

---

# Probleme der Energie- und Proteinversorgung bei Hochleistungskühen

## Lösung durch pansenstabiles Fett und Protein? – Umsetzung in der Fütterungspraxis

K.-H. SÜDEKUM

### 1. Einleitung

Sowohl in wissenschaftlichen Veröffentlichungen als auch in anwendungs- und beratungsorientierten Beiträgen zur Energie- und Proteinversorgung von Milchkuhen dominierten in den letzten Jahren Arbeiten, in denen ein besonderes Augenmerk auf die Transitperiode gelegt wurde, also den Zeitraum von etwa drei Wochen vor bis drei Wochen nach dem Kalben. Für diesen Abschnitt im Produktionszyklus einer Kuh gibt es dementsprechend inzwischen eine ganze Reihe von Konzepten und Handlungsanweisungen, die alle dem Ziel dienen, Fütterung und Management so zu optimieren, dass gesunde Kühe eine hohe Leistung erbringen können.

Demgegenüber ist die frühe Trockenstehperiode – vom Trockenstellen bis einschließlich vierter Woche *ante partum* – bisher kaum als kritische Phase für eine erfolgreiche Laktation betrachtet worden. Dass das Hauptaugenmerk der Bemühungen auf der Transitphase gelegen hat, bedeutete gleichermaßen, dass bei den laktierenden Kühen die längerfristigen Auswirkungen von Fütterungsmaßnahmen weniger im Mittelpunkt des Interesses standen. Diese Ausgangslage war Anlass genug, im vorliegenden Beitrag die Probleme der Energie- und Proteinversorgung in der Laktation von Hochleistungskühen vornehmlich außerhalb der Transitphase zu betrachten. Zunächst soll aber ein kurzer Abschnitt der Fütterung in der frühen Trockenstehperiode gewidmet werden, weil hierzu neue, hochinteressante Befunde aus den USA vorliegen, die eine nähere Betrachtung verdienen.

### 2. Verbesserung der Energieversorgung von Hochleistungskühen

#### 2.1 Frühe Trockenstehperiode

Vor allem in den USA, aber auch in Europa wurde in den letzten 20 Jahren ein großes Gewicht sowohl in der Forschung als auch in der Praxis auf eine Erhöhung der Energiedichte der Ration der Trockensteher gelegt, insbesondere in den letzten drei Wochen vor dem Kalben (DRACKLEY 2002, LINS et al. 2003), wobei die Ergebnisse dieser Maßnahmen häufig und insgesamt als enttäuschend bewertet wurden (DRACKLEY 2006). Neuere Arbeiten der Arbeitsgruppe von DRACKLEY zeigen, dass die Ernährung der Milchkuhe in der frühen Trockenstehphase von wesentlich größerer Bedeutung ist, als bisher angenommen, und ein Risiko vor allem hinsichtlich einer Überfütterung besteht. Diese führt nach Ergebnissen von DANN et al. (2005) aufgrund metabolischer Anpassungsprozesse selbst dann, wenn Kühe nicht überkonditioniert (zu fett) sind, zu geringeren Trockenmasse-(TM)-Aufnahmen nach dem Kalben und erhöhter Anfälligkeit für die Entwicklung von Ketose.

DOUGLAS et al. (2006) fanden heraus, dass sogar eine stärker restriktive Fütterung während der Trockenstehperiode (Energieaufnahme nur 81 % des geschätzten Bedarfs – ausschließlich der letzten Woche *ante partum*, in der die Tiere *ad libitum* Futter aufnehmen konnten) zu verbesserten TM-Aufnahmen nach dem Kalben und einer sehr deutlich verringerten Leberverfettung führten. Eine geringere Leberverfettung er-

laubt der Leber eine höhere Stoffwechselleistung und verringert das Risiko von Stoffwechselstörungen und -erkrankungen. In einem weiteren Versuch der gleichen Arbeitsgruppe (DANN et al. 2006) wurden verschiedene Fütterungsstrategien in der Trockenstehperiode untersucht und es konnte gezeigt werden, dass eine möglichst nahe am (niedrigen) Energiebedarf ausgerichtete Fütterung in der frühen Trockenstehperiode wichtiger ist als die Energieaufnahme in den letzten 3 Wochen *ante partum* (DANN et al. 2006). Am günstigsten in der frühen Trockenstehzeit erwies sich die Verfütterung voluminöser, grobfutterreicher Rationen, zum Beispiel durch den Einsatz von 3 bis 5 kg/Tag an gehäckseltem Weizenstroh. Eine solche Ration erlaubte den Kühen eine *ad libitum* TM-Aufnahme bei gleichzeitig kontrollierter Energieaufnahme, die knapp bedarfsdeckend (95 %) war. Mit solchen Rationen, die allerdings nur bei Gesamtmischrationen (totally mixed rations, TMR) ganz unproblematisch handhabbar sein dürften, können das Pansenmilieu und die TM-Aufnahme vor dem Kalben stabilisiert und Stoffwechsellumstellungen verhindert werden, die durch energiereiche Rationen selbst dann ausgelöst werden können, wenn die Kühe nicht zu fett sind. Die Versuche der US-Arbeitsgruppe zeigten, dass nach dem Kalben die TM-Aufnahmen und Leistungen der restriktiver ernährten Tiere mit denen der intensiver gefütterten Kühe übereinstimmten, dabei aber gleichzeitig die Stoffwechselbelastung verringert werden konnte. Von einer anderen Arbeitsgruppe (CARLSON et al. 2006) wurde berichtet, dass eine Energierestriktion (80

---

**Autor:** Prof. Dr. Karl-Heinz SÜDEKUM, Institut für Tierwissenschaften, Abteilung Tierernährung, Universität Bonn, Endenicher Allee 15, D-53115 BONN, email: ksue@itz.uni-bonn.de

% des Bedarfs) am Ende der Laktation in Kombination mit einer erhöhten Versorgung in der frühen Trockenstehphase (130 % des Bedarfs) sich günstig auf das Stoffwechselgeschehen in der folgenden Laktation auswirken könnte.

Die angeführten Beispiele verdeutlichen einmal mehr, dass ein erfolgreiches Fütterungsmanagement den gesamten Produktions- und Reproduktionszyklus einer Kuh beachten muss, wobei eine kritische, unvoreingenommene Überprüfung der jüngst publizierten Befunde sicher angezeigt ist.

