

Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkuh in der Trockenstehzeit und zu Laktationsbeginn: Produktionsdaten und Stoffwechsel

Energy and nutrient supply of dairy cows in the dry period and at start of lactation: Production data and metabolic parameters

Leonhard Gruber^{1*}, Marcus Urdl¹, Walter Obritzhauser², Anton Schauer¹ und Johann Häusler¹

A) PRODUKTIONS DATEN

Zusammenfassung

In einem Fütterungsversuch wurde der Einfluss der Energie *pre partum* (PRE) und *post partum* (POST) und deren Wechselwirkung auf Futterraufnahme, Leistung und Energiestatus von Milchkuhen der Rassen Fleckvieh (FV), Brown Swiss (BS) und Holstein (HF) untersucht. Im Versuch wurden die Effekte von drei Energie- und Nährstoffniveaus (niedrig (N), mittel (M), hoch (H)) jeweils vor und nach dem Abkalben untersucht, indem ein 3×3 faktorielles Design von Behandlungen angewendet wurde. In beiden Versuchsphasen (84 Tage vor und 105 Tage nach dem Abkalben) wurden insgesamt 81 Kühe untersucht (von jeder Rasse jeweils 27 Tiere). Die Energieniveaus betragen 75, 100 und 125 % der Empfehlungen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE 2001). Die Futterraufnahme wurde begrenzt, wenn die Energieaufnahme die Zielwerte überschritt. Die Trockenmasseaufnahme *pre partum* war unterschiedlich, wie im Versuchsplan vorgesehen. Im Vergleich zu BS- und HF-Kühen waren Lebendmasse und Body-Condition-Score (BCS) der FV-Kühe höher, die Energiebilanz jedoch niedriger. Die Milchleistung und die Milchezusammensetzung wurden von allen drei Hauptversuchsfaktoren, nämlich Energieversorgung *pre partum* und Energieversorgung *post partum* sowie Rasse, beeinflusst. In den Gruppen N_{PRE} , M_{PRE} und H_{PRE} betrug die Milchleistung 25,6, 28,6 und 30,1 kg ECM pro Tag und in den Gruppen N_{POST} , M_{POST} und H_{POST} machte sie 21,5, 30,1 und 32,6 kg pro Tag aus. Signifikante Wechselwirkungen zwischen $E_{PRE} \times E_{POST}$ bzw. zwischen $E_{PRE} \times$ Rasse traten nur beim Milchproteingehalt auf. Der Einfluss der Energieversorgung vor dem Abkalben war deutlicher ausgeprägt, wenn die Kühe ein niedrigeres Energieniveau nach dem Abkalben hatten und umgekehrt. Auf der anderen Seite war die Reaktion der Kühe hinsichtlich Milchleistung auf die Energieversorgung über den Bedarf *post partum* größer bei Kühen, die vor der Abkalbung ein niedrigeres Energieniveau hatten. Der Einfluss der Energieversorgung *pre partum* war bei

Summary

A study was conducted to evaluate the effects of *pre partum* (PRE) and *post partum* (POST) dietary energy and nutrient supply (E) and their interactions on feed intake, performance and energy status in dairy cows of three breeds. In this experiment, the effects of 3 energy and nutrient supply levels (low (L), medium (M), high (H)), both pre calving and post calving, were investigated, using a 3×3 factorial arrangement of treatments. In both phases (84 days pre- and 105 days post calving) E levels applied to a total of 81 multiparous cows of breeds Simmental (SI), Brown Swiss (BS) and Holstein-Friesian (HF; $n = 27$ for each breed), were 75, 100 and 125 % of recommendations of the German Society of Nutrition Physiology (GfE 2001). Dry matter intake (DMI) was restricted, if energy intake (EI) exceeded target values. Pre partum DMI and EI were different as designed, live-weight and body condition score (BCS) of SI cows were higher, but EB was lower, compared to BS and HF cows. Milk yield and composition were influenced by all three main experimental factors (E_{PRE} , E_{POST} , breed). Energy-corrected milk (ECM) yield was 25.6, 28.6 and 30.1 kg/d for L_{PRE} , M_{PRE} and H_{PRE} as well as 21.5, 30.1 and 32.6 kg/day for L_{POST} , M_{POST} and H_{POST} , respectively. Numerically, only for milk protein content the interactions $E_{PRE} \times E_{POST}$ and $E_{PRE} \times$ breed reached significance. Impact of energy supply pre calving was more pronounced when cows had lower energy supply post calving and vice versa. On the other hand, milk yield response of cows to energy supply above requirements *post partum* was greater for cows that were fed on a low energy level *pre partum*. Impact of energy level *pre partum* was higher for HF cows compared to the other breeds, showing that their milk production relies to a greater extent on mobilization of body reserves. Increasing energy supply *pre partum* led to a more negative energy balance *post partum*, mainly by increasing milk yield and content, whereas feed intake was slightly reduced. The increasing energy supply *post partum* enhanced milk yield as well

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

² Österreichische Tierärztekammer, Hietzinger Kai 87, A-1130 Wien

* Ansprechpartner: Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, email: leonhard.gruber@raumberg-gumpenstein.at

HF-Kühen höher als bei den anderen Rassen. Das zeigt, dass deren Milchleistung in einem höheren Ausmaß auf der Mobilisation von Körperreserven beruht. Die Erhöhung der Energieversorgung *pre partum* führte zu einer ausgeprägteren negativen Energiebilanz *post partum*. Hauptsächlich, indem sie die Milchleistung und den Gehalt an Milchinhaltsstoffen erhöhte, während die Futteraufnahme leicht reduziert wurde. Die Erhöhung der Energieversorgung *post partum* erhöhte die Milchleistung und auch den Gehalt an Milchprotein und Laktose. Die kalkulierte Energiebilanz entsprach der Veränderung der Lebendmasse und der Körperkondition relativ gut. Die Reaktion der Milchleistung auf erhöhte Energieversorgung folgte dem Prinzip des abnehmenden Ertragszuwachses, da die Energie in verstärktem Maße in Richtung Körpersubstanz verwertet wurde. Die Erhöhung der Energieversorgung *pre partum* erhöhte die Milchleistung und den Gehalt an Milchinhaltsstoffen *post partum*, aber es verstärkte die negative Energiebilanz und deren Konsequenzen.

Schlagwörter: Milchkühe, Trockenstehzeit, Energieaufnahme *post partum*, Transition Periode, Milchleistung, Energiestatus, Stoffwechsel

as milk protein and lactose content. Calculated energy balance corresponded well with liveweight and BCS change. Response of milk yield to increasing energy supply followed the principle of diminishing returns, since energy was increasingly partitioned to body retention. Increasing energy supply *pre partum* enhances milk yield and content *post partum*, but exacerbates negative energy balance and its consequences.

Keywords: dairy cow, dry period, post calving energy intake, transition period, milk production, energy status, metabolism

1. Einleitung

Im letzten Jahrzehnt wurde die Milchleistung in Europa signifikant erhöht, was auf kontinuierliche Verbesserung des genetischen Potenzials der Milchkühe und auf verstärkten Einsatz von Kraftfutter zurückzuführen ist (KNAUS 2009). Der Energiebedarf von Milchkühen erhöht sich von Tag 21 vor dem Abkalben zu Tag 21 nach dem Abkalben um das Zwei- bis Dreifache (DRACKLEY et al. 2001). Nachdem in der Früh-laktation die Trockenmasse- und somit auch Nährstoffaufnahme stark hinter dem Energiebedarf herhinkt, tritt zwangsläufig eine negative Energiebilanz auf. Die Mobilisation von Nährstoffen, besonders aus dem Fettgewebe (McNAMARA 1991), aber auch aus dem Muskelgewebe, um eine entsprechende Versorgung der Milchdrüse zu gewährleisten, wird reguliert durch einen insulin-resistenten Status, der die negative Energiebilanz in der frühen Laktation begleitet (BAUMAN 2000). In den letzten Jahren wurden zahlreiche Studien durchgeführt, um die physiologischen Veränderungen während des peripartalen Zeitraumes zu verstehen sowie um das Ziel einer größtmöglichen Milchleistung zu erreichen und um die Krankheitsanfälligkeit zu minimieren (siehe Reviews LINS et al. 2003, FRIGGENS et al. 2005). Die Fütterungsstrategien in diesen Versuchen haben sich entweder darauf konzentriert, die Trockenmasse- und Energieaufnahme in der close-up Periode zu maximieren oder im Gegensatz die Energieversorgung während der Trockenstehzeit gering zu halten und eine hohe Futteraufnahme *post partum* zu gewährleisten (DANN et al. 2006). Hinsichtlich des Einflusses der Energieaufnahme vor dem Abkalben auf die Futteraufnahme und Milchleistung nach dem Abkalben sind die Ergebnisse uneinheitlich und bedürfen weiterer Untersuchungen (REMPPIIS et al. 2011). Obwohl die Erhöhung der Energiekonzentration durch Kraftfutter nach dem Abkalben die Milchleistung steigert (FRIGGENS et al. 1998, McNAMARA et al. 2003), zeigt

sich, dass diese Steigerung mit zunehmendem Kraftfutteranteil immer geringer wird (HUHTANEN 1998). KUNZ et al. (1985) und ROCHE et al. (2007) stellten eine verminderte Milchleistung fest, wenn die Energieversorgung *post partum* beschränkt wurde. Weiters sind Wechselwirkungen zwischen der Versorgung *pre partum* \times *post partum* in einer Studie von LAW et al. (2011) aufgetreten. Eine vorsichtige und erfolgreiche Transitionperiode (Übergangsperiode von der späten Trächtigkeit zur beginnenden Laktation) ist von fundamentaler Bedeutung, da dies die Wirtschaftlichkeit von Kühen während der Laktation entscheidend bestimmt (DRACKLEY et al. 1999).

Während Holsteins aus globaler Sicht bei weitem die wichtigste Milchrasse darstellen, machen in einigen mitteleuropäischen Ländern und Regionen wie Österreich, Schweiz und Süddeutschland die Zweinutzungsrasse Fleckvieh und Brown Swiss einen bedeutenden Rassenanteil aus; z.B. ist der Anteil der Kontrollkühe in Österreich 72 % Fleckvieh, 14 % Brown Swiss und 11 % Holstein Anteil (ZAR 2014). Es gibt deutliche Hinweise, dass die Zucht auf hohe Milchleistung das Ausmaß der Mobilisation von Körperreserven erhöht und die Fitness vermindert (FRIGGENS et al. 2011). COFFEY et al. (2004) verglichen zwei Kuhgenotypen mit unterschiedlichem Milchleistungspotenzial aus der Langhill-Herde über drei volle Laktationen. Diese Herde war entweder auf höchste Milchleistung gezüchtet worden oder auf einem Niveau, das dem durchschnittlichen UK-Milchleistungspotenzial entspricht (Kontrollgruppe). Jede dieser beiden Genotypen wurde mit zwei Rationen unterschiedlicher Energiekonzentration (niedriger und hoher Kraftfutteranteil) gefüttert. Die Kühe, die auf höchste Leistung selektiert waren, verloren in beiden Rationen mehr Körperfett als die Kontrollkühe. Das bedeutet, dass die Selektion auf hohe Milchleistung hauptsächlich zu einer verstärkten Mobilisation von Körperreserven geführt hat, um die Milchleistung zu unterstützen bzw. zu ermöglichen.

In ähnlicher Weise haben YAN et al. (2006) den Einfluss von Genotypen bei Milchkühen (Holstein vs. norwegische Zweinutzungs-Milchkühe) ebenfalls bei zwei Ernährungsniveaus auf die Energieaufteilung zwischen Milch und Körpergewebe während einer vollständigen Laktation untersucht. Holstein-Kühe produzierten mehr Milchenergie als norwegische Zweinutzungs-Kühe, hauptsächlich als Ergebnis einer erhöhten Energieaufnahme und auf Grund der Fähigkeit, mehr Energie in Richtung Milch und weniger in Richtung Körpergewebe zu lenken, hauptsächlich in der Früh- und Mittellaktation und speziell bei Rationen mit hohem Kraftfutteranteil.

Daher wurde in der vorliegenden Studie der Einfluss der Energieversorgung vor und nach dem Abkalben und deren Wechselwirkungen auf Futteraufnahme, Milchleistung und Energiestatus in der Trockenstehzeit und in der nachfolgenden Früh-laktation untersucht, und zwar bei mehrkalbigen Kühen der Rassen Fleckvieh, Brown Swiss und Holstein.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Österreich, Steiermark) durchgeführt.

2.1 Versuchsplan, Rationen und Fütterung

Zu Beginn des Versuches wurde eine Vorperiode von zwei Wochen angewendet. In diesem Zeitraum bestand die Grundfütterration aus jeweils 1/3 Heu, 1/3 Grassilage und 1/3 Maissilage (auf Trockenmasse-Basis). Von Tag -98 bis Tag -92 vor dem geplanten Abkalbedatum wurden die Kühe entsprechend ihrem Energiebedarf gefüttert (GfE 2001) und es wurde die Milchleistung sowie Milchzusammensetzung festgestellt, um einen Wert für das Milchleistungspotenzial der Kühe zu erhalten. In ähnlicher Weise erhielten die Kühe von Tag -91 bis Tag -85 eine Ration, zusammengesetzt aus 85 % Grundfutter und 15 % Kraftfutter, um einen Messwert für die Futteraufnahmekapazität zu bekommen. Es wurde das gleiche Grundfutter und auch Kraftfutter wie im eigentlichen Versuchszeitraum eingesetzt.

In diesem Experiment wurde der Einfluss von drei Energie- und Nährstoffniveaus untersucht (niedrig (N), mittel (M) und hoch (H)), sowohl vor als auch nach der Abkalbung (PRE und POST), indem ein 3 × 3 faktorielles Versuchsdesign angewendet wurde (Tabelle 1). In beiden Versuchsphasen, d.h. vor dem Abkalben (pre calving) und nach dem

Abkalben (post calving) wurde eine Energie- und Nährstoffversorgung angewendet, die 75, 100 bzw. 125 % der Empfehlungen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE 2001) entsprach. Das bedeutete drei Versuchsgruppen *pre partum* (N, M, H) und neun Versuchsgruppen *post partum* (NN, NM, NH, MN, MM MH, HN, HM, HH). Das Energie- und Nährstoffversorgungsniveau, d.h. sowohl die Zusammensetzung als auch die Menge der Ration, wurden während des gesamten Versuches entsprechend dem Versuchsdesign auf der Grundlage der Futteraufnahme und Milchleistung der vorangegangenen drei bis vier Tage in der Woche zweimal angepasst. Der Versuch begann 12 Wochen (84 Tage) vor dem voraussichtlichen Abkalbetermin und die Kühe wurden durchschnittlich 66 ± 7 Tage vor der Abkalbung trockengestellt (d.h. durchschnittlich 18 Tage der vorangehenden Laktation waren in der Phase vor dem Abkalben enthalten). Die Phase nach der Abkalbung dauerte 15 Wochen (105 Tage).

In den Versuchsgruppen N, M und H bestand die Ration aus verschiedenen Anteilen von Grassilage, Maissilage und Heu, um eine unterschiedliche Energiekonzentration zu erreichen. Um die im Versuch beabsichtigte Energie- und Nährstoffversorgung sicherzustellen, unterschieden sich die Behandlungen hauptsächlich im Kraftfutteranteil. Wenn allerdings die Energieaufnahme das im Versuch vorgesehene Niveau überschritt, wurde die Futteraufnahme beschränkt, um das im Versuchsplan vorgesehene Energieniveau zu erreichen. Die Kühe in den H_{POST} Behandlungen erhielten ihre Rationen *ad libitum*.

Grundfutter und Kraftfutter wurden in der folgenden Reihenfolge getrennt angeboten: (1) ½ Kraftfutter, (2) Heu, (3) Maissilage, (4) ½ Kraftfutter und (5) Grassilage. Die Fütterungszeiten waren 04:30 bis 08:30 Uhr sowie 15:00 bis 19:00 Uhr. Um eine sichere Aufnahme der Mineralstoffe zu erreichen, wurden diese während der Trockenstehzeit auf die Maissilage gestreut und während der Laktation in die Kraftfutter eingemischt. Mit Ausnahme der letzten Woche der Trächtigkeit erhielten die Kühe während der Trockenstehzeit kein Kraftfutter. Die Kraftfuttermengen wurden während der ersten Woche der Laktation kontinuierlich erhöht (0,3, 0,6 und 0,9 kg in N_{POST}, M_{POST} und H_{POST}), danach wurden die Kraftfutteranteile entsprechend dem Versuchsplan angewendet. Die Kraftfuttermengen wurden in 1 kg-Stufen pro Tag erhöht. Um Pansenazidose zu vermeiden, wurden Kraftfuttermengen, die höher als 4 kg pro

Tabelle 1: Versuchsplan – Zusammensetzung der Grundfütterration und Kraftfutteranteil in den Versuchsgruppen N, M, H

| Parameter | Energieniveau | | |
|---|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | N | M | H |
| Grundfüttermittel (% des Grundfutters, in TM) | | | |
| Heu (niedrige Qualität) | 40 | 20 | – |
| Heu (hohe Qualität) | – | 20 | 40 |
| Grassilage | 40 | 30 | 20 |
| Maissilage | 20 | 30 | 40 |
| Kraftfutter ¹ (% des Gesamtfutters, in TM) | | | |
| Trockenstehzeit ² | – | – | – |
| Laktation | - 0,250 + 0,014 × ECM ³ | - 0,275 + 0,028 × ECM | - 0,300 + 0,060 × ECM |
| (Min – Max) | (0 – 30) | (0 – 55) | (0 – 60) |

¹ Kraftfutter (% der TM): 24 % Mais, 16 % Gerste, 16 % Trockenschrot, 12 % Weizen, 12 % Weizenkleie, 6,7 % Sojaextraktionsschrot, 6,7 % Rapsextraktionsschrot, 6,7 % Sonnenblumenextraktionsschrot

² Zur Angewöhnung der Pansenmikroben an die Fütterration während der Laktation erhielten die Kühe eine Woche vor der Abkalbung 1 kg Kraftfutter

³ Energiekorrigierte Milch = (0,38 × Milchfett% + 0,21 × Milchprotein% + 0,95) × Milchmenge / 3,2 (GfE 2001)

Mahlzeit waren, in drei Portionen angeboten. Die Rationen wurden so gestaltet, dass sie den Nährstoffbedarf deckten oder überschritten. Im Falle von Überschreitung wurde die Futteraufnahme begrenzt. Die Mineralstoffversorgung ist in *Tabelle 2* angeführt.

2.2 Versuchstiere und Haltung

Im Fütterungsversuch wurden 81 mehrkalbige Kühe der Rassen Fleckvieh (FV), Brown Swiss (BS) und Holstein-Friesian (HF) verwendet (n = 27 pro Rasse). Die Angaben in *Tabelle 2* zeigen, dass die Kühe in den Gruppen 75, 100 und 125 sowohl in der Phase PRE als auch POST hinsichtlich der Faktoren Laktationszahl, Milchleistung und Milch Inhaltsstoffe, Futteraufnahme, Lebendmasse und BCS ausgeglichen waren. Andererseits bestanden, wie erwartet, zwischen den Rassen typische Unterschiede hinsichtlich Lebendmasse und BCS (FV > BS > HF) sowie Futteraufnahme und Milchleistung (HF > BS > FV). Die Tiere wurden individuell in Anbindehaltung auf Gummimatten gehalten und hatten während des gesamten Versuches freien Zugang zu frischem Wasser. Die Tiere hatten an jedem Tag zwischen 13:00 und 15:00 Uhr Auslauf im Freien.

2.3 Erhebungen und chemische Analysen

Die Kühe wurden zweimal täglich um 05:00 und 16:00 Uhr gemolken. Die Milchleistung wurde sowohl bei der Morgen- als auch bei der Abendmelkung festgestellt (Tru-Test, Auckland, Neuseeland). Die Zusammensetzung der Milch wurde täglich aus einer Sammelprobe von Morgen- und Abendmilch analysiert. Der Gehalt der Milch an Fett, Protein und Laktose sowie Harnstoff wurde durch ein Infrarot-Spektrophotometer (MilcoScan MSC-605, Foss, Hillerød, Dänemark) im QLM-Qualitätslabor (St. Michael,

Steiermark) festgestellt. Die Lebendmasse der Tiere wurde wöchentlich auf einer digitalen Waage ermittelt. Die Einwaage und Rückwaage der Futtermittel wurde täglich bei jeder Mahlzeit festgestellt und auch der Trockenmassegehalt täglich ermittelt (durch Trocknung bei 105°C für 24 Stunden). Die bei der Trocknung entstehenden Verluste an flüchtigen Substanzen wurden entsprechend den Angaben von WEISSBACH und KUHLA (1995) berücksichtigt. Die Futterproben wurden täglich genommen und zu einer Sammelprobe von vier Wochen gepoolt. Diese Proben wurden auf Trockenmasse und Rohnährstoffe (TM, XP, XL, XF, XX, XA) entsprechend den Analysenvorschriften des VDLUFA (2007) sowie auch auf die Gerüstsubstanzen (NDF, ADF, ADL; nach Van SOEST et al. 1991) untersucht, wobei das Foss Fibertec System (FOSS) verwendet wurde. Der Gehalt der Futtermittel an Inhaltsstoffen ist in *Tabelle 3* angeführt.

2.4 Kalkulation der Werte

Die Berechnung der Energiekonzentration der Futtermittel erfolgte auf der Grundlage der Rohnährstoffe (Bruttoenergie) und der *in vivo* ermittelten Verdaulichkeitskoeffizienten (ME, NEL) auf der Basis der von der GfE (1995) festgelegten Regressionsgleichungen. Die Verdauungsversuche wurden entsprechend den Richtlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen nach GfE (1991) durchgeführt, indem vier Hammel pro Grundfutter verwendet wurden. Die Verdaulichkeit der Kraftfuttermittel wurde nach der sogenannten Regressionsmethode – wie von GIGER und SAUVANT (1983) beschrieben – durchgeführt, indem Kraftfutterniveaus von 0, 25, 50 und 75 % der TM sowie 16 Hammeln (vier pro Kraftfutterniveau) verwendet wurden. Die Nettoenergieaufnahme (NE_e) jeder Kuh wurde durch Multiplikation der Trockenmasseaufnahme der ein-

Die Berechnungen folgten den Richtlinien der GfE (2001):

$$\text{Energiekorrigierte Milch (ECM)} = (0,38 \times \text{Milchfett}(\%) + 0,21 \times \text{Milchprotein}(\%) + 0,95) \times \text{kg Milch} / 3,2$$

$$\text{Erhaltungsbedarf (NE}_M) = 0,293 \times \text{LM}^{0,75}$$

$$\text{Bedarf Trächtigkeit (NE}_C) = (0,044 \times \exp(0,0165 \times \text{Trächtigkeitstage}) + (0,01905 \times \text{Trächtigkeitstage} - 3,6619)) / 0,175 \times 0,6$$

$$\text{Bedarf für Milchleistung (NE}_{LAC}) = (0,38 \times \text{Milchfett}(\%) + 0,21 \times \text{Milchprotein}(\%) + 1,05) \times \text{tägliche Milchleistung}$$

*Tabelle 2: Kriterien der Kühe zu Versuchsbeginn*¹

| | PRE | | | POST | | | Rasse ⁵ | | | Summary statistics ⁶ | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|--------|
| | 75 | 100 | 125 | 75 | 100 | 125 | FV | BS | HF | Mittel | s.d. | Min | Max |
| Anzahl Kühe | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 81 | – | – | – |
| Laktationszahl ¹ | 2,74 | 2,37 | 2,96 | 2,78 | 2,74 | 2,56 | 2,26 | 3,07 | 2,74 | 2,69 | 1,81 | 1 | 7 |
| Milchleistung (kg/Laktation) ¹ | 6.189 | 6.215 | 6.534 | 6.315 | 6.324 | 6.299 | 5.581 | 6.436 | 6.920 | 6.313 | 1.244 | 3.857 | 9.944 |
| Fettgehalt ¹ (%) | 4,26 | 4,32 | 4,18 | 4,22 | 4,28 | 4,25 | 4,05 | 4,30 | 4,41 | 4,25 | 0,36 | 3,43 | 5,24 |
| Proteingehalt ¹ (%) | 3,31 | 3,27 | 3,37 | 3,37 | 3,29 | 3,29 | 3,42 | 3,33 | 3,20 | 3,32 | 0,20 | 2,91 | 4,00 |
| ECM-Leistung ¹ (kg/Laktation) | 6.315 | 6.372 | 6.643 | 6.424 | 6.484 | 6.422 | 5.591 | 6.606 | 7.135 | 6.444 | 1.344 | 3.924 | 10.235 |
| Lebendmasse ² (kg) | 680 | 647 | 659 | 678 | 656 | 652 | 683 | 669 | 634 | 662 | 77 | 520 | 858 |
| BCS ² | 3,08 | 3,00 | 3,10 | 3,23 | 3,03 | 2,92 | 3,53 | 3,08 | 2,57 | 3,06 | 0,61 | 1,60 | 4,34 |
| Futteraufnahme ³ (kg TM/d) | 14,4 | 15,0 | 15,5 | 15,0 | 14,6 | 15,3 | 14,3 | 14,8 | 15,8 | 15,0 | 2,5 | 10,3 | 25,4 |
| Milchleistung ⁴ (kg ECM/d) | 12,8 | 12,9 | 13,9 | 13,3 | 12,0 | 14,3 | 12,6 | 12,5 | 14,6 | 13,2 | 4,4 | 0,0 | 24,2 |

¹ Laktation in Phase PRE

² Woche -2 und -1 vor Versuchsbeginn

³ Woche -1 vor Versuchsbeginn

⁴ Woche -2 vor Versuchsbeginn

⁵ Rasse: FV = Fleckvieh, BS = Brown Swiss, HF = Holstein

⁶ Mittel = Arithmetisches Mittel, s.d. = Standardabweichung, Min = Minimum, Max = Maximum

zelenen Futtermittel mit ihrem kalkulierten Energiegehalt bestimmt. Im deutschen NEL-System (GfE 2001) wird der Einfluss des Futterniveaus auf die Verdaulichkeit und den ME-Gehalt durch Erhöhung des Bedarfs pro Liter Milch um 0,1 MJ NEL berücksichtigt.

Die berechnete tägliche Energiebilanz (DEB, MJ/Tag) wurde durch Abzug des Energiebedarfs von der Energieaufnahme nach folgendem Schema kalkuliert:

| |
|--|
| Spätlaktation (vor dem Trockenstellen): $DEB = NE_1 - (NE_M + NE_{LAC} + NE_C)$ |
| Trockenstehzeit (<i>pre partum</i>): $DEB = NE_1 - (NE_M + NE_C)$ |
| Frühlaktation (<i>post partum</i>): $DEB = NE_1 - (NE_M + NE_{LAC})$ |

Die Trächtigkeitstage wurden retrospektiv berechnet, indem die aktuellen Abkalbedaten verwendet wurden. In der Kalkulation von DEB wurde weder die Mobilisation noch Retention von Körpergewebe in den Fällen von negativer und positiver Energiebilanz berücksichtigt.

2.5 Statistische Analyse

Die Daten vor und nach der Abkalbung wurden getrennt ausgewertet.

