

Einfluss eines Energiedefizits auf die Zusammensetzung der Milch

Isabelle Morel¹, Marius Collomb¹, Anette van Dorland² und Rupert Bruckmaier²

¹Forschungsanstalt Agroscope Liebefeld-Posieux ALP, 1725 Posieux

²Veterinärphysiologie, Vetsuisse Fakultät der Universität Bern, 1725 Posieux

Auskünfte: Isabelle Morel, E-Mail: Isabelle.Morel@alp.admin.ch, Tel. +41 26 407 72 46



Das Energiedefizit der Milchkühe ging hauptsächlich auf eine Reduktion der Kraftfuttergabe zurück. Heu stand *ad libitum* zur Verfügung.

Einleitung

Ist eine negative Energiebilanz bei Hochleistungskühen zu Beginn der Laktation so gut wie unvermeidbar, so scheint diese Situation ab dem 3. Laktationsmonat doch weniger problematisch zu sein. Auf der Alp oder während Phasen mit schwierigen Weidebedingungen kann diese Situation jedoch durchaus eintreten. Nach Leiber (2005) könnte dieses Energiedefizit eine Hypothese sein, um bestimmte Veränderungen des in Höhenlagen produzierten Milchfetts zu erklären.

Dieser Versuch folgte direkt auf einen ersten, in welchem 28 Kühe in zwei verschiedenen Fütterungsgruppen während der Galtzeit eingeteilt waren und anschliessend während der ersten 12 bis 18 Laktationswochen gleich gefüttert wurden (Morel *et al.* 2008). Da die Zusammensetzung des Körper- und Milchfetts dieser Kühe bekannt war, waren die Voraussetzungen erfüllt, um zu versuchen, die Auswirkungen eines Energiedefizits auf die Zusammensetzung des Milchfetts zu erklären.

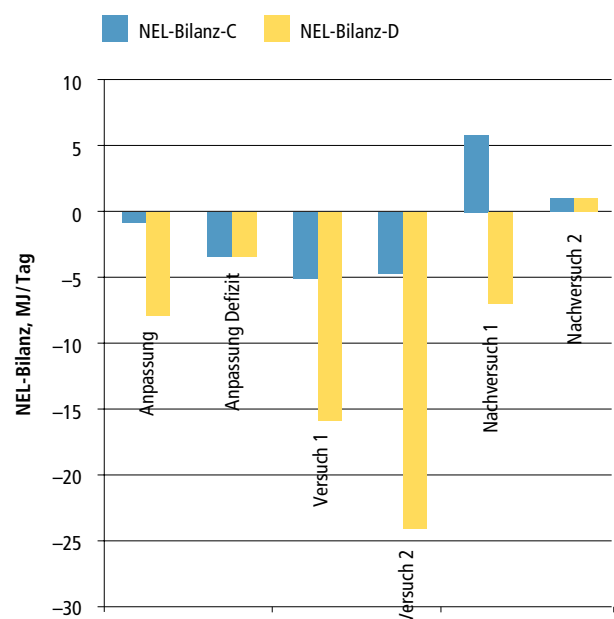


Abb. 1 | Während den verschiedenen Versuchsphasen geschätzte NEL-Bilanz.

Methode

Projektdurchführung

Die Versuchsbedingungen und die Zusammensetzung der Versuchsfuttermittel werden in den Tabellen 1 bis 3 dargestellt. Da die Abkalbungen in einen etwa zweimonatigen Zeitraum fielen, erfolgte der Versuch in zwei Serien nach dem gleichen Modell. Eine erste Serie begann mit den zwölf in der Laktation am weitesten fortgeschrittenen Kühen, während die zweite Serie anfang, sobald die letzte Kuh ihre 12. Laktationswoche abgeschlossen hatte. Folglich befanden sich die Kühe zu Beginn der Anpassungsphase im Durchschnitt in der 14. Laktationswoche (mindestens in der 12. und höchstens in der 18. Woche). Für die Auswertung wurden die Ergebnisse beider Serien (24 Kühe) zusammengeführt, mit Ausnahme der Resultate zu Futterraufnahme und Energiebilanz.

