

**Universität für Bodenkultur Wien**  
**University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna**  
**Department für Nachhaltige Agrarsysteme**  
**Institut für Nutztierwissenschaften**



Universität für  
Bodenkultur Wien



Department für  
Nachhaltige Agrarsysteme

**Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für  
Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein**  
**Institut für Biologische Landwirtschaft und  
Biodiversität der Nutztiere**



raumberg-gumpenstein.at

**Bi Institut**

raumberg-gumpenstein.at/bio-institut

# **Einfluss einer kurzfristigen Energieunterversorgung auf Milchleistung, physiologische Parameter und das Mid-Infrarot-Spektrum der Milch von Kühen im ersten Laktationsdrittel**

Masterarbeit der Studienrichtung Nutztierwissenschaften

**Michael Prinz BSc**

Betreuer:

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.rer.nat. Johann Sölkner

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Andreas Steinwider

Wien, im Mai 2015

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Wien, 28. Mai 2015

Ort, Datum

---

Unterschrift (Michael Prinz BSc)

## **Danksagung**

Ein großes Dankeschön möchte ich meinen engagierten Betreuern, Herrn Dr. Johann Sölkner und Herrn Dr. Andreas Steinwider, aussprechen. Durch deren Ratschläge und Anregungen über den gesamten Entstehungszeitraum wurde diese Masterarbeit erst möglich.

Bedanken möchte ich mich auch bei der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, wo ich ein vierwöchiges Praktikum absolvieren durfte, und deren Mitarbeitern, welche mir die Versuchsdaten für diese Arbeit zur Verfügung stellten.

Bei Frau Daniela Höller möchte ich mich für die zahlreichen Hilfestellungen, vor allem beim Datenmanagement, herzlich bedanken.

Zuletzt gilt mein Dank meiner Freundin Elisabeth sowie meiner Familie, welche mich stets für diese Arbeit sowie mein gesamtes Studium unterstützten und motivierten.

## Kurzfassung

Ziel dieser Masterarbeit war es die Auswirkungen einer kurzfristigen energetischen Unterversorgung durch Futterrestriktion bei Milchkühen im ersten Laktationsdrittel zu untersuchen. Dabei wurde auf die Parameter Milchleistung und –inhaltsstoffe sowie verschiedene Blutparameter und auf die Nachwirkungen der Futterrestriktion in den folgenden fünf Wochen eingegangen. Weiters wurde das Mid-Infrarot-Spektrum aller Milchproben gemessen, mit dessen Hilfe die Energieversorgung sowie Blutparameter geschätzt werden sollten. Über einen Versuchszeitraum von acht Wochen wurden 23 Datensätze von 15 Kühen einer speziell auf Lebensleistung selektierten Holstein Friesian-Linie und acht Braunvieh-Kühen erhoben. Die Kühe wurden gleichmäßig in zwei Gruppen eingeteilt. In der dritten Versuchswoche wurde die Futtermenge entsprechend einer angestrebten errechneten Energieunterversorgung von 20 (Gruppe 20) bzw. 30 MJ NEL/Tag (Gruppe 30) eingeschränkt. In den übrigen Wochen wurde eine bedarfsangepasste ad libitum Fütterung umgesetzt. Die angestrebte Energieunterversorgung in Versuchswoche 3 wurde nur eingeschränkt erreicht, da die Kühe hier auch mit einem Milchleistungsrückgang und damit geringerem Energiebedarf reagierten. Die Energiebilanz der Kühe lag in der Unterversorgungswoche bei -16,8 MJ NEL/Tag in der Gruppe 20 und -25,9 MJ NEL/Tag in der Gruppe 30.

Die Milchinhaltsstoffe Fett und Eiweiß unterschieden sich in der Unterversorgungswoche signifikant von den anderen Wochen ( $P\text{-Wert} < 0,001$ ), sie zeigten in dieser Woche ihren Hoch- (Fett) bzw. Tiefpunkt (Eiweiß). Sowohl der Fett-Eiweiß-Quotient (FEQ) als auch die Konzentration an Beta-Hydroxy-Buttersäure (BHB) hatten in der Unterversorgungswoche ihren Höchst- und die Glukose den Tiefstwert. In den Wochen nach der Futterrestriktion konnten die Tiere vor allem in der stärker unterversorgten Gruppe die Futteraufnahme nicht ausreichend erhöhen um eine ausgeglichene Energiebilanz zu erreichen.

Die Ergebnisse der Nachwirkungen der Futterrestriktion zeigten, dass sich Tiere in höheren Laktationen schneller vom Energiemangel erholten, sie reagierten mit geringerem Milchleistungsrückgang als Tiere in der ersten Laktation.

Die Vorhersagekraft der MIR-Spektren für Energiebilanz und Energieaufnahme war besser als die des FEQ, es konnten Korrelationen von 0,60 für die Energiebilanz bzw. 0,75 für die Energieaufnahme erreicht werden, der FEQ erreichte eine Korrelation von -0,42 mit der Energiebilanz. Die Vorhersagekraft der MIR-Spektren für Blutparameter fiel niedriger aus, es wurden Korrelationen von 0,28 für die Beta-Hydroxy-Buttersäure bzw. 0,15 für die freien Fettsäuren (FFS) erreicht.

## **Abstract**

The objective of this master thesis was to analyze the effects of a short-term energy undersupply through feeding restriction on dairy cows in the first third of lactation. The parameters milk yield, milk components and different blood parameters were analyzed as well as the aftermath of the feeding restriction in the five following weeks. In each milk sample the mid-infrared (MIR) spectrum was measured, the spectra were used for predicting energy balance and blood parameters. The experiment lasted for eight weeks, 23 data sets of 15 Holstein and eight Brown Swiss cows were collected. The cows were separated equally in two groups. In the third week of the trial the feed submission was reduced to get an energy undersupply of 20 (group 20) and 30 MJ NEL/day (group 30). In the other weeks the cows were fed ad libitum appropriately. The target values for the energy undersupply in the third week were obtained only partially because the cows reacted with a lower milk yield and respectively lower energy demand. The energy balance of the cows in the week of energy undersupply was -16.8 MJ NEL/day in group 20 and -25.9 MJ NEL/day in group 30.

The milk components fat and protein were significantly different in the week of undersupply to the other weeks ( $p\text{-value} < 0.001$ ), they showed their maximum (fat) and minimum (protein) in this week. The fat to protein ratio and the concentration of beta-hydroxybutyric-acid had their maximum, glucose the minimum in this week. In the weeks after the feeding restriction the animals, especially the group with higher undersupply, could not increase the feed intake enough for reaching an even energy balance.

Animals in higher lactations recovered faster from the energy undersupply, they reacted with a lower reduction of milk yield than cows in the first lactation.

The MIR spectra were better in predicting energy balance and energy intake than the fat to protein ratio, the correlation was 0.60 for the energy balance and 0.75 for the energy intake whereas the fat to protein ratio showed a correlation of -0.42 with the energy balance. For predicting blood parameters the MIR spectra showed comparatively low correlations of 0.28 for beta-hydroxybutyric acid and 0.15 for free fatty acids.

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                      |      |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| Eidesstattliche Erklärung .....                                      | I    |
| Danksagung .....                                                     | II   |
| Kurzfassung .....                                                    | III  |
| Abstract .....                                                       | IV   |
| Inhaltsverzeichnis .....                                             | V    |
| Tabellenverzeichnis .....                                            | VI   |
| Abbildungsverzeichnis .....                                          | VII  |
| Abkürzungsverzeichnis .....                                          | VIII |
| 1 Einleitung .....                                                   | 1    |
| 2 Literaturübersicht .....                                           | 1    |
| 2.1 Fütterungsversuche zur Energieversorgung .....                   | 1    |
| 2.2 Milchinhaltsstoffe .....                                         | 3    |
| 2.3 Blutparameter .....                                              | 3    |
| 2.4 MIR-Spektren .....                                               | 5    |
| 3 Tiere, Material und Methoden .....                                 | 6    |
| 3.1 Tiere .....                                                      | 6    |
| 3.2 Haltung .....                                                    | 7    |
| 3.3 Fütterung .....                                                  | 7    |
| 3.4 Datenerhebung / Beobachtungszeitraum .....                       | 9    |
| 3.5 Statistische Auswertung .....                                    | 10   |
| 4 Ergebnisse .....                                                   | 12   |
| 4.1 Futtermittelanalysen .....                                       | 12   |
| 4.2 Varianzanalyse Fütterungsversuch .....                           | 13   |
| 4.2.1 Futteraufnahme und –inhaltsstoffe .....                        | 13   |
| 4.2.2 Milchleistung und –inhaltsstoffe sowie Energieversorgung ..... | 16   |
| 4.2.3 Blutparameter .....                                            | 21   |
| 4.3 Nachwirkungen der Energieunterversorgung .....                   | 23   |
| 4.4 Korrelationen zwischen Fütterungsversuchsparametern .....        | 25   |
| 4.5 Korrelationen der MIR-Spektren, Partial least squares .....      | 26   |
| 5 Diskussion .....                                                   | 27   |
| Literaturverzeichnis .....                                           | 34   |

## **Tabellenverzeichnis**

|                                                                                                                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabelle 1: Daten zu den Versuchstieren zu Versuchsbeginn (Versuchswoche 1) .....</i>                                                                                                 | <i>7</i>  |
| <i>Tabelle 2: Versuchsplan .....</i>                                                                                                                                                    | <i>8</i>  |
| <i>Tabelle 3: Trockenmasse-, Nährstoff- und Energiegehalt der Rationskomponenten .....</i>                                                                                              | <i>12</i> |
| <i>Tabelle 4: Futteraufnahme und -inhaltsstoffe im Verlauf der Versorgungsgruppen, Laktationsgruppen und Versuchswochen (Haupteffekte) .....</i>                                        | <i>14</i> |
| <i>Tabelle 5: Futteraufnahme und –inhaltsstoffe im Verlauf der Versuchswochen in den Versorgungsgruppen .....</i>                                                                       | <i>15</i> |
| <i>Tabelle 6: Milchleistung und –inhaltsstoffe sowie Energieversorgung im Verlauf der Versorgungsgruppen, Laktationsgruppen und Versuchswochen (Haupteffekte) .....</i>                 | <i>16</i> |
| <i>Tabelle 7: Milchleistung und –inhaltsstoffe sowie Energieversorgung im Verlauf der Versuchswochen in den Versorgungsgruppen .....</i>                                                | <i>17</i> |
| <i>Tabelle 8: Blutparameter im Verlauf der Versorgungsgruppen, den Laktationsgruppen sowie den Versuchswochen (Haupteffekte) .....</i>                                                  | <i>21</i> |
| <i>Tabelle 9: Blutparameter im Verlauf der Versuchswochen in den Versorgungsgruppen .....</i>                                                                                           | <i>21</i> |
| <i>Tabelle 10: Nachwirkungen von verschiedenen Energieunterversorgungen auf Milchleistung und –inhaltsstoffe sowie Blutparameter in den nachfolgenden Versuchswochen (Teil 1) .....</i> | <i>23</i> |
| <i>Tabelle 11: Nachwirkungen von verschiedenen Energieunterversorgungen auf Milchleistung und –inhaltsstoffe sowie Blutparameter in den nachfolgenden Versuchswochen (Teil 2) .....</i> | <i>24</i> |
| <i>Tabelle 12: Korrelationen und P-Werte von Milchleistung und –inhaltsstoffen, Energiebilanz und Blutparametern mit BHB, Milchleistung und Energiebilanz .....</i>                     | <i>25</i> |
| <i>Tabelle 13: Korrelationen der MIR-Spektren für Trainings- und Testdatensatz .....</i>                                                                                                | <i>26</i> |

## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Abbildung 1: Milchleistung im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen .....</i>                    | <i>18</i> |
| <i>Abbildung 2: Energiekorrigierte Milchleistung im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen .....</i> | <i>19</i> |
| <i>Abbildung 3: Fettgehalt der Milch im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen .....</i>             | <i>19</i> |
| <i>Abbildung 4: Eiweißgehalt der Milch im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen .....</i>           | <i>19</i> |
| <i>Abbildung 6: Fett-Eiweiß-Quotient der Milch im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen .....</i>   | <i>20</i> |
| <i>Abbildung 7: Energiebilanz im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen .....</i>                    | <i>20</i> |
| <i>Abbildung 8: BHB-Konzentration im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen .....</i>                | <i>22</i> |
| <i>Abbildung 9: Glukosekonzentration im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen .....</i>             | <i>22</i> |

## Abkürzungsverzeichnis

|       |                                                 |
|-------|-------------------------------------------------|
| ADF   | Säure-Detergenz-Faser                           |
| ADL   | Säure-Detergenz-Lignin                          |
| BCS   | Body-Condition-Score                            |
| BHB   | Beta-Hydroxy-Buttersäure                        |
| BILTS | Totalbilirubin                                  |
| BV    | Braunvieh                                       |
| bzw.  | beziehungsweise                                 |
| Ca    | Calcium                                         |
| cm    | Zentimeter                                      |
| Cu    | Kupfer                                          |
| dl    | Deziliter                                       |
| ECM   | Energiekorrigierte Milchleistung                |
| FEQ   | Fett-Eiweiß-Quotient                            |
| FFS   | Freie Fettsäuren                                |
| FM    | Frischmasse                                     |
| g     | Gramm                                           |
| G     | Gruppe                                          |
| G20   | Gruppe mit 20 MJ NEL/Tag Energieunterversorgung |
| G30   | Gruppe mit 30 MJ NEL/Tag Energieunterversorgung |
| GGT   | Gamma-Glutamyl-Transferase                      |
| GOT   | Aspartat-Amino-Transferase                      |
| HFL   | Holstein Friesian der Lebensleistungszucht      |

|       |                                   |
|-------|-----------------------------------|
| IU    | Internationale Einheit            |
| K     | Kalium                            |
| kg    | Kilogramm                         |
| l     | Liter                             |
| L     | Laktationsklasse                  |
| Law   | Laktationswoche zu Versuchsbeginn |
| lib.  | libitum                           |
| LM    | Lebendmasse                       |
| LS    | Least square                      |
| LV    | Latente Variable                  |
| ME    | Metabolische Energie              |
| mean  | Arithmetischer Mittelwert         |
| Mg    | Magnesium                         |
| mg    | Milligramm                        |
| Milch | Milchleistung                     |
| MIR   | Mid-Infrarot                      |
| MJ    | Megajoule                         |
| ml    | Milliliter                        |
| mm    | Millimeter                        |
| mmol  | Millimol                          |
| Mn    | Mangan                            |
| MS    | Microsoft                         |
| μmol  | Mikromol                          |
| Na    | Natrium                           |

|                 |                                          |
|-----------------|------------------------------------------|
| NDF             | Neutral-Detergenz-Faser                  |
| NEL             | Nettoenergielaktation                    |
| NEL3            | Energieversorgung in der Versuchswoche 3 |
| nXP             | Nutzbare Rohprotein                      |
| P               | Phosphor                                 |
| pls             | partial least square                     |
| Q <sub>5</sub>  | 5%-Quantil                               |
| Q <sub>95</sub> | 95%-Quantil                              |
| REG             | Regression                               |
| RFD             | Rückenfettdicke                          |
| RNB             | Ruminale Stickstoffbilanz                |
| sd              | Standardabweichung                       |
| s <sub>e</sub>  | Residualstandardabweichung               |
| TM              | Trockenmasse                             |
| UREL            | Harnstoff im Blut                        |
| VW              | Versuchswoche                            |
| VW3             | Versuchswoche 3                          |
| XF              | Rohfaser                                 |
| XP              | Rohprotein                               |
| Zn              | Zink                                     |
| %               | Prozent                                  |
| <               | kleiner als                              |
| >               | größer als                               |

## **1 Einleitung**

Energieunterversorgung kann bei Milchkühen vor allem im ersten Laktationsdrittel auftreten, zur Zeit der höchsten Milchleistung. Dies kann schwerwiegende Folgen haben, vor allem Tiere mit höherem Body-Condition-Score müssen Depotfett mobilisieren, da ihre Futteraufnahme postpartum langsamer ansteigt als bei schwächer konditionierten Tieren, was den Stoffwechsel, insbesondere die Leber, stark belastet und zu Ketose führen kann (Kolb, 1981; West, 1989; Rossow et al., 1991; Rukkwamsuk et al., 1999). In diese Zeit fällt auch die Belegung zum nächsten Kalb, bei stark energieunterversorgten Kühen leidet die Fruchtbarkeit (Kirchgeßner et al., 2011), es müssen mehr Tiere ausgeschieden werden, die Nutzungsdauer sinkt. Daher ist es wichtig über die Energieversorgung der Tiere Bescheid zu wissen um nötigenfalls darauf reagieren zu können. Bei steigender Milchleistung sinkt oftmals die Energiebedarfsdeckung der Kühe (de Vries und Veerkamp, 2000), da das Futteraufnahmevermögen der Rinder nicht im gleichen Ausmaß wie die Milchleistung steigt (Gruber et al., 2006).

In der vorliegenden Arbeit werden die Auswirkungen einer in einem Fütterungsversuch gezielt herbeigeführten kurzfristigen (eine Woche) Energieunterversorgung durch Futterrestriktion bei Milchkühen im ersten Laktationsdrittel untersucht. Ziel dieser Arbeit ist es dabei die Auswirkungen auf Milchleistung und –inhaltsstoffe sowie Blutparameter als auch Nachwirkungen der Energieunterversorgung auf diese Parameter zu untersuchen. Weiters beschäftigt sich diese Arbeit mit dem Mid-Infrarot-Spektrum der Milch, es sollte die Vorhersagekraft der Spektren zur Beurteilung der Energieversorgung geprüft sowie die Korrelation zu Milchinhaltsstoffen und physiologischen Parametern untersucht werden.

## **2 Literaturübersicht**

Fütterungsversuche mit Milchkühen sind von großer Bedeutung für Wissenschaft und folge dessen auch für die Praxis, welche von den Ergebnissen daraus profitieren kann. Die Milchwirtschaft ist weltweit einer der wichtigsten Produktionszweige der Landwirtschaft, die Produktion kann aufgrund der unterschiedlichen Gegebenheiten in vielen verschiedenen Systemen funktionieren. Dies begründet unter anderem die große Anzahl an derartigen Versuchen.

### **2.1 Fütterungsversuche zur Energieversorgung**

Der Zusammenhang zwischen Energieversorgung und verschiedenen Blutparametern wurde unter anderem von Urdl et al. (2014) bzw. Gruber et al. (2014) untersucht. Hierbei wurde die Auswirkung auf die Blutparameter bei verschiedenen Fütterungsintensitäten und

Energieversorgung pre- und postpartum untersucht. Sowohl pre- als auch post-partum wurden die Tiere auf drei verschiedenen Niveaus gefüttert, 75%, 100% bzw. 125% des Energiebedarfs waren über die Dauer von 84 Tagen vor dem voraussichtlichen Kalbedatum bzw. 105 Tage in der Laktation beabsichtigt. Die Energiebilanz lag pre-partum bei -15,5 MJ NEL/Tag, -3,1 MJ NEL/Tag bzw. 14,6 MJ NEL/Tag. Die Konzentration an Beta-Hydroxy-Buttersäure im Blutplasma lag bei den pre-partum normalversorgten und postpartum unterversorgten Tieren bei 1,47 mmol/l, die Glukosekonzentration bei 2,47 mmol/l. Der Fettgehalt der Milch lag dabei bei 4,46%, der Eiweißgehalt der Milch bei 2,96%. Es wurden Korrelationen zwischen den Blutparametern Beta-Hydroxy-Buttersäure und Glukose mit der Energiebilanz von -0,686 bzw. 0,735 über den gesamten Versuchszeitraum gemessen. Die Autoren weisen darauf hin, dass die Auswirkungen auf die Nährstoffversorgung bzw. physiologischen Parameter von Milchkühen nicht unabhängig von der Fütterung in der vorangegangenen Periode (z.B. Trockenstehzeitfütterung – Laktationsbeginn) sind.