Interaktionen zwischen Laktationszahl und anderen Faktoren waren nicht schätzbar und wurden somit nicht in das statistische Modell aufgenommen. Für wiederholte Messungen wurde die sogenannte First-Order Autoregressive Covari-

Die statistische Analyse wurde mit der Procedure Mixed von SAS (Version 9.2, SAS Institute 2010) nach folgendem Modell durchgeführt:

| | |
|--|---|
| y_{ijklm} | $= \mu + E_{PREi} + E_{POSTj} + R_k + L_1 + W_m + (E_{PRE} \times E_{POST})_{ij} + (E_{PRE} \times R)_{ik} + (E_{POST} \times R)_{jk} + (E_{PRE} \times E_{POST} \times R)_{ijk} + (E_{PRE} \times W)_{im} + (E_{POST} \times W)_{jm} + (E_{PRE} \times E_{POST} \times W)_{ijm} + \varepsilon_{ijklm}$ |
| y_{ijklm} | = Beobachtungswert des abhängigen Parameters |
| μ | = Intercept |
| E_{PREi} | = fixer Effekt des Energieniveaus <i>pre partum</i> i (i = N, M, H) |
| E_{POSTj} | = fixer Effekt des Energieniveaus <i>post partum</i> j (j = N, M, H) |
| R_k | = fixer Effekt der Rasse k (k = FV, BS, HF) |
| L_1 | = fixer Effekt der Laktationszahl l (l = 2, 3, ≥ 4) |
| W_m | = fixer Effekt der Woche m (m = -12, -11, ..., -2, -1 <i>pre partum</i> bzw. 1, 2, ..., 14, 15 <i>post partum</i>) |
| $(E_{PRE} \times E_{POST})_{ij}$ | = Wechselwirkung zwischen Energieniveau <i>pre partum</i> und Energieniveau <i>post partum</i> |
| $(E_{PRE} \times R)_{ik}$ | = Wechselwirkung zwischen Energieniveau <i>pre partum</i> und Rasse |
| $(E_{POST} \times R)_{jk}$ | = Wechselwirkung zwischen Energieniveau <i>post partum</i> und Rasse |
| $(E_{PRE} \times E_{POST} \times R)_{ijk}$ | = Wechselwirkung zwischen Energieniveau <i>pre partum</i> und Energieniveau <i>post partum</i> und Rasse |
| $(E_{PRE} \times W)_{im}$ | = Wechselwirkung zwischen Energieniveau <i>pre partum</i> und Woche |
| $(E_{POST} \times W)_{jm}$ | = Wechselwirkung zwischen Energieniveau <i>post partum</i> und Woche |
| $(E_{PRE} \times E_{POST} \times W)_{ijm}$ | = Wechselwirkung zwischen Energieniveau <i>pre partum</i> und Energieniveau <i>post partum</i> und Woche |
| ε_{ijklm} | = Restkomponente |

ance Struktur angewendet. Die für den Test der fixen Effekte festzulegende Anzahl der Freiheitsgrade im Nenner wurde nach der Methode KENWARD-ROGER näherungsweise ermittelt. Multiple Vergleiche der Least Squares-Mittelwerte wurden mit der PDIFF Option des LSMEANS Statements nach der Methode TUKEY-KRAMER berechnet.

3. Ergebnisse

Die Zusammensetzung des Grundfutters, der Kraftfutteranteil und der Nährstoffgehalt der Gesamtration ist sowohl in der Trockenstehzeit als auch in der Laktation in *Tabelle 4* angeführt.

3.1 Ergebnisse der Spätlaktation (Woche -12 bis -9 vor der Abkalbung)

Entsprechend dem Versuchsplan unterschied sich die Futter- und Nährstoffaufnahme zwischen den Gruppen in der Spätlaktation signifikant (*Tabelle 5*). Die Grundfutteraufnahme betrug in den Gruppen N_{PRE} , M_{PRE} und H_{PRE} 8,6, 10,8 bzw. 11,2 kg TM/Tag und die Kraftfutteraufnahme war 0,1, 0,5 und 4,7 kg TM/Tag. Klarer Weise war auch ein signifikanter Einfluss von E_{PRE} und Rasse auf NEL-Aufnahme und DEB (tägliche Energiebilanz) gegeben (Differenz $M_{PRE} - N_{PRE} = 17$ und Differenz $H_{PRE} - M_{PRE} = 38$ MJ NEL/Tag sowie FV und BS < HF). Die Milchleistung und Milchezusammensetzung entsprachen denen von spätlaktierenden Kühen. Die Kühe der Gruppe

Tabelle 3: Nährstoffgehalt der Futtermittel¹

| Parameter | Heu | | Gras- silage | Mais- silage | Kraft- futter |
|-----------------------------|-------------------|---------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | niedrige Qualität | hohe Qualität | | | |
| TM ² (g/kg) | 893 ± 20 | 891 ± 19 | 408 ± 85 | 318 ± 20 | 884 ± 9 |
| XP ² (g/kg DM) | 99 ± 15 | 120 ± 8 | 154 ± 14 | 81 ± 6 | 182 ± 12 |
| XL ² (g/kg DM) | 15 ± 3 | 17 ± 2 | 33 ± 4 | 29 ± 2 | 23 ± 2 |
| XF ² (g/kg DM) | 335 ± 22 | 306 ± 12 | 269 ± 20 | 229 ± 24 | 85 ± 5 |
| XX ² (g/kg DM) | 486 ± 16 | 479 ± 15 | 435 ± 24 | 617 ± 23 | 662 ± 15 |
| XA ² (g/kg DM) | 65 ± 9 | 78 ± 6 | 109 ± 15 | 45 ± 7 | 47 ± 4 |
| NDF ³ (g/kg DM) | 603 ± 40 | 579 ± 21 | 478 ± 33 | 440 ± 36 | 247 ± 20 |
| ADF ³ (g/kg DM) | 368 ± 29 | 332 ± 33 | 320 ± 20 | 251 ± 20 | 109 ± 6 |
| ADL ³ (g/kg DM) | 50 ± 5 | 37 ± 4 | 40 ± 6 | 28 ± 5 | 23 ± 3 |
| NFC ⁴ (g/kg DM) | 218 ± 40 | 206 ± 24 | 226 ± 34 | 406 ± 37 | 501 ± 24 |
| UDP ⁵ (% of CP) | 24 | 22 | 15 | 25 | 32 |
| nXP ⁵ (g/kg DM) | 105 ± 4 | 123 ± 5 | 120 ± 6 | 125 ± 3 | 182 ± 4 |
| RNB ⁵ (g/kg DM) | -1,1 ± 1,9 | -0,5 ± 1,1 | 5,4 ± 1,9 | -7,1 ± 0,8 | 0,1 ± 1,3 |
| dOM ⁵ (%) | 56,6 ± 1,7 | 66,7 ± 3,2 | 63,8 ± 3,6 | 69,6 ± 1,3 | 84,8 ± 0,0 |
| ME ⁶ (MJ/kg DM) | 7,89 ± 0,23 | 9,22 ± 0,40 | 8,84 ± 0,46 | 10,17 ± 0,21 | 12,53 ± 0,05 |
| NEL ⁶ (MJ/kg DM) | 4,48 ± 0,16 | 5,40 ± 0,29 | 5,13 ± 0,32 | 6,05 ± 0,16 | 7,83 ± 0,03 |
| Ca ⁷ (g/kg DM) | 5,4 ± 1,3 | 5,4 ± 0,8 | 7,6 ± 1,7 | 2,2 ± 0,4 | 3,3 ± 0,7 |
| P ⁷ (g/kg DM) | 1,7 ± 0,5 | 2,2 ± 0,5 | 2,8 ± 0,4 | 2,2 ± 0,4 | 5,3 ± 0,6 |
| Mg ⁷ (g/kg DM) | 2,5 ± 0,6 | 2,1 ± 0,3 | 2,9 ± 0,5 | 1,9 ± 0,5 | 2,6 ± 0,3 |
| K ⁷ (g/kg DM) | 18,5 ± 2,8 | 23,9 ± 3,7 | 24,9 ± 4,5 | 12,2 ± 1,7 | 12,8 ± 1,4 |
| Na ⁷ (g/kg DM) | 0,28 ± 0,19 | 0,21 ± 0,06 | 0,54 ± 0,13 | 0,08 ± 0,04 | 0,84 ± 0,25 |
| Mn ⁸ (mg/kg DM) | 120 ± 13 | 104 ± 14 | 137 ± 24 | 27 ± 5 | 45 ± 3 |
| Zn ⁸ (mg/kg DM) | 32 ± 5 | 29 ± 2 | 36 ± 3 | 24 ± 4 | 44 ± 1 |
| Cu ⁸ (mg/kg DM) | 7,9 ± 0,9 | 9,1 ± 0,6 | 11,1 ± 1,1 | 5,5 ± 0,6 | 8,5 ± 0,4 |

¹ Nährstoffgehalt auf der Grundlage von 4-wöchigen SammelprobenVerdaulichkeit *in vivo* mit Hammeln:

Grundfutter: n = 4; Kraftfutter: n = 16, Regressionsmethode; GIGER und SAUVANT 1983

Mittelwerte und Standardabweichungen

² TM = Trockenmasse, XP = Rohprotein, XL = Rohfett, XF = Rohfaser, XX = N-freie Extraktstoffe, XA = Rohasche³ NDF = Neutral-Detergenzien-Faser, ADF = Säure-Detergenzien-Faser, ADL = Säure-Detergenzien-Lignin⁴ NFC = Nichtfaser-Kohlenhydrate (1000 - XP - XX - XA - NDF)⁵ UDP = undegraded dietary protein (unabgebautes Futterprotein)

nXP = nutzbares Rohprotein am Duodenum (GfE 2001)

RNB = ruminale Stickstoffbilanz (GfE 2001)

⁵ dOM = digestibility of organic matter (Verdaulichkeit der organischen Masse)⁶ ME = metabolizable energy (umsetzbare Energie), NEL = net energy lactation (Nettoenergie Laktation)⁷ Ca = Calcium, P = Phosphor, Mg = Magnesium, K = Kalium, Na = Natrium⁸ Mn = Mangan, Zn = Zink, Cu = KupferTabelle 4: Zusammensetzung der Grundfütterration, Kraftfutteranteil und Nährstoffgehalt der Gesamtration¹ in den Energieniveaus Niedrig (N), Mittel (M) und Hoch (H)

| Parameter | Phase ² | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|------|------|---------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| | Trockenstehzeit | | | Frühlaktation | | | | | | | | |
| | N | M | H | NN | NM | NH | MN | MM | MH | HN | HM | HH |
| Anteile (in der TM) | | | | | | | | | | | | |
| Heu (% des Grundfutters) | 38,6 | 38,6 | 39,0 | 38,4 | 37,7 | 41,4 | 38,6 | 37,9 | 39,6 | 38,7 | 38,6 | 39,6 |
| Grassilage (% des Grundfutters) | 41,0 | 30,6 | 18,5 | 40,0 | 30,5 | 20,8 | 39,3 | 29,6 | 19,8 | 38,7 | 28,3 | 21,5 |
| Maissilage (% des Grundfutters) | 20,4 | 30,9 | 42,5 | 21,6 | 31,8 | 37,8 | 22,1 | 32,5 | 40,6 | 22,6 | 33,1 | 38,9 |
| Kraftfutter (% des Gesamtfutters) | 1,7 | 1,7 | 1,9 | 6,6 | 42,5 | 53,7 | 9,6 | 45,6 | 52,2 | 14,4 | 48,9 | 52,1 |
| Inhaltsstoffe | | | | | | | | | | | | |
| Rohprotein (g/kg TM) | 115 | 112 | 109 | 119 | 143 | 148 | 120 | 143 | 150 | 122 | 148 | 149 |
| RNB ³ (g/kg TM) | 0,2 | -1,1 | -2,3 | 0,3 | -0,3 | -0,8 | 0,1 | -0,6 | -0,6 | 0,0 | -0,3 | -0,7 |
| Rohfett (g/kg TM) | 24 | 25 | 25 | 24 | 24 | 23 | 24 | 24 | 23 | 23 | 24 | 23 |
| N-freie Extraktstoffe (g/kg TM) | 490 | 510 | 530 | 496 | 569 | 594 | 506 | 575 | 591 | 514 | 579 | 589 |
| NDF (g/kg TM) | 498 | 493 | 486 | 491 | 394 | 362 | 484 | 378 | 360 | 472 | 374 | 368 |
| NFC (g/kg TM) | 285 | 298 | 312 | 291 | 377 | 409 | 298 | 393 | 408 | 311 | 394 | 401 |
| Verdaulichkeit ⁴ (% der OM) | 62,6 | 65,5 | 68,0 | 63,3 | 73,6 | 76,8 | 64,5 | 74,4 | 76,6 | 65,1 | 75,0 | 76,7 |
| ME ⁵ (MJ/kg TM) | 8,65 | 9,13 | 9,54 | 8,78 | 10,48 | 11,02 | 8,97 | 10,60 | 10,98 | 9,09 | 10,73 | 10,97 |
| NEL ⁵ (MJ/kg TM) | 5,03 | 5,35 | 5,63 | 5,12 | 6,34 | 6,73 | 5,25 | 6,43 | 6,70 | 5,35 | 6,52 | 6,70 |

¹ auf Basis der tatsächlichen Futtermittelaufnahme² Phase: Trockenstehzeit = -66 ± 7 Tage vor der Abkalbung bis zur Abkalbung; Frühlaktation = von Abkalbung bis 105. Tag der Laktation³ RNB = ruminale Stickstoffbilanz (GfE 2001)⁴ Nährstoffverdaulichkeit der Einzelfuttermittel *in vivo* mit Hammeln bestimmt (Kraftfutter nach Regressionsmethode; GIGER und SAUVANT 1983)⁵ berechnet nach den Angaben der GfE (1995)

Tabelle 5: Least squares-Mittelwerte für Futter- und Nährstoffaufnahme, Milchleistung und Milchzusammensetzung sowie Energiebilanz, BCS und Lebendmasse von mehrkalbigen Kühen in der Spätlaktation (Haupteffekte Energieniveau (N, M, H) und Rasse (FV, BS, HF))

| Parameter | Energieniveau ¹ | | | | Rasse ² | HF | RMSE | E _{PRE} | P-Werte | E _{PRE} × Rasse |
|--|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|------------------|---------|--------------------------|
| | N | M | H | FV | | | | | | |
| Grundfutteraufnahme (kg TM/d) | 8,62 ^b | 10,78 ^a | 11,16 ^a | 10,19 | 10,00 | 10,37 | 1,59 | <0,001 | 0,60 | 0,32 |
| Krautfutteraufnahme (kg TM/d) | 0,10 ^b | 0,53 ^b | 4,72 ^a | 1,02 ^b | 1,41 ^b | 2,92 ^a | 2,51 | <0,001 | <0,01 | 0,01 |
| Mineralstoffe (kg TM/d) | 0,14 ^{ab} | 0,154 ^b | 0,170 ^b | 0,154 | 0,164 | 0,152 | 0,028 | <0,001 | 0,11 | 0,26 |
| Gesamtfutteraufnahme (kg TM/d) | 8,82 ^c | 11,42 ^b | 16,04 ^a | 11,32 ^b | 11,53 ^b | 13,42 ^a | 2,20 | <0,001 | <0,001 | 0,06 |
| Gesamtfutteraufnahme (g/(kg BW ^{0,75} × d)) | 69 ^c | 89 ^b | 120 ^a | 83 ^b | 89 ^b | 106 ^a | 17 | <0,001 | <0,001 | 0,11 |
| Rohprotein (g/d) | 1,047 ^b | 1,295 ^b | 2,119 ^a | 1,345 ^b | 1,390 ^b | 1,726 ^a | 432 | <0,001 | <0,001 | 0,02 |
| nXP ³ (g/d) | 1,014 ^c | 1,376 ^b | 2,233 ^a | 1,398 ^b | 1,451 ^b | 1,774 ^a | 402 | <0,001 | <0,001 | 0,02 |
| RNB ³ (g/d) | 5,6 ^c | -12,8 ^b | -18,2 ^b | -8,4 | -9,4 | -7,6 | 10,8 | <0,001 | 0,79 | 0,41 |
| ME (MJ/d) | 76,4 ^c | 105,0 ^b | 164,9 ^a | 105,7 ^b | 109,2 ^b | 131,5 ^a | 27,2 | <0,001 | <0,001 | 0,02 |
| NEL (MJ/d) | 44,4 ^c | 61,7 ^b | 99,3 ^a | 62,3 ^b | 64,6 ^b | 78,4 ^a | 17,0 | <0,001 | <0,001 | 0,02 |
| Energiebilanz (MJ NEL/d) | -15,8 ^c | -4,5 ^b | 19,2 ^a | -3,0 ^b | -0,7 ^b | 2,6 ^a | 8,5 | <0,001 | <0,001 | 0,72 |
| Energiebilanz ⁴ (%) | 73 ^c | 93 ^b | 125 ^a | 94 ^b | 98 ^a | 99 ^a | 12 | <0,001 | 0,02 | 0,28 |
| Milchleistung (kg/d) | 3,8 ^b | 6,1 ^b | 10,0 ^a | 5,0 ^b | 6,3 ^{ab} | 8,5 ^a | 4,4 | <0,001 | 0,01 | 0,07 |
| Milchleistung (kg ECM/d) ⁵ | 4,5 ^b | 7,1 ^b | 11,2 ^a | 5,8 ^b | 7,2 ^{ab} | 9,8 ^a | 4,9 | <0,001 | 0,01 | 0,09 |
| Milchfett (%) | 5,49 ^a | 5,29 ^{ab} | 4,93 ^b | 5,20 | 5,17 | 5,33 | 0,64 | <0,01 | 0,50 | 0,09 |
| Milchprotein (%) | 4,25 | 3,97 | 3,98 | 4,07 | 4,03 | 4,12 | 0,47 | 0,04 | 0,77 | 0,39 |
| Milchlaktose (%) | 4,26 ^c | 4,53 ^b | 4,72 ^a | 4,52 | 4,51 | 4,46 | 0,24 | <0,001 | 0,59 | 0,44 |
| BCS ⁶ | 2,95 | 2,99 | 3,21 | 3,57 | 3,02 | 2,56 | 0,42 | 0,06 | <0,001 | 0,69 |
| BCS-Veränderung ⁶ (Einheit pro Woche) | -0,031 ^b | -0,014 ^b | 0,038 ^a | -0,002 | -0,005 | 0,000 | 0,049 | <0,001 | 0,92 | 0,91 |
| Lebendmasse ⁷ (kg) | 658 | 651 | 687 | 702 ^a | 659 ^b | 634 ^b | 56 | 0,06 | <0,001 | 0,91 |
| Lebendmasse-Veränderung ⁷ (kg/d) | -0,60 ^c | 0,00 ^b | 0,98 ^a | 0,19 | 0,12 | 0,07 | 0,42 | <0,001 | 0,61 | 0,73 |

a-c Mittelwerte innerhalb einer Reihe mit verschiedenen Hochbuchstaben unterscheiden sich signifikant

¹ Energieniveau: N, M, H bzw. 75, 100, 125 % des Energiebedarfs nach GfE (2001)

² Rasse: FV = Fleckvieh, BS = Brown Swiss, HF = Holstein

³ nXP = nutzbares Rohprotein am Duodenum (GfE 2001), RNB = ruminale Stickstoffbilanz (GfE 2001)

⁴ Prozent des NEL-Bedarfs

⁵ Energiekorrigierte Milch = $(0,38 \times \text{Milchfett}\% + 0,21 \times \text{Milchprotein}\% + 0,95) \times \text{Milchmenge} / 3,2$ (GfE 2001)

⁶ BCS = body condition score (Körperkondition nach EDMONSON et al. 1989)

⁷ Lebendmasse wurde wöchentlich gewogen, Lebendmasse-Veränderung wurde auf Basis von Polynomen mit 1. Ableitung kalkuliert

N verloren Lebendmasse und BCS, wogegen die Kühe der Gruppe H Lebendmasse und BCS zunahm, während Kühe der Gruppe M zwischen N und H lagen (Tabelle 5).

3.2 Ergebnisse der Trockenperiode (Woche -8 bis -1 vor der Abkalbung)

Abgesehen von der Woche vor der voraussichtlichen Abkalbung, in welcher die Tiere 1 kg Kraftfutter erhielten, um die Pansenmikroben an die Ration während der Laktation anzupassen, wurden ausschließlich Grundfuttermittel verfüttert, allerdings in unterschiedlicher Zusammensetzung, um die Energiekonzentration zu steuern (Anteil Grassilage/Maissilage, Qualität des Heus niedrig/hoch; siehe Versuchsplan in Tabelle 1). Die Trockenmasseaufnahme stieg linear von Behandlung N zu H an (Tabelle 6). Auf der Grundlage dieses Fütterungsregimes betrug die Differenz der DEB zwischen N_{PRE} und H_{PRE} 27,6 MJ NEL/Tag (P < 0,001). Im Gegensatz zu den Behandlungen N_{PRE} und M_{PRE}, wo die beabsichtigte Energieversorgung durch ansteigende Futteraufnahme erreicht wurde, erhöhte sich die Trockenmasseaufnahme der Kühe H_{PRE} in den letzten Wochen der Trächtigkeit nicht. In dieser Gruppe verringerte sich die Trockenmasseaufnahme von Woche -3 bis zur Abkalbung. Entsprechend ging die DEB in Gruppe H_{PRE} in diesem Zeitraum um 14,3 MJ NEL zurück (Abbildung 1). Relativ zum Energiebedarf verminderte sich die Aufnahme an Energie von 117 auf 94 %.

In diesem Produktionsstadium waren FV-Kühe signifikant schwerer und hatten im Vergleich zu den beiden anderen Rassen signifikant höhere BCS-Werte. Diese betragen bei den Rassen FV, BS und HF 3,55, 3,10 und 2,55. Auch die Trockenmasse-Aufnahme (bezogen auf metabolische Körpermasse) war bei den HF-Kühen höher als bei FV-Kühen (P = 0,01).

Tabelle 6: Least squares-Mittelwerte für Futter- und Nährstoffaufnahme sowie Energiebilanz, BCS und Lebendmasse von mehrkalbigen Kühen in der Trockenstehtzeit (Haupteffekte Energieniveau (N, M, H) und Rasse (FV, BS, HF))

| Parameter | Energieniveau ¹ | | | Rasse ² | HF | RMSE | E _{PRE} | P-Werte | |
|--|----------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------|------------------|---------|--------------------------|
| | N | M | H | | | | | Rasse | E _{PRE} × Rasse |
| Grundfutteraufnahme (kg TM/d) | 7,52 ^c | 9,65 ^b | 12,11 ^a | 9,70 | 9,74 | 0,84 | <0,001 | 0,73 | <0,001 |
| Kraftfutteraufnahme (kg TM/d) | 0,16 | 0,19 | 0,22 | 0,25 ^a | 0,10 ^b | 0,23 | 0,28 | <0,001 | 0,87 |
| Mineralstoffe (kg TM/d) | 0,126 | 0,126 | 0,128 | 0,125 ^{ab} | 0,131 ^a | 0,014 | 0,45 | 0,01 | 0,07 |
| Gesamtfutteraufnahme (kg TM/d) | 7,81 ^c | 9,96 ^b | 12,46 ^a | 10,21 | 9,97 | 0,86 | <0,001 | 0,37 | <0,001 |
| Gesamtfutteraufnahme (g/(kg BW ^{0,75} × d)) | 60 ^c | 75 ^b | 89 ^a | 75 ^{ab} | 76 ^a | 6 | <0,001 | 0,01 | <0,001 |
| NDF (g/d) | 3,880 ^c | 4,903 ^b | 6,058 ^a | 5,034 | 4,849 | 446 | <0,001 | 0,12 | <0,01 |
| NDF (g/kg LW) | 5,9 ^c | 7,3 ^b | 8,3 ^a | 6,9 ^b | 7,3 ^a | 0,7 | <0,001 | 0,03 | 0,14 |
| Rohprotein (g/d) | 904 ^c | 1,118 ^b | 1,359 ^a | 1,142 | 1,116 | 120 | <0,001 | 0,53 | <0,01 |
| nXP ³ (g/d) | 895 ^c | 1,187 ^b | 1,536 ^a | 1,223 | 1,186 | 111 | <0,001 | 0,24 | <0,01 |
| RNB ³ (g/d) | 1,6 ^c | -11,0 ^b | -28,3 ^a | -13,1 | -11,2 | 7,9 | <0,001 | 0,31 | 0,83 |
| ME (MJ/d) | 67,7 ^c | 91,0 ^b | 118,9 ^a | 93,8 | 91,1 | 8,4 | <0,001 | 0,26 | <0,01 |
| NEL (MJ/d) | 39,4 ^c | 53,3 ^b | 70,2 ^a | 55,1 | 53,4 | 5,0 | <0,001 | 0,23 | <0,01 |
| Energiebilanz (MJ NEL/d) | -15,4 ^c | -2,5 ^b | 12,2 ^a | -3,0 ^b | -2,2 ^a | 5,0 | <0,001 | <0,01 | 0,02 |
| Energiebilanz ⁴ (%) | 72 ^c | 96 ^b | 122 ^a | 95 ^b | 99 ^a | 8 | <0,001 | 0,03 | <0,01 |
| nXP-Bilanz ³ (g/d) | 13 ^a | -61 ^b | -165 ^c | -82 | -44 | 101 | <0,001 | 0,04 | 0,28 |
| nXP-Bilanz ³ (%) | 102 ^a | 94 ^b | 87 ^c | 93 | 98 | 14 | <0,001 | 0,06 | 0,23 |
| BCS5 | 2,79 ^b | 2,99 ^b | 3,41 ^a | 3,55 ^a | 2,55 ^c | 0,46 | <0,001 | <0,001 | 0,76 |
| BCS-Veränderung ⁵ (Einheit pro Woche) | -0,031 ^b | 0,004 ^a | 0,028 ^a | -0,009 | -0,004 | 0,063 | <0,001 | 0,22 | 0,84 |
| Lebendmasse ⁶ (kg) | 663 ^b | 677 ^b | 733 ^a | 727 ^a | 659 ^b | 55 | <0,001 | <0,001 | 0,85 |
| Lebendmasse-Veränderung ⁶ (kg/d) | 0,71 ^b | 1,09 ^{ab} | 1,21 ^a | 0,98 | 1,06 | 0,72 | 0,03 | 0,88 | 0,64 |

^{a-c} Mittelwerte innerhalb einer Reihe mit verschiedenen Hochbuchstaben unterscheiden sich signifikant

¹ Energieniveau: N, M, H bzw. 75, 100, 125 % des Energiebedarfs nach GfE (2001)

² Rasse: FV = Fleckvieh, BS = Brown Swiss, HF = Holstein

³ nXP = nutzbares Rohprotein am Duodenum (GfE 2001), RNB = ruminale Stickstoffbilanz (GfE 2001)

⁴ Prozent des NEL-Bedarfs

⁵ BCS = body condition score (Körperkondition nach EDMONSON et al. 1989)

⁶ Lebendmasse wurde wöchentlich gewogen, Lebendmasse-Veränderung wurde auf Basis von Polynomen mit 1. Ableitung kalkuliert

3.3 Milchleistung und Milchzusammensetzung in der Laktationsperiode (Woche 1 bis 15 nach der Abkalbung)

Die Energieversorgung vor der Abkalbung (Haupteffekt von E_{PRE}) hatte einen bedeutenden Einfluss auf die Parameter der Milchleistung nach der Abkalbung (Tabelle 7). Die Milchleistung der Kühe der Behandlung N_{PRE} war signifikant niedriger (P < 0,001) im Vergleich zu den Kühen der Gruppen M_{PRE} und H_{PRE}, die Unterschiede beliefen sich auf 3,0 bzw. 4,5 ECM/Tag. Der Gehalt an Milcheiweiß in Gruppe N_{PRE} war im Vergleich zu H_{PRE} niedriger signifikant (P = 0,044). Der Gehalt an Milchfett war in der Tendenz niedriger (P = 0,055) und der Gehalt an Laktose in Gruppe N_{PRE} war im Vergleich zu den beiden anderen *pre partum* Behandlungen M_{PRE} und H_{PRE} ebenfalls signifikant niedriger (P = 0,006). Die Leistung an Milchinhaltstoffen wiesen durchwegs hochsignifikante Unterschiede auf (P < 0,001). Der Milchlaktosegehalt war in allen *pre calving*-Behandlungen in einem ähnlichen Bereich (P = 0,231) und machte im Mittel 22,3 mg/100ml Milch aus.