Resultate und Diskussion

Entwicklung von Futterraufnahme und Energiebilanz

Der Übergang vom Freilaufstall (Anpassungswoche) zum Anbindestall (Defizitanpassungswoche und zwei Wochen Defizit) führte sowohl bei der Kontrollgruppe C (-1,4 kg TS/Tag) als auch bei der Defizitgruppe D (etwa -3 kg TS/Tag) zu einer Abnahme der Futterraufnahme. Die manuell gewogenen Futterreste bestehen nur aus einer Mischung von Silage, Heu (feucht durch die Silage) und etwaigen Kraftfutterresten, bei welchen es schwierig ist, die genauen Anteile jeder Einzelkomponente zu schätzen. Deshalb ist die einzig auf den Ergebnissen der Kühe aus der Serie 1 basierende und in Abbildung 1 dargestellte Energiebilanz lediglich ein Anhaltspunkt und deren Werte sind nicht als absolut zu betrachten. Dennoch lässt sich feststellen, dass das geplante zweiwöchige Energiedefizit von

Zusammenfassung

Der durchgeführte Versuch hatte das Ziel, die Auswirkungen einer zweiwöchigen energetischen Unterversorgung in der Höhe von minus 15 MJ pro Tag auf die Zusammensetzung des Milchfetts zu prüfen. 24 Kühe in der Anfangsphase der Laktation wurden auf zwei Varianten aufgeteilt, nachdem sie gleich gefüttert (Heu, Mischung aus Gras- und Maissilage, Kartoffeln, Energie- und Proteinkraftfutter, Mineralstofffutter) und nach dem Abkalben unter gleichen Bedingungen gehalten wurden. In der Variante C (Kontrolle) erfolgte die Fütterung der Kühe gemäss den Fütterungsempfehlungen, während die Kühe der Gruppe D (Defizit) während der Adaptationsphase progressiv in eine zweiwöchige energetische Unterversorgung von minus 15 MJ pro Tag geführt wurden. Auf diese Phase folgten zwei Wochen mit Versorgung gemäss Empfehlungen. Während der Defizitphase sanken das Lebendgewicht, der BCS, die Milchproduktion und der Proteingehalt der Milch, wohingegen der Fett- und Harnstoffgehalt der Milch anstiegen. Im Vergleich zu den in der Anpassungsphase gemessenen Werten veränderte sich die Zusammensetzung des Milchfetts tendenziell durch einen Anstieg der langkettigen (C18 und mehr) Fettsäuren (FS), vor allem der C18:1c9 (Ölsäure) sowie der Summe der Omega-3 FS. Verhältnismässig lässt sich ein Absinken der gesättigten FS zugunsten der einfach und mehrfach ungesättigten FS beobachten. Die während der Defizitphase festgestellten Auswirkungen haben sich nach einer zweiwöchigen Rückkehr zu einer den Empfehlungen entsprechenden Fütterung teilweise oder vollständig normalisiert.

Tab. 1 | Versuchsanordnung und Rationierung

DAUER (Versuchswochen)	BEZEICHNUNG RATIONEN	RATION	
		Variante C Kontrolle	Variante D Defizit
		Heu guter (Serie 1) bis mittlerer (Serie 2) Qualität <i>ad lib.</i> Silagemischung Gras und Mais (50:50) <i>ad lib.</i> Energiereiches Kraftfutter Proteinfutter Mineralstofffutter	
1 Woche (= Wo. 1)	Anpassung	Zufuhr gemäss Empfehlungen	
1 Woche (= Wo. 2)	Anpassung Defizit	Zufuhr gemäss Empfehlungen	Progressives energetisches Defizit von 0 bis 15 MJ pro Tag
2 Wochen (= Wo. 3–4)	Versuch (1 und 2)	Zufuhr gemäss Empfehlungen	Energetisches Defizit von 15 MJ pro Tag
2 Wochen (= Wo. 5–6)	Nachversuch (1 und 2)	Zufuhr gemäss Empfehlungen	

