

lfz
raumberg
gumpenstein

Lehr- und Forschungszentrum
Landwirtschaft
www.raumberg-gumpenstein.at

Abschlussbericht

Stoffwechselfersuch

Projekt Nr. 2912

Einfluss der Energieversorgung vor und nach der
Abkalbung auf Produktionsdaten, Stoffwechsel,
Milchqualität und Körperzusammen-
setzung von Milchkühen

Influence of Energy Supply before and after Calving on
Production Data, Metabolism, Milk Quality and
Body Composition of Dairy Cows

Projektleitung:

Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, LFZ Raumberg-Gumpenstein

Projektmitarbeiter:

Dipl.-Ing. Marc Urdl, LFZ Raumberg-Gumpenstein

Ing. Anton Schauer, LFZ Raumberg-Gumpenstein

Johann Häusler, LFZ Raumberg-Gumpenstein

Projektpartner:

Dr. med.vet. Walter Obritzhauser, Tierärztekammer

Dipl.-Ing. Matthias Lins, Universität für Bodenkultur

Projektlaufzeit:

1998 – 2003



lebensministerium.at

www.raumberg-gumpenstein.at

Inhaltsverzeichnis

<i>Teil 1:</i>	Seite	5
<i>Zum Einfluss der Energieversorgung vor der Abkalbung auf Futteraufnahme, Körpermasse und Körperkondition sowie Milchleistung und Stoffwechsel von Milchkühen</i>		
1. Einleitung	Seite	7
2. Energieversorgung vor dem Abkalben und Futteraufnahme zu Laktationsbeginn	Seite	8
2.1 Unterversorgung ante partum und Futteraufnahme post partum	Seite	8
2.2 Überversorgung ante partum und Futteraufnahme post partum	Seite	9
3. Energieversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körpermasseveränderung	Seite	14
3.1 Unterversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körpermasse	Seite	15
3.2 Überversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körpermasse	Seite	17
4. Energieversorgung vor dem Abkalben und Veränderung der Körperkondition im geburtsnahen Zeitraum	Seite	21
4.1 Unterversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körperkondition	Seite	22
4.2 Überversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körperkondition	Seite	23
5. Energieversorgung vor dem Abkalben und Milchleistung	Seite	26
5.1 Präpartale Unterversorgung und Milchleistung	Seite	26
5.2 Präpartale Überversorgung und Milchleistung	Seite	28
6. Energieversorgung vor dem Abkalben und Stoffwechselformparameter	Seite	35
6.1 Präpartale Energieversorgung und Blutmetabolite	Seite	36
6.2 Präpartale Energieversorgung und peripartale Energiebilanz	Seite	40
6.3 Präpartale Energieversorgung und Hormone	Seite	41
7. Schlussfolgerungen	Seite	43
8. Schrifttum	Seite	45
<i>Teil 2:</i>	Seite	51
<i>Influence of energy supply pre and post partum on performance of multiparous dairy cows in early lactation</i>		
1. Implications	Seite	52
2. Introduction	Seite	52
3. Material and methods	Seite	52
3.1 Animals and housing	Seite	53
3.2 Experimental design, diets, and feeding	Seite	53
3.3 Measurements and chemical analyses	Seite	54

3.4	Data calculation	Seite	54	
3.5	Statistical analyses	Seite	55	
4.	Results	Seite	55	
4.1	Production parameters in the dry period	Seite	55	
4.2	Milk yield and milk composition in the lactation period	Seite	56	
4.3	DMI and energy intake in the lactation period	Seite	57	
5.	Discussion	Seite	58	
5.1	DMI and energy status in the dry period	Seite	58	
5.2	Production parameters and energy status in the lactation period	Seite	59	
6.	Conclusions	Seite	62	
7.	References	Seite	62	
<i>Teil 3:</i>			Seite	65
<i>Metabolic parameters and their relationship to energy balance in multiparous dairy cows in the periparturient period as influenced by energy supply pre- and post-calving</i>				
1.	Introduction	Seite	66	
2.	Materials and methods	Seite	67	
2.1	Animals and experimental design	Seite	67	
2.2	Blood sampling and analysis	Seite	67	
2.3	Calculations and statistical analysis	Seite	68	
3.	Results	Seite	69	
3.1	Production data	Seite	69	
3.2	Energy balance	Seite	70	
3.3	Blood metabolites	Seite	71	
3.4	Correlation of blood metabolites with energy balance	Seite	72	
4.	Discussion	Seite	72	
4.1	Energy balance pre- and postpartum	Seite	74	
4.2	Effect of energy supply prepartum on blood metabolites	Seite	75	
4.3	Effect of energy supply prepartum × energy supply postpartum on blood metabolites	Seite	77	
4.4	Metabolic profiles as indicators/predictors of energy status in cows	Seite	78	
5.	Conclusion	Seite	79	
6.	References	Seite	80	

ZUM EINFLUSS DER ENERGIEVERSORGUNG VOR DER ABKALBUNG AUF FUTTERAUFNAHME, KÖRPERMASSE UND KÖRPERKONDITION SOWIE MILCHLEISTUNG UND STOFFWECHSEL VON MILCHKÜHEN

EFFECT OF PREPARTUM ENERGY SUPPLY ON FEED INTAKE, BODY WEIGHT,
BODY CONDITION, MILK YIELD AND METABOLISM OF DAIRY COWS: A REVIEW

von/by

*M. Lins**, *L. Gruber***, *W. Obritzhauser****

GLIEDERUNG

- 1 Einleitung
- 2 Energieversorgung vor dem Abkalben und Futteraufnahme zu Laktationsbeginn
 - 2.1 Unterversorgung ante partum und Futteraufnahme post partum
 - 2.2 Überversorgung ante partum und Futteraufnahme post partum
- 3 Energieversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körpermasseveränderung
 - 3.1 Unterversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körpermasse
 - 3.2 Überversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körpermasse
- 4 Energieversorgung vor dem Abkalben und Veränderung der Körperkondition im geburtsnahen Zeitraum
 - 4.1 Unterversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körperkondition
 - 4.2 Überversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körperkondition
- 5 Energieversorgung vor dem Abkalben und Milchleistung
 - 5.1 Präpartale Unterversorgung und Milchleistung
 - 5.2 Präpartale Überversorgung und Milchleistung
- 6 Energieversorgung vor dem Abkalben und Stoffwechselfparameter (peripartal)
 - 6.1 Präpartale Energieversorgung und Blutmetabolite
 - 6.2 Präpartale Energieversorgung und peripartale Energiebilanz
 - 6.3 Präpartale Energieversorgung und Hormone
- 7 Schlussfolgerungen
- 8 Schrifttum

* Dipl.-Ing. Matthias Lins, Institut für Nutztierwissenschaften, Universität für Bodenkultur, Gregor Mendel-Straße 33, A-1180 Wien, email: lins.matthias@aon.at

** Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, Institut für Viehwirtschaft, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, A-8952 Irdning, email: leonhard.gruber@bal.bmlfuw.gv

*** Dr. med.vet. Walter Obritzhauser, Steirischer Tiergesundheitsdienst am Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 8 c, Zimmerplatzgasse 15, A-8010 Graz, email: w.obritzhauser@dairyvet.at

ZUSAMMENFASSUNG

Das permanent steigende genetische Leistungspotenzial der Milchkühe sowie sinkende Kraftfutterpreise haben in den letzten Jahren europaweit zu bedeutenden Milchleistungssteigerungen geführt. Die Transitperiode – der Zeitraum von einigen Wochen vor und nach der Abkalbung – nimmt in der Fütterung der Milchkühe eine zentrale Rolle ein. Die Futteraufnahme ist im geburtsnahen Zeitraum deutlich vermindert und steigt nach der Abkalbung nur langsam an. Dadurch entsteht häufig ein über mehrere Wochen andauerndes Energiedefizit. Das Ausmaß des peripartal entstehenden Energiedefizits hängt maßgeblich vom präpartalen Versorgungsniveau ab. In der Trockenstehzeit unterversorgte Kühe müssen zur Ernährung des Fötus und zur Euterentwicklung bereits vor der Abkalbung Körperreserven mobilisieren. Ihre Einsatzleistungen sind niedriger als die von präpartal bedarfsgerecht versorgten Kühen, allerdings zeigt ihre Laktationskurve eine höhere Persistenz. Die restriktive Energieversorgung während der Hochträchtigkeit fördert im allgemeinen die postpartale Futteraufnahme und vermindert dadurch die Fettmobilisation zu Laktationsbeginn. Eine Überversorgung vor der Abkalbung führt zu umfassender Reservenbildung während der Trächtigkeit und wirkt positiv auf die Milchleistung in den ersten Laktationswochen. Der Nährstoffbedarf zu Laktationsbeginn erhöht sich aufgrund steigender Milchleistung rasant. Bei gleichzeitig verminderter Futteraufnahme kommt es postpartal zu forcierter Mobilisation von Depotfett und Muskelprotein. Die aus dem Fettabbau stammenden freien Fettsäuren gelangen über das Blut in die Leber, wo sie bei Überschreiten physiologischer Grenzen zur zusätzlichen Energiebereitstellung nur unzureichend genutzt werden können. In weiterer Folge kommt es zur Verfettung des Lebergewebes und somit zur Reduktion der Gluconeogenese. Damit wird der wichtigste Glucosebereitstellungsprozess der Wiederkäuer nachhaltig gehemmt. Diese Störung des Energiehaushaltes gilt unbestritten als wesentliche Ursache für Leistungseinbußen und zahlreiche postpartal auftretender Gesundheitsprobleme.

Schlüsselwörter: Präpartale Energieversorgung, Produktion, Stoffwechsel, Milchkühe

SUMMARY

The continuously increasing genetic potential of dairy cows, as well as the decreasing costs for concentrates in Europe have induced significant increases in milk production in the past years. The transition period, which is defined as a few weeks before and after calving, plays an important role in the feeding of high producing dairy cows. The feed intake is significantly reduced in the time around parturition and increases only slowly after parturition. The extent of this peripartal energy deficit depends especially on the pre partum energy supply. Cows being underfed during late gestation have to mobilise body reserves in order to supply the fetus and to develop their mammary tissue. The initial milk yield of those cows is lower as compared to ones fed according to their requirements in late gestation, however their persistency is higher. Restricted energy supply in late gestation generally leads to a higher feed intake post partum and therefore reduces the pathological mobilisation of bodyfat in early lactation. Extensive energy surplus before calving results in a significant formation of body reserves and supports the milk yield in early lactation. Because of the increasing milk yield at the start of lactation the nutrient demand is substantially enhanced. Since feed intake is usually low at this stage of lactation, fat reserves as well as some muscle protein are mobilised to a high degree. Free fatty acids derived from fat mobilisation are transported by

the blood into the liver. There they can be utilised for energy purposes only on an inadequate scale if mobilised beyond physiological limits. As a consequence this results in an increased fat deposition in the liver and therefore in a reduced gluconeogenesis. Thereby, the most important source of glucose in the metabolism of ruminants is seriously inhibited. This disorder of energy metabolism is known as the most important reason for lower milk yield and numerous health problems occurring post partum.

Key Words: pre partum energy supply, production, metabolism, dairy cows

1 EINLEITUNG

Das permanent steigende genetische Leistungspotenzial der Milchkühe sowie – agrarpolitisch bedingt – sinkende Kraftfutterpreise haben in den letzten Jahren europaweit Leistungssteigerungen in bedeutendem Umfang herbeigeführt (GREIMEL 1999, FÜRST 2000, SCHWARZ 2000, ZMP 2003). In der Fütterung der Hochleistungskuh nimmt dabei die Periode unmittelbar vor und nach dem Abkalben eine zentrale Rolle ein (GRUMMER 1995, DRACKLEY 2002). Das gegen Ende der Trächtigkeit exponentiell verlaufende Fötuswachstum (BELL et al. 1995) und die darauf folgende Laktation ist von bedeutsamen hormonellen Veränderungen der Milchkuh begleitet, verbunden mit einer charakteristischen Entwicklung der Futterraufnahme und Körpermasse (NRC 2001). Die Milchleistung ist zu Laktationsbeginn durch einen rapiden Anstieg gekennzeichnet. Demgegenüber steigt die Futterraufnahme post partum allerdings in weit geringerem Umfang an. Um ein allzu großes Energiedefizit zu verhindern, müssen die Futterrationen in dieser Phase daher hochkonzentriert sein (RABELO et al. 2001); allerdings stehen dem die verdauungsphysiologischen Ansprüche der Wiederkäuer (wiederkäuergerechte Fütterung) entgegen.

Die Bedeutung der Reservenbildung während der Hochträchtigkeit zum Zwecke der Energiebereitstellung über die Mobilisation zu Laktationsbeginn wird zum Teil sehr gegensätzlich diskutiert. Die physiologisch begrenzte Energiegewinnung durch die Lipolyse bzw. Glycogenolyse sowie die Verwertung glucogener Aminosäuren stellen spezifische Leistungen des Leberstoffwechsels dar, die einer ausgeglichenen Energiebilanz im geburtsnahen Zeitraum dienlich sind. Eine maßgeblich über den Bedarf hinausgehende präpartale Energieversorgung überfordert die Möglichkeit dieser zusätzlichen Energiebereitstellung und kann zu gravierenden Störungen des gesamten Stoffwechsels führen (VAN SAUN und SNIFFEN 1996, JORRITSMA et al. 2001). Dies beeinflusst den Gesundheitsstatus und als Folge davon auch wichtige Produktionsparameter (GRUMMER 1995, MOORBY und DEWHURST 1999, STEINGASS et al. 2002). Dazu liegen zwar viele Untersuchungen vor, dennoch sind grundlegende biologische Abläufe zum Teil noch unerforscht (DRACKLEY 1999, REYNOLDS et al. 2003). Möglicherweise sind viele ungeklärte Fragen der Grund, warum in der Praxis der Energieversorgung im peripartalen Zeitraum wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird, ein Umstand, den VAN SAUN und SNIFFEN (1996) als „management by neglect“ (Management durch Vernachlässigung) bezeichnen.

Vor diesem Hintergrund soll im folgenden Beitrag eine Literaturübersicht über den Einfluss der Energieversorgung vor der Abkalbung auf Futteraufnahme, Körpermasse und –kondition sowie Milchleistung und Stoffwechsel von Milchkühen gegeben werden.

2 ENERGIEVERSORGUNG VOR DEM ABKALBEN UND FUTTERAUFNAHME ZU LAKTATIONSBEGINN

Die Futteraufnahme im peripartalen Zeitraum ist durch einen Rückgang vor der Geburt und anschließenden Anstieg zu Laktationsbeginn charakterisiert. Welches Ausmaß die Reduktion des Verzehrs ante partum sowie dessen Zunahme post partum annehmen, hängt maßgeblich von futterspezifischen und tierbedingten (besonders endokrinen) Einflussfaktoren ab (GIESECKE 1987, INGVARTSEN und ANDERSEN 2000). Zahlreiche Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Reduktion der Futteraufnahme vor dem Abkalben bis zu 30 % betragen kann (HERNANDEZ-URDANETA et al. 1976, JOHNSON und OTTERBY 1981, KUNZ et al. 1985, BERTICS et al. 1992, GRUMMER et al. 1995, DANN et al. 1999). Die maximale Futteraufnahme wird im Durchschnitt nach 10 bis 16 Laktationswochen erreicht (GARNSWORTHY und TOPPS 1982, DE VRIES et al. 1999).

2.1 Unterversorgung ante partum und Futteraufnahme post partum

Der Energiebedarf vor der Abkalbung setzt sich aus Erhaltung, Wachstum des Fötus und Aufteuern zusammen. Eine verminderte Energiekonzentration in der Futtermischung bzw. restriktive Futtermischung vor dem Abkalben wirken der Bedarfsdeckung der hochträchtigen Kuh entgegen. Die Entwicklung des Fötus bleibt davon unbeeinflusst, jedoch wird hierbei die Retention der Kuh gehemmt (ROBERTS et al. 1978). Um den Abbau von Körpermasse (KM) gegen Ende der Hochträchtigkeit zu vermeiden und um den hohen Nährstoffbedarf mit einsetzender Laktation zu decken, ist eine hohe Energie- und Nährstoffaufnahme im peripartalen Zeitraum zu fordern.

DAVENPORT und RAKES (1969) versorgten eine Kontrollgruppe während der Trockenstehzeit bedarfsgerecht und eine Versuchsgruppe auf niedrigem Energieniveau, um eine positive Körpermasseentwicklung vor dem Abkalben zu unterbinden (Tab. 1). Die Futteraufnahme der ante partum unterversorgten Kühe war in den ersten 12 Laktationswochen in der Tendenz (nicht signifikant) niedriger, der Anstieg der Futteraufnahme zu Laktationsbeginn allerdings rund doppelt so hoch. LODGE et al. (1975) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass ante partum unterversorgte Kühe in den ersten 16 Laktationswochen mehr Kraftfutter (KF) aufnahmen als die bedarfsgerecht versorgte Kontrollgruppe (Tab. 1). Die Grund- und auch Gesamtfutteraufnahme der beiden Gruppen blieb vom Versorgungsniveau ante partum unbeeinflusst. Durch den post partum höheren Kraftfutteranteil in der Ration der präpartal unterversorgten Kühe wurde die Verdaulichkeit und Energieaufnahme zu Laktationsbeginn erhöht. Trotz stark limitierter Futteraufnahmekapazität sehen LODGE et al. (1975) in einer vermehrten Kraftfutteraufnahme eine Möglichkeit zur Maximierung der postpartalen Nährstoffaufnahme und damit die Voraussetzung für eine ausgeglichene Energiebilanz. TREACHER et al. (1986) variierten die Energiekonzentration in der unter- bzw. überversorgten Gruppe, beginnend acht Monate vor dem voraussichtlichen Abkalbetermin, um als Konsequenz die Körperkondition zur Abkalbung „dünn“ und „fett“ zu

erreichen. Die Futteraufnahme in den ersten zehn Laktationswochen der ante partum unterversorgten Kühe war höher als die der verfetteten, allerdings statistisch nicht signifikant.

Tabelle 1: Effekt der Unterversorgung ante partum auf die Futteraufnahme post partum
Table 1: Effect of prepartum undernutrition on feed intake post partum

n	Energieversorgung ante partum				Trockenmasseaufnahme (IT) post partum				Autor(en)		
	Gruppenbezeichnung		Dauer (Wo)	KF (kg/d)	Grundfutter (GF)	IT _{GF+KF} (kg/d)	IT _{KF} (kg/d)	KM (kg)		Dauer (Wo)	
13 14 16	Energie	niedrig	8	0,0	Heu u. Weide	13,0 ¹⁾	10,5 ¹⁾	608	12	DAVENPORT u. RAKES (1969)	
		mittel		2,3		12,7 ¹⁾	10,0 ¹⁾				598
		hoch		12,0		12,2 ¹⁾	9,8 ¹⁾				
9 9	unterversorgt bedarfsgerecht		6	k. A.	Heu	12,9 ¹⁾ 12,1 ¹⁾	9,9 ^{α, 1)} 8,9 ^{β, 1)}	k. A.	16	LODGE et al. (1975)	
9 9	unterversorgt überversorgt		32	k. A.	Heu	17,2 15,8	k. A.	563 587	10	TREACHER et al. (1986)	
15 15	unterversorgt bedarfsgerecht		12	0,0 2,7	MS u. GS	18,2 18,6	k. A.	562 586	14	HOLTER et al. (1990)	
51	Ernährungs- zustand	mager fett	k. A.	k. A.	k. A.	16,8 17,5	k. A.	k. A.	8	CHILLIARD (1992) ²⁾	

KF: Kraftfutter; GF: Grundfutter; MS: Maissilage; GS: Grassilage; α, β: p < 0,05

k. A.: keine Angaben

¹⁾ IT_{GF+KF} bzw. IT_{KF}: Aufnahme an verdaulicher Trockenmasse

²⁾ keine Angabe zum Signifikanzniveau und zur Gruppengröße

GARNSWORTHY und JONES (1987) wiesen für Kühe, die in der Trockenstehphase restriktiv versorgt wurden, eine signifikant höhere Futteraufnahme in der darauf folgenden Laktation aus als für Kühe, die zum Zeitpunkt der Abkalbung verfettet waren. HOLTER et al. (1990) erzielten unterschiedliche Körperkonditionen zum Zeitpunkt der Abkalbung durch variierende Kraftfutterniveaus ante partum (Tab. 1). Die absolute Futteraufnahme post partum der beiden Gruppen war nahezu identisch, ausgedrückt in Prozent der Körpermasse lag sie jedoch für die ante partum unterversorgten Kühe tendenziell höher. Als Ursache dafür sehen die Autoren die geringere Körpermasse der präpartal unterversorgten Tiere zu Laktationsbeginn. CHILLIARD (1992) kommt aufgrund seiner Untersuchungen, in denen Kühe entweder mager oder verfettet zur Abkalbung kamen, zu gegensätzlichen Schlussfolgerungen. Durch eine intensive Fütterung mit Kraftfutter während der Trockenstehzeit können sich die Pansenmikroben besser an die während der Laktation verabreichte Ration anpassen. Dies führte zu einer höheren Futteraufnahme der verfetteten Kühe zu Beginn der Laktation (Tab. 1).

2.2 Überversorgung ante partum und Futteraufnahme post partum

SCHMIDT und SCHULTZ (1959) formulierten drei Energieniveaus mittels unterschiedlicher Kraftfuttermengen während der Trockenstehzeit, um den Effekt auf die Futteraufnahme post partum zu untersuchen (Tab. 2). Die Autoren konnten keinen Effekt der präpartalen Energieversorgung auf die Futteraufnahme in den ersten vier Laktationswochen feststellen.

Da die maximale Futteraufnahme erst im Laufe des dritten Laktationsmonats erreicht wird (GARNSWORTHY und TOPPS 1982), erscheint der gewählte Versuchszeitraum von vier Wochen zu kurz, um Auswirkungen der Energieversorgung ante partum erfassen zu können. Die Versuche von EMERY et al. (1969) ergaben eine höhere Gesamtfutteraufnahme der präpartal überversorgten Kühe zu Laktationsbeginn. Allerdings war der Kraftfutteranteil in der Ration der laktierenden Kühe in beiden Gruppen nicht gleich. HERNANDEZ-URDANETA et al. (1976) fanden keinen Einfluss einer unterschiedlichen Energieversorgung ante partum auf die Futteraufnahme zu Laktationsbeginn. FRONK et al. (1980) teilten einer Versuchsgruppe das Kraftfutter während der letzten Trächtigkeitswochen auf Laktationsniveau zu, um mögliche Auswirkungen auf die postpartale Futteraufnahme zu erfassen (Tab. 2). Die präpartale Energieversorgung zeigte keinen Effekt auf die Futteraufnahme zu Laktationsbeginn. Die Autoren erklären, dass das Ausmaß und die Zeitdauer der Überversorgung ante partum nicht ausreichten, um eindeutige Ergebnisse zu erhalten. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kommen JOHNSON und OTTERBY (1981), deren Untersuchung ebenfalls keinen Zusammenhang zwischen Energieversorgung vor der Abkalbung und Futteraufnahme post partum erkennen ließ (Tab. 2). Die Versuchsgruppen von GARNSWORTHY und TOPPS (1982) kalbten gemäß der variierenden präpartalen Energieversorgung in unterschiedlichen Körperkonditionen. In der Laktation erhielten alle Kühe die gleichen Rationen. Die Autoren ziehen aus ihren Untersuchungen den Schluss, dass die Überversorgung ante partum sowohl die maximale Verzehrsmenge als auch den Anstieg der Futteraufnahme zu Laktationsbeginn vermindert (Tab. 2). Dadurch wird die Zeitspanne des Energiedefizites in der für die Kuh kritischen peripartalen Phase verlängert. KUNZ et al. (1985) stellten keine Auswirkungen der präpartalen Energieversorgung auf die Futteraufnahme zu Laktationsbeginn fest. Allerdings wurde der Anstieg der Futteraufnahme post partum durch die energiereiche Ration in der Trockenstehzeit verringert und dadurch das peripartale Energiedefizit vergrößert. DUCKER et al. (1985) untersuchten die Auswirkungen hoher Energieversorgung während der Hochträchtigkeit auf die Energieaufnahme in den Laktationswochen 6 bis 18 bei Kalbinnen. Im Gegensatz zu vielen anderen Versuchsergebnissen belegen die Autoren, dass die energiereiche Fütterung vor dem Abkalben einen positiven Effekt auf die Futter- und Energieaufnahme während der Laktation hat (Tab. 2). Als Grund für diese Ergebnisse sehen die Autoren das geringe Erstabkalbealter der Kalbinnen von 24 – 28 Monaten und deren geringe Verfettung zum Zeitpunkt der Abkalbung. Auch BOISCLAIR et al. (1986) kamen in zwei verschieden langen Versuchen (1 und 2) zum Ergebnis, dass ante partum verfettete Kühe in der Laktation keine geringere Futteraufnahme aufweisen als bedarfsgerecht versorgte Tiere, trotz großer Variation der Energieversorgung ante partum (Tab. 2). Die Autoren merken jedoch an, dass die Nährstoff reiche Mischration post partum mögliche Effekte des präpartalen Fütterungsregimes überdeckt haben könnte. Auch NOCEK et al. (1986) konnten keinen Effekt der präpartalen Energieversorgung auf die Futteraufnahme post partum feststellen. Allerdings erstreckte sich sowohl der prä- als auch der postpartale Versuchszeitraum nur über je drei Wochen (Tab. 2). Auch FLIPOT et al. (1988) sowie GARNSWORTHY und HUGGET (1992) fanden keinen Zusammenhang zwischen der Energieversorgung ante partum und der Futteraufnahme post partum. GARNSWORTHY und JONES (1993) schreiben einer Energieüberversorgung in der Trockenstehzeit eindeutig negative Effekte auf die Futteraufnahme post partum zu (Tab. 2). Die Verfettung verringerte die Futteraufnahme in den ersten 16 Laktationswochen um 11 % (bezogen auf die metabolische Körpermasse). Die ante partum restriktiv versorgten Kühe nahmen in der Laktation mehr Kraftfutter auf und hatten bei gleicher Grundfutteraufnahme

folglich eine höhere Gesamtfutteraufnahme. SCHWARZ et al. (1995) leiten aus ihren Versuchsergebnissen ab, dass sich eine massiv erhöhte Energiekonzentration ante partum bei Kühen und Kalbinnen nachhaltig negativ auf die Futteraufnahme der laktierenden Kuh auswirkt. Die Autoren beziffern den negativen Effekt einer präpartalen Überversorgung auf die Futteraufnahme in den ersten acht Laktationswochen bei Kalbinnen mit bis zu 2,8 kg und bei Kühen mit 1,1 kg (Tab. 2). Zudem konnten sie in Übereinstimmung mit anderen Autoren belegen, dass der Zeitpunkt der maximalen Futteraufnahme nach präpartaler Überversorgung sowohl bei Kalbinnen als auch bei Kühen einige Wochen später erreicht wird. GRUMMER et al. (1995) fütterten Kalbinnen ab dem 170. Trächtigkeitstag bis zur Abkalbung entweder bedarfsgerecht oder eine mit Kraftfutter aufgewertete Ration. Die energiereiche Fütterung verminderte die tägliche Futteraufnahme in den ersten 20 Laktationswochen um 1 kg (Tab. 2). SEGERT et al. (1996) kommen aufgrund ihrer Untersuchungen zur Schlussfolgerung, dass die vermehrte Lipolyse zu Laktationsbeginn, ausgelöst durch eine Energieüberversorgung ante partum, auf die Futteraufnahme in der Laktation negativ wirkt (Tab. 2). Im Gegensatz dazu stellten OLSSON et al. (1998) bei Kalbinnen keinen Einfluss der präpartalen Energieversorgung auf die Futteraufnahme zu Laktationsbeginn fest (Tab. 2). Die hohen Kraftfuttermengen ante partum in der überversorgten Tiergruppe bedingten allerdings eine ausgeprägte Grundfutterverdrängung in den ersten beiden Laktationswochen. Im Versuch von RUKKWAMSUK et al. (1999a), in dem die Versuchsgruppe während der letzten Trächtigkeitswochen bereits auf Laktationsniveau versorgt wurde, war ein starker Effekt der Energieversorgung ante partum auf die Futteraufnahme zu Laktationsbeginn nachzuweisen: Die während der Trockenstehzeit bedarfsgerecht versorgte Kontrollgruppe nahm nach der Abkalbung um 3,3 kg TS mehr auf als die überversorgte Versuchsgruppe (Tab. 2). Die Autoren sehen in der geringeren Futteraufnahme der verfetteten Kühe eine große Gefahr von Stoffwechselstörungen. VANDEHAAR et al. (1999) und auch DEWHURST et al. (2000) fanden in ihren Untersuchungen keinen Einfluss der Energieversorgung vor der Abkalbung auf die Futteraufnahme in der darauf folgenden Laktation. Zu gleichen Ergebnissen kamen BALLARD et al. (2001) in einer Feldstudie, in welcher der Einfluss einer energiereichen Vorbereitungs fütterung auf die Futteraufnahme in den ersten drei Laktationswochen geprüft wurde. Trotz deutlicher Variation der präpartalen Energieversorgung konnten KEADY et al. (2001) keine Auswirkungen auf die Futteraufnahme zu Laktationsbeginn feststellen (Tab. 2). Die kurze Versuchsperiode verbunden mit hoher Grundfutterqualität in der Kontrollgruppe könnten möglicherweise den Effekt der unterschiedlichen Kraftfuttermenge ante partum abgeschwächt haben. Wie bereits Autoren zuvor berichten auch HOLCOMB et al. (2001), dass sich die Futteraufnahme in den ersten sechs Laktationswochen weitgehend unbeeinflusst von der Energieversorgung vor dem Abkalben verhält. Dennoch erläutern sie, dass der Anstieg der Futteraufnahme zu Laktationsbeginn bei ante partum verfetteten Kühen geringer ausfällt und sie dadurch ihre maximale Futteraufnahme und ausgeglichene Energiebilanz mit zeitlicher Verzögerung erreichen. DEWHURST et al. (2002) fütterten Erstlingskühen während der zweiten Trächtigkeitshälfte Grassilage und Stroh mit unterschiedlich hoher Kraftfütterergänzung. Zu Laktationsbeginn äußerte sich die restriktive Vorbereitungs fütterung in einer signifikant höheren Grassilageaufnahme (Tab. 2), womit sich die Autoren in Übereinstimmung mit GARNSWORTHY und TOPPS (1982) sehen. DOEPEL et al. (2002) sehen hingegen in einer kraftfutterintensiven Vorbereitungs fütterung eindeutige Vorteile (Tab. 2). Neben einer erhöhten Futteraufnahme post partum weisen sie auf eine verbesserte Energieversorgung im peripartalen Zeitraum hin, wodurch negative Konsequenzen des Energiedefizits weitgehend vermieden werden können.

Tabelle 2: Effekt der Überversorgung ante partum auf die Futteraufnahme post partum
Table 2: Effect of prepartum overfeeding on feed intake post partum

n	Energieversorgung ante partum				Futteraufnahme (IT) post partum				Autor(en)	
	Gruppenbezeichnung	Dauer (Wo)	KF (kg/d bzw. % der IT)	Grundfutter	IT _{GF+KF} (kg/d)	IT _{KF} (kg/d)	KM (kg)	Dauer (Wo)		
Kühe bzw. Kühe und Kalbinnen										
21 21 21	Energie	niedrig mittel hoch	8	0,0 kg 2,7 kg 6,8 kg	MS u. Heu	22,4 ¹⁾ 22,5 ¹⁾ 21,5 ¹⁾	7,9 ¹⁾ 7,4 ¹⁾ 7,9 ¹⁾	656 646 676	4	SCHMIDT u. SCHULTZ (1959)
25 25	bedarfsgerecht überversorgt		3	0,0 ad lib.	Heu	13,2 15,8	6,4 10,2	652 668	7	EMERY et al. (1969) Kühe ²⁾
12 12	bedarfsgerecht überversorgt		8	1,8 kg 6,4-8,2 kg	MS, GS u. Heu	19,2 19,6	k. A.	518 775	9	FRONK et al. (1980) Exp. 2
31 31 31	Heu KF niedrig KF hoch		4	0,0 % 12,0 % 47,0 %	Heu, GS u. MS	11,8 12,6 11,9	k. A.	k. A.	4	JOHNSON u. OTTERBY (1981)
16 16 16	Energie	niedrig mittel hoch	8	k. A.	Heu, Stroh	22,4 ³⁾ 21,2 ³⁾ 20,7 ³⁾	k. A.	k. A.	16	GARNS- WORTHY u. TOPPS (1982)
11 11 11	Bedarfsdeckung (%)	102 131 162	8	0,0 % 0,0 % 48,1 %	Heu u. MS	18,0 18,0 18,0	k. A.	690 707 734	12	BOISCLAIR et al. (1986) Exp. 1
52 52	GF GF und KF		3	0,0 kg 2,0 kg	GS u. MS	14,4 14,6	k. A.	649 656	3	NOCEK et al. (1986)
26 26	Körperkondition zur Abkalbung	dünn fett	12	k. A.	Heu u. Weide	18,3 17,4	k. A.	535 569	16	GARNS- WORTHY u. JONES (1993)
9 10	bedarfsgerecht überversorgt		8	k. A.	MS	17,8 17,7	7,3 7,4	746 785	8	SCHWARZ et al. (1995) Exp. 1 und 2
17 15	bedarfsgerecht überversorgt		8	k. A.	MS	17,6 16,5	6,9 6,3	726 700	8	
16 15	bedarfsgerecht Energie hoch		8	0,0 kg 7,7 kg	GS, MS u. Stroh	23,1 ^α 19,8 ^β	k. A.	663 680	5	RUKKWAM- SUK et al. (1999a)
30 30	bedarfsgerecht überversorgt		4	0,0 kg 5,0 kg	GS	15,2 15,1	5,8 5,9	k. A.	12	KEADY et al. (2001)
21 21	Energie niedrig Energie hoch		19	2,0 kg 7,0 kg	GS u. Stroh	18,0 17,6	11,4 ^{α, 4)} 10,7 ^{β, 4)}	633 651	18	DEWHURST et al. (2002)
13 13	Energie niedrig Energie hoch		3	0,0 % 40,9 %	GS u. Heu	18,0 20,2	k. A.	k. A.	4 - 6	DOEPEL et al. (2002)
28 28	bedarfsgerecht überversorgt		5	0,0 kg 3,0 kg	GS u. Stroh	15,2 15,0	7,0 7,0	588 618	8	RYAN et al. (2003)
30 30	Energie niedrig Energie hoch		4	22,8 % 48,0 %	GS, MS u. Stroh	20,3 20,8	k. A.	682 680	10	RABELO et al. (2003)

Fortsetzung Tabelle 2

		Energieversorgung ante partum			Futteraufnahme (IT) post partum				Autor(en)	
n	Gruppenbezeichnung	Dauer (Wo)	KF (kg/d bzw. % der IT)	Grundfutter	IT _{GF+KF} (kg/d)	IT _{KF} (kg/d)	KM (kg)	Dauer (Wo)		
8 8 8	Energie niedrig mittel hoch	8	k. A.	GS u. Heu	LW 1-4	17,5 15,9 17,1	k. A.	608 584 601	12	AGENÄS et al. (2003) ⁵⁾
LW 5-8					24,3 21,5 21,2					
LW 9-12					25,4 24,1 21,8					
6 6 6	Stroh und GS GS GS und KF	4	0 kg 0 kg 3 kg	GS u. Stroh	13,5 ^α 13,8 ^{αβ} 14,2 ^β	4,9 5,1 5,1	607 626 603	8	McNAMARA et al. (2003)	
Kalbinnen										
50 50	Energie niedrig Energie hoch	10	k. A.	MS u. Stroh	120 ^{a, 6)} 147 ^{b, 6)}	k. A.	469 474	6-18	DUCKER et al. (1985)	
8 6	bedarfsgerecht übersorgt	8	k. A.	MS ad lib. bzw. restriktiv	15,2 ^α 12,3 ^β	4,1 2,8	632 639	8	SCHWARZ et al. (1995)	
38 38	bedarfsgerecht übersorgt	24	0,0 % 40,0 %	GS	19,6 ⁷⁾ 18,6 ⁷⁾	k. A.	664 694	20	GRUMMER et al. (1995)	
7 8	Mobilisation ⁸⁾ Ansatz ⁸⁾	k. A.	k. A.	Weide, GS u. MS	14,4 ^α 15,5 ^β	k. A.	k. A.	12	SEGERT et al. (1996)	
34 31	Energie niedrig Energie hoch	3	2,7 kg 6,2 kg	Heu u. GS	16,4 16,5	8,7 8,6	542 535	12	OLSSON et al. (1998)	

α, β: p < 0,05; a, b: p < 0,01

k. A.: keine Angaben, KF: Kraftfutter; GS: Grassilage; MS: Maissilage;

LW: Laktationswoche, Exp.: Experiment

¹⁾ Angaben in kg Frischmasse

²⁾ Durchschnitt der Futteraufnahme vor und nach der Abkalbung, keine Angabe zum Signifikanzniveau

³⁾ maximale Futteraufnahme ⁴⁾IT-Grassilage ⁵⁾Effekt der Energieversorgung ante partum: p = 0,12

⁶⁾ Energieaufnahme (MJ ME) pro Tag ⁷⁾ p < 0,06

⁸⁾ Mobilisation: Verringerung der Rückenfettdicke zu Laktationsbeginn um 3,8 mm

Ansatz: Erhöhung der Rückenfettdicke zu Laktationsbeginn um 3,4 mm

MOORBY et al. (2002) setzten fünf Wochen vor dem Abkalben Rationen mit schwer (Stroh) bzw. leicht löslichen Kohlenhydratfraktionen (Grassilage, Kraftfutter) ein, um den Effekt der Energieversorgung ante partum auf die Futteraufnahme am Beginn der Laktation zu untersuchen. Aufgrund der Hypothese, dass eine strukturreiche Versorgung vor dem Abkalben die Futteraufnahme der laktierenden Kuh stimulieren soll („rumen-stretching“), erwarteten sie positive Effekte der Strohbeimengung. Dies war jedoch nicht der Fall und die Autoren führen dies auf das außergewöhnlich niedrige Niveau der Futteraufnahme in den ersten acht Laktationswochen zurück. Die im Versuch verwendete, sehr feuchte Grassilage wies hohe Werte an Ammoniak und Essigsäure auf, so dass die mangelhafte Grundfutterqualität hohen Verzehrsmengen post partum entgegenwirkte. Aus den Untersuchungen von RYAN et al.

(2003) und RABELO et al. (2003) lässt sich kein Einfluss der Energieversorgung vor der Abkalbung auf die Futteraufnahme zu Laktationsbeginn erkennen (Tab. 2). AGENÄS et al. (2003) legten während der Trockenperiode unterschiedliche Mengen einer Mischration vor, um so Energieaufnahmen von 71 / 106 und 177 MJ ME in den Gruppen niedrig, mittel und hoch zu erreichen (Tab. 2). Die restriktiv versorgte Gruppe nahm in der Laktation mehr Futter auf, besonders von der 5. bis zur 12. Laktationswoche. McNAMARA et al. (2003) führen die höhere Futteraufnahme der präpartal intensiver versorgten Kühe zu Laktationsbeginn auf die verbesserte Anpassung des Pansens an die Laktationsration zurück. Die Autoren vermuten, dass die Kraftfutterfütterung vor der Abkalbung die Zusammensetzung der Mikrobenpopulation im Pansen verändert und die Absorptionsoberfläche für die Fermentationsprodukte vergrößert haben könnte (Tab. 2).

