anschlussplan Wiegerechner

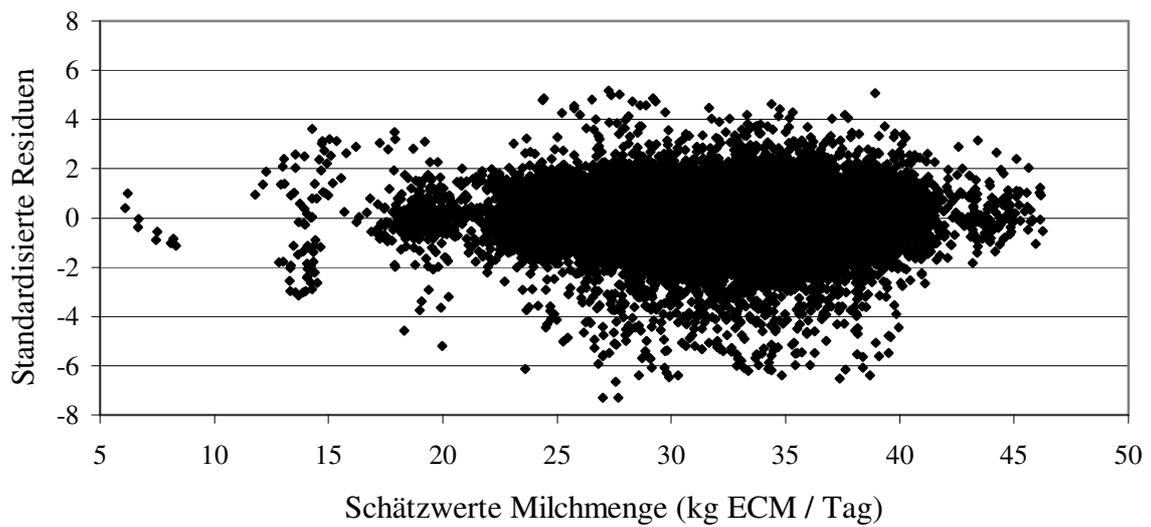


Abbildung A5: Residuen-Schätzwerteplot des Modells I für die Milchmenge (kg ECM / Tag)

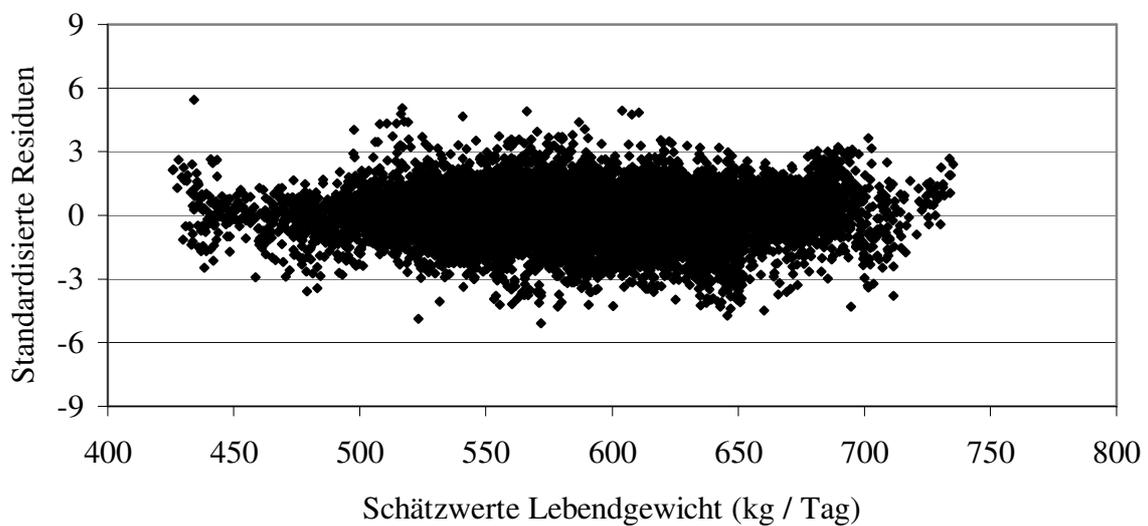


Abbildung A6: Residuen-Schätzwerteplot des Modells I für das Lebendgewicht (kg / Tag)