Tab. 2 | Versuchsbedingungen

Varianten	Kontrolle C	Defizit D
Anzahl Tiere	12 Kühe (6 pro Serie)	12 Kühe (6 pro Serie)
Zuteilung zu den Varianten C und D	Je nach Benotung der Körperkondition BCS (body condition score), der Laktationsnummer, der Milchproduktion und der Milchinhaltsstoffe.	
Haltung	Anpassungsphase (1 Woche) und Nachversuchsphase (2 Wochen): Freiluftstall Defizitanpassungsphase (1 Woche) und Versuchsphase (2 Wochen): Anbindestall	
Versuchsparameter (Erfassungshäufigkeit)	Lebendgewicht (2 x pro Tag) Milchproduktion (2 x pro Tag) Futteraufnahme (täglich) BCS (3x; Anfang Woche 1, Ende Woche 4, Ende Woche 6) Milchgehalte: – Fett, Proteine, Laktose, Harnstoff, Kasein, Zellen (2 x pro Woche) – Fettsäuren (3x; Ende Woche 1, Ende Woche 4, Ende Woche 6) Blutparameter: NEFA (nicht veresterte Fettsäuren) und BHB (Betahydroxybutyrat) (3x; Ende Woche 1, Ende Woche 4, Ende Woche 6)	

Tab. 3 | Chemische Zusammensetzung und Nährwert der Grünfütter und Futtermittel (in g/kg TS)

Inhaltsstoff (Proben: n)	Heu Serie 1 (1)	Heu Serie 2 (2)	Grassilage (3)	Maissilage (3)	Energiefutter (4)	Proteinfutter ¹ (4)	Mineralstoff-futter (4)
Trockensubstanz	886	903	362	334	865	865	937
Rohasche	93	84	102	32	51	53	521
Rohprotein	157	138	183	74	117	578	52
Rohfaser	244	274	241	201	28	24	47
Rohfett (RL)	20	18	35	23	32	29	60
Lignocellulose	269	307	276	225	43	65	62
Zellwandbestandteile	475	530	416	407	125	88	130
NEL (MJ)	5,8	5,0	6,5	6,4	8,1	8,2	4,5
APDE	96	85	87	66	109	344	35
APDN	100	87	115	46	80	443	24
Ca	3,3	5,4	5,4	1,7	10,0	2,5	101,1
P	4,2	3,8	4,8	1,8	3,7	6,1	59,9
Mg	1,3	2,1	1,6	1,0	1,2	2,3	30,2
C 14:0	0	0	0	0	0	0	1,2
C 16:0	2,2	1,9	3,1	3,5	3,6	3,6	11,8
C 16:1	0	0,9	1,5	0,2	0	0	1,2
C 18:0	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5	0,9	7,2
C 18:1	0,4	0,4	0,5	5,6	5,3	6,1	17,9
C 18:2	2,3	1,7	3,6	11,8	13,8	11,9	8,0
C 18:3	7,0	5,1	12,7	1,4	0,7	0,9	0,8
Σ gesättigt	2,3	2,1	3,6	4,3	4,0	4,7	21,0
Σ einf. ungesättigt	0,4	1,3	1,3	5,7	5,3	6,1	20,0
Σ mehrl. ungesättigt	9,3	6,8	16,3	13,6	14,5	12,8	8,7

¹ Um die Milchezusammensetzung nicht zu beeinflussen, enthielt das Proteinfutter keine fettreichen Ausgangsstoffe. Es bestand aus 60 % Sojaextraktionsschrot (9,5 g RL/kg TS), 25 % Maisgluten 60, 10 % Kartoffelprotein und 5 % Melasse.

15 MJ pro Tag anscheinend erreicht wurde. Aufgrund des oben erwähnten Absinkens der Futterraufnahme ist auch die Energiebilanz der Gruppe C während der dreiwöchigen Anbindehaltung leicht negativ. Dies wird bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen sein.

Entwicklung von Gewicht und BCS

Das Gewicht und der BCS (Beurteilung der Körperkondition) der Gruppe D haben, bezogen auf die Ausgangswerte während der Defizitphase, auf die energetische Unterversorgung mit einer Gewichtsabnahme in Höhe von ca. 20 kg und einem Absinken des BCS von 0,06 Punkten reagiert. Auch bei der Kontrollgruppe kam es aufgrund der Veränderung von Haltungssystem und Futtervorlage zu einer geringen Abnahme von 9 kg und 0,04 BCS-Punkten.