Mit Ausnahme des Milcheiweißgehaltes traten keine signifikanten Interaktionen E_{PRE} × E_{POST} hinsichtlich Milchleistung und Milchzusammensetzung auf (Tabelle 8 sowie Abbildung 2 und 3). Diese Wechselwirkung (P = 0,006) besagt, dass der Eiweißgehalt durch sinkende Energieversorgung *post partum* stärker abnahm, wenn die Energieversorgung *pre partum* geringer war.

Der Einfluss der Energieversorgung nach der Abkalbung war für nahezu alle wesentlichen Produktionsparameter signifikant (Tabelle 7). Die Milchleistung stieg mit dem Energieniveau hoch signifikant an (P < 0,001, +8,5 kg ECM/Tag für M_{POST} und +11,0 kg ECM/Tag für H_{POST} im Vergleich N_{POST}). Dies trifft auch für den Milchproteingehalt zu und auch für die Leistung an Milchprotein und Milchlaktose (P < 0,001). Der Milchfettgehalt unterschied sich zwischen N_{POST} und H_{POST} signifikant (P = 0,05). Der Milchlaktosegehalt der

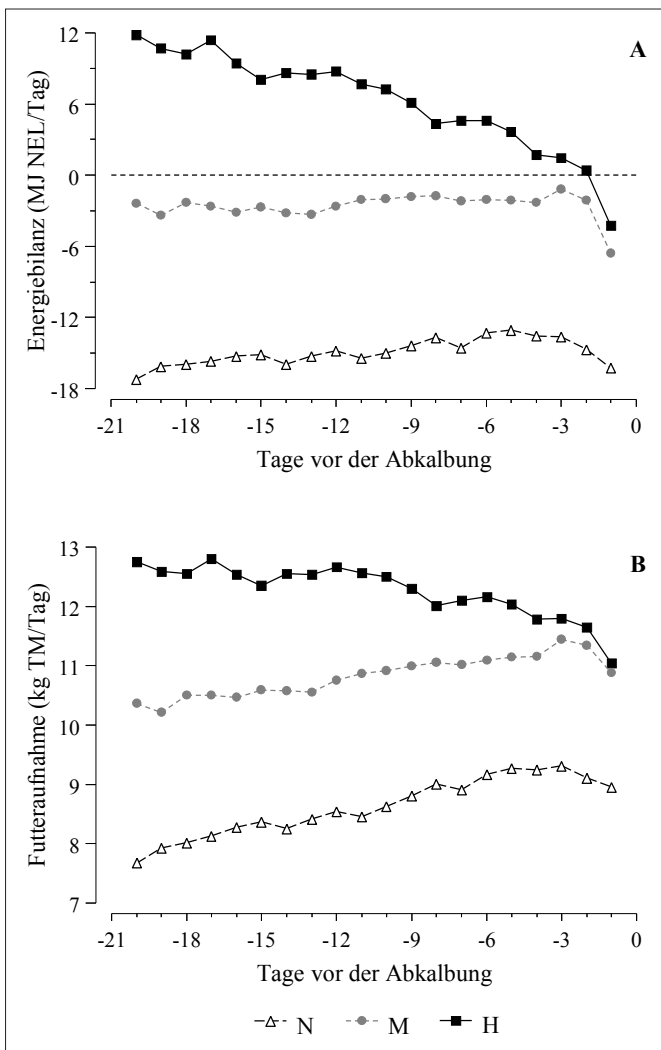


Abbildung 1: Energiebilanz (A) und Trockenmasse-Aufnahme (B) der Kühe in den Gruppen NPRES, MPRES und HPRES in der Versuchsphase 'Trockenstehzeit' (pre partum)

Behandlungen H_{POST} und M_{POST} war signifikant höher als von N_{POST} (P < 0,001).

Die typischen Charakteristika der Rassen fanden sich auch in den Kennzahlen der Milchleistung. Die Effekte der Rasse waren hochsignifikant (P < 0,001) hinsichtlich Milchleistung, Milchezusammensetzung und Leistung an Milchinhaltsstoffen (Tabelle 7).

Interaktionen von E_{PRE} × Rasse und auch von E_{POST} × Rasse waren mit Ausnahme des Milchproteingehaltes statistisch nicht signifikant, was streng genommen bedeutet, dass die Energieversorgung pre und post partum in den einzelnen Rassen in der gleichen Weise auf die Milchleistungskriterien wirkt (Tabelle 7). Dennoch zeigten sich Trends für eine E_{PRE} × E_{POST} Interaktion und auch einer E_{PRE} × Rasse Interaktion hinsichtlich Milchleistung und Energiebilanz (Abbildung 4). Ein Trend zu einer Dreifach-Wechselwirkung pre calving × post calving × Rasse existierte hinsichtlich Milchfett und Proteingehalt, aber nicht für die Milchleistung. Hinsichtlich der Beurteilung der Wechselwirkungen ist die niedrige Anzahl an Tieren in diesen Unterklassen (n = 3) zu berücksichtigen.

Tabelle 7: Least squares-Mittelwerte für Milchleistung und Milchinhaltsstoffe von mehrkalbigen Kühen in der Früh-laktation (Tage 1 bis 105) (Haupteffekte Energieniveau PRE (N, M, H), Energieniveau POST (N, M, H) und Rasse (FV, BS, HF))

| Parameter | Energieniveau ¹ | | | | | | RMSE | E _{PRE} | E _{POST} | Rasse ² | | | P-Werte | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------|--------|---------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--|
| | pre partum | | | post partum | | | | | | FV | BS | HF | Rasse | E _{PRE} × E _{POST} | E _{PRE} × Rasse | E _{POST} × Rasse | E _{PRE} × E _{POST} × Rasse |
| | N | M | H | N | M | H | | | | | | | | | | | |
| Milchleistung (kg/d) | 25,4 ^b | 27,9 ^a | 29,5 ^a | 21,0 ^c | 29,6 ^b | 32,2 ^a | 24,8 ^c | 27,9 ^b | 30,1 ^a | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,61 | 0,29 | 0,98 | 0,44 | |
| Milchleistung (kg ECM/d) ³ | 25,6 ^a | 28,6 ^a | 30,1 ^a | 21,5 ^c | 30,1 ^b | 32,6 ^a | 24,5 ^c | 28,7 ^b | 31,0 ^b | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,37 | 0,22 | 0,90 | 0,09 | |
| Milchfett (%) | 4,16 | 4,34 | 4,30 | 4,37 ^a | 4,26 ^{ab} | 4,16 ^b | 4,04 ^b | 4,37 ^a | 4,38 ^a | 0,05 | 0,28 | 0,77 | 0,28 | 0,77 | 0,36 | 0,07 | |
| Milchprotein (%) | 3,21 ^a | 3,24 ^{ab} | 3,28 ^b | 2,98 ^c | 3,30 ^b | 3,43 ^a | 3,29 ^a | 3,24 ^{ab} | 3,20 ^b | 0,22 | <0,001 | <0,001 | 0,01 | <0,01 | 0,15 | 0,06 | |
| Milchlaktose (%) | 4,73 ^b | 4,78 ^a | 4,79 ^a | 4,67 ^b | 4,81 ^a | 4,82 ^a | 4,83 ^a | 4,77 ^b | 4,70 ^c | 0,13 | <0,001 | <0,001 | 0,25 | 0,75 | 0,09 | 0,47 | |
| Milchfett (kg/d) | 1,06 ^b | 1,21 ^a | 1,26 ^a | 0,94 ^b | 1,26 ^a | 1,34 ^a | 1,00 ^c | 1,21 ^b | 1,32 ^a | 0,22 | <0,001 | <0,001 | 0,30 | 0,10 | 0,57 | 0,01 | |
| Milchprotein (kg/d) | 0,82 ^b | 0,91 ^a | 0,97 ^a | 0,63 ^c | 0,97 ^b | 1,09 ^a | 0,81 ^c | 0,91 ^b | 0,98 ^b | 0,14 | <0,001 | <0,001 | 0,17 | 0,65 | 1,00 | 0,36 | |
| Milchlaktose (kg/d) | 1,21 ^b | 1,34 ^a | 1,42 ^a | 0,98 ^c | 1,43 ^b | 1,56 ^a | 1,20 ^b | 1,34 ^a | 1,42 ^a | 0,19 | <0,001 | <0,001 | 0,60 | 0,34 | 0,93 | 0,35 | |
| Zellzahl (1.000/ml) | 128 | 81 | 154 | 120 | 114 | 129 | 58 | 128 | 178 | 425 | 0,53 | 0,97 | 0,73 | 0,82 | 0,17 | 0,64 | |
| Milchharnstoff (mg/dl) | 20,6 | 22,9 | 23,6 | 24,0 | 22,0 | 21,0 | 21,3 | 23,9 | 21,8 | 10,1 | 0,23 | 0,27 | 0,96 | 0,77 | 0,37 | 0,70 | |

^{a-c} Mittelwerte innerhalb einer Reihe mit verschiedenen Hochbuchstaben unterscheiden sich signifikant

¹ Energieniveau: N, M, H bzw. 75, 100, 125 % des Energiebedarfs nach GfE (2001)

² Rasse: FV = Fleckvieh, BS = Brown Swiss, HF = Holstein

³ Energiekorrigierte Milch = (0,38 × Milchfett% + 0,21 × Milchprotein% + 0,95) × Milchmenge / 3,2 (GfE 2001)

Tabelle 8: Least squares-Mittelwerte für Milchleistung und Milchinhaltsstoffe von mehrkalbigen Kühen in der Frühlaktation (Tage 1 bis 105), (Wechselwirkung Energieniveau PRE × POST)

| Parameter | Energieniveau (<i>pre partum</i> / <i>post partum</i>) ¹ | | | | | | | | | RMSE | P-Werte $E_{PRE} \times E_{POST}$ |
|---------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------------|
| | NN | NM | NH | MN | MM | MH | HN | HM | HH | | |
| Milchleistung (kg/d) | 18,6 | 26,7 | 31,0 | 21,0 | 30,2 | 32,4 | 23,3 | 31,9 | 33,2 | 3,9 | 0,61 |
| Milchleistung (kg ECM/d) ² | 18,6 | 26,9 | 31,2 | 21,8 | 30,7 | 33,2 | 24,3 | 32,6 | 33,3 | 4,3 | 0,37 |
| Milchfett (%) | 4,14 | 4,24 | 4,09 | 4,46 | 4,25 | 4,31 | 4,50 | 4,29 | 4,10 | 0,55 | 0,28 |
| Milchprotein (%) | 2,95 | 3,20 | 3,46 | 2,96 | 3,32 | 3,43 | 3,04 | 3,39 | 3,40 | 0,22 | 0,01 |
| Milchlaktose (%) | 4,64 | 4,79 | 4,78 | 4,68 | 4,79 | 4,87 | 4,71 | 4,85 | 4,82 | 0,13 | 0,25 |
| Milchfett (kg/d) | 0,79 | 1,13 | 1,27 | 0,96 | 1,28 | 1,38 | 1,07 | 1,36 | 1,35 | 0,22 | 0,30 |
| Milchprotein (kg/d) | 0,56 | 0,85 | 1,06 | 0,63 | 0,99 | 1,10 | 0,71 | 1,07 | 1,12 | 0,14 | 0,17 |
| Milchlaktose (kg/d) | 0,86 | 1,28 | 1,48 | 0,98 | 1,45 | 1,58 | 1,09 | 1,55 | 1,60 | 0,19 | 0,60 |
| Zellzahl (1.000/ml) | 136 | 164 | 85 | 81 | 90 | 73 | 144 | 89 | 231 | 425 | 0,73 |
| Milchharnstoff (mg/dl) | 23,2 | 19,7 | 18,8 | 24,4 | 22,3 | 21,9 | 24,4 | 24,0 | 22,3 | 10,1 | 0,96 |

¹ Energieniveau: N, M, H bzw. 75, 100, 125 % des Energiebedarfs nach GfE (2001) sowohl *pre partum* als auch *post partum*:

NN, NM, NH: Energieversorgung *pre partum*: N; Energieversorgung *post partum*: N, M, H

MN, MM, MH: Energieversorgung *pre partum*: M; Energieversorgung *post partum*: N, M, H

HN, HM, HH: Energieversorgung *pre partum*: H; Energieversorgung *post partum*: N, M, H

² Energiekorrigierte Milch = $(0,38 \times \text{Milchfett}\% + 0,21 \times \text{Milchprotein}\% + 0,95) \times \text{Milchmenge} / 3,2$ (GfE 2001)

3.4 Trockenmasse- und Energieaufnahme in der Laktationsperiode (Woche 1 bis 15 nach der Abkalbung)

Es zeigten sich keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen $E_{PRE} \times E_{POST}$ hinsichtlich Grundfutteraufnahme ($P = 0,397$), die im Durchschnitt 10,6 kg TM betrug. Die Kraftfutteraufnahme war am höchsten ($P = 0,001$) in den H_{POST} Gruppen, in welchen ein durchschnittlicher Kraftfutteranteil von 54 % (Trockenmasse-Basis) festgestellt wurde (Tabelle 9 und 10). Die Energierestriktion, um die beabsichtigten Energieversorgungsniveaus zu erreichen, führte in den Gruppen N, M und H zu einer stark unterschiedlichen Kraftfutteraufnahme ($P = 0,001$) und auch Gesamttrockenmasseaufnahme ($P = 0,005$). Die höchste Futteraufnahme (MH) war im Vergleich zur niedrigsten Gruppe (NN) nahezu doppelt so hoch. Im Gegensatz zu den Gruppen mit beschränkter Futteraufnahme N_{POST} und M_{POST} in denen eine hohe E_{PRE} Versorgung zur höchsten Futteraufnahme führte, war in den *ad libitum* gefütterten Gruppen H_{POST} die Trockenmasse- und Energie-Aufnahme in der Gruppe HH numerisch kleiner im Vergleich zur Gruppe NH und MH, und zwar beginnend in der 5. Laktationswoche (Abbildung 2).

Die Energiebilanz (DEB) und die relative Energieversorgung der Gruppe NH waren im Vergleich zu den Gruppen MH und HH signifikant höher ($P < 0,05$). In den Gruppen N_{POST} hatte die Gruppe NN eine höhere Energiebilanz als die Gruppe NH ($P = 0,043$), während sich für die Gruppen M_{POST} die DEB-Werte nicht unterschieden.

Obwohl die statistische Analyse einen Effekt der Energieversorgung *pre partum* auf die Futter- und Nährstoffaufnahme *post partum* aufzeigt, ist die Interpretation der Ergebnisse schwierig, da die Futteraufnahme der Tiere nach der Abkalbung nicht *ad libitum* erfolgte, sondern entsprechend dem Versuchsplan limitiert war. Nur die Kühe der Gruppe H_{POST} wurden *ad libitum* gefüttert. Wie erwartet, traten entsprechend den typischen Rassen-Eigenschaften signifikante Differenzen ($P < 0,001$) zwischen den Rassen hinsichtlich Futteraufnahme, Lebendmasse und BCS auf (höhere Lebendgewichte und BCS bei FV, höhere Futter- und Nährstoffaufnahme bei HF, BS zwischen den beiden Rassen (Tabelle 9)). Interaktionen von $E_{PRE} \times$ Rasse und

$E_{PRE} \times E_{POST} \times$ Rasse existierten nur für DEB ($P = 0,02$ und $P < 0,01$). Während die Energiebilanz *post partum* mit steigender Energieversorgung *pre partum* für FV- und HF-Kühe niedriger war (-3,7, -11,5, -15,4 MJ NEL/Tag und -11,9, -12,2, -19,8 MJ NEL/Tag für N_{PRE} , M_{PRE} und H_{PRE}), erfuhren die BS-Kühe die niedrigste DEB bei der niedrigen

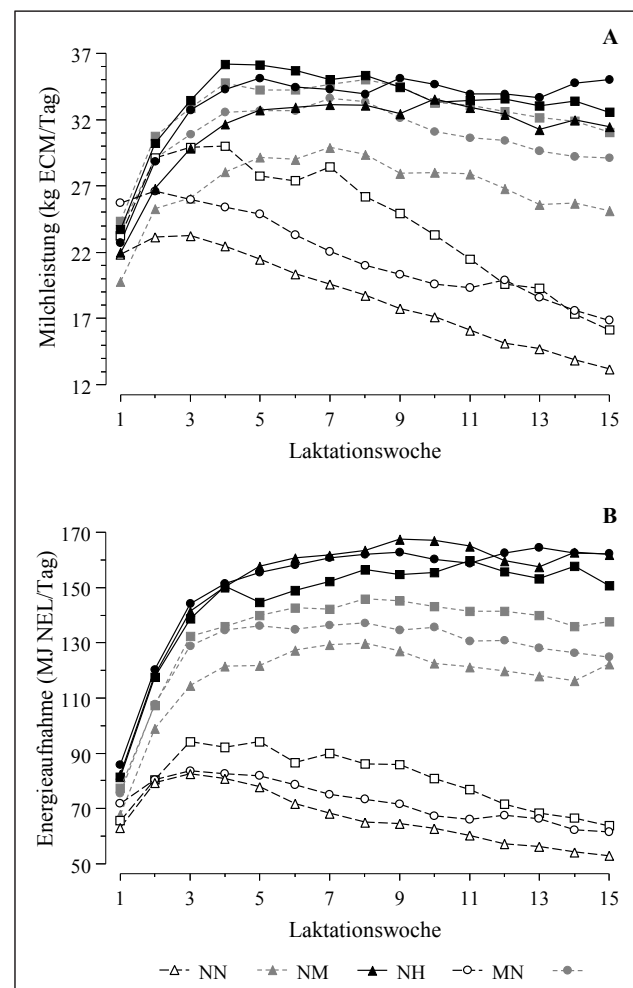


Abbildung 2: Milchleistung (A) und Energie-Aufnahme (B) der Kühe in den Gruppen NN, NM, NH und MN, MM, MH und HN, HM, HH in der Versuchsphase 'Laktation' (*post partum*)

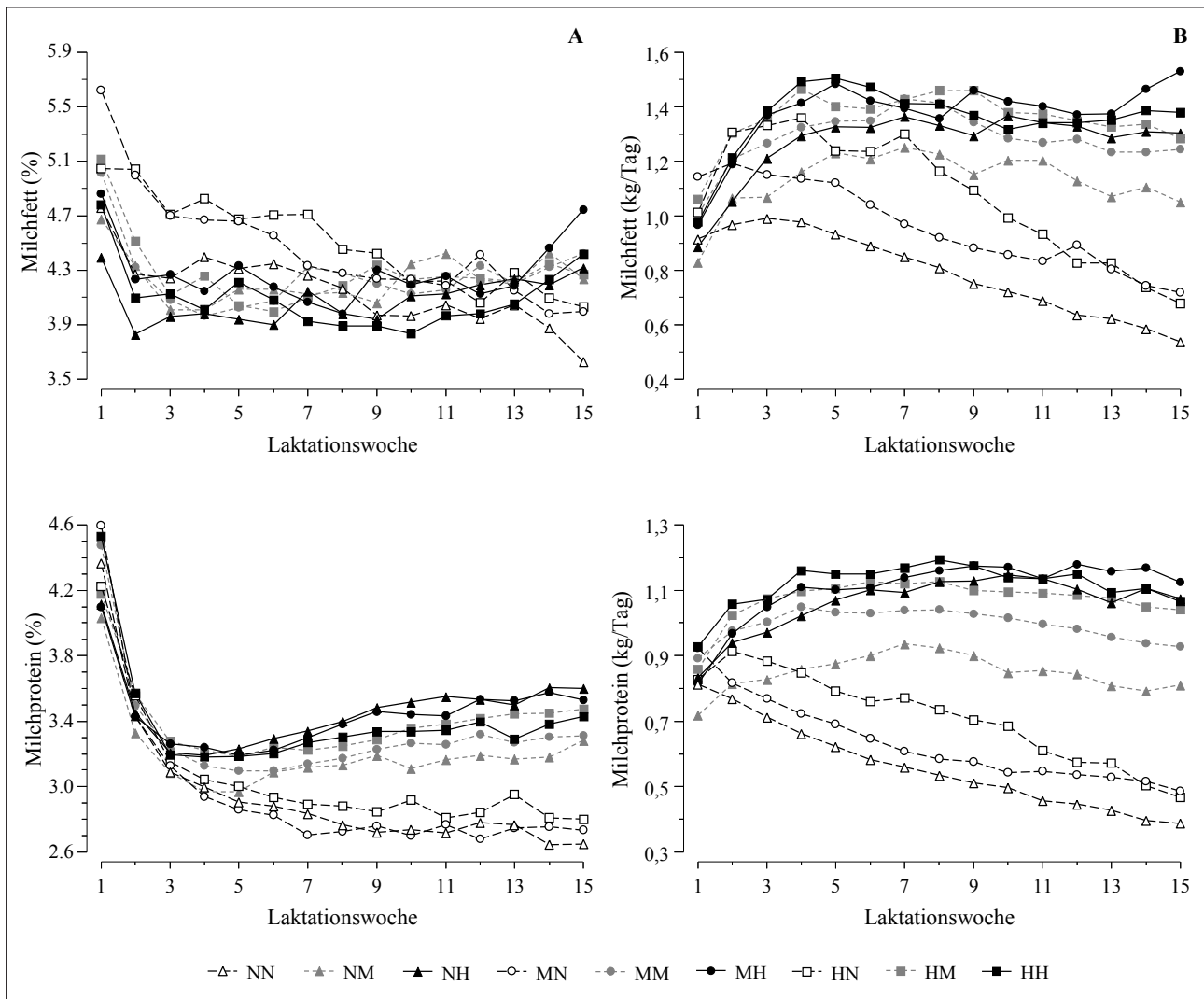


Abbildung 3: Gehalt (A) und Menge (B) an den Milch Inhaltsstoffen Fett und Protein der Kühe in den Gruppen NN, NM, NH und MN, MM, MH und HN, HM, HH in der Versuchsphase 'Laktation' (post partum)

Energieversorgung pre calving (-9,3, -16,2 und -14,8 MJ NEL/Tag für N_{PRE} , M_{PRE} und H_{PRE}). Für die H_{POST} Behandlungen, die einzigen Tiere mit *ad libitum*-Fütterung, resultierte eine niedrige Energieversorgung *pre partum* (L_{PRE}) in einer höheren Energiebilanz für FV und BS *post partum* (18,2, 6,2 -4,2 MJ NEL/Tag und 14,8, -0,7, -0,2 für NH, MH und HH), aber für HF-Kühe war die Behandlung M_{PRE} hinsichtlich Energiebilanz in der Laktationsperiode am günstigsten (3,4, 7,6 und -1,8 für NH, MH und HH).

4. Diskussion

Der Versuch hatte die Prüfung des Einflusses unterschiedlicher Energieversorgung zum Ziel. Das wurde erreicht durch Veränderung der Energiekonzentration der Rationen (erzielt durch unterschiedliche Grundfutterqualität und auch durch unterschiedliche Kraftfutteranteile) sowie durch Beschränkung der Trockenmasseaufnahme, falls erforderlich. Es ist bekannt, dass das Ausmaß der mikrobiellen Proteinsynthese hauptsächlich von der Menge an fermentierbarer organischer Masse abhängt, die den Mikroben im Pansen zur Verfügung steht (z.B. INRA 1989, RUSSELL et al. 1992, AFRC 1993). Das bedeutet, dass die Versorgung des

Wirtstieres mit umsetzbarem Protein (NRC 2001) oder mit nutzbarem Rohprotein am Duodenum (nXP; GfE 2001) bei unterschiedlichen Energieversorgungsniveaus nicht konstant gehalten werden kann. In ähnlicher Weise würde die gleiche Menge an Rohprotein nicht die gleiche Versorgung an nutzbarem Rohprotein bedeuten. Es wurde entschieden, die Pansenbakterien in jedem Energieniveau (N, M, H) mit ausreichenden Mengen an pansenabbaubarem Protein zu versorgen, um eine optimale mikrobielle Proteinsynthese zu ermöglichen. Auf der Basis der ruminalen Stickstoffbilanz (RNB; GfE 2001) wurde diese Voraussetzung für eine effiziente mikrobielle Proteinsynthese in den Phasen *post partum* mehr oder weniger gut erreicht (Tabellen 9 und 10). Die RNB betrug im Durchschnitt -6,9 g/Tag. Dies stimmt relativ gut mit dem Milchlarnstoffgehalt von durchschnittlich 22,3 mg/dl überein (Bereich von 18,8 bis 24,4 mg/dl in den einzelnen Unterklassen, Tabelle 7 und 8). Nach verschiedenen Literaturangaben spiegeln Milchlarnstoffgehalte von 16 bis 24 mg/dl (KIRCHGESSNER et al. 1986) und 20,8 mg/dl (STEINWIDDER und GRUBER 2000) eine optimale Versorgung von Milchkühen wider. In der Phase *pre partum* verminderte sich die RNB mit steigendem Energieniveau, da der Anteil an Maissilage anstieg und