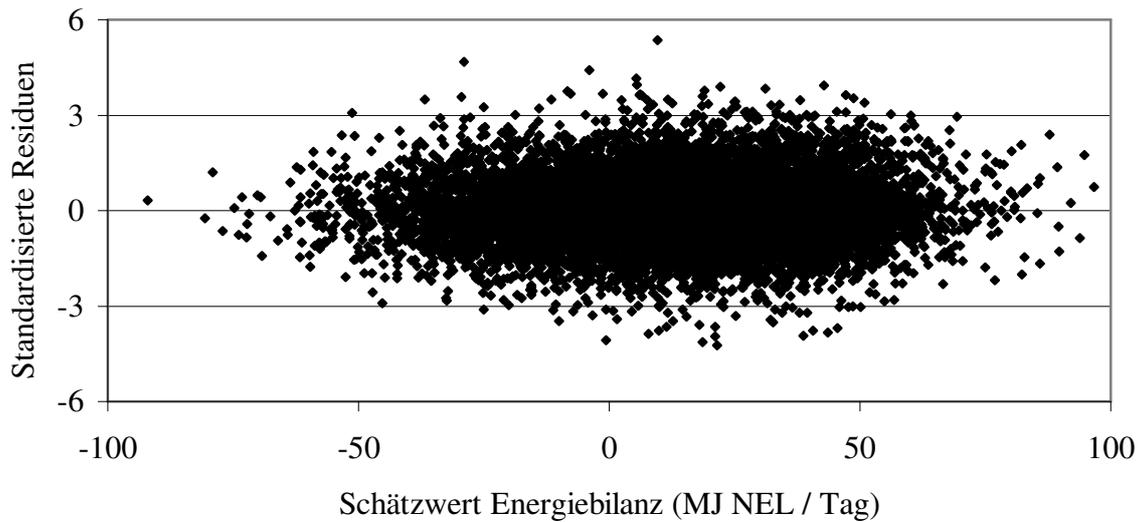


Abbildung A7: Residuen-Schätzwerteplot des Modells I für die Energiebilanz (MJ NEL / Tag)

$$R = 96,4 * \begin{bmatrix} 1 & 0,24 & 0,06 & 0,01 \\ & 1 & 0,24 & 0,06 \\ & & 1 & 0,24 \\ & & & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{identisch zu AR(1)} \\ \text{bei SP(EXP);} \end{array}$$

bei AR(1);

$$R = 95,2 * \begin{bmatrix} 1 & 0,21 & 0,12 & 0,00 \\ & 1 & 0,21 & 0,12 \\ & & 1 & 0,21 \\ & & & 1 \end{bmatrix} \quad R = 96,0 * \begin{bmatrix} 1 & 0,22 & 0,15 & 0,10 \\ & 1 & 0,22 & 0,15 \\ & & 1 & 0,22 \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

bei TOEP(3); bei TOEP(4);

Abbildung A8: Varianz-Kovarianz-Matrizen der Resteffekte des Lebendgewichts

$$R = 481 * \begin{bmatrix} 1 & 0,06 & 0,00 & 0,00 \\ & 1 & 0,06 & 0,00 \\ & & 1 & 0,06 \\ & & & 1 \end{bmatrix} \quad \text{SP(EXP) konvergierte nicht}$$

bei AR(1);

$$R = 482 * \begin{bmatrix} 1 & 0,05 & 0,08 & 0,00 \\ & 1 & 0,05 & 0,08 \\ & & 1 & 0,05 \\ & & & 1 \end{bmatrix} \quad R = 484 * \begin{bmatrix} 1 & 0,06 & 0,09 & 0,07 \\ & 1 & 0,06 & 0,09 \\ & & 1 & 0,06 \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

bei TOEP(3); bei TOEP(4);

Abbildung A9: Varianz-Kovarianz-Matrizen der Resteffekte der Energiebilanz

Tabelle A1: Zusammensetzung der Vormischung (in % der Frischmasse)

Komponenten in % FM	ab 01.09.2005	ab 29.09.2005	ab 31.10.2006
Mais	19	18	18
Trockenschnitzel	12	15	18
Melasse	5	5	2
SoyPass®	15	10	10
Rapsexpeller	18	23	23
RaPass®	12	12	12
Weizen	19	17	17

Tabelle A2: Überschreitungswahrscheinlichkeiten (p-Werte) des F-Tests für die Erstkalbealterklasse bei den verschiedenen Kombinationen in Abhängigkeit vom Energiebilanzmerkmal und vom Teillaktationsmerkmal