Milchproduktion und Milchgehalte in den verschiedenen Versuchsphasen

Sowohl in der Gruppe C als auch in der Gruppe D sank die Milchproduktion um 2 bis 2,5 kg zwischen der Anpassungsphase und der zweiten Versuchswoche. Trotz des energetischen Defizits, welchem die Tiere der Gruppe D unterzogen wurden, reagierten sie in den beiden Versuchswochen nicht stärker als die Tiere der Kontrollgruppe. Wahrscheinlich konnten sie ihre Körperreserven besser mobilisieren. Bei der Rückkehr in den Freilaufstall stieg die Milchproduktion beider Gruppen erneut an. Das Absinken der Milchproduktion scheint folglich mehr mit dem Wechsel des Haltungssystems als mit dem Energiedefizit zusammenzuhängen.

Die Milchinhaltsstoffe der Kühe der Gruppe D haben sich wie erwartet entwickelt (Abb. 2). Es kam zu einer zeitweisen Erhöhung des Fettgehaltes während der De-



Abb. 2 | Entwicklung der Gehalte von Fett, Protein, Laktose und Harnstoff während der verschiedenen Versuchsphasen.

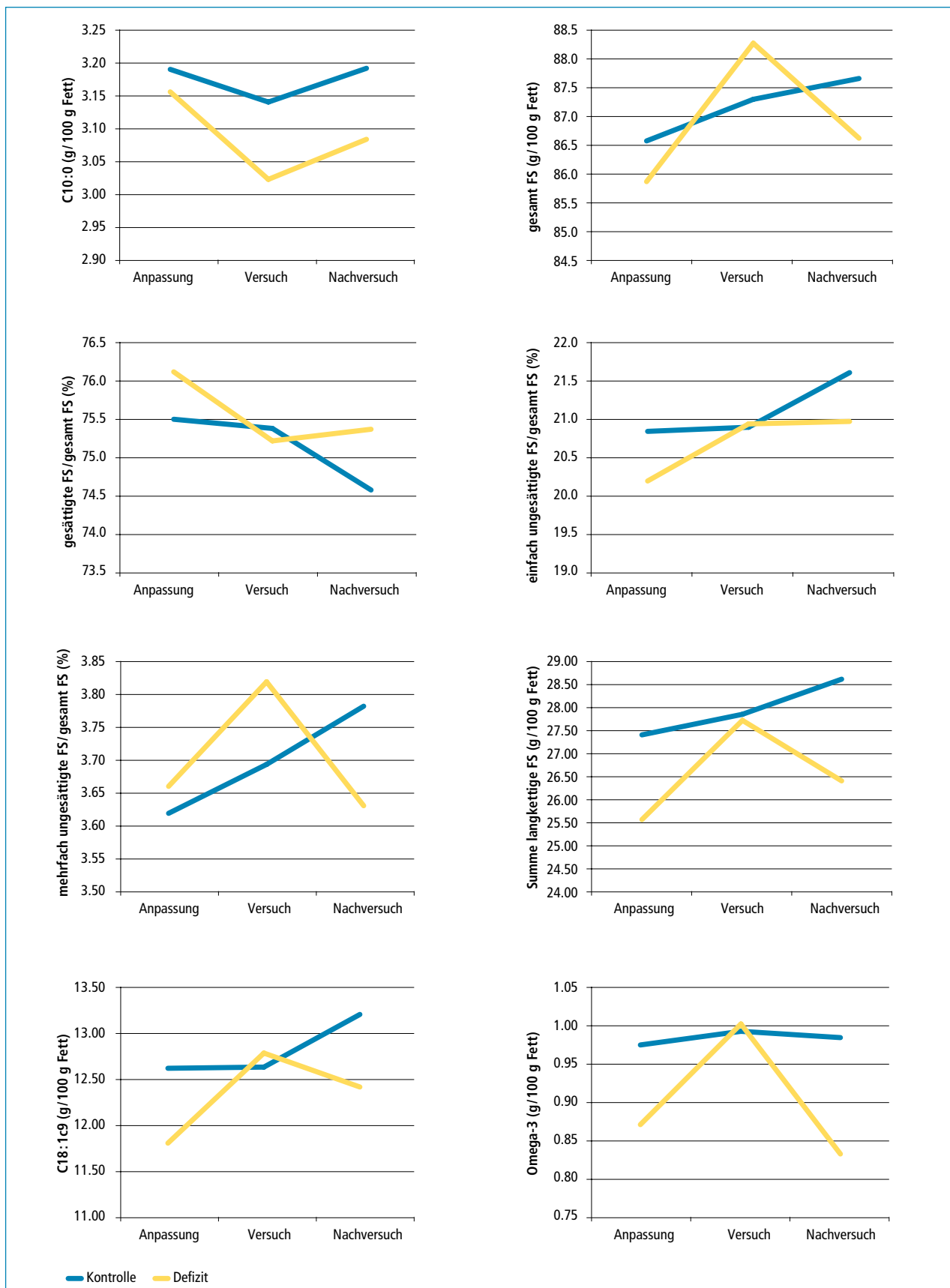


Abb. 3 | Konzentration der Hauptfettsäuren und Fettsäuregruppen in der Milch während der drei Versuchsphasen (Anpassungsphase, Versuchsphase und Nachversuchsphase).

fizitphase (Mobilisierung von Körperreserven) sowie zu einer Senkung der Protein- und Caseingehalte (weniger verfügbares APDE) bei einer gleichzeitigen Erhöhung des Harnstoffgehalts. Bei den Kühen der Kontrollgruppe, bei welchen die Harnstoffgehalte ebenso wie die Protein- und Laktosegehalte stabil blieben, lässt sich eine Entwicklung des Fettgehalts erkennen, welche derjenigen der Gruppe D gleicht.

Fettsäuren im Milchfett

In Bezug auf die analysierten Hauptfettsäuren (FS) unterschied sich die Milch der gemäss Empfehlungen gefütterten Tiere weder in der Versuchsphase noch in der post-experimentellen Phase signifikant von der Milch der energetisch unterversorgten Kühe. Zum Ende der Anpassungsphase unterschieden sich die Werte statistisch nicht, mit