## 2.2 Zulagen von (pansenstabilen) Fetten

Die Ergänzung von Milchkurationen mit Fetten zur Verbesserung der Energieversorgung bietet theoretisch aus den folgenden Gründen Vorteile (nach zahlreichen Quellen aus einer Übersichtsarbeit von SCHROEDER et al. 2004):

- Fette erhöhen die Energiekonzentration der Ration, weil sie – je nach Autor und Fettherkunft – 2,3- bis 3-mal so hohe Konzentrationen an Nettoenergie-Laktation (NEL) aufweisen wie kohlenhydrat- oder proteinreiche Futtermittel.
- Fette erhöhen die Effizienz der Energieverwertung, weil ihre Verdauung und Verwertung geringere Energieverluste in Form von Wärme, Methan und Harn verursacht und weil langkettige Fettsäuren (FS) aus dem Futter direkt in das Milchfett eingebaut werden können. Die geringere Wärmeproduktion könnte besonders bei hohen Umgebungstemperaturen im Sommer von Vorteil sein (DRACKLEY et al. 2003). Der bevorzugte direkte Einbau von FS in das Milchfett führt zudem zu einem Glucosespareffekt, womit in der Milchdrüse mehr Glucose für die Milchzuckerbildung zur Verfügung steht. Diese positive Auswirkung der Fettfütterung wurde kürzlich in einem Versuch an Milchkühen nachgewiesen, die gleiche Aufnahmen an NEL (MJ/Tag) und nutzbarem Rohprotein (XP) am Duodenum (nXP) aufwiesen, aber mit 540 g bzw. 1.270 g/Tag deutlich unterschiedliche Rohfettaufnahmen hatten (VOIGT et al. 2005). Die Fettzulage erfolgte durch pansenstabilen Fett, überwiegend in Form von

Calcium-(Ca)-Seifen von Palmfett und Sojaöl.

- Fette reduzieren das Risiko von Pansenacidosen und des Rückgangs im Milchfettgehalt, beides Erscheinungen, die bei Fütterung großer Mengen an Getreide als Energieträger beobachtet werden.
- Fette verändern die Milchfettzusammensetzung durch die Erhöhung des Anteils langkettiger ungesättigter FS und konjugierter Linolsäuren (CLA) und die Reduzierung des Anteils gesättigter Fettsäuren. Damit werden Milchprodukte erzeugt, denen eine günstigere Wirkung auf die menschliche Gesundheit nachgesagt werden.

Der letzte Aspekt verdient eine gesonderte Betrachtung an anderer Stelle, weil hier weniger die Energieversorgung der Milchkuh als vielmehr die Erzeugung spezieller Milchprodukte im Vordergrund steht.

Neben einer verbesserten Energieversorgung und daraus resultierenden Wirkungen auf die Milchleistung kann Fettfütterung ebenfalls positive Auswirkungen auf das Fruchtbarkeitsgeschehen von Milchkühen haben (BEAM und BUTLER 1998, STAPLES et al. 1998, PETIT et al. 2002). Diese Effekte liegen jedoch nicht primär in einer verbesserten Energiebilanz der Tiere begründet, sondern hängen mit spezifischen, positiven Effekten bestimmter FS, z.B. Linolsäure (C18:2, STAPLES et al. 1998) oder  $\alpha$ -Linolensäure (C18:3, PETIT et al. 2002) auf Reproduktionsorgane und hormonelle Regelkreisläufe zusammen. Diese speziellen Auswirkungen der Fettfütterung an Milchkühe bedürfen einer eigenen, gründlichen Betrachtung hinsichtlich der in der Praxis zu erwartenden Auswirkungen, die den Rahmen dieses Beitrags sicherlich gesprengt hätten. In einer Übersicht zum Fetteinsatz zur Verbesserung der Energieversorgung von Milchkühen steckten ABEL et al. (1993) den quantitativen Rahmen

**Tabelle 1: Empfehlungen zum Fetteinsatz in der Milchkuhfütterung** (nach MÄNNER 2002)

Merkmal	Art der Fettsäuren in der Fettzulage	
	ungeschützt	pansenstabil
Zulage (g pro Tier und Tag)	200 - 400	400 - 1.000
Gesamt-Rohfettaufnahme (g pro Tier und Tag)	800 - 1.000	1.000 - 1.500

folgendermaßen ab: „Unterstellt man eine ausreichend hohe Verdauungskapazität von ca. 2 g Fett pro kg Lebendmasse und Tag und einen bezüglich intermediärer Verwertung optimalen Anteil von 16 % der umsetzbaren Energie (ME) aus Fett (KRONFELD 1976), ergeben sich für eine Kuh mit einer Leistung von 30 kg Milch pro Tag je nach Verdaulichkeit bzw. ME-Gehalt des Fettes 1.200 - 1.600 g Fett pro Kuh und Tag. Zur Vermeidung verdauungsphysiologisch negativer Auswirkungen sollten ca. zwei Drittel dieser Fettmenge in pansenverträglicher Form zugeführt werden. Darüber hinaus müssten sämtliche Möglichkeiten zur Stabilisierung der Milcheiweißgehalte voll ausgeschöpft werden“. Höhere Mengen an Fett in Milchkurationen ( $\geq 8$  % Rohfett in der TM der Gesamtration; 8 % entspricht bei 20 kg TM-Aufnahme 1.600 g/Tag) können jedoch wegen ihrer hemmenden Wirkung auf die Futteraufnahme und Faserverdauung in den Vormägen eine Milchfett- und/oder Milchproteingehaltsdepression bewirken. Um diese Auswirkungen, die in milderer Form auch schon bei deutlich geringeren Rohfettgehalten beobachtet wurden, möglichst zu vermeiden, liegt es nahe, Fette in pansenstabiler Form zu verfüttern. Dementsprechend wird bei Empfehlungen zum Fetteinsatz in der Praxis in der Regel zwischen ungeschützten und pansenstabilen (geschützten) Fetten unterschieden. *Tabelle 1* zeigt eine solche Empfehlung, die auf einer umfangreichen Literaturlauswertung beruht.