Tabelle 9: Least squares-Mittelwerte für Futter- und Nährstoffaufnahme sowie Energiebilanz, BCS und Lebendmasse von mehrkalbigen Kühen in der Frühlaktation (Tage 1 bis 105) (Haupteffekte Energieniveau PRE (N, M, H), Energieniveau POST (N, M, H) und Rasse (FV, BS, HF))

| Parameter | pre partum | | | post partum | | | HF | RMSE | E _{PRE} | E _{POST} | Rasse | P-Werte | | | |
|---|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------|-------------------|--------|---------|------|--|---|
| | N | M | H | N | M | H | | | | | | FV | BS | E _{PRE} ^x Rasse | E _{POST} ^x Rasse |
| Grundfutteraufnahme (kg TM/d) | 10,50 | 10,76 | 10,66 | 11,84 ^a | 10,04 ^b | 10,04 ^b | 10,57 ^{ab} | 1,23 | 0,47 | <0,001 | <0,01 | 0,40 | 0,23 | 0,02 | 0,13 |
| Krautfutteraufnahme (kg TM/d) | 7,17 ^b | 7,62 ^{ab} | 8,05 ^a | 1,71 ^c | 9,20 ^b | 11,93 ^a | 6,78 ^b | 7,86 ^a | <0,01 | <0,001 | <0,001 | <0,01 | 0,84 | 0,33 | 0,47 |
| Mineralstoffe (kg TM/d) | 0,212 ^b | 0,222 ^{ab} | 0,235 ^a | 0,211 ^b | 0,221 ^b | 0,237 ^a | 0,210 ^b | 0,225 ^a | <0,01 | <0,001 | <0,001 | 1,00 | 0,33 | 0,60 | 0,49 |
| Gesamtfutteraufnahme (kg TM/d) | 17,88 ^b | 18,59 ^{ab} | 18,95 ^a | 13,76 ^c | 19,46 ^b | 22,20 ^a | 17,59 ^b | 18,41 ^b | 0,01 | <0,001 | <0,001 | <0,01 | 0,46 | 0,62 | 0,58 |
| Gesamtfutteraufnahme (g/(kg BW ^{0,75} ×d)) | 146 | 151 | 149 | 114 ^c | 157 ^b | 176 ^a | 136 ^c | 149 ^b | 0,32 | <0,001 | <0,001 | <0,01 | 0,89 | 0,29 | 0,67 |
| NDF (g/d) | 7,144 | 7,289 | 7,455 | 6,528 ^c | 7,350 ^b | 8,010 ^a | 7,146 ^b | 7,217 ^{ab} | 0,09 | <0,001 | 0,01 | 0,08 | 0,34 | 0,09 | 0,65 |
| NDF (g/kg LW) | 11,9 | 11,9 | 11,7 | 11,0 ^c | 11,9 ^b | 12,7 ^a | 11,0 ^c | 11,9 ^b | 0,67 | <0,001 | <0,001 | 0,29 | 0,94 | 0,90 | 0,65 |
| Rohprotein (g/d) | 2,507 ^b | 2,623 ^{ab} | 2,698 ^a | 1,671 ^c | 2,833 ^b | 3,323 ^a | 2,445 ^c | 2,617 ^b | 0,02 | <0,001 | <0,001 | 0,01 | 0,38 | 0,64 | 0,82 |
| nXP ³ (g/d) | 2,550 ^b | 2,670 ^{ab} | 2,738 ^a | 1,664 ^c | 2,879 ^b | 3,414 ^a | 2,494 ^c | 2,662 ^b | <0,01 | <0,001 | <0,001 | <0,01 | 0,47 | 0,69 | 0,66 |
| RNB ³ (g/d) | -6,7 | -7,5 | -6,4 | 1,2 ^a | -7,3 ^b | -14,6 ^b | -8,1 | -7,1 | 0,94 | <0,001 | 0,73 | 0,77 | 0,72 | 0,76 | 0,9 |
| ME (MJ/d) | 185,1 ^c | 193,5 ^{ab} | 198,0 ^a | 124,4 ^c | 207,4 ^b | 244,8 ^a | 181,3 ^c | 192,7 ^b | <0,01 | <0,001 | <0,001 | <0,01 | 0,50 | 0,71 | 0,59 |
| NEL (MJ/d) | 111,8 ^b | 117,0 ^{ab} | 119,8 ^a | 73,1 ^c | 125,9 ^b | 149,6 ^a | 109,4 ^c | 116,6 ^b | <0,01 | <0,001 | <0,001 | <0,01 | 0,51 | 0,72 | 0,60 |
| Energiebilanz (MJ NEL/d) | -8,3 ^a | -13,3 ^b | -16,7 ^c | -33,2 ^c | -9,9 ^b | 4,8 ^a | -10,2 ^b | -13,4 ^{ab} | <0,001 | <0,001 | <0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,47 | <0,01 |
| Energiebilanz ⁴ (%) | 91 ^a | 88 ^b | 87 ^b | 69 ^c | 93 ^b | 103 ^a | 90 | 87 | <0,001 | <0,001 | 0,08 | <0,001 | 0,06 | 0,94 | 0,05 |
| nXP-Bilanz ³ (g/d) | 97 ^a | 7 ^b | -58 ^b | -260 ^c | 59 ^b | 248 ^a | 49 | 10 | <0,001 | <0,001 | 0,10 | 0,12 | 0,25 | 0,35 | 0,15 |
| nXP-Bilanz ³ (%) | 102 ^a | 99 ^b | 97 ^b | 88 ^c | 102 ^b | 108 ^a | 101 | 99 | <0,001 | <0,001 | 0,15 | 0,14 | 0,06 | 0,57 | 0,16 |
| BCS ⁵ | 2,51 ^b | 2,54 ^b | 2,81 ^a | 2,33 ^b | 2,73 ^a | 2,80 ^a | 3,12 ^a | 2,63 ^b | <0,01 | <0,001 | <0,001 | 0,18 | 0,72 | 0,34 | 0,20 |
| BCS-Veränderung ⁵ (Einheit pro Woche) | 0,000 ^b | -0,016 ^{ab} | -0,032 ^b | -0,064 ^a | 0,004 ^b | 0,012 ^b | -0,012 | -0,024 | <0,01 | <0,001 | 0,36 | 0,83 | 0,72 | 0,37 | 0,97 |
| Lebendmasse ⁶ (kg) | 608 | 613 | 640 | 597 ^b | 626 ^{ab} | 638 ^a | 656 ^a | 610 ^b | 0,06 | 0,02 | <0,001 | 0,58 | 0,87 | 0,47 | 0,57 |
| Lebendmasse-Veränderung ⁶ (kg/d) | -0,10 | -0,44 | -0,63 | -1,26 ^b | -0,03 ^a | 0,12 ^a | -0,35 | -0,41 | 0,23 | <0,001 | 0,98 | 1,00 | 0,83 | 0,25 | 0,91 |

a-c Mittelwerte innerhalb einer Reihe mit verschiedenen Hochbuchstaben unterscheiden sich signifikant

¹ Energieniveau: N, M, H bzw. 75, 100, 125 % des Energiebedarfs nach GfE (2001)

² Rasse: FV = Fleckvieh, BS = Brown Swiss, HF = Holstein

³ nXP = nutzbares Rohprotein am Duodenum (GfE 2001), RNB = minimale Stickstoffbilanz (GfE 2001)

⁴ Prozent des NEL-Bedarfs

⁵ BCS = body condition score (Körperkondition; nach EDMONSON et al. 1989)

⁶ Lebendmasse wurde wöchentlich gewogen, Lebendmasse-Veränderung wurde auf Basis von Polynomen mit 1. Ableitung kalkuliert

Kraftfutter nicht angeboten wurde (Tabelle 1 sowie 5 und 6). Es ist allerdings davon auszugehen, dass dieses N-Defizit im Pansen über den rumino-hepatischen Kreislauf kompensiert werden kann, da der Proteinbedarf der Wirtstiere bei nicht laktierenden, trächtigen Kühen relativ gering ist (GfE 2001, LAPIERRE und LOBLEY 2001). Hinsichtlich der Proteinversorgung der Wirtstiere ist zu erkennen, dass diese Art der Proteinversorgung die errechnete Proteinbilanz (nXP-Aufnahme minus nXP-Bedarf) in einer ähnlichen Weise beeinflusste wie die errechnete Energiebilanz (NEL-Aufnahme minus NEL-Bedarf), aber auf einem höheren Niveau. Das bedeutet, dass Protein nicht der erst-limitierende Nährstoff war (z.B. 88, 102 und 108 % des nXP-Bedarfes und 69, 93 und 103 % des NEL-Bedarfes in den Gruppen N, M und H *post partum*). Die Ergebnisse werden daher diskutiert auf Basis unterschiedlicher Energieversorgung. Es muss allerdings beachtet werden, dass mögliche Effekte zum Teil auch einer unterschiedlichen Versorgung an nXP zugeschrieben werden können.

4.1 Trockenmasseaufnahme und Energiestatus in der Trockenperiode (Woche -8 bis -1 vor der Abkalbung)

In der Hochträchtigkeit ist ein typischer Rückgang in der Trockenmasse-Aufnahme von Milchkühen im Ausmaß von 20 bis zu 30 % zu beobachten, wenn sie mit energiereichen Rationen *ad libitum* gefüttert werden (BERTICS et al. 1992, DANN et al. 2005). Bei vorher restriktiv gefütterten Kühen fällt dieser Rückgang der Futteraufnahme geringer aus. Das fötale Wachstum und eine damit einhergehende Verringerung des Beckenraumes wurde als mögliche Ursache für diesen Rückgang in der Trockenmasse-Aufnahme *pre partum* diskutiert (INGVARTSEN et al. 1992). Im Gegensatz zu anderen Spezies und zu Jersey-Kühen wurde gezeigt, dass die Futteraufnahme bei Holstein-Milchkühen im geburtsnahen Zeitraum durch

Tabelle 10: Least squares-Mittelwerte für Futter- und Nährstoffaufnahme sowie Energiebilanz, BCS und Lebendmasse von mehrkalbigen Kühen in der Früh-laktation (Tage 1 bis 105), (Wechselwirkung Energieniveau PRE × POST)

| Parameter | Energieniveau (<i>pre partum</i> / <i>post partum</i>) ¹ | | | | | | | | | RMSE | P-Werte E _{PRE} × E _{POST} |
|---|---|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|---|
| | NN | NM | NH | MN | MM | MH | HN | HM | HH | | |
| Grundfutteraufnahme (kg TM/d) | 11,49 | 9,99 | 10,03 | 11,84 | 10,16 | 10,28 | 12,20 | 9,98 | 9,80 | 1,23 | 0,40 |
| Krautfutteraufnahme (kg TM/d) | 1,11 | 8,14 | 12,25 | 1,60 | 9,22 | 12,02 | 2,40 | 10,25 | 11,51 | 1,45 | <0,01 |
| Mineralstoffe (kg TM/d) | 0,201 | 0,209 | 0,226 | 0,210 | 0,222 | 0,234 | 0,223 | 0,233 | 0,250 | 0,031 | 1,00 |
| Gesamtfutteraufnahme (kg TM/d) | 12,80 | 18,34 | 22,51 | 13,64 | 19,59 | 22,54 | 14,83 | 20,46 | 21,56 | 1,85 | <0,01 |
| Gesamtfutteraufnahme (g/(kg BW ^{0,75} ×d)) | 109 | 148 | 182 | 114 | 161 | 178 | 118 | 161 | 169 | 15 | <0,01 |
| NDF (g/d) | 6.178 | 7.142 | 8.111 | 6.506 | 7.315 | 8.048 | 6.900 | 7.594 | 7.870 | 729 | 0,08 |
| NDF (g/kg LW) | 10,8 | 11,6 | 13,2 | 11,1 | 12,1 | 12,6 | 11,0 | 11,8 | 12,3 | 1,3 | 0,29 |
| Rohprotein (g/d) | 1.530 | 2.641 | 3.351 | 1.653 | 2.819 | 3.397 | 1.831 | 3.040 | 3.222 | 327 | 0,01 |
| nXP ² (g/d) | 1.513 | 2.676 | 3.460 | 1.649 | 2.888 | 3.473 | 1.830 | 3.073 | 3.310 | 300 | <0,01 |
| RNB ³ (g/d) | 2,8 | -5,7 | -17,3 | 0,7 | -10,9 | -12,4 | 0,2 | -5,2 | -14,1 | 16,5 | 0,77 |
| ME (MJ/d) | 113,6 | 193,3 | 248,5 | 123,5 | 208,7 | 248,3 | 136,1 | 220,2 | 237,5 | 21,2 | <0,01 |
| NEL (MJ/d) | 66,4 | 117,2 | 151,9 | 72,5 | 126,7 | 151,7 | 80,2 | 133,9 | 145,1 | 13,1 | <0,01 |
| Energiebilanz (MJ NEL/d) | -29,0 | -8,0 | 12,1 | -34,0 | -10,2 | 4,4 | -36,6 | -11,3 | -2,0 | 10,2 | 0,03 |
| Energiebilanz ³ (%) | 69 | 94 | 109 | 68 | 92 | 103 | 69 | 92 | 98 | 7 | <0,001 |
| nXP-Bilanz ² (g/d) | -220 | 155 | 356 | -269 | 16 | 274 | -293 | 5 | 114 | 204 | 0,12 |
| nXP-Bilanz ² (%) | 89 | 106 | 111 | 88 | 101 | 108 | 87 | 100 | 104 | 7 | 0,14 |
| BCS ⁴ | 2,12 | 2,69 | 2,72 | 2,20 | 2,55 | 2,88 | 2,66 | 2,96 | 2,81 | 0,36 | 0,18 |
| BCS-Veränderung ⁴ (Einheit pro Woche) | -0,052 | 0,020 | 0,033 | -0,069 | 0,009 | 0,012 | -0,072 | -0,017 | -0,008 | 0,069 | 0,83 |
| Lebendmasse ⁵ (kg) | 572 | 623 | 627 | 590 | 607 | 643 | 630 | 647 | 643 | 50 | 0,58 |
| Lebendmasse-Veränderung ⁵ (kg/d) | -1,00 | 0,29 | 0,42 | -1,38 | -0,08 | 0,15 | -1,39 | -0,29 | -0,21 | 1,17 | 1,00 |

¹ Energieniveau: N, M, H bzw. 75, 100, 125 % des Energiebedarfs nach GfE (2001) sowohl *pre partum* als auch *post partum*:

NN, NM, NH: Energieversorgung *pre partum*: N; Energieversorgung *post partum*: N, M, H

MN, MM, MH: Energieversorgung *pre partum*: M; Energieversorgung *post partum*: N, M, H

HN, HM, HH: Energieversorgung *pre partum*: H; Energieversorgung *post partum*: N, M, H

² nXP = nutzbares Rohprotein am Duodenum (GfE 2001), RNB = ruminale Stickstoffbilanz (GfE 2001)

³ Prozent des NEL-Bedarfs

⁴ BCS = body condition score (Körperkondition; nach EDMONSON et al. 1989)

⁵ Lebendmasse wurde wöchentlich gewogen, Lebendmasse-Veränderung wurde auf Basis von Polynomen mit 1. Ableitung kalkuliert

die Aufnahmekapazität des Pansens nicht beschränkt wird (PARK et al. 2011). In der vorliegenden Untersuchung mit Kühen der Rassen FV, BS und HF verminderte sich die Trockenmasse-Aufnahme der Gruppe H_{PRE} in den letzten drei Wochen vor der Abkalbung um 10 %. Die Energiebilanz begann sich allerdings bereits ab Woche 7 zu verringern.

In der Untersuchung von LAW et al. (2011) zeigten mehrkalbige Kühe, die vor der Abkalbung eine Ration mit hoher Energiekonzentration *ad libitum* gefüttert bekamen, in den letzten 21 Tagen vor der Abkalbung eine signifikant höhere Trockenmasse-Aufnahme im Vergleich zu Tieren, die restriktiv eine Ration mit niedriger Energiekonzentration erhielten (10,2 kg vs. 6,6 kg TM). Die Energiebilanz in diesen Hoch- bzw. Niedrig-Energiebehandlungen waren +0,2 und -40,9 MJ ME/Tag. Die Hoch-Energiegruppe des erwähnten Experimentes entspricht ungefähr der Behandlung M_{PRE} in der vorliegenden Untersuchung, in der eine Trockenmasse-aufnahme von 9,96 kg und eine DEB von -2,5 MJ NEL/Tag erreicht wurde. Kühe der Gruppe N_{PRE} hatten im Vergleich zur Niedrig-Energiebehandlung der Untersuchung von LAW et al. (2011) einen relativ höheren Energiestatus.

Der stärkere Rückgang der Trockenmasse-Aufnahme der Kühe H_{PRE} in der vorliegenden Untersuchung ist in Übereinstimmung mit den Beobachtungen anderer Versuchsansteller (DANN et al. 2006, WINKELMANN et al. 2008, JANOVIK und DRACKLEY 2010) und unterstützt die Hypothese von RABELO et al. (2003), nach der ein Rückgang der Trockenmasse-Aufnahme vor der Abkalbung umso größer ist, je höher die Energieaufnahme in der Trockenphase über dem Bedarf liegt. Obwohl die Energieniveaus in jenem Experiment höher waren, sind die Unterschiede in der Energiebilanz zwischen Hoch- und

Niedrig-Energiebehandlungen von RABELO et al. (2003) mit dem Unterschied der vorliegenden Untersuchung vergleichbar (23,4 und 27,6 MJ NEL/Tag).

Obwohl die Begrenzung der Energieaufnahme *pre partum* eine denkbare Fütterungsstrategie für die Trockenstehzeit zu sein scheint, um eine stabile Energiebilanz zu erreichen, ist die praktische Umsetzung eine Herausforderung. Eine Begrenzung der Futtermenge bedeutet, allen Tieren einer gemeinsamen Gruppe die gleichen Mengen anzubieten (WINKELMANN et al. 2008). Zusätzlich kann der niedrigere soziale Status von Kalbinnen im Vergleich zu älteren Kühen zu einer unbeabsichtigten Begrenzung der Futteraufnahme in gemischten Gruppen von mehrkalbigen und erstkalbigen Kühen führen (GRANT und ALBRIGHT 1995). Wenn in Rationen für die Trockenstehzeit nicht Grundfutter mit hohem Fasergehalt verwendet werden, ist mit einer Überversorgung an Energie sowohl bei mehrkalbigen als auch einkalbigen Kühen zu rechnen (JANOVIK und DRACKLEY 2010).

4.2 Produktionsparameter und Energiestatus in der Laktationsperiode (Woche 1 bis 15 nach der Abkalbung)

Die Leistung an Milch und Milchhaltsstoffen der Kühe der Behandlungen H_{PRE} und M_{PRE} war signifikant höher als jene der Kühe N_{PRE}. Das ist in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von McNAMARA et al. (2003), die das Energieniveau einer Ration auf Grassilage-Basis *pre partum* änderten, ist jedoch im Gegensatz zu anderen Untersuchungen, bei denen eine unterschiedliche *pre calving*-Energieversorgung keinen Einfluss auf die Milchleistung in der nachfolgenden

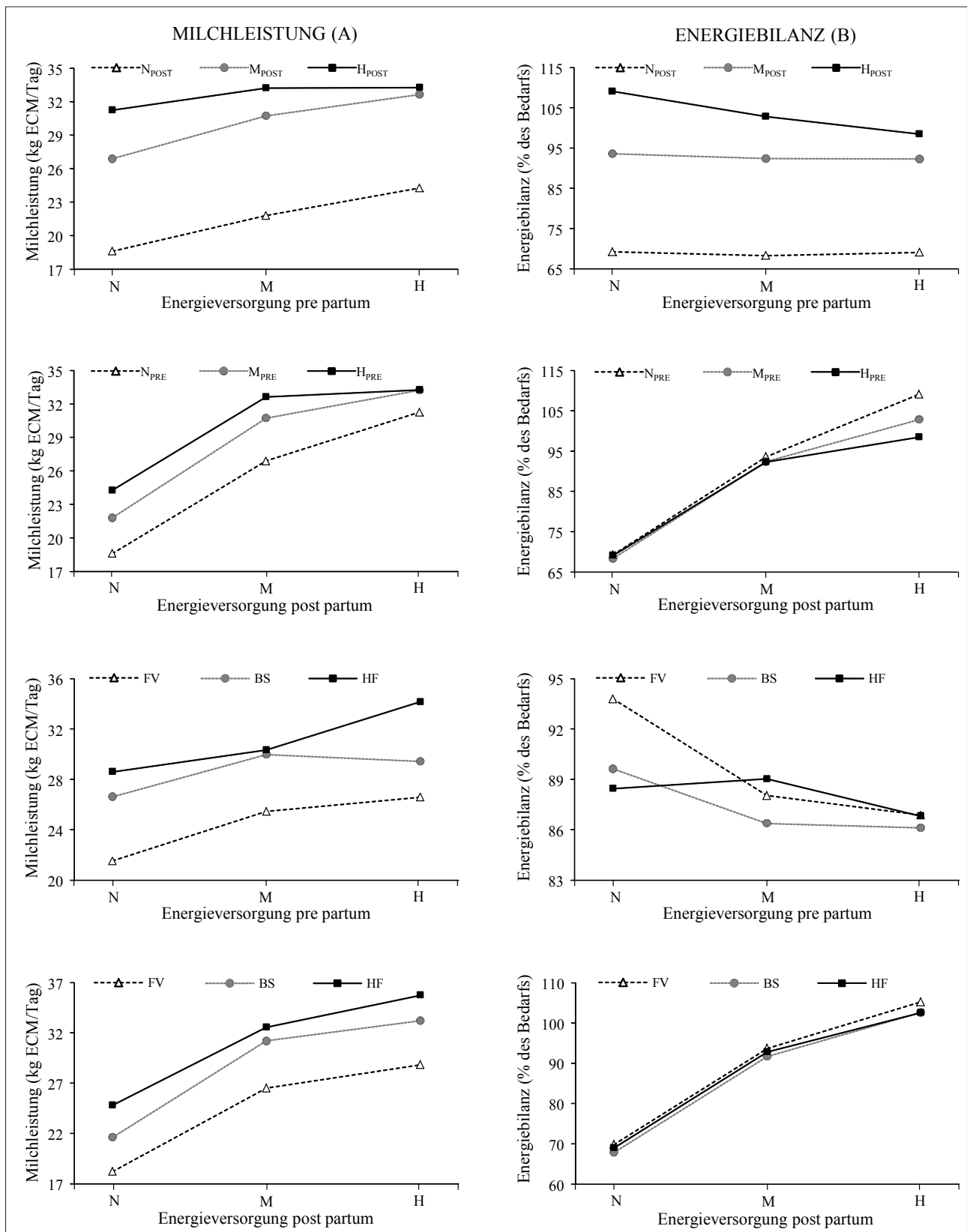


Abbildung 4: Milchleistung (A) und Energiebilanz (B) der Kühe in den Untergruppen EPRE x EPOST, EPOST x EPRE, EPRE x Rasse, EPOST x Rasse (Wechselwirkungen) in der Versuchsphase 'Laktation' (post partum)

Laktation zur Folge hatte (z.B. HOLCOMB et al. 2001). Kühe der N_{PRE} Behandlung mobilisierten während der Trockenperiode Körperreserven (Verlust an 0,23 BCS-Punkten,

Interaktion E_{PRE} x Zeit, P < 0,001) und sie dürften post partum Futterenergie zum Teil verwendet haben, um die Homöostase aufrecht zu erhalten, anstatt Milchenergie zu

produzieren (CHILLIARD et al. 1998, BAUMANN 2000). Die Kühe, die in der Trockenperiode überfüttert waren, konnten mehr Fett aus dem Fettgewebe mobilisieren, um die Milchleistung in der Früh-laktation zu unterstützen, da der Unterschied in den BCS-Werten pre und post calving für diese Behandlung am höchsten war (0,28, 0,45 und 0,61 BCS-Einheiten für N_{PRE} , M_{PRE} und H_{PRE} , Tabellen 3 und 5 sowie 9 und 10). Obwohl die Wechselwirkung nicht signifikant ist, ist es erwähnenswert, dass der Einfluss des pre calving-Energieniveaus auf die Milchleistung ausgeprägter war, wenn die Kühe post calving eine niedrige Ergieversorgung erhielten (Differenz HN-NN = 5,7 und Differenz HH-NH = 2,1 kg ECM/Tag, Abbildung 4).

Wie in der Untersuchung von LAW et al. (2011) ist der Einfluss der post calving-Energieversorgung in der vorliegenden Untersuchung wesentlich größer als der Einfluss der pre calving-Energieversorgung. Das niedrigere Kraftfutterangebot in der Früh-laktation verminderte die Milchleistung in den N_{POST} Behandlungen deutlich. Die Milchleistung verringerte sich in der Gruppe HN im Vergleich zu MN und NN rascher (Abbildung 2). Daher könnte eine längere Versuchsdauer *post partum* zu einem signifikanten Effekt der pre calving-Ration auf die Milchleistung bei jenen Tieren geführt haben, die eine niedrige Ergieversorgung post calving erhalten haben. Dies wurde auch in den Untersuchungen von LAW et al. (2011) festgestellt. Im Gegensatz dazu fanden RABELO et al. (2003) weder einen Einfluss der Ration (hohe vs. niedrige Energieversorgung) in der Trockenstehzeit noch während der Laktation und auch keine Wechselwirkungen zwischen beiden Phasen hinsichtlich Milchleistung und Energiebilanz.

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein Einfluss des Haupteffektes Energieversorgung *pre partum* auf die Energiebilanz post calving festgestellt. Kühe, die vor der Abkalbung restriktiv gefüttert waren (N_{PRE}), hatten eine höhere Energiebilanz *post partum* im Vergleich zu Kühen, die eine H_{PRE} Behandlung erhielten, wobei M_{PRE} zwischen den beiden Gruppen lag. Die niedrigere Milchleistung bei restriktiver Fütterung der trockenstehenden Kühe dürfte hauptverantwortlich für diesen Effekt sein, wie auch JANOVICK und DRACKLEY (2010) festgestellt haben. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von LAW et al. (2011) führten die N_{PRE} und M_{PRE} Behandlungen zu größeren Unterschieden in der Energiebilanz zwischen den Gruppen mit niedriger und hoher Energieversorgung *post partum* N_{POST} und H_{POST} im Vergleich zu H_{PRE} (pre calving \times post calving-Wechselwirkung, Abbildung 4). Ein mittlerer Anteil von 54 % Kraftfutter in der Ration während der Laktation in den H_{POST} Behandlungen resultierte in einer Energiebilanz, die den Energiebedarf im Durchschnitt um nur 3 % überstieg.

Obwohl der Effekt der Wechselwirkung 'Energieversorgung *pre partum* \times Rasse' nicht signifikant war, mobilisierten HF-Kühe offensichtlich Körperfettreserven in einem höheren Ausmaß, wenn sie vor der Abkalbung überfüttert wurden (28,6, 30,3 und 34,2 kg ECM/Tag in den Untergruppen $N_{PRE} \times HF$, $M_{PRE} \times HF$ und $H_{PRE} \times HF$). FV-Kühe reagierten auf die unterschiedlichen Energieversorgung *pre partum* (21,5, 25,4 und 26,6 kg ECM/Tag bei den Gruppen $N_{PRE} \times FV$, $M_{PRE} \times FV$ und $H_{PRE} \times FV$) auf eine andere Weise, was zeigt, dass diese Zweinutzungsrasse gegenüber einer Unterversorgung an Energie in der Trockenstehzeit toleran-

ter ist. Die Unterschiede für die Rasse BS waren nicht so ausgeprägt (26,6, 30,0 und 29,4 ECM/Tag für $N_{PRE} \times BS$, $M_{PRE} \times BS$ und $H_{PRE} \times BS$). Daher bestätigt der vorliegende Versuch hinsichtlich Energiekennzahlen (ECM-Leistung Tabelle 7 und 8; Energiebilanz Tabelle 9 und 10) frühere Untersuchungen, die besagen dass Kühe mit hohem genetischem Leistungspotenzial mehr Milch produzieren können im Vergleich zu Kühen mit niedrigem genetischem Potenzial, sowohl innerhalb einer Rasse (COFFEY et al. 2004) als auch zwischen den Rassen (TYRELL et al. 1990, YAN et al. 2006). Allerdings wurden in der vorliegenden Untersuchung auch Wechselwirkungen zwischen Rasse und Energieversorgung festgestellt, im Gegensatz zu Ergebnissen von YAN et al. (2006), die nur Haupteffekte von Genotyp und Ernährungsniveau auf die Energiebilanz in der Früh-laktation feststellten. Obwohl der Untersuchungszeitraum nach dem Abkalben in der vorliegenden Studie kürzer war, können die Ergebnisse bzgl. BCS (HF < BS < FV) und Lebendmasse (HF und BS < FV) mit den Ergebnissen von COFFEY et al. (2004) verglichen werden. Diese Autoren stellten fest, dass bei Hochleistungskühen die Energiespeicher des Körpers mit steigender Laktationszahl mehr und mehr aufgebraucht werden, was wahrscheinlich zu Problemen in der Gesundheit, im Wohlbefinden und in der Wirtschaftlichkeit führt.

In der vorliegenden Untersuchung unterschied sich die Futteraufnahme *post partum* signifikant in Abhängigkeit vom Energieniveau *pre partum* ($N_{PRE} < H_{PRE}$). Eine Tendenz zu höherer Futteraufnahme während der ersten 20 Tage der Laktation stellten auch RABELO et al. (2003) bei Kühen fest, die *pre partum* hoch mit Energie versorgt waren (im Vergleich zu Tieren mit niedrigem Futterniveau *pre partum*). Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen fanden andere Versuchsansteller keinen Einfluss der Fütterung in der pre calving-Phase auf die Trockenmasse-Aufnahme *post partum* (AGENÄS et al. 2003, JANOVICK und DRACKLEY 2010, LAW et al. 2011) oder sogar eine Erhöhung der Trockenmasse-Aufnahme (DOUGLAS et al. 2006). Dennoch unterstützen die vorliegenden Ergebnisse die Hypothese von GRUMMER et al. (2004), dass nämlich die absolute Futteraufnahme *pre partum* die Futteraufnahme in der Früh-laktation nicht im selben Ausmaß bestimmt wie die Veränderung in der Trockenmasse-Aufnahme vor der Abkalbung. Der Rückgang der Futteraufnahme in H_{PRE} während der letzten 3 Wochen vor der Abkalbung scheint einen negativen Einfluss auf die Trockenmasse-Aufnahme während der Laktation gehabt zu haben (HH < MH und NH).