Ausnahme der C18:0 Säure, deren Werte zu Versuchsbeginn in der Milch der Kühe der Gruppe C höher waren. Das Energiedefizit hat dennoch zu einigen Veränderungen geführt, wie in Abbildung 3 ersichtlich ist, nämlich in der Entwicklung einiger Fettsäuren oder Fettsäuregruppen sowie im Verhältnis verschiedener Fettsäuregruppen zueinander.

Am Beispiel der Caprinsäure (C10:0) lässt sich erkennen, dass die kurzkettigen Fettsäuren (C6, C8, C10) bis zu C12 während der Defizitphase abnehmen. Nach Palmquist *et al.* (1993) sinkt die *de novo* Synthese der kurz- und mittelkettigen Fettsäuren in der Milchdrüse, wenn die Kühe eine negative Energiebilanz aufweisen, wohingegen die Mobilisierung der Fettsäuren des Fettgewebes zunimmt. Die Buttersäure C4 ist hingegen stabil, was für diese FS charakteristisch zu sein scheint (Chilliard *et al.* 2001).

Gemäss den im Zusammenhang mit dem Fettgehalt angestellten Beobachtungen stieg die Gesamtfettsäurenmenge während der Defizitphase aufgrund einer Mobilisierung von Fettsäuren aus dem Fettgewebe bevor sie anschliessend wieder sank. Quantitativ kam es in erster Linie zu einer Erhöhung der langkettigen FS (C18 und mehr), deren Menge durch diese Mobilisierung zwischen der Anpassungsphase und der Defizitphase um mehr als 8 % anstieg.

Entsprechend sank der Anteil gesättigter Fettsäuren um etwa 1 % bei den Kühen der Gruppe D zwischen Anpassungs- und Defizitphase, bevor er sich in der post-

experimentellen Phase stabilisierte. Gleichzeitig stieg der Anteil einfach ungesättigter FS um 0,8 %-Punkte bevor er sich anschliessend ebenfalls stabilisierte. Auch die mehrfach ungesättigten FS reagierten zum Zeitpunkt des Defizits positiv (+0,2 %), bevor sie wieder auf die Ausgangsgehalte zurückfielen. Auch die Kontrollgruppe unterlag bestimmten Veränderungen in Bezug auf das Verhältnis von Fettsäuregruppen zueinander; dies jedoch wie bei einer zeitlichen Entwicklung deutlich linearer. >