Es ist interessant zu sehen, dass die Empfehlungen für die Gesamt-Rohfettaufnahme bei Einsatz pansenstabiler Fette ziemlich genau die Größenordnung umfasst, die von ABEL et al. (1993) auch als theoretisch günstigste Einsatzmengen abgeleitet wurden. Zur besseren Vergleichbarkeit unterschiedlicher Datenquellen sollte aber darauf geachtet werden, dass stets auch die Rohfettgehalte in der TM der Rationen angegeben sind,

weil eine Fettmenge von 1.000 oder 1.500 g/Tag bei 15 kg TM-Aufnahme andere Auswirkungen haben wird als bei einer TM-Aufnahme von 25 kg.

Die Effekte von Fettfütterung auf Milchkühe wurden bisher überwiegend für TMR oder andere Fütterungssysteme auf Basis konservierter Grobfutter beschrieben sowie kürzlich in einer umfassenden statistischen Auswertung vorgestellt (ONETTI und GRUMMER 2004). Diese Befunde sollen nachfolgend hinsichtlich ihrer Bedeutung für hiesige Produktionsbedingungen erörtert werden. Da die Wirkung von Fettzulagen in ungeschützter und pansenstabiler Form auf weidende Milchkühe erst in jüngerer Zeit intensiver Beachtung fand, obwohl die Weide in vielen Regionen eine große Bedeutung für die Energie- und Nährstoffversorgung und damit Laktationsleistung von Milchkühen hat, werden Fettzulagen für weidende Milchkühe in einem separaten Abschnitt diskutiert.

### 2.2.1 Gesamtmischrationen (TMR)

Es wurde vielfach berichtet, dass Milchkühe außerordentlich variabel auf Fettzulagen reagieren. Dies gilt sowohl beim Vergleich verschiedener Fettquellen als auch für ein und dieselbe Fettherkunft. Die veränderliche Reaktion im Leistungsgeschehen auf dieselbe Fettquelle bei unterschiedlichen Rationstypen legt die Vermutung nahe, dass Wechselwirkungen zwischen Fetten und Rationstypen bestehen, wozu es jedoch lange Zeit an systematischen Untersuchungen mangelte. In einer umfassenden statistischen Auswertung mittels einer Metaanalyse untersuchten ONETTI und GRUMMER (2004) die Auswirkungen von Fettzulagen auf TM-Aufnahmen, Milchleistung und -zusammensetzung sowie Nährstoffverdaulichkeiten bei Milchkühen. In insgesamt 41 Studien wurden als Fettarten Ca-Seifen von Palmfettsäuren, Talg und ausgewählte Talg-FS eingesetzt. Weil in der Europäischen Union wegen der geltenden Rechtslage Tierfette nicht eingesetzt werden, sind von den Ergebnissen dieser Studie nachfolgend vor allem die Ergebnisse zu den Ca-Seifen von Interesse und werden mit weiteren Befunden zum Einsatz pansenstabiler pflanzlicher Fette bei Milchkühen ergänzt und diskutiert.

In den von ONETTI und GRUMMER (2004) ausgewerteten Versuchen bewirkten Fettzulagen im Durchschnitt aller Varianten einen Rückgang der TM-Aufnahme und eine mäßige Erhöhung der Milchleistung. Interessanterweise waren sowohl der negative Effekt auf die Futtermittelaufnahme (-0,97 kg TM/Tag) als auch der positive Effekt auf die Milchleistung (+1,29 kg/Tag) zahlenmäßig, wenn auch nicht statistisch signifikant, bei Verwendung von Ca-Seifen stärker ausgeprägt als bei den beiden Talg-Arten mit einem mittleren Rückgang der Futtermittelaufnahme von 0,75 kg TM/Tag und einem Anstieg der Milchleistung um 0,62 kg/Tag. Statistisch abzusichernde Unterschiede gab es aber hinsichtlich Milchfettgehalt und täglicher Milchfettmenge, die mit Talg verringert und mit Talg-FS sowie Ca-Seifen von Palmöl-FS erhöht waren.

Für die Umsetzung dieser Erkenntnisse in die Praxis ist bedeutsam, dass bei allen drei Fettarten der Grobfuttertyp in der TMR einen erheblichen Einfluss auf die Wirkungen der Fette hatte. Ein signifikanter Anstieg der Milchleistung war dann zu verzeichnen, wenn Ca-Seifen zu Rationen gegeben wurden, deren Grobfutteranteil überwiegend (> 60 % der Grobfutter-TM) aus Maissilage bestand. Bei Luzernesilage oder -heu als dominierendem Grobfutterbestandteil oder Luzernekonservaten und Maissilage zu ähnlichen Anteilen waren die Effekte auf die Milchleistung dagegen nur gering und nicht signifikant ausgeprägt. Der beobachtete Unterschied zwischen den Rationstypen in der Reaktion auf die Zulage an Ca-Seifen könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Fettzulage bei den Rationen mit den hohen Anteilen an Maissilage keinen negativen Einfluss auf die TM-Aufnahme ausübte und somit die Fettzulage eine Steigerung der Gesamtenergieaufnahme bewirkte. Einen sehr deutlichen positiven Milchleistungseffekt von Ca-Seifen von Palmöl-FS ermittelten MEYER et al. (2001) bei Rationen, deren Grobfutter-TM zu je 50 % aus Gras- und Maissilage bestand. Die täglich produzierten Mengen an Milch und fettkorrigierter Milch (4 % Fett, FCM) waren durch die Fettzulage um 2,0 (26 gegenüber 24 kg) bzw. 2,7 kg (28,6 gegenüber 25,9 kg) erhöht. Dies war gleichermaßen auf einen erhöhten Energiegehalt des Konzentratfutters mit

Ca-Seifen als auch auf eine erhöhte TM-Aufnahme zurückzuführen. Interessanterweise wurden diese positiven Ergebnisse mit Milchkühen in mittleren und späteren Laktationsstadien erzielt. Die Auswertung von ONETTI und GRUMMER (2004) hingegen ergab, dass Fettzulagen die Leistung von Milchkühen in der Früh-laktation verbessert, während im mittleren Laktationsabschnitt Fettzulagen ohne positiven Einfluss auf die Milchleistung bleiben und die Milchfettmenge sogar reduziert war.