Fütterungsrestriktion ist ein gängiges Mittel zur Energieunterversorgung bei Milchkühen und wurde unter anderem auch bei Alborno et al. (2014) bzw. Alborno et al. (2013) angewendet. Mit der Fütterung in der Transitphase beschäftigt sich Grummer (1995), dabei wird auf die Änderung der Konzentration der Blutparameter während der Transitphase drei Wochen vor und nach der Geburt aufgrund von Stress, geringerer Futteraufnahme sowie geändertem Energie- und Proteinbedarf eingegangen. Die Konzentration an Beta-Hydroxybuttersäure im Blut war bei besserer Energieversorgung geringer als bei Energiemangel.

In Gross et al. (2013) wird dabei unter anderem die Konzentration an verschiedenen physiologischen Parametern gemessen. Nach 100 Laktationstagen wurde der Energiebedarf der Tiere durch Futterrestriktion für drei Wochen nur zu 70% gedeckt. In diesem Versuch hatte dies keine signifikanten Auswirkungen auf die Konzentration von Beta-Hydroxy-Buttersäure im Blutplasma gegenüber einer Kontrollgruppe, sie lagen zwischen 0,50 und 0,60 mmol/l in der Versuchsgruppe bzw. zwischen 0,54 und 0,59 mmol/l in der Kontrollgruppe.

In Drackley et al., (1992) wurden 13 Milchkühe vom 14. Bis zum 42. Laktationstag in einem Fütterungsversuch in zwei Gruppen eingeteilt, sieben in eine Versuchsgruppe mit 80% des Futters der ad libitum-Gruppe sowie zusätzlichen 1,3-Butandiol (7% der Trockenmasse) sowie sechs Kühe in eine Kontrollgruppe. Die Konzentration an Beta-Hydroxybuttersäure sowie an freien Fettsäuren stieg dabei während der Unterversorgung an. Stärker unterversorgte Tiere reagierten intensiver auf den Energiemangel mit höheren BHB- und FFS-Konzentrationen.

## **2.2 Milchinhaltsstoffe**

Die Milchinhaltsstoffe Fett und Eiweiß sowie der Fett-Eiweiß-Quotient lassen auf die Energieversorgung der Kühe Rückschlüsse zu. In einem Versuch von Siebert und Pallauf (2010) wurde gezeigt, dass 31,4% der untersuchten Milchkühe in höheren Laktationen (>2) zu Laktationsbeginn einen Fett-Eiweiß-Quotienten über 1,5 aufweisen, was auf erhöhtes Ketoserisiko deutet. Als Grenzwerte für Milchinhaltsstoffe werden in der Literatur meist 4,8% beim Fettgehalt (bei Holstein Friesian), 3,2% beim Eiweißgehalt bzw. 1,5 beim Fett-Eiweiß-Quotienten (Heuer et al., 2000; Rossow et al., 1991; Spohr und Wiesner, 1991) angegeben. Messwerte, die außerhalb dieser Grenzwerte liegen (höher bei Fettgehalt und Fett-Eiweiß-Quotient und niedriger bei Eiweißgehalt), lassen auf Energiedefizite schließen. Tiere, die zu Laktationsbeginn stark erhöhte Fett-Eiweiß-Quotienten aufweisen, haben ein höheres Abgangsrisiko, laut Bergk und Swalve (2011) steigt es im Zeitraum von 300 Tagen nach der ersten Abkalbung stieg die Abgangsrate von 10% auf 22% (bei 21 Testherden mit durchschnittlich 781 Milchkühen in Mecklenburg-Vorpommern).

In Reist et al. (2002) wurden 90 hochleistende Milchkühe der Rasse Holstein Friesian von der ersten bis zur 10. Laktationswoche untersucht. Dabei konnten Korrelationen des Fett-Eiweiß-Quotienten mit der Energiebilanz von -0,496 erreicht werden. Weiters wurden Korrelationen von -0,451 bei Beta-Hydroxybuttersäure sowie von -0,685 bei freien Fettsäuren für die Energiebilanz festgestellt.

Der Zusammenhang zwischen dem Fett-Eiweiß-Quotient der Milch und der Energiebilanz wurde unter anderem in Buttchereit et al. (2010) bzw. Buttchereit et al. (2011) untersucht. Dabei zeigte sich, dass die negative Korrelation des Fett-Eiweiß-Quotienten mit der Energiebilanz im Laufe der Laktation geringer wird (-0,40 bis -0,45 zwischen 15. und 35. Laktationstag bzw. -0,15 bis -0,20 zwischen 95. und 155. Laktationstag). Aus Loeffler et al. (1999) geht hervor, dass ein erhöhter Fett-Eiweiß-Quotient auch Fruchtbarkeitsprobleme zur Folge haben kann.

## **2.3 Blutparameter**

Guten Einblick in die Bedeutung der Blutparameter beim Rind bieten unter anderem Gieseler (2011), Thurmann (2012) und Fürll (2011). Die Blutparameter spiegeln viele Stoffwechselvorgänge wider, daher dienen sie als Hilfestellung bei der Diagnose von Krankheiten oder Stoffwechselproblemen. Im Folgenden sind die für diese Arbeit relevanten Parameter kurz beschrieben.

Die Beta-Hydroxy-Buttersäure (BHB) ist Hauptbestandteil der Ketonkörper im Blut und wird überwiegend in der Pansenwand, der Leber sowie im Euter gebildet. BHB wird vor allem in

der Muskulatur neben Glukose als Energiequelle genutzt (Gieseler, 2011). Der Gehalt an BHB liefert Informationen über den Energiehaushalt und ist im Blut, im Harn sowie in der Milch messbar. Während eines Energiemangel ist die Leber Hauptort der Ketogenese, die Leber ist allerdings nur in geringem Maße in der Lage Ketonkörper zu verwerten, folglich steigt der Gehalt an Ketonkörpern (Schlerka und Filar, 1981). Werte bis 0,62 mmol/l im Blut liegen im Referenzbereich, bei Werten darüber wird von Energiemangel ausgegangen, bei Überschreiten von BHB-Konzentrationen von 1,2 bis 1,4 mmol/l von subklinischer Ketose (Fürl, 2011).

Die freien Fettsäuren (FFS) sind Metaboliten der Lipolyse, im Euter werden sie zu Milchfettbildung benötigt (Blömer, 2009). Der Referenzbereich bei freien Fettsäuren liegt zwischen 0,01 und 0,62 mmol/l (Fürl, 2011). Liegen eine Woche vor der Abkalbung FFS-Konzentrationen über 0,7 mmol/l vor, so ist die Wahrscheinlichkeit post partum an einer subklinischen Ketose zu erkranken fünffach erhöht, ebenso kann sich das Risiko von Metritis, Mastitis und Nachgeburtsverhaltung erhöhen (Duffield, 2004).

Beim Abbau von Hämoglobin, Cytochromen sowie anderen Hämoproteinen entsteht Bilirubin (BILTS), welches in der Leber, in der Milz sowie im Knochenmark gebildet wird (Gieseler, 2011). Eine Erhöhung des Bilirubingehalts weist auf Energiemangel sowie Leberbelastung hin, Werte bis 20  $\mu\text{mol/l}$  gelten als unproblematisch (Kraft und Dürr, 2005). Als Referenzbereich für den Gehalt an Totalbilirubin im Blut gilt 3,5 bis 5,5  $\mu\text{mol/l}$  (Fürl, 2011).

Harnstoff (UREL) ist das wichtigste Abbauprodukt im Proteinstoffwechsel und ist im Blut sowie in der Milch nachweisbar (Gieseler, 2011). Ein erhöhter Gehalt weist auf Proteinübersversorgung hin, Werte unter dem Referenzbereich werden durch Proteinmangel hervorgerufen. Der Referenzbereich für den Gehalt an Harnstoff im Blut wird von Fürl (2011) mit 2,0 und 6,8 mmol/l angegeben.

Die Gamma-Glutamyl-Transferase (GGT) ist ein größtenteils membrangebundenes Enzym, das in vielen parenchymatösen Organen vorkommt. Bei Rindern ist die Aktivität in der Niere am höchsten. Als Ursache für erhöhte Konzentrationen im Blut gelten unter anderem Lebernekrose, Ketose oder medikamentöser Einfluss (Thurmann, 2012). Die Obergrenze des Referenzbereichs der Gamma-Glutamyl-Transferase liegt bei 50 U/l (Fürl, 2011).

Die Aspart-Amino-Transferase (frühere Bezeichnung Glutamat-Oxalacetat-Transaminase, daher GOT) ist einer der wesentlichen Parameter zur Diagnostik von Lebererkrankungen des Rindes. Beeinflusst wird die Plasmaaktivität dieses Enzyms durch zahlreiche Effekte, wie Lebensalter, Trächtigkeit und Geburt sowie Laktation (Karsai und Schäfer, 1984). Die Obergrenze für Aspartat-Amino-Transferase liegt bei 80 U/l, Überschreitungen dieses

Wertes können Leber- und Muskelschäden, seltener auch Schäden an Uterus oder Labmagen als Ursache haben (Fürl, 2011).

Glukose gilt als wichtigste Transportform von Kohlehydraten im Körper. Niedrige Konzentrationen an Glukose kommen oftmals im Zusammenspiel mit erhöhten BHB-Konzentrationen vor (Wilken, 2004). Ein niedriger Glukosegehalt weist auf Energiemangel oder eingeschränkte Futteraufnahme hin, ein erhöhter Wert kann durch Stress oder Endotoxämie hervorgerufen werden. Der Referenzbereich für Glukose im Blut liegt zwischen 2,22 und 3,30 mmol/l (Fürl, 2011).

Die oben angegebenen Referenzbereiche sind grundsätzlich unabhängig von der Leistung der Tiere, Kühe mit Jahresmilchleistungen von 10000 kg haben einen vergleichbaren Stoffwechselstatus mit Mutterkühen (Fürl et al., 2004).

Der Einfluss der Fütterung auf die BHB wurde unter anderem in Nielsen et al. (2003) festgestellt. Dabei wurde gezeigt, dass eine restriktive Fütterung sowohl die BHB-Konzentration im Blutplasma als auch in der Milch steigen lässt, auch der Gehalt an FFS im Blutplasma stieg. Denis-Robichaud et al. (2014) zeigten bessere Vorhersagen von Ketosen durch die BHB-Konzentration in der Milch als durch die Milchinhaltsstoffe Fett und Eiweiß bzw. den Fett-Eiweiß-Quotienten. In Veerkamp et al. (2003) wurden Auswirkungen von genetischer Selektion auf Milchleistung auf Energieversorgung, Blutparameter und Fruchtbarkeit untersucht. Bastin et al. (2007) beschäftigt sich ebenfalls mit dem Zusammenspiel zwischen Blutparametern und der Fruchtbarkeit der Kühe.

In García et al. (2011) wurden die Werte für den Stoffwechsel wichtige Blutparameter zwischen erstem und 49. Laktationstag gemessen, dabei wurden bei BHB die meisten Überschreitungen der Referenzwerte in der zweiten Laktationswoche festgestellt.

## **2.4 MIR-Spektren**

Mithilfe von MIR-Spektren ist es unter anderem möglich, den geographischen Ursprung von Käse zu bestimmen (Pillonel et al., 2003). In Dehareng et al. (2012) wurde die Methanemission von Rindern durch MIR-Spektren vorhergesagt. De Roos et al. (2007) weisen darauf hin, dass subklinische Ketosen mithilfe der MIR-Spektren der Milch nachgewiesen werden können. Das Fettsäuremuster der Milch wurde unter anderem in Maurice-Van Eijndhoven et al. (2012) sowie in Soyeurt et al. (2011) durch MIR-Spektren vorhergesagt, Milchinhaltsstoffe in der Arbeit von De Marchi et al. (2014). Versuche, die den Einfluss der Energieversorgung auf die MIR-Spektren der Milch behandeln, wurden unter anderem von McParland et al. (2014) durchgeführt. Dabei wurde unter anderem versucht mit

Hilfe der MIR-Spektren die Energieversorgung der Milchkühe vorherzusagen, siehe dazu auch McParland et al. (2011) und McParland et al. (2015).

In McParland et al. (2011) wurden Korrelationen von 0,67 bis 0,72 zwischen der Energiebilanz und einer durch MIR-Spektren errechneten Vorhersageformel erreicht, nach Erweitern des Modells um die Milchleistung konnten die Korrelationen geringfügig auf 0,69 bis 0,75 gesteigert werden. Die Steigerung der Korrelation durch die Milchleistung war bei der Energieaufnahme deutlich höher, die Korrelation zwischen durch MIR-Spektren vorhergesagter und gemessener Energieaufnahme lag bei 0,68 bis 0,72 bzw. 0,85 bis 0,87 mit Milchleistung im Modell.

Der Gehalt an Ketonkörpern im Zusammenhang mit Spektren der Milch (Fourier transform infrared, FTIR) und als Vergleich mit dem Fett-Eiweiß-Quotient als Vorhersage für die Energieversorgung wurde bei (van Knegsel et al., 2010) behandelt. In diesem Versuch waren 69 Milchkühe beteiligt, welche von der Kalbung bis zur neunten Laktationswoche beobachtet wurden. Dabei wurden Tiere mit Ketose mithilfe von FTIR besser erkannt als durch den Fett-Eiweiß-Quotienten.

### **3 Tiere, Material und Methoden**

#### **3.1 Tiere**

Für diese Studie standen 20 Milchkühe des Bio-Lehr- und Forschungsbetriebs „Moarhof“ der HBLFA Raumberg-Gumpenstein zur Verfügung. Es wurden sieben Kühe der Rasse österreichisches Braunvieh (BV) und 13 Kühe einer speziell auf Lebensleistung selektierten Holstein Friesian-Linie (HFL) für diese Studie verwendet. Nähere Informationen zu den Rassen, Leistungen, der Fütterung bzw. zum Fruchtbarkeitsmanagement können bei Horn et al. (2013b) sowie Horn et al. (2014) nachgelesen werden.

Dieser Versuch wurde in drei Durchgängen von Mai bis Juli 2014 bei Stallhaltung durchgeführt, zwei Tiere der Rasse HFL sowie ein BV-Tier wurden für zwei Durchgänge, die restlichen 17 Tiere für jeweils einen Durchgang verwendet. Somit standen insgesamt 23 vollständige Datensätze (Woche eins bis acht) von 20 Kühen zur Auswertung zur Verfügung. Dadurch ergeben sich 1288 Daten, 635 davon inklusive MIR-Spektren. Die Tiere befanden sich zu Versuchsbeginn (Versuchswoche eins) im Durchschnitt in der 9. Laktationswoche ( $8,8 \pm 3,6$ ; Min 4; Max 17). Vier Kühe befanden sich in der ersten Laktation, vier in der zweiten Laktation und zwölf in höheren ( $>2$ ) Laktationen. Im Durchschnitt lag die Laktationszahl bei 3,8 ( $3,8 \pm 2,3$ ; Min 1; Max 9). Die Tiere wogen im Durchschnitt 599 kg (599

$\pm 69,2$ ) und wiesen einen BCS nach Edmonson et al. (1989) von durchschnittlich 2,43 Punkten ( $2,43 \pm 0,19$ ) auf.

Vor Versuchsbeginn wurden die Kühe entsprechend der Rasse, Milchleistung, Laktationszahl, Laktationstag, Lebendmasse sowie Fett- bzw. Eiweißgehalt gleichmäßig zwei Versuchsgruppen (Gruppe 20 bzw. Gruppe 30) zugeteilt.

*Tabelle 1: Daten zu den Versuchstieren zu Versuchsbeginn (Versuchswoche 1)*

|                     | Gruppe 20           | Gruppe 30           |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| Laktationszahl      | 4,00 ( $\pm 2,42$ ) | 3,60 ( $\pm 2,20$ ) |
| Laktationstag       | 56,9 ( $\pm 25,7$ ) | 49,7 ( $\pm 23,8$ ) |
| Lebendmasse, kg     | 597 ( $\pm 63,4$ )  | 602 ( $\pm 75,9$ )  |
| BCS, Punkte (1-5)   | 2,36 ( $\pm 0,12$ ) | 2,50 ( $\pm 0,22$ ) |
| Rückenfettdicke, mm | 25,9 ( $\pm 3,81$ ) | 26,8 ( $\pm 4,17$ ) |
| Rasse               | 8 HFL; 4 BV         | 7 HFL; 4 BV         |
| Milch, kg/Tag       | 25,7 ( $\pm 4,06$ ) | 27,4 ( $\pm 4,32$ ) |
| Fett, %             | 3,93 ( $\pm 0,38$ ) | 3,83 ( $\pm 0,56$ ) |
| Eiweiß, %           | 3,09 ( $\pm 0,25$ ) | 3,02 ( $\pm 0,25$ ) |
| Zellzahl, 1000/ml   | 71,6 ( $\pm 44,4$ ) | 37,2 ( $\pm 23,9$ ) |

### 3.2 Haltung

Die Tiere wurden am Bio-Lehr- und Forschungsbetrieb „Moarhof“ der HBLFA Raumberg-Gumpenstein in Trautenfels (Österreich) gehalten (680 m Seehöhe, Breitengrad:  $47^{\circ}41'03''$ , Längengrad:  $14^{\circ}04'26''$ , Jahresdurchschnittstemperatur  $7^{\circ}\text{C}$ , 1014 mm Jahresniederschlag). Die Kühe beider Rassen bzw. Gruppen standen in einer gemeinsamen Versuchsherde und waren im Versuchszeitraum (Winterfütterungsperiode) in einem Liegeboxenlaufstall mit Auslauf eingestallt. In der Vegetationszeit wird mit der Versuchsherde eine Low-Input Vollweidehaltung umgesetzt. Nähere Informationen zur Vollweidehaltung können bei Horn et al. (2013) sowie Steinwider et al. (2010) nachgelesen werden.

### 3.3 Fütterung

Der Versuch fand unter Stallfütterungsbedingungen zwischen Mai und Juli 2014 statt. Die Futterrationen wurden tierindividuell zweimal wöchentlich unter Berücksichtigung der Milchmenge berechnet und zugeteilt. Das Raufutter wurde zweimal täglich in Calan-Gates nach der Melkung (06:15-07:30 bzw. 16:15-17:30 Uhr) vorgelegt. In den ersten beiden Versuchswochen standen den laktierenden Kühen täglich an Heu vier kg FM (Dauergrünland, zweiter Aufwuchs) zur Verfügung, zusätzlich wurde den Tieren Grassilage (Dauergrünland, erster Aufwuchs) ad libitum als Futter angeboten. Die Kraffutterzuteilung erfolgte über eine Transponderstation, bei einer maximalen Teilmenge von 1,5 kg FM. Vor

Versuchsbeginn wurden in den ersten drei Laktationswochen die Kraftfuttergaben von zwei auf sechs kg TM erhöht. Nach dem 21. Laktationstag bzw. im Versuchszeitraum (Ausnahme Futterrestriktionswoche) wurde das Kraftfutter milchleistungsabhängig zugeteilt (Kraftfutter in kg FM/Tier und Tag =  $0,5 \times \text{kg Tagesmilch}$  -8). Kühe mit einer Milchleistung unter 18 kg erhielten kein Kraftfutter, die Maximalmenge an Kraftfutter wurde mit 8,5 kg FM/Tier und Tag begrenzt. Das Kraftfutter setzte sich aus 52 % Gerste, 20 % Mais, 5 % Hafer und 23 % Erbsen zusammen.