5. Schlussfolgerungen

Aus den vorliegenden Ergebnissen kann der Schluss gezogen werden, dass die Milchleistung und die Milchzusammensetzung durch alle drei Hauptversuchsfaktoren (E_{PRE} , E_{POST} und Rasse) wie erwartet signifikant beeinflusst worden ist. Darüber hinaus wurden Wechselwirkungen zwischen der Energieversorgung vor und nach dem Abkalben und auch zwischen Energieversorgung und Rasse festgestellt (Abbildung 4). Im eigentlichen Sinn waren diese Wechselwirkungen nur für den Milchproteingehalt $E_{PRE} \times E_{POST}$ ($P = 0,01$) und $E_{PRE} \times$ Rasse ($P < 0,01$) signifikant. Dennoch zeigen die Ergebnisse, dass der Einfluss der Energieversorgung vor dem Abkalben deutlicher ausgeprägt ist, wenn die Kühe nach der Abkalbung weniger Energie erhielten

und umgekehrt. Auf der anderen Seite war die Response der Milchleistung auf die Energieversorgung über dem Bedarf größer bei Kühen, die *pre partum* auf einem niedrigen Energieniveau gefüttert wurden. Das zeigt, dass die Reaktion der Milchleistung auf die Energieversorgung pro calving und post calving zu einem bestimmten Ausmaß von ihrer langfristigen Energiebilanz abhängt. Die Response der Kühe auf die Energieversorgung über dem Bedarf *post partum* verhielt sich für alle 3 Rassen sehr ähnlich, was nicht unbedingt zu erwarten war. Es bedeutet, dass die Nährstoffverteilung in Richtung Milch auch bei FV-Kühen hoch gewesen sein muss. Andererseits war der Einfluss des Energieniveaus *pre partum* bei HF-Kühen größer, was zeigt, dass ihre Milchleistung in einem höheren Ausmaß von der Mobilisation der Körperreserven abhängt. Diese Tatsache spiegelt sich auch in den Ergebnissen der Lebendmasse und des BCS der vorliegenden Untersuchung wider und auch in deren Verlauf während der Trächtigkeit und in der Laktation. Weiters sind diese Zusammenhänge auch in den Daten der Futteraufnahme sichtbar. Die Trockenmasse- und Energieaufnahme in der Laktation ging mit steigendem Energieniveau *pre partum* zurück und *vice versa*.

Schließlich zeigt diese Untersuchung, dass unterschiedliche Energieversorgung *pre* und *post partum* und deren Wechselwirkung die Energiebilanz von Kühen während des ersten Drittels der Laktation signifikant beeinflusst haben. Eine steigende Energieversorgung *pre partum* führte zu einer stärker negativen Energiebilanz *post partum*, hauptsächlich durch Erhöhung der Milchleistung und Erhöhung des Milcheiweißgehaltes, während die Futteraufnahme leicht zurückging. Die negative Energiebilanz war in mehreren „Mobilisationsparametern“ sichtbar, wie in der Veränderung der Lebendmasse und des BCS. Andererseits erhöhte die steigende Energieversorgung *post partum* wie erwartet auch die Milchleistung sowie den Gehalt an Milchprotein und Laktose. Die Response der Milchleistung auf steigende Energieversorgung folgte dem Prinzip des abnehmenden Ertragszuwachses, da die Energie mehr und mehr in Richtung Körperretention gelenkt wurde, wie auch der Anstieg der Lebendmasse und des BCS zeigt. Der Einfluss der Energieversorgung auf den Stoffwechsel der Kühe dieser Untersuchung wird im nachfolgenden Abschnitt beschrieben. Eine steigende Energieversorgung *pre partum* erhöht die Milchleistung und den Gehalt an Milchinhaltsstoffen, aber er verstärkt auch die negative Energiebilanz mit all ihren Konsequenzen für den Stoffwechsel.

6. Literatur

- AGENÄS, S., E. BURSTED und K. HOLTENIUS, 2003: Effects of feeding intensity during the dry period. 1. Feed intake, body weight, and milk production. *J. Dairy Sci.* 86, 870-882.
- Agricultural Food and Research Council (AFRC), 1993: Energy and Protein Requirements of Ruminants. An Advisory Manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International, Wallingford, UK.
- Association of German Agricultural Analytic and Research Institutes (VDLUFA), 2007: Methods Book Vol. III – The Chemical Analysis of Feedstuffs (in German). VDLUFA-Press, Darmstadt, Germany.
- Austrian Ministry of Health, 2004: Animal Keeping Regulation. Special provision of the Federal Act on the Protection of Animals. BGBl. II Nr. 485/2004. Federal Chancellery of the Republic of Austria, Vienna, Austria.
- BAUMAN, D.E., 2000: Regulation of nutrient partitioning during lactation: Homeostasis and homeorhesis revisited. In: Cronjé, P.B. (ed.), *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth, and Reproduction*. CABI publishing, Wigen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Frankfurt am Main, DLG-Verlag, 135 S.
- GIGER, S. und D. SAUVANT, 1983: Comparison of different methods for evaluation of digestibility coefficients of concentrate feeds in ruminants (in French). *Annales de Zootechnie* 32, 215-246.
- GRANT, R.J. und J.L. ALBRIGHT, 1995: Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 73, 2791-2803.
- GRUMMER, R.R., D.G. MASHEK und A. HAYIRLI, 2004: Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Veterinary Clinics of North America: Food Anim. Pract.* 20, 447-470.
- HOLCOMB, C.S., H.H. Van HORN, H.H. HEAD, M.B. HALL und C.J. WILCOX, 2001: Effects of prepartum dry matter intake and forage percentage on postpartum performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 2051-2058.
- HUHTANEN, P., 1998: Supply of nutrients and productive responses in dairy cows given diets based on restrictively fermented silage. *Agric. a. Food Sci.* 7, 219-250.
- INGVARTSEN, K.L., H.R. ANDERSEN und J. FOLDAGER, 1992: Effect of sex and pregnancy on feed intake capacity of growing cattle. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Anim. Sci.* 42, 40-46.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1989: Ruminant Nutrition – Recommended Allowances and Feed Tables. John Libbey Eurotext, London Paris, 389 S.
- JANOVICK, N.A. und J.K. DRACKLEY, 2010: Prepartum dietary management of energy intake affects postpartum intake and lactation performance by primiparous and multiparous Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 93, 3086-3102.
- KIRCHGESSNER, M., M. KREUZER und D. ROTH-MAIER, 1986: Milk urea and protein content to diagnose energy and protein malnutrition of dairy cows. *Arch. Anim. Nutr.* 36, 192-197.
- KNAUS, W., 2009: Dairy cows trapped between performance demands and adaptability. *J. Sci. Food Agric.* 89, 1107-1114.
- KUNZ, P. L., J.W. BLUM, I.C. HART, H. BICKEL und J. LANDIS, 1985: Effects of different energy intakes before and after calving on food intake, performance and blood hormones and metabolites in dairy cows. *Anim. Prod.* 40, 219-231.
- LAPIERRE, H. und G.E. LOBLEY, 2001: Nitrogen recycling in the ruminant: A review. *J. Dairy Sci.* 84 (E. Suppl.), E223-E236.
- LAW, R.A., F.J. YOUNG, D.C. PATTERSON, D.J. KILPATRICK, A.R.G. WYLIE, K.L. INGVARTSEN, A. HAMELEERS, M.A. McCOY, C.S. MAYNE und C.P. FERRIS, 2011: Effect of precalving and postcalving dietary energy level on performance and blood metabolite concentrations of dairy cows throughout lactation. *J. Dairy Sci.* 94, 808-823.
- LINS, M., L. GRUBER und W. OBRITZHAUSER, 2003: Zum Einfluss der Energieversorgung vor der Abkalbung auf Futteraufnahme, Körpermasse und Körperkondition sowie Milchleistung und Stoffwechsel von Milchkühen. *Übers. Tierernähr* 31, 75-120.
- McNAMARA, J.P., 1991: Regulation of adipose tissue metabolism in support of lactation. *J. Dairy Sci.* 74, 706-719.
- McNAMARA, S., F.P. O'MARA, M. RATH und J.J. MURPHY, 2003: Effects of different transition diets on dry matter intake, milk production, and milk composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 2397-2408.

- NRC (National Research Council), 2001: Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th Edition). National Academy Press, Washington, D.C., 381 S.
- PARK, A.F., J.E. SHIRLEY, E.C. TITGEMEYER, J.M. DeFRAIN, R.C. COCHRAN, E.E. WICKERSHAM, T.G. NAGARAJA und D.E. JOHNSON, 2011: Characterization of ruminal dynamics in Holstein dairy cows during the periparturient period. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 95, 571-582.
- RABELO, E., R.L. REZENDE, S.J. BERTICS und R.R. GRUMMER, 2003: Effects of transition diets varying in dietary energy density on lactation performance and ruminal parameters of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 916-925.
- REMPPI, S., H. STEINGASS, L. GRUBER und H. SCHENKEL, 2011: Effects of energy intake on performance, mobilization and retention of body tissue, and metabolic parameters in dairy cows with special regard to effects of pre-partum nutrition on lactation. A review. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 24, 540-572.
- ROCHE, J.R., 2007: Milk production responses to pre- and postcalving dry matter intake in grazing dairy cows. *Livest. Sci.* 110, 12-24.
- RUSSELL, J.B., J.D. O'CONNOR, D.G. FOX, P.J. Van SOEST und C.J. SNIFFEN, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. Ruminal fermentation. *J. Anim. Sci.* 70, 3551-3561.
- SAS Institute Inc., 2010: SAS/STAT 9.22 User's Guide. Cary, NC (USA): SAS Institute Inc., 8460 S.
- STEINWIDDER, A. und L. GRUBER, 2000: Feeding and animal factors influencing milk urea content of dairy cows (in German). *Austrian J. Agric. Res.* 51, 49-57.
- TYRELL, H.F., C.K. REYNOLDS und H.D. BAXTER, 1990: Energy metabolism of Jersey and Holstein cows fed total mixed diets with or without whole cottonseed. *J. Dairy Sci.* 73 (Suppl. 1), 192 (Abstr.).
- WEISSBACH, F. und S. KUHLA, 1995: Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur (in German). *Übers. Tierernährg.* 23, 189-214.
- WINKELMAN, L.A., T.H. ELSASSER und C.K. REYNOLDS, 2008: Limit-feeding a high-energy diet to meet energy requirements in the dry period alters plasma metabolite concentrations but does not affect intake or milk production in early lactation. *J. Dairy Sci.* 91, 1067-1079.
- YAN, T., C.S. MAYNE, T.W.J. KEADY und R.E. AGNEW, 2006: Effects of dairy cow genotype with two planes of nutrition on energy partitioning between milk and body tissue. *J. Dairy Sci.* 89, 1031-1042.
- ZAR (Zentrale Arbeitsgemeinschaft österreichischer Rinderzüchter) 2012: Die österreichische Rinderzucht 2011. ZAR, Wien, 173 S.

B) STOFFWECHSELPARAMETER

Zusammenfassung

In einem Fütterungsversuch wurde der Einfluss der Energieversorgung *pre partum* (PRE) und *post partum* (POST) und deren Wechselwirkung auf Stoffwechsel und Energiebilanz von Milchkühen der Rassen Fleckvieh (FV), Brown Swiss (BS) und Holstein (HF) untersucht. Im Versuch wurden die Effekte von drei Energie- und Nährstoffniveaus (niedrig (N), mittel (M), hoch (H)) jeweils vor und nach dem Abkalben untersucht, indem ein 3×3 faktorielles Design von Behandlungen angewendet wurde. In beiden Versuchsphasen (84 Tage vor und 105 Tage nach dem Abkalben) wurden insgesamt 81 Kühe untersucht (von jeder Rasse jeweils 27 Tiere). Die Energieniveaus betragen 75, 100 und 125 % der Empfehlungen der Gesellschaft der Ernährungsphysiologie (GfE 2001). Während der *pre calving*-Periode war die Konzentration an nicht-veresterten Fettsäuren (NEFA) bei N_{PRE} Kühen höher, während im Gegensatz dazu die Konzentration an Glucose bei H_{PRE} Kühen höher war. Während der Laktation war die Konzentration an NEFA in der Behandlung N_{POST} am höchsten. Die Konzentration an β -Hydroxybuttersäure (BHB) war am höchsten in der Behandlung N_{POST} , sie war am niedrigsten in H_{POST} und bei M_{POST} zwischen beiden Behandlungen. Hinsichtlich der Ergebnisse nach der Abkalbung war die Glucose-Konzentration am niedrigsten bei den Kühen L_{POST} . Fleckvieh-Kühe hatten im Vergleich zu den anderen Rassen niedrigere BHB-Konzentrationen sowohl *pre calving* als auch *post calving* und höhere Glucose-Konzentrationen nur in der Laktation. Die BHB-Konzentration *post partum* war am höchsten bei den Brown Swiss-Kühen. Eine restriktive Futteraufnahme *pre partum* resultierte in einem günstigeren Energiestatus der Kühe, die *post partum* über den Bedarf gefüttert wurden ($E_{\text{PRE}} \times E_{\text{POST}}$ Interaktion). Holstein-Kühe hatten eine höhere Energiebilanz *pre calving*, wogegen Fleckvieh-Kühe im Vergleich zu den beiden anderen Rassen eine weniger negative Energiebilanz während der Frühaktation aufwiesen. Die Korrelationen zwischen Energiebilanz und NEFA, BHB sowie Glucose waren während der Transitionsperiode am engsten. Die Ergebnisse zeigen, dass eine begrenzte Energieaufnahme während der Trockenstehzeit für den Energiestatus von Milchkühen nach der Abkalbung vorteilhaft ist, während eine Energierestriktion in der Frühaktation zu einer starken Stoffwechselbelastung führt. Speziell während der Transitionperiode zeigt sich eine signifikante, enge Beziehung zwischen der Energiebilanz und den Blutparametern NEFA und BHB.

Schlagwörter: Milchkühe, Trockenstehzeit, Energieaufnahme *post partum*, Transitionperiode, Milchleistung, Energiestatus, Stoffwechsel

1. Einleitung

Während des Überganges vom trächtigen, nicht-laktierenden Stadium zum nicht-trächtigen, laktierenden Stadium vollziehen sich im Stoffwechsel von Milchkühen gewaltige Herausforderungen (GOFF und HORST 1997, REYNOLDS

Summary

A study was conducted to evaluate the effects of 3 energy supply (E) levels (low (L), medium (M), high (H)), both *pre partum* (PRE) and *post partum* (POST), and their interactions on metabolic parameters and energy balance (EB) in dairy cows of three breeds. In both phases, E levels applied to a total of 81 multiparous cows of breeds Simmental (SI), Brown Swiss (BS) and Holstein-Friesian (HF; $n = 27$ for each breed), were 75, 100 and 125% of recommendations of the German Society of Nutrition Physiology (GfE 2001), using a 3×3 factorial arrangement of treatments. During the *pre calving* period, serum concentrations of non-esterified fatty acids (NEFA) were higher for L_{PRE} cows, and glucose concentrations were elevated for H_{PRE} cows. During the lactation period, NEFA concentrations were greatest for treatment L_{POST} . Mean concentrations of β -hydroxybutyrate (BHB) were highest for cows of the L_{POST} treatment, intermediate for M_{POST} and lowest for H_{POST} . Glucose concentrations were lower for L_{POST} cows. SI cows had lower BHB concentrations both *pre* and *post calving*, and higher glucose concentrations only during early lactation than the other breeds. BHB concentration *post partum* was highest for BS cows. Restricted feeding *pre partum* resulted in a better energy status of cows fed above energy requirements *post partum* ($E_{\text{PRE}} \times E_{\text{POST}}$ interaction). HF cows had a higher EB *pre calving*, whereas SI cows had a less negative EB during early lactation, compared to the other breeds, respectively. Correlations of serum NEFA, BHB and glucose concentrations with EB were strongest during the transition period. Results suggest that controlling energy intake during the dry period might be advantageous for the energy status of dairy cows after calving, whereas energy restriction in early lactation leads to metabolic stress. Evidence is provided of a clear relationship between EB and the blood metabolites NEFA and BHB, especially in the transition period.

Keywords: dairy cow, dry period, *post calving* energy intake, transition period, milk production, energy status, metabolism

et al. 2003). Das Auftreten von Infektionskrankheiten und Stoffwechselproblemen ist in dieser relativ kurzen Periode des Laktationszyklus am häufigsten (DRAECKLEY 1999). Vor dem Abkalben erhöht sich der Energiebedarf infolge des fötalen Wachstums, während in der Zeit um die Geburt die Futteraufnahme stark abfällt (GfE 2001, NRC 2001).

Da sich der Nährstoffbedarf für die Milchproduktion erhöht und sich die Trockenmasseaufnahme nur langsam steigert, mobilisieren hochleistende Milchkühe zu Laktationsbeginn Körperreserven (BELL 1995, REIST et al. 2002). Nicht-veresterte freie Fettsäuren dienen als Indikator für die Mobilisation von Triglyceriden aus dem Fettgewebe (MASHEK und BEEDE 2001), in welchem die Körperreserven vorwiegend gespeichert sind (BAUMANN und CURRIE 1980). Infolge der negativen Energiebilanz in der Früh-laktation ist die Fettmobilisation *post partum* mit einem höheren Niveau von NEFA im Blut korreliert (CHILLIARD et al. 2000). Eine erhöhte Konzentration von Ketokörpern im Blut ist ein Hinweis für energetischen Stress und für die Mobilisation von Körpergewebe in der frühen Laktation (INGVARTSEN und ANDERSEN 2000). Die Ernährung während der Trockenstehperiode spielt eine wichtige Rolle für das Ausmaß und die Dauer der Fettmobilisation sowie den erhöhten Gehalt an NEFA (KUNZ et al. 1985).

Üblicher Weise werden Blutmetabolite als Indikatoren für den Ernährungszustand und auch für die Krankheitshäufigkeit von Milchkühen *post partum* verwendet (GRUMMER 1993, HERDT 2000, OETZEL 2004). Hinsichtlich der Bewertung der Energiebilanz und der Mobilisation von Körperreserven während der Laktation werden die NEFA als die eindeutigsten Parameter angesehen (CHILLIARD et al. 2000, HOLCOMB et al. 2001), während die Aussagekraft von β -Hydroxybutyrat zum Teil – als Folge seiner Bildung auch im Pansenstoffwechsel – geschmälert ist, obwohl sie metabolischen Stress anzeigen (GIESECKE 1987).

In einer Untersuchung von ROCHE et al. (2005) verringerten sich die NEFA-Werte während der Trockenstehzeit mit steigender Trockenmasseaufnahme. In der Trockenperiode wurden niedrigere NEFA-Konzentrationen im Plasma beobachtet, wenn Kühe entweder eine Hochenergie-Ration erhielten (RABELO et al. 2005) oder wenn sie *ad libitum* gefüttert wurden (DOUGLAS et al. 2006), verglichen mit Kühen, die eine Niedrigenergie-Behandlung erfuhren oder restriktiv gefüttert wurden. In der nachfolgenden Laktation zeigten Kühe erhöhte NEFA-Konzentrationen, wenn sie während der Trockenstehzeit überfüttert wurden (RUKKWAMSUK et al. 2000, HOLTENIUS et al. 2003). In ähnlicher Weise berichten KUNZ et al. (1985) geringere Gehalte von NEFA im Plasma von Kühen, die im Vergleich zu *ad libitum* gefütterten Tieren während der Trockenstehzeit restriktiv gefüttert wurden. Im Gegensatz dazu stellten andere Autoren niedrigere NEFA-Gehalte während der folgenden Laktation fest, wenn die Kühe Hochenergie-Rationen *pre partum* erhielten (OLSSON et al. 1998, VANDEHAAR et al. 1999, HOLCOMB et al. 2001). In Versuchen, die RYAN et al. (2003), RABELO et al. (2005) und ROCHE et al. (2005) durchgeführt haben, waren die Gehalte an NEFA *post partum* durch die Fütterung in der Trockenstehzeit nicht beeinflusst. Hinsichtlich des Einflusses der Energieversorgung in der Trockenstehzeit auf den Gehalt des Blutes von Kühen an BHB sind die Ergebnisse ebenso uneinheitlich, wie REMPPIS et al. (2011) in einer Review dargestellt haben.

In der vorliegenden Studie wurde daher der Einfluss unterschiedlicher Energieversorgung sowohl *pre partum* als auch *post partum* und auch die Wechselwirkung zwischen der Energieversorgung *pre partum* und *post partum* auf den Gehalt an Blutparametern und die Energiebilanz von

mehrkalbigen Kühen der Rassen Fleckvieh, Brown Swiss und Holstein untersucht.

2. Material und Methoden

Der Versuch wurde an der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein in Irnding (Steiermark, Österreich) durchgeführt. Alle Erhebungen waren von der Veterinärabteilung des Landes Steiermark genehmigt. Eine detaillierte Beschreibung der Untersuchung wird bei GRUBER et al. (2014) und URDL et al. (2015) angeführt. In kurzen Worten: Es wurde ein Fütterungsversuch mit insgesamt 81 mehrkalbigen Kühen durchgeführt. Der Versuch dauerte 12 Wochen vor der Abkalbung bis 15 Wochen der nachfolgenden Laktation.

2.1 Tiere und Versuchsplan

Kühe der Rassen Fleckvieh ($n = 27$), Brown Swiss ($n = 27$) und Holstein ($n = 27$) hatten eine Laktationszahl von $2,69 \pm 1,81$ (Mittelwert \pm SD), eine durchschnittliche Lebendmasse von 662 ± 77 kg und eine mittlere Milchleistung in der vorangegangenen Laktation von 6.313 ± 1.244 kg (FV = 5.581 kg, BS = 6.436 kg, HF = 6.920 kg). Die Tiere wurden den einzelnen Behandlungen in einer ausgeglichenen Weise nach den Kriterien Rasse, Laktationszahl, Futteraufnahme und Milchleistung zugeteilt. Die Futteraufnahme und Milchleistung wurden in einer zweiwöchigen Vorperiode vor dem eigentlichen Versuchsbeginn erhoben. Es wurde ein 3×3 faktorielles Design an Behandlungen angewendet (3 Energieversorgungsniveaus *pre calving* \times 3 Energieversorgungsniveaus *post calving*).

Sowohl die Behandlungen *pre partum* (PRE) als auch *post partum* (POST) bestanden in einer niedrigen (N), mittleren (M) und hohen (H) Energieversorgung (E), mit der 75 %, 100 % und 125 % des Energiebedarfes entsprechend den Empfehlungen der GfE (2001) gedeckt werden sollten. Die Energieversorgung wurde zweimal pro Woche entsprechend dem Versuchsplan auf Basis der Futteraufnahme und Milchleistung der vorangegangenen 3 bis 4 Tage angepasst.

Die Rationen unterschieden sich im Anteil der Grundfuttermittel (Grassilage und Maissilage sowie Heu von unterschiedlicher Energiekonzentration) und im Kraftfutterniveau. Die Futtermittel wurden getrennt in der folgenden Reihenfolge angeboten: (1) $\frac{1}{2}$ Kraftfutter + Mineralstoffe, (2) Heu, (3) Maissilage, (4) $\frac{1}{2}$ Kraftfutter und (5) Grassilage. Die Zusammensetzung des Grundfutters, der Kraftfutteranteil und der Nährstoffgehalt der gesamten Ration sind in *Tabelle 1* angeführt. Wenn die Energieaufnahme das im Versuchsplan vorgesehene Ziel überschritt, wurde die Futteraufnahme begrenzt. Die Tiere wurden individuell in Anbindehaltung auf Gummimatten gehalten, hatten freien Zugang zu Wasser und während des gesamten Versuches täglich zwischen 13:00 und 15:00 Uhr Auslauf außerhalb des Stalles.

2.2 Blutentnahme und Analyse des Blutes

Während des gesamten Versuches wurde von jeder Kuh ein Mal pro Woche zwischen 07:30 und 8:00 Uhr nach der Morgenfütterung durch Punktion der Schwanzvene Blut entnommen. Die Proben für die Analyse der Glucose im Gesamtblut wurden in einem evakuierten Natriumfluorid-Röhrchen gesammelt, welches Kaliumoxalat als Anticoagulans und Stabilisator enthielt. Zusätzlich

wurden Proben in Serumseparator-Röhrchen gesammelt, die einen Gerinnungsaktivator und ein Trennungsgel enthielten (Greiner Bio-One, Kremsmünster, Austria). Sie wurden unmittelbar nach der Probenahme auf Kühllakkus gelagert. Das Serum wurde über eine Zentrifugation bei 3.000 g (20 min) gewonnen und bei -18°C bis zur Analyse tiefgefroren.

Die Analysenparameter des Serums wurden mit entsprechenden Kits analysiert, wobei jedes Kit eine Reihe von Reagenzien für jeden Parameter enthielt. Auf einem Cobas C111 Analyser (Roche Diagnostics, Wien, Österreich) wurden folgende Parameter analysiert:

NEFA (Nr. 434-91795 und Nr. 436-91995), Kits von Wako Chemicals, Neuss, Germany

BHB (Nr. RB 1008), Kits von Randox, Antrim, UK

Glucose (Nr. 04657527190), Cholesterin (Nr. 04718917190), Gesamt-Bilirubin (Nr. 04774256190), Harnstoff (Nr. 04657616190), Kits von Roche Diagnostics, Vienna, Austria

Calcium (Nr. 04718933190), anorganischer Phosphor (Nr. 05401780190), Magnesium (Nr. 05401712190), Kits von Roche Diagnostics, Vienna, Austria

Glutamat-Dehydrogenase (GLDH, Nr. 1 929 992), Aspartat-Amino-Transferase (AST, Nr. 04657543 190), Kits von Roche Diagnostics, Vienna, Austria

2.3 Berechnungen und statistische Analyse

Die Energiebilanz (EB) wurde nach den Angaben der GfE (2001) kalkuliert, und zwar durch Subtraktion des Energiebedarfs von der Energieaufnahme. Der Energiebedarf setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

$$\text{Bedarf für Erhaltung: } NE_M = 0,293 \times LM^{0,75}$$

Bedarf für Trächtigkeit:

$$NE_C = (0,044 \times \exp^{0,0165 \times \text{Trächtigkeitstage}} + 0,01905 \times \text{Trächtigkeitstage} - 3,6619) / 0,175 \times 0,6$$

$$\text{Bedarf für Laktation: } NE_{LAK} = (0,38 \times \text{Milchfett\%} + 0,21 \times \text{Milchprotein\%} + 1,05) \times \text{Milchleistung}$$

Die Nettoenergie-Aufnahme (NE_e) eines Tieres wurde durch Multiplikation der individuellen Trockenmasse-Aufnahme mit der Energiekonzentration der Gesamtration errechnet.

$$\text{Energiebilanz pre partum: } EB = NE_e - (NE_M + NE_C)$$

$$\text{Energiebilanz post partum } EB = NE_e - (NE_M + NE_{LAK})$$

Die Trächtigkeitstage wurden retrospektiv ausgerechnet, indem die tatsächlichen Abkalbedaten herangezogen wurden. Im Falle von negativer und positiver Energiebilanz wurde für die Kalkulation der Energiebilanz weder Mobilisation noch Retention von Körpergewebe berücksichtigt. Die energiekorrigierte Milch (ECM) wurde nach der Formel der GfE (2001) kalkuliert:

$$ECM = (0,38 \times \text{Milchfett\%} + 0,21 \times \text{Milchprotein\%} + 0,95) \times \text{kg Milch} / 3,2$$

Die Daten der beiden Versuchsphasen (*pre partum* und *post partum*) wurden getrennt analysiert. Die Daten wurden auf Normalität und Varianzhomogenität geprüft, in dem Histogramme und entsprechende statistische Tests mit der Prozedur UNIVARIATE von SAS (2010) angewendet wurden. Nicht-normalverteilte Daten wurden vor der statistischen Analyse log-transformiert (NEFA, BHB, Gesamtbilirubin, GLDH und AST).