Bei Fettzulagen zur Weide (siehe Abschnitt 2.2.2) reagierten die Tiere im mittleren Laktationsabschnitt stärker positiv als die Kühe in der Früh-laktation. Diese gegensätzlichen Befunde unterstreichen, dass bei der Beurteilung der Auswirkungen von Fettzulagen auf Leistungsmerkmale und den Energiestatus von Milchkühen neben der Fettart die Grundration und das Laktationsstadium unbedingt zu berücksichtigen sind. Zudem erscheinen weitere gezielte Versuche erforderlich, um die Wechselwirkungen zwischen Art des Fettes und Grobfuttertyp besser charakterisieren und damit die Reaktion von Milchkühen auf Fettzulagen besser vorhersagen zu können.

### 2.2.2 Weide

Eine intensive Weidewirtschaft mit hochleistenden Milchkühen, die das Ziel verfolgt, den Milchertrag aus Grünfütter zu maximieren oder – auch unter ökonomischen Gesichtspunkten – zu optimieren, steht vor der Herausforderung, dass die Qualität der Ration variabler und die Leistung der Kühe in der Regel geringer ist als in Stallfütterungssystemen, insbesondere auf Basis von TMR (KOLVER und MULLER 1998, BARGO et al. 2002). Dazu kommt, dass Weidetiere häufig eine schlechtere Körperkonditionsbewertung und geringere Körpermassen aufweisen (KOLVER und MULLER 1998, BARGO et al. 2002). Diese Befunde legen nahe, dass unter Weidebedingungen die Energieaufnahme den erstlimitierenden Faktor darstellt (KOLVER und MULLER 1998, BARGO et al. 2003) und deshalb Ergänzungsstrategien erforderlich sind, welche die Körperkondition und Leistung von weidenden Milchkühen stabilisieren helfen. Da große Mengen an in der Regel stärkerei-



chen Konzentratfuttern einhergehen mit sinkenden pH-Werten in der Pansenflüssigkeit und damit verbundener verringerter Faserverdauung, erhöhtem Acidose-Risiko, einem verengten Essigsäure-Propionsäure-Verhältnis und deshalb reduzierten Milchfettgehalten, könnte der Einsatz von Fetten oder fettreichen Konzentratfuttern eine Alternative darstellen.

In einer vor einiger Zeit von SCHROEDER et al. (2004) veröffentlichten Auswertung von 18 Weideversuchen an Milchkühen (25 Vergleiche zwischen Fettfütterung und fettarmen Kontroll-Konzentratfuttern) wurden wesentliche Effekte von Fettzulagen auf Milchleistung und -zusammensetzung untersucht. Alle Versuche wurden an multiparen Kühen ( $\geq 2$ . Laktation) durchgeführt und die Tiere wurden mindestens zwei Wochen an die fettreichen Versuchsfutter adaptiert. Fette wurden sowohl in pansenstabiler als auch ungeschützter Form eingesetzt und wurden häufig in getreidebasierte Mischungen mit Anteilen  $< 20\%$  eingemischt. *Tabelle 2* zeigt einige wesentliche Qualitätsmerkmale der Weideaufwüchse.

Die Angaben in *Tabelle 2* weisen darauf hin, dass es sich in den meisten Fällen um hochwertige Weideaufwüchse gehandelt hat. Als Fettzulagen wurden am häufigsten Ca-Seifen langkettiger ungesättigter oder gesättigter FS verwendet. Dies könnte damit zusammenhängen, dass von allen pansenstabilen Fetten den Ca-Seifen schon früher die geringsten negativen Auswirkungen auf die Pansenfermentation nachgesagt wurden (GAGLIOSTRO und CHILLIARD 1992, CHILLIARD et al. 1993). In einigen Versuchen wurden langkettige freie FS oder teilgehärtete (hydrierte oder hydrogenierte) Öle sowie Rapssaat in unterschiedlicher physikalischer Form (ganz, geschrotet) als Fettquelle verwendet. Die zusätzliche Rohfettmenge betrug 255 bis 1.000 g/Tag und Tier, wobei in der Mehrzahl der Versuche Mengen von etwa 500 g/Tag verwendet wurden. Für den Vergleich der jeweiligen Fettzulagegruppe mit der Kontrollgruppe, die ein fettarmes Konzentratfutter erhielt, wurden das Laktationsstadium (frühe oder mittlere Laktation) und der Grad der Sättigung der FS der Fettzulage (ungesättigt oder gesättigt) berücksichtigt.

Zunächst einmal ist festzuhalten, dass die Fettzulagen keine (negativen) Auswirkungen auf die Faserverdauung in den Vormägen hatten. Für diesen Befund konnten fünf Versuche mit Fettzulagen pro Tier von 390 bis 1.000 g/Tag in Form von langkettigen freien FS, Ca-Seifen von FS und teilgehärtetem Öl ausgewertet werden. Vor einer Verallgemeinerung dieser Befunde sollten weitere Versuche angestellt werden, um die schmale Datenbasis sowohl hinsichtlich der Anzahl an Versuchen als auch der geprüften Fettarten zu erweitern. Bezüglich der Weide- und Gesamt-Futteraufnahmen (kg TM/Tag) gab es keine einheitlichen Reaktionen der Tiere auf die Fettfütterung, so dass diesbezüglich aus den bisherigen Versuchen keine verallgemeinerungsfähigen Schlussfolgerungen gezogen werden können und davon auszugehen ist, dass die TM-Aufnahmen weitgehend unverändert bleiben.

*Tabelle 3* fasst die Befunde zu den Auswirkungen der Fettzulagen auf die täglich von den Milchkühen produzierten Mengen an Milch und FCM zusammen.

Im Mittel wurden durch die Fettzulagen Milch- und FCM-Leistung um 0,97 und 1,05 kg/Kuh und Tag erhöht. Die FCM-Leistung stieg etwas stärker als die unkorrigierte Milchleistung, weil auch der Milchfettgehalt bei den Tieren mit Fettzulage leicht erhöht war. Hinter den angegebenen mittleren Effekten der Fettzu-

lage steht eine erhebliche Streuung der Befunde in den einzelnen Versuchen. In 80 % der Versuche erhöhte sich die Milchleistung durch die Fettzulage zahlenmäßig, aber nur in 40 % der Versuche war diese Erhöhung auch statistisch abzusichern. Es sollte aber auch betont werden, dass in keinem der Versuche die Milchleistung gegenüber der Kontrolle signifikant verringert war.