Resümee: Eine Unterversorgung während der Trächtigkeit resultiert in höheren Futteraufnahmen zu Laktationsbeginn. Dies gilt besonders, wenn die Futteraufnahme auf die Körpermasse bezogen wird, da präpartal unversorgte Kühe eine geringere Körpermasse aufweisen. Die Energieübersversorgung vor der Abkalbung vermindert die Futteraufnahme zu Laktationsbeginn um bis zu 3 kg TS pro Tag. Während die Futteraufnahme von ante partum bedarfsgerecht gefütterten Kühen unmittelbar nach der Abkalbung zu steigen beginnt, stagniert jene von präpartal übersorgten Kühen. Durch den geringeren Anstieg der Futteraufnahme erreichen diese Kühe ihre maximale Futteraufnahme später. Im peripartalen Zeitraum kommt der biochemischen Regulation der Futteraufnahme eine größere Bedeutung zu als der physikalischen. Dabei werden mit der präpartalen Energieversorgung in Zusammenhang stehende Hormone und postpartal entstehende Stoffwechselmetabolite wirksam. Dennoch weisen einige Autoren darauf hin, dass mäßige Kraftfuttergaben vor der Abkalbung positiv auf die Futteraufnahme zu Laktationsbeginn wirken können. Nach DIRKSEN et al. (1992) fördert ein hoher Kraftfutteranteil in der Ration sowohl die Adaptation der Pansenschleimhaut (Zotten) als auch der Pansenflora (selbst bei insgesamt „normaler“ Energieversorgung).

3 ENERGIEVERSORGUNG VOR DEM ABKALBEN UND PERIPARTALE KÖRPERMASSEVERÄNDERUNG

Der Veränderung der Körpermasse in der Trockenstehperiode und der zur Abkalbung erreichten Körpermasse wird in der Literatur ein großer Einfluss auf die Milchleistung, aber auch auf die Gesundheit und die Fruchtbarkeit beigemessen (INGVARTSEN und ANDERSEN 2000). Zu Laktationsbeginn können – in Abhängigkeit von der präpartalen Energieversorgung und der Milchleistung – bis zu 90 kg Körperfett und mehr als 20 kg Protein abgebaut werden. Nach TAMMINGA et al. (1997) variiert die postpartal mobilisierte Körpermasse bei Milchkühen ganz erheblich, und zwar sowohl quantitativ als auch qualitativ (d.h. im Energiegehalt der mobilisierten Masse). Im weiteren Verlauf der Laktation werden diese Verluste wieder kompensiert (CHILLIARD und ROBELIN 1983, CHILLIARD 1989, BELL 1995, McNAMARA 1997, KOMARAGIRI et al. 1998, CHILLIARD 1999). BOTTS et al. (1979) führen an, dass rund 25 % des gesamten Körperproteins einer laktierenden Kuh in Form der sogenannten „labile protein reserve“ (mobilisierbare Proteinreserve) vorliegen.

Um eine übermäßige Reservenbildung ante partum zu vermeiden, wird eine Energieversorgung während der Hochträchtigkeit nur in dem Ausmaß angestrebt, wie es das Wachstum von Kalbinnen, die Entwicklung des Fötus und Eutergewebes sowie der maternale Erhaltungsbedarf erfordern (VAN SAUN und SNIFFEN 1996).

3.1 Unterversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körpermasse

Zweifelsohne stellt die Energieunterversorgung vor der Abkalbung – die letzten Tage vor der Abkalbung ausgenommen – in unseren Breiten nur unter spezifischen Managementbedingungen ein Problem dar. In Australien und Neuseeland wird die Synchronisation des Vegetations- und Laktationsbeginns angestrebt, um den Zeitpunkt höchster Nährstofflieferung aus dem Grundfutter und maximalen Nährstoffbedarfs der Milchkühe aufeinander abzustimmen. Dabei wird außer Acht gelassen, dass die Kuh in der Hochträchtigkeit Rationen mit hoher Nährstoffkonzentration benötigt, bedingt durch die eingeschränkte Futteraufnahme bei steigendem Energie- und Proteinbedarf (QUIGLEY und DREWRY 1998, GfE 2001, NRC 2001). In der Regel tritt die Unterernährung unter australischen Bedingungen im Zeitraum von zwei bis drei Monaten vor dem Abkalben auf. Erste Versuche zu diesem Problem führte FLUX (1950) durch, indem er Jersey Kalbinnen (270 kg KM) zehn Wochen vor dem Abkalben unter- bzw. bedarfsgerecht versorgte (Tab. 3). Während der Laktation wurden alle Jungkühe auf gleichem Niveau gefüttert. Während die normversorgte Kontrollgruppe in der Trächtigkeit erwartungsgemäß Körperreserven bildete, bewirkte das restriktive Nährstoffangebot einen gering ausgeprägten Abbau von Körpermasse vor der Abkalbung. Berücksichtigt man jedoch, dass sich die Masse von Fötus und Uterus im letzten Trächtigkeitsdrittel verdoppelt (BELL et al. 1995) und auch das Eutergewebe durch Vergrößerung auf die kommende Laktation vorbereitet wird, kann der Verlust an maternalen Körperreserven mit rund 30 kg beziffert werden. Zu Laktationsbeginn setzte sich die Mobilisation in beiden Gruppen fort, dennoch war sie in der ante partum bedarfsgerecht versorgten Kontrollgruppe ausgeprägter. Die höhere Milchleistung der Kontrollgruppe (Tab. 7) erklärt, dass am 270. Laktationstag kein Unterschied in der Körpermasse zwischen den Gruppen mehr festgestellt werden konnte. DAVENPORT und RAKES (1969) variierten die präpartale Energieversorgung und erreichten damit signifikant unterschiedliche Körpermassen zum Zeitpunkt der Abkalbung (Tab. 3). Mit einsetzender Laktation setzte sich der Trend der Körpermasseveränderung in entgegengesetzter Richtung fort. Präpartal unterversorgte Kühe bauten – verglichen mit bedarfsgerechter Fütterung und Überversorgung – am wenigsten Körpermasse ab. Als Konsequenz der verminderten Mobilisation erreichten sie nach 16 Laktationswochen ihre Körpermasse zum Zeitpunkt der Abkalbung. Im Gegensatz dazu mobilisierten die präpartal überversorgten Kühe ihre Körperreserven über einen bedeutend längeren Zeitraum. In welchem Umfang Körpermasse zu Laktationsbeginn mobilisiert wird, hängt nach den o.g. Autoren maßgeblich von der Futteraufnahme post partum und von der Menge an mobilisierbarem Gewebe (Fett und Protein) ab. Die Korrelation zwischen Futteraufnahme und der Körpermasseveränderung post partum quantifizieren DAVENPORT und RAKES (1969) mit 0,50. Die in der Hochträchtigkeit im Fettgewebe gespeicherten Nährstoffe werden zu Laktationsbeginn über die β -Oxidation der Energiebereitstellung zugeführt. Ante partum unterversorgte Kühe bilden während der Trächtigkeit kaum Reserven, so dass ihr Mobilisationspotenzial mit einsetzender Laktation überaus gering und der Abbau an Körpermasse deshalb nur mäßig ist. Auch LODGE et al. (1975) sowie TREACHER et al. (1986) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass ante partum restriktiv versorgte Kühe mit einsetzender Laktation weniger Körperreserven mobilisieren als

überversorgte (Tab. 3). Auch ROBERTS et al. (1978) stellten fest, dass eine präpartale Unterversorgung zur frühzeitigen Mobilisation von Körpermasse führt, um den Fötus ausreichend mit Energie (und Nährstoffen) zu versorgen. Die unterschiedliche Energieversorgung ante partum wirkte sich in keiner Weise auf die Körpermasse der Kälber bei ihrer Geburt aus.

Tabelle 3: Effekt der Unterversorgung ante partum auf die peripartale Körpermasseveränderung

Table 3: Effect of prepartum undernutrition on periparturient liveweight change

		Energieversorgung a. p.			Körpermasseveränderung (kg) peripartal				Autor(en)
n	Gruppenbezeichnung	KF (kg/d)	Grundfutter	Dauer a. p. (Wo)	ante partum	KM bei d. Abkalbung	post partum	Dauer p. p. (Wo)	
6 6	unterversorgt bedarfsgerecht	k. A.	Heu, GS u. Weide	10	-5,5 ¹⁾ +35,9 ¹⁾	k. A.	-2,8 ¹⁾ -6,4 ¹⁾	8	FLUX (1950)
13 14 16	Energie niedrig mittel hoch	0,0 2,3 12,0	Heu u. Weide	8	k. A.	555 ^α 591 ^{αβ} 621 ^β	+52,6 ^α +6,8 ^β -34,2 ^γ	12	DAVENPORT u. RAKES (1969)
9 9	unterversorgt bedarfsgerecht	k. A.	Heu	6	-45 ^a -12 ^b	k. A.	+1 ^A -62 ^B	16	LODGE et al. (1975)
9 9	unterversorgt überversorgt	k. A.	Heu	32	k. A.	590 ^α 635 ^β	-27 ^a -48 ^b	8	TREACHER et al. (1986)
15 15	unterversorgt bedarfsgerecht	0,0 2,7	MS u. GS	12	k. A.	599 ^α 651 ^β	-37,0 -65,0	14	HOLTER et al. (1990)
51	Körperkondition zur Abkalbung mager fett	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	0,0 -45,5	8	CHILLIARD (1992) ²⁾

α,β,γ: p < 0,05; a,b,c: p < 0,01; A,B: p < 0,001

k. A.: keine Angaben KF: Kraftfutter; GS: Grassilage; MS: Maissilage

¹⁾ keine Angabe zum Signifikanzniveau ²⁾ keine Angabe zum Signifikanzniveau und zur Gruppengröße

Zahlreiche Untersuchungen untermauern die Feststellung, dass die Energieversorgung vor dem Abkalben keinen Einfluss auf die Körpermasse des Kalbes hat (SCHMIDT und SCHULTZ 1959, LODGE et al. 1975, NOCEK et al. 1986, KEADY et al. 2001, DEWHURST et al. 2002, FISCHER et al. 2002). Die Versuche von HOLTER et al. (1990) bestätigen die oben angeführten Ergebnisse, dass in der Hochträchtigkeit unterversorgte Kühe ihre Körperreserven in der darauf folgenden Laktation in geringerem Ausmaß mobilisieren. Trotz ihres nur geringen Körpermasseverlustes zu Laktationsbeginn erreichten die ante partum unterversorgten Kühe auch am Laktationsende nicht die Körpermasse, die bei Laktationsbeginn gegeben war. Die Autoren führen als Grund an, dass die Energiebereitstellung für die Milchsekretion eine höhere Bedeutung hat als die Bildung von Körperreserven (vgl. HAMMOND 1944, DEWHURST et al. 2000) Den engen, positiven Zusammenhang zwischen Energieversorgung in der Hochträchtigkeit und Mobilisierung von Körpermasse in der darauf folgenden Laktation bestätigen auch die Ergebnisse von CHILLIARD (1992; Tab. 3).

3.2 Überversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körpermasse

Gegen Ende der Laktation nimmt der Energie- und Nährstoffbedarf bis zum Trockenstellen infolge sinkender Milchleistung kontinuierlich ab (GfE 2001, NRC 2001). Die physikalischen und physiologischen Regulationsmechanismen der Futteraufnahme können kurzzeitig die bedarfsüberschreitende Energieaufnahme nicht verhindern, so dass verstärkt Fett angesetzt wird (DAVENPORT und RAKES 1969, FRONK et al. 1980, BOISCLAIR et al. 1986). In der Vergangenheit vertraten zahlreiche Wissenschaftler die Meinung, dass die ausgeprägte Reservenbildung vor dem Abkalben die Bildung von Eutergewebe (Drüsenparenchym) fördere und die gebildeten Fettdepots als zusätzliche Energiequelle für die Milchbildung herangezogen werden könnten. Dieses Vorgehen wurde als „steaming up“ bezeichnet, wobei den Kühen vor dem Abkalben bereits 75 % der in der kommenden Laktation angestrebten Kraftfuttermenge verabreicht wurde (GREENHALGH und GARDNER 1958). Die Autoren untersuchten die Auswirkungen erhöhter Energieversorgung vor der Abkalbung auf die KM-Veränderung bei Kühen und Kalbinnen im peripartalen Zeitraum. In der Laktation erfolgte die Kraftfütterzuteilung leistungsgerecht. Erwartungsgemäß führte die vermehrte Energieaufnahme vor der Abkalbung zu umfangreicher Reservebildung und entsprechendem KM-Zuwachs (Tab. 4). Zu Laktationsbeginn mobilisierten die in der Trockenstehzeit überversorgten Tiere deutlich mehr Körpermasse als die bedarfsgerecht gefütterten, und zwar Kühe mehr als Kalbinnen.

SCHMIDT und SCHULTZ (1959) fütterten Kühe zwei Monate lang vor der Abkalbung auf drei verschiedenen Energieniveaus. Auch sie bestätigten den engen, positiven Zusammenhang zwischen präpartaler Energieversorgung und Körpermassezunahme bis zur Abkalbung. In den ersten 12 Wochen der Laktation verloren alle Kühe an Körpermasse, die ante partum überversorgten Kühe signifikant mehr (Tab. 4). SWANSON (1960) untersuchte den Einfluss der Energieversorgung während der zweiten Trächtigkeitshälfte auf die peripartale KM-Veränderung bei Kalbinnen in einem sechsjährigen Versuch. Auch diese Untersuchung ergab, dass die Energieversorgung und damit die Reservebildung vor der Abkalbung in positivem Zusammenhang zum Abbau dieser Körperreserven post partum steht. Der gleiche Trend hinsichtlich peripartaler KM-Entwicklung zeigt sich in der Untersuchung von SWANSON und HINTON (1962; Tab. 4). EMERY et al. (1969) kommen hingegen zu anderen Ergebnissen und Schlussfolgerungen als die bisher angeführten Autoren. Die erhöhte Energieversorgung ante partum äußerte sich wie erwartet in vermehrter Bildung von Körperreserven. Allerdings mobilisierten die in der Trockenstehzeit überversorgten Kühe während der Laktation nicht stärker als die bedarfsgerecht versorgten (Tab. 4). Die Kraftfutterfütterung ante partum hat aus ihrer Sicht weder Vor- noch Nachteile. Nach ROGERS et al. (1979) erreichen zur Geburt überkonditionierte Kühe ihr Ausgangsgewicht (Beginn der Trockenstehzeit) später als optimal konditionierte. In den ersten 100 Laktationstagen betragen die täglichen Zunahmen ante partum verfetteter Kühen 0,28 kg, ante partum bedarfsgerecht versorgter Tiere 0,43 kg. Die Höhe der Zunahmen gibt dabei Aufschluss über Ausmaß und Dauer der negativen Energiebilanz. FRONK et al. (1980) bestätigen in ihrem Versuch, dass die Körpermasseveränderung vor der Abkalbung positiv mit der Energieversorgung in dieser Phase korreliert ist (Tab. 4). Nach GARNSWORTHY und TOPPS (1982) verlieren präpartal verfettete Kühe in der Laktation mehr und länger Körpermasse als zur Abkalbung mäßig konditionierte.

Tabelle 4: Effekt der Überversorgung ante partum auf die peripartale Körpermasseveränderung

Table 4: Effect of prepartum overfeeding on periparturient liveweight change

n	Energieversorgung ante partum			Körpermasseveränderung (kg) peripartal					Autor(en)	
	Gruppenbezeichnung	KF (kg/d, % d. IT)	Grundfutter	Dauer a. p. (Wo)	ante partum	KM bei Abkalbung	post partum	Dauer p. p. (Wo)		
Kühe bzw. Kühe und Kalbinnen										
9 9	bedarfsgerecht überversorgt	0,0 kg ≤ 5,5 kg	MS u. Heu	6	+19,5 ^α +30,8 ^β	k. A.	-11,0 -20,0	12	GREENHALGH u. GARDNER (1958) Kühe	
21 21 21	Energie niedrig mittel hoch	0,0 kg 2,7 kg 6,8 kg	MS u. Heu	8	+18,6 ^α +27,3 ^α +44,5 ^β	680,0 678,2 741,8	-23,6 ^α -32,7 ^α -65,5 ^β	12	SCHMIDT u. SCHULTZ (1959)	
40 40	bedarfsgerecht überversorgt	0,0 kg 3,5 kg	Weide, MS u. GS	6	+10,5 ^α +23,2 ^β	k. A.	-9,1 ^α -15,5 ^β	6	SWANSON u. HINTON (1962) Experiment 1	
25 25	bedarfsgerecht überversorgt	0,0 kg ad lib.	Heu	3	+1,0 +11,0	675 695	-23 -27	6	EMERY et al. (1969)	
10 10	bedarfsgerecht überversorgt	0,0 kg 6,8 kg	Heu, MS	8	+38,5 ^α +77,1 ^β	517,5 775,1	k. A.	9	FRONK et al. (1980) Exp. 1	
11 11 11	Bedarfsdeckung (%)	102 131 162	0,0 % 0,0 % 48,1 %	Heu u. MS	8	+48,2 ^α +64,6 ^β +91,5 ^γ	690,3 ^α 707,0 ^β 733,9 ^γ	k. A.	12	BOISCLAIR et al. (1986) Exp. 1
12 12	Körperkondition zur Abkalbung	dünn fett	k. A.	Heu u. Weide	12 - 18	k. A.	570 ^α 605 ^β	-19,2 -40,8	11	GARNS-WORTHY u. HUGGET (1992)
26 26	Körperkondition zur Abkalbung	dünn fett	k. A.	Heu u. Weide	12	k. A.	523 ^A 602 ^B	+11,6 ^α -32,7 ^β	16	GARNS-WORTHY u. JONES (1993)
9 10	bedarfsgerecht überversorgt	k. A.	MS	8	+17 +70	759 ^α 822 ^β	-13 -37	8	KIRCH-GESSNER et al. (1995), SCHWARZ et al. (1995) Exp.1 und 2	
17 15	bedarfsgerecht überversorgt	k. A.	MS	8	+30 +61	745 759	-19 -59	8		
16 15	bedarfsgerecht überversorgt	0,0 kg 7,7 kg	GS, MS u. Stroh	8	+18 ^A +80 ^B	k. A.	+8,3 ^A -36,7 ^B	5	RUKKWAM-SUK et al. (1999a)	
40 40	Energie niedrig Energie hoch	38 % ³⁾ 55 %	GS u. MS	3	0,96 ^{a, 4)} 1,74 ^{b, 4)}	k. A.	-13 -22	10	VANDEHAAR et al. (1999)	
14 12 14	Energie niedrig mittel hoch	0,0 kg 0,0 kg 0,5 kg	GS u. Stroh	5	-3,6 ^a +10,4 ^b +21,2 ^c	641 ⁵⁾ 669 ⁵⁾ 682 ⁵⁾	+21 +11 -2	12	DEWHURST et al. (2000)	
21 21	Energie niedrig Energie hoch	2 kg 7 kg	GS u. Stroh	8	+17 +17	k. A.	+45,5 +25,5	18	DEWHURST et al. (2002)	

Fortsetzung Tabelle 4

n	Energieversorgung ante partum			Körpermasseveränderung (kg) peripartal					Autor(en)
	Gruppen- bezeichnung	KF (kg/d bzw. % d. IT)	Grund- futter	Dauer a. p. (Wo)	ante partum	KM bei Ab- kalbung	post partum	Dauer p. p. (Wo)	
14 14	GS und Stroh GS	k. A.	GS u. Stroh	5	+0,8 ^α +12,8 ^β	k. A.	+20 -9	9	MOORBY et al. (2002)
28 28	bedarfsgerecht übersorgt	0,0 kg 3,0 kg	GS u. Stroh	9	+0,05 ⁴⁾ +0,44 ⁴⁾	608 642	-0,36 ⁴⁾ -0,43 ⁴⁾	8	RYAN et al. (2003)
30 30	Energie niedrig Energie hoch	22,8 % 48,0 %	GS, MS Stroh	4	+38,5 +46,1	718 718	-36,5 -38,0	10	RABELO et al. (2003)
6 6 6	Stroh und GS GS GS und KF	0 kg 0 kg 3 kg	GS u. Stroh	4	+6,2 +2,8 +15,1	597 ^α 620 ^{αβ} 635 ^β	+10,1 +5,6 -32,5	8	McNAMARA et al. (2003)
Kalbinnen									
9 9	bedarfsgerecht übersorgt	0,0 kg 4,1 kg	MS u. Heu	6	+19,4 ^a +36,5 ^b	k. A.	+0,9 -7,8	12	GREENHALGH u. GARDNER (1958) Kalbinnen
7 7	bedarfsgerecht übersorgt	0,0 kg ad lib.	Heu, GS Weide	75 ¹⁾	+123 ²⁾ +203 ²⁾	330,5 438,2	+144 -8,2	36	SWANSON (1960)
49 49	bedarfsgerecht übersorgt	0,0 kg ad lib.	Heu	3	+1 +8	528 555	+8 -2	6	EMERY et al. (1969)
8 6	bedarfsgerecht übersorgt	k. A.	MS	8	+71 +56	646 ^α 676 ^β	-14 -37	8	KIRCH- GESSNER et al. (1995) ⁶⁾ , Exp. 3
34 31	Energie niedrig Energie hoch	2,7 kg 6,2 kg	Heu u. GS	3	k. A.	526 531	+16 ^α +4 ^β	12	OLSSON et al. (1998)

α,β,γ: p < 0,05; a,b,c: p < 0,01; A,B: p < 0,001

k. A.: keine Angaben KF: Kraftfutter; GS: Grassilage; MS: Maissilage; Exp.: Experiment

¹⁾ zweite Aufzuchthälfte

²⁾ Zuwachs vom 11. bis 24. Monat

³⁾ 30 % Baumwollsamenschalen in der Ration

⁴⁾ Körpermasseveränderung pro Tag

⁵⁾ p < 0,10

⁶⁾ vgl. auch SCHWARZ et al. (1995), Exp. 3

KUNZ et al. (1985) dokumentieren in Übereinstimmung mit bereits genannten Untersuchungen den positiven Zusammenhang zwischen Energieversorgung ante partum und KM-Abnahme nach der Abkalbung. Ihren Ergebnissen zufolge ist die Milchleistung und damit der Nährstoffbedarf von Kühen, die in der Trockenstehzeit unterversorgt waren, geringer. Folglich müssen sie in geringerem Ausmaß Körperreserven mobilisieren, um ihre Energiebilanz auszugleichen. In den Versuchen von BOISCLAIR et al. (1986) wurden Kühe in der Trockenstehzeit im Vergleich zu einer normversorgten Kontrollgruppe zu 30 bzw. 60 % energetisch übersorgt. Dies führte zu signifikant höheren Zunahmen in der Trockenstehphase und höheren Körpermassen zum Zeitpunkt der Abkalbung (Tab. 4). Die KM-Veränderung nach der Abkalbung hat nach diesen Autoren schwer zu interpretieren, da gleichzeitig mit der Einschmelzung des Depotfettes im Gewebe Wasser eingelagert wird.

Außerdem ändert sich die Füllung des Verdauungstraktes zu Laktationsbeginn in Folge der zunehmenden Futteraufnahme stark (BOISCLAIR et al. 1986, KEADY et al. 2001). Auch GARNSWORTHY und HUGGET (1992) sowie GARNSWORTHY und JONES (1993) variierten die Energieversorgung in der Trockenstehzeit und erzielten dadurch Kühe mit sehr unterschiedlicher Körperkondition und -masse. Nach der Abkalbung nahmen die fetten Kühe in stärkerem Umfang ab als die mageren (Tab. 4).

KIRCHGESSNER et al. (1995) fütterten in drei Experimenten Kühe und Kalbinnen acht Wochen vor dem Abkalben vorwiegend mit Maissilage, die entweder restriktiv oder ad libitum angeboten wurde. Die übertsorgten Kühe reagierten im Vergleich zu den übertsorgten Kalbinnen mit höheren Zunahmen (Tab. 4). In den ersten acht Wochen der darauffolgenden Laktation bauten die in der Trockenstehzeit übertsorgten Tiere tendenziell (jedoch nicht signifikant) mehr Körpermasse ab. In einem Versuch mit Kalbinnen stellten OLSSON et al. (1998) keinen Einfluss der präpartalen Energieversorgung auf die Körpermasse zum Zeitpunkt der Abkalbung fest. Allerdings zeigten die vor der Abkalbung restriktiv versorgten Tiere in den ersten drei Laktationsmonaten einen signifikant höheren Zuwachs an Körpermasse als übertsorgte (Tab. 4). Die Autoren vertreten die Meinung, dass die Versorgung von Kalbinnen vor ihrer ersten Abkalbung intensiv genug sein sollte, um ihre Entwicklung nicht negativ zu beeinflussen. Gleichzeitig muss aber die Verfettung der Tiere verhindert werden. RUKKWAMSUK et al. (1999a) belegten, dass eine präpartale Übertsorgung zu ausgeprägter Retention vor der Abkalbung und massiver Mobilisation von Körperreserven nach der Abkalbung führt (Tab. 4). VANDEHAAR et al. (1999) sowie DEWHURST et al. (2000) bestätigen den positiven Zusammenhang zwischen Energieversorgung und Körpermassezunahme vor der Abkalbung. Im Trend, statistisch allerdings nicht signifikant, nahmen die übertsorgten Tiere zu Laktationsbeginn in größerem Umfang an Körpermasse ab als bedarfsgerecht versorgte (Tab. 4). KEADY et al. (2001) weisen ebenso auf den positiven Zusammenhang zwischen präpartaler Energieversorgung und Bildung von Körperreserven hin, messen jedoch der Körpermasseveränderung in den ersten Laktationswochen – als Gradmesser der stattfindenden Mobilisierung – keine Bedeutung zu. Dafür sei die Beurteilung der Körperkondition (BCS) die geeignetere Methode. Auch HOLCOMB et al. (2001) bestätigen den positiven Zusammenhang zwischen präpartaler Energieversorgung und Körpermassezunahme. Darüber hinaus quantifizieren sie den Zeitraum der Mobilisation mit lediglich 20 Tagen. Demgegenüber sind aus den Untersuchungen von DEWHURST et al. (2002) sowie RABELO et al. (2003) keine gesicherten Effekte der präpartalen Energieversorgung auf die peripartale Körpermasseveränderung zu erkennen (Tab. 4). MOORBY et al. (2002) sowie RYAN et al. (2003) bestätigen in Übereinstimmung mit einer Vielzahl von Untersuchungen hohe Zunahmen bei intensiver Versorgung während der Hochträchtigkeit und tendenziell stärkere KM-Verluste post partum der in der Trockenstehzeit intensiv gefütterten Tiere (Tab. 4). McNAMARA et al. (2003) schließen aus ihrer Untersuchung, dass aufgrund der exponentiell verlaufenden Fötusentwicklung gegen Ende der Trächtigkeit eine Körpermassezunahme vor der Abkalbung von etwa 0,6 kg pro Tag anzustreben sei und dass eine stärkere Retention ante partum die Mobilisation von Körperreserven zu Laktationsbeginn fördere (Tab. 4).

Resümee: Um die Entwicklung des Fötus und den Aufbau des Eutergewebes während der letzten Wochen der Trächtigkeit sicherzustellen, mobilisieren unterversorgte Kühe Energie (und Nährstoffe) aus ihrem Körper. Dadurch stehen solchen Kühen zu Beginn der neuen

Laktation mobilisierbare Körperreserven nicht oder nur in geringem Ausmaß zur Verfügung. Daher ist bei Kühen mit restriktiver Versorgung in der Hochträchtigkeit immer eine geringere Mobilisation zu Beginn der Laktation festzustellen. Eine Überversorgung vor der Abkalbung führt zu starker Bildung von Körperreserven – die Körpermasse des Kalbes steigt allenfalls tendenziell. Zu Laktationsbeginn werden aufgrund der reduzierten Futteraufnahme bei gleichzeitig hoher Milcheinsatzleistung große Mengen an Körperreserven abgebaut. Die Mobilisation von Fett bei intensiv gefütterten Tieren ist umfangreicher und dauert länger als bei Kühen, die präpartal bedarfsgerecht versorgt wurden. Somit hängt das Ausmaß des Abbaues an Körpermasse zu Laktationsbeginn von der Menge an mobilisierbarem Gewebe (Fett und Protein) und der Energieaufnahme post partum ab. Es besteht also ein gesicherter, positiver Zusammenhang zwischen der Energieversorgung in der Hochträchtigkeit und dem Grad der Mobilisierung körpereigener Reserven in der Laktation.

4 ENERGIEVERSORGUNG VOR DEM ABKALBEN UND VERÄNDERUNG DER KÖRPERKONDITION IM GEBURTSNAHEN ZEITRAUM

Die Bildung von Körperreserven zu Laktationsende und in der Trockenstehzeit ist aus zwei Blickwinkeln zu betrachten. Einerseits dient die Mobilisation dieser Reserven zu Laktationsbeginn als zusätzliche Energiequelle und somit zur Entschärfung des Energie-defizits als Folge unzureichender Futteraufnahme in dieser kritischen Phase. Andererseits sind negative Auswirkungen starker Körpermassезunahmen ante partum auf Gesundheit und Stoffwechselsituation der Milchkuh seit langem bekannt (EMERY et al. 1969, FRONK et al. 1980, GARNSWORTHY und TOPPS 1982). Wie im vorigen Abschnitt ausgeführt, eignet sich die Veränderung der Körpermasse im peripartalen Zeitraum allerdings nur bedingt, um genaue Aussagen über die Retention vor und die Mobilisation von Körpermasse nach der Abkalbung machen zu können (BOISCLAIR et al. 1986, KEADY et al. 2001). Neben dem Einfluss unterschiedlicher Füllung des Verdauungstraktes und der Einlagerung von Wasser in Folge der Fetteinschmelzung wird die tatsächliche Veränderung der Körpermasse des Muttertieres außerdem durch die Entwicklung von Fötus und Euter überlagert. Um die tatsächliche und eigentliche Veränderung der Körpermasse festzustellen, sind diese Faktoren daher zu berücksichtigen (DAVENPORT und RAKES 1969, FRONK et al. 1980, BOISCLAIR et al. 1986, MARTIN und SAUVANT 2002). Ein subjektives, kostengünstiges und rasch durchführbares Instrument zur Ermittlung der Depotfettauflage stellt der Body Condition Score (BCS) dar (GARNSWORTHY und TOPPS 1982, CHILLIARD 1989, WALTNER et al. 1993, GILLUND et al. 2001). Die visuelle und taktile Bewertung der subkutanen Fettauflage erfolgt nach EDMONSON et al. (1989) an caudalen und dorsalen Körperregionen, anhand einer Skala von 1 (abgemagert) bis 5 (hochgradig verfettet). REMOND et al. (1988; zitiert nach CHILLIARD 1992) beschreiben, dass die positive Veränderung des BCS um eine Note der Zunahme von 35 kg Körpermasse – bei einem Fettanteil von 28 kg – entspricht. KOMARAGIRI et al. (1998) quantifizieren diesen Effekt hingegen mit 55 kg Körperfett. Die Arbeiten von FOX et al. (1999) zeigen, dass die Energielieferung bei der Abnahme von einer Stufe in der BCS-Skala sowohl von der Körpermasse als auch von der Körperkondition (d. h. Verfettungsgrad) abhängt. Verringert z. B. eine Kuh mit 450 kg bzw. 700 kg KM ihren BCS von 3,0 auf 2,5 Punkte, wird dabei eine Energiemenge freigesetzt, die 770 bzw. 1201 MJ NEL entspricht. Andererseits werden bei einer Kuh mit 650 kg KM durch die Verringerung des BCS von 2,0 auf 1,5 bzw. von 4,5 auf 4,0 eine Energiemenge mobilisiert, die 912 bzw. 1418 MJ NEL entspricht. CHILLIARD et al.

(1998) halten fest, dass bei Unterernährung bis zu 80 % der Fett- und 15 – 20 % der Proteinreserven mobilisiert werden können. GARNSWORTHY und TOPPS (1982) geben die Korrelation zwischen BCS und der Fettauflage im Bereich der 10. – 13. Rippe mit 0,76 an. REID et al. (1986) allerdings stufen den BCS zur Ermittlung der Verfettung als ungenau ein. Auch GARNSWORTHY und TOPPS (1982) schlagen vor, die Rückenfettdicke mittels moderner Techniken wie der Ultraschallmethode zu quantifizieren.

4.1 Unterversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körperkondition

In Tabelle 5 sind einige Arbeiten angeführt, in denen der Einfluss einer energetischen Unterversorgung in der Vorbereitungsfütterung auf den BCS und dessen Veränderung in der darauffolgenden Laktation untersucht wurden. In allen Publikationen spiegelt sich der positive Zusammenhang zwischen Energieversorgung und BCS zum Zeitpunkt der Abkalbung wider (TREACHER et al. 1986, JONES und GARNSWORTHY 1989, HOLTER et al. 1990, CHILLIARD 1992, VANDEHAAR et al. 1999). In vielen Fällen sind die Unterschiede im BCS statistisch signifikant. Ähnlich der Entwicklung der Körpermasse zeigt sich, dass auch der BCS bei jenen Kühen nach der Abkalbung in geringerem Maße abnimmt, die in der Trockenstehphase unterversorgt waren (Tab. 5).

Tabelle 5: Effekt der Unterversorgung ante partum auf die peripartale Körperkonditionsänderung

Table 5: Effect of prepartum undernutrition on periparturient change of body condition

n	Energieversorgung ante partum			Körperkonditionsveränderung peripartal					Autor(en)
	Gruppenbezeichnung	KF (kg/d, % d. IT)	Grundfutter	Dauer a. p. (Wo)	ante partum	BCS		Dauer p. p. (Wo)	
						bei Abkalbung	post partum		
9 9	unterversorgt übersorgt	k. A.	Heu	32	k. A.	2,82 ^a 3,93 ^b	-0,52 ^a -1,20 ^b	8	TREACHER et al. (1986)
12 12	Körperkondition zur Abkalbung dünn fett	k. A.	Weide u. Heu	12	k. A.	1,98 ^a 3,23 ^b	-0,10 ^α -0,63 ^β	20	JONES u. GARNSWORTHY (1989)
15 15	unterversorgt bedarfsgerecht	0,0 kg 2,7 kg	MS u. GS	12	k. A.	5,8 ^{α, 1)} 7,2 ^{β, 1)}	-0,7 ¹⁾ -2,0 ¹⁾	14	HOLTER et al. (1990)
51	Körperkondition zur Abkalbung mager fett	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	1,50 3,55	+0,35 -0,40	8	CHILLIARD (1992) ²⁾
40 40	Energie niedrig Energie hoch	38 % ³⁾ 55 %	GS u. MS	3	-0,16 ^α +0,15 ^β	3,05 3,52	-0,42 -0,55	10	VANDEHAAR et al. (1999)

α,β,γ: p < 0,05; a,b,c: p < 0,01; A,B: p < 0,001

k. A.: keine Angaben; KF: Kraftfutter; GS: Grassilage; MS: Maissilage

¹⁾ Skala 1 bis 9 (Oklahoma nine-point system)

²⁾ keine Angabe zum Signifikanzniveau und zur Gruppengröße

³⁾ 30 % Baumwollsamenschalen in der Ration

In der Untersuchung von TREACHER et al. (1986) betrug der BCS-Verlust in der Früh-laktation von unterversorgten Kühen 0,52 Punkte, von übersorgten dagegen 1,20 Punkte. Ähnliche Ergebnisse stellten auch JONES und GARNSWORTHY (1989), HOLTER et al. (1990) sowie CHILLIARD (1992) fest. Nur in den Versuchen von VANDEHAAR et al.

(1999) zeigten sich kaum Unterschiede in der BCS-Abnahme nach der Abkalbung (-0,42 versus -0,55).

4.2 Überversorgung vor dem Abkalben und peripartale Körperkondition

Eine Überversorgung während der Trockenstehzeit führte im Versuch von SCHMIDT und SCHULTZ (1959) zu signifikant höheren BCS-Werten bei der Abkalbung (Tab. 6). Zu Beginn der Laktation war in allen Gruppen ein Rückgang des BCS zu verzeichnen, und zwar bei den während der Trockenstehzeit hoch versorgten Kühen signifikant stärker, mit dem Ergebnis, dass sich nach 12 Laktationswochen – unabhängig vom präpartalen Ernährungsniveau – für alle Tiere ein BCS von etwa 3,0 ergab. Für ante partum intensiv versorgte Kühe bedeutete dies eine peripartale Körperkonditionsänderung von 1 BCS-Punkt. Nach DRACLEY (2002) kommt es – unabhängig von einer übermäßigen oder auch unterdurchschnittlichen Körperkondition zum Zeitpunkt der Abkalbung – etwa 4 – 8 Wochen post partum zu einer Normalisierung („physiologische Körperkondition“). Auch GARNSWORTHY und TOPPS (1982) beobachteten in Übereinstimmung mit früheren Arbeiten, dass sich die Körperkondition im peripartalen Zeitraum entgegengesetzt zur Intensität der Vorbereitungsfütterung ändert. Des Weiteren belegten sie, dass nach 16 Laktationswochen alle Kühe – unabhängig von ihrer Kondition bei der Abkalbung – eine Körperkondition von etwa 2,5 BCS-Punkten erreichten. Die Autoren halten aufgrund dieser Ergebnisse fest, dass die physiologische Regulation der Futteraufnahme einem massiven Ansatz von Körperreserven in der Hochträchtigkeit nicht entgegenwirkt. Zu Laktationsbeginn reduziert sich bei Verlust von Körpermasse die Menge an Depotfett auf das physiologisch erforderliche Maß. Auch REID et al. (1986) variierten das Energieangebot in der Trächtigkeit und erreichten dadurch eine entsprechend unterschiedliche Körperkondition bei der Abkalbung. In den ersten zehn Laktationswochen mobilisierten präpartal intensiv versorgte Kühe deutlich mehr Körpermasse als restriktiv versorgte. Zusätzlich zur Fettmobilisation wiesen diese Kühe auch einen ausgeprägten Abbau von Körperprotein auf. Im Gegensatz zu BOISCLAIR et al. (1986) schätzen NOCEK et al. (1986) auf der Grundlage ihrer Versuchsergebnisse den Einfluss der Energieversorgung vor der Abkalbung auf die peripartale Änderung der Körperkondition als nicht wesentlich ein. Allerdings berücksichtigten sie lediglich die ersten drei Laktationswochen. GARNSWORTHY und JONES (1987) halten fest, dass die erhöhte Energieaufnahme vor der Abkalbung zu vermehrter Bildung von Körperreserven führt, diese aber mit eintretender Laktation wieder abgebaut werden. Die Autoren führen dies darauf zurück, dass die KM-Mobilisation die Regulation der Futteraufnahme post partum wesentlich beeinflusst. Untermuert werden diese Aussagen durch die Ergebnisse von GARNSWORTHY und HUGGET (1992) sowie GARNSWORTHY und JONES (1993), die ebenfalls belegen, dass zur Abkalbung verfettete Kühe zu Laktationsbeginn mehr Körpermasse abbauen als bedarfsgerecht versorgte (Tab. 6). PEDRON et al. (1993) erhoben in einer breit angelegten Feldstudie den Körperkonditionsverlust während der gesamten Laktation in Abhängigkeit vom BCS bei der Abkalbung. Es zeigte sich, dass nach der Abkalbung alle Kühe Körperreserven zur Deckung ihres Energiebedarfs heranziehen. Allerdings war die Mobilisation bei verfetteten Kühen stärker ausgeprägt (Tab. 6). Die Autoren beziffern die Energielieferung aus der Mobilisation bei Kühen mit einem BCS zur Abkalbung von 4,0 und bei Kühen mit einem BCS von 3,0 mit einer Energiemenge, die 1210 bzw. 691 MJ NEL entspricht. Zu ähnlichen Resultaten kommen auch RUEGG und MILTON (1995) auf der Grundlage einer Feldstudie mit 428 Kühen (Tab. 6).