Die Daten wurden mit dem Statistikpaket SAS (2010) über die Procedure MIXED nach folgenden Modellen statistisch analysiert:

Modell 1 (*pre partum*):

$$Y_{ijkl} = \mu + E_{PREi} + Rasse_j + Laktationszahl_k + Woche_l + e_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = Beobachtungswert des abhängigen Parameters

μ = Intercept

E_{PREi} = fixer Effekt des Energieniveaus *pre partum* i (i = N, M, H)

$Rasse_j$ = fixer Effekt der Rasse j (j = FV, BS, HF)

$Laktationszahl_k$ = fixer Effekt der Laktationszahl k (k = 2, 3, ≥ 4)

$Woche_l$ = fixer Effekt der Woche l (l = -12, -11, ..., -2, -1 *pre partum*)

e_{ijkl} = Restkomponente

Modell 2 (*post partum*):

$$Y_{ijklm} = \mu + E_{PREi} + E_{POSTj} + E_{PRE} \times E_{POSTj} + Rasse_k + Laktationszahl_l + Woche_m + E_{POST} \times Woche_{jm} + e_{ijklm}$$

E_{PREi} = fixer Effekt des Energieniveaus *pre partum* i (i = N, M, H)

E_{POSTj} = fixer Effekt des Energieniveaus *post partum* j (j = N, M, H)

$E_{PRE} \times E_{POSTj}$ = Wechselwirkung zwischen Energieniveau *pre partum* und Energieniveau *post partum*

$Rasse_k$ = fixer Effekt der Rasse k (k = FV, BS, HF)

$Laktationszahl_l$ = fixer Effekt der Laktationszahl l (l = 2, 3, ≥ 4)

$Woche_m$ = fixer Effekt der Woche m (m = 1, 2, ..., 14, 15 *post partum*)

$E_{POST} \times Woche_{jm}$ = Wechselwirkung zwischen Energieniveau *post partum* und Woche

e_{ijklm} = Restkomponente

Tabelle 1: Zusammensetzung des Grundfutters, Kraftfutteranteil und Nährstoffgehalt der Gesamtration¹

| Parameter | Phase ² | | | | | |
|--|--------------------|------|------|-------------|-------|-------|
| | Pre partum | | | Post partum | | |
| | N ³ | M | H | N | M | H |
| Anteile (in der TM) | | | | | | |
| Heu (% des Grundfutters) | 38,6 | 38,4 | 39,1 | 38,6 | 38,1 | 40,2 |
| Grassilage (% des Grundfutters) | 40,8 | 30,6 | 19,5 | 39,9 | 29,5 | 20,7 |
| Maissilage (% des Grundfutters) | 20,6 | 31,1 | 41,4 | 22,1 | 32,5 | 39,1 |
| Kraftfutter ⁴ (% des Gesamtfutters) | 1,7 | 2,9 | 17,4 | 10,2 | 45,7 | 52,6 |
| Nährstoffgehalt | | | | | | |
| Rohprotein (g/kg TM) | 117 | 113 | 122 | 120 | 144 | 149 |
| NDF (g/kg TM) | 494 | 491 | 447 | 482 | 382 | 364 |
| ADF (g/kg TM) | 311 | 297 | 259 | 301 | 214 | 194 |
| Verdaulichkeit der OM ⁵ (%) | 62,6 | 65,6 | 70,7 | 64,3 | 74,3 | 76,7 |
| ME (MJ/kg TM) | 8,66 | 9,15 | 9,99 | 8,95 | 10,60 | 10,99 |
| NEL (MJ/kg TM) | 5,03 | 5,36 | 5,96 | 5,24 | 6,43 | 6,71 |
| Rohasche (g/kg TM) | 77 | 72 | 66 | 74 | 62 | 59 |

¹ auf der Basis tatsächlicher Futtermittel

² Phase: *pre partum* = Tag 84 vor der Abkalbung bis Abkalbung (Spätlaktation und Trockenstehzeit)
post partum = Abkalbung bis Tag 105 (Frühlaktation)

³ Behandlungen: N, M, H (niedrige, mittlere und hohe Energieversorgung; 75, 100, 125 % des Energiebedarfs nach GfE (2001))

⁴ Kraftfutter (% der TM): 24 % Mais, 16 % Gerste, 16 % Trockenschnitzel, 12 % Weizen, 12 % Weizenkleie, 6,7 % Sojaextraktionsschrot, 6,7 % Rapextraktionsschrot, 6,7 % Sonnenblumenextraktionsschrot; Nährstoffgehalt (in der TM): 185 g XP, 179 g nXP (GfE 2001), 7,69 MJ NEL

⁵ Verdaulichkeit *in vivo* (4 Hammel je Futtermittel)

Alle anderen, nicht angeführten Wechselwirkungen waren nicht signifikant bzw. nicht schätzbar und wurden folglich nicht in das endgültige statistische Modell aufgenommen. Die wöchentlichen Beobachtungen der einzelnen Tiere wurden als wiederholte Messungen betrachtet. Für diese wiederholten Messungen wurde die first-order autoregressive Kovarianzstruktur AR (1) angewendet. Die Freiheitsgrade des Nenners wurden nach der Methode Kenward-Roger näherungsweise ermittelt. Im Abschnitt 'Ergebnisse' werden die Least squares-Mittelwerte der log-transformierten Variablen rücktransformiert, um sie besser vergleichen und interpretieren zu können.

Die Korrelationen zwischen Energiebilanz und den Blutparametern Glucose, NEFA und BHB wurden als Pearson's Korrelationen der Least squares-Mittelwerte berechnet (Energieniveau \times Versuchsphase), indem die Prozedur CORR von SAS (2010) angewendet wurde. Die Daten wurden getrennt für die Phasen *pre partum*, *post partum*, Transition (Woche -3 bis +3 relativ zur Abkalbung) und die gesamte Versuchsphase ausgewertet. Für die Parameter NEFA und BHB ergab eine nicht-lineare Funktion die beste Anpassung zwischen Energiebilanz und Blutparameter (Prozedure NLIN von SAS 2010), für Energiebilanz und Glucose stellte sich die Beziehung als linear heraus.

3. Ergebnisse

3.1 Produktionsdaten

Die Ergebnisse für Trockenmasseaufnahme und Milchleistung sind im Abschnitt A und in den folgenden Tabellen 2 bis 4 angeführt. Die Trockenmasse- und Energieaufnahme *pre partum* war – dem Versuchsplan entsprechend – zwischen den Gruppen N_{PRE}, M_{PRE} und H_{PRE} unterschiedlich. Die Lebendmasse und Körperkondition der Fleckvieh-Kühe waren höher im Vergleich zu Brown Swiss und Holstein. Die Körperkondition bei der Abkalbung betrug 2,67, 3,02 und

3,49 für N_{PRE}, M_{PRE} und H_{PRE}. Die Milchleistung und Milchezusammensetzung wurden von allen drei Versuchsfaktoren (E_{PRE}, E_{POST} und Rasse) beeinflusst. Die Milchleistung machte 25,6, 28,6 und 30,1 kg ECM/Tag für die Gruppen N_{PRE}, M_{PRE} und H_{PRE} aus (P < 0,001) und 21,5, 30,1 und 32,6 kg ECM/Tag für die Behandlungen N_{POST}, M_{POST} und H_{POST} (P < 0,001). Hinsichtlich des Gehaltes an Milcheiweiß war die Interaktion E_{PRE} \times E_{POST} und E_{PRE} \times Rasse signifikant.

Der Einfluss der Energieversorgung vor dem Abkalben auf die Milchleistung war deutlicher ausgeprägt, wenn die Kühe nach der Abkalbung eine geringere Energieversorgung erfuhren und *vice versa*. Andererseits war die Response der Milchleistung auf die Energieversorgung über dem Bedarf größer bei Kühen, die ein niedriges Energieniveau *pre partum* erfuhren. Der Einfluss der Energieversorgung *pre partum* war bei Holstein-Kühen höher, was zeigt, dass ihre Milchleistung in einem größeren Ausmaß auf Mobilisation von Körperreserven beruht. Trockenmasse- und NEL-Aufnahme ver-

minderten sich mit steigendem Energieniveau *pre partum* leicht. Die Erhöhung der Energieversorgung *post partum* erhöhte die Milchleistung und den Gehalt an Milchprotein und Laktose.

3.2 Energiebilanz

Die mittlere tägliche Energiebilanz während der *pre calving*-Periode (späte Laktation und Trockenperiode) unterschied sich – wie im Versuchsplan vorgesehen – signifikant (P < 0,001, Tabelle 2). Im Gegensatz zu den Gruppen N_{PRE} und M_{PRE}, in denen die Energieaufnahme mit fortschreitender Trächtigkeit kontinuierlich anstieg, wurde in der Behandlung H_{PRE} in den letzten 3 Wochen vor der Abkalbung ein Rückgang der Trockenmasseaufnahme und folglich auch der Energiebilanz festgestellt (siehe Abschnitt A). Die Bedarfsdeckung sank von 117 % in Woche -3 auf 94 % am Tag vor der Abkalbung. Holstein-Kühe wiesen im Vergleich zu Brown Swiss- und Fleckvieh-Kühen eine höhere Energiebilanz auf (P < 0,001, Tabelle 2).

Eine restriktive Fütterung in der Trockenperiode (N_{PRE}) resultierte im Vergleich zu M_{PRE} und H_{PRE} in einer weniger negativen Energiebilanz nach der Abkalbung (P < 0,001; Tabelle 3). Der Einfluss der Energieversorgung *post partum* auf die Energiebilanz war wesentlich stärker ausgeprägt. Alle Behandlungen unterschieden sich signifikant (69, 93, 103 % des Energiebedarfs in N_{POST}, M_{POST} und H_{POST}; P < 0,001; Tabelle 3). In den H_{POST} Behandlungen, den einzigen Gruppen mit tatsächlicher *ad libitum*-Fütterung, überstieg die Energieaufnahme den Bedarf im Mittel um nur 3 %.

Es wurden Wechselwirkungen zwischen der Energieversorgung *pre partum* und Energieversorgung *post partum* festgestellt, sowohl für die absolute (P < 0,05) als auch für die relative Energiebilanz (% des NEL Bedarfs; P < 0,001; Tabelle 4). Nach der Abkalbung hatten NH-Kühe einen besseren Energiestatus im Vergleich zu MH-Kühen und

Tabelle 2: Einfluss von Energieversorgung *pre partum* und Rasse auf Futteraufnahme, Körperkondition, Energiebilanz und Stoffwechselformparameter in der Periode *pre partum* (Spätlaktation und Trockenstehzeit)

| Parameter | Energieniveau ¹ | | | FV | Rasse ² | | RMSE ³ | E _{PRE} | P-Wert Rasse | Woche |
|---------------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------------|--------|
| | N | M | H | | BS | HF | | | | |
| Futteraufnahme (kg TM/d) | 8,1 ^c | 10,4 ^b | 13,7 ^a | 10,6 ^{ab} | 10,5 ^b | 11,1 ^a | 1,5 | <0,001 | <0,05 | <0,001 |
| Körperkondition ⁴ | 2,85 ^b | 3,00 ^b | 3,34 ^a | 3,55 ^a | 3,12 ^b | 2,54 ^c | 0,47 | 0,001 | <0,001 | 0,80 |
| Energiebilanz ⁵ (MJ NEL/d) | -15,5 ^c | -3,1 ^b | 14,6 ^a | -3,1 ^b | -2,0 ^b | 1,0 ^a | 6,3 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Energiebilanz ⁵ (%) | 72 ^c | 95 ^b | 123 ^a | 95 ^b | 96 ^b | 99 ^a | 9 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Glucose (mmol/l) | 3,08 ^b | 3,20 ^b | 3,33 ^a | 3,23 | 3,24 | 3,14 | 0,40 | <0,001 | 0,08 | 0,11 |
| NEFA (mmol/l) | 0,16 ^a | 0,12 ^b | 0,12 ^b | 0,13 | 0,13 | 0,13 | - ⁶ | <0,001 | 0,86 | <0,001 |
| BHB (mmol/l) | 0,71 | 0,71 | 0,65 | 0,62 ^b | 0,73 ^a | 0,72 ^a | - ⁶ | 0,13 | 0,003 | <0,001 |
| Bilirubin (µmol/l) | 1,59 ^a | 1,28 ^b | 1,19 ^b | 1,35 | 1,30 | 1,38 | - ⁶ | <0,001 | 0,63 | <0,05 |
| Harnstoff (mmol/l) | 4,01 ^a | 3,71 ^b | 3,60 ^b | 3,80 ^b | 4,07 ^a | 3,44 ^c | 0,72 | <0,001 | <0,001 | 0,06 |
| Cholesterin (mmol/l) | 2,70 | 2,57 | 2,53 | 2,41 | 2,66 | 2,73 | 0,64 | 0,45 | 0,08 | <0,001 |
| AST (IU/l) | 24,7 ^b | 29,0 ^a | 28,2 ^a | 26,1 ^b | 29,1 ^a | 26,5 ^{ab} | - ⁶ | 0,001 | 0,04 | <0,001 |
| GLDH (IU/l) | 3,28 ^c | 4,29 ^b | 5,41 ^a | 4,12 | 4,51 | 4,10 | - ⁶ | <0,001 | 0,24 | <0,001 |
| Ca (mmol/l) | 2,50 | 2,50 | 2,49 | 2,50 | 2,52 | 2,47 | 0,19 | 0,83 | 0,09 | 0,5 |
| P (mmol/l) | 1,85 | 1,82 | 1,83 | 1,85 | 1,82 | 1,83 | 0,27 | 0,55 | 0,64 | <0,001 |
| Mg (mmol/l) | 1,00 | 1,01 | 1,00 | 0,96 ^b | 1,05 ^a | 0,99 ^b | 0,13 | 0,64 | <0,001 | 0,09 |

¹ Behandlungen: N, M, H (niedrig, mittel, hoch) bzw. 75, 100, 125 % des Energiebedarfs nach GfE (2001)

² Rasse: FV = Fleckvieh, BS = Brown Swiss, HF = Holstein

³ RMSE = root mean square error

⁴ Körperkondition = body condition score (nach EDMONSON et al. 1989), wöchentliche Erhebung

⁵ Energiebilanz = Energieaufnahme minus bzw. dividiert durch Energiebedarf (nach GfE 2001)

⁶ RMSE beruht auf logarithmischen Werten und wird daher nicht angegeben

^{a-c} Mittelwerte innerhalb einer Reihe mit verschiedenen Hochbuchstaben unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$)

besonders zu HH-Kühen. In den restriktiven Fütterungsgruppen (N_{POST} und M_{POST}) konnte ein solcher Effekt nicht festgestellt werden. Kühe der Behandlungen NH, MH und HH erreichten eine positive Energiebilanz in Woche 3, 4 und 8 (Abbildung 1). Fleckvieh-Kühe hatten während der frühen Laktation eine weniger negative Energiebilanz als Brown Swiss und Holstein ($P = 0,004$; Tabelle 3).

3.3 Blutparameter

In der Phase *pre partum* war die Konzentration im Blut an NEFA bei den Kühen der Gruppen N_{PRE} höher als in den Gruppen M_{PRE} und H_{PRE} . Dies wurde auch für Gesamtbilirubin festgestellt, in der die Behandlung N_{PRE} zu höheren Werten als in den Gruppen M_{PRE} und H_{PRE} führten ($P < 0,001$). Die Konzentration im Blut an Glucose war in den über dem Bedarf gefütterten Tieren (H_{PRE}) höher als bei den Kühen, die entsprechend dem Bedarf oder restriktiv gefüttert wurden. Die mittleren Gehalte an den Leberenzymen GLDH und AST unterschieden sich ebenfalls signifikant ($P < 0,001$ und $P = 0,001$).

Die Konzentration im Blut an BHB der Fleckvieh-Kühe war niedriger als bei Brown Swiss und Holstein ($P = 0,003$). Die durchschnittliche AST-Aktivität war höher bei Brown Swiss-Kühen ($P = 0,04$) als bei Fleckvieh, während Holstein-Kühe zwischen beiden Rassen lagen (Tabelle 2). Eine Tendenz zu einer niedrigeren Blutglucose-Konzentration trat bei Holstein-Kühen im Vergleich zu den beiden anderen Rassen auf ($P = 0,08$). Es gab auch eine Tendenz zu Unterschieden zwischen den Rassen im Gehalt an Cholesterin ($P = 0,08$).

Effekte der *pre partum* Behandlungen auf die darauffolgende Laktation wurden für NEFA und Harnstoff und auch für die AST festgestellt (Tabelle 3). Der Gehalt an NEFA im Serum war bei Kühen der Behandlungen H_{PRE} höher gegenüber der Gruppe M_{PRE} und besonders im Vergleich zu Gruppe N_{PRE} ($P = 0,033$). Die Konzentration an Blutharnstoff war höher in den Gruppen M_{PRE} und H_{PRE} ($P < 0,001$).

Die Energieversorgung *post partum* beeinflusste die Profile an Stoffwechselformparametern im Blut während der ersten 105 Tage der Laktation signifikant (Tabelle 3). Die Konzentration an NEFA war in Gruppe N_{POST} im Vergleich zu M_{POST} und H_{POST} signifikant höher ($P < 0,001$; Abbildung 2). Die mittlere BHB-Konzentration nahm mit sinkender Energieversorgung signifikant zu (0,26, 0,14, 0,13 mM in N_{POST} , M_{POST} und H_{POST} ; Tabelle 3 und Abbildung 3). Im Vergleich zu den beiden Gruppen M_{POST} und H_{POST} war bei den N_{POST} Kühen die Konzentration an Gesamtbilirubin höher und Glucose sowie GLDH signifikant niedriger ($P < 0,001$).

Der Versuchsfaktor 'Rasse' beeinflusste in der Frühaktation viele der Blutmetaboliten (Tabelle 3). Brown Swiss-Kühe wiesen die höchste β -Hydroxybutyrat-Konzentration auf, gefolgt von Holstein und Fleckvieh ($P < 0,011$). Fleckvieh-Kühe hatten einen höheren Blutglucosegehalt als die beiden anderen Rassen ($P < 0,001$). Die Gehalte an Gesamtbilirubin und Cholesterin und auch die AST-Aktivität ($P = 0,03$, $P = 0,002$ und $P < 0,001$) waren bei Fleckvieh-Kühen im Vergleich zu Holstein niedriger, wogegen sich Brown Swiss von der Rasse Fleckvieh nur hinsichtlich AST unterschieden. Der Gehalt an Blutharnstoff war am niedrigsten bei Holstein-Kühen ($P < 0,001$). Die Behandlungen hatten keinen Effekt auf den durchschnittlichen Gehalt an Cholesterin im Blut weder vor noch nach der Abkalbung, aber es zeigte sich ein deutlicher Zeiteffekt (Woche relativ zu Abkalbung; $P < 0,001$; Daten sind nicht dargestellt).

3.4 Korrelationen zwischen Energiebilanz und Blutmetaboliten

Die Pearson's Korrelationen der Energiebilanz mit den Serumgehalten an NEFA, BHB und Glucose sind in Tabelle 5 angegeben. Alle Korrelationen waren signifikant ($P < 0,05$). In der *pre partum* Periode korrelierte die Energiebilanz am stärksten mit Glucose, gefolgt von NEFA und BHB. Während der Laktationsperiode waren alle Korrelationen zwischen der Energiebilanz und den Blutmetaboliten höher

Tabelle 3: Einfluss von Energieversorgung pre partum sowie post partum (Haupteffekte) und Rasse auf Futteraufnahme, Milchleistung, Körperkondition, Energiebilanz und Stoffwechselparameter in der Periode post partum (Frühlaktation)

| Parameter | pre partum | | | post partum | | | Rasse ² | HF | RMSE ³ | E _{PRE} | E _{POST} | P-Wert Rasse | Woche | E _{POST} × Woche |
|---------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|--------------|--------|---------------------------|
| | N | M | H | N | M | H | | | | | | | | |
| Futteraufnahme (kg TM/d) | 17,9 ^b | 18,6 ^b | 19,0 ^a | 13,8 ^c | 19,5 ^b | 22,2 ^a | 17,6 ^b | 18,4 ^b | 1,9 | 0,01 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Milchleistung (kg ECM/d) | 25,6 ^c | 28,6 ^a | 30,1 ^a | 21,5 ^c | 30,1 ^b | 32,6 ^a | 24,5 ^c | 28,7 ^b | 4,3 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Milchfett (%) | 4,16 | 4,34 | 4,30 | 4,37 ^a | 4,26 ^{ab} | 4,16 ^b | 4,04 ^b | 4,37 ^a | 0,55 | 0,06 | 0,05 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Milchprotein (%) | 3,21 ^a | 3,24 ^{ab} | 3,28 ^b | 2,98 ^c | 3,30 ^b | 3,43 ^a | 3,29 ^a | 3,24 ^{ab} | 0,22 | 0,04 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Körperkondition ⁴ | 2,51 ^b | 2,54 ^b | 2,81 ^a | 2,33 ^b | 2,73 ^a | 2,80 ^a | 3,12 ^a | 2,63 ^b | 0,36 | <0,01 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Energiebilanz ⁵ (MJ NEL/d) | -8,3 ^a | -13,3 ^b | -16,7 ^c | -33,2 ^c | -9,9 ^b | 4,8 ^a | -10,2 ^a | -13,4 ^{ab} | 10,2 | <0,001 | <0,001 | 0,004 | <0,001 | <0,001 |
| Energiebilanz ⁶ (%) | 91 ^a | 88 ^b | 87 ^b | 69 ^c | 93 ^b | 103 ^a | 90 | 87 | 7 | <0,001 | <0,001 | 0,08 | <0,001 | <0,001 |
| Glucose (mmol/l) | 2,80 | 2,80 | 2,80 | 2,46 ^b | 2,93 ^a | 3,01 ^a | 2,94 ^a | 2,68 ^b | 0,50 | 0,99 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | 0,10 |
| NEFA (mmol/l) | 0,15 ^b | 0,17 ^{ab} | 0,19 ^a | 0,26 ^a | 0,14 ^b | 0,13 ^b | 0,17 | 0,16 | -6 | 0,033 | <0,001 | 0,85 | <0,001 | 0,13 |
| BHB (mmol/l) | 0,90 | 0,98 | 0,96 | 1,37 ^a | 0,88 ^b | 0,70 ^c | 0,80 ^c | 1,10 ^a | -6 | 0,38 | <0,001 | <0,001 | 0,02 | 0,007 |
| Bilirubin (µmol/l) | 1,33 | 1,35 | 1,43 | 1,70 ^a | 1,24 ^b | 1,22 ^b | 1,31 ^b | 1,34 ^{ab} | -6 | 0,28 | <0,001 | 0,03 | <0,001 | 0,32 |
| Harnstoff (mmol/l) | 3,62 ^b | 4,00 ^a | 4,02 ^a | 3,87 ^{ab} | 4,04 ^a | 3,73 ^b | 3,96 ^a | 4,20 ^a | 0,89 | <0,001 | 0,018 | <0,001 | <0,001 | 0,15 |
| Cholesterin (mmol/l) | 3,91 | 4,15 | 4,08 | 4,06 | 4,12 | 3,95 | 3,71 ^b | 4,09 ^{ab} | 0,87 | 0,37 | 0,63 | 0,002 | <0,001 | 0,8 |
| AST (IU/l) | 33,9 ^b | 37,7 ^a | 35,6 ^{ab} | 35,7 | 34,5 | 36,9 | 32,5 ^b | 38,7 ^a | -6 | 0,003 | 0,11 | <0,001 | <0,001 | 0,54 |
| GLDH (IU/l) | 5,96 | 6,05 | 6,42 | 5,28 ^b | 6,27 ^a | 6,99 ^a | 5,82 | 6,30 | -6 | 0,46 | <0,001 | 0,35 | <0,001 | 0,01 |
| Ca (mmol/l) | 2,45 | 2,45 | 2,47 | 2,50 ^a | 2,46 ^b | 2,43 ^b | 2,44 | 2,48 | 0,19 | 0,44 | <0,001 | 0,12 | 0,03 | 0,93 |
| P (mmol/l) | 1,83 | 1,80 | 1,82 | 1,83 | 1,83 | 1,79 | 1,84 ^a | 1,78 ^b | 0,28 | 0,62 | 0,31 | 0,03 | <0,001 | 0,11 |
| Mg (mmol/l) | 1,07 | 1,09 | 1,08 | 1,10 | 1,07 | 1,07 | 1,04 ^b | 1,14 ^a | 0,15 | 0,30 | 0,25 | <0,001 | <0,001 | 0,10 |

¹ Behandlungen: N, M, H (niedrig, mittel, hoch) bzw. 75, 100, 125 % des Energiebedarfs nach GfE (2001)

² Rasse: FV = Fleckvieh, BS = Brown Swiss, HF = Holstein

³ RMSE = root mean square error

⁴ Körperkondition = body condition score (nach EDMONSON et al. 1989), wöchentliche Erhebung

⁵ Energiebilanz = Energieaufnahme minus bzw. dividiert durch Energiebedarf (nach GfE: 2001)

⁶ RMSE beruht auf logarithmischen Werten und wird daher nicht angegeben

^{a-c} Mittelwerte innerhalb einer Reihe mit verschiedenen Hochbuchstaben unterscheiden sich signifikant (P < 0,05)

als in der pre calving-Periode, wobei die Korrelation zwischen Energiebilanz und NEFA stärksten war. Wenn der gesamte Versuchszeitraum oder die Transitionperiode analysiert wurde, waren die Korrelationen zwischen Energiebilanz und Glucose oder auch BHB nahezu unverändert. Im Gegensatz dazu waren die Korrelationen zwischen Energiebilanz und NEFA bemerkenswert größer, wenn die Daten auf die Transitionperiode beschränkt waren. In *Abbildung 4* sind die Behandlungsmittelwerte (Haupteffekte und Wechselwirkungen $E_{PRE} \times E_{POST}$) der Konzentrationen von NEFA und BHB gegen die Energiebilanz geplottet, um diese Zusammenhänge darzustellen.

4. Diskussion

Um den Energiestatus (HEUER et al. 2000, REIST et al. 2002, CLARK et al. 2005), das Gesundheitsrisiko (OSPINA et al. 2010, STENGÄRDE et al. 2010, JORRITSMA et al. 2001), die Fruchtbarkeit (GIULIODORI et al. 2011) und die Leistung (DUFFIELD et al. 2009) von Milchkuhen in der frühen Laktation zu beschreiben, hat das sogenannte Metabolic Profiling von Milchkuhen im vergangenen Jahrzehnt erneutes Interesse erhalten. Die Verwendung der Energiebilanz auf der Ebene der individuellen Kuh – geschätzt aus den einfach verfügbaren Daten der Milchzusammensetzung – ist im Management ganzer Milchviehherden und im Decision Support von nur begrenztem Wert (LÖWENDAHL et al. 2010). WYLIE et al. (2008) brachten wieder Skepsis gegenüber der Aussagekraft von NEFA und BHB als alleinige Indikatoren für die Energiebilanz ins Spiel. In der vorliegenden Arbeit werden die Effekte der Energieversorgung *per se* diskutiert, d.h. die Energieaufnahme bzw. Energiekonzentration; aber die Energiebilanz und Blutmetaboliten von mehrkalbigen, hochleistenden Kühen werden außerdem auch von den Energiequelle (d.h. von den Rationskomponenten) beeinflusst, wie Van KNEGSEL et al. (2007a, b) berichtet haben.