Die Reaktion in der Milchleistung auf die Fettzulagen war bei den Kühen in der Früh-laktation geringer ausgeprägt als bei den Kühen im mittleren Laktationsabschnitt. Dies könnte mit der schon früher mitgeteilten Beobachtung zusammenhängen, dass die maximale Milchleistungsantwort von Milchkühen auf Fettzulagen erst dann erreicht wird, wenn die Tiere sich in einer positiven Energiebilanz befinden (SKAAR et al. 1989, DAVISON et al. 1991). Dies dürfte bei Tieren im mittleren Laktationsabschnitt durchwegs der Fall sein, während Kühe in der Früh-laktation – weitgehend unabhängig vom Leistungsniveau – zumindest zeitweise eine negative Energiebilanz aufweisen. Ein weiterer wichtiger, wenn nicht ausschlaggebender Punkt ist die Dauer der Fettfütterung. Aufgrund von Hinweisen aus der Literatur, dass die maximale Reaktion von Milchkühen auf Fettfütterung erst nach 5 - 12 Wochen eintritt (SCHINGOETHE und CASPER 1991, CHILLIARD 1993), macht ein nur

**Tabelle 2: Mittelwerte und deren Standardabweichung von Qualitätsmerkmalen der Weideaufwüchse in 18 Versuchen zur Fettergänzung bei weidenden Milchkühen (SCHROEDER et al. 2004)**

Merkmal	Mittelwert ( $\pm$ Standardabweichung)
Weideaufwuchs (kg Trockenmasse [TM]/ha)	2.095 (1.038)
Weidefütterangebot (kg TM/Tier und Tag)	31,6 (12,1)
In vitro-Verdaulichkeit der TM (%)	72,5 (6,1)
Rohprotein (% der TM)	20,4 (3,2)
Neutral-Detergenzienfaser (% der TM)	41,1 (11,1)

**Tabelle 3: Auswirkungen von Fettzulagen auf die täglich von weidenden Milchkühen produzierten Mengen an Milch und 4 %-fettkorrigierter Milch (FCM) in Abhängigkeit von der Art der Fettzulage und dem Laktationsstadium (SCHROEDER et al. 2004)**

	Typ der Fettergänzung		Laktationsstadium	
	ungesättigt	gesättigt	früh	mittel
Anzahl an ausgewerteten Versuchen (n =)	8	17	15	10
Milch (kg/Tag) <sup>1</sup>	+0,73 (+3,9 %)	+1,08** (+4,7 %)	+0,78* (+3,2 %)	+1,26** (+6,5 %)
FCM (kg/Tag) <sup>1</sup>	-0,02 (-0,1 %)	+1,56** (+7,3 %)	+1,13* (+5,1 %)	+0,93** (+5,2 %)

<sup>1</sup> Angegeben ist die Differenz zwischen Fett- und Kontrollgruppe

\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , Differenz signifikant verschieden von Null

kurzzeitiger Einsatz wenig Sinn – weder biologisch noch ökonomisch betrachtet. Ein weiterer Gesichtspunkt ist die Beobachtung, dass fettreiche Konzentratfütter häufig schlechter gefressen werden als solche mit „normalen“, d.h. geringen Fettgehalten, obwohl die Gründe für die geringere „Schmackhaftigkeit“ bisher nur wenig aufgeklärt sind und keine signifikanten Beziehungen zu chemischen, physikalischen und organoleptischen Eigenschaften gefunden werden konnten (COPPOCK und WILKS 1991). GRUMMER et al. (1990) beobachteten in vier Milchviehherden, dass fettreiche Konzentratfütter langsamer und in kleineren Mahlzeiten aufgenommen wurden als fettarme Konzentrate. Dies könnte bei Weidegang ein Problem darstellen, da hier das Konzentratfütter üblicherweise nur in zwei Gaben pro Tag zu den Melkzeiten angeboten wird.

Gesättigte FS in freier oder gebundener Form waren in ihren Auswirkungen auf die Milchleistung deutlich günstiger zu beurteilen als ungesättigte FS. Dies wird besonders bei Blick auf die FCM-Mengen deutlich, die mit gesättigten FS deutlich, mit ungesättigten FS dagegen gar nicht erhöht waren. Die Ursache liegt darin, dass gesättigte FS die Milchfettgehalte um 5,1 % erhöhten, während ungesättigte FS in der Fettermgängerung die Milchfettgehalte um 8,0 % erniedrigten. Gleichzeitig erhöhten sich mit den ungesättigten FS in der Fettzulage die ungesättigten FS in der Milch einschließlich der CLA.

Während der Milchproteingehalt durch Fettfütterung erniedrigt war, blieb die täglich gebildete Milchproteinmenge konstant, so dass der erniedrigte Gehalt im Wesentlichen auf einem Verdünnungseffekt der durch die Fettzulage bewirkten höheren Milchmenge beruhen dürfte. Diese Vermutung wird dadurch unterstützt, dass die Autoren der Studie (SCHROEDER et al. 2004) keine Beziehung zwischen der verabreichten Menge an zusätzlichem Fett (200 - 1.000 g/Tag) und dem Rückgang im Milchproteingehalt finden konnten.

Als Schlussfolgerung aus der Auswertung der Weideexperimente halten SCHROEDER et al. (2004) fest, dass die Fettfütterung an Milchkühe, die hochwertige Grünlandaufwüchse beweideten,

generell die Milchleistung erhöht, wegen die Auswirkungen auf die Milchezusammensetzung und -beschaffenheit vom Sättigungsgrad der FS im Fett abhängen, so dass durch gezielte Auswahl der Fettzulagen auch bei Weidegang gezielt Einfluss auf die Milchfettzusammensetzung genommen werden kann.