Tabelle 6: Effekte der Energieübersorgung ante partum auf die Entwicklung der Körperkondition im geburtsnahen Zeitraum

Table 6: Effect of prepartum overfeeding on periparturient change of body condition

n	Energieversorgung ante partum			Körperkonditionsveränderung peripartal					Autor(en)	
	Gruppenbezeichnung	KF (kg/d, % d. IT)	Grundfutter	Dauer a. p. (Wo)	ante partum	BCS		Dauer p. p. (Wo)		
						bei Abkalbung	post partum			
21 21 21	Energie	niedrig mittel hoch	0,0 kg 2,7 kg 6,8 kg	MS u. Heu	8	-0,05 ^α -0,02 ^α +0,14 ^β	3,17 ^α 3,21 ^α 3,71 ^β	-0,28 ^α -0,35 ^α -0,70 ^β	12	SCHMIDT u. SCHULTZ (1959)
12 12	Körperkondition zur Abkalbung	dünn fett	k. A.	Heu u. Weide	12 - 18	k. A.	2,30 ^a 3,20 ^b	-0,04 ^α -0,64 ^β	11	GARNS- WORTHY u. HUGGET (1992)
26 26	Körperkondition zur Abkalbung	dünn fett	k. A.	Heu u. Weide	12	k. A.	2,00 ^a 3,55 ^b	+0,34 ^a -1,04 ^b	16	GARNS- WORTHY u. JONES (1993)
43 124 42	Felderhebung: Variation BCS bei Abkalbung		k. A.	Totale Mischration	2	k. A.	3,00 3,50 4,00	-0,60 -0,80 -1,05	44	PEDRON et al. (1993) ¹⁾
30 108 213 77	Felderhebung: Variation BCS bei Abkalbung		k. A.	Weide u. GS	k. A.	k. A.	<3,00 3,00-3,25 3,50-3,75 ≥4,00	-0,49 ^α -0,81 ^β -1,00 ^γ -1,23 ^δ	7 - 12	RUEGG u. MILTON (1995)
94 94	3 Wo trocken 6 Wo trocken		42,0 bis 54,5 %	Heu, MS u. GS	3 6	+0,08 ²⁾ +0,14 ²⁾	k. A.	-1,30 -1,21	6	MASHEK u. BEEDE (2001)
14 14	GS u. Stroh GS		k. A.	GS u. Stroh	5	+0,02 ³⁾ +0,10 ³⁾	k. A.	-0,02 ³⁾ -0,02 ³⁾	9	MOORBY et al. (2002)
28 28	bedarfsgerecht übersorgt		0,0 kg 3,0 kg	GS u. Stroh	9	+0,0 ^α +0,37 ^β	2,73 ^α 3,00 ^β	-0,14 -0,19	8	RYAN et al. (2003)
30 30	Energie niedrig Energie hoch		22,8 % 48,0 %	GS, MS u. Stroh	4	-0,17 ^α -0,04 ^β	3,50 ⁴⁾ 3,60 ⁴⁾	-0,68 -0,61	10	RABELO et al. (2003)
8 8 8	Energie	niedrig mittel hoch	k. A.	GS u. Heu	10	-0,84 ^α 0,00 ^{αβ} +0,54 ^β	2,66 ^α 3,65 ^β 4,24 ^γ	+0,14 ^α -0,39 ^α -0,65 ^β +0,07 ^α +0,26 ^α -0,24 ^β	1-6 7-12	AGENÄS et al. (2003)
6 6 6	Stroh und GS GS GS und KF		0 kg 0 kg 3 kg	GS u. Stroh	4	-0,09 ^α +0,01 ^{αβ} +0,12 ^β	2,62 ^α 2,76 ^{αβ} 2,87 ^β	+0,02 ^α +0,06 ^α -0,26 ^β	8	McNAMARA et al. (2003)

α,β,γ: p < 0,05; a,b,c: p < 0,01;

k. A.: keine Angaben; KF: Kraftfutter; GS: Grassilage; MS: Maissilage

¹⁾ keine Angabe zum Signifikanzniveau; ²⁾ p = 0,14 ³⁾ BCS (ermittelt am Schwanzansatz);

⁴⁾ p = 0,07

MÄNTYSAARI (1996) stellte fest, dass auch bei Kalbinnen eine intensive Fütterung in der Hochträchtigkeit zu einer verstärkten KM-Mobilisation zu Laktationsbeginn führt. Die Korrelation zwischen der Körperkondition bei der Abkalbung und der postpartalen Mobilisation betrug 0,48. DEWHURST et al. (2000) variierten die Intensität der Vorbereitungs fütterung durch verschiedene Mengen an Grassilage, Stroh sowie Kraftfutter und erreichten dadurch eine unterschiedliche Körperkondition bei der Abkalbung. Die intensivere Versorgung ante partum führte zu stärkerem und länger anhaltendem Abbau von Körpermasse. Die Veränderung der Körperkondition vor und nach der Abkalbung verhielt sich gegenläufig, nach etwa 150 Laktationstagen wiesen alle Kühe – unabhängig von der Energieversorgung ante partum – einen BCS von 2,5 auf. MASHEK und BEEDE (2001) untersuchten den Einfluss einer unterschiedlichen Dauer der Trockenstehzeit (3 bzw. 6 Wochen) auf einem hohen Energieniveau. Wie zu erwarten, erhöhte die längere Trockenstehzeit den BCS bis zur Abkalbung. Auf die Veränderung des BCS während der Früh-laktation wirkte sich die Trockenstehdauer nicht aus (Tab. 6). Dagegen zeigen die Versuche von GULAY et al. (2003), dass die Dauer der Trockenstehzeit keinen wesentlichen Einfluss auf die Änderung der Körperkondition vor der Abkalbung ausübt. Während der Laktation mobilisierten die Kühe mit längerer Trockenstehzeit intensiver und über einen längeren Zeitraum. Diese Kühe wiesen eine geringere Futteraufnahme auf. Auch MOORBY et al. (2002) und RYAN et al. (2003) stellten fest, dass eine hohe Energieversorgung in der Hochträchtigkeit die Körperkondition in dieser Phase erhöht. Im Gegensatz zu vielen hier angeführten Ergebnissen wiesen die in der Hochträchtigkeit intensiv versorgten Kühe in der darauffolgenden Laktation allerdings keinen starken Rückgang im BCS auf (Tab. 6). RYAN et al. (2003) kommen aufgrund ihrer Versuchsergebnisse zu der Schlussfolgerung, dass diejenige Körperkondition zum Zeitpunkt der Abkalbung optimal ist, die zu der höchsten Milchleistung führt und gleichzeitig eine möglichst geringe KM-Mobilisation nach sich zieht. In den Versuchen von RABELO et al. (2003) zeigten die in der Hochträchtigkeit intensiv gefütterten Kühe – abweichend von den meisten Literaturdaten – zu Beginn der daran anschließenden Laktation keine stärkeren Veränderungen im BCS. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass diese Tiere schon in der Hochträchtigkeit – trotz eines Kraftfutteranteils von 48 % in der Ration – an Körperkondition verloren (Tab. 6). AGENÄS et al. (2003) fütterten Kühe zehn Wochen hindurch auf drei unterschiedlichen Energieniveaus, so dass in dieser Phase Änderungen im BCS von $-0,84 / 0,00$ bzw. $+0,54$ erreicht wurden. Wie in den meisten Fällen entwickelte sich die Körperkondition nach der Abkalbung im umgekehrten Sinn, d. h. die Kühe mit starker Zunahme in der Trockenstehzeit mobilisierten in der darauf folgenden Laktation am deutlichsten, und zwar ganz besonders in der Phase unmittelbar nach der Abkalbung (Tab. 6). Gleichlautende Ergebnisse erzielten McNAMARA et al. (2003), die mit verschiedenen Anteilen von Stroh bzw. Kraftfutter in der Ration ihre Tiere auf die Kalbung vorbereiteten.

Resümee: In der Frage der peripartalen Energieversorgung ist die Bildung von Depotfett vor und dessen Mobilisierung nach der Abkalbung von zentraler Bedeutung. Die Veränderung der Körpermasse zur Beschreibung der Mobilisierung und Wiederauffüllung von Körperreserven ist aus schon angeführten Gründen nicht sehr aussagefähig (Bildung von Wasser bei der β -Oxidation, Veränderung der Füllung des Verdauungstraktes, Entwicklung von Fötus und Euter). Demgegenüber ist der Body Condition Score (BCS) ein bewährtes Instrument zur visuellen und taktilen Bewertung der Depotfettauflage.

Eine Energieunterversorgung vor der Abkalbung führt schon vor der Geburt zu umfangreicher Fettmobilisation, mit der Konsequenz einer unbefriedigenden Körperkondition zum Zeitpunkt der Abkalbung. Zu Laktationsbeginn ist in diesem Fall von einer nur mäßigen Mobilisierung auszugehen, da mobilisierbares Fett nur in geringem Umfang vorhanden ist. Die Überversorgung vor der Abkalbung führt zu einer starken Verfettung. Zur Abkalbung stark verfettete Kühe ($BCS > 4$) verlieren post partum einen Großteil ihrer zuvor umfangreich gebildeten Reserven. Bei Kühen, die zum Zeitpunkt der Abkalbung weit unter oder über ihrer physiologischen Körperkondition (Depotfettmenge) liegen, kommt es im Verlauf der Laktation zu einer Normalisierung. Zahlreiche Untersuchungen weisen darauf hin, dass unabhängig vom präpartalen Versorgungsniveau nach mehreren Laktationswochen ein BCS von 2,5 bis 3,0 erreicht wird.

5 ENERGIEVERSORGUNG VOR DEM ABKALBEN UND MILCHLEISTUNG

Die effiziente Nährstoffverwertung während der Laktation sowie das optimale bzw. verträgliche Ausmaß der Mobilisierung von Körperreserven sind wesentliche Diskussionspunkte bei der Frage nach der optimalen Energieversorgung vor der Abkalbung. Dazu finden sich umfangreiche Daten in der Literatur.

5.1 Präpartale Unterversorgung und Milchleistung

Eine minimale Grundfutterwerbung verbunden mit reduziertem Kraftfuttereinsatz charakterisiert sogenannte „low-input“-Systeme zur Milcherzeugung, wie sie in Neuseeland, Australien und Südamerika praktiziert werden (SWALVE 1999, THOMET et al. 2002). Das Synchronisieren von Abkalbung und Laktation mit der Vegetationsentwicklung (d. h. Abkalbung im Frühjahr) kann zu Unterernährung der hochträchtigen Kühe im Spätwinter führen.

FLUX (1950) erzielte bei Jersey-Kühen eine Unterversorgung in der Versuchsgruppe durch begrenzten Weidezugang und die Vorlage von 2,5 kg Heu (Tab. 7). Die Kontrollgruppe wurde bedarfsgerecht versorgt. Die Fütterung während der nachfolgenden Laktation erfolgte in beiden Gruppen leistungsgerecht. Die präpartale Unterernährung führte zu einer um 480 kg verminderten Laktationsleistung. Die Konzentration der Milchinhaltsstoffe Fett, Eiweiß und Laktose wurden nicht beeinflusst. FLUX (1950) führt zur Interpretation an, dass die in der Trockenstehzeit unterversorgten Kühe während der nachfolgenden Laktation einen Teil der aufgenommenen Nährstoffe nicht für die Milchsynthese, sondern zum Aufbau von Körpermasse heranzogen. In den Untersuchungen von DAVENPORT und RAKES (1969) wurden die Kühe während der Trockenstehzeit unter ihrem Bedarf versorgt (Heu restriktiv, kein Kraftfutter). Während der daran anschließenden Laktation wurden alle Tiere leistungsgerecht gefüttert. Verglichen mit einer mittleren Versorgung in der Trockenstehphase (2,3 kg KF) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Milchleistung und den Milchinhaltsstoffen (in der Tendenz allerdings eine leichte Überlegenheit der unterversorgten Tiere; Tab. 7). Eine dritte, während der Trockenstehzeit (8 Wochen) mit 12 kg Kraftfutter deutlich überversorgte Versuchsgruppe reagierte mit einer tendenziellen Erhöhung von Milchleistung und Milchfettgehalt (nicht signifikant). YADAVA et al. (1974) untersuchten den Einfluss der präpartalen Energieversorgung auch in Abhängigkeit von der Rasse, nämlich Jersey und Holstein Friesian (Tab. 7). Die Milchleistung der unter- und überversorgten Kühe war in beiden Rassen geringer als die der Kühe mit mittlerer Intensität der

Vorbereitungsfütterung, bei Jersey auf signifikantem Niveau (14,1 / 17,2 / 14,0 kg Milch) und bei den Holstein-Tieren mit weniger deutlichen Unterschieden (27,4 / 26,8 / 27,2 kg Milch). Die unterversorgten Kühe wiesen in der Tendenz einen höheren Gehalt an den Milchhaltsstoffen Fett und Protein auf, was bei der Interpretation der Milchleistung zusätzlich zu beachten ist (ECM bzw. Fett- und Proteinmenge).

Tabelle 7: Effekt der Unterversorgung ante partum auf die Milchleistung
Table 7: *Effect of prepartum undernutrition on milk yield*

		Energieversorgung ante partum				Milchleistung					Autor(en)
n	Gruppenbezeichnung	Dauer (Wo)	KF (kg/d)	Grundfutter	Milch (kg/d)	ECM (kg/d)	Fett (%)	Eiweiß (%)	Dauer (Wo)		
6 6	unterversorgt bedarfsgerecht	10	k. A.	Heu, GS u. Weide	5,2 6,9	5,8 7,8	4,95 5,05	3,63 3,67	40	FLUX (1950)	
13 14 16	Energie niedrig mittel hoch	8	0,0 2,3 12,0	Heu u. Weide	29,0 27,0 30,3	24,0 22,8 25,9	2,67 2,87 3,01	3,25 3,17 3,04	12	DAVENPORT u. RAKES (1969)	
6 6 6	Energie niedrig mittel hoch	Jersey 16	k. A.	k. A.	14,1 ^a 17,2 ^b 14,0 ^a	13,9 17,6 13,7	3,84 4,41 3,86	3,55 3,08 3,43	13	YADAVA et al. (1974)	
15 15 15	Energie niedrig mittel hoch	Holstein 16	k. A.	k. A.	27,4 26,8 27,2	28,5 26,6 26,4	4,37 4,03 3,89	3,43 3,32 3,23	13	YADAVA et al. (1974)	
9 9	unterversorgt bedarfsgerecht	6	k. A.	Heu	27,7 27,2	24,9 25,4	3,21 ^α 3,57 ^β	3,39 ^α 3,23 ^β	16	LODGE et al. (1975)	
9 9	unterversorgt übersorgt	32	k. A.	Heu	30,9 ^α 26,5 ^β	31,7 28,2	4,60 4,91	2,78 2,83	6	TREACHER et al. (1986)	
15 15	unterversorgt bedarfsgerecht	12	0,0 2,7	MS u. GS	36,1 35,6	31,1 34,3	3,23 ^α 4,10 ^β	2,75 2,76	14	HOLTER et al. (1990)	
51	Körper- kondition zur Abkalbung	mager fett	k. A.	k. A.	k. A.	27,5 29,7	26,8 29,8	3,94 4,22	3,17 3,13	8	CHILLIARD (1992) ¹⁾
24 24	Energie niedrig hoch	Mutter- kühe 8	k. A.	Weide	5,43 ^A 7,36 ^B	k. A.	k. A.	k. A.	35	MOLLE et al. (1997) Exp. 2	

α,β,γ: p < 0,05; a,b,c: p < 0,01; A,B: p < 0,001

k. A.: keine Angaben; KF: Kraftfutter; GS: Grassilage; MS: Maissilage; ECM: Energy corrected milk

¹⁾ keine Angabe zum Signifikanzniveau und zur Gruppengröße

LODGE et al. (1975) untersuchten in ihrem Experiment die Hypothese der effizienteren Milchsynthese durch minimierte Energieaufnahme vor dem Abkalben. Trotz signifikanter Unterschiede in den Milchhaltsstoffen (geringerer Fett- und höherer Proteingehalt der präpartal unterversorgten Kühe) waren die Unterschiede in der Milch- und auch ECM-Leistung nur geringfügig (Tab. 7). Den Grund für den niedrigeren Fett- und höheren Eiweißgehalt in der präpartal unterversorgten Gruppe sehen die Autoren in der erhöhten Kraftfutteraufnahme post partum (Tab. 1). TREACHER et al. (1986) untersuchten den Effekt einer lang anhaltenden Energieunterversorgung vor der Abkalbung (Tab. 7). In den ersten

sechs Wochen nach der Abkalbung hatten diese Kühe eine signifikant höhere Milchleistung. Aufgrund niedrigerer Milchinhaltsstoffe zeigte sich bei der Milchleistung auf Basis der ECM nur eine tendenzielle Überlegenheit der zuvor energieunterversorgten Tiere. Auch die geringe Leistungsüberlegenheit über die gesamte Laktation war statistisch allerdings nicht signifikant. Da die Dauer des Energiedefizits in beiden Gruppen gleich groß war, interpretieren TREACHER et al. (1986), dass zur Abkalbung verfettete Kühe auf die reduzierte Energie- und Nährstoffaufnahme post partum mit einer verringerten Milchleistung reagieren, um so das Ausmaß des Energiedefizits zu begrenzen. HOLTER et al. (1990) hingegen konnten keinen Einfluss der Energieversorgung ante partum auf die Milchleistung feststellen (Tab. 7). Den höheren Milchfettgehalt der präpartal überversorgten Kühe sehen die Autoren als Folge des intensiveren Körperfettabbaus, was sie auch mit entsprechenden Stoffwechselanalysen dokumentieren. In den Untersuchungen von CHILLIARD (1992) zeigten zum Zeitpunkt der Abkalbung magere Kühe eine geringere Milchleistung als verfettete Kühe. MOLLE et al. (1997) untersuchten den Einfluss einer unterschiedlichen Vorbereitungs fütterung bei Mutterkühen. Unterversorgte Tiere wiesen hier eine signifikant geringere Milchleistung auf (Tab. 7).

5.2 Präpartale Überversorgung und Milchleistung

Wie bereits in Abschnitt 3 („Körpermasse“) erwähnt, wurde schon vor Jahrzehnten eine intensive Trockensteher- und Vorbereitungs fütterung favorisiert. Die Auswirkungen des Überangebots an Energie ante partum auf die Milchleistung war daher auch schon Gegenstand vieler Untersuchungen in früheren Jahren. GREENHALGH und GARDNER (1958) untersuchten die Hypothese, dass hohe Kraftfuttermengen ante partum die Bildung von milchbildendem Gewebe (Drüsenparenchym) während der letzten Trächtigtkeitswochen fördern. Des Weiteren sollte geklärt werden, inwieweit präpartal angelegte Fettreserven aufgrund eines sogenannten „metabolischen Vorbeugeeffekts“ die Milchbildung stimulieren. In diesem Zusammenhang wurde angenommen, dass eine hohe Energieaufnahme vor der Abkalbung die Futteraufnahme post partum fördere und damit Stoffwechselprobleme zu Laktationsbeginn verhindere. Allerdings konnten die Autoren keinen Einfluss der Vorbereitungs fütterung (0 bzw. 5,5 kg KF) auf die Milchleistung feststellen (Tab. 8). Ausgehend von ähnlichen Überlegungen untersuchten SCHMIDT und SCHULTZ (1959) drei unterschiedliche Kraftfutterniveaus vor der Abkalbung (0 / 2,7 / 6,8 kg KF). Auch sie konnten keine Steigerung der Milchleistung feststellen und sehen folglich keine Notwendigkeit einer intensiven Vorbereitungs fütterung. SWANSON (1960) wählte eine bedarfsgerechte und eine über den Bedarf hinausgehende Aufzuchtintensität von trächtigen Kalbinnen, um den Effekt auf die Milchleistung in der ersten und zweiten Laktation zu untersuchen (Tab. 8). Die forcierte Aufzuchtintensität führte zu einer verminderten Milchleistung in der ersten Laktation. Der Autor erklärt dies mit der mangelnden Entwicklung des Drüsenparenchyms im Euter, wie auch entsprechende Gewebeanalysen der Schlachtkörper zeigten. Außerdem war die Laktationsdauer der intensiv aufgezogenen Kalbinnen verkürzt, was die Laktationsleistung zusätzlich verringerte. Auch CHILLIARD (1992) stellt fest, dass die Überversorgung während der Aufzucht die Fetteinlagerung im Drüsenparenchym fördert und damit die Milchleistung senkt. CASTLE und WATSON (1961) fanden jedoch keinen Zusammenhang zwischen präpartaler Energieversorgung und Milchleistung. Im Experiment 1 von SWANSON und HINTON (1962) führte die intensive Fütterung in der Trockenstehzeit zu einer höheren Leistung ($p=0,08$), welche die Autoren auf die höhere Einsatzleistung zurückführen (Tab. 8).

Tabelle 8: Effekt der Überversorgung ante partum auf die Milchleistung
Table 8: Effect of prepartum overfeeding on milk yield

n	Energieversorgung ante partum				Milchleistung					Autor(en)	
	Gruppenbezeichnung		Dauer (Wo)	KF (kg/d, % d. IT)	Grundfutter	Milch (kg/d)	ECM (kg/d)	Fett (%)	Eiweiß (%)		Dauer (Wo)
Kühe bzw. Kühe und Kalbinnen											
18 18	bedarfsgerecht überversorgt		6	0,0 kg ≤ 5,5 kg	MS u. Heu	k. A.	19,9 ¹⁾ 19,8 ¹⁾	k. A.	k. A.	12	GREEN- HALGH u. GARDNER (1958)
21 21 21	Ener- gie	niedrig	8	0,0 kg 2,7 kg 6,8 kg	MS u. Heu	17,7 17,7 17,9	17,9 ¹⁾ 17,9 ¹⁾ 17,9 ¹⁾	4,06 4,07 3,99	k. A.	44	SCHMIDT u. SCHULTZ (1959)
		mittel									
		hoch									
40 40	bedarfsgerecht überversorgt		6	0,0 kg 3,5 kg	Weide, MS u. GS	18,9 ⁴⁾ 20,0 ⁴⁾	18,8 ¹⁾ 19,9 ¹⁾	3,96 3,96	k. A.	15	SWANSON u. HINTON (1962) Exp. 1
25 25	bedarfsgerecht überversorgt		3	0,0 kg ad lib.	Heu	23,8 ^a 24,6 ^b	k. A.	k. A.	k. A.	6	EMERY et al. (1969)
6 6	Körper- kondition zur Abkalbung	dünn	5	k. A.	Weide	15,5 ^α 16,6 ^β	15,7 18,4	4,06 4,82	3,58 3,61	14	ROGERS et al. (1979) Exp. 3
		fett									
31 31 31	Heu KF niedrig KF hoch		4	0,0 % 12,0 % 47,0 %	Heu, GS u. MS	25,0 25,4 24,6	k. A.	k. A.	k. A.	Wo 2 - 4	JOHNSON u. OTTERBY (1981)
8 17	bedarfsgerecht überversorgt		10	0,0 kg 1,0 kg	Heu, Gras- u. Mais- pellets	20,1 20,8	22,8 23,4	5,10 5,10	3,50 3,40	21	KUNZ et al. (1985)
52 52	GF GF u. KF		3	0,0 kg 2,0 kg	GS u. MS	30,3 30,5	32,2 32,6	4,56 4,61	3,40 3,40	3	NOCEK et al. (1986)
43 124 42	BCS zur Ab- kalbung	3,00	2	k. A.	Totale Misch- ration	26,7	k. A.	k. A.	k. A.	44	PEDRON et al. (1993)
		3,50									
		4,00									
26 26	Körper- kondition zur Abkalbung	dünn	12	k. A.	Heu u. Weide	27,4 27,3	27,5 27,2	4,35 4,28	2,92 2,91	16	GARNS- WORTHY u. JONES (1993)
		fett									
17 15	bedarfsgerecht überversorgt		8	k. A.	MS ad lib. bzw. restriktiv	27,4 ^α 26,8 ^β	27,1 26,8	3,88 ^α 4,00 ^β	3,50 3,49	12	SCHWARZ et al. (1995) Exp. 2
16 15	bedarfsgerecht überversorgt		8	0,0 7,7	GS, MS u. Stroh	40,8 38,8	40,8 42,7	4,16 ^α 5,01 ^β	3,19 3,17	5	RUKKWAM- SUK et al. (1999a)
10 10 10	Bedarfs- deckung (%)	75	6	k. A.	Heu u. GS	29,2	29,5	4,36	2,99 ^a	8	TESFA et al. (1999)
		100									
		125									
30 30	bedarfsgerecht überversorgt		4	0,0 kg 5,0 kg	GS	27,4 28,0	27,4 28,5	4,23 ^α 4,39 ^β	3,04 3,04	12	KEADY et al. (2001)

Fortsetzung Tabelle 8:

n	Energieversorgung ante partum				Milchleistung					Autor(en)				
	Gruppenbezeichnung	Dauer (Wo)	KF (kg/d, % d. IT)	Grundfutter	Milch (kg/d)	ECM (kg/d)	Fett (%)	Eiweiß (%)	Dauer (Wo)					
94 94	3 Wo trocken 6 Wo trocken	3 6	42,0 bis 54,5 %	Heu, MS u. GS	41,4 39,2	40,3 37,6	4,02 3,87	3,05 3,08	21	MASHEK u. BEEDE (2001)				
21 21	Energie niedrig Energie hoch	19	2,0 kg 7,0 kg	GS u. Stroh	24,0 25,5	25,4 26,8	4,56 4,52	3,38 3,30	18	DEWHURST et al. (2002)				
27 27	bedarfsgerecht übersorgt	7.-2.	3 % 8 %	GS, MS, Stroh	47,5 46,4	44,7 44,1	3,66 3,75	3,18 3,17	15	FISCHER et al. (2002) (≥ 2. Laktation)				
14 14	GS u. Stroh GS	5	k. A.	GS u. Stroh	23,6 ^a 24,9 ^b	23,8 25,2	4,20 4,15	3,23 3,37	4	MOORBY et al. (2002)				
28 28	bedarfsgerecht übersorgt	5	0,0 kg 3,0 kg	GS u. Stroh	25,5 26,5	24,0 25,4	3,69 3,81	3,14 3,17	8	RYAN et al. (2003)				
30 30	Energie niedrig Energie hoch	4	22,8 % 48,0 %	GS u. MS, Stroh	38,0 37,4	35,3 34,5	3,60 3,56	3,11 3,10	10	RABELO et al. (2003)				
8 8 8	Energie niedrig mittel hoch	8	k. A.	GS u. Heu	39,3	40,8	4,45	3,25	12	AGENÄS et al. (2003)				
37,3					38,0	4,33	3,17							
36,2					39,1	4,76	3,34							
6 6 6	Stroh und GS GS GS und KF	4	0 kg 0 kg 3 kg	GS u. Stroh	24,1 ^α 26,2 ^β 28,2 ^β	23,2 25,7 28,2	3,86 ^α 4,03 ^{αβ} 4,15 ^β	3,16 3,15 3,23	8	McNAMARA et al. (2003)				
Kalbinnen														
7 7	bedarfsgerecht übersorgt		75 ²⁾		0,0 kg ad lib.	Heu, Weide u. GS	7,9 7,3	8,8 ¹⁾ 8,3 ¹⁾			4,79 4,93	k. A.	28	SWANSON (1960) 1. Laktation
7 7	bedarfsgerecht übersorgt	75 ²⁾	0,0 kg ad lib.	Heu, Weide u. GS	9,3 9,4	10,1 ¹⁾ 10,3 ¹⁾	4,57 4,67	k. A.	27	SWANSON (1960) 2. Laktation				
49 49	bedarfsgerecht übersorgt	3	0,0 kg ad lib.	Heu	20,2 ^a 21,4 ^b	k. A.	k. A.	k. A.	6	EMERY et al. (1969)				
50 50	Energie niedrig Energie hoch	10	k. A.	MS u. Stroh	16,9 17,1	14,9 15,2	3,20 3,22	3,14 3,16		DUCKER et al. (1985)				
	bedarfsgerecht übersorgt	8	8 6	MS ad lib. bzw. restriktiv	19,3 ^α 16,9 ^β	19,7 17,4	4,06 4,19	3,70 3,62	8	SCHWARZ et al. (1995) Exp. 3				
38 38	bedarfsgerecht übersorgt	24	6,3 % 40,0 %	GS	28,0 28,1	26,8 26,9	3,86 3,89	3,08 3,01	23	GRUMMER et al. (1995)				
4 4	Mobilisation ³⁾ Ansatz ³⁾	k. A.	k. A.	Weide, GS u. MS	k. A.	23,5 ^α 19,5 ^β	k. A.	k. A.	16	SEGERT et al. (1996)				
34 31	Energie niedrig Energie hoch	3	2,7 kg 6,2 kg	Heu u. GS	21,2 21,9	21,8 22,7	4,32 4,42	3,34 3,25	12	OLSSON et al. (1998)				

α,β,γ: p < 0,05; a,b,c: p < 0,01; A,B: p < 0,001; Exp.: Experiment

k. A.: keine Angaben; KF: Kraftfutter; GS: Grassilage; MS: Maissilage; ECM: Energy corrected milk

¹⁾ FCM (4 % fettkorrigierte Milch) ²⁾ zweite Aufzuchthälfte

³⁾ Mobilisation: Verringerung der Rückenfettdicke in den ersten 16 Wochen der Laktation um 10,3 mm

Ansatz: Erhöhung der Rückenfettdicke in den ersten 16 Wochen der Laktation um 4,8 mm

⁴⁾ p = 0,08

Aufgrund der wesentlich niedrigeren Persistenz dieser Tiere bestand jedoch in der Milchleistung über 30 Laktationswochen kein signifikanter Unterschied mehr. EMERY et al. (1969) erreichten durch Kraftfuttereinsatz drei Wochen vor dem Abkalben signifikant höhere Milchleistungen während der ersten sechs Laktationswochen, bei Kalbinnen war dieser Effekt ausgeprägter als bei Kühen (Tab. 8). Unter dem Aspekt der Energieverwertung bezeichnen die Autoren den Kraftfuttereinsatz in der Trockenstehzeit als ineffizient: Pro zusätzlich erzeugtem kg Milch waren bei Kalbinnen 4 kg Kraftfutter und bei Kühen 10 kg Kraftfutter vor dem Abkalben erforderlich. GARDNER (1969) untersuchte den Effekt einer überhöhten Energieversorgung 6 bis 8 Wochen vor dem Abkalben. Die ante partum energiereich gefütterten Kühe erbrachten die gleiche Milchleistung wie die bedarfsgerecht versorgte Kontrollgruppe. Auch HERNANDEZ-URDANETA et al. (1976) erzielten durch intensive Vorbereitungs fütterung keine Milchleistungssteigerung. ROGERS et al. (1979) gestalteten die fünf wöchige Vorbereitungs fütterung durch unterschiedlichen Weidezugang in der Weise, dass Kühe bei der Abkalbung mager bzw. verfettet waren. In der nachfolgenden Laktation (Untersuchungszeitraum 14 Wochen) erzielten die verfetteten Kühe – bei ausschließlicher Weidehaltung ohne Kraftfutterergänzung – eine signifikant höhere Milchleistung bei deutlich höherem Milchfettgehalt (Tab. 8). Die Autoren erklären dies mit der verstärkten Mobilisation von Körperfett. Darauf weist auch der erhöhte Milchfettgehalt dieser Kühe hin. Hingegen konnten FRONK et al. (1980) keinen positiven Effekt der präpartalen Energieübersorgung feststellen, allerdings war die Übersorgung in der Versuchsgruppe auch nicht so ausgeprägt.

JOHNSON und OTTERBY (1981) untersuchten die Bedeutung der physikalischen Struktur und des Energiegehaltes der Ration in der Trockenstehzeit auf die Milchleistung der darauf folgenden Laktation. In der strukturreich versorgten Gruppe wurde Luzerneheu ohne Kraftfutter verabreicht. In der Gruppe mit hoher Energieversorgung wurde eine Maissilage/Heu-Ration mit 47 % Kraftfutter aufgewertet. Eine mittlere Gruppe erhielt eine Ration, in der zu 12 % Kraftfutter vertreten war (Tab. 8). Nur die Einsatzleistung sowie der Leistungsanstieg in den ersten 15 Laktationstagen standen in positivem Zusammenhang zur Energieversorgung ante partum. Die mangelnde Persistenz der ante partum energiereich gefütterten Kühe ließ diesen Effekt rasch an Bedeutung verlieren, so dass im Zeitraum von vier Laktationswochen keine Leistungsunterschiede mehr zu beobachten waren. Fazit der Autoren ist, dass der intensive Kraftfuttereinsatz während der Vorbereitungs fütterung physiologisch weder Vor- noch Nachteile bringt. GARNSWORTHY und TOPPS (1982) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass die präpartale Energieversorgung keinen Effekt auf die Milchleistung während der ersten 16 Laktationswochen hat. Aufgrund der ungünstigeren Energieverwertung lehnen die Autoren die Übersorgung während der Trockenstehzeit ab. KUNZ et al. (1985) erreichten mit einer leicht intensivierten Vorbereitungs fütterung (0 bzw. 1 kg KF, 10 Wochen lang) eine leicht höhere Milchleistung (20,1 bzw. 20,8 kg, 21 Wochen Versuchsdauer). Die Kühe mit intensiverer Vorbereitungs fütterung wiesen allerdings eine schlechtere Persistenz auf (Tab. 8). DUCKER et al. (1985) fanden in einem umfangreichen Versuch (n = 100) bei Kalbinnen keinen Einfluss der Energieversorgung ante partum auf die Milchleistung in der darauf folgenden Laktation (Tab. 8). Als mögliche Erklärung geben die Autoren an, dass die Übersorgung vor der Abkalbung bei den noch im Wachstum befindlichen Kalbinnen nicht sehr ausgeprägt war. BOISCLAIR et al. (1986) messen der Energieversorgung vor der Abkalbung hinsichtlich der Milchleistung wenig Bedeutung bei. Sie argumentieren, dass bei Einsatz energiereicher Mischrationen zu Laktationsbeginn die Leistungsentwicklung weitgehend unabhängig von der präpartalen Energieversorgung

verläuft. Einen Vorteil der hohen Energieversorgung ante partum sehen sie nur dann, wenn die Versorgung zu Laktationsbeginn weit unter dem Bedarf liegt und in weiterer Folge präpartal angelegte Reserven zur Energiebereitstellung abgebaut werden können bzw. müssen. Auch NOCEK et al. (1986) halten den Einfluss der Energieversorgung ante partum auf die Milchleistung der ersten drei Laktationswochen für gering (Tab. 8). GARNSWORTHY und JONES (1987) konnten ebenso keinen signifikanten Einfluss der präpartalen Energieversorgung auf die Milchleistung feststellen. Allerdings verwerten die ante partum restriktiv gefütterten Kühe die Energie insgesamt effizienter (Berücksichtigung auch des Energieaufwandes zum Erreichen einer bestimmten Körperkondition in der Trockenstehzeit). Die Autoren fügen hinzu, dass präpartal verfettete Kühe aufgrund ihrer postpartal verminderten Futteraufnahme Körpermasse mobilisieren müssen, um die gleiche Milchleistung wie ante partum bedarfsgerecht ernährte Tiere erreichen zu können. Dies bestätigt GIESECKE (1987) mit einer Korrelation zwischen der Konzentration an freien Fettsäuren (NEFA) der ersten sechs Laktationswochen und der 100 Tage-Milchleistung von $r = 0,56$. Im Versuch von FLIPOT et al. (1988), in dem 1,5 bzw. 4 kg Kraftfutter über acht Wochen vor dem Abkalben zum Einsatz kamen, blieb die Körpermasse zum Zeitpunkt der Abkalbung unbeeinflusst. Weiterhin war kein Effekt auf die Milchleistung bzw. den Futteraufwand für die Milchproduktion feststellbar. JONES und GARNSWORTHY (1989) stellten keine signifikanten Auswirkungen der präpartalen Überversorgung auf die Milchleistung im ersten Laktationsdrittel fest. WALTNER et al. (1993) erhoben die Körperkondition in einer Hochleistungsherde zu verschiedenen Laktations- und Trächtigkeitsstadien, um Einflüsse der Energieversorgung ante partum auf die Milchleistung identifizieren und quantifizieren zu können.