4.1 Energiebilanz pre partum und post partum

In der vorliegenden Studie konnte in der Gruppe H_{POST} das geplante Ziel einer Energieübersorgung von 125 % des Bedarfs nicht erreicht werden und ebenso nicht in den letzten 4 Wochen vor dem Abkalben in der Behandlung H_{PRE} (*Abbildung 1*). In der Versuchsphase *pre partum* war das möglicherweise darauf zurückzuführen, dass eine Kraftfutterergänzung in diesem Leistungsstadium nicht vorgesehen war. Nur in der letzten Woche vor dem Abkalben

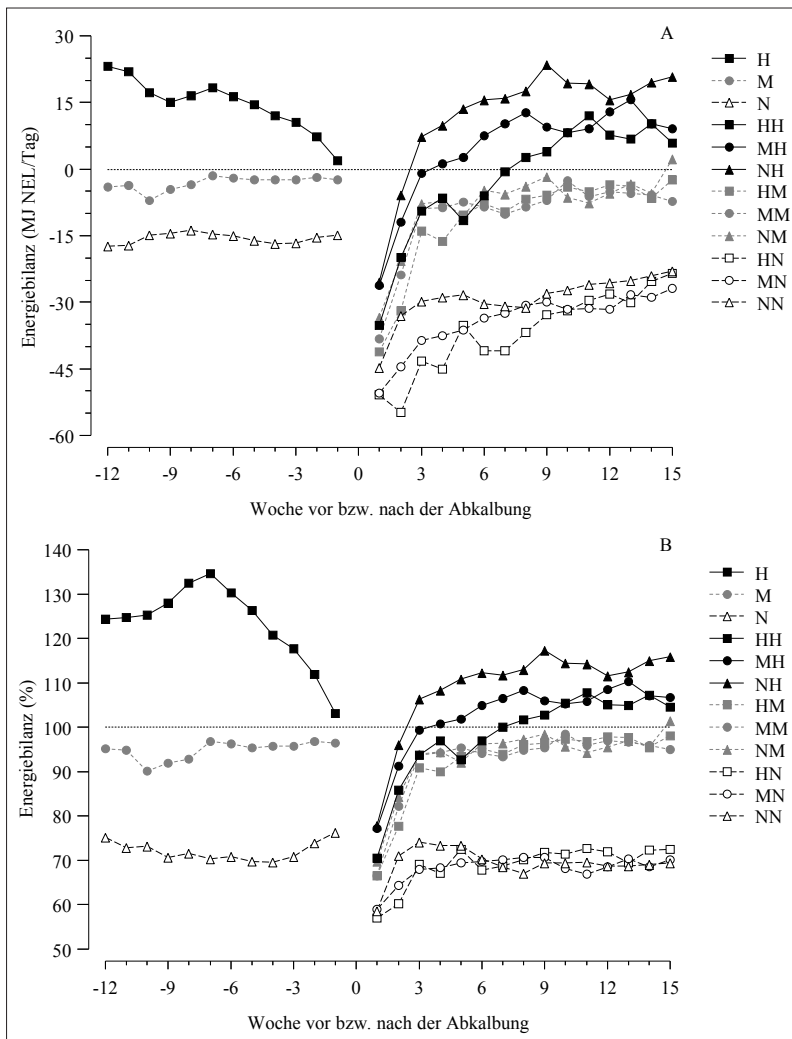


Abbildung 1: Energiebilanz in MJ NEL/d (A) und Energiebilanz in Prozent des Bedarfs (B) der Kühe in den Gruppen N_{PRE} , M_{PRE} und H_{PRE} (Versuchsphase 'Trockenstehzeit'; *pre partum*) sowie in den Gruppen NN, NM, NH und MN, MM, MH und HN, HM, HH (Versuchsphase 'Laktation'; *post partum*)

erhielten die Kühe 1 kg Kraftfutter, um die Pansenbakterien auf die Ration in der Laktation vorzubereiten. MARTENS et al. (2012) betonen die Bedeutung dieser sogenannten *close-up diet* mindestens 2 Wochen vor der Abkalbung, um dem Pansenepithel die Möglichkeit zu einer Adaptation zu ermöglichen. Da eine Totalmischration (TMR) einen erhöhten Energiegehalt und somit eine erhöhte Energieaufnahme erlaubt (INGVARTSEN et al. 2001), ist in der getrennten Futtervorlage wie im vorliegenden Versuch eine der Ursachen dafür zu suchen, dass die geplante Überversorgung nicht erreicht werden konnte. Jedoch wurden auch in der Untersuchung von LAW et al. (2011) bei *ad libitum* Fütterung einer energiereichen TMR während der gesamten Trockenstehzeit der Energiebedarf in den letzten drei Wochen vor der Abkalbung nur leicht überschritten. Der Rückgang der Futteraufnahme der *ad libitum* gefütterten Kühe (H_{PRE} ; siehe Abschnitt A) und die daraus folgende abnehmende Energiebilanz vor der Abkalbung stimmt mit den Erfahrungen mehrerer anderer Autoren überein (GRUMMER 1995, INGVARTSEN und ANDERSEN 2000, DANN et al. 2005). Sowohl das abnehmende Volumen im Beckenbe-

reich (INGVARTSEN et al. 1992) als auch ein ansteigender Energiebedarf infolge des fötalen Wachstums tragen zu diesem Effekt bei (GfE 2001).

Die Wechselwirkung zwischen der Energieversorgung *pre partum* und *post partum* auf die Energiebilanz *post partum* kann einerseits durch die geringere Milchleistung der in der Phase *pre partum* unterversorgten H_{POST} Kühe (31,2, 33,2, 33,3 kg ECM in NH, MH, HH) und andererseits durch die geringere Futteraufnahme der in der Phase *pre partum* überversorgten H_{POST} Kühe (22,5, 22,5, 21,6 kg TM in NH, MH, HH) erklärt werden. Dies führte zu einer ungünstigeren Energiebilanz der in der Phase *pre partum* überversorgten Tiere (+12,1, +4,4, -2,0 MJ NEL in NH, MH, HH). Ähnliche Ergebnisse haben auch JANOVICK und DRACKLEY (2010) gefunden. In der Untersuchung von LAW et al. (2011) führte die *ad libitum* Fütterung einer energiereichen TMR mit einem Grundfutter/Kraftfutter-Verhältnis von 30:70 (TM-Basis) zu einer Energiebilanz von +24,0 MJ ME/Tag (entspricht ca. +14,0 MJ NEL/Tag). In der vorliegenden Untersuchung wurde *post partum* bei einem Grundfutter/Kraftfutter-Verhältnis von 46:54 eine Energiebilanz von +4,8 MJ NEL/Tag erreicht (d.h. +3 % des Energiebedarfs). Diese Ergebnisse zeigen, dass bei der getrennten Futtervorlage von Grundfutter und Kraftfutter eine deutlich über den Bedarf hinausgehende Energieaufnahme in der Frühlaktation sehr unwahrscheinlich ist. Andererseits berichten ØSTERGAARD und GRÖHN (2000) von einem gehäuftem Auftreten von Stoffwechselproblemen.

In der vorliegenden Studie wurde bei den kombinierten Fleckvieh-Kühen eine weniger negative Energiebilanz während der Frühlaktation ermittelt (-10,2, -13,4, -14,6 MJ NEL/d bei FV, BS, HF; *Tabelle 3*). Dies ist ein deutlicher Hinweis für einen genetisch verankerten Abbau von Körperenergie-reserven, wie auch FRIGGENS et al. (2007) festgestellt haben. Diese Unterschiede zwischen den Rassen in der Energiebilanz sind allerdings gering im Vergleich zu den Unterschieden in der Milchleistung (24,5, 28,7, 31,0 kg ECM bei FV, BS, HF; *Tabelle 3*). Auch die Entwicklung der Lebendmasse und des BCS bei den 3 Rassen während des Versuchsabschnittes *post partum* fügen sich gut in dieses Bild (*Tabelle 5* in Abschnitt A). Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Rassen, was mit den geringen Unterschieden in der Energiebilanz gut übereinstimmt. Daraus ist abzuleiten, dass die Aufteilung der Futterenergie in Richtung Milch bei den Rassen mit höherem Milchleistungspotenzial (Brown Swiss und Holstein) im Vergleich zu Fleckvieh größer gewesen sein muss, was frühere Untersuchungen von YAN et al. (2006) bestätigen. Bei längerer Versuchsdauer hätte die Entwicklung des BCS diese Zusammenhänge noch deutlicher

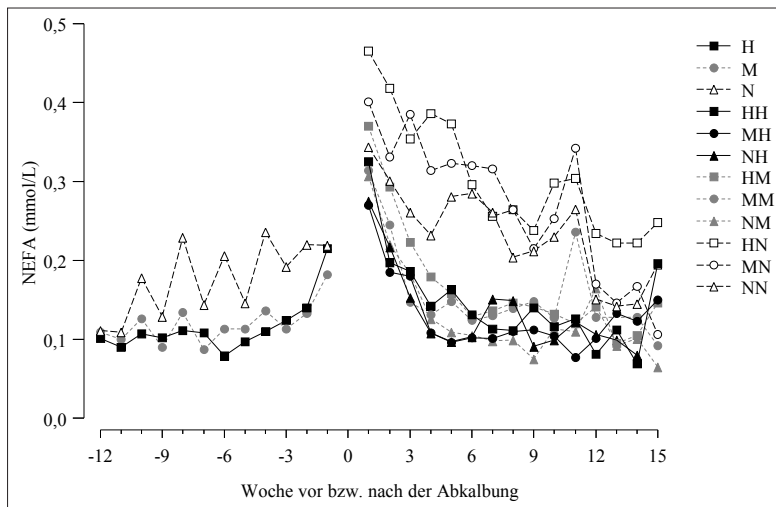


Abbildung 2: Gehalt des Serums der Kühe an nicht-veresterten Fettsäuren (NEFA) in den Gruppen N_{PRE} , M_{PRE} und H_{PRE} (Versuchsphase 'Trockenstehzeit'; *pre partum*) sowie in den Gruppen NN, NM, NH und MN, MM, MH und HN, HM, HH (Versuchsphase 'Laktation'; *post partum*)

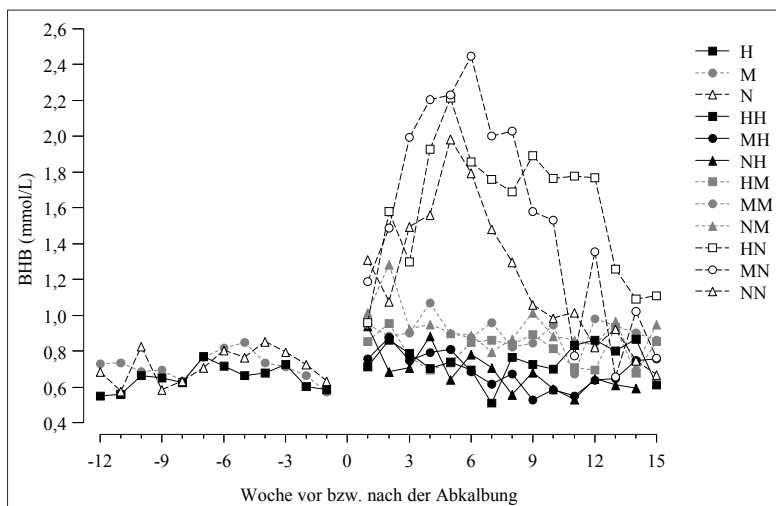


Abbildung 3: Gehalt des Serums der Kühe an β -Hydroxybuttersäure (BHB) in den Gruppen N_{PRE} , M_{PRE} und H_{PRE} (Versuchsphase 'Trockenstehzeit'; *pre partum*) sowie in den Gruppen NN, NM, NH und MN, MM, MH und HN, HM, HH (Versuchsphase 'Laktation'; *post partum*)

gemacht. Wie auch die Ergebnisse von YAN et al. (2006) sowie PATTON et al. (2008) zeigen, existieren zwischen den Genotypen Unterschiede auch im Zeitverlauf, was die Aufteilung der Futterenergie in Richtung Milch bzw. Körperansatz betrifft.

4.2 Einfluss der Energieversorgung *pre partum* auf die Blutmetaboliten

Eine höhere Blutglucose-Konzentration für H_{PRE} während der *pre calving*-Phase (Tabelle 2) stimmt mit früheren Ergebnissen überein, in denen energiereiche Rationen *pre partum* angewendet wurden (DANN et al. 2005, KEOGH et al. 2009, JANOVIK et al. 2011, LAW et al. 2011). Der enge Zusammenhang der Glucose-Produktion mit der Aufnahme an verdaulicher Energie ist allgemein erwiesen (BELL und BAUMANN 1997), obwohl nach der Abkalbung die Umwandlung des Propionates zu Glu-

cose in der Leber zur Nettoenergieaufnahme deutlicher in Verbindung steht (DRACKLEY et al. 2001).

Während der *pre partum* Periode hatten die Kühe der N_{PRE} Behandlung eine um 41 % höhere NEFA-Konzentration als Kühe der Behandlungen M_{PRE} und H_{PRE} (Abbildung 2, Tabelle 2). Das zeigt, dass bereits vor der Abkalbung eine Mobilisation aus dem Fettgewebe stattgefunden haben muss. Dies spiegelt sich auch in den Veränderungen der BCS-Werte und der Lebendmasse wider (Abschnitt A). DANN et al. (2005), ROCHE (2007) und JANOVIK et al. (2011) berichten von ähnlichen Unterschieden in der NEFA-Konzentration zwischen restriktiv gefütterten und überfütterten Tieren. Im Gegensatz dazu bewirkte in der Untersuchung von LAW et al. (2011) eine restriktive Fütterung keine Unterschiede in der NEFA-Konzentrationen des Blutes. Es wurde diskutiert, dass sich vor der Abkalbung eine mäßige Erhöhung der NEFA-Werte im Blut günstig auswirkt, um die Leber für die Körpermobilisation der Kühe in der Früh-laktation vorzubereiten (FRIGGENS et al. 2004). In der vorliegenden Untersuchung lag die NEFA-Konzentration der N_{PRE} Kühe unter den Referenzwerten für trockenstehende Kühe, die sich zwischen 0,26 (OSPINA et al. 2010) bis 1,00 mM (QUIROZ-ROCHA et al. 2009) bewegen. Jedoch kann die Dauer und das Ausmaß der Energierestriktion der vorliegenden Untersuchung eher zu Stoffwechselproblemen (wie Fettleber oder Ketose) *post partum* geführt haben, da diese durch eine starke Mobilisation von Körperfettreserven hervorgerufen wird (JORRITSMA et al. 2000).

Obwohl die Unterschiede in der Energiebilanz der trockenstehenden Kühe in der vorliegenden Untersuchung groß waren (72, 95, 123 % des Energiebedarfs in N_{PRE} , M_{PRE} , H_{PRE}), waren die *pre partum* BHB-Konzentrationen im Blut durch die Fütterungsgruppen nicht beeinflusst (Tabelle 2, Abbildung 2). In ähnlichen Untersuchungen (JANOVIK et al. 2011, LAW et al. 2011) hatte das Fütterungsniveau ebenfalls keinen Einfluss auf die BHB-Konzentration *pre partum*. Auch nicht, wenn die Unterschiede in der Energiebilanz (85 vs. 142 % des NEL-Bedarfes) noch größer waren (DANN et al. 2005). Andererseits berichtet ROCHE (2007) von einer Erhöhung der BHB-Konzentration *pre partum* bei Kühen, die während der letzten 3 Wochen vor der Abkalbung auf der Weide restriktiv gefüttert waren.

4.3 Einfluss der Energieversorgung *pre partum* \times Energieversorgung *post partum* auf die Blutmetaboliten

Der Einfluss des Energieniveaus *pre partum* hatte nur einen geringen Einfluss auf die Konzentration der Blut-

Tabelle 4: Einfluss von Energieversorgung *pre partum* und *post partum* (Wechselwirkung) auf Futteraufnahme, Milchleistung, Körperkondition, Energiebilanz und Stoffwechselformparameter in der Periode *post partum* (Frühlaktation)

| Parameter | Energielevel (pre partum / post partum) ¹ | | | | | | | | | RMSE ² | P-Wert E _{PRE} × E _{POST} |
|---------------------------------------|--|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--|
| | NN | NM | NH | MN | MM | MH | HN | HM | HH | | |
| Futteraufnahme (kg TM/d) | 12,8 ^{cB} | 18,3 ^{BD} | 22,5 ^a | 13,6 ^{AB} | 19,6 ^{CD} | 22,5 ^d | 14,8 ^{IA} | 20,5 ^{HC} | 21,6 ^g | 1,9 | <0,01 |
| Milchleistung (kg ECM/d) | 18,6 | 26,9 | 31,2 | 21,8 | 30,7 | 33,2 | 24,3 | 32,6 | 33,3 | 4,3 | 0,37 |
| Milchfett (%) | 4,14 | 4,24 | 4,09 | 4,46 | 4,25 | 4,31 | 4,50 | 4,29 | 4,10 | 0,55 | 0,28 |
| Milchprotein (%) | 2,95 ^c | 3,20 ^{BB} | 3,46 ^a | 2,96 ^e | 3,32 ^{AB} | 3,43 ^d | 3,04 ^e | 3,39 ^{FA} | 3,40 ^f | 0,22 | 0,01 |
| Körperkondition ³ | 2,12 | 2,69 | 2,72 | 2,20 | 2,55 | 2,88 | 2,66 | 2,96 | 2,81 | 0,36 | 0,18 |
| Energiebilanz ⁴ (MJ NEL/d) | -29,3 ^c | -7,6 ^b | 12,0 ^{AA} | -34,4 ^f | -10,7 ^e | 4,7 ^{AB} | -36,1 ⁱ | -11,3 ^h | -2,0 ^{EB} | 10,6 | <0,05 |
| Energiebilanz ⁴ (%) | 69 ^c | 94 ^b | 109 ^{AA} | 68 ^f | 92 ^e | 103 ^{AB} | 69 ⁱ | 92 ^h | 98 ^{AB} | 7 | <0,001 |
| Glucose (mmol/l) | 2,47 | 2,88 | 3,06 | 2,47 | 2,89 | 3,03 | 2,44 | 3,01 | 2,94 | 0,50 | 0,40 |
| NEFA (mmol/l) | 0,23 | 0,12 | 0,12 | 0,25 | 0,14 | 0,13 | 0,30 | 0,16 | 0,14 | -5 | 0,88 |
| BHB (mmol/l) | 1,17 | 0,92 | 0,68 | 1,47 | 0,93 | 0,69 | 1,49 | 0,80 | 0,73 | -5 | 0,12 |
| Bilirubin (µmol/l) | 1,68 | 1,15 | 1,23 | 1,66 | 1,27 | 1,17 | 1,76 | 1,30 | 1,28 | -5 | 0,72 |
| Harnstoff (mmol/l) | 3,65 | 3,74 | 3,46 | 3,99 | 4,12 | 3,91 | 3,97 | 4,26 | 3,82 | 0,89 | 0,91 |
| Cholesterin (mmol/l) | 4,08 | 3,81 | 3,84 | 4,09 | 4,32 | 4,04 | 4,02 | 4,24 | 3,98 | 0,87 | 0,77 |
| AST (IU/l) | 31,8 ^{BB} | 31,9 ^b | 38,3 ^{ABC} | 36,6 ^{AB} | 36,4 | 40,2 ^C | 39,0 ^{EA} | 35,4 ^{CD} | 32,8 ^{DD} | -5 | <0,001 |
| GLDH (IU/l) | 4,01 ^{EB} | 5,68 ^b | 9,28 ^{BC} | 5,61 ^A | 5,58 | 7,07 ^{CD} | 6,54 ^{DEA} | 7,77 ^d | 5,20 ^{ED} | -5 | <0,001 |
| Ca (mmol/l) | 2,49 | 2,43 | 2,44 | 2,50 | 2,45 | 2,42 | 2,51 | 2,48 | 2,42 | 0,19 | 0,60 |
| P (mmol/l) | 1,91 ^A | 1,76 | 1,82 | 1,72 ^{BB} | 1,87 ^a | 1,82 ^{ab} | 1,86 ^{AB} | 1,86 | 1,75 | 0,28 | <0,001 |
| Mg (mmol/l) | 1,06 | 1,07 | 1,08 | 1,11 | 1,06 | 1,11 | 1,12 ^a | 1,10 ^{ab} | 1,03 ^b | 0,15 | <0,01 |

¹ Energielevel: N, M, H bzw. 75, 100, 125 % des Energiebedarfs nach GfE (2001) sowohl *pre partum* als auch *post partum*:

NN, NM, NH: Energieversorgung *pre partum*: N; Energieversorgung *post partum*: N, M, H

MN, MM, MH: Energieversorgung *pre partum*: M; Energieversorgung *post partum*: N, M, H

HN, HM, HH: Energieversorgung *pre partum*: H; Energieversorgung *post partum*: N, M, H

² RMSE = root mean square error

³ Körperkondition = body condition score (nach EDMONSON et al. 1989), wöchentliche Erhebung

⁴ Energiebilanz = Energieaufnahme minus bzw. dividiert durch Energiebedarf (nach GfE 2001)

⁵ RMSE beruht auf logarithmischen Werten und wird daher nicht angegeben

^{a-i} Mittelwerte innerhalb einer Reihe mit verschiedenen Hochbuchstaben unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$)

Unterschiede zwischen E_{POST}-Gruppen innerhalb E_{PRE}-Behandlungen sind mit Kleinbuchstaben gekennzeichnet

Unterschiede zwischen E_{PRE}-Gruppen innerhalb E_{POST}-Behandlungen sind mit Großbuchstaben gekennzeichnet

metaboliten in der Phase nach der Abkalbung. Jedoch war die NEFA-Konzentration im Blut bei diesen Tieren höher, die eine hohe Energieversorgung vor dem Abkalben erfahren haben (Tabelle 3). Das stimmt mit den Ergebnissen von KEOGH et al. (2009), JANOVICK et al. (2011) und LAW et al. (2011) überein, die von ähnlichen Resultaten berichten. Wie bereits erwähnt, kann eine *pre partum* Vorbereitung der physiologischen Anpassungsfähigkeit der Kühe, mit den steigenden Blut-NEFA-Konzentrationen zu Beginn der Laktation umgehen zu können, diese Ergebnisse erklären. Es ist jedoch eher anzunehmen, dass die niedrigere Milchleistung (-4,5 kg ECM, siehe Abschnitt A) und die daraus resultierende weniger negative Energiebilanz die weniger ausgeprägte Mobilisation von Körperreserven der N_{PRE}-Behandlungen *post partum* bedingt hat.

Eine hohe Energieversorgung nach dem Abkalben (H_{POST}) resultierte in einer geringeren Konzentration von NEFA und BHB im Blut (Abbildung 3) und auch in höheren Glucosewerten als in der Gruppe mit niedriger Energieversorgung (N_{POST}, Tabelle 3). Nachdem erwartet werden kann, dass die Ketokörper-Produktion erhöht wird, wenn Fettsäuren mobilisiert und NEFA in der Leber oxidiert werden (JANOVICK et al. 2011), sind die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung hinsichtlich Energieversorgung nach der Abkalbung schlüssig und unterstützen das bisherige Wissen zu dieser Frage. Die zeitlich verzögerten Peaks der BHB-Konzentration im Vergleich zu den Peaks der NEFA-Konzentration in den Behandlungen N_{POST} (NN, MN, HN; Abbildung 2 und 3) weisen auf eine begrenzte Fettsäure-Oxidation in der Leber und auf eine verringerte, hepatische Gluco-

neogenese für den Stoffwechsel des Propionates hin, was auch MURONDOTI et al. (2004) für Kühe zeigten, deren Behandlung vergleichbar der Gruppe HN in der vorliegenden Untersuchung war.

In der vorliegenden Studie existieren keine Wechselwirkungen zwischen *pre partum* und *post partum* Fütterungsniveau hinsichtlich Blutglucose, NEFA und BHB. Jedoch hatten die Kühe der Behandlungen MN und HN um mehr als 25 % höhere BHB-Konzentrationen als NN Kühe (Tabelle 4). ROCHE (2007) berichtet von ähnlichen Effekten, was ebenfalls eine bessere Adaptation für die Fettmobilisation von Kühen zeigt, die *pre partum* restriktiv gefüttert wurden, im Vergleich zu Kühen, deren Restriktion erst bei der Abkalbung beginnt oder die *pre partum* überfüttert worden sind (HOLTENIUS und HOLTENIUS 1996). Die Untersuchung von NIELSEN et al. (2007) zeigt, dass die Response der Metaboliten auf die Veränderung der Energiekonzentration von ihrem jeweiligen Ausgangspunkt abhängt. Diese Beziehung kann zumindest teilweise die BHB-Konzentration der vorliegenden Untersuchung erklären, da ein Fütterungsregime von H_{PRE} zu N_{POST} zu der größten Response der BHB-Konzentration führte ($\Delta HN - HPRE = 0,85$ mM), wogegen die anderen Fütterungsregime geringere Differenzen nach sich zogen ($\Delta MN - MPRE = 0,76$ mM und $\Delta NN - NPRES = 0,46$ mM). Das Nicht-Vorhandensein von Carry over-Effekten auf die Glucosekonzentrationen, die in anderen Untersuchungen festgestellt wurden (McNAMARA et al. 2003, ROCHE 2007, JANOVICK et al. 2011), hat seine Ursache höchstwahrscheinlich in der kurzfristigen Natur der streng homöostatischen Regulation (GIESECKE 1987, BAUMANN 2000).