Aus den obigen Darstellungen wird unter anderem deutlich, dass bei Einsatz größerer Fettmengen zur Verbesserung der Leistung und/oder des Energiestatus von hochleistenden Milchkühen Kenntnisse über das Ausmaß der Pansenstabilität der Fette unerlässlich sind. Bei gegebener Pansenstabilität sind zusätzlich Informationen wünschenswert, ob das pansenstabile Fett einer hinreichenden enzymatischen Hydrolyse im Dünndarm unterliegt, damit eine unverminderte Absorbierbarkeit aus dem Dünndarm gewährleistet werden kann. Für bekannte, etablierte Fette in pansenstabiler oder ungeschützter Form bietet es sich an, ein Modell auf seine Anwendbarkeit in der Praxis zu überprüfen, mit dem sowohl der Fettumsatz im Pansen als auch die Verdaulichkeit von Fetten im Dünndarm bzw. die Absorption von Fetten und FS aus dem Dünndarm geschätzt werden können (MOATE et al. 2004, 2006). Wenn neue, bisher nicht geprüfte Produkte mit dem Etikett „pansenstabil“ auf den Markt kommen, stellt sich die Frage nach geeigneten Methoden, um sowohl die Pansenstabilität als auch die Verdaulichkeit im Dünndarm zu prüfen. Eigene Versuche an Rindern mit fettreichen Futtermitteln (Sojabohnen, Rapsexpeller) haben gezeigt, dass sowohl mit einer standardisierten *in situ*-Technik (SÜDEKUM 2004) als auch mittels der Technik der vollständigen manuellen Entleerung des Pansens bei Rindern mit großlumigen Pansenfisteln die Möglichkeit besteht, das Ausmaß der Pansenstabilität von Fetten zuverlässig abzuschätzen (WULF und SÜDEKUM 2005).

Die Verdaulichkeit von Fetten im Dünndarm kann mit einer *in vitro*-Methode ermittelt werden (GLINDEMANN et al. 2004), die derzeit noch optimiert wird. Die Methode orientiert sich an den Bedingungen im Dünndarm. Das zu untersuchende Fett wird mit einer wässrigen Lösung eines Verdickungsmittels (Gummi arabicum) intensiv vermischt. Das Verdickungsmittel verhindert die schnel-

le Entmischung von wässriger Lösung und Fett. Durch Zugabe der Detergenzien Taurcholol (ein Gallensalz) und Lecithin wird das Fett weiter emulgiert und in einem Wasserbad unter Rühren auf Körpertemperatur gebracht. Zur einwandfreien Funktion der Lipase wird Calciumchlorid-Dihydrat-Lösung hinzugegeben. Der pH-Wert wird auf das Optimum der Lipase (8,8) eingestellt. Durch Pankreatin, das Lipase und Colipase enthält, wird die Hydrolyse des Fettes gestartet. Die frei gewordenen Fettsäuren werden sofort mit NaOH-Lösung (0,1 mol/l) titriert, um den pH-Wert konstant auf 8,8 zu halten. Aus der insgesamt in 75 Minuten titrierten NaOH-Menge wird die Menge an freigesetzten Fettsäuren ermittelt. Da Lipase nur die Fettsäuren aus den äußeren Positionen im Triglyceridmolekül freisetzen kann und zudem Monoglyceride aus dem Dünndarm absorbiert werden können, gilt ein Fett als zu 100 % verdaut, wenn  $\frac{2}{3}$  der Fettsäuren freigesetzt werden. Die bisherigen Messungen ergaben für herkömmliche Fette unterschiedlicher Zusammensetzung (Olivenöl, Kokosfett, Milchfett und Lebertran) eine praktisch vollständige Verdauung (Verdaulichkeiten nahe 100 %). Für ein kristallines, pansengeschütztes Fett („Bergafat T-300“) wurde eine Verdaulichkeit von 80 % ermittelt. Der Variationskoeffizient aus vier Einzelmessungen lag für alle Fette unter 5 %.

### 3. Verbesserung der Proteinversorgung von Hochleistungskühen durch pansenstabiles Protein

Die wichtigste Maßnahme zur Verbesserung der Proteinversorgung ist eine hohe Futteraufnahme hochleistender Tiere. Diese Tatsache hängt zusammen mit der überragenden Bedeutung der Energieversorgung für die mikrobielle XP-Synthese und mit dem hohen Anteil, den mikrobielles XP am nXP ausmacht. Selbst bei hohen Anteilen an im Pansen unabbaubarem oder unabgebautem XP (undegradable protein, UDP) stellt das mikrobielle XP immer mehr als 50 % des gesamten nXP. Dieser grundsätzliche Zusammenhang macht nachvollziehbar, warum in einer Auswertung eines sehr

großen Datensatzes (846 Rationen aus 256 Fütterungsversuchen) mit Hilfe einer Meta-Analyse zu den Zusammenhängen zwischen Rationskenngrößen (Nährstoffgehalte, XP- und Kohlenhydratfraktionen, Energiegehalte, ...) und TM-Aufnahmen mit der Milch- und Milchproteinleistung die TM-Aufnahme die dominante Rolle als erklärende Größe für Milch- und Milchproteinleistung darstellte (HRISTOV et al. 2004). Zu der eingangs angeführten Tatsache passt auch, dass in einem Vergleich von sechs verschiedenen Proteinbewertungssystemen (SCHWAB et al. 2005) das deutsche nXP-System die Variation in der Milchproteinleistung bei Verfütterung von Grassilage-Konzentratfütter-Rationen (Grobfutter:Konzentratfütter = 40:60 und 60:40 in der TM) am besten vorhersagen konnte, obwohl die anderen Systeme im Gegensatz zum nXP-System teilweise recht komplexe, scheinbar genaue Modelle zur Schätzung der mikrobiellen XP-Synthese im Pansen und der postruminalen Verdaulichkeit von mikrobiellem XP und UDP enthalten. HUH-TANEN (2005) erklärt diesen Befund vor allem damit, dass unsere derzeitigen (Analysen-)Methoden noch eine unbefriedigende Genauigkeit in der Voraussage sowohl des XP-Abbaus im Pansen und der mikrobiellen XP-Synthese als auch der Verdaulichkeit von UDP und mikrobiellem XP im Dünndarm aufweisen.