	MEB50	MEB100	DED	TED	MED	MinEB
Milchleistungsklasse	0,0944	0,0579	0,0253	0,0287	0,0223	0,1300
Fettmengenkategorie	0,0857	0,0349	0,0627	0,0651	0,0063	0,0920
Eiweißmengenkategorie	0,0366	0,0250	0,0180	0,0199	0,0100	0,0480
Fettgehaltskategorie	0,2445	0,0877	0,0591	0,0713	0,0476	0,2973
Eiweißgehaltskategorie	0,0027	0,0009	0,0008	0,0018	0,0009	0,0236
Futteraufnahmekategorie	0,4357	0,1655	0,3422	0,2393	0,0289	0,0953
Lebendgewichtskategorie	0,1385	0,1201	0,0693	0,0631	0,0669	0,1473
BCS-Kategorie	0,0321	0,0117	0,0081	0,0089	0,0041	0,0637

Tabelle A3: Überschreitungswahrscheinlichkeiten (p-Werte) des F-Tests der Kalbesaison bei den verschiedenen Kombinationen in Abhängigkeit vom Energiebilanzmerkmal und vom Teillaktationsmerkmal

	MEB50	MEB100	TED	DED	MED	MinEB
Milchleistungskategorie	0,6285	0,0774	0,3724	0,4917	0,8459	0,8094
Fettmengenkategorie	0,3210	0,0290	0,1612	0,2929	0,5461	0,7555
Eiweißmengenkategorie	0,3190	0,0273	0,2107	0,1277	0,2273	0,6866
Fettgehaltskategorie	0,9423	0,3100	0,7157	0,7480	0,6692	0,9637
Eiweißgehaltskategorie	0,0037	0,0001	0,0026	0,0012	0,0809	0,1744
Futteraufnahmekategorie	0,9079	0,6703	0,9409	0,7050	0,3624	0,8516
Lebendgewichtskategorie	0,4454	0,0849	0,3741	0,3792	0,4080	0,8397
BCS-Kategorie	0,2150	0,0142	0,1149	0,1042	0,3781	0,6445

Tabelle A4: Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf die mittlere Energiebilanz vom 11.-100. Laktationstag (LSQ-Mittelwerte und paarweiser Mittelwertvergleich)

Teillaktationsmerkmal	p-Wert	1	2	3	4	5
Milchleistungsklasse	0,0081	11,2 ^a	3,2 ^{ab}	4,7 ^{ab}	-6,3 ^{ab}	-11,9 ^b
Fettmengenkategorie	0,0005	11,5 ^a	4,5 ^a	5,0 ^a	0,9 ^{ab}	-4,3 ^{ab}
Eiweißmengenkategorie	0,0264	12,6 ^a	5,5 ^{ab}	-7,7 ^b	-2,3 ^{ab}	-16,4 ^b
Fettgehaltsklasse	0,2057	9,4 ^a	-1,7 ^a	7,8 ^a	0,0 ^a	-7,8 ^a
Eiweißgehaltsklasse	0,0007	-17,8 ^a	0,7 ^{ab}	3,7 ^b	6,8 ^b	13,3 ^b
Futtermittelklasse	< 0,0001	-20,3 ^a	-7,6 ^{ab}	-1,4 ^{bc}	13,8 ^c	16,1 ^c
Lebendgewichtskategorie	0,3541	3,5 ^a	5,9 ^a	0,6 ^a	4,6 ^a	-8,6 ^a
BCS-Kategorie	0,3870	-2,3 ^a	7,9 ^a	-1,8 ^a	-4,2 ^a	6,8 ^a

^{a-c}: Bei unterschiedlichen Buchstaben sind die Unterschiede signifikant ($\alpha = 0,05$).

Tabelle A5: Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf das totale Energiedefizit (LSQ-Mittelwerte und paarweiser Mittelwertvergleich)

Teillaktationsmerkmal	p-Wert	1	2	3	4	5
Milchleistungskategorie	0,0118	-371 ^a	-744 ^{ab}	-757 ^{ab}	-1272 ^b	-1413 ^b
Fettmengenkategorie	0,0002	-416 ^a	-633 ^a	-572 ^a	-932 ^{ab}	-1783 ^b
Eiweißmengenkategorie	0,0561	-345 ^a	-681 ^a	-1279 ^a	-1047 ^a	-1071 ^a
Fettgehaltsklasse	0,1758	-537 ^a	-961 ^a	-487 ^a	-947 ^a	-1311 ^a
Eiweißgehaltsklasse	0,0016	-1758 ^a	-863 ^{ab}	-735 ^b	-662 ^b	-274 ^b
Futtermittelklasse	< 0,0001	-1934 ^a	-953 ^b	-685 ^b	-304 ^b	-450 ^b
Lebendgewichtskategorie	0,6314	-784 ^a	-666 ^a	-1023 ^a	-694	-1174 ^a
BCS-Kategorie	0,2411	-1004 ^a	-739 ^a	-1161 ^a	-1034 ^a	-348 ^a

^{a, b}: Bei unterschiedlichen Buchstaben sind die Unterschiede signifikant ($\alpha = 0,05$).