Abb. 4 | Während der Phase des Energiedefizits war der Fettgehalt der Milch und der Gehalt an Omega-3-Fettsäuren höher als wenn die Kühe entsprechend den Empfehlungen gefütterte wurden. (Foto: Alexandra Schmid, ALP)

Unter den langkettigen Fettsäuren, die von einer Erhöhung während des Defizits betroffen sind, befindet sich die Ölsäure (C18:1c9), welche als Indikator einer energetischen Unterversorgung bekannt ist (Kaufmann 1980). Hierbei handelt es sich mit einem Anteil von nahezu 45 % nach Rukkamsuk *et al.* (2000) um den Hauptbestandteil der Körperreserven. Bei denselben Kühen lag der C18:1 Anteil drei Wochen nach dem Abkalben in den Analysen der Fettgewebeprobe bei 43 %. Andererseits stieg auch die Summe der Omega-3 Fettsäuren, deren Hauptvertreter die α -Linolensäure ist, zwischen der Anpassungs- und der Versuchsphase deutlich an (+15 %). In seiner Doktorarbeit hat Leiber (2005) gezeigt, dass die Konzentration an α -Linolensäure in Milch von Kühen, die auf Alpweiden geweidet hatten, 0,63 mal höher war als in Milch, die von denselben Kühen drei Wochen zuvor im Talgebiet produziert worden war ($P < 0,001$), obwohl die Aufnahme von 18:3n3 auf der Alp deutlich geringer war. Unter den drei möglichen Hypothesen, um dieses Phänomen zu erklären, hingen zwei mit dem Energiedefizit der Kuh zusammen. Einerseits aufgrund der bevorzugten Mobilisierung von 18:3n3 aus dem Fettgewebe und andererseits wegen einer reduzierten Aktivität der Biohydrogenierung im Pansen aufgrund eines energetischen Defizits oder wegen spezifischer sekundärer Pflanzenstoffe (3. Hypothese). Agenäs *et al.* (2002) haben auch einen Anstieg der α -Linolensäuren-Konzentration in der Milch bei einer negativen Energiebilanz festgestellt.

Auch die CLA steigen tendenziell, jedoch parallel zu der in der Kontrollgruppe beobachteten Entwicklung und auf einem sehr geringen Niveau (0,48 g/100 g RL am Ende der Versuchsphase).

Gemäss Agenäs *et al.* (2002) wird die Aktivität der Δ^9 -Desaturase begünstigt, wenn die *de novo* Synthese in der Milchdrüse gering ist, womit sich auch der C18:1c9 Anstieg erklären liesse. Dieser Mechanismus würde also der Regulierung des Schmelzpunktes des Milchfetts dienen.

Schlussfolgerung

Die Unterschiede zwischen den beiden Versuchsvarianten sind nicht signifikant, dies betrifft insbesondere die Ergebnisse für die Fettsäurezusammensetzung des Milchfetts. Da alle Tiere der Kontrollgruppe auf die Umstellung des Haltungssystems reagierten, basieren die unten genannten Schlussfolgerungen einzig auf den Ergebnissen der Gruppe D.

Das zweiwöchige Energiedefizit in Höhe von 15 MJ/Tag wirkt sich folgendermassen aus:

- Absinken des Lebendgewichts und des BCS.
- Verminderung der Milchproduktion, des Proteingehalts und der Proteinproduktion bei gleichzeitiger Erhöhung des Milchfettgehalts und der Harnstoffkonzentration in der Milch.
- Im Milchfett kommt es zu einem Anstieg der langkettigen FS (C18 und mehr), darunter C18:1c9 (Ölsäure) und die Summe der Omega-3 FS.
- Der Anteil gesättigter FS sinkt verhältnismässig zugunsten der einfach und mehrfach gesättigten FS.