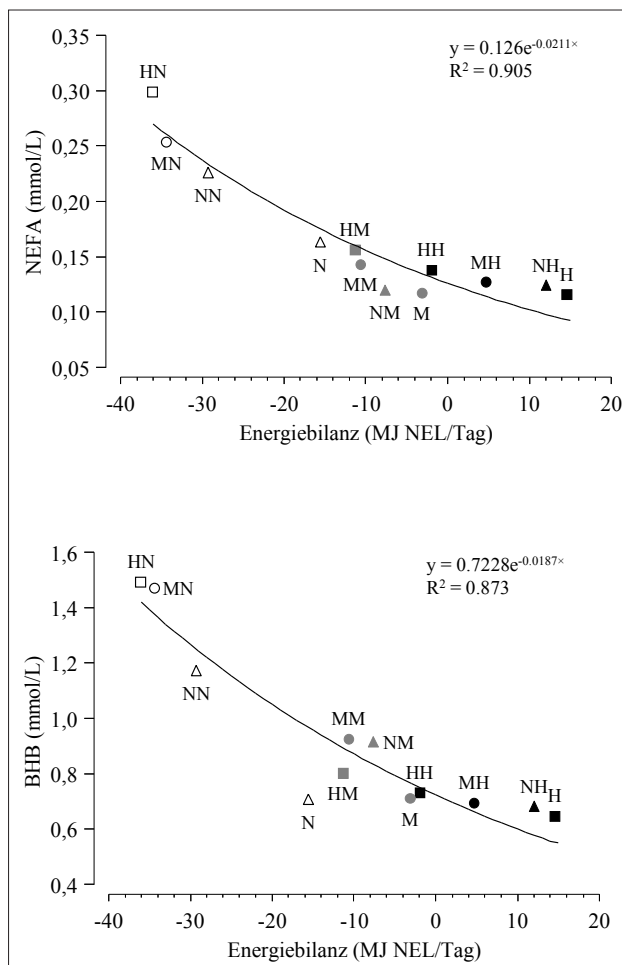


Abbildung 4: Beziehungen zwischen Energiebilanz und nicht-veresterten Fettsäuren (NEFA) bzw. β -Hydroxybuttersäure (BHB)

Tabelle 5: Pearson's Korrelationen zwischen der Energiebilanz und der Serumkonzentration an Glucose, an nicht-veresterten Fettsäuren (NEFA) sowie an β -Hydroxybuttersäure (BHB) in verschiedenen Versuchsphasen

| Phase ¹ | r | P-Wert |
|------------------------------|--------|--------|
| Pre partum | | |
| Glucose | 0,614 | <0,001 |
| NEFA | -0,584 | <0,001 |
| BHB | -0,340 | 0,043 |
| Transition | | |
| Glucose | 0,764 | <0,001 |
| NEFA | -0,942 | <0,001 |
| BHB | -0,691 | <0,001 |
| Post partum | | |
| Glucose | 0,729 | <0,001 |
| NEFA | -0,855 | <0,001 |
| BHB | -0,691 | <0,001 |
| Gesamte Versuchsdauer | | |
| Glucose | 0,735 | <0,001 |
| NEFA | -0,839 | <0,001 |
| BHB | -0,686 | <0,001 |

¹ Versuchsphasen:

pre partum = Tag 84 vor der Abkalbung bis zur Abkalbung (Spätlaktation und Trockenstehzeit)

Transitionperiode = Woche -3 bis +3 relativ zur Abkalbung

post partum = Abkalbung bis Tag 105 nach der Abkalbung (Frühlaktation)

Gesamte Versuchsdauer = Tag 84 vor der Abkalbung bis Tag 105 nach der Abkalbung (Frühlaktation)

4.4 Einfluss der Rasse auf die Blutmetaboliten

Das Fehlen von Rassen-Effekten auf die NEFA-Konzentration in der vorliegenden Untersuchung steht im Gegensatz zu Ergebnissen, die SCHAMS et al. (1991) und RASTANI et al. (2001) berichtet haben. In der Untersuchung von RASTANI et al. (2001) war die NEFA-Konzentration in der Tendenz bei Holstein-Kühen höher als bei Jersey-Kühen, wobei die Unterschiede zwischen den Rassen hinsichtlich Gewebeergergiebilanz 17,6 MJ/Tag und hinsichtlich Milchleistung 14 kg FCM betragen. In der vorliegenden Untersuchung waren die Unterschiede zwischen den Rassen in der Energiebilanz (Δ EBHF – EBFV = 4,4 MJ NEL/Tag) und in der Milchleistung (Δ ECMHF – ECMFV = 6,5 kg ECM/Tag) geringer. Allerdings beeinflusste der Faktor Rasse die Konzentration an Glucose und BHB im Blut. Die kombinierte Zweinutzungsrasse Fleckvieh hatte im Vergleich zu den milchbetonten Rassen Brown Swiss und Holstein eine höhere Glucose-Konzentration *post partum* und eine niedrigere BHB-Konzentration sowohl *pre partum* als auch *post partum* (Tabelle 2 und 3). Es scheint allerdings, dass der Einfluss der Rasse auf die Veränderung in der Konzentration der Blutmetaboliten während der Transitionperiode von geringerer Bedeutung ist und dass physiologische Veränderungen hauptsächlich in den Unterschieden der Energiebilanz begründet sind. Diese ergeben sich aus unterschiedlicher Energie-Aufnahme und/oder unterschiedlichem Milchenergie-Output, was eine homeorhetische Regulation darstellt. Obwohl es nicht ein vorrangiges Ziel der vorliegenden Untersuchung war, ist es erwähnenswert, dass NIELSEN et al. (2007) keine Rassen-Effekte auf die Stoffwechsel-Parameter fand, als er den Einfluss einer Veränderung der Energiekonzentration bei Red Danish, Danish Holstein und Danish Jersey in der frühen Laktation untersuchte.

4.5 Metabolische Profile als Indikatoren und Vorhersage-Parameter des Energiestatus von Kühen

Die enge Korrelation zwischen der Energiebilanz und der Serumkonzentration von NEFA und BHB (Abbildung 4 und Tabelle 5) bestätigen die Aussage von QUIROZ-ROCHA et al. (2010), dass diese Metaboliten zu den am häufigsten verwendeten Blutparametern zur Beurteilung des Energiestoffwechsels und der Energiebilanz zählen. Höhere NEFA-Konzentrationen *post partum* von Kühen, die in der Trockenperiode überfüttert waren, weisen auch eine stärker negative Energiebilanz auf (Tabelle 3). Die Körperfettmobilisation ist weniger durch eine negative Energiebilanz *per se* durch bedingt, sondern es ist eher der folgende kausale Zusammenhang plausibel. Eine Überfütterung *pre partum* fördert die Mobilisation von Triglyceriden während der Laktation. Dadurch werden Milchfettgehalt und Milchleistung erhöht und das führt letztlich zu einem größeren Milchenergie-Output und zu einer entsprechend höher negativen Energiebilanz (JANOVICK und DRACKLEY 2010, JANOVICK et al. 2011). Auch in der Untersuchung von LAW et al. (2011) war die Erhöhung von NEFA sowie BHB mit einer stärker negativen Energiebilanz verbunden. Allerdings war das Bestimmtheitsmaß der Beziehung eher

schwach (28,4 % bzw. 9,7 % für NEFA und BHB). Ein Grund für den Unterschied zu den vorliegenden Ergebnissen ($R^2_{\text{NEFA}} = 90,5\%$ und $R^2_{\text{BHB}} = 87,3\%$) dürfte sein, dass unterschiedliche Auswertungsmethoden verwendet wurden. Während LAW et al. (2011) eine lineare Regression anwendeten, scheint das kurvenlineare Modell – wie in der vorliegenden Untersuchung zu Grunde gelegt – die Beziehung zwischen der Energiebilanz und den Blutparametern NEFA und BHB besser zu beschreiben (Abbildung 4). Dies haben auch schon frühere Untersuchungen gezeigt (DOREAU 1983, CHILLIARD et al. 1987). McNAMARA et al. (2003) fanden keine signifikante Korrelation zwischen Energiebilanz und NEFA, jedoch eine niedrige Korrelation von -0,29 zwischen Energiebilanz und BHB und stellten daher fest, dass Blutmetaboliten keine geeigneten Indikatoren zur Beschreibung der Energiebilanz seien. Im Gegensatz dazu zeigen die vorliegenden Ergebnisse, dass die Energiebilanz mit NEFA ($r = -0,58, -0,94, -0,86$) besser vorausgesagt werden kann als mit BHB ($r = -0,34, -0,69, -0,69$) für die Zeit *pre partum*, Transition und *post partum* (Tabelle 5). Die engste Korrelation zwischen Energiebilanz und den Blutmetaboliten ergab sich für die Transitionperiode. Andererseits muss bedacht werden, dass die tierindividuelle Varianz, d.h. genetische Komponenten (DRACKLEY 2005), beachtliche Unterschiede in der BHB- und NEFA-Konzentration ausmachen können, trotz ähnlicher Energiebilanz *post partum* (KESSEL et al. 2008). Van DORLAND et al. (2011) spricht von einer homeorhetischen Regulation des Fettstoffwechsels bereits auf molekularem Niveau.

Die Bedeutung des Metabolic Profiling hat in letzter Zeit wieder zugenommen, trotz der Schwierigkeiten bei der Interpretation der Blutanalysen-Werte, wie z.B. niedrige Genauigkeit in der Schätzung der Energiebilanz von Einzeltieren (REIST et al. 2002) und des daraus resultierenden, erforderlichen Probenumfangs, um die Energiebilanz mit einer bestimmten Genauigkeit auf Herdenniveau zu schätzen (HEUER et al. 2000). Ein elektronisches Gerät – bei Verwendung von Vollblut – zur Untersuchung von subklinischer Ketose bei Milchkühen wurde bereits erfolgreich getestet (IWERSEN et al. 2009). Im Gegensatz zur Bestimmung der Körperkondition oder Rückenfettdicke, die eher den zurückliegenden und nicht so sehr den gegenwärtigen Ernährungszustand und nicht das aktuelle Herdenniveau widerspiegeln, erlaubt Metabolic Profiling Aussagen zum aktuellen Herdenstatus (SCHRÖDER und STAUFENBIEL 2006). KRONSNABL (2010) hat in letzter Zeit neue Referenzwerte und Vorhersagegrenzen für Blutparameter von deutschen Holstein- und Fleckvieh-Kühen erarbeitet. Die Anwendung dieser Ergebnisse über Computerprogramme könnte vorbeugende Herdenbeobachtungsprogramme verbessern als ein Tool für das Herdenmanagement von Hochleistungskühen.

5. Schlussfolgerungen

Jene Kühe, die *pre partum* unterversorgt waren, hatten eine höhere Konzentration an NEFA, was bedeutet, dass auch schon vor der Abkalbung eine Mobilisation von Körperreserven stattgefunden hat. Verglichen mit Kühen, die vor der Abkalbung eine über den Bedarf hinausgehende Energieversorgung erhalten haben, resultierte die Futterrestriktion in einer weniger negativen Energiebilanz *post partum*. Das Fütterungsniveau in der Trockenstehzeit hatte nur geringere

Auswirkungen auf den Stoffwechsel in der Laktationsperiode, aber eine niedrigere NEFA-Konzentration von *pre partum* niedrig versorgten Tieren spiegelt eine bessere Anpassung an die Mobilisation von Fettgewebe in der frühen Laktation wider. Eine Fütterung unter dem Bedarf nach der Abkalbung erhöhte das Ausmaß und die Dauer der negativen Energiebilanz und erhöhte die Konzentration an NEFA. Die BHB-Konzentration war auch bei Kühen erhöht, die entsprechend dem Bedarf gefüttert waren. Es wurde eine Wechselwirkung zwischen dem Fütterungsniveau *pre partum* und *post partum* auf die Energiebilanz nach dem Abkalben in dem Sinn festgestellt, dass eine Minderung der Energieaufnahme während der Trockenstehzeit für den Energiestatus der Kühe in der frühen Laktation von Vorteil ist. Jedoch muss dafür ein gewisser Rückgang der Milchleistung in Kauf genommen werden. Die Ergebnisse zeigen eine enge Beziehung zwischen Energiebilanz und den Blutmetaboliten NEFA und BHB besonders in der Transitionperiode.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei allen Mitarbeitern des Institutes für Nutztierforschung für ihren Einsatz und ihre Zusammenarbeit im Herdenmanagement, in der Erfassung der Daten und in der elektronischen Datenverarbeitung. Die Untersuchung wurde finanziert durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Projekt Stoffwechselversuch (Nr. 2912).

6. Literatur

- BAUMAN, D.E., 2000: Regulation of nutrient partitioning during lactation: Homeostasis and homeorhesis revisited. In: Cronjé, P.B. (ed.), Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth, and Reproduction. CABI publishing, Wallingford, UK, 311-328.
- BAUMAN, D.E. und W.B. CURRIE, 1980: Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. J. Dairy Sci. 63, 1514-1529.
- BELL, A.W., 1995: Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. J. Dairy Sci. 73, 2804-2819.
- BELL, A.W. und D.E. BAUMAN, 1997: Adaptations of glucose metabolism during pregnancy and lactation. Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia 2, 265-278.
- CHILLIARD, Y., D. SAUVANT, P. MORAND-FEHR und C. DELOUIS, 1987: Relations entre le bilan énergétique et l'activité métabolique du tissu adipeux de la chèvre au cours de la première moitié de la lactation. Reproduction Nutrition Development 27, 307-308.
- CHILLIARD, Y., A. FERLAY, Y. FAULCONNIER, M. BONNET, J. ROUEL und F. BOCQUIER, 2000: Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. Proceedings of the Nutrition Society 59, 127-134.
- CLARK, C.E.F., W.J. FULKERSON, K.S. NANDRA, I. BARCHIA und K.L. McMILLAN, 2005: The use of indicators to assess the degree of mobilization of body reserves in dairy cows in early lactation on a pasture-based diet. Livest. Prod. Sci. 94, 199-211.
- DANN, H.M., D.E. MORIN, G.A. BOLLERO, M.R. MURPHY und J.K. DRACKLEY, 2005: Prepartum intake, postpartum induction of ketosis, and periparturient disorders affect the metabolic status of dairy cows. J. Dairy Sci. 88, 3249-3264.

- DOREAU, M., 1983: Effect of feeding on variations of different plasma components in cows during late pregnancy and early lactation. *Annales de Recherches Vétérinaires* 14, 39-48.
- DOUGLAS, G.N., T.R. OVERTON, H.G. BATEMAN, H.M. DANN und J.K. DRACKLEY, 2006: Prepartal plane of nutrition, regardless of dietary energy source, affects periparturient metabolism and dry matter intake. *J. Dairy Sci.* 89, 2141-2157.
- DRACKLEY, J.K., 1999: Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier? *J. Dairy Sci.* 82, 2259-2273.
- DRACKLEY, J.K., T.R. OVERTON und G.N. DOUGLAS, 2001: Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 84, E100-E112.
- DRACKLEY, J.K., H.M. DANN, G.N. DOUGLAS, N.A. JANOVICK GURETZKY, N.B. LITHELAND, J.P. UNDERWOOD und J.J. LOOR, 2005: Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders. *Italian J. Anim. Sci.* 4, 323-344.
- DUFFIELD, T.F., K.D. LISSEMORE, B.W. McBRIDE und K.E. LESLIE, 2009: Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *J. Dairy Sci.* 92, 571-580.
- EDMONSON, A.J., I.J. LEAN, L.D. WEAVER, T. FARVER und G. WEBSTER, 1989: A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72, 68-78.
- FRIGGENS, N.C., J.B. ANDERSEN, T. LARSEN, O. AAES und R. DEWHURST, 2005: Priming the dairy cow for lactation: A review of dry cow feeding strategies. *Anim. Res.* 53, 453-473.
- FRIGGENS, N.C., P. BERG, P. THEILGAARD, I.R. KORSGAARD, K.L. INGVARTESEN, P. LØVENDAHL und J. JENSEN, 2007: Breed and parity effects on energy balance profiles through lactation: Evidence of genetically driven body energy change. *J. Dairy Sci.* 90, 5291-5305.
- FRIGGENS, N.C., L. BRUN-LAFLEUR, P. FAVERDIN, D. SAUVANT und O. MARTIN, 2013: Advances in predicting nutrient partitioning in the dairy cow: recognizing the central role of genotype and its expression through time. *Animal* 7 (Suppl. 1), 89-101.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Frankfurt am Main, DLG-Verlag, 135 S.
- GIESECKE, D., 1987: Lipidmobilisation und Insulinfunktion bei Kühen mit hoher Milchleistung. *Fortschr. Tierphysiol. Tierernähr.* Heft 18, Parey-Verlag, Hamburg/Berlin, 81 S.
- GIULIODORI, M.J., C. DELAVAUD, Y. CHILLIARD, D. BECÚ-VILLALOBOS, I. LACAU-MENGIDO und R. LUZBEL de la SOTA, 2011: High NEFA concentrations around parturition are associated with delayed ovulations in grazing dairy cows. *Livest. Sci.* 141, 123-128.
- GOFF, J.P. und R.L. HORST, 1997: Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *J. Dairy Sci.* 80, 1260-1268.
- GRUBER, L., M. URDL, W. OBRITZHAUSER, A. SCHAUER, J. HÄUSLER und B. STEINER, 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.
- GRUMMER, R.R., 1993: Etiology of lipid-related metabolic disorders in periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76, 3882-3896.
- GRUMMER, R.R., 1995: Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *J. Dairy Sci.* 73, 2820-2833.
- HERDT, T.H., 2000: Variability characteristics and test selection in herd-level nutritional and metabolic profile testing. *Veterinary Clinics of North America: Food Anim. Pract.* 16, 387-403.
- HEUER, C., W.M. Van STRAALLEN, Y.H. SCHUKKEN, A. DIRKZWAGER und J.P.T.M. NOORDHUIZEN, 2000: Prediction of energy balance in a high yielding dairy herd in early lactation: model development and precision. *Livest. Prod. Sci.* 65, 91-105.
- HOLCOMB, C.S., H.H. Van HORN, H.H. HEAD, M.B. HALL und C.J. WILCOX, 2001: Effects of prepartum dry matter intake and forage percentage on postpartum performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 2051-2058.
- HOLTENIUS, P. und K. HOLTENIUS, 1996: New aspects of ketone bodies in energy metabolism of dairy cows: A review. *J. Vet. Med.* 43, 579-587.
- HOLTENIUS, K., S. AGENÄS, C. DELAVAUD und Y. CHILLIARD, 2003: Effects of feeding intensity during the dry period. 2. Metabolic and hormonal responses. *J. Dairy Sci.* 86, 883-891.
- HUHTANEN, P., 1998: Supply of nutrients and productive responses in dairy cows given diets based on restrictively fermented silage. *Agric. a. Food Sci.* 7, 219-250.
- INGVARTSEN, K.L. und J.B. ANDERSEN, 2000: Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *J. Dairy Sci.* 83, 1573-1597.
- INGVARTSEN, K.L., H.R. ANDERSEN und J. FOLDAGER, 1992: Effect of sex and pregnancy on feed intake capacity of growing cattle. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Anim. Sci.* 42, 40-46.
- INGVARTSEN, K.L., O. AAES und J.B. ANDERSEN, 2001: Effects of pattern of concentrate allocation in the dry period and early lactation on feed intake and lactational performance in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 71, 207-221.
- IWERSEN, M., U. FALKENBERG, R. VOIGTSBERGER, D. FORDERUNG und W. HEUWIESER, 2009: Evaluation of an electronic cowside test to detect subclinical ketosis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 2618-2624.
- JANOVICK, N.A. und J.K. DRACKLEY, 2010: Prepartum dietary management of energy intake affects postpartum intake and lactation performance by primiparous and multiparous Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 93, 3086-3102.
- JANOVICK, N.A., Y.R. BOISCLAIR und J.K. DRACKLEY, 2011: Prepartum dietary energy intake affects metabolism and health during the periparturient period in primiparous and multiparous Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 94, 1385-1400.
- JORRITSMA, R., H. JORRITSMA, Y.H. SCHUKKEN und G.H. WENTINK, 2000: Relationships between fatty liver and fertility and some periparturient diseases in commercial Dutch dairy herds. *Theriogenology* 54, 1065-1074.
- JORRITSMA, R., H. JORRITSMA, Y.H. SCHUKKEN, P.C. BARTLETT, T. WENSING und G.H. WENTINK, 2001: Prevalence and indicators of post partum fatty infiltration of the liver in nine commercial dairy herds in The Netherlands. *Livest. Prod. Sci.* 68, 53-60.
- KEOGH, B., P. FRENCH, T. McGRATH, T. STOREY, F.J. MULLIGAN, 2009: Effect of three forages and two forage allowances offered to pregnant dry dairy cows in winter on periparturient performance and milk yield in early lactation. *Grass Forage Sci.* 64, 292-303.
- KESSEL, S., M. STROEHL, H.H.D. MEYER, S. HISS, H. SAUERWEIN, F.J. SCHWARZ und R.M. BRUCKMAIER, 2008: Individual variability in physiological adaptation to metabolic stress during early lactation in dairy cows kept under equal conditions. *J. Anim. Sci.* 86, 2903-2912.

- KRONSCHNABL, C., 2010: Ermittlung von laktationsspezifischen Prognosebereichen zur Beurteilung der Konzentration von Blutparametern beprobter Milchkühe. Diss. LMU München, 230 S.
- KUNZ, P. L., J.W. BLUM, I.C. HART, H. BICKEL und J. LANDIS, 1985: Effects of different energy intakes before and after calving on food intake, performance and blood hormones and metabolites in dairy cows. *Anim. Prod.* 40, 219-231.
- LAW, R.A., F.J. YOUNG, D.C. PATTERSON, D.J. KILPATRICK, A.R.G. WYLIE, K.L. INGVARTESEN, A. HAMELEERS, M.A. MCCOY, C.S. MAYNE und C.P. FERRIS, 2011: Effect of precalving and postcalving dietary energy level on performance and blood metabolite concentrations of dairy cows throughout lactation. *J. Dairy Sci.* 94, 808-823.
- LØVENDAHL, P., C. RIDDER und N.C. FRIGGENS, 2010: Limits to prediction of energy balance from milk composition measures at individual cow level. *J. Dairy Sci.* 93, 1998-2006.
- MARTENS, H., I. RABBANI, Z. SHEN, F. STUMPF und C. DEINER, 2012: Changes in rumen absorption processes during transition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 172, 95-102.
- MASHEK, D.G. und D.K. BEEDE, 2001: Peripartum responses of dairy cows fed energy-dense diets for 3 or 6 weeks prepartum. *J. Dairy Sci.* 84, 115-125.
- McNAMARA, S., J.J. MURPHY, M. RATH und F.P. O'MARA, 2003: Effects of different transition diets on energy balance, blood metabolites and reproductive performance in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 84, 195-206.
- MURONDOTI, A., R. JORRITSMA, A.C. BEYNEN, T. WENSING und M.J.H. GEELLEN, 2004: Activities of the enzymes of hepatic gluconeogenesis in periparturient dairy cows with induced fatty liver. *J. Dairy Res.* 71, 129-134.
- NIELSEN, N.I., N.C. FRIGGENS, T. LARSEN, J.B. ANDERSEN, M.O. NIELSEN und K.L. INGVARTESEN, 2007: Effect of changes in diet energy density on feed intake, milk yield and metabolic parameters in dairy cows in early lactation. *Animal* 1, 335-346.
- NRC (National Research Council), 2001: Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th Edition). National Academy Press, Washington, D.C., 381 S.
- OETZEL, G.R., 2004: Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease. *Veterinary Clinics of North America: Food Anim. Pract.* 20, 651-674.
- OLSSON, G., M. EMANUELSON und H. WIKTORSSON, 1998: Effects of different nutritional levels prepartum on the subsequent performance of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 53, 279-290.
- OSPINA, P.A., D.V. NYDAM, T. STOKOL und T.R. OVERTON, 2010: Evaluation of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *J. Dairy Sci.* 93, 546-554.
- ØSTERGAARD, S. und Y.T. GRÖHN, 2000: Concentrate feeding, dry-matter intake, and metabolic disorders in Danish dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 65, 107-118.
- PATTON, J., J.J. MURPHY, F.P. O'MARA und S.T. BUTLER, 2008: A comparison of energy balance and metabolic profiles of the New Zealand and North American strains of Holstein Friesian dairy cow. *Animal* 2, 969-978.
- QUIROZ-ROCHA, G.F., S.J. LEBLANC, T.F. DUFFIELD, D. WOOD, K.E. LESLIE und R.M. JACOBS, 2009: Reference limits for biochemical and hematological analytes of dairy cows one week before and one week after parturition. *The Canadian Vet. Journal* 50, 383-388.
- QUIROZ-ROCHA, G.F., S.J. LEBLANC, T.F. DUFFIELD, B. JEFFERSON, D. WOOD, K.E. LESLIE und R.M. JACOBS, 2010: Short communication: Effect of sampling time relative to the first daily feeding on interpretation of serum fatty acid and β -hydroxybutyrate concentrations in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 93, 2030-2033.
- RABELO, E., R.L. REZENDE, S.J. BERTICS und R.R. GRUMMER, 2005: Effects of pre- and postfresh transition diets varying in dietary energy density on metabolic status of periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 4375-4383.
- RASTANI, R.R., S.M. ANDREW, S.A. ZINN und C.J. SNIFFEN, 2001: Body composition and estimated tissue energy balance in Jersey and Holstein cows during early lactation. *J. Dairy Sci.* 84, 1201-1209.
- REIST, M., D. ERDIN, D. Von EUW, K. TSCHUEMPERLIN, H. LEUENBERGER, Y. CHILLIARD, H.M. HAMMON, C. MOREL, C. PHILIPONA, Y. ZBINDEN, N. KUENZI und J.W. BLUM, 2002: Estimation of energy balance at the individual and herd level using blood and milk traits in high-yielding dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85, 3314-3327.
- REMPPISS, S., H. STEINGASS, L. GRUBER und H. SCHENKEL, 2011: Effects of energy intake on performance, mobilization and retention of body tissue, and metabolic parameters in dairy cows with special regard to effects of pre-partum nutrition on lactation. A review. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 24, 540-572.
- REYNOLDS, C.K., P.C. AIKMAN, B. LUPOLI, D.J. HUMPHRIES und D.E. BEEVER, 2003: Splanchnic metabolism of dairy cows during the transition from late gestation through early lactation. *J. Dairy Sci.* 86, 1201-1217.
- ROCHE, J.R., 2007: Milk production responses to pre- and postcalving dry matter intake in grazing dairy cows. *Livest. Sci.* 110, 12-24.
- ROCHE, J.R., E.S. KOLVER und J.K. KAY, 2005: Influence of precalving feed allowance on periparturient metabolic and hormonal responses and milk production in grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 677-689.
- RUKKWAMSUK, T., M.J.H. GEELLEN, T.A.M. KRUIP und T. WENSING, 2000: Interrelation of fatty acid composition in adipose tissue, serum, and liver of dairy cows during the development of fatty liver postpartum. *J. Dairy Sci.* 83, 52-59.
- RYAN, G., J.J. MURPHY, S. CROSSE und M. RATH, 2003: The effect of pre-calving diet on post-calving cow performance. *Livest. Prod. Sci.* 79, 61-71.
- SAS Institute Inc., 2010: SAS/STAT 9.22 User's Guide. Cary, NC (USA): SAS Institute Inc., 8460 S.
- SCHAMS, D., F. GRAF, B. GRAULE, M. ABELE und S. PROKOPP, 1991: Hormonal changes during lactation in cows of three different breeds. *Livest. Prod. Sci.* 27, 285-296.
- SCHRÖDER, U.J. und R. STAUFENBIEL, 2006: Invited review: Methods to determine body fat reserves in the dairy cow with special regard to ultrasonographic measurement of backfat thickness. *J. Dairy Sci.* 89, 1-14.
- STENGÄRDE, L., K. HOLTENIUS, M. TRÄVÉN, J. HULTGREN, R. NISKANEN und U. EMANUELSON, 2010: Blood profiles in dairy cows with displaced abomasum. *J. Dairy Sci.* 93, 4691-4699.
- URDL, M., L. GRUBER, W. OBRITZHAUSER und A. SCHAUER: 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. a. Anim. Nutr.* 99 (2015), im Druck.
- VANDEHAAR, M.J., G. YOUSIF, B.K. SHARMA, T.H. HERDT, R.S. EMERY, M.S. ALLEN und J.S. LIESMAN, 1999: Effect of energy and protein density of prepartum diets on fat and protein metabolism of dairy cattle in the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 82, 1282-1295.

- Van DORLAND, H.A., H. SADRI, I. MOREL und R.M. BRUCKMAIER, 2012: Coordinated gene expression in adipose tissue and liver differs between cows with high or low NEFA concentrations in early lactation. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 96, 137-147.
- Van KNEGSEL, A.T.M., H. Van den BRAND, J. DIJKSTRA und B. KEMP, 2007a: Effects of dietary energy source on energy balance, metabolites and reproduction variables in dairy cows in early lactation. *Theriogenology* 68, 274-280.
- Van KNEGSEL, A.T.M., H. Van den BRAND, J. DIJKSTRA, W.M. Van STRAALLEN, R. JORRITSMA, S. TAMMINGA und B. KEMP, 2007b: Effect of glucogenic vs. lipogenic diets on energy balance, blood metabolites, and reproduction in primiparous and multiparous dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 90, 3397-3409.
- WYLIE, A.R.G., S. WOODS, A.F. CARSON und M. McCOY, 2008: Periprandial changes in metabolite and metabolic hormone concentrations in high-genetic-merit dairy heifers and their relationship to energy balance in early lactation. *J. Dairy Sci.* 91, 577-586.
- YAN, T., C.S. MAYNE, T.W.J. KEADY und R.E. AGNEW, 2006: Effects of dairy cow genotype with two planes of nutrition on energy partitioning between milk and body tissue. *J. Dairy Sci.* 89, 1031-1042.