Von Interesse war jene Körperkondition zum Zeitpunkt der Abkalbung, die der höchsten Laktationsleistung voranging. Zu diesem Zweck wurde die Körperkondition bei der Abkalbung mit der Milchleistung korreliert. Die Auswertung ergab, dass eine Körperkondition von 3,5 (Skala von 1 bis 5) die höchste Laktationsleistung erwarten ließ. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass eine optimale Vorbereitungsfütterung sowohl den Bedarf für Erhaltung, Gravidität und Euterentwicklung decken als auch eine gewisse Reservenbildung erlauben muss. Eine Unter- bzw. Überversorgung in der Hochträchtigkeit führt demnach zu Leistungseinbußen. In einer Feldstudie haben PEDRON et al. (1993) Kühe ebenfalls nach dem BCS bei der Abkalbung (3,0 / 3,5 / 4,0) gruppiert. Die entsprechenden Milchleistungen im Durchschnitt der gesamten Laktation betragen 26,7 / 26,2 bzw. 27,2 kg und unterschieden sich nicht signifikant (Tab. 8). Somit stehen diese Ergebnisse im Gegensatz zu WALTNER et al. (1993). Allerdings war die Milchleistung der überkonditionierten Kühe zu Laktationsbeginn deutlich höher (37,5 / 39,9 / 45,1 kg Einsatzleistung). Wenngleich diese Unterschiede durch die mangelnde Persistenz der verfetteten Kühe ausgeglichen wurde, argumentieren die Autoren für eine ausgeprägte Reservenbildung vor der Abkalbung, da diese die Energieversorgung der Kuh zu Laktationsbeginn unterstützen würde. Dagegen ergaben die Untersuchungen von GARNSWORTHY und JONES (1993), dass die Überversorgung vor der Abkalbung keinen Effekt auf die Milchleistung der nachfolgenden Laktation hat (Tab. 8). Wie in ihren früheren Arbeiten war der Futteraufwand für die Milchleistung der verfetteten Kühe ungünstiger. Die umfangreichen Versuche von SCHWARZ et al. (1995) sowie KIRCHGESSNER et al. (1995) ergaben, dass Kühe und ganz besonders Kalbinnen mit einer niedrigeren Milchleistung reagieren, wenn sie in der Trockenstehzeit energetisch überversorgt werden. Die höheren Milchfettgehalte dieser Tiere weisen wiederum auf eine stärkere Fettmobilisation am Beginn der nachfolgenden Laktation hin (Versuchszeitraum 12 bzw. 8

Wochen; Tab. 8). GRUMMER et al. (1995) untersuchten die Hypothese, dass die Milchleistung der ersten Laktation vom Entwicklungsgrad und folglich von der Körpermasse der Kalbinnen zum Zeitpunkt der Abkalbung abhängt. Nach Feststellung der Trächtigkeit wurden zwei Gruppen von Kalbinnen 24 Wochen vor der Abkalbung bedarfsgerecht bzw. überversorgt (6 bzw. 40 % KF; Tab. 8). Die präpartal bedarfsgerecht versorgten Tiere erbrachten in den ersten sieben Laktationswochen eine eindeutig höhere Milchleistung. Über den gesamten Versuchszeitraum von 23 Wochen war die Leistung hingegen identisch (Tab. 8). GRUMMER et al. (1995) kommen zur Schlussfolgerung, dass die Milchleistung erstlaktierender Kühe nicht von der Körpermasse bei der Abkalbung abhängt und sehen infolgedessen keinen Vorteil einer Überversorgung von hochträchtigen Kalbinnen. Die Untersuchungen von SEGERT et al. (1996) zeigen deutlich, dass die während der Trächtigkeit angesetzte Körpermasse bei Einsetzen der Laktation teilweise zur Energiebedarfsdeckung verwendet wird, und zwar ganz besonders bei Kühen mit hoher Verfettung (Tab. 8). OLSSON et al. (1998) stellten fest, dass eine intensivere Energieversorgung ante partum bei Kalbinnen in den beiden ersten Laktationswochen eine höhere Milchleistung bewirkt. Die bei diesen Tieren zu Laktationsbeginn forcierte Mobilisation wirkt jedoch negativ auf die Persistenz. Ein gegenüber der Vergleichsgruppe ähnliches Milchleistungsniveau konnte nur über umfangreiche Mobilisierung von Fett- und Proteinreserven erreicht werden. Auch die Gesamteffizienz der Energieverwertung für die Milchsynthese war schlechter (Tab. 8). RUKKWAMSUK et al. (1999a) fanden in ihrer Untersuchung, wie auch viele andere Autoren, dass die präpartale Überversorgung eine verminderte Milchleistung zur Folge hat (Tab. 8). Der auch in diesem Versuch erhöhte Milchfettgehalt kann als Indiz für eine ausgeprägte Körperfettmobilisation gesehen werden und führt dazu, dass die als ECM ausgedrückte Milchleistung der überversorgten Kühe höher ist. VANDEHAAR et al. (1999) und auch TESFA et al. (1999) können aus ihren Ergebnissen hinsichtlich Milchleistung keine Vorteile einer intensiveren Vorbereitungs fütterung ableiten. Im Gegenteil, eine um 25 % über dem Bedarf der Trächtigkeitsphase versorgte Gruppe wies eine deutlich niedrigere Milchleistung in den ersten acht Wochen der Laktation gegenüber Tieren mit 75 bzw. 100 % Bedarfsdeckung auf (29,2 / 29,1 / 25,1 kg Milch; TESFA et al. 1999; Tab. 8). DEWHURST et al. (2000) untersuchten unterschiedliche Energiekonzentrationen (durch Variation der Kohlenhydratfraktionen) in Rationen für trockenstehende Kühe. Es konnten jedoch weder kurz- noch langfristig Auswirkungen auf die Milchleistung der nachfolgenden Laktation ermittelt werden. KEADY et al. (2001) stellten neben einer nur leicht erhöhten Milchleistung einen signifikant höheren Milchfettgehalt bei Kühen fest, die in der Trockenstehphase überversorgt worden waren (Tab. 8). Jedes in der Vorbereitungs fütterung eingesetzte kg Kraftfutter bewirkte eine Milchleistungssteigerung von 0,87 kg. MASHEK und BEEDE (2001) fütterten auf zwei Milchfarmen Mischrationen mit hohem Kraftfutteranteil über einen Zeitraum von drei bzw. sechs Wochen vor der Abkalbung, um den Effekt der Dauer der Trockenstehzeit bei intensiver Versorgung zu untersuchen. Die Milchleistung und der Fettgehalt der Kühe mit längerer Trockenstehzeit waren tendenziell niedrigerer (Tab. 8). HOLCOMB et al. (2001) erläutern, dass nicht die absolute Milchleistung, sondern der Verlauf der Laktationskurve eine Beziehung zum Versorgungsniveau in der Hochträchtigkeit aufweisen. Ein restriktives Nährstoffangebot vor dem Abkalben bewirkte einen steileren Anstieg der Milchleistung bis ungefähr sechs Wochen post partum. Die Autoren sehen daher keine Notwendigkeit und keinen Vorteil, die Energieaufnahme während der Vorbereitungs fütterung zu maximieren. DEWHURST et al. (2002) untersuchten den Einfluss der Intensität der Vorbereitungs fütterung bei

erstlaktierenden Kühen (auf die 2. Laktation) über einen sehr langen Zeitraum (19 Wochen, d.h. bereits in der Spätlaktation beginnend; Tab. 8). Die in der Spätlaktation intensiver versorgten Kühe (2,0 bzw. 7,0 kg KF) erbrachten eine nur tendenziell höhere Milchleistung (24,0 bzw. 25,5 kg; 18 Laktationswochen). Als wesentlichen Grund für die nur mäßige Auswirkung der intensiven Vorbereitungsfütterung auf die Milchleistung führen die Autoren an, dass Kühe mit ihrer Fähigkeit zur Mobilisation im intermediären Stoffwechsel überaus flexibel auf die Energieversorgung reagieren können. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass Kühe zu Beginn der zweiten Laktation ihr Wachstum noch nicht vollständig abgeschlossen haben (besonders bei niedrigem Erstkalbkalter). Somit wird ein gewisser Teil der Nährstoffe vorrangig nicht für die Milchbildung sondern für das Wachstum herangezogen. Die Folge ist ein nur loser Zusammenhang zwischen Nährstoffaufnahme und Milchleistung. DOEPEL et al. (2002) stellten nach Überversorgung in der Trockenstehzeit eine Steigerung der Milchleistung um 2,4 kg fest. Aufgrund niedriger Tierzahl war dieser Unterschied statistisch nicht signifikant. Eine Überversorgung während der Trockenstehphase hatte in Untersuchungen von FISCHER et al. (2002) eine um 1,1 kg verminderte Milchleistung zur Folge. Den leicht erhöhten Milchfettgehalt sehen die Autoren als Hinweis für die intensivere Körperfettmobilisation dieser Tiere. MOORBY et al. (2002) variierten die Vorbereitungsfütterung durch Beimischung von Stroh zur Grassilage. Dadurch ging die Milchleistung in den ersten 4 Wochen der darauf folgenden Laktation signifikant zurück (Tab. 8). RYAN et al. (2003) verabreichten 0 bzw. 3 kg KF fünf Wochen vor der Abkalbung zusätzlich zu einer Grassilage/Stroh-Ration. Durch Kraftfutter in der Vorbereitungsfütterung erhöhten sich Milchmenge und Milchfettgehalt tendenziell sowie die Fett/Eiweiß-Menge signifikant (Tab. 8). RABELO et al. (2003) differenzierten die Vorbereitungsfütterung von vier Wochen durch 23 bzw. 48 % Kraftfutter und konnten keine signifikanten Unterschiede in der Milchleistung und den Milchinhaltsstoffen feststellen (Tab. 8). AGENÄS et al. (2003) fütterten Kühe während der Trockenstehzeit von acht Wochen auf verschiedenen Niveaus und stellten keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Milchleistung fest, im Trend jedoch die höchste Milchmenge bei der unterversorgten Gruppe sowie den höchsten Fettgehalt nach Überversorgung in der Trockenphase. Sie betonen, dass Kühe eine große Fähigkeit zur Kompensation einer nicht bedarfsgerechten Versorgung während der Trockenstehzeit haben, wenn ihnen zu Laktationsbeginn Rationen mit hohem Energiegehalt und hoher Palatabilität vorgelegt werden. McNAMARA et al. (2003) sehen den Grund für die signifikant höhere Milchleistung der ante partum intensiv versorgten Kühe in der höheren Energie- und Nährstoffaufnahme und ausgeprägteren Mobilisation von Körperreserven nach der Abkalbung.

Resümee: Kühe, die während der Trockenstehzeit energetisch unterversorgt werden, reagieren zu Laktationsbeginn häufig mit einer verringerten Milchleistung. Sie zeichnen sich jedoch durch eine höhere Persistenz aus, so dass ein negativer Effekt auf die insgesamt erreichte Laktationsleistung nicht zu erwarten ist. Zudem verwerten präpartal restriktiv versorgte Kühe die aufgenommenen Nährstoffe effizienter als überversorgte Tiere. In der Trockenstehphase über den Bedarf versorgte Kühe erreichen vergleichbare Laktationsleistungen in der Regel nur durch einen umfangreichen KM-Abbau. Ein erhöhter Milchfettgehalt spiegelt den verstärkten Depotfettabbau wider. Solche Kühe beginnen die Laktation mit höheren Einsatzleistungen, aufgrund der schlechteren Persistenz bleibt dieser Leistungsvorteil nicht für die gesamte Laktation erhalten. Dieser Effekt wurde sowohl bei Kühen als auch Kalbinnen beobachtet. Zu hohe Energiekonzentrationen während der Aufzucht führen zu massiver Fetteinlagerung und

mangelnder Ausbildung des Drüsenparenchyms im Euter der heranwachsenden Kalbin. Die schlechte Persistenz der präpartal überversorgten Tiere steht in direktem Zusammenhang zur geringeren und langsamer ansteigenden Futteraufnahme zu Laktationsbeginn und den negativen gesundheitlichen Folgen einer übermäßigen Fettmobilisation. Entscheidend zur Erreichung hoher Laktationsleistungen ist die Vermeidung/Minimierung des postpartal entstehenden Energiedefizits. Eine über 2-3 Wochen ante partum erhöhte Kraftfuttergabe wirkt sich vor allem deswegen positiv auf die Futteraufnahme nach der Abkalbung und somit auf die Milchleistung aus, weil sich der Pansen an die während der Laktation verwendete Ration anpassen kann (Mikroben, Pansenzotten).

6 ENERGIEVERSORGUNG VOR DEM ABKALBEN UND STOFFWECHSELPARAMETER IM PERIPARTALEN ZEITRAUM

Im peripartalen Zeitraum wirken tiefgreifende physiologische und metabolische Änderungen in vielfältiger Art und Weise auf die Kuh (BELL 1995, GRUMMER 1995, GOFF und HORST 1997, NRC 2001, DOEPEL et al. 2002, REYNOLDS et al. 2003). Ursache dafür ist der steigende Nährstoffbedarf bei sinkender Futteraufnahme vor der Abkalbung (GfE 2001, NRC 2001). Auch nach Laktationsbeginn steigt die Futteraufnahme nicht in einem ausreichenden Ausmaß an, um den hohen Nährstoffbedarf aufgrund stark ansteigender Milchleistung abzudecken (BELL 1995, GOFF und HORST 1997, REIST et al. 2002). Einige Autoren (GIESECKE 1987, GRUMMER 1995, INGVARTSEN und ANDERSEN 2000) messen der Steuerung der Futteraufnahme über endokrine und metabolische Regulationsmechanismen zu Laktationsbeginn überragende Bedeutung bei. Die letztgenannten Autoren vertreten die Ansicht, dass die Rolle der physikalischen Regulation in dieser Phase vielfach überschätzt wird. DRACKLEY (1999) hingegen sieht die Frage nach der Bedeutung der Regulationsmechanismen als nicht vollständig beantwortet an. Als Folge der reduzierten Futteraufnahme steht Propionat im Intermediärstoffwechsel in nicht ausreichender Menge zur Verfügung (BELL 1995, DRACKLEY 1999, DRACKLEY 2002). Dies führt letztlich zu einem Mangel an Glucose, da Propionat als Vorstufe des Oxalacetats das wichtigste Ausgangsprodukt der Gluconeogenese darstellt (WILTROUT und SATTER 1972, YOUNG 1977, GIESECKE 1987, VAN HOUTERT 1993, MINOR et al. 1998, CHILLIARD 1999). Parallel dazu ist für die Milchkuh zu Laktationsbeginn auch die Energiebereitstellung über die Mobilisierung von Fettreserven und – in geringerem Ausmaß – von körpereigenem Protein von wesentlicher Bedeutung (BAUMAN und CURRIE 1980, KUNZ et al. 1985, ARMENTANO 1992, GOFF und HORST 1997, KOMARAGIRI et al. 1998, CHILLIARD 1999, REYNOLDS et al. 2003). Weitere wichtige Glucosevorläufer sind glucogene Aminosäuren, Lactat und Glycerin (VAN HOUTERT 1993). Die im Rahmen der Lipolyse freigesetzten Fettsäuren (GIESECKE 1987, DUNSHEA und BELL 1990, CHILLIARD 1993) können erst nach erfolgter β -Oxidation als Acetyl-CoA durch Kondensation mit Oxalacetat in den Citratzyklus eintreten und vollständig zu CO_2 oxidiert werden (RUKKWAMSUK et al. 1998). Oxalacetat stellt damit sowohl für die Gluconeogenese als auch für die Verwertung der Fettsäuren aus der Fettmobilisation das entscheidende und letztlich limitierende Substrat dar. Ein Mangel an Oxalacetat bewirkt, dass die in der Leberzelle anflutenden Fettsäuren nicht in den Citratzyklus einmünden können und in weiterer Folge zu Triglyceriden verestert oder Ketonkörpern (Acetoacetat und β -Hydroxybutyrat) gebildet werden (BERGMAN 1971, KUNZ et al. 1985, REID et al. 1986, MAZUR et al. 1988, STUDER et al. 1993, GOFF und

HORST 1997, DRACKLEY 2002, MASHEK et al. 2002). Letztere stehen verschiedenen Geweben als alternative energieliefernde Substrate zur Verfügung und helfen derart Blutglucose zu „sparen“. Die Triglyceride werden in der Leberzelle in Form von Fetttröpfchen gespeichert oder als VLDL (very low density lipoproteins) aus der Leberzelle ausgeschleust (GIESECKE 1987, BAUCHART 1993, NRC 2001). Reicht die Synthese der VLDL in den Hepatozyten beim Rind nicht aus, kommt es zu einer verstärkten Einlagerung von Fett in das hepatische Gewebe (EMERY et al. 1992, BAUCHART 1993, GRUM et al. 1996, GRUFFAT et al. 1997, CHILLIARD et al. 2000, DRACKLEY 2002). Der bei Ketose verminderten Gluconeogenese (MILLS et al. 1986, GOFF und HORST 1997, RUKKWAMSUK et al. 1999b) versucht der Organismus mit verstärkter Lipolyse zu begegnen (CHILLIARD et al. 1998). Bei stetig zunehmender Anflutung von freien Fettsäuren (NEFA) in die Leberzelle bei gleichzeitig begrenztem Angebot an Oxalacetat nimmt sowohl die Ketonkörperproduktion als auch die Veresterung an Triglyceriden im hepatischen Gewebe zu (GRUMMER 1993, BAUCHART 1993, DRACKLEY 1999). Die dabei entstehenden Krankheitsbilder werden als „fatty liver syndrome“ und Ketose bezeichnet (TREACHER et al. 1986, MAZUR et al. 1988, VEENHUIZEN et al. 1991, GRUMMER 1993, CHILLIARD 1999, BREMMER et al. 2000). Der Zusammenhang zwischen ausgeprägter Körperfettmobilisation zu Laktationsbeginn und dem Auftreten von pathologischen Veränderungen verbunden mit Leistungseinbußen gilt trotz einiger ungeklärter Fragen als unbestritten (BAIRD et al. 1974, GIESECKE 1987, VEENHUIZEN et al. 1991, VAZQUEZ-ANON et al. 1994, GRUMMER 1995, VAN SAUN und SNIFFEN 1996, MOORBY und DEWHURST 1999, MOTTRAM et al. 1999, JORRITSMA et al. 2001, STEINGASS et al. 2002).

6.1 Präpartale Energieversorgung und Blutmetabolite

Der Fettstoffwechsel nimmt während des peripartalen Zeitraums eine Schlüsselrolle ein (DRACKLEY 1999). Parameter, die den Fettstoffwechsel in hohem Maße widerspiegeln, sind die Blutmetabolite (NEFA, BHBS)¹⁾ und die Hormone (Insulin, GH, IGF I, T 3 T4)¹⁾. KUNZ und BLUM (1985) weisen darauf hin, dass die Energie- und Nährstoffversorgung einer Kuh mit Hilfe von Stoffwechselfparametern beschrieben werden kann. Der gleichen Ansicht sind auch viele andere Autoren (GARNSWORTHY und TOPPS 1982, DUNSHEA und BELL 1990, McNAMARA 1991, GRUMMER 1993, STUDER et al. 1993, BOCQUIER et al. 1997, DRACKLEY 1999, CHARISMIADOU et al. 2000, ENJALBERT et al. 2001, REIST et al. 2002). GIESECKE (1987) bezeichnet die NEFA als Transportform der aus dem Fettgewebe freigesetzten Energie. Als hauptsächliche Ursache der Lipomobilisation sieht er in Übereinstimmung mit anderen Autoren den Energiemangel im Stoffwechsel. CHILLIARD et al. (2000) und HOLCOMB et al. (2001) führen an, dass die Konzentration an NEFA der beste Indikator zur Darstellung des Körperfettverlustes und der Energiebilanz im Verlauf der Laktation ist. KOLVER und MACMILLAN (1993), KRONFELD et al. (1982), STUDER et al. (1993) sowie REIST et al. (2002) legen dar, dass auch die Glucose ein geeigneter Parameter ist, um die Energieversorgung einer laktierenden Kuh zu beschreiben. Die Autoren belegen dies mit der positiven Korrelation zwischen Glucose und der Energiebilanz sowie der negativen Beziehung zwischen Glucose und dem Gehalt an Lebertriglyceriden. GIESECKE

¹⁾ NEFA: freie Fettsäuren (non esterified fatty acids) BHBS: β -Hydroxybutyrat; GH: Wachstumshormon;
IGF I: insulinähnll. Wachstumsfaktor T3: 3-, 5-, 3`- Trijodthyronin T4: Thyroxin

(1987) betont, dass sich zur Beurteilung der Stoffwechselbelastung vor allem die NEFA, aber auch die Ketonkörper eignen. Der Autor sieht den Vorteil der NEFA darin, dass sie direkt aus dem Fettabbau resultieren, während Ketonkörper unabhängig von der Stoffwechselbelastung auch im Pansenstoffwechsel entstehen können. Die Glucosekonzentration korreliert zwar positiv mit der Energieversorgung, dennoch hält der Autor diesen Parameter zur Beurteilung der Energieversorgung einer hochleistenden Milchkuh für wenig geeignet, weil die Blutglucosekonzentration einer sehr strikten homöostatischen Regulation unterworfen ist. BERTICS et al. (1992) sehen den Lebertriglyceridgehalt als sensiblen Parameter zur Erkennung des Fettlebersyndroms (fatty liver syndrome) an. Ein Anstieg der Triglyceridkonzentration in der Leberzelle resultiert aus der Überschreitung der Exportkapazität der Leberzelle für VLDL. Die Konsequenz aus der zunehmenden Verfettung der Leberzelle ist deren verminderte Stoffwechsellistung und insbesondere ein reduziertes Vermögen zur Gluconeogenese.

Einige der in Tabelle 9 angeführten Untersuchungen lassen eine tendenziell höhere Glucosekonzentration im peripartalen Zeitraum als Folge der bedarfsüberschreitenden Energieversorgung ante partum erkennen. BERTICS et al. (1992) und auch MINOR et al. (1998) zeigen, dass zwischen der Energieversorgung und der peripartalen Leberglycogenkonzentration ein positiver Zusammenhang besteht (Tab. 9). Da jedoch der Organismus aufgrund der Glucosehomöostase bestrebt ist, den Glucosespiegel im Blut konstant zu halten, können derartige Beobachtungen statistisch kaum abgesichert werden. Dies ist auch ein Grund, weshalb viele Autoren der Konzentration an NEFA und Ketonkörpern eine größere Bedeutung zur Beschreibung der Stoffwechsellage beimessen. KUNZ et al. (1985) stellten in der Trockenstehzeit eine erhöhte NEFA-Konzentration bei den bedarfsgerecht gefütterten Kühen im Vergleich zu überfütterten Tieren fest (Tab. 9). In den ersten acht Wochen der darauf folgenden Laktation lag die Konzentration der freien Fettsäuren bei den ante partum überfütterten Tieren gegenüber den normversorgten aufgrund ausgeprägter Mobilisation höher, wenn auch statistisch nicht signifikant. Auch die Konzentration der Ketonkörper war höher. Zwischen NEFA und den Ketonkörpern Acetoacetat und β -Hydroxybutyrat bestand eine positive Korrelation von 0,89. GIESECKE (1987) gibt für Holstein Friesian Kühe eine Korrelation von 0,56 an. In der Untersuchung von REID et al. (1986) zeigte sich kein signifikanter Effekt der Vorbereitungs fütterung (magere bzw. verfettete Kühe) auf die Parameter Glucose und β -Hydroxybutyrat. Basierend auf diesen Ergebnissen halten die Autoren den Lebertriglyceridgehalt zur Darstellung des Ausmaßes der Lipolyse für besser geeignet (Tab. 9). Die Fettinfiltration in die Leber war sowohl ante partum als auch post partum bei den verfetteten Kühen signifikant höher. Auch JAQUETTE et al. (1988) sowie JONES und GARNSWORTHY (1989) konnten keine Auswirkungen eines erhöhten Kraftfuttereinsatzes während der Hochträchtigkeit auf die Konzentration an Glucose bzw. NEFA post partum feststellen. BERTICS et al. (1992) erreichten über eine zusätzliche Verabreichung von Futter über eine Pansenkanüle eine Energieübersorgung in der Trockenstehzeit und stellten bei diesen Tieren in der Früh laktation erhöhte Gehalte an NEFA und BHBA fest, jedoch niedrigere Blutglucosewerte und Leberglycogengehalte (Tab. 9). STUDER et al. (1993) steigerten die Energieversorgung nicht mit herkömmlichen Futtermitteln, sondern mit Hilfe von Propylenglykol (1 Liter pro Tag über 2 Wochen ante partum). Dies führte post partum zu höheren Glucose- und niedrigeren NEFA-Konzentrationen sowie zu einer im Vergleich zur Kontrollgruppe geringeren Leberverfettung (gemessen am Triglyceridgehalt; Tab. 9). Daraus ziehen die Autoren den Schluss, dass Propylenglykol die postpartal einsetzende Mobilisation von Körperfett wirkungsvoll

Fortsetzung Tabelle 9:

Energieversorgung ante partum					Stoffwechselformparameter				Autor(en)		
n	Gruppenbezeichnung	KF (kg/d, % d. IT)	Grundfutter	Zeit (Wo)	Parameter	ante partum	1d nach Abkalbung	post partum		Zeit (Wo)	
37 37	Energie niedrig Energie hoch	13,0 % 56,5 %	GS u. MS, Stroh	3	Glucose (mg/dl)	59,4 62,2		9	9	MINOR et al. (1998) ⁴⁾	
					Glycogen (% T)	4,5 ^A 6,8 ^B					
					NEFA (µM/l)	378 ^A 293 ^B					
					BHBA (mg/dl)	11,4 ^A 8,0 ^B					
					TG (% T)	5,0 4,1					
6 7	bedarfsgerecht übersorgt	0,0 kg 6,0 kg	GS u. MS	10	Glucose (mmol/l)	3,2 ⁶⁾ 3,5 ⁶⁾	k. A.	2,9 2,5	Woche 3	RUKK-WAMSUK et al. (1999c)	
					NEFA (mmol/l)	0,3 ⁶⁾ 0,3 ⁶⁾	k. A.	0,5 ^a 0,9 ^β			
					TAG (mg/g Leber)	15,4 ⁶⁾ 15,3 ⁶⁾	k. A.	30,4 ^a 109,7 ^β			
40 40	Energie niedrig Energie hoch	38 % ⁴⁾ 55 %	GS u. MS	3	NEFA (µM/l)	233 ^a 176 ^β	k. A.	212 ⁷⁾ 246 ⁷⁾	10	VANDEHAAR et al. (1999)	
23 23	viel Struktur wenig Struktur	30 % 70 % ⁵⁾	Heu u. MS	4	NEFA (mEq/l)	854 ^{4, 7)} 662 ^{4, 7)}		6	6	HOLCOMB et al. (2001)	
					Glucose (mg/dl)	64,7 ⁴⁾ 68,0 ⁴⁾					
14 14	GS u. Stroh GS	k. A.	GS u. Stroh	3	Glucose (mmol/l)	3,40 3,66	k. A.	3,36 ⁷⁾ 2,83 ⁷⁾	3	3	MOORBY et al. (2002)
					BHBA (mmol/l)	0,37 ^A 0,50 ^B	k. A.	1,24 ⁷⁾ 1,52 ⁷⁾			
8 8 8	Energie niedrig mittel hoch	k. A.	GS u. Heu	8	Glucose (mmol/l)	2,82 ^a 2,92 ^b 3,09 ^c	k. A.	2,70 2,93 2,91	12	12	HOLTENIUS et al. (2003)
					NEFA (mmol/l)	0,15 0,12 0,10	k. A.	0,24 0,27 0,35			
					BHBA (mmol/l)	1,10 1,33 1,12	k. A.	0,74 1,09 1,26			
28 28	bedarfsgerecht übersorgt	0,0 kg 3,0 kg	GS u. Stroh	5	Glucose (mmol/l)	3,09 3,12	3,69 3,76	3,93 3,94	8	8	RYAN et al. (2003)
					NEFA (mmol/l)	0,07 0,04	0,14 0,18	0,11 0,16			

α,β,γ: p < 0,05; a,b,c: p < 0,01; A,B: p < 0,001

k. A.: keine Angaben; KF: Kraftfutter; GS: Grassilage; MS: Maissilage; PG: Propylenglycol

NEFA: nicht veresterte Fettsäuren; BHBA: β-Hydroxybutyrat; TG: Triglyceride; TAG: Triacylglycerin

¹⁾ Analysenmittelwert der gesamten Stichprobe

²⁾ 30 % Baumwollsamenschalen in der Ration

³⁾ 28,3 % Sojabohnenschalen im KF

⁴⁾ Durchschnittswert der Analysen ante und post partum

⁵⁾ p = 0,07

⁶⁾ Messwert: 1 Woche ante partum

⁷⁾ p ≤ 0,10

Wie auch BERTICS et al. (1992) stellten MINOR et al. (1998) fest, dass eine höhere Energieversorgung vor der Abkalbung eine höhere Glycogenkonzentration (in der Leber) im peripartalen Zeitraum zur Folge hat. MINOR et al. (1998) und auch DOEPEL et al. (2002) sehen als Vorteil einer intensiven Vorbereitungs fütterung, dass dadurch die Energiebilanz während der Hochträchtigkeit ausgeglichener ist. Im Gegensatz zu den meisten angeführten Arbeiten war die Konzentration an NEFA, BHBA und TG bei den überversorgten Kühen im peripartalen Zeitraum niedriger.

RUKKWAMSUK et al. (1999c) stellten dagegen in ihrer Untersuchung fest, dass mit einer höheren Fütterungsintensität vor der Abkalbung höhere NEFA-Werten und eine stärkere Leberverfettung verbunden sind (Tab. 9). Eine Energieunterversorgung vor der Abkalbung zwingt das Rind zur Fettmobilisation, wie VANDEHAAR et al. (1999) nachweisen (Tab. 9). Zu Laktationsbeginn zeigte sich dann allerdings eine höhere NEFA-Konzentration bei den überversorgten Kühen. Abweichend von vielen Autoren fanden HOLCOMB et al. (2001) bei präpartal energetisch höher versorgten Kühen geringere NEFA-Werte, wobei sie allerdings nur Ergebnisse für den gesamten peripartalen Zeitraum (d. h. ante partum und post partum gemeinsam) angeben (Tab. 9). MOORBY et al. (2002) differenzierten die Vorbereitungs fütterung durch Verwendung von Stroh und weisen auf die ausgeprägtere Mobilisation von Körpermasse der besser versorgten Tiere hin, was sich in höheren BHBA-Werten sowohl ante partum als auch post partum manifestiert. HOLTENIUS et al. (2003) und auch RYAN et al. (2003) ermittelten bei Kühen, die in der Hochträchtigkeit intensiver gefüttert wurden, post partum höhere Werte bei den Stoffwechselfparametern, die auf eine forcierte Lipomobilisation hinweisen (NEFA, BHBA). Allerdings waren die Unterschiede statistisch nicht signifikant. Die Blutglucosewerte blieben absolut unbeeinflusst (Tab. 9).

6.2 Präpartale Energieversorgung und peripartale Energiebilanz

Die in Tabelle 10 angeführte Energiebilanz wird kalkuliert als Differenz aus der NEL-Aufnahme über das Futter und dem NEL-Bedarf für Erhaltung, Gravidität und Milchleistung. In den Untersuchungen von KUNZ et al. (1985) führte die Überversorgung in der Trockenstehzeit zu einer negativen Energiebilanz in den ersten acht Wochen der Laktation (Tab. 10). Als Ursache führen KUNZ et al. (1985) den langsameren Anstieg der Futteraufnahme und die höhere Milchleistung bei den überversorgten Kühen im Vergleich zu den normversorgten Tieren zu Laktationsbeginn an. Die Autoren sehen somit eine Überversorgung ante partum als Nachteil, da dies zu einem länger andauernden und ausgeprägteren Energiedefizit zu Laktationsbeginn und somit zu einem erhöhten Ketoserisiko führt. Auch nach CHILLIARD (1989) bewirkt die energetische Überversorgung in der Trockenstehzeit eine höhere Einsatzleistung bei gleichzeitig verminderter Futteraufnahme post partum und ist somit als wesentliche Ursache des postpartalen Energiedefizites zu sehen (Tab. 10).

Andere Untersuchungen zeigen dagegen keinen negativen Einfluss einer intensiven Vorbereitungs fütterung auf die Energiebilanz zu Beginn der Laktation. So war in den Versuchen von HOLTER et al. (1990) die postpartal über 14 Wochen gemessene Energiebilanz von Kühen mit intensiver Vorbereitungs fütterung nahezu ausgeglichen, während die vor der Abkalbung ohne Kraftfutter versorgten Kühe nach der Abkalbung eine negative Energiebilanz aufwiesen (Tab. 10). Auch in den Untersuchungen von MINOR et al. (1998) sowie VANDEHAAR et al. (1999) bewirkte eine deutlich differenzierte Energieversorgung vor der Abkalbung keine Unterschiede in der Energiebilanz in der Laktation. Die Ergebnisse von RABELO et al. (2003) zeigen sogar einen leicht positiven Einfluss einer intensiven Vorbereitungs fütterung auf die Energiebilanz post partum (Tab. 10).

Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass der Einfluss der Vorbereitungs- fütterung auf die Energiebilanz der darauffolgenden Laktation mit einer Ausnahme (HOLTER et al. 1990) in keinem der Versuche statistisch signifikant war. KERTZ et al. (1991) sowie DE VRIES et al. (1999) stellen generell fest, dass Kühe mit mehreren Abkalbungen zu Laktationsbeginn ein größeres Energiedefizit aufweisen als Kühe in der ersten Laktation. Als Ursache sehen DE VRIES et al. (1999) die höhere Milchleistung der multiparen Kühe.

Tabelle 10: Effekte der Energieversorgung ante partum auf die peripartale Energiebilanz
Table 10: Effect of prepartum feeding intensity on periparturient energy balance

n	Energieversorgung ante partum				Energiebilanz (MJ NEL/Tag)			Autor(en)
	Gruppenbezeichnung	Dauer (Wo)	KF (kg/d)	Grundfutter	ante partum	post partum	Dauer (Wo)	
8 17	bedarfsgerecht übersorgt	10	0,0 kg 1,0 kg	Heu, Gras- u. Maispellets	-1,6 ^A +27,7 ^B	+1,1 -4,9	8	KUNZ et al. (1985)
25 25	Energie niedrig Energie hoch	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	+11,9 -19,4	8	CHILLIARD (1989) ¹⁾
15 15	Energie niedrig Energie hoch	3	0,0 kg 2,7 kg	MS u. GS	k. A.	-13,8 ^a -1,5 ^b	14	HOLTER et al. (1990)
40 40	Energie niedrig Energie hoch	3	38,0 % ²⁾ 55,0 %	GS u. MS	0,0 ^a 27,6 ^b	-34,8 -37,7	2	VANDE- HAAR et al. (1999)
37 37	Energie niedrig Energie hoch	3	13,0 % 56,5 %	GS u. MS, Stroh	0,4 ^A 30,9 ^B	14,3 15,3	40	MINOR et al. (1998)
30 30	Energie niedrig Energie hoch	4	22,8 % 48,0 %	GS u. MS, Stroh	16,3 ^A 33,9 ^B	-14,2 -9,8	10	RABELO et al. (2003)

A,B: p < 0,001

k. A.: keine Angaben; KF: Kraftfutter; GS: Grassilage; MS: Maissilage

¹⁾ keine Angabe zum Signifikanzniveau ²⁾ 30 % Baumwollsamenschalen in der Ration

6.3 Präpartale Energieversorgung und Hormone

Die intensiven Stoffwechselprozesse zu Laktationsbeginn werden in komplexer und komplizierter Weise durch Hormone gesteuert. Besondere Bedeutung in der Regulation des Energie- und Fettstoffwechsels haben die Hormone GH, Insulin, IGF I, T 3 und T 4 (KUNZ et al. 1985, BLUM et al. 1985, GIESECKE 1987, PETHES et al. 1985, WINDISCH et al. 1991, McNAMARA et al. 1994, GRUM et al. 1996, CHILLIARD et al. 1998, RUKKWAMSUK 1999c, CHARISMIADOU et al. 2000). Insulin hemmt die metabolischen Prozesse Gluconeogenese sowie Proteo- und Lipolyse und steigert die Acetat-Aufnahme des Fettgewebes zur Lipogenese (BLUM et al. 1985, GIESECKE 1987, CHILLIARD et al. 1998, MOORBY et al. 2000). Nach KUNZ et al. (1985) und GRUM et al. (1996) ist eine hohe Insulinkonzentration Ausdruck einer positiven Energiebilanz. GIESECKE (1987) sieht die Lipidmobilisation unmittelbar vor der Abkalbung als Folge der abnehmenden Insulinkonzentration. Seinen Untersuchungen zufolge steigt die Fettmobilisation erst bei Unterschreiten einer Insulinkonzentration von 10 mU/l an. Dagegen werden katabole Vorgänge durch eine steigende GH-Konzentration unterstützt. In noch ungeklärter Wechselwirkung mit IGF I wird ein Anstieg von GH als Folge einer mangelnden Energieversorgung gesehen (CHILLIARD et al. 1998). Verminderte Konzentrationen an T 3 und T 4 sind die Folge der restriktiven Energieversorgung, was als „Energiespareffekt“ bezeichnet wird (BLUM et al. 1985, CHILLIARD et al. 1998, MOORBY et al. 2000). Der

Begriff „Energiespareffekt“ bezieht sich auf den verminderten Protein- und Fett-Turnover und somit reduzierte Mobilisation von Körpermasse bei geringeren Konzentrationen an T 3 und T 4 (CHILLIARD et al. 1998).

Zahlreiche Untersuchungen belegen den positiven Zusammenhang zwischen hoher Energieversorgung und der Insulinkonzentration während der Trächtigkeit. Darüber hinaus zeigen viele Versuche, dass eine intensive Vorbereitungs fütterung zu hohen Insulin-Werten auch nach der Abkalbung führt (KUNZ et al. 1985, RUKKWAMSUK et al. 1999c, HOLCOMB et al. 2001, HOLTENIUS et al. 2003). Dagegen ist der Gehalt an GH zu Laktationsbeginn durch eine hohe Energieversorgung in der Trockenstehphase eher reduziert (KUNZ et al. 1985, JONES u. GARNSWORTHY 1989). Auch hinsichtlich der Hormonkonzentrationen ist darauf hinzuweisen, dass in allen angeführten Versuchen besonders zu Laktationsbeginn nur Trends sichtbar werden und eine statistische Absicherung allgemein nicht gelang (Tab. 11).

Tabelle 11: Effekte der Energieversorgung ante partum auf die Konzentration an Stoffwechselformonen

Table 11: Effect of prepartum feeding intensity on the hormonal response

n	Gruppenbezeichnung	Dauer (Wo)	KF (kg/d, % d. IT)	Grundfutter	Parameter	ante partum	post partum	Dauer (Wo)	Autor(en)	
8 17	bedarfsgerecht übertersorgt	10	0,0 kg 1,0 kg	Heu, Gras- u. Mais- pellets	Insulin (mU/l)	7,1 ^a 13,6 ^b	7,0 8,2	8	KUNZ et al. (1985)	
					GH (µg/l)	3,6 ^a 2,1 ^b	4,3 3,0			
					T 4 (nmol/l)	69 90	57 60			
					T 3 (nmol/l)	1,1 ^a 1,7 ^b	1,9 2,1			
18 18	Energie niedrig Energie hoch	8	0,0 kg 9,0 kg	Weide	Insulin (µU/ml)	k. A.	5,7 6,8	14	JAQUETTE et al. (1988)	
12 12	Körperkondition zur Abkalbung	dünn fett	12	k. A.	Weide, Heu	GH (µg/l)	k. A.	11,5 10,0	20	JONES u. GARNS- WORTHY (1989)
6 7	bedarfsgerecht übertersorgt	10	0,0 kg 6,0 kg	GS, MS	Insulin (µU/ml)	8,0 ¹⁾ 12,6 ¹⁾	7,4 9,9	3	RUKK- WAMSUK et al. (1999c)	
20 21	viel Struktur wenig Struktur	4	30,0 % 70,0 % ²⁾	Heu u. MS	Insulin (ng/ml)	0,5 ^a 0,6 ^b		6	HOLCOMB et al. (2001)	
8 8 8	Ener- gie	niedrig mittel hoch	8 – 5	k. A.	GS u. Heu	Insulin (µU/ml)	9,1 9,8 16,2	4,5 4,6 5,2	1 – 4	HOLTE- NIUS et al. (2003) ³⁾
			4 – 1				5,8 6,2	5 – 8		
							7,3 10,4 18,5	5,8 5,9 8,3 7,0	9 – 12	

α,β,γ: p < 0,05; a,b,c: p < 0,01;

k. A.: keine Angaben; KF: Kraftfutter; GS: Grassilage; MS: Maissilage

GH: Wachstumshormon T3: 3-, 5-, 3'- Trijodthyronin T4: Thyroxin

¹⁾ Eine Woche ante partum

²⁾ 28,3 % Sojabohnenschalen im Kraftfutter

³⁾ Effekt der Energieversorgung signifikant (p<0,001), keine Informationen zum Gruppenvergleich

Resümee: Unmittelbar vor, insbesondere aber in den ersten Wochen nach der Abkalbung sind die Kühe nicht in der Lage, ihren Energiebedarf über die Futteraufnahme vollständig zu decken. Katabole Stoffwechselprozesse, wie die Glyco-, Proteo- und Lipolyse, wirken dem peripartal entstehenden Energiedefizit entgegen. Übersteigen diese Abbauvorgänge gewisse physiologische Grenzen, kommt es gehäuft zu pathologischen Veränderungen von Organen (z. B. Fettleber) und zu Leistungseinbußen. Verschiedene Blutmetabolite sowie Hormone spiegeln die Energiebilanz wider. Hohe Leberglycogengehalte sowie hohe Glucose-, Insulin-, T3- und T4-Konzentrationen im Blut im peripartalen Zeitraum kennzeichnen eine ausgeglichene oder positive Energiebilanz. Dagegen sind hohe Gehalte des Wachstumshormons (GH) und der Metaboliten NEFA, BHBA sowie Triglyceridgehalte im Lebergewebe Hinweise auf ausgeprägte katabole Stoffwechselprozesse und folglich eine negative Energiebilanz.

Im Gegensatz zur Überversorgung ante partum schränkt eine bedarfsgerechte Versorgung die peripartal ablaufende Körperfettmobilisation ein und fördert die insulinabhängige Glycogen- und Fettsynthese. Der steilere Anstieg der Futteraufnahme zu Laktationsbeginn führt - verbunden mit niedrigeren Einsatzleistungen - zu einer ausgeglicheneren Energiebilanz der Kuh. Das Energiedefizit ist dadurch zu Laktationsbeginn deutlich geringer. Dies zeigt sich auch in höheren Glucosekonzentrationen post partum.