Nach einer zweiwöchigen Fütterung gemäss Empfehlungen erreichten die meisten Parameter wieder ihre Ausgangswerte. ■

Riassunto**Effetto di un deficit energetico sulla composizione del latte**

Una prova è stata effettuata per valutare l'effetto di un deficit energetico dell'ordine di 15 MJ/giorno durante due settimane sulla composizione della materia grassa (MG) del latte. Ventiquattro vacche all'inizio della fase di piena lattazione sono state suddivise in due varianti dopo essere state afforaggiate con la medesima dieta (fieno, miscela d'insilati d'erba e di mais, patate, alimenti concentrati energetici e proteici, alimenti minerali) e tenute nelle stesse condizioni post-parto. Nella variante C (controllo), le vacche sono state afforaggiate seguendo le raccomandazioni, mentre nel gruppo D (deficit) sono state messe progressivamente in situazione di deficit energetico fino a raggiungere un bilancio energetico di -15 MJ/giorno per un periodo di due settimane. Dopo questa fase si è ritornati per ulteriori due settimane ad un approvvigionamento una dieta normale. Durante la fase deficitaria il peso vivo, il BCS, la produzione lattiera e il tasso proteico sono diminuiti mentre il tasso di MG e quello d'urea nel latte sono aumentati. Tendenzialmente, rispetto ai valori misurati durante la fase d'adeguamento, la composizione della MG del latte è stata modificata con un aumento degli acidi grassi (AG) lunghi (C18 e oltre), in particolare il C18:1c9 (acido oleico) e la somma degli AG omega 3. Proporzionalmente si osserva un calo degli AG saturi a vantaggio degli AG mono e polinsaturi. La maggior parte degli effetti constatati durante il deficit sono parzialmente o interamente reversibili dopo due settimane di ritorno a un'alimentazione conforme alle raccomandazioni.

Literatur

- Agenäs S., Holtenius K., Griinari M. & Burstedt E., 2002. Effects of turnout to pasture and dietary fat supplementation on milk fat composition and conjugated linoleic acid in dairy cows. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Sciences* 52 (1), 25–33.
- Bachmann H.-P. & Jans F., 1995. Interner Bericht FAM 7/95. Einfluss von Milch von Kühen im Energiedefizit auf die Qualität von Modell-Emmentaler und Gruyère, 23 p.
- Chilliard Y., Ferlay A. & Doreau M., 2001. Contrôle de la qualité nutritionnelle des matières grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières: acides gras trans, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. *INRA Prod. Anim.* 14 (5), 323–335.
- Kaufmann W., 1980. Protein degradation and synthesis within the reticulo-rumen in relation to milk protein synthesis. *Bulletin of the IDF* 125 (14), 152–158.

Summary**Influence of an energy deficient diet on milk composition**

An experiment was set up to study the effect of an energy deficit of approximately 15 MJ per day for two weeks on the composition of milk fat. Twenty-four cows at the beginning of full lactation, which were fed the same diet (hay, mixtures of silage of grass and corn, potatoes, concentrates of energy, protein and minerals) and kept under the same conditions after calving, were allotted to two groups. In group C (control), the cows were fed according to the recommendations, whereas in group D (deficit), the cows were slowly introduced to a diet resulting in an energy deficit of 15 MJ/day for two weeks. This phase was followed by a two weeks return to a normal diet. During the deficit phase, the live weight, BCS, milk production and protein levels decreased whereas the urea and fat content of milk increased. Compared to the values measured during the adaptation phase, the composition of the fat content of milk tended to have increased long (C18 and more) chain fatty-acids (FA), mainly C18:1c9 (oleic acid) as well as the sum of omega-3 FA. There was a proportional decrease in saturated FA compared to mono- and poly-unsaturated FA. The majority of the effects noted during the deficit period were partially or entirely reversed after two weeks back to a recommended diet.

Key words: dairy cows, milk fat, fatty acids, body reserves.

- Leiber F., 2005. Causes and extent of variation in yield, nutritional quality and cheese-making properties of milk by high altitude grazing of dairy cows. Diss. ETHZ No. 15735, 132 p.
- Morel I., Collomb M., Richter S., Reist M. & Bruckmaier R.M., 2008. Galt Fütterung und Milchezusammensetzung bei Laktationsbeginn. *Agrarforschung* 15 (9), 452–457.
- Palmquist D.L., Beaulieu A.D. & Barbano D.M., 1993. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *J. Dairy Sci.* 76, 1753–1771.
- Rukkamsuk T., Geelen M.J.H., Kruij 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.