#### Futterrestriktionswoche:

In der dritten Versuchswoche wurden die Tiere durch Futterrestriktion energetisch unterversorgt. Dabei wurden zwei unterschiedliche Unterversorgungsniveaus angestrebt. In der Gruppe 20 wurde eine theoretische Energieunterversorgung von -20 MJ NEL/Tag und in der Gruppe 30 von -30 MJ NEL/Tag angestrebt. Dazu wurde die in der Versuchswoche zwei erhobene Futter- und Energieaufnahme dem Energiebedarf der Tiere gegenübergestellt. In der Futterrestriktionswoche wurde die Futtervorlage aller Rationskomponenten entsprechend der Unterversorgungsgruppe eingeschränkt. Die Tiere hatten ständig Zugang zu Viehsalz- und Minerallecksteinen im Laufstall. Zusätzlich erhielten sie täglich 40 g Mineralstoffmischung „Rindamin GM“ ins Kraftfutter bzw. in der Unterversorgungswoche auf das Grundfutter.

*Tabelle 2: Versuchsplan*

| Versuchswoche                           | 1                | 2       | 3           | 4                | 5       | 6       | 7       | 8       |
|-----------------------------------------|------------------|---------|-------------|------------------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Datensätze, N</b>                    | 23               | 23      | 23          | 23               | 23      | 23      | 23      | 23      |
| <b>Fütterung</b>                        |                  |         | Unter-      |                  |         |         |         |         |
| Heu (2.A.), kg TM/Tag                   | 4                | 4       | versorgung: | 4                | 4       | 4       | 4       | 4       |
| Grassilage (1.A.), kg TM/Tag            | ad lib.          | ad lib. | -30 bzw.    | ad lib.          | ad lib. | ad lib. | ad lib. | ad lib. |
| Kraftfutter, kg TM/Tag                  | je nach Leistung |         | -20 MJ NEL  | je nach Leistung |         |         |         |         |
| <b>Probenplan</b>                       |                  |         |             |                  |         |         |         |         |
| Milchproben/Tier u. Woche,N             | 3                | 3       | 7           | 5                | 3       | 3       | 3       | 3       |
| Tage individ. Futteraufnahme je Woche,N | 5                | 5       | 5           | 5                | 5       | 5       | 5       | 5       |
| Blutproben/Tier u. Woche,N              | 1                | 1       | 2           | 2                | 1       | 1       | 1       | 1       |
| Futterproben/Komponente u. Woche,N      | 1                |         | 1           |                  | 1       |         | 1       |         |
| <b>Sonstige Erhebungen</b>              |                  |         |             |                  |         |         |         |         |
| Milchleistung/Tier u. Woche,N           | 7                | 7       | 7           | 7                | 7       | 7       | 7       | 7       |
| Lebendmasse/Tier u. Woche,N             | 1                | 1       | 1           | 1                | 1       | 1       | 1       | 1       |
| BCS/Tier u. Woche,N                     | 1                |         | 1           |                  | 1       |         | 1       |         |

### 3.4 Datenerhebung / Beobachtungszeitraum

Insgesamt standen 23 vollständige Datensätze (acht Datensätze von sieben BV Kühen und 15 Datensätze von 13 HFL Kühen über acht Versuchswochen) aus den drei Durchgängen zur Auswertung zur Verfügung.

Futterangebot und Futterreste wurden bei jeder Mahlzeit gewogen und deren Trockenmasse analysiert (bei 105°C für 24 h). Von den verwendeten Futtermitteln (Grassilage, Heu, Kraftfutter) wurden 14-tägig Proben gezogen und der Nährstoffgehalt (Weender Analyse, Gerüstsubstanzen, Mineral- und Spurenelemente) bestimmt (siehe Tabelle 3). Die Bestimmung der Verdaulichkeit der organischen Masse und die darauf aufbauende Energiebewertung erfolgt mit Hilfe der analysierten Nährstoffgehalte und den Verdauungskoeffizienten aus der DLG-Futterwerttabelle (DLG, 1997).

Die ermolkene Milchmenge wurde täglich tierindividuell erhoben, die Bestimmung der Milchinhaltsstoffe wurde dreimal pro Woche sowie in der Unterversorgungswoche täglich durchgeführt. Die Messung des Mid-Infrarotspektrums erfolgte für jedes Tier aus einer täglichen Sammelprobe, dazu wurden die konservierten Proben an den Milchprüfing Süd gesandt. Die Analyse erfolgte im Milchlabor St. Michael mit einem Spektrometer der Marke Foss (MilkoScan FT6500, Foss, Hillerød, Dänemark), ausgestattet mit der Software Integrator Version 1.58. Das FOSS MIR-Spektrum enthält 1060 Messpunkte der Absorption im Wellenlängenbereich zwischen 900 und 5000 cm<sup>-1</sup> (McParland et al., 2011). Die Kühe wurden im Versuchszeitraum wöchentlich zur gleichen Zeit gewogen, die Körperkondition wurde 14-tägig beurteilt, dabei erfolgte auch eine Rückenfettbestimmung mittels Ultraschallmessung.

Am Ende jeder Versuchswoche (Tag sieben) wurde nach der Morgenmelkung eine Blutprobe aus der Schwanzvene genommen. In der Woche vier sowie in der Unterversorgungswoche wurde am fünften Tag eine zusätzliche Probe nach der Morgenmelkung gezogen. Die Blutproben wurden 20 Minuten mit 3000 Umdrehungen/Minute zentrifugiert, unmittelbar nach der Zentrifuge tiefgefroren und in der Außenstelle der HBLFA Raumberg-Gumpenstein in Wels untersucht. Folgende Blutserum-Parameter wurden analysiert: Gehalt an Total-Bilirubin (BILTS), Gamma-Glutamyl-Transferase (GGT), Aspartat-Amino-Transferase (GOT), freie Fettsäuren (FFS), Beta-Hydroxy-Buttersäure (BHB), Harnstoff (UREL), und Glukose. Weiters wurde der Gehalt an Natrium, Kalium, Chlor, Phosphor, Magnesium sowie Kalzium bestimmt, auf diese wird in dieser Arbeit aufgrund geringer Aussagekraft nicht näher eingegangen.

### 3.5 Statistische Auswertung

Verwaltet und bearbeitet wurden die Daten mit Hilfe des Programms MS Excel, die statistische Analyse wurde mit dem Programm SAS 9.2 (SAS Institute, 2002) durchgeführt. Die Ergebnisse aus den Futtermittelanalysen werden als arithmetisches Mittel und Standardabweichung der Futtermittelanalysen dargestellt, diese wurden 14-tägig in allen Durchgängen für Heu, Grassilage sowie Kraftfutter durchgeführt.

Sämtliche untersuchte Parameter wurden mit der Prozedur univariate auf Normalverteilung getestet, alle bis auf die Zellzahl waren normalverteilt, nach einer Transformation (log) erfüllte auch diese die Normalverteilung. Die 14-tägig erhobenen Rückenfett- und BCS-Werte wurden einerseits direkt ausgewertet bzw. über eine Regression mithilfe der Wilmink-Funktion (Wilmink, 1987) (Ergebnistabellen: BCS REG, RFD REG) modelliert.

Die Varianzanalysen wurden mit der Prozedur mixed durchgeführt, die Ergebnisse daraus sind in den Tabellen als LS-Means, Residualstandardabweichungen ( $s_e$ ) und den P-Werten dargestellt. P-Werte von  $<0,05$  werden als signifikante Gruppenunterschiede, P-Werte von  $>0,05$  und  $<0,1$  als tendenzielle und P-Werte von  $>0,1$  und  $<0,2$  als numerische Gruppenunterschiede bezeichnet.

Der Verlauf der Futter- und Nährstoffaufnahme, der Milchleistung und –inhaltsstoffe, der Energieversorgung sowie der Blutparameter wurden unter Berücksichtigung der fixen Effekte Rasse, Durchgang, Gruppe und Laktationsklasse sowie des zufälligen Effekts Tier ausgewertet. Der Laktationstag zu Versuchsbeginn wurde als Co-Variable berücksichtigt. Als wiederholte Messung war die Versuchswoche im Modell (Tier innerhalb Rasse). Weiters wurde die Wechselwirkung zwischen Gruppe und Versuchswoche im Modell berücksichtigt. Da die Rasse nur im Parameter Eiweißgehalt signifikanten Einfluss (P-Wert = 0,0275; HFL 2,86% BV 3,06% Eiweiß in der Milch) und infolgedessen tendenziellen Einfluss im Fett-Eiweiß-Quotient (P-Wert = 0,0566) zeigte, wurde sie aus dem Modell genommen. In sämtlichen anderen Parametern war der Einfluss der Rasse nicht signifikant.

Um die Nachwirkungen der Energieunterversorgung der Versuchswoche drei darzustellen, wurden die LS-Means der nachfolgenden Versuchswochen (VW vier bis acht) bei drei verschiedenen Unterversorgungen in der Versuchswoche drei (-15; -20 sowie -25 MJ NEL/Tag) und der Laktationsklasse für Milchleistung und –inhaltsstoffe, Energieaufnahme sowie Blutparameter berechnet. Die P-Werte wurden für Laktationsklasse, Versuchswoche, Laktationswoche zu Versuchsbeginn, Energieversorgung in der Versuchswoche drei sowie die Wechselwirkung zwischen Versuchswoche und Energieversorgung in der Versuchswoche drei angegeben. Die quadratischen Effekte wurden ebenfalls berechnet, da

allerdings keine signifikanten Ergebnisse dafür zustande kamen, wurde das Modell auf die linearen Effekte reduziert.

Die Korrelationen und P-Werte von Milchleistung und –inhaltsstoffen, Energiebilanz und Blutparametern mit BHB, Milchleistung und Energiebilanz wurden mit der Prozedur `corr` berechnet.

Für die Korrelationsanalyse der MIR-Spektren mit der Energieversorgung und –aufnahme, dem Milchfettgehalt, der Milchzellzahl, der Beta-Hydroxybuttersäure im Blutserum und den freien Fettsäuren im Blutserum wurde die Prozedur `pls` angewendet. Dabei wurde ein Trainings- und ein Testdatensatz erstellt, auf diese wurden die Datensätze zufällig aufgeteilt, in jedem Datensatz waren 50% der Daten (split sample cross-validation (McParland et al., 2011)). Im Modell befanden sich entweder nur die 1060 Daten der MIR-Spektren sowie bei einigen Berechnungen zusätzlich die Milchleistung und die Lebendmasse (jeweils in der Tabelle angegeben). Anhand der Daten im Trainingssatz wurde eine Polynomfunktion erstellt, welche den jeweiligen Parameter bestmöglich schätzen sollte. Die Anzahl der latenten Variablen (Hauptkomponenten) für die Polynomfunktion wurde über visuelle Kontrolle ermittelt, diese wird in den Ergebnistabellen angegeben. Diese geschätzten Ergebnisse wurden in Folge mit den gemessenen Daten verglichen und der Korrelationenkoeffizient mit der Prozedur `corr` für den Trainings- und Testdatensatz errechnet. Diese Prozedur wurde für jeden Parameter 1000mal durchgeführt. In der Ergebnistabelle sind das mit der Prozedur `univariate` ermittelte arithmetisches Mittel, die Standardabweichung sowie die 5%- und 95%-Quantile dieser Korrelationsberechnungen für den Trainings- und Testdatensatz angegeben.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Futtermittelanalysen

Die Grassilage wies im Versuchszeitraum einen Rohfaser- und NDF-Gehalt von 255 und 452 g/kg TM auf. Der Nettoenergiegehalt bzw. der Rohproteingehalt lagen bei 6,2 MJ NEL/kg TM und 146 g/kg TM. Das Heu hatte im Versuchszeitraum einen Rohfaser- und NDF-Gehalt von 257 und 490 g/kg TM. Es erreichte einen Nettoenergiegehalt von 5,7 MJ NEL/kg und einen Rohproteingehalt von 140 g/kg TM. Die Kraftfuttermischung wies im Versuchszeitraum einen Rohfaser- und NDF-Gehalt von 54 und 190 g/kg TM auf, der Nettoenergiegehalt lag bei 8 MJ NEL/kg TM, der Rohproteingehalt bei 141 g/kg TM.

*Tabelle 3: Trockenmasse-, Nährstoff- und Energiegehalt der Rationskomponenten*

|                     | Grassilage <sup>1</sup> | Heu <sup>2</sup> | Kraftfutter |
|---------------------|-------------------------|------------------|-------------|
| Trockenmasse, g/kg  | 379 ±34,4               | 836 ±25,8        | 867 ±6,7    |
| Rohprotein, g/kg TM | 146 ±11,7               | 140 ±7,6         | 141 ±10,8   |
| Rohfaser, g/kg TM   | 255 ±7,2                | 257 ±12,6        | 53,9 ±4,7   |
| Rohfett, g/kg TM    | 34 ±2,9                 | 23 ±1,4          | 25 ±2,0     |
| Rohasche, g/kg TM   | 101 ±11,9               | 93 ±10,8         | 26 ±1,9     |
| nXP, g/kg TM        | 136 ±1,7                | 132 ±1,3         | 168 ±2,9    |
| RNB, g/kg TM        | 1,6 ± 1,7               | 1,3 ±1,1         | -4,4 ±1,3   |
|                     |                         |                  |             |
| NDF, g/kg TM        | 452 ±26,3               | 490 ±24,9        | 190 ±22,1   |
| ADF, g/kg TM        | 305 ±12,2               | 300 ±10,7        | 66 ±6,2     |
| ADL, g/kg TM        | 34 ±3,4                 | 34 ±4,6          | 9 ±1,4      |
|                     |                         |                  |             |
| ME, MJ/kg TM        | 10,3 ±0,12              | 9,6 ±0,11        | 12,8 ±0,04  |
| NEL, MJ/kg TM       | 6,2 ±0,09               | 5,7 ±0,09        | 8,0 ±0,02   |
|                     |                         |                  |             |
| Ca, g/kg TM         | 9,6 ±1,1                | 8,4 ±0,9         | 1,0 ±0,2    |
| P, g/kg TM          | 3,6 ±0,3                | 3,9 ±0,5         | 4,1 ±0,2    |
| K, g/kg TM          | 20,0 ±1,2               | 20,5 ±1,9        | 6,5 ±0,4    |
| Mg, g/kg TM         | 3,1 ±0,6                | 2,8 ±0,1         | 1,5 ±0,1    |
| Na, mg/kg TM        | 344 ±54,1               | 344 ±75,5        | 106 ±34,7   |
| Mn, mg/kg TM        | 108 ±25,9               | 81,6 ±21,5       | 27,3 ±9,3   |
| Zn, mg/kg TM        | 34,0 ±2,8               | 31,8 ±2,0        | 41,2 ±3,8   |
| Cu, mg/kg TM        | 9,4 ±1,1                | 8,8 ±1,2         | 5,9 ±1,0    |

<sup>1</sup> Grassilage 1. Aufwuchs, Dauergrünland, <sup>2</sup> Heu 2. Aufwuchs, Dauergrünland

## 4.2 Varianzanalyse Fütterungsversuch

### 4.2.1 Futteraufnahme und –inhaltsstoffe

In den Tabellen 4 und 5 sind die Ergebnisse zur Futter- und Nährstoffaufnahme für die Haupteffekte bzw. die Untergruppen (Energieunterversorgungsgruppe x Versuchswoche) angeführt. Die Versuchswoche (VW) beeinflusste alle Parameter der Futteraufnahme signifikant. In der Unterversorgungswoche (VW3) nahmen die Kühe mit durchschnittlich 12,95 kg TM auf, um 24 % weniger Futtertrockenmasse als in der VW2. Die Energiekonzentration der Gesamtration sank im Laufe der Versuchswochen und lag in der letzten Woche bei 6,35 MJ NEL/kg TM. In der Unterversorgungsgruppe 20 (UV 20) ging die Gesamtfutteraufnahme von 17,0 in der VW2 auf 13,2 kg TM in VW3 und in der UV 30 von 17,1 (VW2) auf 12,7 kg TM pro Tag (VW3) zurück. In den VW 4 und 5 stieg diese wieder auf 15,95 kg TM.

Für alle Parameter der Futteraufnahme hatte die Versuchswoche signifikanten Einfluss. Zwischen den Laktationsklassen (1 und >1) wurden signifikante Unterschiede in der Grund- und Gesamtfutteraufnahme sowie tendenzielle Unterschiede in der Aufnahme von Grassilage festgestellt. Der Kraftfutteranteil war nicht durch die Gruppe oder die Laktationsklasse beeinflusst, ein signifikanter Einfluss war nur bei der Versuchswoche festzustellen, er sank von 26,7 % in der ersten Versuchswoche auf 19,8 % in der letzten Versuchswoche (von 25,2 % auf 19,2 % in der Gruppe 20 bzw. von 28,1% auf 20,4 % in der Gruppe 30). Der Energiegehalt sowie der Gehalt an nutzbarem Protein nahmen im Lauf der Versuchswochen signifikant ab, im Gegenzug stieg der Rohfasergehalt signifikant an. Die ruminale Stickstoffbilanz, der NDF- sowie der ADF-Gehalt wurden ebenfalls signifikant von der Versuchswoche beeinflusst.