Tabelle A6: Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf die Dauer des Energiedefizits (LSQ-Mittelwerte und paarweiser Mittelwertvergleich)

Teillaktationsmerkmal	p-Wert	1	2	3	4	5
Milchleistungskategorie	0,0282	33,5 ^a	44,7 ^a	42,3 ^a	59,8 ^a	59,5 ^a
Fettmengenkategorie	0,0017	33,3 ^a	42,4 ^{ab}	39,3 ^a	49,6 ^{ab}	70,1 ^b
Eiweißmengenkategorie	0,0444	34,2 ^a	37,9 ^a	62,0 ^a	51,7 ^a	51,5 ^a
Fettgehaltsklasse	0,3074	37,2 ^a	49,9 ^a	36,7 ^a	50,3 ^a	57,4 ^a
Eiweißgehaltsklasse	0,0002	74,3 ^a	51,2 ^{ab}	44,3 ^b	36,3 ^b	27,5 ^b
Futtermittelklasse	0,0002	71,4 ^a	58,4 ^{ac}	45,3 ^{ab}	30,2 ^b	31,8 ^{bc}
Lebendgewichtskategorie	0,5976	40,0 ^a	42,0 ^a	50,6 ^a	43,0 ^a	57,4 ^a
BCS-Kategorie	0,3653	50,2 ^a	37,9 ^a	53,3 ^a	54,3 ^a	37,5 ^a

^{a-c}: Bei unterschiedlichen Buchstaben sind die Unterschiede signifikant ($\alpha = 0,05$).

Tabelle A7: Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf die tiefste tägliche Energiebilanz (LSQ-Mittelwerte und paarweiser Mittelwertvergleich)

Teillaktationsmerkmal	p-Wert	1	2	3	4	5
Milchleistungsklasse	0,0074	-52,2 ^a	-64,7 ^{ab}	-61,5 ^{ab}	-72,6 ^b	-77,4 ^b
Fettmengenkategorie	0,0004	-53,7 ^a	-60,9 ^a	-57,3 ^a	-70,7 ^{ab}	-80,8 ^b
Eiweißmengenkategorie	0,0202	-54,7 ^a	-57,6 ^{ab}	-75,6 ^b	-66,8 ^{ab}	-69,8 ^{ab}
Fettgehaltsklasse	0,2959	-54,4 ^a	-66,7 ^a	-61,2 ^a	-68,1 ^a	-70,2 ^a
Eiweißgehaltsklasse	0,0097	-79,1 ^a	-69,0 ^{ab}	-61,4 ^{ab}	-62,7 ^{ab}	-51,5 ^b
Futteraufnahmekategorie	0,0074	-80,2 ^a	-68,4 ^{ab}	-61,4 ^{ab}	-54,2 ^b	-58,9 ^{ab}
Lebendgewichtskategorie	0,2917	-62,3 ^a	-56,4 ^a	-65,9 ^a	-65,8 ^a	-72,9 ^a
BCS-Kategorie	0,5659	-67,3 ^a	-60,6 ^a	-69,1 ^a	-67,3 ^a	-57,7 ^a

^{a, b}: Bei unterschiedlichen Buchstaben sind die Unterschiede signifikant ($\alpha = 0,05$).