Obwohl SANTOS et al. (1998) in einer früheren, sehr umfangreichen Literaturstudie zu dem Schluss kamen, dass eine Erhöhung des UDP-Anteils in Milchkuhrationen – mit den Ausnahmen des Einsatzes von behandeltem Sojaextraktionsschrot und von Fischmehl – keine positiven Effekte auf die Proteinversorgung hatte und trotz der überragenden Bedeutung der Höhe der Futter- und damit Energieaufnahme sowie der angeführten methodischen Schwierigkeiten gibt es eine Reihe interessanter neuerer Hinweise, dass mit gezieltem Einsatz pansenstabiler Proteinträger, also von Futtermitteln mit höherem als dem „normalen“ UDP-Anteil, die Proteinversorgung verbessert werden kann. Auch zu diesem Thema liefert eine umfassende statistische Auswertung großer Datensätze mittels Meta-Analyse wertvolle Angaben. HRISTOV et al. (2005) untersuchten

anhand der Daten von 563 Milchkuhrationen die Zusammenhänge von Nährstoffaufnahmen und Körpermasse mit täglicher Milchmengen- und Milchproteinleistung. Die Berücksichtigung von Nährstoffaufnahmen führte generell zu einer Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit der Leistung gegenüber Modellen, bei denen nur die TM-Aufnahme berücksichtigt wurde. Von allen berücksichtigten Nährstoffen verbesserte die tägliche Aufnahme an UDP die Genauigkeit der Schätzungen am stärksten. Dieser Befund stimmt inhaltlich überein mit einer Angabe des National Research Council der USA (NRC 2001). Diese Autoren werteten die Ergebnisse von 206 Rationsmittelwerten aus und stellten fest, dass je Prozentpunkt Zunahme des UDP-Gehalts in der TM die Milchleistung um 1,85 kg gesteigert werden konnte.

Einschränkend zu den obigen Befunden (NRC 2001, HRISTOV et al. 2004, 2005) ist festzuhalten, dass die Daten trotz ihres immensen Umfangs nur eine begrenzte Anzahl von Rationstypen reflektieren, weil es sich vornehmlich um US-amerikanische Studien mit Rationen auf Basis von Maissilage, Luzerneheu oder -silage sowie Körnermais und Sojaextraktionsschrot handelte. Es wäre sehr wünschenswert, ähnlich systematische Literaturauswertungen auch für andere Rationstypen vorzunehmen. Davon würden sowohl zukünftige Versuchsansteller als auch alle in der Beratung Tätigen profitieren.

Aus den oben angeführten US-Studien kann jedoch verallgemeinert werden, dass insbesondere bei begrenzten Futteraufnahmen dem Anteil an UDP in der Ration eine besondere Bedeutung für die Stabilisierung der Leistung zukommt, so dass hier das Augenmerk insbesondere auf erstlaktierenden Tieren liegen sollte, bei denen in der Tat am häufigsten positive Effekte pansenstabiler Proteinträger auf den Proteinstatus gemessen wurden (STOCKDALE und ROCHE 2002). Weiterhin ist die Früh-laktation deshalb bedeutsam, weil die in diesem Abschnitt normale Mobilisation von Körpermasse sehr viel mehr zur Energieversorgung als zur Aminosäurenversorgung der Milchkuh beiträgt. Dies wurde an anderer Stelle schon ausführlich diskutiert (SÜDEKUM 2002). Bei

sehr hohen Futteraufnahmen tritt dagegen die Bedeutung des UDP-Anteils in den Hintergrund, weil die gute Energieversorgung für eine hohe mikrobielle XP-Synthese und gute Versorgung der Milchkuh mit Aminosäuren aus dem mikrobiellen XP sorgt.

Im Zusammenhang mit der Fettfütterung an Milchkühe ist immer wieder berichtet worden, dass der Milchproteingehalt und/oder auch die Milchproteinmenge reduziert waren (WU und HUBER 1994, ONETTI und GRUMMER 2004, SCHROEDER et al. 2004). Wenn bei erhöhter Milchmengenleistung nach Fettfütterung nur der Proteingehalt der Milch sinkt und nicht die täglich produzierte Milchproteinmenge, dürfte dies im Wesentlichen auf einen Verdünnungseffekt zurückzuführen sein und weniger auf eine verschlechterte Proteinversorgung. Wenn der Fetteinsatz im Austausch gegen fermentierbare Kohlenhydratträger erfolgt, z.B. Stärke, dann ist zu berücksichtigen, dass die verringerte Fermentierbarkeit der Ration auch zu geringeren Mengen an mikrobiellem XP führen wird, die durch erhöhte UDP-Mengen (g/Tier und Tag) ausgeglichen werden können. Da aber auch metabolische Reaktionen auf erhöhte Fett- bzw. FS-Mengen mit in der Folge verminderter Proteinsynthese erfolgen können, ist je nach Fettmenge und -typ auch eine verminderte Milchproteinsynthese nicht generell auszuschließen.

#### 4. Fazit

Abschließend kann festgehalten werden, dass ein gezielter Einsatz von Fetten oder FS, bevorzugt in pansenstabiler Form, zur Verbesserung der Energieversorgung von hochleistenden Milchkühen beitragen kann, wobei mögliche negative Auswirkungen so gut wie möglich kontrolliert werden sollten. Wegen der beachtlichen Wechselwirkungen zwischen Rationstyp (z.B. Art des Grobfutters, Konzentratfütteranteil), Fettart und Laktationsstadium der Kuh sind generelle Einsatzempfehlungen allerdings sehr problematisch und die vorhandenen Kenntnisse sollten besser genutzt werden, um für Fütterungssysteme auf Basis von Grünfütter oder konserviertem Grobfütter in Abhängigkeit von der Konzentratfütterergänzung und dem Laktationssta-



dium geeignete Empfehlungen aussprechen zu können.

Fortschritte in der Proteinversorgung von Milchkuhen werden durch methodische Unzulänglichkeiten begrenzt, von denen alle Proteinbewertungssysteme betroffen sind. Die neueren Befunde zu den positiven Auswirkungen erhöhter UDP-Anteile in der Ration sollten an Rationstypen überprüft werden, die für den mitteleuropäischen Raum repräsentativ sind.