Tabelle 4: Futteraufnahme und -inhaltsstoffe im Verlauf der Versorgungsgruppen, Laktationsgruppen und Versuchswochen (Haupteffekte)

|                         | Gruppe (G) |       | Laktations-<br>klasse (L) |       | Versuchswoche (VW) |                    |                    |                    |                     |                     |                    |                    | s <sub>e</sub> | P-Werte<br>G x<br>VW |       |       |       |       |
|-------------------------|------------|-------|---------------------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
|                         | 20         | 30    | 1                         | >1    | 1                  | 2                  | 3                  | 4                  | 5                   | 6                   | 7                  | 8                  |                | G                    | L     | VW    | VW    | Law   |
| Grassilage, kg TM/Tag   | 8,78       | 8,68  | 7,60                      | 9,86  | 9,97 <sup>a</sup>  | 9,19 <sup>b</sup>  | 7,34 <sup>c</sup>  | 8,76 <sup>b</sup>  | 8,47 <sup>b</sup>   | 8,76 <sup>b</sup>   | 8,56 <sup>b</sup>  | 8,81 <sup>b</sup>  | 2,213          | 0,910                | 0,063 | <,001 | 0,437 | 0,304 |
| Heu, kg TM/Tag          | 3,49       | 3,35  | 3,30                      | 3,54  | 3,63 <sup>ab</sup> | 3,38 <sup>c</sup>  | 2,72 <sup>d</sup>  | 3,18 <sup>d</sup>  | 3,38 <sup>c</sup>   | 3,65 <sup>ab</sup>  | 3,80 <sup>a</sup>  | 3,61 <sup>b</sup>  | 0,369          | 0,415                | 0,288 | <,001 | 0,515 | 0,301 |
| Grundfutter, kg TM/Tag  | 12,27      | 12,03 | 10,89                     | 13,40 | 13,60 <sup>a</sup> | 12,57 <sup>b</sup> | 10,05 <sup>c</sup> | 11,94 <sup>b</sup> | 11,85 <sup>b</sup>  | 12,41 <sup>b</sup>  | 12,36 <sup>b</sup> | 12,42 <sup>b</sup> | 2,026          | 0,784                | 0,048 | <,001 | 0,397 | 0,475 |
| Kraftfutter, kg TM/Tag  | 3,48       | 4,01  | 3,30                      | 4,19  | 4,88 <sup>a</sup>  | 4,47 <sup>ab</sup> | 2,91 <sup>d</sup>  | 4,03 <sup>b</sup>  | 3,76 <sup>bc</sup>  | 3,65 <sup>bcd</sup> | 3,23 <sup>cd</sup> | 3,04 <sup>cd</sup> | 1,424          | 0,311                | 0,190 | <,001 | 0,810 | 0,113 |
| Gesamtfutter, kg TM/Tag | 15,71      | 16,04 | 14,14                     | 17,61 | 18,47 <sup>a</sup> | 17,02 <sup>b</sup> | 12,95 <sup>c</sup> | 15,95 <sup>b</sup> | 15,59 <sup>b</sup>  | 16,04 <sup>b</sup>  | 15,57 <sup>b</sup> | 15,44 <sup>b</sup> | 3,035          | 0,731                | 0,013 | <,001 | 0,469 | 0,961 |
| Kraftfutter, %          | 22,0       | 24,8  | 23,2                      | 23,6  | 26,7 <sup>a</sup>  | 26,2 <sup>a</sup>  | 22,4 <sup>cd</sup> | 25,1 <sup>ab</sup> | 23,9 <sup>abc</sup> | 22,7 <sup>bc</sup>  | 20,6 <sup>d</sup>  | 19,8 <sup>d</sup>  | 6,67           | 0,377                | 0,931 | <,001 | 0,671 | 0,168 |
| Energie, MJ NEL/kg TM   | 6,44       | 6,51  | 6,46                      | 6,49  | 6,51 <sup>bc</sup> | 6,57 <sup>a</sup>  | 6,50 <sup>c</sup>  | 6,55 <sup>ab</sup> | 6,48 <sup>c</sup>   | 6,44 <sup>c</sup>   | 6,39 <sup>d</sup>  | 6,35 <sup>d</sup>  | 0,203          | 0,349                | 0,737 | <,001 | 0,647 | 0,252 |
| XP, kg/Tag              | 2,25       | 2,30  | 2,03                      | 2,52  | 2,59 <sup>a</sup>  | 2,45 <sup>b</sup>  | 1,92 <sup>d</sup>  | 2,29 <sup>c</sup>  | 2,19 <sup>c</sup>   | 2,30 <sup>bc</sup>  | 2,24 <sup>c</sup>  | 2,24 <sup>c</sup>  | 0,498          | 0,770                | 0,060 | <,001 | 0,272 | 0,809 |
| XP, g/kg TM             | 143        | 143   | 143                       | 143   | 139 <sup>c</sup>   | 144 <sup>b</sup>   | 148 <sup>a</sup>   | 143 <sup>b</sup>   | 140 <sup>c</sup>    | 143 <sup>b</sup>    | 144 <sup>b</sup>   | 145 <sup>ab</sup>  | 5,9            | 0,773                | 0,902 | <,001 | 0,569 | 0,568 |
| nXP, kg/Tag             | 2,23       | 2,30  | 2,01                      | 2,51  | 2,63 <sup>a</sup>  | 2,45 <sup>b</sup>  | 1,85 <sup>d</sup>  | 2,29 <sup>c</sup>  | 2,22 <sup>c</sup>   | 2,28 <sup>c</sup>   | 2,20 <sup>c</sup>  | 2,17 <sup>c</sup>  | 0,436          | 0,665                | 0,025 | <,001 | 0,262 | 0,907 |
| nXP, g/kg TM            | 142        | 143   | 142                       | 143   | 142 <sup>bcd</sup> | 144 <sup>a</sup>   | 143 <sup>abc</sup> | 144 <sup>ab</sup>  | 142 <sup>cd</sup>   | 142 <sup>cd</sup>   | 141 <sup>d</sup>   | 141 <sup>d</sup>   | 2,6            | 0,282                | 0,807 | 0,001 | 0,831 | 0,219 |
| RNB, g/kg TM            | 0,2        | 0,1   | 0,1                       | 0,1   | -0,5 <sup>e</sup>  | 0,1 <sup>bcd</sup> | 0,7 <sup>a</sup>   | -0,1 <sup>cd</sup> | -0,3 <sup>de</sup>  | 0,1 <sup>bc</sup>   | 0,4 <sup>ab</sup>  | 0,6 <sup>a</sup>   | 1,11           | 0,764                | 0,991 | <,001 | 0,470 | 0,301 |
| XF, g/kg TM             | 214        | 207   | 211                       | 210   | 207 <sup>bc</sup>  | 202 <sup>d</sup>   | 209 <sup>bc</sup>  | 206 <sup>bc</sup>  | 210 <sup>b</sup>    | 211 <sup>b</sup>    | 217 <sup>a</sup>   | 221 <sup>a</sup>   | 18,8           | 0,364                | 0,911 | <,001 | 0,564 | 0,165 |
| NDF, g/kg TM            | 410        | 401   | 409                       | 403   | 408 <sup>a</sup>   | 395 <sup>b</sup>   | 398 <sup>b</sup>   | 398 <sup>b</sup>   | 410 <sup>a</sup>    | 408 <sup>a</sup>    | 413 <sup>a</sup>   | 416 <sup>a</sup>   | 19,3           | 0,332                | 0,651 | <,001 | 0,757 | 0,144 |
| ADF, g/kg TM            | 254        | 246   | 250                       | 249   | 247 <sup>cd</sup>  | 244 <sup>d</sup>   | 252 <sup>bc</sup>  | 246 <sup>d</sup>   | 249 <sup>bcd</sup>  | 248 <sup>cd</sup>   | 254 <sup>b</sup>   | 259 <sup>a</sup>   | 23,1           | 0,396                | 0,937 | <,001 | 0,531 | 0,190 |

Tabelle 5: Futteraufnahme und –inhaltsstoffe im Verlauf der Versuchswochen in den Versorgungsgruppen

| Gruppe<br>Woche         | 20    |       |       |       |       |       |       |       | 30    |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                         | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| Grassilage, kg TM/Tag   | 9,26  | 9,44  | 7,46  | 8,96  | 8,85  | 8,96  | 8,54  | 8,77  | 10,68 | 8,95  | 7,21  | 8,55  | 8,09  | 8,57  | 8,57  | 8,85  |
| Heu, kg TM Tag          | 3,71  | 3,55  | 2,91  | 3,24  | 3,37  | 3,68  | 3,80  | 3,62  | 3,55  | 3,21  | 2,52  | 3,12  | 3,40  | 3,61  | 3,80  | 3,60  |
| Grundfutter, kg TM/Tag  | 12,97 | 12,99 | 10,38 | 12,21 | 12,22 | 12,65 | 12,35 | 12,39 | 14,22 | 12,15 | 9,73  | 11,66 | 11,48 | 12,17 | 12,37 | 12,44 |
| Kraftfutter, kg TM/Tag  | 4,40  | 4,04  | 2,86  | 3,76  | 3,50  | 3,41  | 3,06  | 2,83  | 5,37  | 4,90  | 2,97  | 4,30  | 4,01  | 3,88  | 3,40  | 3,25  |
| Gesamtfutter, kg TM/Tag | 17,33 | 16,98 | 13,20 | 15,93 | 15,68 | 16,01 | 15,36 | 15,19 | 19,60 | 17,05 | 12,70 | 15,97 | 15,50 | 16,06 | 15,77 | 15,69 |
| Kraftfutter, %          | 25,2  | 23,7  | 21,5  | 23,1  | 22,1  | 21,3  | 19,9  | 19,2  | 28,1  | 28,6  | 23,3  | 27,1  | 25,8  | 24,0  | 21,2  | 20,4  |
| Energie, MJ/kg TM       | 6,49  | 6,52  | 6,48  | 6,52  | 6,43  | 6,39  | 6,35  | 6,32  | 6,53  | 6,61  | 6,52  | 6,59  | 6,53  | 6,50  | 6,42  | 6,39  |
| XP, kg/Tag              | 2,41  | 2,42  | 1,94  | 2,28  | 2,21  | 2,30  | 2,22  | 2,21  | 2,77  | 2,49  | 1,90  | 2,29  | 2,16  | 2,29  | 2,26  | 2,26  |
| XP, g/kg TM             | 138   | 142   | 146   | 143   | 141   | 143   | 144   | 145   | 140   | 146   | 149   | 143   | 139   | 142   | 143   | 144   |
| nXP, kg/Tag             | 2,46  | 2,43  | 1,88  | 2,28  | 2,22  | 2,26  | 2,16  | 2,13  | 2,79  | 2,47  | 1,82  | 2,30  | 2,22  | 2,30  | 2,24  | 2,22  |
| nXP, g/kg TM            | 142   | 143   | 143   | 143   | 142   | 141   | 141   | 140   | 143   | 145   | 143   | 144   | 143   | 143   | 142   | 142   |
| RNB, g/kg TM            | -0,6  | -0,1  | 0,5   | 0,0   | 0,0   | 0,3   | 0,5   | 0,8   | -0,4  | 0,2   | 0,9   | -0,2  | -0,6  | -0,1  | 0,2   | 0,4   |
| XF, g/kg TM             | 208   | 207   | 211   | 209   | 215   | 216   | 220   | 223   | 205   | 197   | 207   | 202   | 206   | 207   | 214   | 218   |
| NDF, g/kg TM            | 411   | 404   | 402   | 401   | 414   | 415   | 417   | 419   | 405   | 387   | 394   | 395   | 406   | 402   | 408   | 412   |
| ADF, g/kg TM            | 248   | 249   | 254   | 251   | 254   | 254   | 258   | 262   | 245   | 239   | 250   | 242   | 244   | 243   | 250   | 255   |

#### 4.2.2 Milchleistung und –inhaltsstoffe sowie Energieversorgung

Tabelle 6: Milchleistung und –inhaltsstoffe sowie Energieversorgung im Verlauf der Versorgungsgruppen, Laktationsgruppen und Versuchswochen (Haupteffekte)

|                             | Gruppe (G) |       | Laktations-<br>klasse (L) |       | Versuchswoche (VW) |                     |                    |                     |                     |                     |                     |                    | s <sub>e</sub> | P-Werte |       |       |           |       |
|-----------------------------|------------|-------|---------------------------|-------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------|---------|-------|-------|-----------|-------|
|                             | 20         | 30    | 1                         | >1    | 1                  | 2                   | 3                  | 4                   | 5                   | 6                   | 7                   | 8                  |                | G       | L     | VW    | G x<br>VW | Law   |
| Milch, kg/Tag               | 22,6       | 24,5  | 21,7                      | 25,4  | 25,3 <sup>a</sup>  | 24,7 <sup>b</sup>   | 22,5 <sup>f</sup>  | 23,2 <sup>cde</sup> | 23,5 <sup>cd</sup>  | 23,7 <sup>c</sup>   | 23,1 <sup>def</sup> | 22,5 <sup>ef</sup> | 1,43           | 0,361   | 0,178 | <,001 | 0,897     | 0,370 |
| ECM, kg/Tag                 | 22,2       | 23,7  | 21,0                      | 25,0  | 24,2 <sup>a</sup>  | 24,2 <sup>a</sup>   | 22,5 <sup>bc</sup> | 22,4 <sup>c</sup>   | 22,7 <sup>bc</sup>  | 23,2 <sup>ab</sup>  | 22,4 <sup>c</sup>   | 22,1 <sup>c</sup>  | 1,82           | 0,389   | 0,105 | <,001 | 0,868     | 0,173 |
| Fett, %                     | 4,14       | 4,07  | 4,08                      | 4,13  | 3,86 <sup>c</sup>  | 4,16 <sup>b</sup>   | 4,39 <sup>a</sup>  | 4,09 <sup>b</sup>   | 4,00 <sup>bc</sup>  | 4,12 <sup>b</sup>   | 4,08 <sup>b</sup>   | 4,14 <sup>b</sup>  | 0,366          | 0,666   | 0,787 | <,001 | 0,710     | 0,101 |
| Fett, kg/Tag                | 0,94       | 0,99  | 0,89                      | 1,04  | 0,99               | 1,01                | 0,99               | 0,94                | 0,95                | 0,98                | 0,94                | 0,93               | 0,114          | 0,451   | 0,127 | 0,089 | 0,664     | 0,084 |
| Eiweiß, %                   | 2,90       | 2,90  | 2,78                      | 3,02  | 2,98 <sup>a</sup>  | 2,95 <sup>ab</sup>  | 2,80 <sup>e</sup>  | 2,85 <sup>d</sup>   | 2,91 <sup>bc</sup>  | 2,92 <sup>ab</sup>  | 2,86 <sup>cd</sup>  | 2,93 <sup>ab</sup> | 0,107          | 0,978   | 0,055 | <,001 | 0,932     | 0,921 |
| Eiweiß, kg/Tag              | 0,66       | 0,71  | 0,60                      | 0,77  | 0,76 <sup>a</sup>  | 0,73 <sup>a</sup>   | 0,63 <sup>c</sup>  | 0,66 <sup>b</sup>   | 0,69 <sup>b</sup>   | 0,69 <sup>ab</sup>  | 0,66 <sup>b</sup>   | 0,66 <sup>bc</sup> | 0,051          | 0,387   | 0,052 | <,001 | 0,924     | 0,360 |
| Laktose, %                  | 4,68       | 4,67  | 4,70                      | 4,65  | 4,69               | 4,66                | 4,64               | 4,66                | 4,67                | 4,69                | 4,69                | 4,7                | 0,07           | 0,738   | 0,495 | 0,117 | 0,942     | 0,056 |
| Harnstoff, mg/100 ml        | 16         | 15    | 16                        | 16    | 13 <sup>b</sup>    | 17 <sup>a</sup>     | 17 <sup>a</sup>    | 15 <sup>b</sup>     | 14 <sup>b</sup>     | 15 <sup>b</sup>     | 17 <sup>a</sup>     | 18 <sup>a</sup>    | 3,7            | 0,593   | 0,750 | <,001 | 0,682     | 0,059 |
| Zellzahl, 1000/ml           | 72         | 40    | 50                        | 62    | 51                 | 56                  | 70                 | 61                  | 58                  | 46                  | 52                  | 54                 | 42,2           | 0,027   | 0,508 | 0,396 | 0,723     | 0,909 |
| FEQ                         | 1,44       | 1,42  | 1,48                      | 1,38  | 1,33 <sup>c</sup>  | 1,42 <sup>b</sup>   | 1,58 <sup>a</sup>  | 1,42 <sup>b</sup>   | 1,39 <sup>bc</sup>  | 1,42 <sup>b</sup>   | 1,43 <sup>b</sup>   | 1,43 <sup>b</sup>  | 0,130          | 0,802   | 0,229 | <,001 | 0,478     | 0,198 |
| Energieaufnahme, MJ NEL/Tag | 101,2      | 104,5 | 91,3                      | 114,3 | 120,0 <sup>a</sup> | 111,8 <sup>b</sup>  | 84,3 <sup>d</sup>  | 104,6 <sup>bc</sup> | 101,1 <sup>c</sup>  | 103,3 <sup>bc</sup> | 99,4 <sup>c</sup>   | 98,0 <sup>c</sup>  | 18,72          | 0,604   | 0,013 | <,001 | 0,472     | 0,814 |
| Energiebedarf, MJ NEL/Tag   | 104,1      | 110,4 | 98,6                      | 115,8 | 111,6 <sup>a</sup> | 111,1 <sup>ab</sup> | 105,6 <sup>d</sup> | 105,2 <sup>d</sup>  | 106,4 <sup>cd</sup> | 108,0 <sup>bc</sup> | 105,4 <sup>d</sup>  | 104,5 <sup>d</sup> | 5,79           | 0,339   | 0,064 | <,001 | 0,922     | 0,272 |
| Energiebilanz, MJ NEL/Tag   | -2,9       | -6,1  | -7,4                      | -1,5  | 8,3 <sup>a</sup>   | 0,7 <sup>b</sup>    | -21,3 <sup>c</sup> | -0,7 <sup>b</sup>   | -5,4 <sup>b</sup>   | -4,7 <sup>b</sup>   | -6,0 <sup>b</sup>   | -6,6 <sup>b</sup>  | 13,32          | 0,508   | 0,365 | <,001 | 0,502     | 0,359 |
| Energiebedarfsdeckung, %    | 97         | 94    | 92                        | 99    | 106 <sup>a</sup>   | 100 <sup>b</sup>    | 80 <sup>c</sup>    | 99 <sup>b</sup>     | 95 <sup>b</sup>     | 96 <sup>b</sup>     | 94 <sup>b</sup>     | 93 <sup>b</sup>    | 12,4           | 0,603   | 0,179 | <,001 | 0,426     | 0,380 |
| nXP-Bedarfsdeckung, %       | 109        | 106   | 106                       | 109   | 112 <sup>a</sup>   | 110 <sup>ab</sup>   | 99 <sup>c</sup>    | 111 <sup>a</sup>    | 106 <sup>b</sup>    | 108 <sup>ab</sup>   | 108 <sup>ab</sup>   | 107 <sup>ab</sup>  | 9,1            | 0,524   | 0,676 | <,001 | 0,340     | 0,557 |
| Lebendmasse, kg             | 541        | 571   | 507                       | 605   | 568 <sup>a</sup>   | 562 <sup>a</sup>    | 547 <sup>b</sup>   | 549 <sup>b</sup>    | 569 <sup>a</sup>    | 549 <sup>b</sup>    | 552 <sup>b</sup>    | 552 <sup>b</sup>   | 15,3           | 0,300   | 0,018 | <,001 | 0,045     | 0,928 |
| BCS, Punkte REG             | 2,23       | 2,29  | 2,28                      | 2,25  | 2,27               | 2,24                | 2,25               | 2,26                | 2,26                | 2,27                | 2,27                | 2,28               | 0,280          | 0,612   | 0,844 | 0,140 | 0,093     | 0,396 |
| RFD, mm REG                 | 25,6       | 26,8  | 26,1                      | 26,4  | 25,7               | 26,4                | 26,3               | 26,1                | 25,8                | 26,2                | 26,6                | 26,8               | 3,74           | 0,413   | 0,868 | 0,163 | 0,933     | 0,700 |
| BCS, Punkte                 | 2,25       | 2,3   | 2,28                      | 2,27  | 2,35               | 2,18                |                    | 2,26                | 2,24                |                     | 2,34                | 2,25               | 0,114          | 0,632   | 0,945 | 0,259 | 0,152     | 0,423 |
| RFD, mm                     | 25,6       | 26,8  | 26,3                      | 26,2  | 25,8               | 26,7                |                    | 27,9                | 22,8                |                     | 27,5                | 26,6               | 2,92           | 0,421   | 0,976 | 0,023 | 0,758     | 0,472 |