Eine energetische Überversorgung vor der Abkalbung führt zu verringerter Futteraufnahme am Beginn der Laktation, gleichzeitig aber zu hohen Einsatzleistungen. Durch die Mobilisation von Körpermasse versucht der Organismus, dem peripartal entstehenden Energiedefizit entgegenzuwirken. Dabei ist die Mobilisation von Depotfett wesentlich wichtiger als der Abbau von Protein und Glycogen. Die durch Lipolyse entstandenen freien Fettsäuren (NEFA) werden von den Fettdepots über die Blutbahn zur Leber transportiert, wo sie erneut zu Triglyceriden verestert und entweder gespeichert oder als VLDL aus der Leberzelle ausgeschleust werden. Letztlich werden die Fettsäuren über die β -Oxidation und den Citrat-Zyklus zur Energiegewinnung herangezogen (BERG et al. 2003). Kann jedoch in Folge des Mangels an Oxalacetat in der Leberzelle – das gleichzeitig ein entscheidender Metabolit für die Gluconeogenese aus Propionat ist – aus dem Abbau von NEFA stammendes Acetyl-CoA im Zitratzyklus nicht oxidiert werden, häufen sich die Stoffwechselprodukte β -Hydroxybutyrat, Aceton und Acetacetat an (BERGMAN 1971). Kann die physiologische Blutglucosekonzentration nicht mehr aufrechterhalten werden (wahrscheinlich durch die Suppression der Gluconeogenese in Folge anhaltend hoher Ketonkörperkonzentrationen) kommt es zur klinischen Ausprägung der Ketose. Die Überversorgung in der Trockenstehzeit führt zu einem größeren und länger andauernden Energiedefizit zu Laktationsbeginn, welches in erhöhten Konzentrationen an NEFA und Ketonkörpern sowie Triglyceriden im hepatischen Gewebe sichtbar wird und ein erhöhtes Risiko für das Fettlebersyndrom und die Ketose bedingt.

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Futteraufnahme: Eine energetische Unterversorgung während der Trockenstehzeit führt zu einer höheren Futteraufnahme bei Laktationsbeginn, eine Energieüberversorgung vor der Abkalbung vermindert sie. Durch den geringeren Anstieg der Futteraufnahme erreichen diese Kühe ihre maximale Futteraufnahme später. Im peripartalen Zeitraum kommt der biochemischen Regulation der Futteraufnahme eine größere Bedeutung zu als der physikalischen. Mäßige Kraftfuttermengen vor der Abkalbung wirken positiv auf die Futter-

aufnahme zu Laktationsbeginn. Der Grund liegt in der hierbei besseren Anpassung der Mikrobenpopulation an die Rationsbedingungen während der Laktation und der vergrößerten Absorptionsoberfläche im Pansen.

Körpermasse und Körperkondition: Aufgrund der massiven Fötus- und Euterentwicklung in den letzten Wochen der Trächtigkeit mobilisieren unterversorgte Kühe bereits vor der Abkalbung Fett- und Proteinreserven. Nach der Abkalbung ist folglich das Ausmaß ihrer Mobilisation geringer als bei präpartal überversorgten Kühen. Letztere bilden vor der Abkalbung große Depotfettreserven, die sie jedoch aufgrund hormoneller und metabolischer Regulationsmechanismen nach der Abkalbung innerhalb kurzer Zeit abbauen. Die Veränderung der Körpermasse zur Beschreibung der Mobilisierung und Wiederauffüllung von Körperreserven ist nicht sehr aussagefähig (Bildung von Wasser bei der β -Oxidation, Veränderung der Füllung des Verdauungstraktes, Entwicklung von Fötus und Euter). Demgegenüber ist der Body Condition Score ein bewährtes Instrument zur visuellen und taktilen Bewertung der Depotfettaufgabe. Zahlreiche Untersuchungen weisen darauf hin, dass sich unabhängig vom präpartalen Versorgungsniveau nach mehreren Laktationswochen ein BCS von 2,5 bis 3,0 einstellt.

Milchleistung: Nach der Abkalbung füllen präpartal unterversorgte Kühe auch ihre Körperreserven auf, weswegen ihre Milchleistung zu Laktationsbeginn niedriger ist. Allerdings zeichnet sich deren Laktationskurve durch eine höhere Persistenz aus. Zudem verwerten sie die aufgenommene Energie effizienter als überversorgte Tiere. Vor der Abkalbung überversorgte Kühe beginnen die Laktation mit höheren Einsatzleistungen. Diese Kühe erreichen vergleichbare Laktationsleistungen in der Regel nur durch umfangreiche Körperfettmobilisation. Ein erhöhter Milchfettgehalt spiegelt den verstärkten Depotfettabbau wider. Die geringere Energieaufnahme post partum - verbunden mit den negativen gesundheitlichen Folgen der Fettmobilisation - senken die Milchleistung im Laktationsverlauf auf ein niedrigeres Niveau. Entscheidend zur Erreichung hoher Laktationsleistungen ist die Vermeidung/Minimierung des postpartal entstehenden Energiedefizits durch optimale, den Pansenstoffwechsel unterstützende Fütterungsmaßnahmen.

Stoffwechsel: Unmittelbar vor und nach der Abkalbung sind die Kühe nicht in der Lage, ihren Energie- und Nährstoffbedarf allein über die Futteraufnahme zu decken. Katabole Stoffwechselprozesse, wie die Glyco-, Proteo- und Lipolyse, wirken dem peripartal entstehenden Energiedefizit entgegen. Das restriktive Energieangebot ante partum schränkt aufgrund der erhöhten Futteraufnahme und geringeren Milchleistung zu Laktationsbeginn die Körperfettmobilisation post partum ein. Präpartal unterversorgte Kühe weisen zu Laktationsbeginn geringere Konzentrationen an NEFA, BHBA und Triglyceriden im hepatischen Gewebe auf. Ihre höheren Glucose-, Glycogen- und Insulinkonzentrationen post partum weisen auf einen ausgeglicheneren Energiebilanz der Kuh hin. Der massive Körperfettabbau post partum von präpartal überversorgten Kühen führt zu signifikant höheren Konzentrationen an NEFA. Die bei Ketose teilweise blockierte Verstoffwechslung der freien Fettsäuren äußert sich in erhöhten Ketonkörpergehalten in Milch, Blut und Harn. Des Weiteren stellt der erhöhte Gehalt an Triglyceriden im hepatischen Gewebe eine unzureichende Nutzung der NEFA für die Energieversorgung der Kuh dar. Im Gegensatz zu präpartal bedarfsgerecht versorgten Kühen geraten vor der Abkalbung überversorgte Tiere in ein erhebliches und länger andauerndes Energiedefizit.

8 SCHRIFTTUM

- AGENÄS, S.; BURSTEDT, E.; HOLTENIUS, K. (2003): Effects of feeding intensity during the dry period. 1. Feed intake, body weight, and milk production. *J. Dairy Sci.* **86**, 870-882
- ARMENTANO, L.E. (1992): Ruminant hepatic metabolism of volatile fatty acids, lactate and pyruvate. *J. Nutr.* **122**, 838-842
- BAIRD, G.D.; HEITZMAN, R.J.; HIBBITT, K.G.; HUNTER, G.D. (1974): Bovine ketosis: A review with recommendations for control and treatment. Part II. *Brit. Vet. J.* **130**, 318-326
- BALLARD, C.S.; MANDEBVU, P.; SNIFFEN, C.J.; EMANUELE, S.M.; CARTER, M.P. (2001): Effect of feeding an energy supplement to dairy cows pre- and postpartum on intake, milk yield, and incidence of ketosis. *Anim. Feed Sci. Technol.* **93**, 55-69
- BAUCHART, D. (1993): Lipid absorption and transport in ruminants. *J. Dairy Sci.* **76**, 3864-3881
- BAUMAN, D.E.; CURRIE, W.B. (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.* **78**, 2804-2819
- BELL, A.W.; SLEPTIS, R.; EHRHARDT, R.A. (1995): Growth and accretion of energy and protein in the gravid uterus during late pregnancy in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* **78**, 1954-1961
- BERG, J.M.; TYMOCZKO, J.L.; STRYER, L. (2003): *Biochemie*. 5. Aufl., Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg und Berlin, 1153 S.
- BERGMAN, E.N. (1971): Hyperketonemia-ketogenesis and ketone body metabolism. *J. Dairy Sci.* **54**, 936-948
- BERTICS, S.; GRUMMER, R.R.; CADORNIGA-VALINO, C.; STODDARD, E.E. (1992): Effect of prepartum dry matter intake on liver triglyceride concentration in early lactation. *J. Dairy Sci.* **75**, 1914-1922
- BLUM, J.W.; JANS, F.; MOSES, W.; FRÖHLI, D.; ZEMP, M.; WANNER, M.; HART, I.C.; THUN, R.; KELLER, U. (1985): Twenty four-hour pattern of blood hormone and metabolite concentrations in high yielding dairy cows: Effects of feeding low or high amounts of starch, or crystalline fat. *Zbl. Vet. Med. A*, **32**, 401-418
- BOCQUIER, F.; FERLAY, A.; CHILLIARD, Y. (1997): Effects of body lipids and energy balance on the response of plasma non-esterified fatty acids to a β -adrenergic challenge in the lactating dairy ewe. *Proc. 14th Symp. on Energy Metabolism*, CAB International, 167-170
- BOISCLAIR, Y.; GRIEVE, D.G.; STONE, J.B.; ALLEN, O.B.; MACLEOD, G.K. (1986): Effect of prepartum energy, body condition, and sodium bicarbonate on production of cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* **69**, 2637-2647
- BOTTS, R.L.; HEMKEN, R.W.; BULL, L.S. (1979): Protein reserves in the lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* **62**, 433-440
- BREMMER, D.R.; TROWER, S.L.; BERTICS, S.J.; BESONG, S.A.; BERNABUCCI, U.; GRUMMER, R.R. (2000): Etiology of fatty liver in dairy cattle: Effects of nutritional and hormonal status on hepatic microsomal triglyceride transfer protein. *J. Dairy Sci.* **83**, 2239-2251
- CASTLE, M.E.; WATSON, J.N. (1961): The effect of level of concentrate feeding before and after calving on the production of dairy cows. *J. Dairy Res.* **28**, 231-243
- CHARISMIADOU, M.A.; BIZELIS, J.A.; ROGDAKIS, E. (2000): Metabolic changes during the perinatal period in dairy sheep in relation to level of nutrition and breed. 1. Late pregnancy. *J. Anim. Physiol. a Anim. Nutr.* **84**, 61-72
- CHILLIARD, Y.; ROBELIN, J. (1983): Mobilization of body proteins by early lactating dairy cows measured by slaughter and D₂O dilution techniques. 4th Int. Symp. Protein Metabolism and Nutrition, INRA Publ. II (les Colloques de l'INRA, n° 16), 195-198
- CHILLIARD, Y. (1989): Physiological constraints to milk production: Factors which determine nutrient partitioning, lactation persistency and mobilization of body reserves. *Feeding dairy cows in the tropics*, FAO Animal Production and Health Paper **86**, 22-35
- CHILLIARD, Y. (1992): Physiological constraints to milk production: Factors which determine nutrient partitioning, lactation persistency, and mobilisation of body reserves. *World Review of Animal Production*, Volume **27**, Nr. 1, 20-26
- CHILLIARD, Y. (1993): Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: A Review. *J. Dairy Sci.* **76**, 3897-3931
- CHILLIARD, Y.; BOCQUIER, F.; DOREAU, M. (1998): Digestive and metabolic adaptations of ruminants to undernutrition, and consequences on reproduction. *Reprod. Nutr. Dev.* **38**, 131-152

- CHILLIARD, Y. (1999): Metabolic adaptations and nutrient partitioning in the lactating animal. *Biology of Lactation*, (eds. MARTINET, J., HOUDEBINE, L.M.), INRA Editions, Paris, France, 503-552
- CHILLIARD, Y.; FERLAY, A.; FAULCONNIER, Y.; BONNET, M.; ROUEL, J.; BOCQUIER, F. (2000): Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 59, 127-134
- DANN, H.M.; VARGA, G.A.; PUTNAM, D.E. (1999): Improving energy supply to late gestation and early postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 1765-1778
- DAVENPORT, D.G.; RAKES, A.H. (1969): Effects of prepartum feeding level and body condition on the postpartum performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 52, 1037-1043
- DEWHURST, R.J.; MOORBY, J.M.; DHANOA, M.S.; EVANS, R.T.; FISHER, W.J. (2000): Effects of altering energy and protein supply to dairy cows during the dry period. 1. Intake, body condition, and milk production. *J. Dairy Sci.* 83, 1782-1794
- DEWHURST, R.J.; MOORBY, J.M.; DHANOA, M.S.; FISHER, W.J. (2002): Effects of level of concentrate feeding during the second gestation of Holstein-Friesian dairy cows. 1. Feed intake and milk production. *J. Dairy Sci.* 85, 169-177
- DE VRIES, M.J.; VAN DER BEEK, S.; KAAL-LANSBERGEN, L.M.T.E.; OUWELTJES, W.; WILMINK, J.B.M. (1999): Modelling of energy balance in early lactation and the effect of energy deficits in early lactation on first estrus postpartum in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 1927-1934
- DIRKSEN, G.; AHRENS, F.; SCHÖN, J.; MAYER, E.; LIEBICH, H.G. (1992): Vorbereitungs fütterung der trockenstehenden Kuh im Hinblick auf Ernährungszustand und Status von Pansenschleimhaut und Pansenflora bei der Kalbung. *Berl. Münchn. tierärztl. Wschr.* 105, 1-4
- DOEPEL, L.; LAPIERRE, H.; KENNELLY, J.J. (2002): Peripartum performance and metabolism of dairy cows in response to prepartum energy and protein intake. *J. Dairy Sci.* 85, 2315-2334
- DRACKLEY, J.K. (1999): Biology of dairy cows during the transition period: The final frontier? *J. Dairy Sci.* 82, 2259-2273
- DRACKLEY, J.K. (2002): Transition cow management and periparturient metabolic disorders. *Recent Developments and Perspectives in Bovine Medicine*, 22nd World Buiatrics Congress, Hannover, 224-235
- DUCKER, M.J.; HAGGETT, R.A.; FISHER, W.J.; MORANT, S.V. (1985): The effect of level of feeding in late pregnancy and around the time of insemination on the reproductive performance of first lactation dairy heifers. *Anim. Prod.* 41, 1-12
- DUNSHEA, F.R.; BELL, A.W. (1990): Non-esterified fatty acid and glycerol kinetics and fatty acid re-esterification in goats during early lactation. *Br. J. Nutr.* 64, 133-145
- EDMONSON, A.J.; LEAN, I.J.; WEAVER, L.D.; FARVER, T.; WEBSTER, G. (1989): A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72, 68-78
- EMERY, R.S.; HAFS, H.D.; ARMSTRONG, D.; SNYDER, W.W. (1969): Prepartum grain feeding effects on milk production, mammary edema, and incidence of diseases. *J. Dairy Sci.* 52, 345-351
- EMERY, R.S.; LIESMAN, J.S.; HERDT, T.H. (1992): Metabolism of long chain fatty acids by ruminant liver. *J. Nutr.* 122, 832-837
- ENJALBERT, F.; NICOT, M.C.; BAYOURTHE, C.; MONCOULON, R. (2001): Ketone bodies in milk and blood of dairy cows: Relationship between concentrations and utilization for detection of subclinical ketosis. *J. Dairy Sci.* 84, 583-589
- FISCHER, B.; MÄURER, H.; ENGELHARD, T.; HAACKER, W. (2002): Zur Futteraufnahme und Energieversorgung von Kühen in der frühen Trockenstehphase. *Veterinarija ir Zootechnika* 19 (41), 41-48
- FLIPOT, P.M.; ROY, G.L.; DUFOUR, J.J. (1988): Effect of peripartum energy concentration on production performance of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 71, 1840-1850
- FLUX, D.S. (1950): The effect of undernutrition before calving on the quantity and composition of milk produced by two year-old heifers. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 40, 177-184
- FOX, D.G.; VAN AMBURGH, M.E.; TYLUTKI, T.P. (1999): Predicting requirements for growth, maturity, and body reserves in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 82, 1968-1977
- FRONK, T.J.; SCHULTZ, L.H.; HARDIE, A.R. (1980): Effect of dry period overconditioning on subsequent metabolic disorders and performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 63, 1080-1090
- FÜRST, C. (2000): Züchtung auf hohe Milchleistung. 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Bericht BAL Gumpenstein, 5-10
- GARDNER, R.W. (1969): Interactions of energy levels offered to Holstein cows prepartum and postpartum. 1. Production responses and blood composition changes. *J. Dairy Sci.* 52, 1973-1984

- GARNSWORTHY, P.C.; TOPPS, J.H. (1982): The effect of body condition of dairy cows at calving on their food intake and performance when given complete diets. *Anim. Prod.* 35, 113-119
- GARNSWORTHY, P.C.; JONES, G.P. (1987): The influence of body condition at calving and dietary protein supply on voluntary food intake and performance in dairy cows. *Anim. Prod.* 44, 347-353
- GARNSWORTHY, P.C.; HUGGETT, C.D. (1992): The influence of the fat concentration of the diet on the response by dairy cows to body condition at calving. *Anim. Prod.* 54, 7-13
- GARNSWORTHY, P.C.; JONES, G.P. (1993): The effects of dietary fibre and starch concentrations on the response by dairy cows to body condition at calving. *Anim. Prod.* 57, 15-21
- GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE [GfE] – Ausschuss für Bedarfsnormen (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder, DLG-Verlag
- GIESECKE, D. (1987): Lipidmobilisation und Insulinfunktion bei Kühen mit hoher Milchleistung. *Advances Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 18, 81 S.
- GILLUND, P.; REKSEN, O.; GRÖHN, Y.T.; KARLBERG, K. (2001): Body Condition related to ketosis and reproductive performance in Norwegian dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 1390-1396
- GOFF, J.P.; HORST, R.L. (1997): Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *J. Dairy Sci.* 80, 1260-1268
- GREENHALGH, J.F.D.; GARDNER, K.E. (1958): Effect of heavy concentrate feeding before calving upon lactation and mammary gland edema. *J. Dairy Sci.* 41, 822-829
- GREIMEL, M. (1999): Milchviehspezial- und Zweinutzungsrasen im betriebswirtschaftlichen Vergleich. ZAR Seminar – Zuchtziele beim Rind, Salzburg, Tagungsunterlagen, 10-14
- GRUFFAT, D.; DURAND, D.; CHILLIARD, Y.; WILLIAMS, P.; BAUCHART, D. (1997): Hepatic gene expression of apolipoprotein B100 during early lactation in underfed, high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 657-666
- GRUM, D.E.; DRACKLEY, J.K.; YOUNKER, R.S.; LaCOUNT, D.W.; VEENHUIZEN, J.J. (1996): Nutrition during the dry period and hepatic lipid metabolism of periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 79, 1850-1864
- 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
- GRUMMER, R.R.; HOFFMAN, P.C.; LUCK, M.L.; BERTICS, S.J. (1995): Effect of prepartum and postpartum dietary energy on growth and lactation of primiparous cows. *J. Dairy Sci.* 78, 172-180
- GULAY, M.S.; HAYEN, M.J.; BACHMAN, K.C.; BELLOSO, T.; LIBONI, M.; HEAD, H.H. (2003): Milk production and feed intake of Holstein cows given short (30-d) or normal (60-d) dry periods. *J. Dairy Sci.* 86, 2030-2038
- HAMMOND, J. (1944): Physiological factors affecting birth weight. *Proc. Nutr. Soc.* 2, 8-12
- HERNANDEZ-URDANETA, A.; COPPOCK, C.E.; McDOWELL, R.E.; PIANOLA, D.; SMITH, N.E. (1976): Changes in forage-concentrate ratio of complete feeds for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 59, 695-706
- HOLCOMB, C.S.; VAN HORN, H.H.; HEAD, H.H.; HALL, M.B.; WILCOX, C.J. (2001): Effects of prepartum dry matter intake and forage percentage on postpartum performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 2051-2058
- HOLTENIUS, K.; AGENÄS, S.; DELAVALD, C.; CHILLIARD, Y. (2003): Effects of feeding intensity during the dry period. 2. Metabolic and hormonal responses. *J. Dairy Sci.* 86, 883-891
- HOLTER, J.B.; SLOTNICK, M.J.; HAYES, H.H.; BOZAK, C.K. (1990): Effect of prepartum dietary energy on condition score, postpartum energy, nitrogen partitions, and lactation production responses. *J. Dairy Sci.* 73, 3502-3511
- INGVARTSEN, K.L.; ANDERSEN, J.B. (2000): Integration of metabolism and intake regulation: a review focusing on periparturient animals. *J. Dairy Sci.* 83, 1573-1597
- JAQUETTE, R.D.; RAKES, A.H.; CROOM, W.J. (1988): Effects of body condition and protein on milk fat depression in early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71, 2123-2134
- JOHNSON, D.G.; OTTERBY, D.E. (1981): Influence of dry period diet on early postpartum health, feed intake, milk production, and reproductive efficiency of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 64, 290-295
- JONES, G.P.; GARNSWORTHY, P.C. (1989): The effects of dietary energy content on the response of dairy cows to body condition at calving. *Anim. Prod.* 49, 183-191
- JORRITSMA, R.; JORRITSMA, H.; SCHUKKEN, Y. H.; BARTLETT, P.C.; WENSING, T.; WENTINK, G.H. (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

- KEADY, T.W.J.; MAYNE, C.S.; FITZPATRICK, D.A.; McCOY, M.A. (2001): Effect of concentrate feed level in late gestation on subsequent milk yield, milk composition, and fertility of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 1468-1479
- KERTZ, A.F.; REUTZEL, L.F.; THOMSON, G.M. (1991): Dry matter intake from parturition to midlactation. *J. Dairy Sci.* 74, 2290-2295
- KIRCHGESSNER, M.; BAUER, T.G.; EIDELSBURGER U.; SCHWARZ, F.J. (1995): Zur Futteraufnahme von Kühen und Kalbinnen in der Hochträchtigkeit bei Maissilage-Vorlage. *Arch. Anim. Nutr.* 48, 367-379
- KOLVER, E.S.; MACMILLAN, K.L. (1993): Short term changes in selected metabolites in pasture fed dairy cows during peak lactation. *Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod.* 53, 77-81
- KOMARAGIRI, V.S.; CASPER, D.P.; ERDMAN, R.A. (1998): Factors affecting body tissue mobilization in early lactation dairy cows. 2. Effect of dietary fat on mobilization of body fat and protein. *J. Dairy Sci.* 81, 169-175
- KRONFELD, D.S.; DONOGHUE, S.; COPP, R.L.; STEARNS, F.M.; ENGLE, R.H. (1982): Nutritional status of dairy cows indicated by analysis of blood. *J. Dairy Sci.* 65, 1925-1933
- KUNZ, P.L.; BLUM, J.W.; HART, I.C.; BICKEL, H.; LANDIS, J. (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
- KUNZ, P.L.; BLUM, J.W. (1985): Relationships between energy balances and blood levels of hormones and metabolites in dairy cows during late pregnancy and early lactation. *Z. Tierphysiol., Tierernähr. Futtermittelkde.* 54, 239-248
- LODGE, G.A.; FISHER, L.J.; LESSARD, J.R. (1975): Influence of prepartum feed intake on performance of cows fed ad libitum during lactation. *J. Dairy Sci.* 58, 696-702
- MÄNTYSAARI, P. (1996): The effect of feeding level during pregnancy on performance of primiparous cows. 47th Annual EAAP Meeting, Lillehammer, Norway
- MARTIN, O.; SAUVANT, D. (2002) : Metaanalysis of input/output kinetics in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85, 3363-3381
- MASHEK, D.G.; BEEDE, D.K. (2001): Peripartum responses of dairy cows fed energy-dense diets for 3 or 6 weeks prepartum. *J. Dairy Sci.* 84, 115-125
- MASHEK, D.G.; BERTICS, S.J.; GRUMMER, R.R. (2002): Metabolic fate of long-chain unsaturated fatty acids and their effects on palmitic acid metabolism and gluconeogenesis in bovine hepatocytes. *J. Dairy Sci.* 85, 2283-2289
- MAZUR, A.; GUEUX, E.; CHILLIARD, Y.; RAYSSIGUR, Y. (1988): Changes in plasma lipoproteins and liver fat content in dairy cows during early lactation. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 59, 233-237
- McNAMARA, J.P. (1991): Regulation of adipose tissue metabolism in support of lactation. *J. Dairy Sci.* 74, 706-719
- McNAMARA, J.P. (1994): Lipid metabolism in adipose tissue during lactation: a model of a metabolic control system. *J. Nutr.* 124, 1383-1391
- McNAMARA, J.P. (1997): Adipose tissue mobilisation during lactation: Where do we go from here? *Proc. Nutr. Soc.* 56, 149-167
- McNAMARA, J.P. (2003): Effects of different transition diets on dry matter intake, milk production, and milk composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 2397-2408
- MILLS, S.E.; BEITZ, D.C.; YOUNG, J.W. (1986): Evidence for impaired metabolism in liver during induced lactation ketosis of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 69, 362-370
- MINOR, D.J.; TROWER, S.L.; STRANG, B.D.; SHAVER, R.D.; GRUMMER, R.R. (1998): Effects of nonfiber carbohydrate and niacin on periparturient metabolic status and lactation of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81, 189-200
- MOLLE, G.; SAN JUAN, L.; MARONGIU, L.; BOMBOI, G.; LIGIOS, C.; SANNA, A.; DISKIN, M.G.; CASU, S. (1997): Effects of BCS at calving and suckling frequency on postpartum anoestrus interval, plasma metabolites and performance of suckled cows. 48th Annual EAAP Meeting, Vienna, Austria, Poster No. 521.
- MOORBY, J.; DEWHURST, R. (1999): Feeding dry cows - down but not out. *IGER INNOVATIONS*, 53-57
- MOORBY, J.M.; DEWHURST, R.J.; TWEED, J.K.S.; DHANOA, M.S.; BECK, N.F.G. (2000): Effects of altering the energy and protein supply to dairy cows during the dry period. 2. Metabolic and hormonal responses. *J. Dairy Sci.* 83, 1795-1805
- MOORBY, J.M.; DEWHURST, R.J.; EVANS, R.T.; FISHER, W.J. (2002): Effects of varying the energy and protein supply to dry cows on high forage systems. *Livest. Prod. Sci.* 76, 125-136

- MOTTRAM, T.T.; DOBBELAAR, P.; SCHUKKEN, Y.H.; HOBBS, P.J.; BARTLETT, P.N. (1999): An experiment to determine the feasibility of automatically detecting hyperketonaemia in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 61, 7-11
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL [NRC] (2001): Unique aspects of dairy cattle nutrition. In: Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th revised edition, National Academy Press, Washington D.C., 184-213
- NOCEK, J.E., STEELE, R.L., BRAUND, D.G. (1986): Parturition grain feeding and subsequent lactation forage program effects on performance of dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 69, 734-744
- OLSSON, G.; BERGSTEN, C.; WIKTORSSON, H. (1998): The influence of diet before and after calving on the food intake, production and health of primiparous cows, with special reference to sole haemorrhages. *Anim. Sci.* 66, 75-86
- PEDRON, O.; CHELI, F.; SENATORE, E.; BAROLI, D.; RIZZI, R. (1993): Effect of body condition score at calving on performance, some blood parameters, and milk fatty acid composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76, 2528-2535
- PETHES, G.; BOKORI, J.; RUDAS, P.; FRENYO, V.L.; FEKETE, S. (1985): Thyronine, triiodthyronine, reverse-triiodthyronine, and other physiological characteristics of periparturient cows fed restricted energy. *J. Dairy Sci.* 68, 1148-1154
- QUIGLEY, J.D.; DREWRY, J.J. (1998): Nutrient and immunity transfer from cow to calf pre- and postcalving. *J. Dairy Sci.* 81, 2779-2790
- RABELO, E., BERTICS, S.J., MACKOVIC, J., GRUMMER, R.R. (2001): Strategies for increasing energy density of dry cow diets. *J. Dairy Sci.* 84, 2240-2249
- RABELO, E.; REZENDE, R.L.; BERTICS, S.J.; GRUMMER, R.R. (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
- REID, I.M.; ROBERTS, C.J.; TREACHER, R.J.; WILLIAMS, L.A. (1986): Effect of body condition at calving on tissue mobilization, development of fatty liver and blood chemistry of dairy cows. *Anim. Prod.* 43, 7-15
- REIST, M.; ERDIN, D.; von EUW, D.; TSCHUEMPERLIN, K.; LEUENBERGER, H.; CHILLIARD, Y.; HAMMON, H.M.; MOREL, C.; PHILIPONA, C.; ZBINDEN, Y.; KUENZI, N.; BLUM, J.W. (2002): Estimation of energy balance at the individual and herd level using blood and milk traits in high-yielding dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85, 3314-3327
- REYNOLDS, C.K.; AIKMAN, P.C.; LUPOLI, B.; HUMPHRIES, D.J.; BEEVER, D.E. (2003): Splanchnic metabolism of dairy cows during the transition from late gestation through early lactation. *J. Dairy Sci.* 86, 1201-1217
- ROBERTS, C.J.; REID, I.M.; DEW, S.M.; STARK, A.J.; BAIRD, G.D.; COLLINS, R.; MATHER, D. (1978): The effects of underfeeding for 6 months during pregnancy and lactation on blood constituents, milk yield and body weight of dairy cows. *J. agric. Sci. (Camb.)* 90, 383-394
- ROGERS, G.L.; GREINGER, C.; EARLE, D.F. (1979): Effect of nutrition of dairy cows in late pregnancy on milk production. *J. Exp. Agric. Anim. Husband.* 19, 7-12
- RUEGG, P.L.; MILTON, R.L. (1995): Body condition scores of Holstein cows on Prince Edward Island, Canada: Relationships with yield, reproductive performance, and disease. *J. Dairy Sci.* 78, 552-564
- RUKKWAMSUK, T.; WENSING, T.; GEELLEN, J.H. (1998): Effect of overfeeding during the dry period on regulation of adipose tissue metabolism in dairy cows during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 81, 2904-2911
- RUKKWAMSUK, T.; KRUIP, T.A.M.; MEJER, G.A.L.; WENSING, T. (1999a): Hepatic fatty acid composition in periparturient dairy cows with fatty liver induced by intake of a high energy diet in the dry period. *J. Dairy Sci.* 82, 280-287
- RUKKWAMSUK, T.; WENSING, T.; GEELLEN, M.J.H. (1999b): Effect of fatty liver on hepatic gluconeogenesis in periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 500-505
- RUKKWAMSUK, T.; WENSING, T.; GEELLEN, M.J.H. (1999c): Effect of overfeeding during the dry period on the rate of esterification in adipose tissue of dairy cows during the periparturient period. *J. Dairy Sci.* 82, 1164-1169
- RYAN, G.; MURPHY, J.J.; CROSSE, S.; RATH, M. (2003): The effect of pre-calving diet on post-calving cow performance. *Livest. Prod. Sci.* 79, 61-71
- SCHMIDT, G.H.; SCHULTZ, L.H. (1959): Effect of three levels of grain feeding during the dry period on the incidence of ketosis, severity of udder edema, and subsequent milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 42, 170-179

- SCHWARZ, F.J. (2000): Fütterung hochleistender Milchkühe (Energie- und Proteinversorgung, Wiederkäuergerechtigkeit). 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Bericht BAL Gumpenstein, 19-25
- SCHWARZ, F.J.; BAUER, T.G.; EIDELSBURGER, U.; KIRCHGESSNER, M. (1995): Zur Futteraufnahme und Milchleistung von Kühen zu Laktationsbeginn nach unterschiedlicher Energieversorgung in der Hochträchtigkeit. *Wirtschaftseig. Futter* 41, 275-292
- SEGERT, A.; v. LENGERKEN, G.; FAHR, R.-D. (1996): Evaluation and impact of fat deposition in heifers and dairy cows. 47th Annual EAAP Meeting, Lillehammer, Norway, Cattle Commission, Session III, Free communication.
- STEINGASS, H.; VAN ACKERN, C.; WOHLFORM, U.; DROCHNER, W. (2002): Maßnahmen der Fütterung im peripartalen Zeitraum bei Milchkühen. Proc. 11th Conference on Nutrition of Domestic Animals, Radenci, Slovenia, 25-34
- STUDER, V.A.; GRUMMER, R.R.; BERTICS, S.J.; REYNOLDS, C.K. (1993): Effect of propylene glycol administration on periparturient fatty liver in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76, 2931-2939
- SWALVE, H.H. (1999): Gibt es Grenzen in der Zucht auf Milchleistung? – Aus der Sicht der Züchtung. *Züchtungskde.* 71, 428-436
- SWANSON, E.W. (1960): Effect of rapid growth with fattening of dairy heifers on their lactational ability. *J. Dairy Sci.* 43, 377-387
- SWANSON, E.W.; HINTON, S.A. (1962): Effects of adding concentrates to ad libitum roughage feeding in the dry period. *J. Dairy Sci.* 45, 48-54
- TAMMINGA, S.; LUTEIJN, P.A.; MEIJER, R.G.M. (1997): Changes in composition and energy content of liveweight loss in dairy cows with time after parturition. *Livest. Prod. Sci.* 52, 31-38
- TESFA, A.T.; TUORI, M.; SYRJÄLÄ-QVIST, L.; PÖSÖ, R.; SALONIEMI, H.; HEINONEN, K.; KIVILAHTI, K.; SAUKKO, T.; LINDBERG, L.-A. (1999): The influence of dry period feeding on liver fat and postpartum performance of dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 76, 275-295
- THOMET, P.; RÄTZER, H.; DURGIAL, B. (2002): Effizienz als Schlüssel für die wirtschaftliche Milchproduktion. *Agrarforschung* 9, 404-409
- TREACHER, R.J.; REID, I.M.; REBERTS, C.J. (1986): Effect of body condition at calving on the health and performance of dairy cows. *Anim. Prod.* 43, 1-6
- VANDEHAAR, M.J.; YOUSIF, G.; SHARMA, B.K.; HERDT, T.H.; EMERY, R.S.; ALLEN, M.S.; LIESMAN, J.S. (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 HOUTERT, M.F.J. (1993): The production and metabolism of volatile fatty acids by ruminants fed roughages: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 43, 189-225
- VAN SAUN, R.J.; SNIFFEN, C.J. (1996): Nutritional management of the pregnant dairy cow to optimise health, lactation and reproductive performance. *Anim. Feed Sci. Technol.* 59, 13-26
- VAZQUEZ-ANON, M.; BERTICS, S.; LUCK, M.; GRUMMER, R.R. (1994): Peripartum liver triglyceride and plasma metabolites in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77, 1521-1528
- VEENHUIZEN, J.J.; DRACKLEY, J.K.; RICHARD, M.J.; SANDERSON, T.P.; MILLER, L.D.; YOUNG, J.W. (1991): Metabolic changes in blood and liver during development and early treatment of experimental fatty liver and ketosis. *J. Dairy Sci.* 74, 4238-4253
- WALTNER, S.S.; McNAMARA, J.P.; HILLERS, J.K. (1993): Relationships of body condition score to production variables in high producing Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 76, 3410-3419
- WINDISCH, W.; KIRCHGESSNER, M.; BLUM, J.W. (1991): Konzentrationen an Hormonen und Stoffwechselfparametern im Blutplasma laktierender Milchkühe während und nach Energie- und Proteinmangel. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 65, 21-27
- WILTROUT, D.W.; SATTER, L.D. (1972): Contribution of propionate to glucose synthesis in the lactating and nonlactating cow. *J. Dairy Sci.* 55, 307-317
- YADAVA, R.K.; GILMORE, L.O.; CONRAD, H.R. (1974): The effect of body condition at calving on milk production in dairy cow. *Indian J. Dairy Sci.* 27, 258-263
- YOUNG, J.W. (1977): Gluconeogenesis in cattle: significance and methodology. *J. Dairy Sci.* 60, 1-15
- ZENTRALE MARKT- und PREISBERICHTERSTATTUNG (2003): Agrarmärkte in Zahlen, Europäische Union 2002. www.zmp.de, 22.01.2003

INFLUENCE OF ENERGY SUPPLY PRE AND POST PARTUM ON PERFORMANCE OF MULTIPAROUS DAIRY COWS IN EARLY LACTATION

L. Gruber^{a,*}, M. Urdl^a, W. Obritzhauser^b, A. Schauer^a and J. Häusler^a

ABSTRACT

An experiment was conducted to evaluate the effects of *pre partum* (PRE) and *post partum* (POST) dietary energy supply (E) and their interactions on lactation performance of dairy cows. In a feeding trial with a 3×3 ($E_{\text{PRE}} \times E_{\text{POST}}$) factorial design, 81 multiparous cows of the breeds Holstein-Friesian (n = 27), Brown Swiss (n = 27) and Simmental (n = 27) were assigned to one of three 84 d treatments before expected calving until parturition. Treatments consisted of diets intended to supply 75% (L_{PRE}), 100% (M_{PRE}) or 125% (H_{PRE}) of the energy requirements recommended by the German Society of Nutrition Physiology. Post-calving cows were assigned to sub-groups and offered diets intended to provide 75% (L_{POST}), 100% (M_{POST}) or 125% (H_{POST}) of energy requirements until 105 d of lactation. Dry matter intake (DMI) was restricted if energy intake (EI) exceeded experimental target values. *Pre partum* DMI and EI were different as designed. *Post partum*, DMI and EI varied considerably between treatments (interaction of $E_{\text{PRE}} \times E_{\text{POST}}$) due to the different concentrate levels. The highest DMI was almost twice that of the lowest. During the lactation period, cows assigned to low energy supply pre-calving (L_{PRE}) had lower DMI, milk yield, milk fat yield and milk protein yield compared to M_{PRE} or H_{PRE} cows. Energy-corrected milk (ECM) yield was 25.4, 28.5 and 30.0 kg/d, respectively. Overfeeding energy in the dry period resulted in a lower energy balance in the following lactation. Energy supply post-calving affected milk production in a similar, but more pronounced way. ECM yield of L_{POST} cows was lower than of cows assigned to M_{POST} and H_{POST} (21.4, 30.0 and 32.5 kg/d, respectively). Milk protein content and milk component yields increased with every increase of postpartal energy level. There were no interactions between $E_{\text{PRE}} \times E_{\text{POST}}$ regarding milk yield and milk composition. In H_{POST} treatments a mean forage to concentrate ratio of 46:54 (DM basis) was observed. With this diet, energy requirements were exceeded by only 5%, indicating that excessive EI of high-yielding dairy cows during early lactation is unlikely. It is concluded that restricting energy intake to 25% below requirements, both in the dry period and *post partum*, is detrimental for lactation performance and should be avoided by adequate nutritional management.

Keywords: dry period, post-calving nutrition, energy intake, milk production

^a Institute of Livestock Research, Agricultural Research and Education Center Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning, Austria

^b Chamber of Veterinaries, Hietzinger Kai 87, A-1130 Vienna, Austria

* Corresponding author: Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, *E-mail:* leonhard.gruber@raumberg-gumpenstein.at

1. IMPLICATIONS

Different nutritional strategies can impact dairy cows' lactational performance. This study evaluated the effect of varying dietary energy level, both pre- and post-calving. A low energy supply (L) decreased milk yield considerably, independent of feeding period, and is thus not suitable for high-yielding cows. Overfeeding energy (H) during the dry period did not improve milk yield post-calving compared to a medium energy supply (M). In addition, H pre-calving resulted in a lower energy status of cows post-calving. Meeting dairy cows' energy requirements in early lactation by way of M or H is necessary to avoid economic losses in milk production.

2. INTRODUCTION

Over the last decade, significant increases in milk production have been realized in Europe due to the continuously increasing genetic merit of dairy cows and the intensified use of concentrates (Knaus, 2009). Energy requirements of dairy cows increase two- to three-fold from 21 d before to 21 d after calving (Drackley *et al.*, 2001). As DMI, and thus the amount of nutrient and energy obtained from dietary sources, lags far behind requirements during early lactation, this consequently results in a negative energy balance. The mobilization of nutrients, mainly from adipose tissue (McNamara, 1991), but also from skeletal muscle, to provide an adequate supply to the mammary gland is regulated by an insulin-resistant state which accompanies the negative energy balance of early lactation (Bauman, 2000). In order to fully understand changes occurring in the biology of dairy cows during the periparturient period, and with the goal of maximizing milk production in the subsequent lactation and minimizing incidences of disease, numerous studies have been conducted in this area in the last 20 years (e.g. reviews of Lins *et al.*, 2003; Friggens *et al.*, 2005). Feeding strategies in these experiments have either focused on maximizing DMI or energy intake during the close-up period, or in contrast, on limiting energy supply during the dry period to promote a high DMI *post partum* (Dann *et al.*, 2006). Regarding the effects of pre-calving DMI and energy intake on post-calving feed intake and milk production, results are still inconclusive and warrant further study (Remppis *et al.*, 2011).