Tabelle A8: Einfluss der Teillaktationsmerkmale auf das mittlere Energiedefizit (LSQ-Mittelwerte und paarweiser Mittelwertvergleich)

Teillaktationsmerkmal	p-Wert	1	2	3	4	5
Milchleistungskategorie	0,0639	-13,9 ^a	-18,2 ^a	-19,4 ^a	-22,9 ^a	-24,3 ^a
Fettmengenkategorie	0,0239	-14,2 ^a	-18,6 ^{ab}	-16,6 ^{ab}	-20,6 ^a	-26,7 ^a
Eiweißmengenkategorie	0,0751	-12,9 ^a	-19,0 ^a	-23,0 ^a	-18,8 ^a	-22,9 ^a
Fettgehaltsklasse	0,6110	-15,8 ^a	-19,3 ^a	-17,1 ^a	-20,8 ^a	-22,5 ^a
Eiweißgehaltsklasse	0,0512	-27,2 ^a	-16,4 ^a	-16,9 ^a	-19,5 ^a	-15,2 ^a
Futteraufnahmekategorie	0,0018	-30,0 ^a	-17,9 ^b	-15,9 ^b	-14,3 ^b	-17,1 ^b
Lebendgewichtskategorie	0,8035	-18,2 ^a	-16,6 ^a	-20,1 ^a	-19,5 ^a	-22,0 ^a
BCS-Kategorie	0,6461	-19,1 ^a	-20,4 ^a	-21,9 ^a	-19,5 ^a	-15,1 ^a

^{a, b}: Bei unterschiedlichen Buchstaben sind die Unterschiede signifikant ($\alpha = 0,05$).

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich den Personen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Ernst Kalm danke ich sehr für das Vertrauen und die gewährleisteten Freiräume bei der Entwicklung der Grundfutteranlage sowie die Möglichkeit, meine Ergebnisse auf Tagungen im In- und Ausland vorzustellen.

Bei Herrn Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum bedanke ich mich für die Übernahme des Koreferates und die gute fachliche Unterstützung.

Herrn Dr. Wolfgang Junge sei gedankt für die konstruktive Zusammenarbeit und die wertvollen Anregungen in Bezug auf den praktischen und theoretischen Teil dieser Arbeit. Die gemeinsame Entwicklung der Grundfutteranlage war für mich höchst interessant und lehrreich.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Eckard Stamer für die Hilfsbereitschaft und die wissenschaftliche Betreuung bei den statistischen Berechnungen sowie das freundschaftliche Verhältnis.

Danken möchte ich der Technologiestiftung Schleswig-Holstein für die finanzielle Unterstützung.

In Bezug auf die praktische Durchführung dieser Arbeit bedanke ich mich bei allen Helfern, die beim Aufbau der Grundfutteranlage unter teilweise widrigen Umständen und den späteren Routinearbeiten mitgewirkt haben, allen voran Bernhard Diekmann, Tobias Mahnke-Nissen, Inka-Donata Niehoff, Maren Schlender, Eike Wilhelm Reinhardt und Anna Lensch.

Für die schöne Zeit am Institut danke ich allen Mitarbeitern, insbesondere meinen Containermitbewohnern und den Kollegen des 2. Stocks für das angenehme Arbeitsklima und den einen oder anderen netten Feierabend. Ganz besonders bedanke ich mich bei meinen Kollegen Gerald Otto, Kirsten Sanders und Imke Gerjets für die angenehmen Tage im gemeinsamen Büro.

Mein größter Dank jedoch gilt meiner Familie und Imke für ihre Unterstützung.

LEBENS LAUF

Name: Hauke Hüttmann

Geburtsdatum: 29.10.1976

Geburtsort: Itzehoe

Familienstand: ledig

Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulische Ausbildung

1983–1987 Besuch der Grund- und Hauptschule Heiligenstedten

1987–1996 Besuch der Kaiser-Karl-Schule in Itzehoe

Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Wehrdienst

Sept. 1996–Juni 1997 Grundwehrdienst bei der 1./610 AbcAbwBtl in Albersdorf

Studium

Okt. 1997–Juli 1999 Studium der Agrarwissenschaften an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Berufsausbildung

Juli 1998–Juli 1999 Landwirtschaftliches Praktikum bei der Nordsaat Saatzuchtgesellschaft, Gutsverwaltung Hülsenhain
Anerkennung des Praktikums als 2. Ausbildungsjahr

Juli 1999–Juli 2000 3. Ausbildungsjahr bei K.-J. Ehlers, Rade

Abschluss: Landwirt

Fortführung des Studiums

seit Juli 2000 Fortführung des Studiums der Agrarwissenschaften an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Feb. 2001 Erwerb des Vordiploms und Wechsel des Studiengangs im Rahmen der Umstellung auf den Abschluss Bachelor of Science

Okt. 2002 Abschluss: Bachelor of Science

Aug. 2003 Abschluss: Master of Science

Berufliche Tätigkeit

seit Nov. 2003 Wissenschaftl. Mitarbeiter am Institut für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel bei Prof. Dr. Dr. h.c. mult. E. Kalm