Tabelle 7: Milchleistung und –inhaltsstoffe sowie Energieversorgung im Verlauf der Versuchswochen in den Versorgungsgruppen

| Gruppe<br>Woche             | 20    |       |       |       |       |       |       |       | 30    |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                             | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| Milch, kg/Tag               | 24,2  | 23,8  | 21,8  | 22,2  | 22,5  | 22,9  | 22,2  | 21,5  | 26,5  | 25,7  | 23,1  | 24,1  | 24,4  | 24,5  | 24,1  | 23,5  |
| ECM, kg/Tag                 | 23,3  | 23,8  | 21,8  | 21,6  | 22,0  | 22,5  | 21,5  | 21,1  | 25,2  | 24,6  | 23,3  | 23,2  | 23,4  | 24,0  | 23,3  | 23,0  |
| Fett, %                     | 3,92  | 4,29  | 4,35  | 4,10  | 4,08  | 4,14  | 4,08  | 4,17  | 3,80  | 4,04  | 4,44  | 4,09  | 3,92  | 4,10  | 4,09  | 4,11  |
| Fett, kg/Tag                | 0,96  | 1,02  | 0,95  | 0,91  | 0,93  | 0,95  | 0,91  | 0,9   | 1,02  | 1,01  | 1,02  | 0,97  | 0,96  | 1,01  | 0,98  | 0,97  |
| Eiweiß, %                   | 2,99  | 2,97  | 2,81  | 2,87  | 2,90  | 2,91  | 2,86  | 2,91  | 2,97  | 2,93  | 2,79  | 2,84  | 2,93  | 2,93  | 2,87  | 2,94  |
| Eiweiß, kg/Tag              | 0,72  | 0,71  | 0,61  | 0,64  | 0,66  | 0,67  | 0,63  | 0,62  | 0,79  | 0,75  | 0,65  | 0,69  | 0,71  | 0,71  | 0,69  | 0,69  |
| Laktose, %                  | 4,68  | 4,67  | 4,65  | 4,67  | 4,68  | 4,71  | 4,7   | 4,71  | 4,7   | 4,65  | 4,64  | 4,65  | 4,66  | 4,67  | 4,67  | 4,69  |
| Harnstoff, mg/100 ml        | 13    | 19    | 18    | 16    | 14    | 15    | 18    | 17    | 14    | 16    | 16    | 14    | 14    | 15    | 17    | 18    |
| Zellzahl, 1000/ml           | 67    | 82    | 97    | 76    | 73    | 54    | 62    | 66    | 35    | 31    | 43    | 45    | 43    | 38    | 42    | 43    |
| FEQ                         | 1,34  | 1,46  | 1,55  | 1,42  | 1,42  | 1,42  | 1,43  | 1,45  | 1,31  | 1,39  | 1,60  | 1,43  | 1,35  | 1,42  | 1,43  | 1,42  |
| Energieaufnahme, MJ NEL/Tag | 112,5 | 110,9 | 85,7  | 104,0 | 101,0 | 102,3 | 97,4  | 95,6  | 127,5 | 112,8 | 82,9  | 105,2 | 101,2 | 104,3 | 101,4 | 100,3 |
| Energiebedarf, MJ NEL/Tag   | 107,9 | 109,0 | 102,5 | 102,0 | 103,4 | 104,8 | 102,0 | 100,7 | 115,2 | 113,2 | 108,6 | 108,5 | 109,4 | 111,1 | 108,7 | 108,2 |
| Energiebilanz, MJ NEL/Tag   | 4,6   | 1,9   | -16,8 | 2,0   | -2,4  | -2,5  | -4,5  | -5,2  | 12,1  | -0,6  | -25,9 | -3,4  | -8,3  | -6,9  | -7,5  | -8,0  |
| Energiebedarfsdeckung, %    | 102   | 101   | 84    | 101   | 97    | 97    | 95    | 95    | 111   | 99    | 76    | 97    | 93    | 94    | 93    | 92    |
| nXP-Bedarfsdeckung, %       | 109   | 111   | 102   | 113   | 109   | 109   | 109   | 108   | 115   | 108   | 96    | 110   | 103   | 106   | 107   | 105   |
| Lebendmasse, kg             | 555   | 544   | 533,8 | 538   | 544   | 536   | 541   | 538   | 582   | 580   | 560,4 | 561   | 593   | 562   | 563   | 567   |
| BCS, Punkte REG             | 2,19  | 2,19  | 2,202 | 2,22  | 2,24  | 2,26  | 2,27  | 2,28  | 2,36  | 2,29  | 2,291 | 2,3   | 2,29  | 2,28  | 2,27  | 2,27  |
| RFD, mm REG                 | 24,7  | 25,3  | 25,42 | 25,4  | 25,3  | 25,8  | 26,3  | 26,7  | 26,7  | 27,5  | 27,2  | 26,8  | 26,2  | 26,6  | 27    | 26,9  |
| BCS, Punkte                 | 2,24  | 2,16  |       | 2,18  | 2,24  |       | 2,44  | 2,23  | 2,46  | 2,21  |       | 2,34  | 2,25  |       | 2,25  | 2,27  |
| RFD, mm                     | 24,9  | 25,5  |       | 26,8  | 21,9  |       | 28    | 26,6  | 26,7  | 27,9  |       | 29    | 23,7  |       | 27    | 26,7  |

In den Tabellen 6 und 7 sind die Ergebnisse zur Milchleistung, den Milchinhaltsstoffen und zur errechneten Energieversorgung für die Haupteffekte bzw. die Untergruppen (Energieunterversorgungsgruppe x Versuchswoche) angeführt. In den Abbildungen 1 bis 5 sind die Ergebnisse für Milchleistung, energiekorrigierte Milchleistung, Fettgehalt, Eiweißgehalt und Fett-Eiweiß-Quotient der Milch zusätzlich grafisch dargestellt. Sowohl in der Milchleistung als auch in der energiekorrigierten Milchleistung weist die Versuchswoche signifikante P-Werte auf ( $<0,001$ ). Numerisch hatte auch die Laktationsklasse Einfluss, Tiere in höheren Laktationen wiesen höhere Milchleistungen auf. Bei ECM hatte die Laktationswoche zu Versuchsbeginn ebenfalls numerischen Einfluss (P-Wert = 0,173). Sowohl beim Fett- als auch beim Eiweißgehalt der Milch zeigte die Versuchswoche signifikanten Einfluss, dies spiegelt sich auch im Fett-Eiweiß-Quotient wider, die Versuchswoche zeigte einen signifikanten Einfluss. Beim Fettgehalt war die Laktationswoche zu Versuchsbeginn an der Grenze zu tendenziellem Einfluss (P-Wert = 0,101), beim Eiweißgehalt war die Laktationsklasse im tendenziellen Bereich (P-Wert = 0,055). Tiere in höheren Laktationen hatten einen um 0,24 Prozentpunkte höheren Eiweißgehalt der Milch. In der Unterversorgungswoche hatte der Fettgehalt seinen Hochpunkt mit 4,39% (4,35% in der Gruppe 20 und 4,44% in der Gruppe 30), der Eiweißgehalt seinen Tiefpunkt mit 2,80% (2,81% in der Gruppe 20 und 2,79% in der Gruppe 30) und folge dessen der Fett-Eiweiß-Quotient seinen Hochpunkt mit 1,58 (1,55 in der Gruppe 20 und 1,60 in der Gruppe 30).

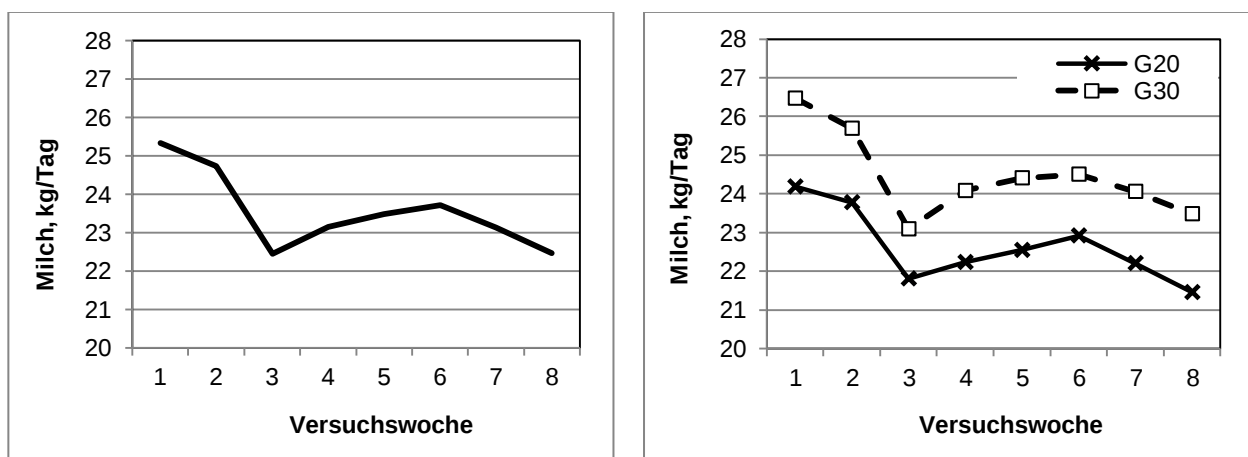


Abbildung 1: Milchleistung im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen

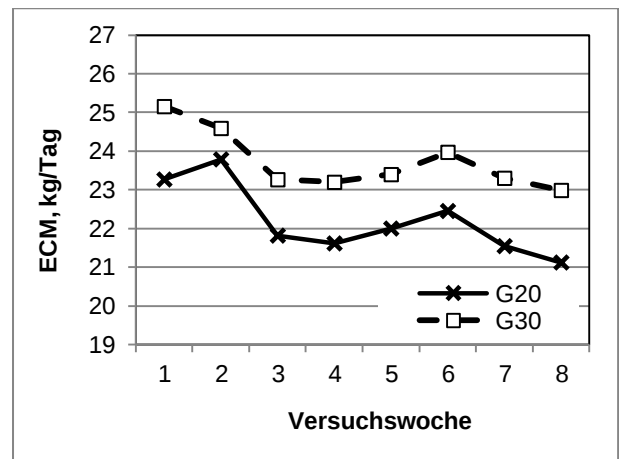
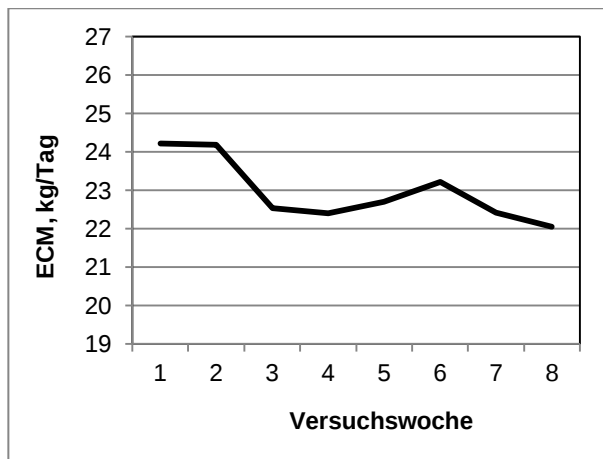


Abbildung 2: Energiekorrigierte Milchleistung im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen

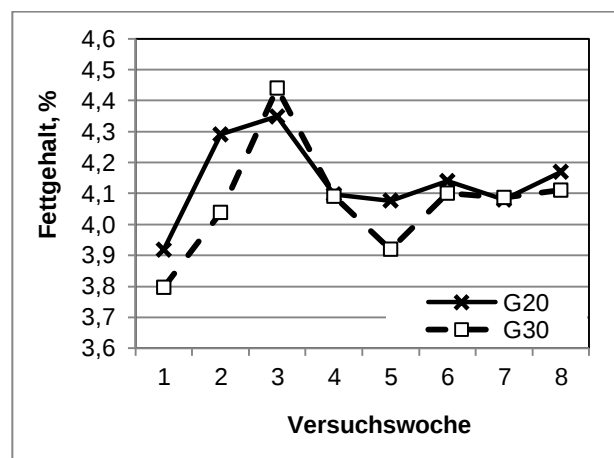
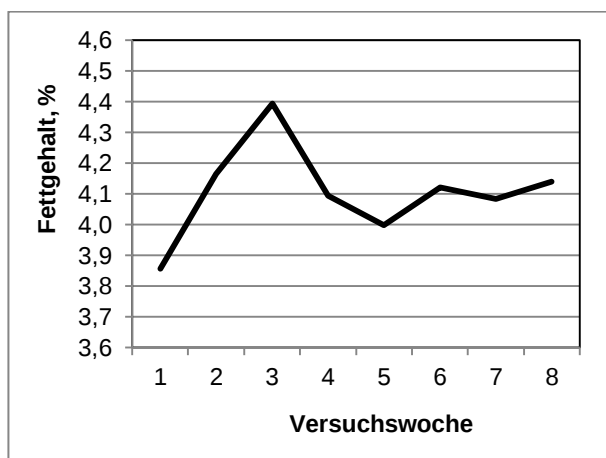


Abbildung 3: Fettgehalt der Milch im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen

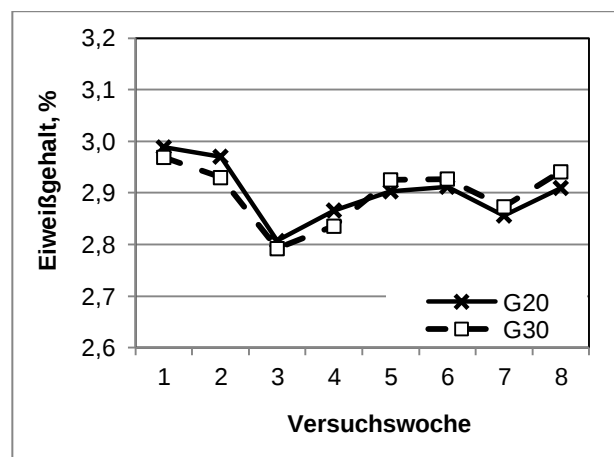
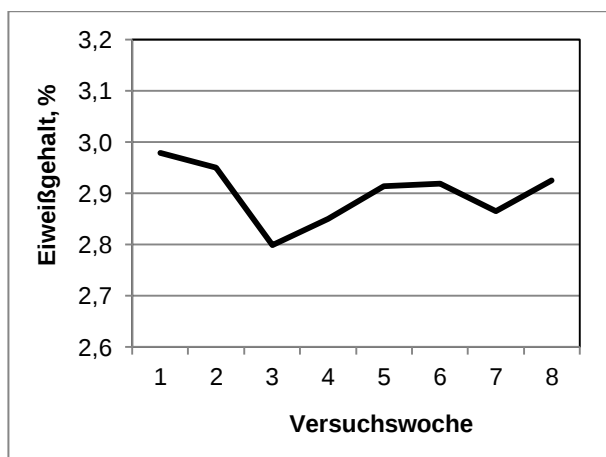


Abbildung 4: Eiweißgehalt der Milch im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen

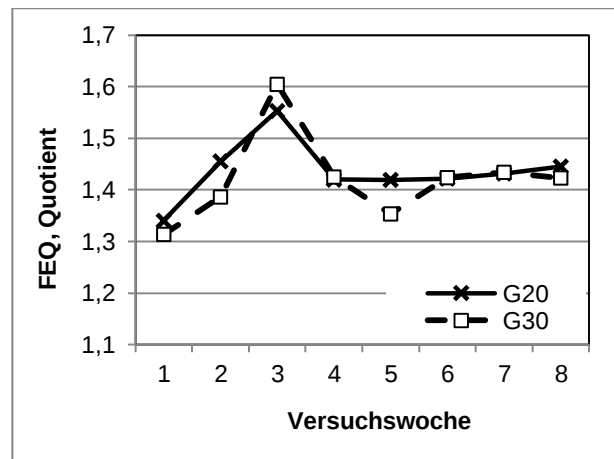
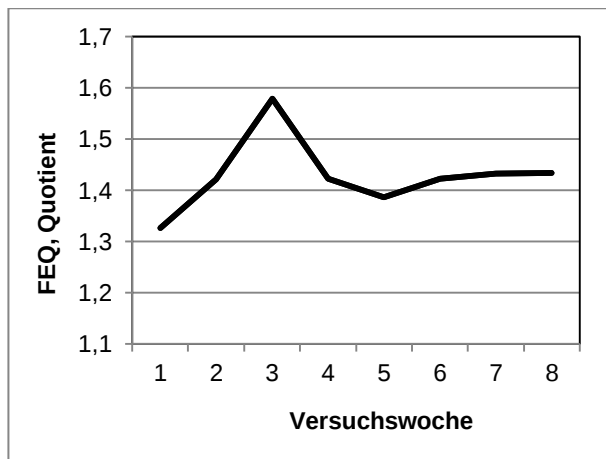


Abbildung 5: Fett-Eiweiß-Quotient der Milch im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen

Die Versuchswoche wies einen signifikanten Einfluss auf die Energieaufnahme, den Energiebedarf sowie die Energiebilanz und -bedarfsdeckung auf, die Laktationsklasse hatte signifikanten Einfluss auf die Energieaufnahme sowie einen tendenziellen Einfluss auf den Energiebedarf. In Abbildung 6 sind die Ergebnisse für die Energiebilanz dargestellt. Die Energiebilanz der Kühe lag in der Unterversorgungswoche bei -16,8 MJ NEL/Tag in der Gruppe 20 und -25,9 MJ NEL/Tag in der Gruppe 30. In höheren Laktationen war die Energieaufnahme um 23,1 MJ NEL/Tag höher, der Energiebedarf um 17,2 MJ NEL/Tag. Kein signifikanter Einfluss der Versuchswoche konnte bei Laktosegehalt und Zellzahl festgestellt werden, bei der Zellzahl zeigte die Gruppe einen signifikanten Einfluss (P-Wert = 0,027). Signifikanten Einfluss auf die Lebendmasse hatten die Versuchswoche, die Laktationsklasse sowie die Wechselwirkung zwischen Gruppe und Versuchswoche. Die Tiere in höheren Laktationen wiesen eine um 98 kg höhere Lebendmasse auf. Bei der Betrachtung von BCS und Rückenfettdicke zeigte sich lediglich für die Versuchswoche ein signifikanter Einfluss auf die Rückenfettdicke.