Although increasing the energy density of post-calving diets by increasing concentrate supplementation improves milk production (Friggens *et al.*, 1998; McNamara *et al.*, 2003), there is evidence that as the level of concentrate feeding increases, milk yield responses to additional concentrate in the ration are reduced considerably (Huhtanen, 1998). Decreased milk yield when energy or feed was restricted *post partum* was reported by Kunz *et al.* (1985) and Roche (2007), interactions of pre- and post-calving nutrition were existent in the study by Law *et al.* (2011). A smooth and successful transition from the late gestation to the early lactation period is of crucial importance because it effectively determines the profitability of cows during that lactation (Drackley, 1999).

Therefore, the objectives of the current study were to investigate the effects of pre-calving and post-calving dietary energy supply and their interactions on feed intake, performance and energy status of multiparous cows in the dry period and in the subsequent early lactation period.

3. MATERIAL AND METHODS

The study was conducted at the Federal Agricultural Research and Education Center (AREC) Raumberg-Gumpenstein in the province of Styria, Austria. Cows were managed in compliance with good husbandry practices (Austrian Ministry of Health, 2004).

3.1 Animals and housing

A total of 81 multiparous cows (mean \pm SD = 2.69 \pm 1.8 parities) of the breeds Holstein-Friesian (HF, n = 27), Brown Swiss (BS, n = 27) and Simmental (SI, n = 27) with an average BW of 662 \pm 77 kg were used in the feeding trial. Animals were housed in individual tie stalls with rubber mat bedding and free access to fresh water throughout the experiment. All cows were allowed to exercise daily in an outside lot from 1300 to 1500 h.

3.2 Experimental design, diets, and feeding

A pre-experimental period of two wk was used. The forage diet during this period consisted of 1/3 hay, 1/3 grass silage and 1/3 corn silage (DM basis). From -98 d through -92 d before they were due to calve, cows were fed according to energy requirements and milk yield and milk composition were recorded to obtain covariates for milk yield potential in the statistical analyses. From -91 d through -85 d before they were due to calve, cows received a ration consisting of 85% forage and 15% concentrates, in order to obtain covariates for feed intake capacity. Average milk yield (-98 to -92 d), average feed intake (-91 to -85 d) and BW measured once in this pre-experimental period served as a basis for allocation of the animals to the treatment groups. The experiment was a randomized block design with a 3 \times 3 factorial arrangement of treatments (3 energy supply levels pre-calving \times 3 energy supply levels post-calving). Cows were studied from 84 d before they were due to calve until 105 d into the following lactation. Animals were assigned to treatments in a balanced manner according to breed, parity and covariates obtained during the preliminary period. At the start of the experiment, there were no differences in ECM yield (13.2 \pm 4 kg/d). Pre-calving (PRE) treatments consisted of a low (L), medium (M) and high (H) energy supply (E) to provide 75%, 100%, and 125% of energy requirements according to recommendations of the German Society of Nutrition Physiology (GfE, 2001), respectively. Cows were dried off 66 \pm 7 d before calving. After parturition cows were assigned at random to sub-groups differing in energy supply. Post-calving (POST) treatments were L, M and H to provide 75%, 100%, and 125% of energy requirements (GfE, 2001), respectively. Thus, during the lactation period of the study there were 9 experimental groups: LL, LM, LH, ML, MM, MH, HL, HM, and HH.

Forage diets consisted of varying proportions of grass silage, corn silage and hay, differing in energy density (Table 1). To achieve the intended experimental energy supply, treatments dif-

Table 1: Composition of experimental forage diets intended to supply low (L), medium (M), or high (H) energy levels during the pre and post partum period, and concentrate level in the respective treatments

Item	Treatment		
	L	M	H
Component (% of forage DM)			
Hay, low quality	40	20	–
Hay, high quality	–	20	40
Grass silage	40	30	20
Corn silage	20	30	40
Concentrate ¹ (% of total DM)			
Dry period ²	–	–	–
Post partum	- 0.250 + 0.014 \times ECM ³	- 0.275 + 0.028 \times ECM	- 0.300 + 0.060 \times ECM
(Min – Max)	(0 – 50)	(0 – 55)	(0 – 60)

¹ Concentrate (% in DM): 24% corn grain, 16% barley, 16% sugar beet pulp, 12% wheat, 12% wheat bran, 6.7% soybean meal, 6.7% rapeseed meal and 6.7% sunflower meal; nutrient values: 182 g CP kg⁻¹ DM, 182 g utilizable CP at the duodenum (GfE, 2001) kg⁻¹ DM, 7.83 MJ NEL kg⁻¹ DM.

² To adapt rumen microbes to the lactation rations, all cows were fed 1 kg concentrates for 1 wk before they were due to calve.

³ Energy-corrected milk = (0.38 \times milk fat% + 0.21 \times milk protein% + 0.95) \times milk yield / 3.2 (GfE, 2001).

ferred mainly in concentrate level (Table 1). During the dry period no concentrates were fed. If energy intake exceeded the experimental target values, feed intake was restricted. Cows in H_{POST} treatments were fed *ad libitum*. Forages were offered separately in amounts calculated to result in refusals of 5.0% (*pre* and *post partum*). Feeding order was as follows: (1) concentrate + minerals, (2) hay (3) corn silage and (4) grass silage. Feeding times were 0430–0830 h and 1500–1900 h. During the dry period minerals were top-dressed on the corn silage to ensure full intake.

To adapt rumen microbes to the lactation rations, all cows were fed 1 kg concentrates for 1 wk before they were due to calve. Concentrate amounts were increased progressively during the first wk of lactation (0.3, 0.6 and 0.9 kg increase per d in L_{POST} , M_{POST} and H_{POST} , respectively). Subsequently concentrate proportions were assigned according to experimental design. Concentrate amounts were increased in 1 kg steps per d, if necessary. To avoid rumen acidosis, concentrate amounts higher than 4 kg per meal were offered in 3 portions.

The concentrate was composed of 24% corn grain, 16% barley, 16% sugar beet pulp, 12% wheat, 12% wheat bran, 6.7% soybean meal, 6.7% rapeseed meal and 6.7% sunflower meal. Nutrient values of the concentrate were 182 g CP kg⁻¹ DM, 182 g utilizable CP at the duodenum (nXP; GfE, 2001) kg⁻¹ DM, and 7.83 MJ NEL kg⁻¹ DM. Ingredients were chosen to achieve a balanced ruminal nitrogen balance (RNB; GfE, 2001) in all treatments and at all milk yield levels. Minerals were supplied according to current recommendations (GfE, 2001) in all groups with a premixed mineral supplement (92 g Ca, 126 g P, 117 g Na, and 43 g Mg kg⁻¹). Additionally, all cows received 80 g of a mineral-vitamin mix containing 520 mg kg⁻¹ Fe, 1,400 mg kg⁻¹ Mn, 5,400 mg kg⁻¹ Zn, 220 mg kg⁻¹ Cu, 150 mg kg⁻¹ J, 13 mg kg⁻¹ Co, 6 mg kg⁻¹, 1,000 kIU/kg of vitamin A, and 110 kIU/kg of vitamin D3 per day.

3.3 Measurements and chemical analyses

Cows were milked twice daily at 0500 and 1600 h. Milk yield was recorded at the morning and evening milking (Tru-Test, Westfalia). Milk compositional analysis was conducted daily with individual samples taken at each milking and pooled for one day. Average milk protein, fat, lactose and milk urea concentrations were determined by an infrared spectrophotometric method using a Milkoscan instrument (Foss Electric) at an official Austrian milk recording laboratory. Body weight (BW) of the animals was recorded weekly. Feeds offered and refusals were determined daily at each meal and analyzed for DM (drying at 105°C for 24 h). Daily feed samples were pooled over four wk and subjected to oven drying for DM determination, proximate analysis [CP, ether extract (EE), crude fiber (CF), crude ash (CA)] according to the guidelines of the Association of German Agricultural Analytic and Research Institutes (VDLUFA, 2007), and analysis of cell wall constituents NDF, ADF, and ADL (Van Soest *et al.*, 1991), both using devices of Tecator.

3.4 Data calculation

Data calculations followed the GfE methodology (2001): $ECM = (0.38 \times \text{milk fat}\% + 0.21 \times \text{milk protein}\% + 0.95) \times \text{kg of milk} / 3.2$, maintenance requirements (NE_M) = $0.293 \times BW^{0.75}$, pregnancy requirements (NE_C) = $(0.044 \times \exp^{0.0165 \times \text{days pregnant}} + 0.01905 \times \text{days pregnant} - 3.6619) / 0.175 \times 0.6$, lactation requirements (NE_{LAC}) = $(0.38 \times \text{milk fat}\% + 0.21 \times \text{milk protein}\% + 1.05) \times \text{daily milk yield}$. The net energy intake (NE_I) of each cow was determined by multiplying the individual DMI with the calculated energy density of the total diet. The mean energy content of the diets was calculated based on the digestibility values of the individual feedstuffs. Estimated daily energy balance (DEB) was calculated by subtracting energy requirements from energy intake as follows: In the *pre partum* period $DEB = NE_I - (NE_M + NE_C)$, in the *post partum* period $DEB = NE_I - (NE_M + NE_{LAC})$, and was expressed in MJ/d. Days pregnant were calculated

retrospectively, using actual calving dates. In calculating DEB, neither mobilization nor retention of body tissue were accounted for in cases of negative or positive energy balance, respectively.

3.5 Statistical analyses

Data of pre- and post-calving periods were analyzed separately. Statistical analyses were conducted using the SAS GLM procedure (version 9.2; SAS Institute, 2010) with the following model:

$$y_{ijklmno} = \mu + E_{PREi} + E_{POSTj} + B_k + P_l + (E_{PRE} \times E_{POST})_{ij} + (E_{PRE} \times B)_{ik} + (E_{PRE} \times P)_{il} + (E_{POST} \times B)_{jk} + (E_{POST} \times P)_{jl} + MY_m + DMI_n + BW_o + \varepsilon_{ijklmno}$$

where $y_{ijklmno}$ = an observation from the i th pre-calving treatment, j th post-calving treatment, k th breed and l th parity; μ = the grand mean; E_{PREi} = effect of the i th pre-calving treatment; E_{POSTj} = effect of the j th post-calving treatment; B_k = effect of the k th breed; P_l = effect of the l th parity; $(E_{PRE} \times E_{POST})_{ij}$ = effect of the pre-calving treatment by post-calving treatment interaction; $(E_{PRE} \times B)_{ik}$ = effect of the pre-calving treatment by breed interaction; $(E_{PRE} \times P)_{il}$ = effect of the pre-calving treatment by parity interaction; $(E_{POST} \times B)_{jk}$ = effect of the post-calving treatment by breed interaction; $(E_{POST} \times P)_{jl}$ = effect of the post-calving treatment by parity interaction; MY_m = continuous covariate pre-experiment milk yield; DMI_n = continuous covariate pre-experiment feed intake; BW_o = continuous covariate pre-experiment body weight; and $\varepsilon_{ijklmno}$ = random residual error.

The effect of E_{POST} and its interactions were not accounted for in the statistical model of the pre-calving period. Differences of least squares means were calculated with the PDIF option of the LSMEANS statement using Tukey's method for the adjustment of multiple comparisons.

4. RESULTS

The forage composition, concentrate proportion, and the nutrient content of the total rations, based on realized feed intake, is shown in Table 2. The experiment focused on investigating the effects of differing energy supply. This was designed by varying NEL content of diets and restricting DMI, if necessary. The observed nXP balance was positive in all dietary groups except for the L_{POST} treatments. Nevertheless, there is wide agreement on the existing strong correlation of energy intake with microbial protein flow to the duodenum. Thus, a similar supply of crude protein in all treatment groups neither would result in equal nXP supply. Animals should be provided with sufficient rumen degradable protein. Based on the RNB values (Tables 2 and 5), this prerequisite for efficient microbial protein synthesis was achieved quite well. Therefore, the results are discussed based on differences in NEL intake, taking into account that potential effects could possibly be attributed to differences in nXP supply. The effect of breed was significant in many *pre* and *post partum* performance variables and will be discussed in a separate paper.

4.1 Production parameters in the dry period

Apart from the wk before animals were due to calve, when 1 kg of concentrates was fed to adapt rumen microbes to the lactation diet, only forages were fed in different proportions. DMI increased ($P < 0.001$) in a linear manner from treatment L to H (Table 3). With this feeding regime, the difference ($P < 0.001$) of DEB between L_{PRE} and H_{PRE} was 28.6 MJ NEL/d (53% expressed in terms of energy requirements). In contrast to treatments L_{PRE} and M_{PRE} , where the intended energy supply could be maintained through increasing feed intake, the DMI of cows in treatment H_{PRE} could not be increased in the last weeks of gestation (Figure 1). In this group

Table 2: Forage composition, concentrate proportion and nutrient content of total rations¹ supplying low (L), medium (M), or high (H) energy levels

Item	Period ²			Period ²		
	Dry period			Early lactation		
	L	M	H	L	M	H
Components						
Hay (% of forage DM)	38.6	38.7	38.9	38.1	38.0	40.3
Grass silage (% of forage DM)	41.1	30.7	18.8	39.7	29.4	21.1
Corn silage (% of forage DM)	20.3	30.7	42.3	22.2	32.6	38.6
Concentrate (% of total DM)	1.7	1.4	1.7	11.9	46.8	53.7
Nutrient values						
Crude protein (g/kg DM)	116	111	109	121	145	151
RNB ³ (g/kg DM)	0.3	-1.2	-2.2	0.1	-0.4	-0.5
Crude fat (g/kg DM)	24	25	25	24	24	23
NfE (g/kg DM)	490	510	530	509	576	592
NDF (g/kg DM)	496	494	486	476	379	360
Digestibility ⁴ (% OM)	62.6	65.3	68.0	64.6	74.6	76.8
ME ⁵ (MJ/kg DM)	8.65	9.10	9.53	9.01	10.64	11.01
NEL (MJ/kg DM)	5.03	5.33	5.62	5.28	6.46	6.73

¹ based on actual feed intake.

² Period: Dry period = -66 ± 7 d before parturition until calving; early lactation = calving until 105 d of lactation.

³ RNB = ruminal nitrogen balance (GfE, 2001).

⁴ Nutrient digestibility values of individual feedstuffs determined in vivo using wethers (concentrate with the regression method).

⁵ calculated according to GfE (1995).

Table 3: Least squares means of dry matter intake (DMI) and nutrient intake of multiparous cows during the dry period fed diets supplying low (L), medium (M), or high (H) energy levels pre partum

Variable	Treatment			r.s.d.	Significance ¹ E _{PRE}	R ²
	L	M	H			
Forage DMI (kg/d)	7.37 ^c	9.38 ^b	12.15 ^a	0.53	***	0.952
Concentrate DMI (kg/d)	0.13 ^b	0.13 ^b	0.21 ^a	0.09	**	0.504
Minerals (kg DM/d)	0.128 ^b	0.128 ^b	0.133 ^a	0.005	**	0.406
Total DMI (kg/d)	7.64 ^c	9.64 ^b	12.49 ^a	0.55	***	0.950
Total DMI (g/(kg BW ^{0.75} ×d))	59 ^c	74 ^b	89 ^a	4	***	0.930
CP (g/d)	886 ^c	1075 ^b	1361 ^a	82	***	0.895
nXP ² (g/d)	874 ^c	1143 ^b	1537 ^a	74	***	0.950
NEL (MJ/d)	38.4 ^c	51.4 ^b	70.2 ^a	3.4	***	0.954
DEB (MJ NEL/d)	-14.2 ^c	-2.2 ^b	14.4 ^a	2.9	***	0.958
Energy balance ³ (%)	73 ^c	96 ^b	126 ^a	5	***	0.960
Liveweight (kg)	660	668	727	58	***	0.665
Liveweight change (kg/d)	0.54	0.97	1.20	0.31	***	0.597

^{a-c} Means within a row with different superscripts differ.

¹ P values indicated by *P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001.

² nXP = utilizable crude protein at the duodenum (GfE, 2001).

³ Percentage of NEL requirements.

even a slight depression of DMI could be observed from wk -3 prior to parturition until calving. The corresponding magnitude of depression of DEB in treatment H_{PRE} between wk -3 and the day before calving was 14.3 MJ NEL/d (Figure 1), a drop from 117% to 94% in terms of energy requirements.

4.2 Milk yield and milk composition in the lactation period (1 to 105 DIM)

Energy supply before parturition (main effect of E_{PRE}) had a major impact on milk production variables post-calving (Table 4). Milk yield of cows in treatment L_{PRE} was significantly lower (P < 0.001) than in groups M_{PRE} and H_{PRE}, the differences being 3.2 and 4.6 kg ECM/d, respectively. Milk protein (P = 0.268) and milk fat contents (P = 0.544) were not influenced

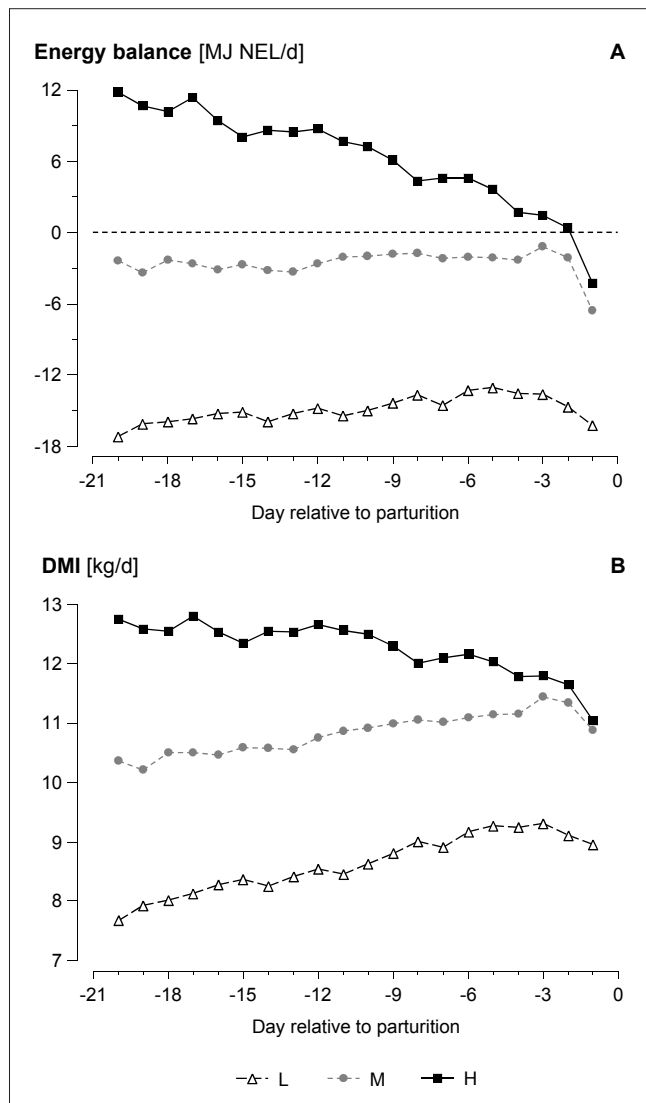


Figure 1: Least squares means of energy balance (panel A) and dry matter intake (DMI, panel B) of multiparous cows fed diets supplying low (L), medium (M), or high (H) energy levels during the pre partum period.

H_{POST} , M_{POST} and L_{POST} , respectively; $P < 0.001$). Milk protein content was lowest ($P < 0.001$) in L_{POST} , as compared to M_{POST} and H_{POST} , the differences being 0.27% and 0.40%, respectively. Milk fat content was highest ($P < 0.001$) in L_{POST} , intermediate in M_{POST} , and lowest in H_{POST} . Milk lactose contents in treatments H_{POST} and M_{POST} were higher ($P < 0.001$) than in L_{POST} .

4.3 DMI and energy intake in the lactation period

There were no significant interactions between $E_{PRE} \times E_{POST}$ with regard to forage intake ($P = 0.281$), which averaged 10.6 kg DM (Table 5). Concentrate intake was highest ($P = 0.007$) in H_{POST} groups, where an average F:C ratio (DM basis) of 46:54 was realized. Energy restriction, in order to achieve targeted energy supply values, led to considerably varying concentrate intake ($P = 0.007$) and total DMI ($P = 0.023$). The highest feed intake (MH) was almost twice that of the lowest (LL). In contrast to the feed restricted treatments (L_{POST} , M_{POST}), where high E_{POST} led to the highest feed intake, in *ad libitum* fed groups DMI and subsequently NEL intake was

by E_{PRE} , averaging 3.22% and 4.23%, respectively. Milk lactose content was lower ($P = 0.031$) in L_{PRE} than in M_{PRE} and H_{PRE} . Yields of milk components all differed significantly ($P < 0.01$). Milk protein yield was lowest in L_{PRE} and highest in H_{PRE} , treatment M_{PRE} was between the two. Milk fat yield in group L_{PRE} was lower than in M_{PRE} and H_{PRE} . Milk urea content was in a similar range ($P = 0.194$) in all pre-calving treatments, averaging 22.7 mg/100 ml.

There were no significant interactions between $E_{PRE} \times E_{POST}$ regarding milk yield and composition (Figures 2 and 3). Only in H_{POST} treatments a tendency ($P = 0.059$) for higher milk protein contents was observed with lower energy supply before calving (3.45, 3.39, and 3.37 in LH, MH, and HH, respectively). This was in contrast to M_{POST} and L_{POST} treatments, where milk protein content increased with a higher *pre partum* energy supply.

Influence of energy supply after calving was significant in almost all relevant production variables (Table 4). Only milk urea content was not affected ($P = 0.656$) averaging 22.7 mg/100 ml. Milk yield was higher ($P > 0.001$) in treatments H_{POST} (+11.0 kg ECM/d) and M_{POST} (+8.5 kg ECM/d) compared to treatment L_{POST} . This was also true for yields of milk protein ($P < 0.001$), milk fat ($P < 0.001$), and milk lactose (1.562, 1.427 and 0.977 kg/d in

Table 4: Main effects of a low (L), medium (M), or high (H) energy supply during the pre and post partum period on milk production variables (least squares means) of multiparous cows from 1 to 105 d of lactation

Variable	Treatment						r.s.d.	Significance ¹		R ²
	pre partum			post partum				E _{PRE}	E _{POST}	
	L	M	H	L	M	H				
Milk yield (kg/d)	25.3 ^b	28.2 ^a	29.4 ^a	20.9 ^b	29.6 ^a	32.3 ^a	3.5	***	***	0.846
ECM ² yield (kg/d)	25.4 ^b	28.5 ^a	30.0 ^a	21.4 ^b	30.0 ^a	32.5 ^a	3.8	***	***	0.839
Milk fat (%)	4.17	4.24	4.28	4.41 ^a	4.21 ^{ab}	4.07 ^b	0.35		*	0.498
Milk fat yield (kg/d)	1.06 ^b	1.19 ^a	1.26 ^a	0.94 ^b	1.25 ^a	1.32 ^a	0.18	**	***	0.797
Milk protein (%)	3.20	3.22	3.26	3.00 ^c	3.27 ^b	3.40 ^a	0.12		***	0.812
Milk protein yield (kg/d)	0.81 ^b	0.92 ^a	0.96 ^a	0.63 ^c	0.97 ^b	1.10 ^a	0.11	***	***	0.878
Milk lactose (%)	4.74 ^b	4.79 ^{ab}	4.80 ^a	4.68 ^b	4.83 ^a	4.83 ^a	0.09	*	***	0.642
SCC (×1,000 cells/ml)	133	100	152	142	116	126	127			0.410
Milk urea (mg/dl)	20.3	24.1	23.8	24.1	22.6	21.5	8.0			0.301

^{a-c} Means within a row with different superscripts differ.

¹ P values indicated by * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

² Energy-corrected milk = $(0.38 \times \text{milk fat}\% + 0.21 \times \text{milk protein}\% + 0.95) \times \text{milk yield} / 3.2$ (GfE, 2001).

numerically lower in HH as compared to LH and MH ($P > 0.1$), starting in wk 5 of lactation (Figure 2). Energy balance (DEB, and % of NEL requirements) in treatment LH was significantly higher ($P < 0.001$) as compared to HH, and in MH a tendency ($P = 0.09$) towards a greater DEB was observed. In L_{POST} and M_{POST} treatments DEB did not differ ($P > 0.1$). Mean DMI was 13.7, 19.4, and 22.4 kg/d, and energy intake averaged 72.9, 125.6, and 150.8 MJ NEL/d in treatments L_{POST}, M_{POST}, and H_{POST}, respectively ($P < 0.001$), corresponding to 69, 93, and 105% of energy requirements.

Although statistical analysis revealed an effect of energy level *pre partum* on feed intake *post partum* (Table 5, $P = 0.029$), interpretation of results is difficult due to the controlled offering of feed post-calving (only cows in H_{POST} treatments were fed *ad libitum*).

5. DISCUSSION

5.1 DMI and energy status in the dry period

In late gestation, a typical decline of 20–30% in dry matter intake of dairy cows can be observed (Bertics *et al.*, 1992; Dann *et al.*, 2005). Fetal growth and an accompanying reduction in abdominal space have been stated as reasons for this *pre partum* decrease in DMI (National Research Council, 2001). In contrast to other species and to Jersey cows, it has been demonstrated that in Holstein dairy cows, ruminal capacity did not limit feed intake as parturition approached (Park *et al.*, 2011). In the present study with HF, BS and SI cows, a 12% depression in DMI could be observed in the H_{PRE} treatment in the last three wk before calving. Energy balance already began to decrease in wk -7.

In the study by Law *et al.* (2011), multiparous cows offered *ad libitum* access to a high energy density diet pre-calving showed significantly higher DMI in the last 21 d before parturition than animals with restricted access to a low energy density diet (10.2 kg vs. 6.6 kg DMI). Daily energy balance in these high and low energy treatments were +0.2 MJ ME/d and -40.9 MJ ME/d. Accordingly, the high energy group of the experiment mentioned above corresponds approximately to treatment M_{PRE}, where a DMI of 10.8 kg and a DEB of -2.8 MJ NEL/d was achieved. Cows of the L_{PRE} treatment had a relatively higher energy status compared to those of the low energy treatment in the Law *et al.* (2011) study. The greater DMI depression of the H_{PRE} cows of the present study supports the hypothesis of Rabelo *et al.* (2003), stating that the drop in DMI as

Table 5: Least squares means of post partum dry matter intake (DMI) and nutrient intake of multiparous cows fed diets supplying low (L), medium (M), or high (H) energy levels during the pre and post partum period

Variable	Treatment (pre partum / post partum) ¹										r.s.d.	Significance ²			R ²
	LL	LM	LH	ML	MM	MH	HL	HM	HH	E _{PRE}		E _{POST}	E _{PRE} × E _{POST}		
Forage DMI (kg/d)	11.44	10.14	10.11	11.72	9.99	10.72	12.11	9.81	9.73		***		0.737		
Concentrate DMI (kg/d)	1.20	7.96	12.20	1.74	9.40	12.21	2.30	10.23	11.61	*	***	**	0.967		
Minerals (kg DM/d)	0.200	0.207	0.226	0.212	0.224	0.228	0.221	0.232	0.253	**	*		0.571		
Total DMI (kg/d)	12.85	18.30	22.53	13.68	19.61	23.16	14.64	20.27	21.59	*	***	*	0.930		
Total DMI (g/(kg BW ^{0.75} × d))	110	148	182	115	162	179	116	159	169		***	§	0.908		
CP (g/d)	1,563	2,619	3,367	1,653	2,850	3,565	1,813	3,010	3,226	*	***	*	0.932		
nXP ³ (g/d)	1,525	2,660	3,466	1,658	2,907	3,580	1,805	3,047	3,313	*	***	*	0.950		
RNB ⁴ (g/d)	6.1	-6.5	-15.8	-0.8	-9.1	-2.4	1.4	-5.9	-14.1		*		0.457		
NEL (MJ/d)	66.6	116.5	152.0	73.1	127.3	155.0	79.0	132.9	145.3	*	***	*	0.950		
DEB (MJ NEL/d)	-28.7	-8.3	13.2	-34.7	-9.5	8.4	-36.1	-11.5	-3.3		***	*	0.921		
Energy balance ⁵ (%)	70	94	110	69	93	106	68	92	98	**	***	**	0.949		
Liveweight (kg)	575	622	629	588	603	662	628	642	646	§	*		0.727		
Liveweight change (kg/d)	-0.80	0.24	0.47	-1.12	0.02	0.21	-1.47	-0.30	-0.24	***	***	***	0.873		

¹ Treatments: LL = low energy supply (E) pre partum (PRE), low E post partum (POST); LM = low E_{PRE}, medium E_{POST}; LH = low E_{PRE}, high E_{POST}; ML = medium E_{PRE}, low E_{POST}; MM = medium E_{PRE}, medium E_{POST}; MH = medium E_{PRE}, high E_{POST}; HL = high E_{PRE}, low E_{POST}; HM = high E_{PRE}, medium E_{POST}; HH = high E_{PRE}, high E_{POST}

² P values indicated by §P<0.1, *P<0.05, **P<0.01, ***P<0.001.

³ nXP = utilizable crude protein at the duodenum (GfE, 2001).

⁴ RNB = ruminal nitrogen balance (GfE, 2001).

⁵ Percentage of NEL requirements

parturition approaches is greater the higher the energy intake is above requirements during the dry period. This was also observed by others (Dann *et al.*, 2006; Winkelman *et al.*, 2008; Janovick and Drackley, 2010)

Even though controlling *pre partum* energy intake by feed restriction to maintain a stable energy balance seems to be an appropriate dry period feeding strategy, in practical settings it is an ambitious task. A physical restriction of the amount of feed provided leaves the problem of ensuring that all animals in common group housing are allowed equal amounts of DM (Winkelman *et al.*, 2008). Moreover, lower social status of heifers relative to older cows can lead to an unintentional limitation of DMI in mixed groups of multiparous and primiparous cows (Grant and Albright, 1995). Formulating *pre partum* diets without the inclusion of lower quality forages to increase NDF content will usually result in an overconsumption of energy relative to requirements in multiparous as well as in primiparous cows (Janovick and Drackley, 2010).

5.2 Production parameters and energy status in the lactation period

Milk yield of the cows in H_{PRE} and M_{PRE} was significantly higher than of cows in L_{PRE}. This is in agreement with findings of Silva-del-Río *et al.* (2010), but in contrast to other studies, where pre-calving energy supply showed no effects on milk yield and milk composition in the subsequent lactation (Agenäs *et al.*, 2003; Janovick and Drackley, 2010; Law *et al.*, 2011). Milk fat and milk protein content neither were affected by prepartal plane of nutrition in present study. It is to be assumed that

cows of the L_{PRE} treatment mobilized lots of body reserves during the *pre partum* period, and *post partum* must partly have utilized ingested energy to maintain homeostasis instead of milk energy output (Chilliard *et al.*, 1998; Bauman, 2000). Cows overfed in the dry period seemed to be able to mobilize more adipose tissue to support milk production in early lactation (Figure 2).

As in the study by Law *et al.* (2011), the effect of post-calving energy supply was much greater than pre-calving treatment in present experiment. The marginal concentrates allowance in early lactation was detrimental to milk production in L_{POST} treatments (Table 4). Figure 2 shows, that a longer experimental period could have led to a negative effect of a high pre-calving diet on the milk yield trend of animals given a low E post-calving diet (HL) compared to ML and LL, as found by Law *et al.* (2011). In contrast, Rabelo *et al.* (2003) found neither effects of a dry period diet and lactation diet (in both periods high energy vs. low energy) nor interactions on milk production responses and energy balance. In the current study, there was a main effect of *pre partum* energy supply on energy balance post-calving. Cows of the restrictively-fed group before parturition (L_{PRE}) had a higher DEB (-7.9 MJ NEL) *post partum* than cows in the H_{PRE} treatment (-16.9 MJ NEL/d). The lower ECM yield could most likely have contributed to this effect, as stated by Janovick and Drackley (2010). In agreement with findings of Law *et al.* (2011), the L_{PRE} and M_{PRE} treatments led to higher differences in energy balance between animals in high energy and low energy treatments *post partum* (pre-calving \times post-calving interaction, Table 5). A mean proportion of 54% concentrates during the lactation period in H_{POST} treatments resulted in a positive energy balance exceeding energy requirements by an average of only 5%. A complete diet after parturition seems to be advantageous as compared to feeding concentrates and forages separately (Ingvarsen *et al.*, 2001).

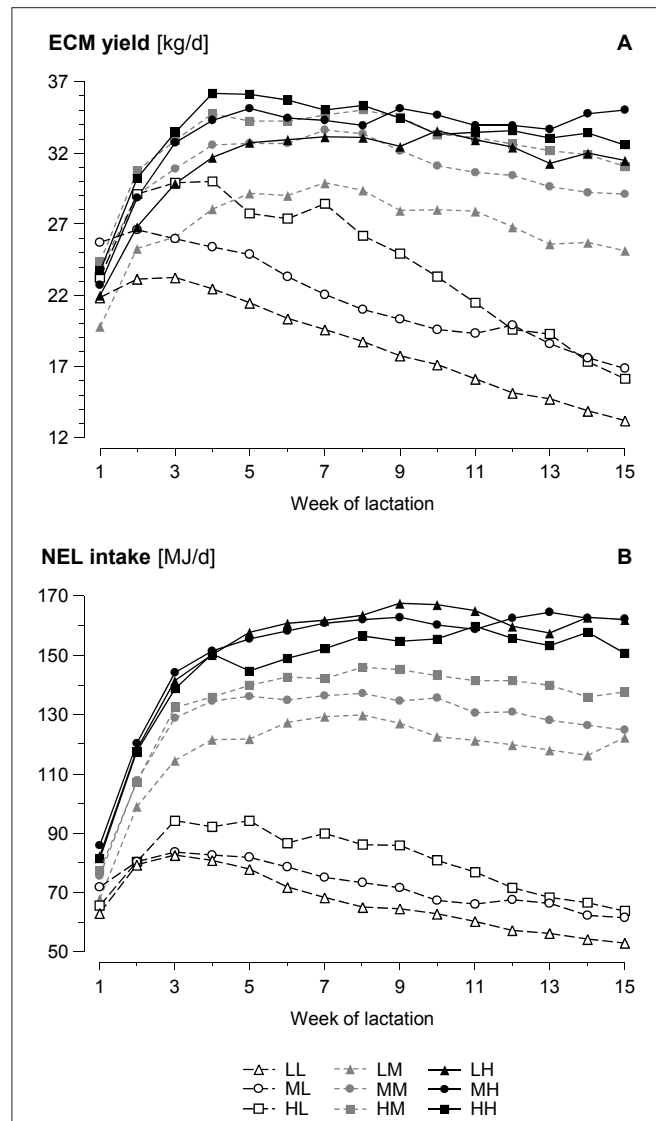


Figure 2: Least squares means of energy-corrected milk (ECM) yield (panel A) and energy (NEL) intake (panel B) of multiparous cows fed diets supplying low (L), medium (M), or high (H) energy levels during the pre and post partum period. Treatments: LL = low energy supply (E) *pre partum* (PRE), low E *post partum* (POST); LM = low E_{PRE} , medium E_{POST} ; LH = low E_{PRE} , high E_{POST} ; ML = medium E_{PRE} , low E_{POST} ; MM = medium E_{PRE} , medium E_{POST} ; MH = medium E_{PRE} , high E_{POST} ; HL = high E_{PRE} , low E_{POST} ; HM = high E_{PRE} , medium E_{POST} ; HH = high E_{PRE} , high E_{POST} .

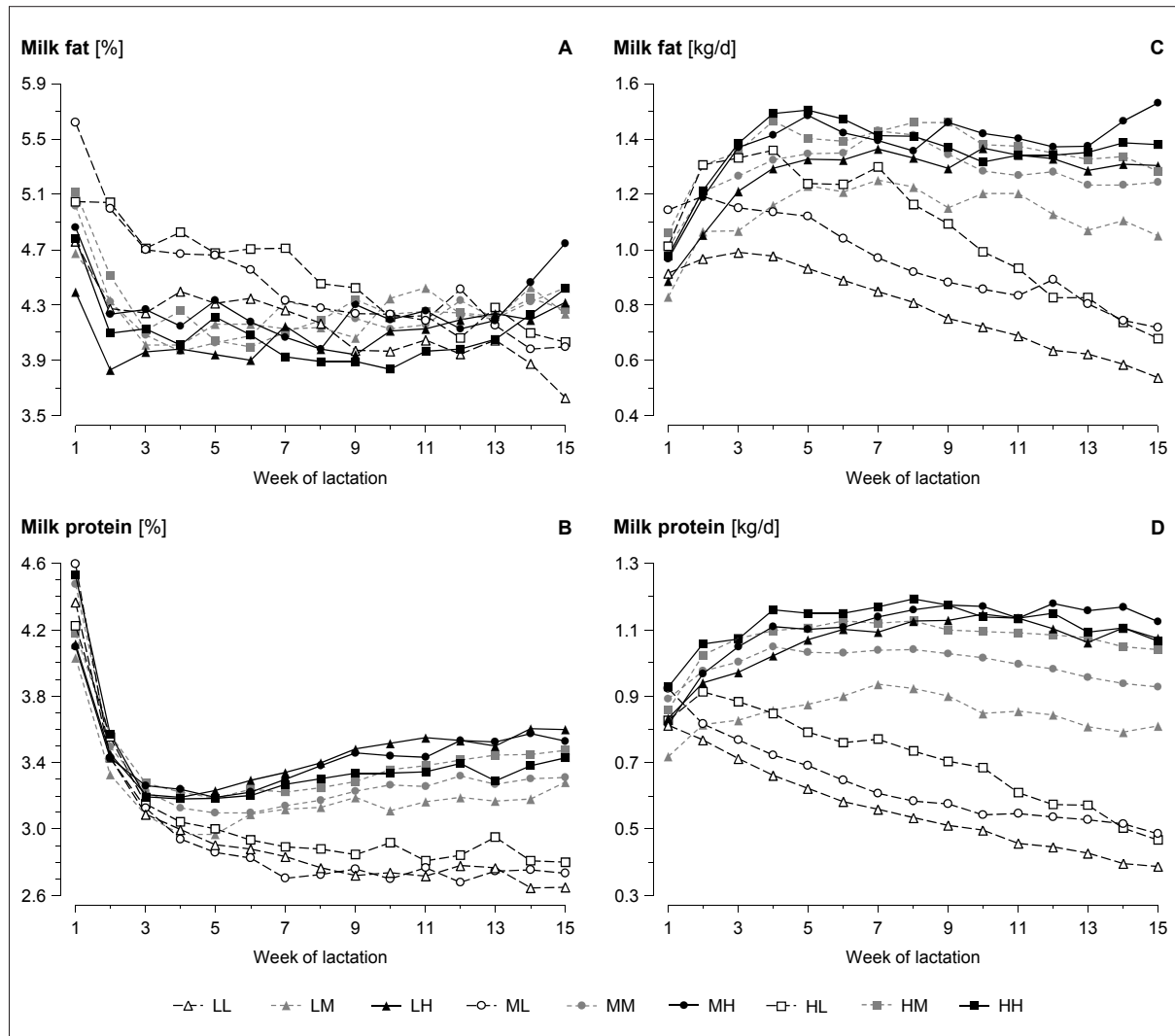


Figure 3: Least squares means of milk fat (panel A) and milk protein concentration (panel B), and yields of milk fat (panel C) and milk protein (panel D) of multiparous cows fed diets supplying low (L), medium (M), or high (H) energy levels during the pre and post partum period. Treatments: LL = low energy supply (E) pre partum (PRE), low E post partum (POST); LM = low E_{PRE}, medium E_{POST}; LH = low E_{PRE}, high E_{POST}; ML = medium E_{PRE}, low E_{POST}; MM = medium E_{PRE}, medium E_{POST}; MH = medium E_{PRE}, high E_{POST}; HL = high E_{PRE}, low E_{POST}; HM = high E_{PRE}, medium E_{POST}; HH = high E_{PRE}, high E_{POST}.