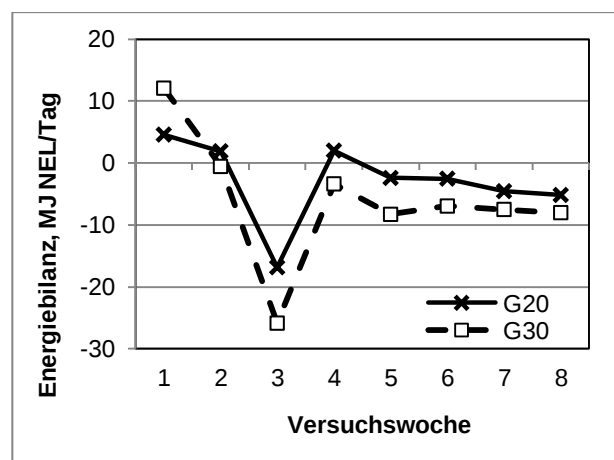
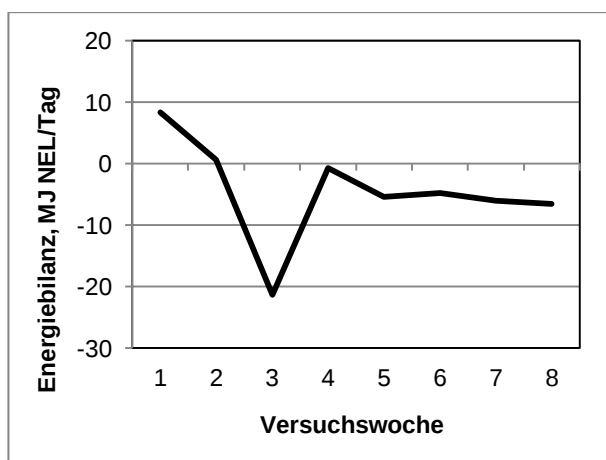


Abbildung 6: Energiebilanz im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen

#### 4.2.3 Blutparameter

Tabelle 8: Blutparameter im Verlauf der Versorgungsgruppen, den Laktationsgruppen sowie den Versuchswochen (Haupteffekte)

|                 | Gruppe (G) |      | Laktations-<br>klasse (L) |      | Versuchswoche (VW) |                    |                    |                     |                     |                    |                    |                    | s <sub>e</sub> | P-Werte |       |       |           |       |
|-----------------|------------|------|---------------------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|---------|-------|-------|-----------|-------|
|                 | 20         | 30   | 1                         | >1   | 1                  | 2                  | 3                  | 4                   | 5                   | 6                  | 7                  | 8                  |                | G       | L     | VW    | G x<br>VW | Law   |
| BHB, mmol/l     | 1,75       | 2,04 | 1,97                      | 1,83 | 1,94 <sup>b</sup>  | 1,85 <sup>bc</sup> | 3,30 <sup>a</sup>  | 1,79 <sup>bc</sup>  | 1,51 <sup>bc</sup>  | 2,06 <sup>b</sup>  | 1,53 <sup>bc</sup> | 1,22 <sup>c</sup>  | 1,168          | 0,519   | 0,824 | <,001 | 0,419     | 0,519 |
| FFS, mmol/l     | 0,10       | 0,11 | 0,11                      | 0,10 | 0,10               | 0,12               | 0,12               | 0,10                | 0,10                | 0,08               | 0,12               | 0,11               | 0,046          | 0,266   | 0,124 | 0,095 | 0,227     | 0,194 |
| BILTS, µmol/l   | 0,80       | 0,83 | 0,90                      | 0,73 | 0,70 <sup>c</sup>  | 1,04 <sup>a</sup>  | 1,06 <sup>a</sup>  | 0,95 <sup>ab</sup>  | 0,66 <sup>c</sup>   | 0,59 <sup>c</sup>  | 0,76 <sup>bc</sup> | 0,78 <sup>bc</sup> | 0,409          | 0,747   | 0,161 | <,001 | 0,260     | 0,250 |
| UREL, mg/dl     | 3,07       | 3,05 | 2,82                      | 3,29 | 2,94 <sup>b</sup>  | 3,05 <sup>ab</sup> | 3,20 <sup>ab</sup> | 2,55 <sup>c</sup>   | 3,17 <sup>ab</sup>  | 3,18 <sup>ab</sup> | 3,31 <sup>a</sup>  | 3,06 <sup>ab</sup> | 0,572          | 0,897   | 0,026 | <,001 | 0,922     | 0,055 |
| GGT, IU/l       | 27,8       | 26,3 | 23,5                      | 30,6 | 23,8               | 24,9               | 25,9               | 28,1                | 27,2                | 28,1               | 28,1               | 30,3               | 10,19          | 0,684   | 0,169 | 0,123 | 0,082     | 0,423 |
| GOT, IU/l       | 61         | 68   | 62                        | 67   | 59                 | 63                 | 66                 | 67                  | 65                  | 62                 | 62                 | 69                 | 18,7           | 0,235   | 0,540 | 0,636 | 0,147     | 0,500 |
| Glukose, mmol/l | 2,70       | 2,59 | 2,69                      | 2,60 | 2,58 <sup>c</sup>  | 2,74 <sup>ab</sup> | 2,41 <sup>d</sup>  | 2,65 <sup>abc</sup> | 2,65 <sup>abc</sup> | 2,58 <sup>bc</sup> | 2,80 <sup>a</sup>  | 2,76 <sup>a</sup>  | 0,277          | 0,339   | 0,583 | <,001 | 0,890     | 0,878 |

Tabelle 9: Blutparameter im Verlauf der Versuchswochen in den Versorgungsgruppen

| Gruppe<br>Woche | 20   |      |      |      |      |      |      |      | 30   |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| BHB, mmol/l     | 1,86 | 1,71 | 2,63 | 1,44 | 1,45 | 2,07 | 1,48 | 1,39 | 2,02 | 1,99 | 3,96 | 2,13 | 1,58 | 2,05 | 1,58 | 1,05 |
| FFS, mmol/l     | 0,10 | 0,14 | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,10 | 0,13 | 0,11 | 0,11 | 0,09 | 0,12 | 0,12 |
| BILTS, µmol/l   | 0,70 | 1,10 | 1,06 | 0,92 | 0,59 | 0,68 | 0,81 | 0,57 | 0,70 | 0,98 | 1,05 | 0,97 | 0,74 | 0,50 | 0,71 | 0,99 |
| UREL, mg/dl     | 2,93 | 3,03 | 3,15 | 2,51 | 3,15 | 3,30 | 3,30 | 3,18 | 2,95 | 3,07 | 3,26 | 2,59 | 3,20 | 3,07 | 3,32 | 2,93 |
| GGT, IU/l       | 23,8 | 22,2 | 24,9 | 28,0 | 28,7 | 30,4 | 30,7 | 33,9 | 23,8 | 27,7 | 26,9 | 28,1 | 25,6 | 25,8 | 25,5 | 26,6 |
| GOT, IU/l       | 59   | 55   | 57   | 66   | 58   | 63   | 58   | 72   | 60   | 70   | 76   | 69   | 73   | 62   | 66   | 67   |
| Glukose, mmol/l | 2,61 | 2,77 | 2,51 | 2,77 | 2,68 | 2,59 | 2,87 | 2,80 | 2,54 | 2,71 | 2,31 | 2,54 | 2,62 | 2,58 | 2,72 | 2,72 |

In den Tabellen 8 und 9 sind die Ergebnisse der Blutparameter für die Haupteffekte bzw. die Untergruppen (Energieunterversorgungsgruppe x Versuchswoche) angeführt. In den Abbildungen 7 und 8 sind die Ergebnisse für BHB und Glukose zusätzlich grafisch dargestellt. Die Konzentration an BHB hatte in der Unterversorgungswoche mit 3,30 mmol/l (2,63 mmol/l in der Gruppe 20 bzw. 3,96 mmol/l in der Gruppe 30) einen Hochpunkt, die Konzentration an Glukose mit 2,41 mmol/l (2,51 mmol/l in der Gruppe 20 bzw. 2,31 in der Gruppe 30) einen Tiefpunkt. Signifikanten Einfluss auf die Konzentrationen der Blutparameter hatte die Versuchswoche bei BHB, BILTS, UREL sowie Glukose (P-Wert jeweils  $<0,001$ ). Bei UREL hatte zusätzlich die Laktationsklasse signifikante Auswirkungen (P-Wert = 0,026). Ansonsten konnte kein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden, tendenziell beeinflusst wurde die Konzentration von FFS durch die Versuchswoche und die Konzentration von GGT durch die Wechselwirkung von Gruppe und Versuchswoche.

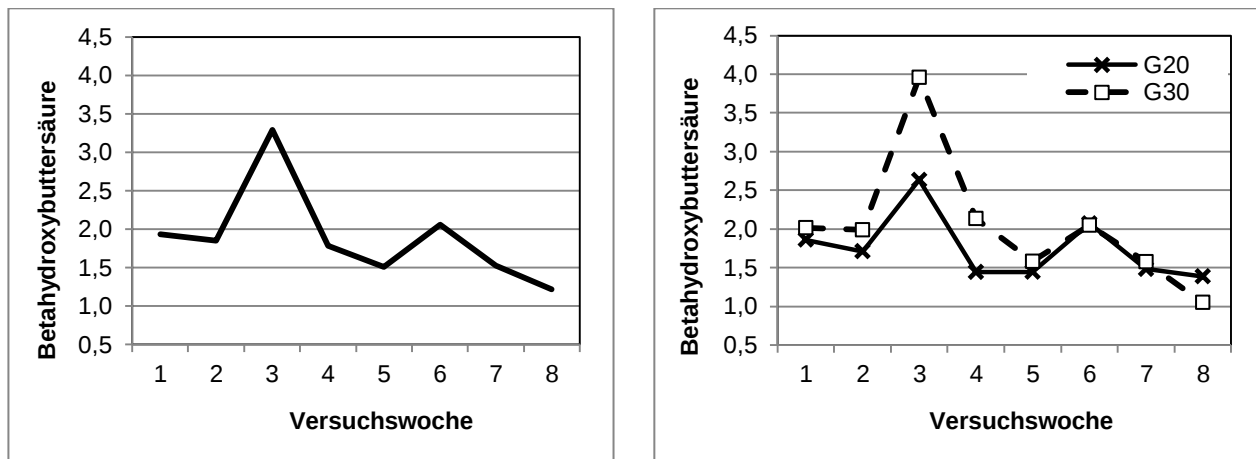


Abbildung 7: BHB-Konzentration im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen

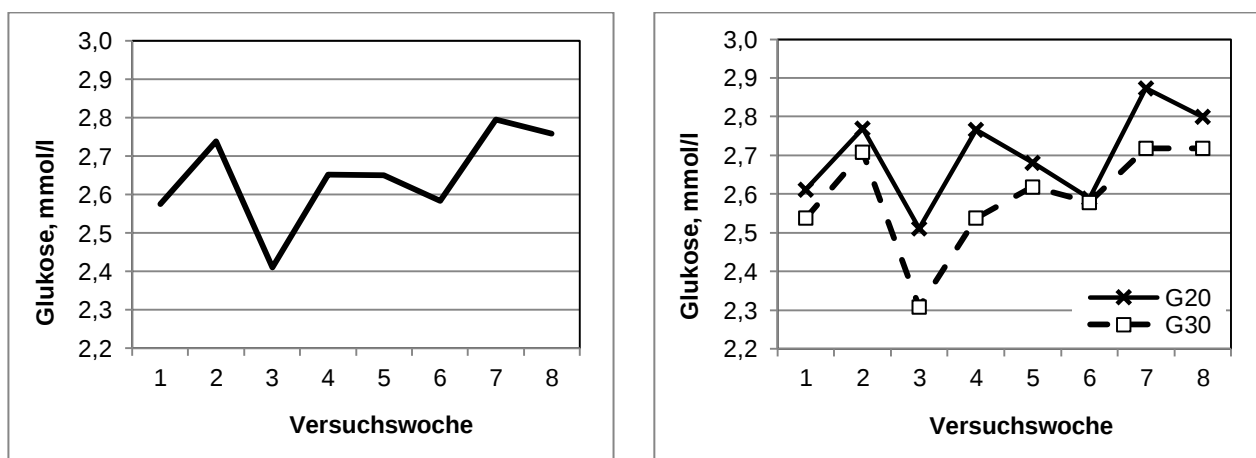


Abbildung 8: Glukosekonzentration im Verlauf der Versuchswochen sowie in den Versorgungsgruppen

### 4.3 Nachwirkungen der Energieunterversorgung

*Tabelle 10: Nachwirkungen von verschiedenen Energieunterversorgungen auf Milchleistung und –inhaltsstoffe sowie Blutparameter in den nachfolgenden Versuchswochen (Teil 1)*

| Unterversorgung VW3         | -15 MJ NEL/Tag |       |       |      |      | -20 MJ NEL/Tag |       |       |      |      | -25 MJ NEL/Tag |       |       |       |      |
|-----------------------------|----------------|-------|-------|------|------|----------------|-------|-------|------|------|----------------|-------|-------|-------|------|
| Versuchswoche               | 4              | 5     | 6     | 7    | 8    | 4              | 5     | 6     | 7    | 8    | 4              | 5     | 6     | 7     | 8    |
| FEQ, Quotient               | 1,42           | 1,40  | 1,42  | 1,43 | 1,42 | 1,42           | 1,38  | 1,42  | 1,43 | 1,43 | 1,41           | 1,36  | 1,41  | 1,42  | 1,45 |
| Fett, %                     | 4,06           | 4,01  | 4,08  | 4,04 | 4,07 | 4,07           | 3,98  | 4,10  | 4,06 | 4,17 | 4,09           | 3,94  | 4,12  | 4,09  | 4,26 |
| Eiweiß, %                   | 2,84           | 2,89  | 2,89  | 2,83 | 2,90 | 2,85           | 2,91  | 2,92  | 2,87 | 2,92 | 2,86           | 2,93  | 2,95  | 2,90  | 2,95 |
| Milch, kg/Tag               | 21,6           | 21,8  | 22,1  | 21,5 | 20,8 | 23,0           | 23,4  | 23,6  | 23,0 | 22,4 | 24,5           | 25,0  | 25,2  | 24,6  | 23,9 |
| ECM, kg/Tag                 | 20,8           | 21,0  | 21,4  | 20,6 | 20,1 | 22,2           | 22,5  | 23,1  | 22,2 | 21,9 | 23,6           | 24,1  | 24,7  | 23,9  | 23,7 |
| Energieaufnahme, MJ NEL/Tag | 104,2          | 101,2 | 103,3 | 99,2 | 99,1 | 105,4          | 101,7 | 103,9 | 99,9 | 97,9 | 106,6          | 102,2 | 104,4 | 100,5 | 96,7 |
| BHB, mmol/l                 | 1,64           | 1,56  | 2,15  | 1,68 | 1,20 | 1,78           | 1,48  | 2,02  | 1,46 | 1,21 | 1,92           | 1,39  | 1,89  | 1,25  | 1,22 |
| FFS, mmol/l                 | 0,09           | 0,09  | 0,08  | 0,12 | 0,09 | 0,10           | 0,09  | 0,08  | 0,11 | 0,11 | 0,11           | 0,10  | 0,09  | 0,11  | 0,12 |
| GGT, IU/l                   | 28,3           | 28,3  | 29,6  | 30,0 | 33,1 | 27,8           | 27,2  | 28,2  | 28,1 | 30,2 | 27,3           | 26,1  | 26,7  | 26,3  | 27,3 |
| GOT, IU/l                   | 66             | 59    | 61    | 59   | 73   | 66             | 64    | 61    | 61   | 69   | 65             | 69    | 61    | 63    | 64   |
| Glukose, mmol/l             | 2,73           | 2,65  | 2,55  | 2,81 | 2,79 | 2,65           | 2,65  | 2,59  | 2,80 | 2,75 | 2,56           | 2,64  | 2,63  | 2,79  | 2,72 |

Die P-Werte sowie die Residualstandardabweichung als auch die Schätzwerte für die Laktationsklasse befinden sich auf Tabelle 11 auf der nächsten Seite.

*Tabelle 11: Nachwirkungen von verschiedenen Energieunterversorgungen auf Milchleistung und –inhaltsstoffe sowie Blutparameter in den nachfolgenden Versuchswochen (Teil 2)*

|                             | Laktations-<br>klasse (L) |       | S <sub>e</sub> | P-Werte |       |       |       |         |
|-----------------------------|---------------------------|-------|----------------|---------|-------|-------|-------|---------|
|                             | 1                         | >1    |                | L       | VW    | Law   | NEL3  | NEL3*VW |
| FEQ, Quotient               | 1,46                      | 1,37  | 0,132          | 0,278   | 0,937 | 0,217 | 0,780 | 0,740   |
| Fett, %                     | 4,00                      | 4,14  | 0,344          | 0,473   | 0,868 | 0,070 | 0,589 | 0,525   |
| Eiweiß, %                   | 2,76                      | 3,02  | 0,090          | 0,035   | 0,645 | 0,744 | 0,383 | 0,671   |
| Milch, kg/Tag               | 20,3                      | 25,1  | 1,05           | 0,065   | 0,609 | 0,209 | 0,013 | 0,874   |
| ECM, kg/Tag                 | 19,3                      | 24,7  | 1,35           | 0,023   | 0,396 | 0,075 | 0,005 | 0,605   |
| Energieaufnahme, MJ NEL/Tag | 91,0                      | 112,3 | 19,43          | 0,059   | 0,757 | 0,456 | 0,889 | 0,638   |
| BHB, mmol/l                 | 1,65                      | 1,55  | 0,938          | 0,834   | 0,298 | 0,439 | 0,624 | 0,405   |
| FFS, mmol/l                 | 0,10                      | 0,09  | 0,042          | 0,438   | 0,051 | 0,752 | 0,098 | 0,179   |
| GGT, IU/l                   | 25,3                      | 32,0  | 3,68           | 0,226   | 0,004 | 0,307 | 0,229 | 0,038   |
| GOT, IU/l                   | 60                        | 68    | 15,7           | 0,301   | 0,018 | 0,088 | 0,790 | 0,044   |
| Glukose, mmol/l             | 2,73                      | 2,65  | 0,251          | 0,606   | 0,071 | 0,962 | 0,564 | 0,176   |

In den Tabellen 10 und 11 sind die Nachwirkungen von verschiedenen Energieunterversorgungen auf Milchleistung und –inhaltsstoffen sowie Blutparametern dargestellt. Die Laktationsklasse hatte signifikanten Einfluss auf die energiekorrigierte Milchleistung (P-Wert = 0,023) und auf den Eiweißgehalt (P-Wert = 0,035) sowie tendenziellen Einfluss auf Milchleistung und Energieaufnahme, Tiere in höheren Laktationen hatten eine um 4,8 kg höhere Milchleistung (5,4 kg energiekorrigiert), einen um 0,26 Prozentpunkte höheren Eiweißgehalt und eine um 21,3 MJ NEL höhere Energieaufnahme. Die Konzentrationen an GGT und GOT wurden signifikant von der Versuchswoche beeinflusst, FFS und Glukose tendenziell. Die Laktationswoche zu Versuchsbeginn zeigte tendenziellen Einfluss bei Fettgehalt, ECM-Leistung sowie GOT-Konzentration. Die Energieversorgung in der Unterversorgungswoche wies bei Milchleistung sowie energiekorrigierter Milchleistung signifikanten und bei FFS tendenziellen Einfluss auf. Eine Wechselwirkung zwischen der Energieunterversorgung in der Versuchswoche drei mit der Versuchswoche konnte signifikant bei GGT- und GOT-Gehalt nachgewiesen werden.

#### 4.4 Korrelationen zwischen Fütterungsversuchsparametern

*Tabelle 12: Korrelationen und P-Werte von Milchleistung und –inhaltsstoffen, Energiebilanz und Blutparametern mit BHB, Milchleistung und Energiebilanz*

|                           | BHB    | P-Wert | Milch  | P-Wert | Energiebilanz | P-Wert |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------|--------|
| BHB, mmol/l               |        |        | -0,099 | 0,1356 | -0,153        | 0,0208 |
| FEQ, Quotient             | 0,348  | 0,0005 | -0,185 | <,0001 | -0,422        | <,0001 |
| Milchleistung, l/Tag      | -0,099 | 0,1356 |        |        | -0,133        | <,0001 |
| Energiebilanz, MJ NEL/Tag | -0,153 | 0,0208 | -0,133 | <,0001 |               |        |
| Fett, %                   | 0,240  | 0,0167 | -0,214 | <,0001 | -0,389        | <,0001 |
| Eiweiß, %                 | -0,238 | 0,0172 | -0,026 | 0,5043 | 0,152         | 0,0001 |
| FFS, mmol/l               | 0,135  | 0,0416 | -0,004 | 0,9478 | -0,197        | 0,0029 |
| BILTS, µmol/l             | 0,084  | 0,2099 | 0,001  | 0,9869 | -0,187        | 0,0047 |
| GOT, IU/l                 | 0,139  | 0,0359 | 0,070  | 0,2945 | -0,107        | 0,1083 |
| Glukose, mmol/l           | -0,683 | <,0001 | 0,019  | 0,7742 | 0,143         | 0,0306 |

Signifikante Korrelationen mit der Energiebilanz hatten alle in der Tabelle 12 angegebenen Parameter, bis auf GOT, welcher an der Grenze zu tendenziellem Einfluss lag (P-Wert = 0,1083). Die höchsten Werte konnten mit -0,422 und -0,389 bei FEQ und Fettgehalt der Milch festgestellt werden. Die Milchleistung korreliert signifikant mit der Energiebilanz, dem Fettgehalt und folgedessen mit dem Fett-Eiweiß-Quotient. Die Milchleistung hatte die höchste Korrelation von -0,214 mit dem Fettgehalt, was sich in der Korrelation von -0,185 mit dem FEQ widerspiegelt. Die Energiebilanz wies eine Korrelation von -0,133 mit der Milchleistung auf. Der BHB-Gehalt im Blut korreliert mit den Blutparametern Glukose, GOT und FFS sowie mit Fett- und Eiweißgehalt der Milch und infolgedessen mit dem Fett-Eiweiß-Quotient. Ebenfalls signifikante Korrelation mit der Konzentration an BHB zeigte die Energiebilanz. Zwischen BHB-Gehalt im Blut und der Milchleistung wurde kein Zusammenhang festgestellt. Die Glukosekonzentration wies eine Korrelation von -0,683 mit der BHB-Konzentration auf, der FEQ eine Korrelation von 0,348.