In the current study, total feed intake *post partum* was significantly lower for the L_{PRE} treatment than for M_{PRE} and H_{PRE}. A tendency towards higher DMI during the first 20 DIM in cows fed a high energy diet *pre partum* as compared to animals fed a low energy diet was also observed by Rabelo *et al.* (2003). In contrast to these results, others found no effects of pre-calving diet on mean DMI *post partum* (Agenäs *et al.*, 2003; Janovick and Drackley, 2010; Law *et al.*, 2011), or even improvements in DMI post-calving (Douglas *et al.*, 2006) for cows with limited energy intake compared to an *ad libitum* intake in the dry period. Nevertheless, current findings support the theory of Grummer *et al.* (2004), that absolute intake *pre partum* is not as predictive for feed intake in early lactation, as changes in DMI before calving. The decreasing feed intake in H_{PRE} during the last 3 wk before parturition seemed to have negative effects on DMI during lactation (HH < MH/LH).

6. CONCLUSIONS

It is concluded from the present data that feeding below energy requirements, either in the dry period or after parturition, results in considerably lower milk production in early lactation. Excessive energy intake of cows *pre partum*, i.e. overfeeding, did not sustainably improve milk yield, and seemed to induce a more severe negative energy balance post-calving. These results support the general opinion that in the dry period, nutritional management strategies should be applied which are suitable for controlling energy intake. For example, for cows with *ad libitum* access to feed, bulky diets containing lower quality forages to limit voluntary DMI have already been used successfully. As offering forages separately is still a common feeding regimen on small farms, an energy deficiency in primiparous cows, probably induced by an unintentional limitation of DMI in mixed groups with multiparous cows, may be avoided by allowing heifers to consume small amounts of concentrates during the dry period. The data also indicates that excessive energy intake of high-yielding dairy cows during early lactation is unlikely. Evidence is provided to support the importance of meeting cows' energy requirements in this period. To achieve this goal, highly palatable diets need to be formulated in order to promote feed intake post-calving and to provide high amounts of rumen fermentable carbohydrates, as well as enough physically effective fiber to prevent subacute ruminal acidosis.

Acknowledgements

The authors would like to thank all the co-workers of the institute of livestock research for their commitment and cooperation in herd management, data collection and electronic data processing, and Kathleen Knaus for editing assistance. This study was financed by the Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management (Vienna).

7. REFERENCES

- Agenäs S., Bursted E and Holtenius K 2003. Effects of feeding intensity during the dry period. 1. Feed intake, body weight, and milk production. *Journal of Dairy Science* 86, 870–882.
- 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 DE 2000. Regulation of nutrient partitioning during lactation: Homeostasis and homeorhesis revisited. In *Ruminant Physiology: digestion, metabolism, growth, and reproduction* (eds Cronjé PB), 311–328. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Bertics SJ, Grummer RR, Cadorniga-Valino C and Stoddard EE 1992. Effect of prepartum dry matter intake on liver triglyceride concentration in early lactation. *Journal of Dairy Science* 75, 1914–1922.
- Chilliard Y, Bocquier F and Doreau M 1998. Digestive and metabolic adaptations of ruminants to undernutrition, and consequences on reproduction. *Reproduction Nutrition Development* 38, 131–152.
- Dann HM, Morin DE, Bollero GA, Murphy MR and Drackley JK 2005. Prepartum intake, postpartum induction of ketosis, and periparturient disorders affect the metabolic status of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88, 3249–3264.
- Dann HM, Litherland NB, Underwood JP, Bionaz M, D'Angelo A, McFadden JW and Drackley JK 2006. Diets during far-off and close-up dry periods affect periparturient metabolism and lactation in multiparous cows. *Journal of Dairy Science* 89, 3563–3577.
- Douglas GN, Overton TR, Bateman II HG, Dann HM and Drackley JK 2006. Prepartal plane of nutrition, regardless of dietary energy source, affects periparturient metabolism and dry matter intake in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 89, 2141–2157.

- Drackley JK 1999. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? *Journal of Dairy Science* 82, 2259–2273.
- Drackley JK, Overton TR and Douglas GN 2001. Adaptations of glucose and long-chain fatty acid metabolism in liver of dairy cows during the periparturient period. *Journal of Dairy Science* 84, E100-E112.
- Friggins NC, Emmans GC, Kyriazakis I, Oldham JD and Lewis M 1998. Feed intake relative to stage of lactation for dairy cows consuming total mixed diets with a high or low ratio of concentrate to forage. *Journal of Dairy Science* 81, 2228–2239.
- Friggins NC, Andersen JB, Larsen T, Aaes O and Dewhurst R 2005. Priming the dairy cow for lactation: a review of dry cow feeding strategies. *Animal Research* 53, 453–473.
- German Society of Nutrition Physiology (GfE) 1995. Energetic feed evaluation for ruminants (in German). *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 4, 121–123.
- German Society of Nutrition Physiology (GfE) 2001. Recommendations for the Supply of Energy and Nutrients to Dairy Cows and Heifers. Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology (in German). DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Germany.
- Grant RJ and Albright JL 1995. Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. *Journal of Animal Science* 73, 2791–2803.
- Grummer RR, Mashek DG and Hayirli A 2004. Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 20, 447–470.
- Huhtanen P 1998. Supply of nutrients and productive responses in dairy cows given diets based on restrictively fermented silage. *Agricultural and Food Science* 7, 219–250.
- Ingvarsen KL, Aaes O and Andersen JB 2001. Effects of pattern of concentrate allocation in the dry period and early lactation on feed intake and lactational performance in dairy cows. *Livestock Production Science* 71, 207–221.
- Janovick NA and Drackley JK 2010. Prepartum dietary management of energy intake affects postpartum intake and lactation performance by primiparous and multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 93, 3086–3102.
- Knaus W 2009. Dairy cows trapped between performance demands and adaptability. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89, 1107–1114.
- Kunz PL, Blum JW, Hart IC, Bickel H and Landis J 1985. Effects of different energy intakes before and after calving on food intake, performance and blood hormones and metabolites in dairy cows. *Animal Production* 40, 219–231.
- Law RA, Young FJ, Patterson DC, Kilpatrick DJ, Wylie ARG, Ingvarsen KL, Hammeleers A, McCoy MA, Mayne CS and Ferris CP 2011. Effect of precalving and postcalving dietary energy level on performance and blood metabolite concentrations of dairy cows throughout lactation. *Journal of Dairy Science* 94, 808–823.
- Lins M, Gruber L and Obritzhauser W 2003. Effect of prepartum energy supply on the intake, body weight, body condition, milk yield and metabolism of dairy cows: A review (in German). *Übersichten zur Tierernährung* 31, 75–120.
- McNamara JP 1991. Regulation of adipose tissue metabolism in support of lactation. *Journal of Dairy Science* 74, 706–719.
- McNamara S, O'Mara FP, Rath M and Murphy JJ 2003. Effects of different transition diets on dry matter intake, milk production, and milk composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86, 2397–2408.
- National Research Council 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th revised edition. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Park AF, Shirley JE, Titgemeyer EC, DeFraim JM, Cochran RC, Wickersham EE, Nagaraja TG and Johnson DE 2011. Characterization of ruminal dynamics in Holstein dairy cows during the periparturient period. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 95, 571–582.
- Rabelo E, Rezende RL, Bertics SJ and Grummer RR 2003. Effects of transition diets varying in dietary energy density on lactation performance and ruminal parameters of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86, 916–925.
- Remppis S, Steingass H, Gruber L and Schenkel H 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-Australasian Journal of Animal Sciences* 24, 540–572.
- Roche JR 2007. Milk production responses to pre- and postcalving dry matter intake in grazing cows. *Livestock Science* 110, 12–24.
- Statistical Analysis Systems Institute 2010. *SAS/STAT 9.22 User's Guide*. Cary, NC (USA): SAS Institute Inc.
- Silva-del-Río N, Fricke PM and Grummer RR 2010. Effects of twin pregnancy and dry period feeding strategy on milk production, energy balance, and metabolic profiles in dairy cows. *Journal of Animal Science* 88, 1048–1060.

- Van Soest PJ, Robertson JB and Lewis BA 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74, 3583–3597.
- Winkelman LA, Elsasser TH and Reynolds CK 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. *Journal of Dairy Science* 91, 1067–1079.

METABOLIC PARAMETERS AND THEIR RELATIONSHIP TO ENERGY BALANCE IN MULTIPAROUS DAIRY COWS IN THE PERIPARTURIENT PERIOD AS INFLUENCED BY ENERGY SUPPLY PRE- AND POST-CALVING

M. Urdl^a, L. Gruber^{a,}, W. Obritzhauser^b, A. Schauer^a*

ABSTRACT

An experiment was conducted to evaluate the effects of prepartum (PRE) and postpartum (POST) dietary energy supply (E) and their interactions on metabolic parameters and energy balance (EB) of dairy cows. In a feeding trial with a 3×3 ($E_{\text{PRE}} \times E_{\text{POST}}$) factorial design eighty-one multiparous Holstein-Friesian ($n = 27$), Brown Swiss ($n = 27$) and Simmental ($n = 27$) cows were assigned to one of three diets, intended to cover 75% (L_{PRE}), 100% (M_{PRE}) or 140% (H_{PRE}) of energy requirements as prescribed by the German Society of Nutrition Physiology, from 84 d before expected calving until parturition. Post-calving, cows were allocated to sub-groups and offered diets intended to provide 75% (L_{POST}), 100% (M_{POST}) or 125% (H_{POST}) of energy requirements for 105 d of lactation. Diets varied in proportions of forages and concentrate level. Dry matter intake was restricted if energy intake exceeded experimental target values. Blood was sampled weekly pre- and postpartum and analyzed for indicators of energy status. During the pre-calving, period serum concentrations of non-esterified fatty acids (NEFA) were higher ($P < 0.001$) in L_{PRE} cows, and glucose concentrations were elevated ($P < 0.001$) in H_{PRE} cows. Prepartum treatment effects carried over for NEFA concentrations, which were elevated in cows of treatment H_{PRE} ($P = 0.033$). During the lactation period, NEFA concentrations were greatest ($P < 0.001$) in treatment L_{POST} . Mean concentrations of β -hydroxybutyrate (BHB) were highest ($P < 0.001$) in cows in the L_{POST} treatment, intermediate in M_{POST} , and lowest in H_{POST} . Concentrations of glucose were lower ($P < 0.001$) in L_{POST} cows. Restricted feeding in the dry period (L_{PRE}) resulted in a more positive EB post-calving ($P < 0.001$). An $E_{\text{PRE}} \times E_{\text{POST}}$ interaction was observed for EB ($P < 0.05$). Restricted feeding prepartum resulted in a better energy status of cows fed above energy requirements postpartum. Correlations of serum NEFA, BHB and glucose concentrations with EB were significant ($P < 0.05$), being strongest during the transition period ($P < 0.001$). 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 energy balance and the blood metabolites non-esterified fatty acids and β -hydroxybutyrate, especially in the transition period.

Keywords: Dairy cow – Feeding – Transition period – Energy status – Metabolism

^a Agricultural Research and Education Center Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning, Austria

^b Chamber of Veterinaries, Hietzinger Kai 87, A-1130 Vienna, Austria

* Corresponding author. Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, *E-mail*: leonhard.gruber@raumberg-gumpenstein.at

1. INTRODUCTION

During the transition from the pregnant, non-lactating state to the non-pregnant, lactating state, the metabolism of dairy cows undergoes tremendous challenges (Goff and Horst, 1997; Reynolds et al., 2003). Occurrence of infectious diseases and metabolic disorders is highest in this relatively short period of the lactation cycle (Drackley, 1999). Before calving energy requirements increase due to fetal growth while feed intake decreases substantially in the time around parturition (GfE, 2001; NRC, 2001). As the nutrient demand for milk production is enhanced and DMI increases only slowly at onset of lactation (Bell, 1995; Reist et al., 2002), high-producing dairy cows mobilize body reserves. Circulating NEFA serve as an indicator of the mobilization of triacylglycerol out of adipose tissue (Mashek and Beede, 2001), where body energy reserves are predominantly stored (Baumann and Currie, 1980). Due to the negative energy balance of early lactation, fat mobilization postpartum is correlated with higher levels of blood NEFA (Chilliard et al., 2000). Drackley (1999) therefore classified lipid metabolism as a key area of the biology of transition dairy cows. NEFA can provide energy for lactogenesis through uptake by the liver and subsequent oxidation (McNamara, 1991). When the limit for oxidation capacity of mobilized FA is reached, alternative pathways for utilization of FA in the liver include oxidation to ketone bodies, esterification to triacylglycerol (TAG) (Goff and Horst, 1997; Reid et al., 1986), and synthesis of very low density lipoproteins (VLDL; Bauchart, 1993). Thus, elevated ketone body concentration in the blood is an indicator for energetic stress and the rate of mobilization of body tissues in early lactation (Ingvarsen and Andersen, 2000). Dry period nutrition plays an important role in the magnitude and duration of lipid mobilization and increased NEFA (Kunz et al., 1985), because obesity also affects TAG synthesis in the liver (Olsson et al., 1998). Calving stress, hormonal changes, and a greater incidence of infections during parturition, are further reasons for the increased mobilization of NEFA (Goff and Horst, 1997; Ryan et al., 2003). When the maximum level of VLDL synthesis and capacity for secretion out of hepatic cells has been reached, an excessive accumulation of TAG in the liver may finally lead to the development of hepatic lipidosis (i.e. fatty liver or fat cow syndrome) and ketosis, major metabolic disorders of dairy cows in early lactation (Herdt, 1988; Morrow, 1976; Van den Top et al., 1995), as well as to other related diseases.

In general, blood metabolites are used as indicators for nutritional status as well as postpartum disease incidence of cows (e.g. Grummer, 1993; Herdt, 2000; Oetzel, 2004), at least since the studies conducted by Payne et al. (1970). Regarding the evaluation of energy balance and the mobilization of body reserves during lactation, NEFA are characterized as best variable (Chilliard et al., 2000; Holcomb et al., 2001) while BHB, besides indicating metabolic stress, are independently part of rumen metabolism (Giesecke, 1987). Reist et al. (2002) and others (Kolver and MacMillan, 1993; Kronfeld et al. 1982; Studer et al., 1993) state that blood glucose is also a suitable parameter linked with energy status, although its concentration is strictly regulated by homeostasis (Giesecke, 1987).

During the dry period, NEFA values declined with increasing DMI in the study by Roche et al. (2005). Lower concentrations of plasma NEFA in the dry period were also observed, either when cows were fed a high-energy density diet (Rabelo et al., 2005), or when fed ad libitum (Douglas et al., 2006) as compared to cows receiving a low-energy treatment or restrictively fed, respectively. In the following lactation, cows showed elevated NEFA concentrations when they were overfed during the dry period (Holtenius et al., 2003; Rukkwamsuk et al., 2000). Similarly Kunz et al. (1985) reported lower plasma concentrations of NEFA for cows fed re-

strictively during the dry period, compared to ad libitum-fed animals. In contrast, other authors (Holcomb et al., 2001; Olsson et al., 1998; Vandehaar et al., 1999) observed lower NEFA values during the following lactation, when cows were fed high-energy diets prepartum. Postpartum NEFA concentrations were not affected by dry period diet in the trials conducted by Ryan et al. (2003), Rabelo et al. (2005) and Roche et al. (2005). Regarding the influence of dietary energy supply during the dry period on cows' blood BHB concentrations, results are also inconclusive, as reviewed by Remppis et al. (2011).

Therefore, the objectives of the current study were to evaluate the effects of differing energy supply during the dry period on blood metabolites prepartum and in early lactation. The study was also designed to evaluate the effects of post-calving nutrition and the interaction between pre- and postpartum energy supply on blood parameters and energy balance of dairy cows after parturition.

2. MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted at the Federal Agricultural Research and Education Center Raumberg-Gumpenstein in the province of Styria, Austria. All procedures were approved by the veterinary department of the Styrian state government. A more detailed description of the study is provided in Gruber et al. (2012). Briefly, a feeding trial was carried out with a total of eighty-one multiparous cows. The experimental period lasted from 84 d before expected calving until 105 d of the following lactation.

2.1 Animals and experimental design

Cows of the breeds Holstein-Friesian (HF, $n = 27$), Brown Swiss (BS, $n = 27$) and Simmental (SI, $n = 27$) had a parity of 2.69 ± 1.8 (mean \pm SD) and an average liveweight of 662 ± 77 kg. Animals were assigned to treatments in a randomized block design with a 3×3 factorial arrangement (3 energy supply levels pre-calving \times 3 energy supply levels post-calving) in a balanced manner according to breed and parity, as well as mean feed intake and milk yield recorded in a two-week preliminary period. Prepartum (PRE) treatments consisted of low (L), medium (M), and high (H) energy supplies (E) intended to cover 75%, 100%, and 140% of energy requirements according to recommendations of the German Society of Nutrition Physiology (GfE, 2001), respectively. After calving, cows were assigned at random to sub-groups differing in energy level. Postpartum (POST) treatments were L, M, and H, intended to supply 75%, 100%, and 125% of energy requirements (GfE, 2001), respectively.

Diets varied in proportions of forages (grass silage, corn silage, and hay differing in energy content) and concentrate level. Feedstuffs were offered separately in the following order: (1) concentrate + minerals, (2) hay (3) corn silage and (4) grass silage. Forage composition, concentrate proportion, and nutrient content of total rations are presented in Table 1. If energy intake exceeded experimental target values, feed intake was restricted. Animals were housed in individual tie stalls with rubber-mat bedding, had free access to fresh water, and were allowed to exercise daily in an outside lot from 1300 to 1500 h throughout the experiment. Cows were managed in compliance with good husbandry practices.

2.2 Blood sampling and analysis

Once a week throughout the experimental period, blood was sampled by coccygeal venipuncture from each cow between 0430 h and 0500 h before the morning feeding. Samples were

Table 1: Forage composition, concentrate proportion and calculated nutrient content of total rations^a

Item	Period ^b								
	Late lactation			Dry period			Early lactation		
	L ^c	M	H	L	M	H	L	M	H
Components									
Hay (% of forage DM)	38.6	37.7	39.9	38.6	38.7	38.9	38.1	38.0	40.3
Grass silage (% of forage DM)	40.1	30.4	21.4	41.1	30.7	18.8	39.7	29.4	21.1
Corn silage (% of forage DM)	21.3	31.8	38.7	20.3	30.7	42.3	22.2	32.6	38.6
Concentrate ^d (% of total DM)	2.0	4.6	39.5	1.7	1.4	1.7	11.9	46.8	53.7
Nutrient values									
CP (g/kg DM)	119	114	140	116	111	109	121	145	151
NDF (g/kg DM)	491	488	392	496	494	486	476	379	360
ADF (g/kg DM)	305	293	217	313	301	288	297	212	192
Digestibility ^e (% OM)	62.8	65.9	74.4	62.6	65.3	68.0	64.6	74.6	76.8
NEL (MJ/kg DM)	5.05	5.41	6.44	5.03	5.33	5.62	5.28	6.46	6.73
ME (MJ/kg DM)	8.69	9.21	10.63	8.65	9.10	9.53	9.01	10.64	11.01
Crude ash (g/kg DM)	78	73	62	77	72	68	73	62	59

^a based on realized feed intake.

^b Period: Late lactation = -84 to -66 ± 7 d before parturition; dry period = -66 ± 7 d before parturition until calving; early lactation = calving until 105 d of lactation.

^c Treatments: L = low energy supply (E); M = medium E; H = high E.

^d Concentrate (% in DM): 24% corn grain, 16% barley, 16% sugar beet pulp, 12% wheat, 12% wheat bran, 6.7% soybean meal, 6.7% rapeseed meal and 6.7% sunflower meal; calculated nutrient values: 185 g CP kg⁻¹ DM, 179 g utilizable CP at the duodenum (GfE, 2001 kg⁻¹ DM, 7.69 MJ NEL kg⁻¹ DM).

^e measured in vivo with wethers.

collected in evacuated sodium fluoride tubes containing potassium oxalate as an anticoagulant and a stabilizer (whole blood; glucose analysis) and serum separator tubes containing a clot activator and a separation gel (both from Greiner Bio-One, Kremsmünster, Austria) and cooled on ice packs immediately after withdrawal. Serum was obtained after centrifugation at 3,000 × g (20 min) within 30 min of sampling and deep-frozen at -18°C until analysis.

The serum analyte profiles were analyzed using appropriate kits, each containing a number of reagents for each analyte, on a Cobas C111 analyzer (Roche Diagnostics, Vienna, Austria). Serum analytes included for analysis were NEFA (kits no. 434-91795 and no. 436-91995, Wako Chemicals, Neuss, Germany) and BHB (kit no. RB 1008, Randox, Antrim, UK). Kits from Roche Diagnostics (Vienna, Austria) were used to analyze for glucose (no. 04657527190), cholesterol (no. 04718917190), total bilirubin (no. 04774256190) and urea (no. 04657616190), for the minerals calcium (no. 04718933190), inorganic phosphorus (no. 05401780190), and magnesium (no. 05401712190), and for the enzymes glutamate dehydrogenase (GLDH, no. 1 929 992) and aspartate-aminotransferase (AST, no. 04657543 190).

2.3 Calculations and statistical analysis

Energy balance was calculated following the methodology of the GfE (2001). Estimated daily energy balance (EB) was calculated by subtracting energy requirements from energy intake: Maintenance requirements (NE_M) = 0.293 × BW^{0.75}, pregnancy requirements (NE_C) = (0.044 × exp^{0.0165 × days pregnant} + 0.01905 × days pregnant - 3.6619)/0.175 × 0.6, lactation requirements (NE_{LAC}) = (0.38 × milk fat% + 0.21 × milk protein% + 1.05) × daily milk yield. Net energy intake (NE_I) of each cow was determined by multiplying the individual DMI with the calculated energy density of the total diet. In the prepartum period EB = NE_I - (NE_M + NE_C), in the postpartum period EB = NE_I - (NE_M + NE_{LAC}), and was expressed in MJ/d. Days pregnant were calculated ret-

respectively, using actual calving dates. For EB calculations, neither mobilization nor retention of body tissue were accounted for in cases of negative or positive energy balance, respectively.

Data of the periods before and after parturition were analyzed separately. Data were checked for normality and homoscedasticity using histograms and formal statistical tests as part of the UNIVARIATE procedure in SAS (version 9.2, 2010; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Data of response variables that were not normally distributed were log-transformed before statistical analysis (NEFA, BHB, total bilirubin, GLDH, AST). A repeated measurements approach in the SAS MIXED procedure (2010) was used for statistical analysis, applying the following model to the data:

$$Y_{ijkl} = \mu + E_{PREi} + E_{POSTj} + E_{PRE} \times E_{POSTj} + BREED_k + PARITY_l + e_{ijkl}$$

where Y_{ijkl} is the dependent variable, μ is the overall mean, E_{PREi} is the fixed effect of energy supply prepartum i ($i = L, M, H$), E_{POSTj} is the fixed effect of energy supply postpartum j ($j = L, M, H$), $E_{PRE} \times E_{POSTj}$ is the interaction of energy supply prepartum $i \times$ postpartum j , $BREED_k$ is the fixed effect of breed k ($k = HF, BS, SI$), $PARITY_l$ is the fixed effect of parity l ($l = 2, 3$ and $4, > 4$), and e_{ijkl} the residual error. Weekly observations on individual cows were considered as repeated measurements. Interactions of treatment with time (week relative to parturition) were included in the model, if $P < 0.25$. For repeated measures, a first order autoregressive (AR1) covariance structure was used. Denominator degrees of freedom were approximated with the Kenward-Roger method.

The statistical model for the pre-calving period of the experiment only included energy supply prepartum (E_{PRE}), breed ($BREED$), and parity ($PARITY$) as fixed effects (and time effect, if $P < 0.25$), and was as follows:

$$Y_{ijk} = \mu + E_{PREi} + BREED_j + PARITY_k + e_{ijk}$$

In the results section, least squares means of log-transformed variables were back-transformed for better comparability and interpretation of results.

Correlations between EB and the blood traits glucose, NEFA, and BHB were calculated as Pearson's correlations of least squares means (treatment \times time effect) using the SAS CORR procedure (2010). Data were analyzed separately for prepartum, postpartum, transition (week -3 to $+3$ relative to calving), and total experimental period. After visual inspection of the results using scatter plots, nonlinear regression analysis was undertaken for the variables EB and NEFA and BHB concentrations using the SAS NLIN procedure (2010). Linear regression was better suited for the analysis of EB and glucose data.

3. RESULTS

As in this study only multiparous cows were used, effects of parity on metabolism are not discussed in this paper. Metabolic responses of primiparous and multiparous dairy cows to differing energy intake and/or different energy density diets in the dry period have been reported in several other papers (e.g. Vandehaar et al., 1999; Grummer et al., 2004; Rabelo et al., 2005; Janovick et al., 2011). Breed effects of dry period nutrition on metabolic parameters and energy balance will be presented in a separate paper (Urdl et al., in preparation).

3.1 Production data

Data for DMI and milk production are reported in Gruber et al. (2012). Briefly, DMI differed significantly due to experimental design. In the last three weeks before calving, a 12% depres-

sion in DMI was observed for cows in treatment H_{PRE} , whereas feed intake of the other animals increased even in this last phase of the dry period. There were no carry-over effects of the pre-calving treatment on forage intake in the lactation period. Postpartum concentrates intake was significantly different depending on experimental group, and total DMI ranged between 12.8 (LL) and 23.2 kg (MH). Cows in the L_{PRE} treatment had a significantly lower milk production postpartum as compared to M_{PRE} or H_{PRE} cows. No interactions between prepartum and postpartum energy supply could be observed on milk yield and milk composition. Post-calving treatment influenced nearly all production variables significantly. Yields of milk, ECM, and milk solids were considerably higher for cows fed to meet (M_{POST}) or exceed (H_{POST}) their energy requirements in early lactation than for restrictively fed cows in treatment L_{POST} . Milk fat content was highest in this group, indicating a massive mobilization of adipose tissue out of body reserves.

3.2 Energy balance

Mean daily energy balance during the total pre-calving period (late lactation and dry period) differed ($P < 0.001$), as designed (Table 2). Intended energy supply was achieved in treatments L_{PRE} and M_{PRE} . Cows of H_{PRE} failed to reach the experimental target value of + 40% of NEL requirements. In contrast to L_{PRE} and M_{PRE} , where energy intake continuously increased with ongoing gestation, in treatment H_{PRE} a depression of DMI and subsequently EB could be observed in the last three weeks prior to parturition until calving (results not shown). Fulfillment of energy requirements dropped from 117% (week -3) to 94% on the day before calving, a difference of 14.3 MJ NEL/d.

Restricted feeding in the dry period (L_{PRE}) resulted in a more positive EB post-calving ($P < 0.001$) as compared to M_{PRE} and H_{PRE} (Table 3). The effect of energy supply postpartum on EB was much more pronounced. All treatments differed ($P < 0.001$, Table 3). In H_{POST} treatments, the only groups with ad libitum feeding, energy requirements were exceeded by only 3% on average. Interactions were observed between energy supply prepartum and energy supply postpartum, for absolute ($P < 0.05$) as well as for relative EB (% of NEL requirements, $P < 0.001$,

Table 2: Effect of prepartum energy supply on energy balance and serum analyte profiles of multiparous cows during the prepartum period

Variable	Treatment ^a			RSD ^b	P-value EPRE
	L	M	H		
EB (MJ NEL/d)	-15.6 ^f	-3.2 ^e	14.6 ^d	6.4	<0.001
EB ^c (%)	72 ^f	95 ^e	123 ^d	10	<0.001
Glucose (mmol/L)	3.08 ^e	3.20 ^e	3.33 ^d	0.40	<0.001
NEFA ^g (mmol/L)	0.16 ^d	0.12 ^e	0.12 ^e	–	<0.001
BHB ^g (mmol/L)	0.71	0.71	0.65	–	0.13
Bilirubin ^g (µmol/L)	1.59 ^d	1.28 ^e	1.19 ^e	–	<0.001
Urea (mmol/L)	4.01 ^d	3.71 ^e	3.60 ^e	0.72	<0.001
Cholesterol (mmol/L)	2.70	2.57	2.53	0.64	0.45
AST ^g (iU/L)	24.7 ^e	29.0 ^d	28.2 ^d	–	0.001
GLDH ^g (iU/L)	3.28 ^f	4.29 ^e	5.41 ^d	–	<0.001
Ca (mmol/L)	2.50	2.50	2.49	0.19	0.83
P (mmol/L)	1.85	1.82	1.83	0.27	0.55
Mg (mmol/L)	1.00	1.01	1.00	0.13	0.64

^a Treatments: L = low energy supply (E), M = medium E, H = high E.

^b RSD = residual standard deviation.

^c Percentage of NEL requirements.

^{d,e,f} Means within a row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

^g RSD is based on logarithmic values and therefore not reported.

Table 4). After calving, LH cows had a better energy status compared to cows of HH, and EB was higher (% of NEL requirements) or tended to be higher (MJ NEL/d, $P = 0.08$) than in treatment MH. In the feed-restricted treatment groups (L_{POST} , M_{POST}), no such effect could be observed. Cows in treatments LH, MH, and HH reached a positive energy balance in weeks 3, 4, and 8, respectively (Fig.1).

3.3 Blood metabolites

In the pre-calving period, blood NEFA concentration was higher ($P < 0.001$, Table 2, Fig. 2) in L_{PRE} cows compared to M_{PRE} and H_{PRE} cows. The same was true for total bilirubin, where treatment L_{PRE} led to greater values than treatments M_{PRE} and H_{PRE} ($P < 0.001$). Blood glucose concentration was higher in the overfed H_{PRE} animals compared to cows fed to meet energy requirements or fed restrictively. Mean prepartum activities of hepatic enzymes GLDH and AST also differed significantly ($P < 0.001$ and $P = 0.001$, respectively).

During the lactation period, pre-calving treatment effects could be observed for NEFA and urea concentrations, and for mean AST activity (Table 3). Serum NEFA was higher ($P = 0.033$) in cows in treatment H_{PRE} than of L_{PRE} , cows in M_{PRE} were intermediate. Blood urea concentration was greater ($P < 0.001$) in M_{PRE} and H_{PRE} .

Blood metabolite profiles during the first 105 DIM were significantly affected by postpartum energy supply (Table 3). NEFA concentration was greater ($P < 0.001$) in treatment L_{POST} compared to M_{POST} and H_{POST} (Fig. 2). Mean BHB concentration was highest ($P < 0.001$) in treatment L_{POST} , intermediate in M_{POST} , and lowest in group H_{POST} (Fig. 3). Blood concentration of total bilirubin was higher, and glucose concentration as well as GLDH activity were lower ($P < 0.001$) in L_{POST} cows than in either M_{POST} or H_{POST} cows.

Treatments had no effect on mean blood cholesterol concentrations, either pre- or postpartum, but a clear time effect (week relative to parturition, $P < 0.001$) could be observed (results not shown).

Table 3: Main effects of low (L), medium (M), or high (H) energy supply during the pre- and postpartum period on energy balance and serum analyte profiles of multiparous cows from 1 to 105 d of lactation.

Variable	Treatment ^a						RSD ^b	P-value	
	prepartum			postpartum				E_{PRE}	E_{POST}
	L	M	H	L	M	H			
EB (MJ NEL/d)	-8.3 ^d	-13.4 ^c	-16.5 ^c	-33.3 ^f	-9.9 ^c	4.9 ^d	10.6	<0.001	<0.001
EB ^c (%)	91 ^d	88 ^c	87 ^c	69 ^f	93 ^c	103 ^d	7	<0.001	<0.001
Glucose (mmol/L)	2.80	2.80	2.80	2.46 ^e	2.93 ^d	3.01 ^d	0.50	0.99	<0.001
NEFA ^e (mmol/L)	0.15 ^c	0.17 ^{de}	0.19 ^d	0.26 ^d	0.14 ^c	0.13 ^c	–	0.033	<0.001
BHB ^e (mmol/L)	0.90	0.98	0.96	1.37 ^d	0.88 ^c	0.70 ^f	–	0.38	<0.001
Bilirubin ^e (μmol/L)	1.33	1.35	1.43	1.70 ^d	1.24 ^c	1.22 ^c	–	0.28	<0.001
Urea (mmol/L)	3.62 ^c	4.00 ^d	4.02 ^d	3.87 ^{de}	4.04 ^d	3.73 ^c	0.89	<0.001	0.018
Cholesterol (mmol/L)	3.91	4.15	4.08	4.06	4.12	3.95	0.87	0.37	0.63
AST ^e (iU/L)	33.9 ^c	37.7 ^d	35.6 ^{de}	35.7	34.5	36.9	–	0.003	0.11
GLDH ^e (iU/L)	5.96	6.05	6.42	5.28 ^c	6.27 ^d	6.99 ^d	–	0.46	<0.001
Ca (mmol/L)	2.45	2.45	2.47	2.50 ^d	2.46 ^c	2.43 ^c	0.19	0.44	<0.001
P (mmol/L)	1.83	1.80	1.82	1.83	1.83	1.79	0.28	0.62	0.31
Mg (mmol/L)	1.07	1.09	1.08	1.10	1.07	1.07	0.15	0.30	0.25

^a Treatments: L = low energy supply (E), M = medium E, H = high E.

^b RSD = residual standard deviation.

^c Percentage of NEL requirements.

^{d,e,f} Means within a row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

^g RSD is based on logarithmic values and therefore not reported.

Table 4: Energy balance and serum analyte profiles of multiparous cows from 1 to 105 d of lactation fed diets supplying low (L), medium (M), or high (H) energy levels during the pre- and postpartum period.

	Treatment (prepartum / postpartum) ^a									RSD ^b	P-Value E _{PRE} × E _{POST}
	LL	LM	LH	ML	MM	MH	HL	HM	HH		
EB (MJ NEL/d)	-29.3	-7.6	12.0	-34.4	-10.7	4.7	-36.1	-11.3	-2.0	10.6	<0.05
EB ^c (%)	69	94	109	68	92	103	69	92	98	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	–	0.88
BHB [§] (mmol/L)	1.17	0.92	0.68	1.47	0.93	0.69	1.49	0.80	0.73	–	0.12
Bilirubin [§] (µmol/L)	1.68	1.15	1.23	1.66	1.27	1.17	1.76	1.30	1.28	–	0.72
Urea (mmol/L)	3.65	3.74	3.46	3.99	4.12	3.91	3.97	4.26	3.82	0.89	0.91
Cholesterol (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	31.9	38.3	36.6	36.4	40.2	39.0	35.4	32.8	–	<0.001
GLDH [§] (iU/L)	4.01	5.68	9.28	5.61	5.58	7.07	6.54	7.77	5.20	–	<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	1.76	1.82	1.72	1.87	1.82	1.86	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	1.10	1.03	0.15	<0.01

^a Treatments: LL = low energy supply (E) prepartum (PRE), low E postpartum (POST); LM = low E_{PRE}, medium E_{POST}; LH = low E_{PRE}, high E_{POST}; ML = medium E_{PRE}, low E_{POST}; MM = medium E_{PRE}, medium E_{POST}; MH = medium E_{PRE}, high E_{POST}; HL = high E_{PRE}, low E_{POST}; HM = high E_{PRE}, medium E_{POST}; HH = high E_{PRE}, high E_{POST}.

^b RSD = residual standard deviation.

^c Percentage of NEL requirements.

[§] RSD is based on logarithmic values and therefore not reported.

3.4 Correlation of blood metabolites with energy balance

Pearson's correlations of serum NEFA, BHB, and glucose concentrations with energy balance are presented in Table 5. All correlations were significant ($P < 0.05$). In the prepartum period, glucose concentrations correlated strongest with EB, followed by concentrations of NEFA and BHB. During the lactation period all correlations between EB and blood metabolites were higher than in the pre-calving period, being strongest between NEFA and EB. When analyzing total experimental period or transition period, correlation of EB with glucose, as well as with BHB concentrations remained nearly unchanged. In contrast, the correlation between EB and concentrations of NEFA was considerably enhanced when data were delimited to the transition period. In Fig. 4, treatment means (main effects) of NEFA and BHB concentrations are plotted against EB to illustrate these relationships.

4. DISCUSSION

Metabolic profiling of dairy cows to assess energy status (Clark et al., 2005; Heuer et al., 2000; Reist et al., 2002), health risk (Jorritsma et al., 2001; Ospina et al., 2010; Stengärde et al., 2010), fertility (Giuliodori et al., 2011), and production (Duffield et al., 2009) of dairy cows in early lactation has received renewed interest in the last decade. The use of energy balance at the individual cow level, estimated based on easily available milk composition data, is of limited value in dairy herd management and decision support (Løvendahl et al., 2010). As concluded from their study with dairy heifers, Wylie et al. (2008) reinforced skepticism about the reliability of NEFA and

Table 5: Pearson's correlations of serum glucose, NEFA, and BHB concentrations with energy balance during different experimental periods.

Period ^a	r	P
Prepartum		
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
Postpartum		
Glucose	0.729	<0.001
NEFA	-0.855	<0.001
BHB	-0.691	<0.001
Total experiment		
Glucose	0.735	<0.001
NEFA	-0.839	<0.001
BHB	-0.686	<0.001

^a Periods: Prepartum = late lactation and dry period (-84 d before expected calving until parturition), transition = week -3 to +3 relative to calving, postpartum = 1 to 105 days in milk (DIM), total experiment = -84 d before calving until 105 DIM

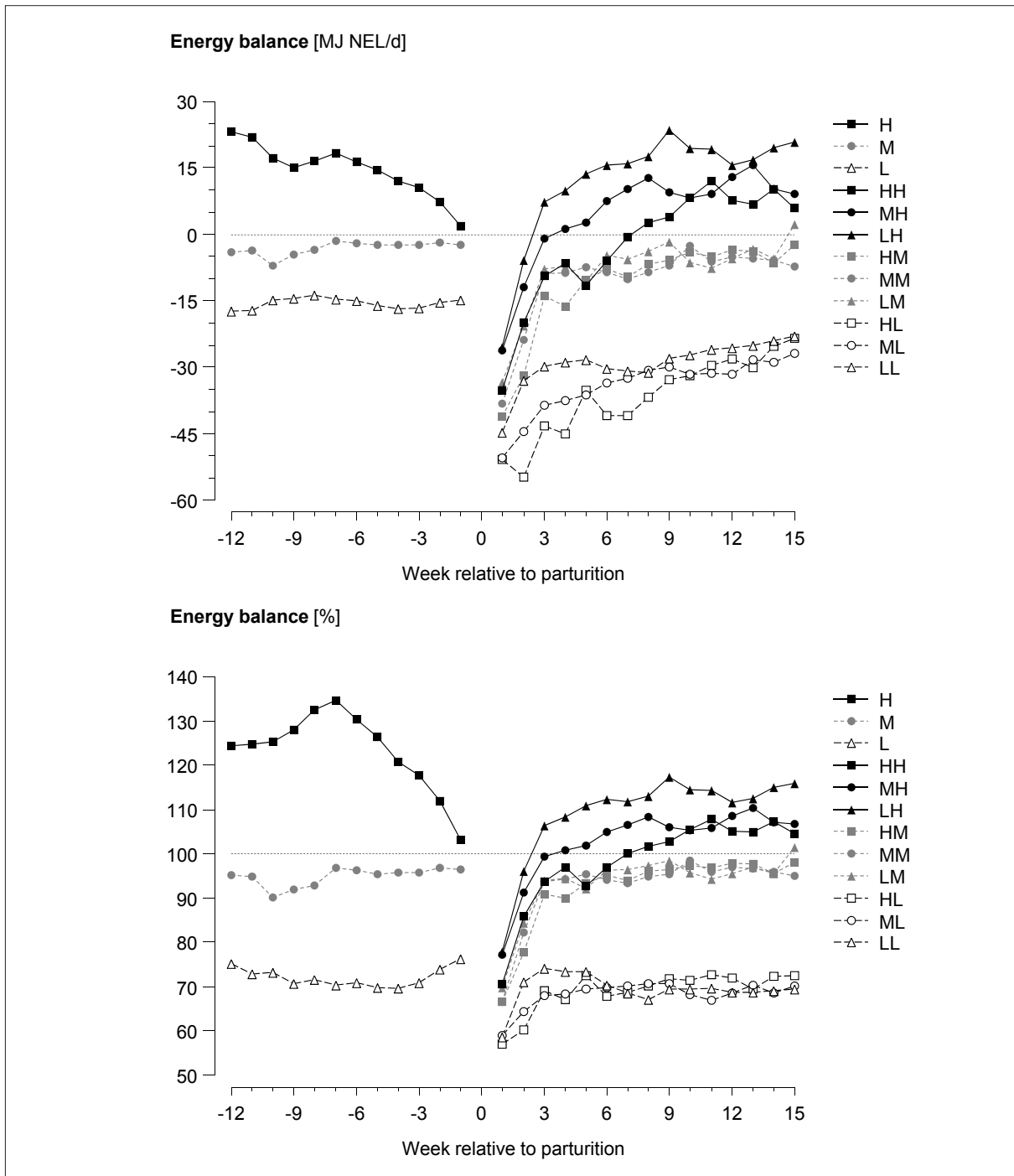


Figure 1: Energy balance of multiparous dairy cows in early lactation fed diets supplying low (L), medium (M), or high (H) energy levels pre- and postpartum. Treatments: L = low energy supply (E) prepartum (PRE); M = medium E_{PRE} ; H = high E_{PRE} ; LL = low E_{PRE} , low E_{POST} ; LM = low E_{PRE} , medium E_{POST} ; LH = low E_{PRE} , high E_{POST} ; ML = medium E_{PRE} , low E_{POST} ; MM = medium E_{PRE} , medium E_{POST} ; MH = medium E_{PRE} , high E_{POST} ; HL = high E_{PRE} , low E_{POST} ; HM = high E_{PRE} , medium E_{POST} ; HH = high E_{PRE} , high E_{POST} .

BHB concentrations as sole indicators of energy balance. In this paper, effects of energy supply per se are discussed, i.e. dietary energy intake and/or energy content, but energy balance and blood metabolites of multiparous high-producing dairy cows are also affected by dietary energy source as reported by van Knegsel et al. (2007a, 2007b).

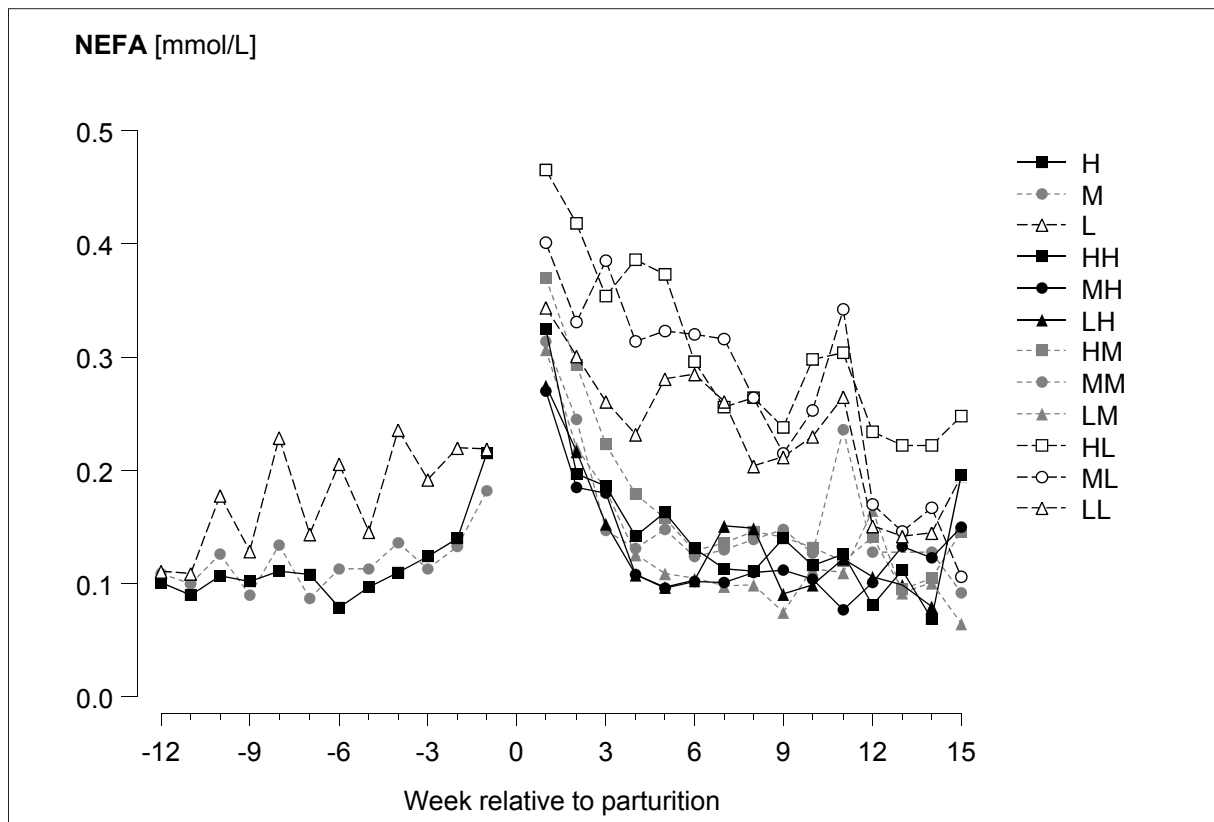


Figure 2: Serum NEFA concentration of multiparous dairy cows fed diets supplying low (L), medium (M), or high (H) energy levels pre- and postpartum. Treatments: L = low energy supply (E) prepartum (PRE); M = medium E_{PRE} ; H = high E_{PRE} ; LL = low E_{PRE} , low E_{POST} ; LM = low E_{PRE} , medium E_{POST} ; LH = low E_{PRE} , high E_{POST} ; ML = medium E_{PRE} , low E_{POST} ; MM = medium E_{PRE} , medium E_{POST} ; MH = medium E_{PRE} , high E_{POST} ; HL = high E_{PRE} , low E_{POST} ; HM = high E_{PRE} , medium E_{POST} ; HH = high E_{PRE} , high E_{POST} .

4.1 Energy balance pre- and postpartum

In the present study, planned target values of energy balance could not be achieved only in the H_{PRE} and H_{POST} treatments. During the prepartum period, this was possibly due to the absence of concentrate supplementation. Except for the last week before calving, when 1 kg of concentrates was fed to adapt rumen microbes to the lactation diet, only forages were fed in different proportions. Martens et al. (2012) recently pointed out the importance of offering a close-up diet, which is easier and more rapidly fermented than a far-off diet, for at least 2 weeks before parturition to allow adaptation of the rumen epithelium. The failure to achieve intended experimental energy intake may also be because forages and concentrates were fed separately. High concentrate escalation rates postpartum were not advantageous in improving milk production, nor did they result in changes in fat mobilization, fertility, and/or animal health as compared to slower increases in concentrate proportion (Andersen et al., 2012). A complete diet allows for elevated energy content and energy intake (Ingvartsen et al., 2001) and decreases the odds of metabolic disorders (Østergaard and Gröhn, 2000). But even with ad libitum access to a high energy density complete diet during the whole dry period, with a forage to concentrate (F:C) ratio 64:36 (DM basis), multiparous cows exceeded energy requirements by only 0.2 MJ ME/d during the last three weeks pre-calving in the study of Law et al. (2011). In the latter experiment, a high-energy treatment with ad libitum access to a lactation diet with a F:C ratio of 30:70 resulted in an average daily EB of +24.0 MJ ME/d during d 1 to 250 of lactation. In the H_{POST}

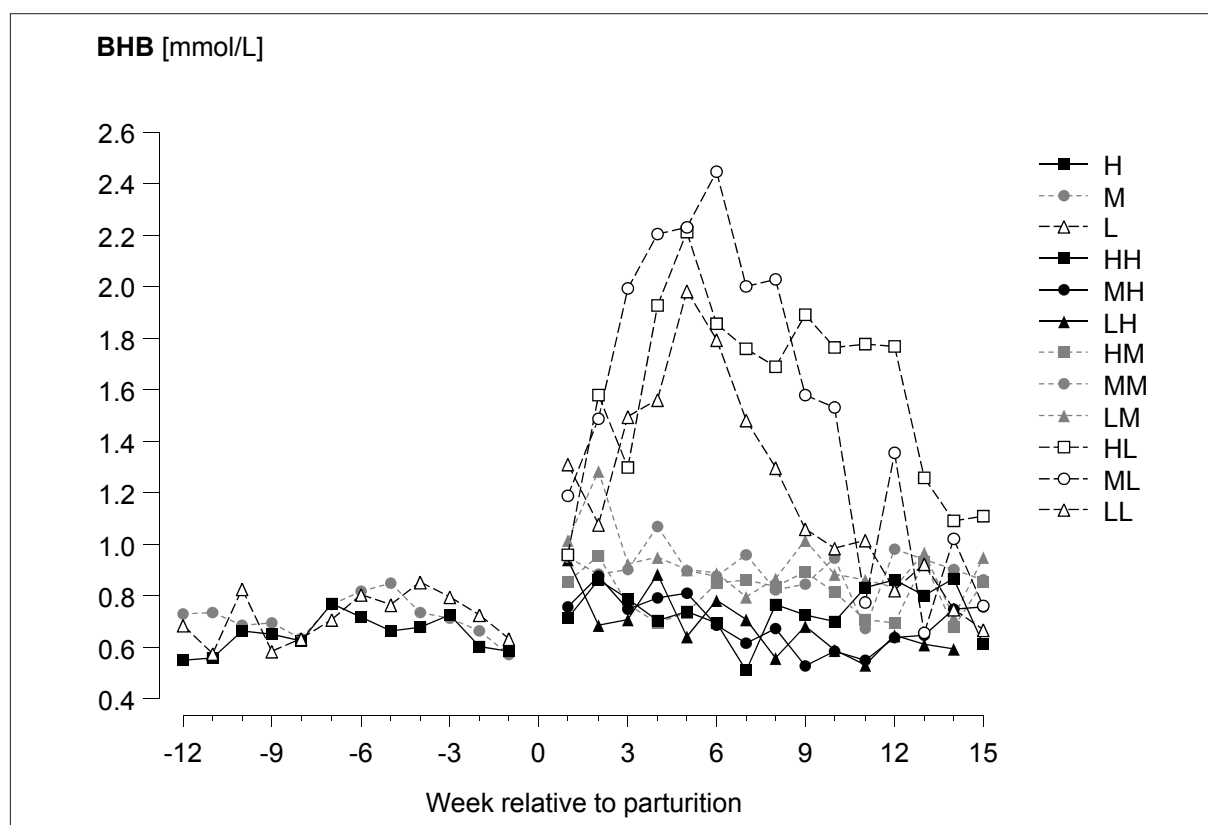


Figure 3: Serum BHB concentration of multiparous dairy cows fed diets supplying low (L), medium (M), or high (H) energy levels pre- and postpartum. Treatments: L = low energy supply (E) prepartum (PRE); M = medium E_{PRE} ; H = high E_{PRE} ; LL = low E_{PRE} , low E_{POST} ; LM = low E_{PRE} , medium E_{POST} ; LH = low E_{PRE} , high E_{POST} ; ML = medium E_{PRE} , low E_{POST} ; MM = medium E_{PRE} , medium E_{POST} ; MH = medium E_{PRE} , high E_{POST} ; HL = high E_{PRE} , low E_{POST} ; HM = high E_{PRE} , medium E_{POST} ; HH = high E_{PRE} , high E_{POST} .

treatments of the present study, post-calving mean EB was 4.9 MJ NEL/d (+3% of requirements), achieved with a F:C ratio of 46:54. Results show that excessive energy intake in early lactation is unlikely to happen with the still common feeding strategy of offering forages and concentrates separately.

Depression of DMI of ad libitum-fed cows and the subsequently decreasing energy balance as parturition approached is consistent with observations made by several other authors (e.g. Dann et al., 2005; Grummer, 1995; Ingvarlsen and Andersen, 2000). The greatest drop in energy balance in the periparturient period and magnitude of NEB postpartum was also experienced by cows on a high-energy-density diet during the close-up period in the study of McNamara et al. (2003).

The existing interaction of pre- and post-calving energy supply on EB in the H_{POST} treatments can largely be explained by differences in energy-corrected milk (ECM) yield and DMI, as also suggested by Janovick and Drackley (2010). Although not significant, cows in LH yielded > 2.0 kg ECM less than cows in treatments MH and HH (Gruber et al., 2012). On the other hand, forage and concentrate intake was numerically higher in treatment LH as compared to HH.

4.2 Effect of energy supply prepartum on blood metabolites

In a pasture-based system, Butler et al. (2011) compared a typical grass silage diet with a TMR including chopped straw in order to control energy intake of cows in the dry period to evalu-

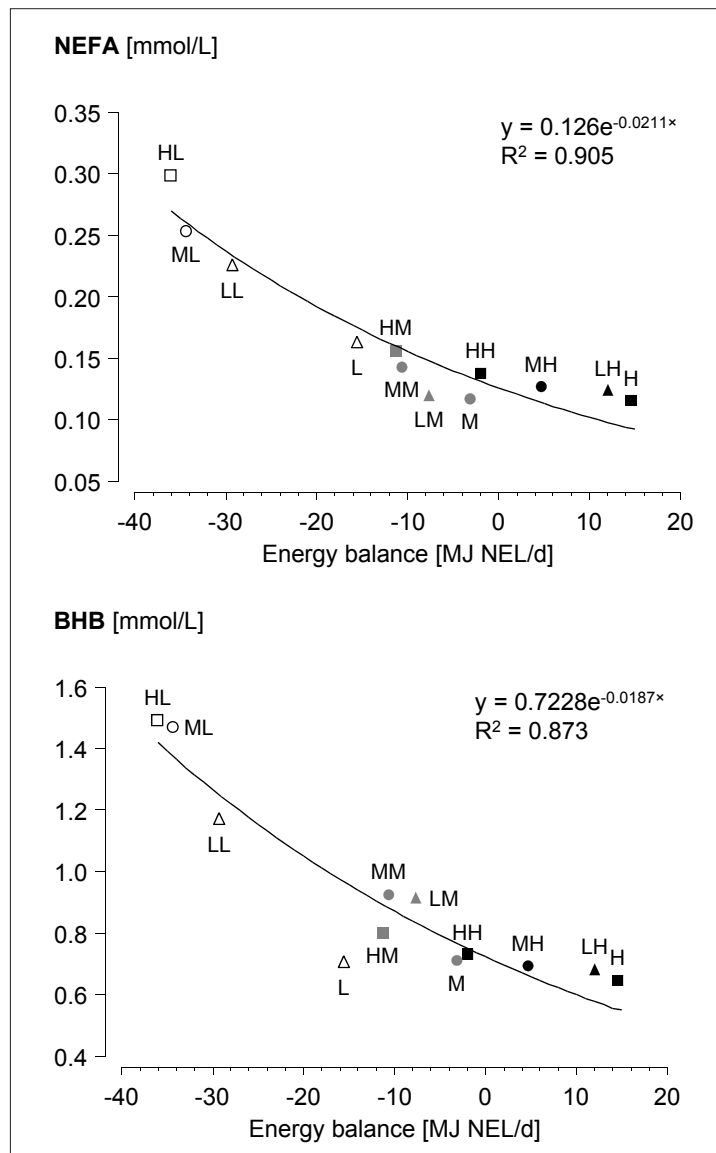


Figure 4: Relationship between serum NEFA and serum BHB concentrations and energy balance of multiparous dairy cows fed diets supplying low (L), medium (M), or high (H) energy levels pre- and postpartum. Displayed are least squares means of main effects. Treatments: L = low energy supply (E) prepartum (PRE); M = medium E_{PRE} ; H = high E_{PRE} ; LL = low E_{PRE} , low E postpartum (POST); LM = low E_{PRE} , medium E_{POST} ; LH = low E_{PRE} , high E_{POST} ; ML = medium E_{PRE} , low E_{POST} ; MM = medium E_{PRE} , medium E_{POST} ; MH = medium E_{PRE} , high E_{POST} ; HL = high E_{PRE} , low E_{POST} ; HM = high E_{PRE} , medium E_{POST} ; HH = high E_{PRE} , high E_{POST}

After calving, the concentration of blood glucose increased in all cows until the end of the experimental period. In the same study (Janovick et al., 2011), prepartum mean plasma NEFA values were lower in overfed animals as compared to the restricted intake group and the control cows. However, during the last 10 d before parturition, no dietary treatment effects could be observed. Dry period dietary management did not affect weekly plasma BHB concentrations prepartum. In the postpartum period weekly NEFA and BHB concentrations were higher in cows with an energy intake above requirements prepartum compared to other treatments.

ate peripartum metabolic status. In the grass silage treatment, the mean BHB concentration was higher than for the high-fiber treatment during the experimental period from week 1 prepartum to week 4 postpartum. In the TMR group, mean GLDH activity and Ca concentration were significantly higher and tended to be higher, respectively. NEFA and other plasma analytes were not affected by treatments.

Two energy intake levels (high vs. low) of dairy cows were compared during a period of 100 d before parturition until calving in the experiment by Law et al. (2011). Feeding strategy had no effect on mean plasma NEFA and BHB concentrations in the last 3 weeks of gestation. Plasma glucose concentration was greater in the high-energy treatment, plasma urea concentration in the low energy treatment.

Cows with ad libitum access to a high-energy diet during the dry period in the study by Janovick et al. (2011) had higher blood glucose concentrations prepartum than cows offered the same diet in restricted amounts or control cows on a bulky, high-roughage control diet fed ad libitum. The authors point out that, although this finding has also been demonstrated by others, and therefore is not remarkable, the absence of a negative effect on DMI is of interest. No carry-over effects of prepartum dietary treatment to lactation could be observed in this study. After

In a study evaluating the effects of feeding a moderate energy close-up diet for only three weeks before calving or during the whole dry period (Silva-del-Río et al., 2010), cows in the 8-week treatment had lower mean prepartum plasma NEFA concentrations than cows in the traditional 3-week treatment. The opposite was true for plasma BHB concentrations before parturition. Neither was there an effect of duration of close-up diet on plasma glucose concentrations prepartum. Nevertheless, the authors state that the observed concentrations were all within normal ranges, and that detected differences in prepartum metabolites were too small to implicate biological significance. In the postpartal phase, Silva-del-Río et al. (2010) observed tendencies towards greater plasma NEFA and BHB concentrations for cows fed the close-up diet for 8 weeks, which is in agreement with the significantly lower energy balance in this treatment. Postpartum plasma glucose was not affected by nutritional management prepartum.

Similarly to the present study, Roche (2007) observed elevated plasma NEFA and BHB as well as depressed glucose concentrations in feed-restricted grazing cows compared to cows on a high feed allowance during the last three weeks before calving.

Dann et al. (2005) investigated the effects of prepartum intake on the metabolic status of multiparous dairy cows and observed lower serum NEFA concentrations and higher glucose concentrations in ad libitum-fed animals as compared to restricted-fed animals during the dry period. Mean BHB concentration was not affected by treatment, although the resulting difference in the cows' energy balance was large (142% vs. 85% of NEL requirements). However, during the last week before calving, and in the postpartal phase during 1 to 4 DIM, serum concentrations of NEFA, BHB, and glucose were not affected by prepartum intake.

4.3 Effect of energy supply prepartum × energy supply postpartum on blood metabolites

Blood parameters in the lactation period were not affected by the pre-calving diet in a study similar to ours (Law et al. 2011), comparing low and high energy intakes of dairy cows in the dry period. However, a tendency towards higher plasma NEFA postpartum could be observed in animals offered the high-energy pre-calving diet. Post-calving treatment – ad libitum access to either a high or low energy lactation diet – affected plasma concentrations of NEFA, BHB, glucose, and urea significantly, but no interactions of prepartum and postpartum treatment have been observed. High energy supply post-calving resulted in lower plasma concentrations of NEFA, BHB, and urea, and greater mean values of glucose than in the low energy treatment. As it is expected that ketone body production is elevated when NEFA are mobilized and oxidized by the liver (Janovick et al., 2011), the results of the present study regarding energy supply after calving are conclusive and support this common theory.

No interactions between pre- and post-calving feeding levels were observed for the metabolites plasma NEFA and glucose in the study by Roche (2007), but cows offered a high feed allowance prepartum and restrictively fed postpartum had elevated BHB concentrations during the first five weeks of lactation. Similarly, although no significant interactions of pre- and postpartum energy supply on serum BHB concentrations were observed in the present study, cows in the ML and HL groups had higher BHB concentrations than the LL cows. These findings, suggesting a better adaptation to fat mobilization of cows restrictively fed pre-calving as compared to cows that begin restriction at calving or to overfed cows prepartum, were also reported by Holtenius and Holtenius (1996) and support the postulate of Friggens et al. (2004) that in such scenarios where DMI is controlled or restricted prepartum, cows can deal better with NEFA as metabolic fuel after parturition.

Multiparous cows fed a high-energy diet ad libitum during the dry period to increase body fat, and fed restrictedly for 5 d after calving to induce a large negative EB, i.e. comparable to the HL treatment of our study, had 167% higher plasma NEFA concentrations at week 1 after parturition as compared to concentrations at 1 week before parturition (Murondoti et al., 2004a). In the same period, NEFA concentrations of control animals fed according to energy requirements had increased by only 67%. Before calving there were no differences in NEFA and BHB plasma concentrations between these groups. The experimental group had higher NEFA and BHB plasma concentrations in the first 4 weeks postpartum, and negative EB was more severe, and for a longer period, than in animals from the control group. In this experiment, the hepatic activities of key enzymes involved in the oxidation and synthesis of fatty acids, and in gluconeogenesis (Murondoti et al., 2004b) were investigated as well. Based on these results, the authors concluded that hepatic accumulation of TAG in cows fed ad libitum during the dry period is not only due to elevated NEFA supply, but also may be increased by depressed or limited fatty acid oxidation in the liver. In addition, hepatic gluconeogenesis for the metabolism of propionate is diminished in those animals.

Varying the energy density of the diets in the pre- and postpartum period led to no significant interactions in early lactation regarding energy balance and blood metabolites in the study conducted by McNamara et al. (2003). Main effects of the pre-calving diet were detected for plasma BHB concentrations in week 2 postpartum and for plasma NEFA concentrations in week 8 after parturition, where the high-energy diet had greater values than the medium and low-energy-density diets. A high-energy post-calving treatment resulted in higher plasma glucose and lower plasma urea concentrations in lactation week 2 as compared to a low-energy treatment.

4.4 Metabolic profiles as indicators/predictors of energy status in cows

Serum NEFA and BHB concentrations are among the most commonly used energy-metabolism related blood parameters used to monitor energy balance (Quiroz-Rocha et al., 2010). McNamara et al. (2003) found no significant correlations between plasma NEFA concentrations in the second lactation week and energy balance when the energy-density of diets in the transition period was altered. A correlation coefficient of -0.29 was observed for BHB at week 2 postpartum and EB averaged over the first 4 weeks postpartum, suggesting that this metabolite may be a more accurate indicator of animal energy status in early lactation. Plasma glucose concentrations were not influenced by the pre-calving treatment, thus making no contribution to the assessment of energy balance in the abovementioned study. Overall, the authors of the study concluded that blood metabolites did not appear to be good indicators of energy balance.

Greater plasma NEFA concentrations postpartum of cows overfed in the dry period (Janovick et al., 2011) corresponded to a greater negative energy balance in those animals (Janovick and Drackley, 2010). The authors suggest that rather than body lipid mobilization being stimulated by a negative energy balance per se, overfeeding prepartum stimulates mobilization of adipose TAG, subsequently increasing milk fat percentage and yield, and finally results in a greater FCM yield and calculated negative energy balance.

In their study investigating pre- and post-calving dietary energy levels, Law et al. (2011) conducted linear regression analyses of daily energy balance with metabolic blood variables. Increasing plasma NEFA and plasma BHB concentrations were associated with more negative EB. However, the coefficients of determination of the fitted equations were only 28.4% and 9.7%, respectively. In the regression for NEFA, post-calving treatment had a significant effect on the intercept.

Cows monitored during a period of two weeks prepartum until 14 weeks postpartum were retrospectively classified according to their plasma BHB concentrations into BHB(+) positive and BHB(-) negative cows in a study by Kessel et al. (2008). As expected, all cows achieved a similar EB postpartum. However, remarkable differences in plasma BHB and NEFA concentrations, as well as in other metabolites and hormones, were observed between the BHB+ and BHB- group. These results support the theory, also postulated by Drackley et al. (2005), that cows' physiological adaptation to cope with metabolic stress during the post-calving period is not only a function of environmental influences like nutrition and housing, but is also considerably affected by individual animal variations, namely genetic components. Van Dorland et al. (2012) found significant correlations between adipose tissue and hepatic candidate genes in their study with high and low-plasma NEFA dairy cows (thresholds $> 500 \mu\text{mol}$ and $< 140 \mu\text{mol/L}$ in the first week postpartum). They suggested that these relationships represented the homeorhetic regulation at molecular level. Another interesting finding of the above study was that the regulation of metabolism to support lactation was more orchestrated in cows with high NEFA levels, and this individual adaptation is lacking on the day after calving. The same research group (van Dorland et al., 2009) observed a greater adaptability in early lactation in high BHB cows ($> 0.75 \text{ mmol/L}$ in week 4 postpartum) as compared to low BHB cows. Metabolic status of cows with a parity ≥ 4 was more favorable than in second and third-parity cows.

Trying to identify metabolically robust dairy cows by liver and plasma parameters, Graber et al. (2012) was able to correctly classify nearly 70% of sampled animals with a variable matrix consisting of parity, plasma triglycerides, glucose, and mRNA abundance of carnitine palmitoyltransferase 2. The authors identified these parameters to describe the difference between metabolically robust and vulnerable cows 3 weeks prepartum. While plasma urea was within the classification matrix at the time of sampling 4 weeks postpartum, NEFA concentration failed to indicate metabolically challenged cows in that study.

Metabolic profiling has become increasingly important again, in spite of the challenges faced when interpreting results from blood samples, e.g. low precision in estimating energy balance in individual cows (Reist et al., 2002), and the resulting sample size needed to estimate EB with any precision on a herd level (Heuer et al., 2001). An electronic cowside test using whole blood to detect subclinical ketosis in dairy cows has already been tested successfully (Iwersen et al., 2009). Unlike measurements such as body condition scoring or backfat thickness, which might not reflect the current dietary and herd status because of their historic nature, metabolic profiling provides actual herd status (Schröder and Staufenbiel, 2006). Based on a comprehensive data set from feeding trials conducted by several research institutions, Kronschnabl (2010) has recently established new reference values and prediction intervals for blood parameters for German Holstein and Simmental cows. Software implementation of these data could improve preventive herd surveillance programs as a herd management tool for high-yielding dairy cows.

5. CONCLUSION

Cows that were underfed prepartum had higher serum concentrations of NEFA, indicating the mobilization of body reserves before parturition. Compared to cows that consumed excess energy pre-calving, feed restriction resulted in a less severe postpartum negative energy balance. The metabolic effects of this dry-period nutrition were minor in the lactation period, but lower NEFA concentrations reflected a better adaptation to adipose tissue mobilization in early lactation. Feeding below energy requirements post-calving increased the severity and duration of the negative energy balance, and raised serum NEFA concentrations. BHB concentrations indicated

ketosis in underfed cows and were still elevated in cows fed according to energy requirements. An interaction between prepartum and postpartum feeding level and energy balance was observed after calving, suggesting that controlling energy intake during the dry period might be advantageous for the energy status of dairy cows in early lactation. The results indicate a distinct relationship between energy balance and the blood metabolites NEFA and BHB, especially in the transition period.

Acknowledgments

The authors would like to thank all the co-workers of the institute of livestock research for their commitment and cooperation in herd management, data collection and electronic data processing, A. Blaschka for figure preparation, and Kathleen Knaus for editing assistance. This study was financed by the Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management (Vienna).

6. REFERENCES

- Andersen, F., Østerås, O., Eid Fjuk, G.H., Volden, H., 2012. Effect of concentrate escalation postpartum on the shape of the lactation curve and health parameters of Norwegian dairy cattle. *Livest. Sci.* 143, 249–258.
- Bauchart, D., 1993. Lipid absorption and transport in ruminants. *J. Dairy Sci.* 76, 3864–3881.
- Baumann, D.E., Currie, W.B., 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.
- Butler, M., Patton, J., Murphy, J.J., Mulligan, F.J., 2011. Evaluation of a high-fibre total mixed ration as a dry cow feeding strategy for spring-calving Holstein Friesian dairy cows. *Livest. Sci.* 136, 85–92.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Faulconnier, Y., Bonnet, M., Roul, J., Bocquier, F., 2000. Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 59, 127–134.
- Clark, C.E.F., Fulkerson, W.J., Nandra, K.S., Barchia, I., Macmillan, K.L., 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., Morin, D.E., Bollero, G.A., Murphy, M.R., Drackley, J.K., 2005. Prepartum intake, postpartum induction of ketosis, and periparturient disorders affect the metabolic status of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 3249–3264.
- van Dorland, H.A., Richter, S., Morel, I., Doherr, M.G., Castro, N., Bruckmaier, R.M., 2009. Variation in hepatic regulation of metabolism during the dry period and in early lactation in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 1924–1940.
- van Dorland, H.A., Sadri, H., Morel, I., Bruckmaier, R.M., 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.
- Douglas, G.N., Overton, T.R., Bateman, H.G., Dann, H.M., Drackley, J.K., 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., Dann, H.M., Douglas, G.N., Janovick Guretzky, N.A., Litherland, N.B., Underwood, J.P., Loor, J.J., 2005. Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders. *Ital. J. Anim. Sci.* 4, 323–344.
- Duffield, T.F., Lissemore, K.D., McBride, B.W., Leslie, K.E., 2009. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *J. Dairy Sci.* 92, 571–580.
- Friggens, N.C., Andersen, J.B., Larsen, T., Aaes, O., Dewhurst, R.J., 2004. Priming the dairy cow for lactation: a review of dry cow feeding strategies. *Anim. Res.* 53, 453–473.
- GfE (German Society of Nutrition Physiology), 2001. Recommendations for the Supply of Energy and Nutrients to Dairy Cows and Heifers, Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Germany (in German).

- Giesecke, D., 1987. Lipid mobilization and insulin function in cows with high milk yield. *Adv. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 18. Paul Parey, Hamburg/Berlin, Germany (in German).
- Giuliodori, M.J., Delavaud, C., Chilliard, Y., Becú-Villalobos, D., Lacau-Mengido, I., Luzbel de la Sota, R., 2011. High NEFA concentrations around parturition are associated with delayed ovulations in grazing dairy cows. *Livest. Sci.* 141, 123–128.
- Goff, J.P., Horst, R.L., 1997. Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *J. Dairy Sci.* 80, 1260–1268.
- Graber, M., Kohler, S., Müller, A., Burgermeister, K., Kaufmann, T., Bruckmaier, R.M., van Dorland, H.A., 2012. Identification of plasma and hepatic parameters related to metabolic robustness in dairy cows. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 96, 75–84.
- Gruber, L., Urdl, M., Obritzhauser, W., Schauer, A., Häusler, J., 2012. Influence of energy supply pre- and postpartum on performance of multiparous dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* (submitted).
- 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.
- Grummer, R.R., Mashek, D.G., Hayirli, A., 2004. Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 20, 447–470.
- Herdt, T.H., 1988. Fatty liver in dairy cows. *Vet. Clin. N. Am. Food Anim. Pract.* 4, 269–287.
- Herdt, T.H., 2000. Variability characteristics and test selection in herd-level nutritional and metabolic profile testing. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 16, 387–403.
- Heuer, C., Van Straalen, W.M., Schukken, Y.H., Dirkzwager, A., Noordhuizen, J.P.T.M., 2000. Prediction of energy balance in a high yielding dairy herd in early lactation: model development and precision. *Livest. Prod. Sci.* 65, 91–105.
- Holcomb, C.S., Van Horn, H.H., Head, H.H., Hall, M.B., Wilcox, C.J., 2001. Effects of prepartum dry matter intake and forage percentage on postpartum performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 2051–2058.
- Holtenius, K., Agenäs, S., Delavaud, C., Chilliard, Y., 2003. Effects of feeding intensity during the dry period. 2. Metabolic and hormonal responses. *J. Dairy Sci.* 86, 883–891.
- Holtenius, P., Holtenius, K., 1996. New aspects of ketone bodies in energy metabolism of dairy cows: a review. *J. Vet. Med.* 43, 579–587.
- Ingvarsen, K.L., Aaes, O., Andersen, J.B., 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.
- Ingvarsen, K.L., Andersen, J.B., 2000. Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *J. Dairy Sci.* 83, 1573–1597.
- Iwersen, M., Falkenberg, U., Voigtsberger, R., Forderung, D., Heuwieser, W., 2009. Evaluation of an electronic cowside test to detect subclinical ketosis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 2618–2624.
- Janovick, N.A., Boisclair, Y.R., Drackley, J.K., 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.
- Janovick, N.A., Drackley, J.K., 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.
- Jorritsma, R., Jorritsma, H., Schukken, Y.H., Bartlett, P.C., Wensing, Th., Wentink, G.H., 2001. *Livest. Prod. Sci.* 68, 53–60.
- Kessel, S., Stroehl, M., Meyer, H.H.D., Hiss, S., Sauerwein, H., Schwarz, F.J., Bruckmaier, R.M., 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.
- van Knegsel, A.T.M., van den Brand, H., Dijkstra, J., Kemp, B., 2007a. Effects of dietary energy source on energy balance, metabolites and reproduction variables in dairy cows in early lactation. *Theriogenology* 68S, S274–S280.
- van Knegsel, A.T.M., van den Brand, H., Dijkstra, J., van Straalen, W.M., Jorritsma, R., Tamminga, S., Kemp, B., 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.
- Kolver, E.S., MacMillan, K.L., 1993. Short term changes in selected metabolites in pasture fed dairy cows during peak lactation. *Proc. New Zealand Soc. Anim. Prod.* 53, 77–81.

- Kronfeld, D.S., Donoghue, S., Copp, R.L., Stearns, F.M., Engle, R.H., 1982. Nutritional status of dairy cows indicated by analysis of blood. *J. Dairy Sci.* 65, 1925–1933.
- Kronschnabl, C., 2010. Determination of prediction intervals specific to lactation in order to evaluate the concentration of blood parameters of dairy cows. Doctoral Thesis. Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München, Munich.
- Kunz, P.L., Blum, J.W., Hart, I.C., Bickel, H., Landis, J., 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., Young, F.J., Patterson, D.C., Kilpatrick, D.J., Wylie, A.R.G., Ingvarlsen, K.L., Hameleers, A., McCoy, M.A., Mayne, C.S., Ferris, C.P., 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., Ridder, C., Friggens, N.C., 2010. Limits to prediction of energy balance from milk composition measures at individual cow level. *J. Dairy Sci.* 93, 1998–2006.
- Martens, H., Rabbani, I., Shen, Z., Stumpff, F., Deiner, C., 2012. Changes in rumen absorption processes during transition. *Anim Feed Sci. Technol.* 172, 95–102.
- Mashek, D.G., Beede, D.K., 2001. Peripartum responses of dairy cows fed energy-dense diets for 3 or 6 weeks prepartum. *J. Dairy Sci.*, 115–125.
- McNamara, J.P., 1991. Regulation of adipose tissue metabolism in support of lactation. *J. Dairy Sci.* 74, 706–719.
- McNamara, S., Murphy, J.J., Rath, M., O'Mara, F.P., 2003. Effects of different transition diets on energy balance, blood metabolites and reproductive performance in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 84, 195–206.
- Morrow, D.A., 1976. Fat cow syndrome. *J. Dairy Sci.* 59, 1625–1629.
- Murondoti, A., Jorritsma, R., Beynen, A.C., Wensing, T., Geelen, M.J.H., 2004a. Unrestricted feed intake during the dry period impairs the postpartum oxidation and synthesis of fatty acids in the liver of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87, 672–679.
- Murondoti, A., Jorritsma, R., Beynen, A.C., Wensing, T., Geelen, M.J.H., 2004b. Activities of the enzymes of hepatic gluconeogenesis in periparturient dairy cows with induced fatty liver. *J. Dairy Res.* 71, 129–134.
- NRC (National Research Council), 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- Oetzel, G.R., 2004. Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 20, 651–674.
- Olsson, G., Emanuelson, M., Wiktorsson, H., 1998. Effects of different nutritional levels prepartum on the subsequent performance of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 53, 279–290.
- Ospina, P.A., Nydam, D.V., Stokol, T., Overton, T.R., 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., Gröhn, Y.T., 2000. Concentrate feeding, dry-matter intake, and metabolic disorders in Danish dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 65, 107–118.
- Payne, J.M., Dew, S.M., Manston, R., Faulks, M., 1970. The use of a metabolic profile test in dairy herds. *Vet. Rec.* 87, 150–158.
- Quiroz-Rocha, G.F., LeBlanc, S.J., Duffield, T.F., Jefferson, B., Wood, D., Leslie, K.E., Jacobs, R.M., 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., Rezende, R.L., Bertics, S.J., Grummer, R.R., 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.
- Reid, I.M., Roberts, C.J., Treacher, R.J., Williams, L.A., 1986. Effect of body condition at calving on tissue mobilization, development of fatty liver and blood chemistry of dairy cows. *Anim. Prod.* 43, 7–15.
- Reist, M., Erdin, D., von Euw, D., Tschuemperlin, K., Leuenberger, H., Chilliard, Y., Hammon, H.M., Morel, C., Philipona, C., Zbinden, Y., Kuenzi, N., Blum, J.W., 2002. Estimation of energy balance at the individual and herd level using blood and milk traits in high-yielding dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85, 3314–3327.
- Remppis, S., Steingass, H., Gruber, L., Schenkel, H., 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., Aikman, P.C., Lupoli, B., Humphries, D.J., Beever, D.E., 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., Kolver, E.S., Kay, J.K., 2005. Influence of precalving feed allowance on periparturient metabolic and hormonal responses and milk production in grazing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 677–689.
- Rukkamsuk, T., Geelen, M.J.H., Kruip, T.A.M., Wensing, T., 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., Murphy, J.J., Crosse, S., Rath, M., 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.
- Schröder, U.J., Staufenbiel, R., 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.
- Silva-del-Rio, N., Fricke, P.M., Grummer, R.R., 2010. Effects of twin pregnancy and dry period feeding strategy on milk production, energy balance, and metabolic profiles in dairy cows. *J. Anim. Sci.* 88, 1048–1060.
- Stengärde, L., Holtenius, K., Tråvén, M., Hultgren, J., Niskanen, R., Emanuelson, U., 2010. Blood profiles in dairy cows with displaced abomasum. *J. Dairy Sci.* 93, 4691–4699.
- Studer, V.A., Grummer, R.R., Bertics, S.J., Reynolds, C.K., 1993. Effect of propylene glycol administration on periparturient fatty liver in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76, 2931–2939.
- Van den Top, A.M., Wensing, T., Wentink, G.H., Van't Klooster, A.T., Beynen, A.C., 1995. Time trends of plasma lipids and hepatic triacylglycerol synthesizing enzymes during postpartum fatty liver development in dairy cows with unlimited access to feed during the dry period. *J. Dairy Sci.* 78, 2208–2220.
- Vandehaar, M.J., Yousif, G., Sharma, B.K., Herdt, T.H., Emery, R.S., Allen, M.S., Liesman, J.S., 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.
- Wylie, A.R.G., Woods, S., Carson, A.F., McCoy, M., 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.