## 4.5 Korrelationen der MIR-Spektren, Partial least squares

Tabelle 13: Korrelationen der MIR-Spektren für Trainings- und Testdatensatz

| Parameter                                     | LV <sup>1</sup> | Trainingsdatensatz |                 |                             |                              | Testdatensatz |        |                |                 |
|-----------------------------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|--------|----------------|-----------------|
|                                               |                 | Mean <sup>2</sup>  | Sd <sup>3</sup> | Q <sub>5</sub> <sup>4</sup> | Q <sub>95</sub> <sup>5</sup> | mean          | sd     | Q <sub>5</sub> | Q <sub>95</sub> |
| Energiebilanz, MJ NEL/Tag                     | 21              | 0,813              | 0,0152          | 0,788                       | 0,837                        | 0,586         | 0,0319 | 0,531          | 0,638           |
| Energiebilanz, MJ NEL/Tag (inkl. Milch)       | 22              | 0,826              | 0,0144          | 0,802                       | 0,849                        | 0,602         | 0,0300 | 0,551          | 0,651           |
| Energieaufnahme, MJ NEL/Tag                   | 30              | 0,840              | 0,0127          | 0,819                       | 0,861                        | 0,573         | 0,0331 | 0,519          | 0,624           |
| Energieaufnahme, MJ NEL/Tag (inkl. Milch)     | 28              | 0,887              | 0,0100          | 0,869                       | 0,903                        | 0,722         | 0,0226 | 0,683          | 0,758           |
| Energieaufnahme, MJ NEL/Tag (inkl. Milch, LM) | 28              | 0,899              | 0,0098          | 0,882                       | 0,914                        | 0,750         | 0,0216 | 0,714          | 0,784           |
| BHB, mmol/l                                   | 22              | 0,952              | 0,0153          | 0,926                       | 0,976                        | 0,279         | 0,0902 | 0,120          | 0,420           |
| FFS, mmol/l                                   | 20              | 0,926              | 0,0272          | 0,874                       | 0,964                        | 0,150         | 0,0992 | -0,017         | 0,316           |
| Fett, %                                       | 20              | 0,999              | 0,0001          | 0,998                       | 0,999                        | 0,997         | 0,0003 | 0,997          | 0,998           |
| Zellzahl, 1000/ml                             | 20              | 0,659              | 0,0288          | 0,619                       | 0,713                        | 0,131         | 0,0488 | 0,055          | 0,216           |

<sup>1</sup> latente Variablen, <sup>2</sup> Mittelwert, <sup>3</sup> Standardabweichung, <sup>4</sup> 5%-Quantil, <sup>5</sup> 95%-Quantil

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Korrelationsanalyse der MIR-Spektren dargestellt. Für die Energiebilanz konnte bei 21 latenten Variablen eine mittlere Korrelation von 0,586 bei einer Standardabweichung von 0,0319 im Testdatensatz erreicht werden. Diese konnte durch Erweitern des Modells um die Milchleistung geringfügig auf 0,602 gesteigert werden. Eine ähnliche Korrelation wies mit 0,573 die Energieaufnahme auf, hier ließ sich allerdings die Korrelation durch Erweitern des Modells mit der Milchleistung und der Lebendmasse auf 0,722 bzw. 0,750 steigern. Die Blutparameter BHB und FFS wiesen eine mittlere Korrelation von 0,279 bzw. 0,150 bei einer Standardabweichung von 0,0902 bzw. 0,0992 auf. Der Fettgehalt wies eine mittlere Korrelation von 0,997 bei einer Standardabweichung von 0,0003 auf, die Zellzahl eine mittlere Korrelation von 0,131 bei einer Standardabweichung von 0,0488.

## 5 Diskussion

Die Ergebnisse der Futtermittelanalysen lassen auf Grundfuttermittel mit guter Qualität schließen. Die Energiegehalte von 6,2 MJ NEL/kg TM bei Grassilage bzw. 5,7 MJ NEL/kg bei Heu liegen über dem österreichischem Durchschnitt für diese Aufwüchse (Resch et al., 2006). Sowohl die Grassilage, als auch das Heu wurden im Ähren- und Rispschieben der Leitgräser geerntet, was sich auch im Rohfasergehalt widerspiegelt. Der Rohproteingehalt beim Heu liegt im mittleren Bereich, der der Grassilage etwas unter dem Mittel, der Gehalt an nXP entspricht allerdings bei beiden Grundfuttermitteln dem Durchschnitt. Die Gehalte an Mengen- und Spurenelementen entsprechen etwa dem Mittel der österreichischen Grundfuttermittel (Resch et al., 2006). Die Krafftuttermischung entspricht sowohl bei Energie- und Proteingehalt als auch bei Mengen- und Spurenelementen dem Mittelwert der darin enthaltenen Komponenten (Kirchgeßner et al., 2008).

Entsprechend dem Versuchsplan nahmen die Versuchstiere in der dritten Versuchswochen (VW) die geringste Menge an Grassilage, Heu und Krafftutter auf. Der sinkende Krafftutteranteil ab VW4 ist auf den Rückgang der Milchleistung zurückzuführen, da die täglich gefütterte Krafftuttermenge in Abhängigkeit von der Milchleistung zugeteilt wurde (Ausnahme VW3). Dies erklärt auch den Rückgang der Energiedichte der Ration sowie den steigenden Rohfasergehalt im weiteren Versuchsverlauf. Die Gesamtfutterraufnahme erreichte nach der Unterversorgungswoche (VW3) nicht mehr das Niveau vor der Futterrestriktion. Als mögliche Ursachen dafür können der geringere Krafftutteranteil, negative Nachwirkungen aus der Futterrestriktionswoche sowie die fortschreitende Laktation angeführt werden.

Die Versorgung von Milchkühen mit nutzbarem Rohprotein wird wesentlich von der Energieversorgung beeinflusst (GfE, 2001). Auch in der vorliegenden Untersuchung zeigte sich dieser Zusammenhang, wobei jedoch im Durchschnitt über beide Unterversorgungsgruppen auch in VW3 mit 99 % eine praktisch bedarfsgerechte nXP-Versorgung erreicht wurde. Nur in der Unterversorgungsgruppe 30 wurde mit 96 % eine leicht negative nXP-Bilanz festgestellt. Obwohl in der vorliegenden Untersuchung in VW3 die Gesamtration restriktiv vorgelegt wurde, spiegeln die Ergebnisse daher vorwiegend die Effekte der Energieunterversorgung wider.

Die höhere Futterraufnahme (vor allem Grassilage) bei den Tieren in höheren Laktationen ist durch den größeren Verdauungsapparat (auch höhere Lebendmasse P-Wert = 0,018) und die höhere Milchleistung zu begründen, daher ist auch signifikanter Einfluss der Laktationsklasse auf die Energieaufnahme messbar (Gruber et al., 2004). Der numerische Einfluss der Laktationswoche zu Versuchsbeginn auf die Krafftutterraufnahme (P-Wert =

0,113) ist durch die im Laufe der Laktation sinkenden Milchleistung zu erklären, Tiere bei denen die Abkalbung zu Versuchsbeginn länger her war, hatten geringere energiekorrigierte Milchleistungen (P-Wert = 0,173) und bekamen daher geringere Kraftfuttermengen (Gruber et al., 2004). Der höchste Fettgehalt in der dritten Versuchswoche deutet auf Mobilisieren von Fett aus Körperreserven, der niedrigste Eiweißgehalt auf Energiemangel hin (Heuer et al., 2000). Dies bestätigt sich auch im höchsten Fett-Eiweiß-Quotient in dieser Woche. Dieser steigt auf über 1,5 an, was auf subklinische Ketosen schließen lässt. In den nachfolgenden Wochen sinkt der FEQ wieder, bleibt jedoch auf hohem Niveau (über 1,4), was durch den Energiemangel in dieser Zeit begründet werden kann (Buttchereit et al., 2010; Rossow et al., 1990). Diese Ergebnisse decken sich einigermaßen mit Urdl et al. (2014), bei welchem Fettgehalte von 4,46% und Eiweißgehalte von 2,96% (FEQ = 1,51) während der Energieunterversorgung gemessen wurden. Generell sind die Eiweißgehalte über den gesamten Versuchszeitraum relativ niedrig, was auf eine eingeschränkte energetische Versorgung hinweist (Spohr und Wiesner, 1991).

Tiere in höheren Laktationen wiesen tendenziell höhere Eiweißgehalte und signifikant höhere Mengen an kg Eiweiß/Tag. Dies lässt auf bessere Energieversorgung bei den Kühen in höheren Laktationen schließen, die Energiebedarfsdeckung bestätigt dies numerisch (P-Wert = 0,179). Der Energiebedarf ist in höheren Laktationen aufgrund numerisch höherer Milchleistung tendenziell größer (P-Wert = 0,064). Die angestrebten Werte für die Energieunterversorgung von 20 bzw. 30 MJ NEL/Tag konnten nur eingeschränkt erreicht werden, da die Tiere relativ stark mit Milchleistungsabfall reagierten, was den Energiebedarf senkte. Der Laktosegehalt wurde von keinem Parameter beeinflusst, er blieb über den Versuchszeitraum konstant bei 4,6 bis 4,7 %. Dem signifikanten Einfluss der Gruppe auf die Zellzahl ist keine große Bedeutung zu schenken, die gemessenen Werte liegen in beiden Gruppen auf niedrigem Niveau (40000 bzw. 72000 Zellen/ml). Die energetische Unterversorgung war nicht ausreichend lang bzw. stark um bei BCS oder Rückenfettdicke Veränderungen nachzuweisen.

Die Wechselwirkung zwischen Gruppe und Versuchswoche wies in der Varianzanalyse nur beim Parameter Lebendmasse signifikante P-Werte auf. Dies kann möglicherweise dadurch begründet werden, dass in sieben der acht Versuchswochen die Fütterungsbedingungen für beide Gruppen ident waren.

Bei der Interpretation der Blutparameter ist zu beachten, dass sich die Tiere zu Versuchsbeginn unmittelbar nach dem Milchleistungshöhepunkt in der Laktation befanden. Wie Ergebnisse von Urdl et al. (2014) und Gruber et al. (2014) zeigen, beeinflusst die Vorperiode die Ergebnisse in der Folgeperiode mit. Darüber hinaus wird am Versuchsbetrieb eine Low-Input Milchviehfütterung bei saisonaler Vollweidehaltung umgesetzt (Horn et al.,

2013b). Unter diesen Bedingungen weisen die Kühe insgesamt geringere Körperreserven auf, was sich auch in geringerer Körperkondition (Mittelwert BCS = 2,26) und Lebendmasse (Mittelwert LM = 588 kg) bzw. Rückenfettdicke (Mittelwert RFD = 26,3 mm) zeigt (Horn et al., 2013a).

Die BHB-Werte waren über alle Wochen leicht bis stark erhöht, was auf Energiemangel sowie subklinische Ketosen bei vielen Tieren schließen lässt (Fürl, 2011). Lediglich in der achten Woche fällt die Konzentration unter 1,4 mmol/l. In der Woche der Energieunterversorgung wurden in beiden Gruppen die höchsten BHB-Konzentrationen gemessen, in der stärker unterversorgten Gruppe war der Anstieg deutlicher ausgeprägt. Nur 18,5% aller gemessenen Werte lagen im Versuchszeitraum im Referenzbereich bis 0,62 mmol/l, 58,1% lagen über 1,2 mmol/l und 52,9% sogar über 1,4 mmol/l, dies deutet auf Energieunterversorgung der gesamten Herde hin (Fürl, 2011). Wie Literaturergebnisse zeigen, können auch Buttersäuregehalte in der Silage die BHB-Werte im Blutserum erhöhen (Eisner, 2007). Möglicherweise liefert dies eine Erklärung für das insgesamt erhöhte Niveau, wobei jedoch die Nährstoffgehalte der Silage sowie die subjektive Beurteilung von der Versuchssilage keine negativen Abweichungen aufzeigten, die Gärensäuregehalte wurden jedoch nicht analysiert.

Der Referenzbereich bei freien Fettsäuren liegt zwischen 0,01 und 0,62 mmol/l (Fürl, 2011). Die freien Fettsäuren (FFS) sind Metaboliten der Lipolyse, im Euter werden sie zur Milchfettbildung benötigt (Blömer, 2009). Auf die Konzentration der FFS konnte kein signifikanter Einfluss gezeigt werden, die gemessenen Werte waren stets im Referenzbereich, sie schwankten nur unwesentlich. Dies deutet daher darauf hin, dass die bereits gering konditionierten Versuchstiere auf die eingeschränkte Energieversorgung in der Unterversorgungswoche nicht wesentlich mit erhöhter Reservenmobilisierung reagierten bzw. reagieren konnten.

Die Konzentration an BILTS war in der zweiten und dritten Versuchswoche am höchsten, während des gesamten Versuchszeitraums lag sie allerdings konstant deutlich unterhalb des Referenzbereichs, die Untergrenze des Referenzbereichs gilt jedoch laut Fürl (2011) als biologisch wenig sinnvoll.

Signifikanten Einfluss auf die Konzentration an UREL zeigte die Versuchswoche, Die Werte lagen innerhalb des Referenzbereichs, was einerseits auf ausreichende Proteinversorgung schließen lässt aber auch auf keine Proteinmobilisation hinweist. Dies zeigt sich auch einigermaßen am Gehalt an Harnstoff in der Milch, hier wurden allerdings geringfügige Unterschreitungen der Grenze von 15 mg/100ml Milch festgestellt.

Sowohl für GGT als auch für GOT konnte kein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden. Beide Parameter lagen stets innerhalb des Referenzbereichs, die Werte für GOT lagen vor allem in der stärker unterversorgten Gruppe nahe an der Obergrenze von 80 U/l, dies könnten erste Anzeichen auf Leberschäden sein (Fürl, 2011).

In der Woche der Energieunterversorgung wurden die niedrigsten Glukosegehalte im Blut gemessen, dies deckt sich gut mit den höchsten BHB-Werten zu dieser Zeit und entspricht auch den Ergebnissen aus der Literatur (Urdl et al., 2014). Die Konzentration an Glukose liegt allerdings während des gesamten Versuchszeitraums innerhalb des Referenzbereichs, der Glukosegehalt lässt im vorliegenden Datensatz also keinen Schluss auf Energiemangel zu.

Dass manche Blutparameter zum Großteil außerhalb oder zur Gänze innerhalb der Referenzwerte liegen, kann auch an den Untersuchungsmethoden liegen, beispielsweise hat bei Enzymuntersuchungen die Messtemperatur großen Einfluss, zwischen den Labors bestehen große Unterschiede (Fürl, 2011). Möglicherweise ist dies auch eine Erklärung für das generell hohe Niveau der BHB-Werte in der vorliegenden Untersuchung.

In dieser Arbeit wurde auch auf lineare Nachwirkungen einer Energieunterversorgung eingegangen. Es wurde ebenfalls auf non-lineare Nachwirkungen getestet, diese waren allerdings für keinen Parameter signifikant. Tiere in höheren Laktationen reagierten in den nachfolgenden Wochen weniger stark auf die Energieunterversorgung mit Milchleistungsrückgang als Tiere in der ersten Laktation. Die Differenz der Milchleistung stieg auf 4,8 kg Milch/Tag bzw. 5,4 kg energiekorrigierte Milch/Tag an. Die höheren Eiweißgehalte in der Milch bei Tieren in höheren Laktationen lassen den Schluss auf bessere Energieversorgung zu, sie haben tendenziell höhere Energieaufnahmen. Die Energieversorgung in der Woche der energetischen Unterversorgung hatte signifikanten Einfluss auf Milchleistung bzw. ECM-Leistung, allerdings, anders als man zuerst erwarten würde, zeigen die Tiere mit höherer Energieunterversorgung in den nachfolgenden Wochen höhere Milchleistungen. Dies ist dadurch zu begründen, dass die Milchleistung bereits zu Versuchsbeginn in der stärker unterversorgten Gruppe etwas höher lag (25,7 bzw. 27,4 kg Milch/Tag), diese Differenz blieb, wie in den Abbildungen 1 und 2 ersichtlich, während des gesamten Versuchszeitraums bestehen. Den tendenziellen Einfluss der Laktationswoche zu Versuchsbeginn auf Fettgehalt und ECM-Leistung in den Wochen nach der Energieunterversorgung bestätigen die P-Werte aus der Varianzanalyse. Der tendenzielle Einfluss der Laktationswoche zu Versuchsbeginn sowie die signifikanten Einflüsse von der Versuchswoche und der Wechselwirkung zwischen der Energieversorgung in der Unterversorgungswoche und der Versuchswoche auf die GOT-Konzentration zeigt keine

Auswirkungen, es kommt nicht zu Überschreitungen des Referenzbereichs. Dies gilt auch für die signifikanten Einflüsse bei der Konzentration an GGT.

Der Fett-Eiweiß-Quotient wies eine Korrelation von -0,422 mit der Energiebilanz auf, in der Literatur schwanken die Werte hierfür erheblich, in McParland et al. (2011) beträgt sie lediglich -0,09. Dieser Wert gilt für die gesamte Laktation, wird nur die frühe Laktation (bis 60. Laktationstag) betrachtet, so beträgt die Korrelation -0,28. In Buttchereit et al. (2010) bzw. Buttchereit et al. (2011) sank die Korrelation des Fett-Eiweiß-Quotienten mit der Energiebilanz während der Laktation von -0,40 bis -0,45 zwischen 15. und 35. Laktationstag auf -0,15 bis -0,20 zwischen 95. und 155. Laktationstag. Bei Reist et al. (2002) lag die Korrelation bei -0,496 während des Versuchszeitraum von der ersten bis zur 10. Laktationswoche. Da der vorliegende Versuch bei Kühen im ersten Laktationsdrittel durchgeführt wurde, ist die höhere Korrelation erklärbar, die Aussagekraft des FEQ für die Energieversorgung sinkt im Laufe der Laktation.

Die relativ niedrigen Korrelationen der Blutparameter mit der Energiebilanz sollten nicht durch Tagesschwankungen der Parameter (Thurmann, 2012) hervorgerufen worden sein, da die Probenahme immer einheitlich nach der Morgenmelkung erfolgte. Eine Begründung dafür könnte sein, dass es sich beim Großteil der Tiere um gering konditionierte HFL-Kühe handelte (auch die BV-Kühe waren gering konditioniert, die Rasse hatte keinen signifikanten Einfluss auf den BCS), deren BHB-Werte über den gesamten Versuch im Schnitt erhöht waren. Auch Horn et al. (2014) stellten diesbezüglich höhere Werte für diese Rasse in vorangegangenen Untersuchungen am Versuchsbetrieb fest.

Die Korrelation des Fettgehalts mit der Energiebilanz war höher als die des Eiweißgehalts, dies kann durch das Mobilisieren von Fett aus Körperreserven begründet werden. Die Korrelation von -0,683 zwischen den Konzentrationen von BHB und Glukose zeigt die antagonistische Beziehung dieser Parameter. Steigender FEQ sowie steigende BHB-Konzentration sind Zeichen von Energiemangel, dies erklärt die Korrelation von 0,348 zwischen den beiden. Die Korrelation von BHB bzw. Glukose mit der Energiebilanz war allerdings deutlich schwächer ausgeprägt als in Reist et al. (2002) oder in Urdl et al. (2014). Bei Urdl et al. wurden Korrelationen von -0,686 für BHB bzw. 0,735 für Glukose mit der Energiebilanz erreicht. Diese Unterschiede können, wie oben bereits ausgeführt, möglicherweise auf das unterschiedliche Laktationsstadium, die unterschiedliche Vorbehandlung der Tiere, die Genetik und Körperkondition der Tiere bzw. auf die Methodik der Blutuntersuchungen und auf die Futterqualität zurückgeführt werden.

Die Korrelation der MIR-Spektren mit dem Fettgehalt der Milch diente in der vorliegenden Untersuchung als Referenz. Die hohe Korrelation der MIR-Spektren mit dem Fettgehalt ist

damit zu begründen, dass die Messung des Fettgehalts im Milchlabor mittlerweile mittels MIR-Spektrometrie durchgeführt wird, eine Korrelation nahe 1 ist daher zu erwarten. Ähnlich hohe Korrelationen konnten auch für Eiweiß- und Laktosegehalt errechnet werden, da auch diese mittels MIR-Spektrometrie ermittelt werden. Die Zellzahl hingegen wird nicht durch die MIR-Spektrometrie ermittelt, dies erklärt die niedrige Korrelation von 0,131.

Die mittlere Korrelation mit der Energiebilanz liegt im Testdatensatz bei 0,586 bzw. nach Erweitern des Modells mit der Milchleistung bei 0,602 und damit deutlich höher als die Parameter FEQ oder BHB. Dies deckt sich auch mit der Literatur, McParland et al. (2011) zeigt sogar geringfügig höhere Korrelationen von 0,67 bis 0,72 bzw. 0,69 bis 0,75 nach Erweitern um die Milchleistung. Die Steigerung der Korrelation durch die Milchleistung war bei der Energieaufnahme deutlich höher (von 0,573 auf 0,722 bzw. 0,750 nach Erweitern mit Milchleistung und Lebendmasse). Ähnliches war auch bei McParland et al. (2011) der Fall, die Korrelation zwischen durch MIR-Spektren vorhergesagter und gemessener Energieaufnahme lag bei 0,68 bis 0,72 bzw. 0,85 bis 0,87 mit Milchleistung im Modell. Diese höheren Korrelationen bei McParland et al. (2011) sind möglicherweise dadurch erklärbar, dass es sich bei den untersuchten Milchproben nicht wie in dieser Arbeit um Sammelmilchproben handelt, sondern jedes Gemelk einzeln analysiert wurde und Korrelationen für die einzelnen Gemelke erstellt wurden.

Die Unterversorgungswoche wurde bei den MIR-Spektren verstärkt repräsentiert, da in dieser Zeit täglich Milchproben gezogen wurden und daher mehr Datensätze zur Verfügung standen als in den anderen Versuchswochen. Es wäre möglich diesen Effekt dadurch auszugleichen, dass die Anzahl der verwendeten Datensätze in der Unterversorgungswoche auf das Niveau der restlichen Versuchswochen reduziert wird. In diesem Versuch war jedoch überproportionale Repräsentation der Unterversorgungswoche gewünscht, daher wurde auf diesen Ausgleich verzichtet.

In dieser Arbeit sind nur die Korrelationen der MIR-Spektren mit den Blutparametern BHB und FFS dargestellt, da für andere Parameter die mittlere Korrelation unter 0,15 bei Standardabweichungen um 0,1 bis 0,15 und wären daher nur wenig aussagekräftig, daher wurde auf eine Darstellung verzichtet. Interessant wäre in diesem Zusammenhang wie genau sich BHB oder FFS in der Milch durch MIR-Spektren schätzen lassen, in diesem Versuch wurde allerdings der Gehalt an BHB und FFS nur im Blut gemessen.

Die Daten der MIR-Spektren in dieser Arbeit waren nicht standardisiert, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Spektren zu ermöglichen, müssten sie durch Multiplikation von Koeffizienten, welche durch die Analyse einer standardisierten Testmilch ermittelt werden, auf ein vergleichbares Niveau gebracht werden. Dies ist für diese Arbeit zu vernachlässigen,

da sämtliche Analysen mit demselben Spektrometer durchgeführt worden sind, allerdings wichtig für zukünftige Forschungsarbeiten in diesem Bereich. Mittlerweile ist die Standardisierung für MIR-Spektren in mehreren Milchlabors in Österreich Routine. Für zukünftige Arbeiten in diesem Bereich könnte es auch aufschlussreich sein Regressionsanalysen durchzuführen. Um höhere Sicherheiten für die Korrelationen der MIR-Spektren zu erhalten, wird es wichtig sein, größere Datensätze zu haben, es müssten mehr Daten erhoben werden, zum Beispiel im Zuge der Milchleistungsprüfung.

## Literaturverzeichnis

- Albornoz, R.I., Aschenbach, J.R., Barreda, D.R., Penner, G.B., 2014. Feed restriction reduces short-chain fatty acid absorption across the reticulorumen of beef cattle independent of diet 1 91, 4730–4738. doi:10.2527/jas2012-6223
- Albornoz, R.I., Aschenbach, R., Barreda, D.R., Penner, G.B., 2013. Moderate decreases in the forage-to-concentrate ratio before feed restriction and increases thereafter independently improve the recovery from a feed restriction insult in beef cattle. J. Anim. Sci. 91, 4739–4749. doi:10.2527/jas.2012-6224
- Bastin, C., Vandeplas, J., Gengler, N., 2007. Improving Dairy Cow Fertility Using Milk Based Indicator Traits. 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production.
- Bergk, N., Swalve, H.H., 2011. Der Fett-Eiweiß-Quotient in der Frühlaktation als Indikator für den Verbleib von Erstkalbinnen in der Milchkuhherde. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. Züchtungskunde 83, 89–103.
- Blömer, J., 2009. Einfluss der Rückenfettdicke vor und nach dem Kalben auf Fruchtbarkeit, Leistung und Tiergesundheit beim Braunvieh. Dissertation an der Tierärztlichen Hochschule Hannover.
- Buttchereit, N., Stamer, E., Junge, W., Thaller, G., 2010. Evaluation of five lactation curve models fitted for fat : protein ratio of milk and daily energy balance. J. Dairy Sci. 93, 1702–1712. doi:10.3168/jds.2009-2198
- Buttchereit, N., Stamer, E., Junge, W., Thaller, G., 2011. Short communication : Genetic relationships among daily energy balance , feed intake , body condition score , and fat to protein ratio of milk in dairy cows. J. Dairy Sci. 94, 1586–1591. doi:10.3168/jds.2010-3396
- De Marchi, M., Toffanin, V., Cassandro, M., Penasa, M., 2014. Invited review: Mid-infrared spectroscopy as phenotyping tool for milk traits. J. Dairy Sci. 97, 1171–86. doi:10.3168/jds.2013-6799
- De Roos, a P.W., van den Bijgaart, H.J.C.M., Hørlyk, J., de Jong, G., 2007. Screening for subclinical ketosis in dairy cattle by Fourier transform infrared spectrometry. J. Dairy Sci. 90, 1761–1766. doi:10.3168/jds.2006-203

- De Vries, M.J., Veerkamp, R.F., 2000. Energy balance of dairy cattle in relation to milk production variables and fertility. *J. Dairy Sci.* 83, 62–69. doi:10.3168/jds.S0022-0302(00)74856-9
- Dehareng, F., Delfosse, C., Froidmont, E., Soyeurt, H., Martin, C., Gengler, N., Vanlierde, a., Dardenne, P., 2012. Potential use of milk mid-infrared spectra to predict individual methane emission of dairy cows. *Animal* 6, 1694–1701. doi:10.1017/S1751731112000456
- Denis-Robichaud, J., Dubuc, J., Lefebvre, D., DesCôteaux, L., 2014. Accuracy of milk ketone bodies from flow-injection analysis for the diagnosis of hyperketonemia in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97, 3364–70. doi:10.3168/jds.2013-6744
- DLG - Deutsche-Landwirtschafts-Gesellschaft, 1997. Futterwerttabellen Wiederkäuer. 7. erweiterte u. überarbeitete Auflage, DLG-Verlag Frankfurt, 212 S.
- Drackley, J.K., Richard, M.J., Beitz, D.C., Young, J.W., 1992. Metabolic Changes in Dairy Cows with Ketonemia in Response to Feed Restriction and Dietary 1,3-Butanediol. *J. Dairy Sci.* 75, 1622–1634. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)77919-3
- Duffield, T.F., 2004. Monitoring strategies for metabolic disease in transition dairy cows. *Proc. 23rd World Buiatrics Congr. Quebec City.* 1–6.
- Edmonson, A., Lean, I., Weaver, L., Farver, T., Webster, G., 1989. A Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 72, 68–78. doi:10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0
- Eisner, I., 2007. Statistische Analyse der Beziehungen zwischen Fermentationscharakteristika von Silagen und der Futteraufnahme sowie Milchleistung und Milchezusammensetzung bei Kühen. Dissertation an der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrec.
- Fürll, M., 2011. Stoffwechselüberwachung und Fruchtbarkeit. 4.Tierärztetagung. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein. 41–46.
- Fürll, M., Wilken, H., Müller, D., Evertz, C., 2004. Hochleistung und peripartale Stoffwechselgesundheit: bei gutem Management kein Widerspruch. *Proc. BpT-Kongress 2004, Nürnberg* 4.-7. November, 142-156.

- García, A.M.B., Cardoso, F.C., Campos, R., Thedy, D.X., González, F.H.D., 2011. Metabolic evaluation of dairy cows submitted to three different strategies to decrease the effects of negative energy balance in early postpartum. *Pesqui. Vet. Bras.* 31, 11–17. doi:10.1590/S0100-736X2011001300003
- GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2001. Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt, 136S.
- Gieseler, J., 2011. Stoffwechseluntersuchungen bei klinisch gesunden Kühen unter besonderer Berücksichtigung der wasser- und fettlöslichen Antioxidantien. Leipzig: Dissertation an der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig.
- Gross, J.J., Schwarz, F.J., Eder, K., van Dorland, H. a, Bruckmaier, R.M., 2013. Liver fat content and lipid metabolism in dairy cows during early lactation and during a mid-lactation feed restriction. *J. Dairy Sci.* 96, 5008–17. doi:10.3168/jds.2012-6245
- Gruber, L., Pries, M., Schwarz, F.-J., Spiekers, H., Staudacher, W., 2006. Schätzung der Futteraufnahme bei der Milchkuh. *DLG-Information* 1/2006.
- Gruber, L., Schwarz, F.J., Erdin, D., Fischer, B., Spiekers, H., Steingaß, H., Meyer, U., Chassot, A., Jilg, T., Obermaier, A., Guggenberger, T., 2004. Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen - Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. *VDLUFA-Schriftenreihe, Band 60 - Kongressband 2004*, 484-504.
- Gruber, L., Urdl, M., Obritzhauser, W., Schauer, A., Häusler, J., Steiner, B., 2014. Influence of energy and nutrient supply pre and post partum on performance of multiparous Simmental, Brown Swiss and Holstein cows in early lactation. *Animal* 8, 58–71. doi:10.1017/S1751731113001894
- Grummer, R.R., 1995. Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow Impact of Changes in Organic Nutrient Metabolism Feeding the Transition Dairy Cowl. *J Anim Sci* 73, 2820–2833.
- Heuer, C., van Straalen, W.M., Schukken, Y.H., Dirkzwager, A., Noordhuizen, J.P.T.M., 2000. Prediction of energy balance in a high yielding dairy herd in early lactation: model development and precision. *Livest. Prod. Sci.* 65 , 91 – 105.

- Horn, M., Steinwigger, A., Gasteiner, J., Podstatzky, L., Haiger, A., Zollitsch, W., 2013a. Suitability of different dairy cow types for an Alpine organic and low-input milk production system. *Livest. Sci.* 153, 135–146. doi:10.1016/j.livsci.2013.01.011
- Horn, M., Steinwigger, A., Pfister, R., Gasteiner, J., Vestergaard, M., Larsen, T., Zollitsch, W., 2014. Do different cow types respond differently to a reduction of concentrate supplementation in an Alpine low-input dairy system? *Livest. Sci.* 170, 72–83. doi:10.1016/j.livsci.2014.10.006
- Horn, M., Steinwigger, A., Starz, W., Pfister, R., Zollitsch, W., 2013b. Interactions between calving season and cattle breed in a seasonal Alpine organic and low-input dairy system. *Livest. Sci.* 160, 141–150.
- Karsai, F., Schäfer, M., 1984. Diagnostische Erfahrungen bei metabolisch bedingten Leberkrankheiten der Milchkühe. *Mh Vet-Med* 39, 181-185.
- Kirchgeßner, M., Roth, F.X., Schwarz, F.J., Stangl, G.I., 2008. Tierernährung. 12. neu überarbeitete Auflage, Frankfurt am Main: DLG - Verlags - GmbH.
- Kirchgeßner, M., Roth, F.X., Schwarz, F.J., Stangl, G.I., 2011. Tierernährung – Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. DLG-Verlag GmbH, Frankfurt am Main. 371-383.
- Kolb, E., 1981. Neuere biochemische Erkenntnisse zum Mechanismus der Entstehung und der Verwertung der Ketonkörper. *Mh Vet-Med* 1981; 36:625-629.
- Kraft, W., Dürr, U., 2005. Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin. 6. Auflage. Stuttgart: Sattauerverlag.
- Loeffler, S.H., de Vries, M.J., Schukken, Y.H., 1999. The Effects of Time of Disease Occurrence, Milk Yield, and Body Condition on Fertility of Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 82, 2589–2604. doi:10.3168/jds.S0022-0302(99)75514-1
- Maurice-Van Eijndhoven, M.H.T., Soyeurt, H., Dehareng, F., Calus, M.P.L., 2012. Validation of fatty acid predictions in milk using mid-infrared spectrometry across cattle breeds. *Animal* 1–7. doi:10.1017/S1751731112001218
- McParland, S., Banos, G., Wall, E., Coffey, M.P., Soyeurt, H., Veerkamp, R.F., Berry, D.P., 2011. The use of mid-infrared spectrometry to predict body energy status of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 94, 3651–3661. doi:10.3168/jds.2010-3965

- McParland, S., Kennedy, E., Lewis, E., Moore, S.G., McCarthy, B., O'Donovan, M., Berry, D.P., 2015. Genetic parameters of dairy cow energy intake and body energy status predicted using mid-infrared spectrometry of milk. *J. Dairy Sci.* 98, 1310–1320. doi:10.3168/jds.2014-8892
- McParland, S., Lewis, E., Kennedy, E., Moore, S.G., McCarthy, B., O'Donovan, M., Butler, S.T., Pryce, J.E., Berry, D.P., 2014. Mid-infrared spectrometry of milk as a predictor of energy intake and efficiency in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* doi:10.3168/jds.2014-8214
- Nielsen, N.I., Ingvarsen, K.L., Larsen, T., 2003. Diurnal variation and the effect of feed restriction on plasma and milk metabolites in TMR-fed dairy cows. *J. Vet. Med. Ser. A Physiol. Pathol. Clin. Med.* 50, 88–97. doi:10.1046/j.1439-0442.2003.00496.x
- Pillonel, L., Luginbühl, W., Picque, D., Schaller, E., Tabacchi, R., Bosset, J., 2003. Analytical methods for the determination of the geographic origin of Emmental cheese: mid- and near-infrared spectroscopy. *Eur. Food Res. Technol.* 216, 174–178. doi:10.1007/s00217-002-0628-5
- Reist, M., Erdin, D., von Euw, D., Tschuemperlin, K., Leuenberger, H., Chilliard, Y., Hammon, H.M., Morel, C., Philipona, C., Zbinden, Y., Kuenzi, N., Blum, J.W., 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. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74420-2
- Resch, R., Guggenberger, T., Wiedner, G., Kasal, A., Wurm, K., Gruber, L., Buchgraber, K., Ringdorfer, F., 2006. Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum 18S.
- Rossow, N., Staufienbiel, B., Jacobi, U., 1990. Die Nutzung von Milchinhaltsstoffen für die Stoffwechselüberwachung bei Milchkühen. *Mh. Vet.-Med.* 45, 686 – 690.
- Rossow, N., Staufienbiel, B., Staufienbiel, R., Gürtler, H., Dargel, D., Neuer, R., 1991. Zur Bewertung erhöhter Ketonkörperkonzentrationen bei der Milchkuh. *Mh Vet Med*; 46, 11–17.
- Rukkwamsuk, T., Kruip, T.A., Wensing, T., 1999. Relationship between overfeeding and overconditioning in the dry period and the problems of high producing dairy cows during the postparturient period. *Vet. Q.* 21, 71–77. doi:10.1080/01652176.1999.9694997
- SAS Institute, 2002. SAS software 9.2. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

- Schlerka, G., Filar, J., 1981. Der Einfluss experimentell ausgelöster Ketose auf das klinische Bild, den Säure- Basen- und Elektrolythaushalt, den Ketokörpergehalt sowie auf zellige Bestandteile im Blut bei Kühen. *Wien, Tierärztl Mschr*; 68, 436–441.
- Siebert, F., Pallauf, J., 2010. Analyse von Ergebnissen der Milchleistungsprüfung in Hessen im Hinblick auf ein Ketoserisiko. *Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart* 112–122.
- Soyeurt, H., Dehareng, F., Gengler, N., McParland, S., Wall, E., Berry, D.P., Coffey, M., Dardenne, P., 2011. Mid-infrared prediction of bovine milk fatty acids across multiple breeds, production systems, and countries. *J. Dairy Sci.* 94, 1657–1667. doi:10.3168/jds.2010-3408
- Spohr, M., Wiesner, H.U., 1991. Kontrolle der Herdengesundheit und Milchproduktion mit Hilfe der erweiterten Milchleistungsprüfung. *Milchpraxis* 29 , 231 – 236.
- Steinwigger, A., Starz, W., Podstatzky, L., Gasteiner, J., Pfister, R., Gallnböck, M., Rohrer, H., 2010. Vollweidehaltung von Bio-Milchkühen im Berggebiet Österreichs - Einfluss des Abkalbezeitpunkts auf die Milchleistung , Nährstoff- versorgung sowie ökonomische und ökologische Parameter.
- Thurmann, J., 2012. Aus der Klinik für Klauentiere des Fachbereichs Veterinärmedizin Tagesschwankungen von Laborparametern beim Milchrind. *Diss. Berlin*.
- Urdl, M., Gruber, L., Obritzhauser, W., Schauer, a., 2014. Metabolic parameters and their relationship to energy balance in multiparous Simmental, Brown Swiss and Holstein cows in the periparturient period as influenced by energy supply pre- and post-calving. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 99, 174–189. doi:10.1111/jpn.12178
- Van Kneegsel, A.T.M., van der Drift, S.G.A., Horneman, M., de Roos, A.P.W., Kemp, B., Graat, E.A.M., 2010. Short communication: ketone body concentration in milk determined by Fourier transform infrared spectroscopy: value for the detection of hyperketonemia in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93, 3065–3069. doi:10.3168/jds.2009-2847
- Veerkamp, R.F., Beerda, B., Van Der Lende, T., 2003. Effects of genetic selection for milk yield on energy balance, levels of hormones, and metabolites in lactating cattle, and possible links to reduced fertility. *Livest. Prod. Sci.* 83, 257–275. doi:10.1016/S0301-6226(03)00108-8
- West, H., 1989. Liver function of dairy cows in late pregnancy and early lactation. *Res. Vet. Sci.* 46, 231–237.

Wilken, H., 2004. Endotoxin-Status und Antioxidative Kapazität sowie ausgewählte Stoffwechselfparameter bei gesunden Milch- und Mutterkühen. Leipzig: Dissertation an der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig.

Wilmink, J.B.M., 1987. Adjustment of lactation yield for age at calving in relation to level of production. *Livest. Prod. Sci.* 16, 321–334. doi:10.1016/0301-6226(87)90002-9