## 5. Literatur

- ABEL, H., T. MOOREN und U. MEYER, 1993: Physiologische Grundlagen zum Fetteinsatz in der Ernährung von Wiederkäuern. *Fat Sci. Technol.* 95, 546-550.
- BARGO, F., L.D. MULLER, J.E. DELAHOY und T.W. CASSIDY, 2002: Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 85, 2948-2963.
- BARGO, F., L.D. MULLER, E.S. KOLVER und J.E. DELAHOY, 2003: Invited review: production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.* 86, 1-42.
- BEAM, S.W. und W.R. BUTLER, 1998: Energy balance, metabolic hormones and early postpartum follicular development in dairy cows fed prilled lipid. *J. Dairy Sci.* 81, 121-131.
- CARLSON, D.B., M.S. LAUBACH, W.L. KELLER und C.S. PARK, 2006: Effect of prepartum compensatory nutrition regimen on metabolism and performance of dairy cows. *Livest. Sci.* (im Druck).
- CHILLIARD, Y., 1993: Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: a review. *J. Dairy Sci.* 76, 3897-3931.
- CHILLIARD, Y., M. DOREAU, G.A. GAGLIOSTRO und Y. ELMEDDAH, 1993: Addition de lipids protégés (encapsulés ou savon de calcium) à la ration des vaches laitières. Effets sur les performances et la composition du lait. *INRA Prod. Anim.* 6, 139-150.
- COPPOCK, C.E. und D.L. WILKS, 1991: Supplemental fat in high-energy rations for lactating cows: effects on intake, digestion, milk yield, and composition. *J. Anim. Sci.* 69, 3826-3837.
- DANN, H.M., D.E. MORIN, G.A. BOLLERO, M.R. MURPHY und J.K. DRACKLEY, 2005: Prepartum intake, post partum induction of ketosis, and periparturient disorders affect the metabolic status of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 3249-3264.
- DANN, H.M., N.B. LITHERLAND, J.P. UNDERWOOD, M. BIONAZ, A. D'ANGELO, J.W. McFADDEN und J.K. DRACKLEY, 2006: Diets during far-off and close-up dry periods affect periparturient metabolism and lactation in multiparous cows. *J. Dairy Sci.* 89 (im Druck).
- DAVISON, T.M., F.P. VERVOORT und F. DUNCALFE, 1991: Responses to a long-chain fatty acid supplement fed to dairy cows at two stages of lactation. *Aust. J. Exp. Agric.* 31, 467-470.
- DOUGLAS, G.N., T.R. OVERTON, H.G. BATEMAN, H.M. DANN und J.K. DRACKLEY, 2006: Prepartal plane of nutrition, regardless of dietary energy source, affects periparturient metabolism and dry matter intake in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 89 (im Druck).
- DRACKLEY, J.K., 2002: Transition cow management and periparturient metabolic disorders. In: *Recent Developments and Perspectives in Bovine Medicine: Keynote Lectures of the XXII World Buiatrics Congress* (eds. M. Kaske, H. Scholz und M. Höltershinken). Hannover, Klinik für Rinderkrankheiten, 224-235.
- DRACKLEY, J.K., T.M. CICELA und D.W. LACOUNT, 2003: Responses of primiparous and multiparous Holstein cows to additional energy from fat or concentrate during summer. *J. Dairy Sci.* 86, 1306-1314.
- DRACKLEY, J.K., 2006: Fütterung und Management der Milchkuh im peripartalen Zeitraum. Tagungsbericht 2005 über das 9. Symposium „Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen“, Neuruppin 27.10.2005 (Hrsg. B. Pieper, S. Poppe und A. Schröder). Neuruppin (im Druck).
- GAGLIOSTRO, G.A. und Y. CHILLIARD, 1992: Utilización de lípidos protegidos en la nutrición de vacas lecheras. 1. Efectos sobre la producción y la composición de la leche, y sobre la ingestión de materia seca y energía. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 12, 1-15.
- GLINDEMANN, T., K.-H. SÜDEKUM und E. WISKER, 2004: Entwicklung einer in vitro-Methode zur Schätzung der Fettverdaulichkeit im Dünndarm von Wiederkäuern. 116. VDLUFA-Kongress, Rostock, Kurzfassungen der Referate, 159.
- GRUMMER, R.R., M.L. HATFIELD und M.R. DENTINE, 1990: Acceptability of fat supplements in four dairy herds. *J. Dairy Sci.* 73, 852-857.
- HRISTOV, A.N., W.J. PRICE und B. SHAFIL, 2004: A meta-analysis examining the relationship among dietary factors, dry matter intake, and milk and milk protein yield in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87, 2184-2196.
- HRISTOV, A.N., W.J. PRICE und B. SHAFIL, 2005: A meta-analysis on the relationship between intake of nutrients and body weight with milk volume and milk protein yield in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 2860-2869.
- HUHTANEN, P., 2005: Critical aspects of feed protein evaluation systems for ruminants. *J. Anim. Feed Sci.* 14 (Suppl. 1), 145-170.
- KOLVER, E.S. und L.D. MULLER, 1998: Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 81, 1403-1411.
- KRONFELD, D.S., 1976: The potential importance of the proportions of glucogenic, lipogenic and aminogenic nutrients in regard to the health and productivity of dairy cows. In: *Ketosis in High-yielding Dairy Cows* (eds. D.S. KRONFELD und K. DREPPER). *Adv. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 7, 5-26.
- LINS, M., L. GRUBER und W. OBRITZHAUSER, 2003: Zum Einfluss der Energieversorgung vor der Abkalbung auf Futteraufnahme, Körpermasse und Körperkondition sowie Milchleistung und Stoffwechsel von Milchkuhen. Übers. *Tierernährg.* 31, 75-120.
- MÄNNER, K. 2002: Einsatz geschützter Fette bei Milchkuhen mit hoher Leistung. Tagungsbericht 2002 über das 6. Symposium „Fütterung von Kühen mit hohen Leistungen“, Neuruppin 01.02.2002, 36-49.
- MEYER, U., R. DAENICKE und D. GÄDEKEN, 2001: Untersuchungen zum Einsatz von Carverseiften Fetten in der Milchkuhfütterung. *Züchtungskunde* 73, 139-148.
- MOATE, P.J., W. CHALUPA, T.C. JENKINS und R.C. BOSTON, 2004: A model to describe ruminal metabolism and intestinal absorption of long chain fatty acids. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112, 79-105.
- MOATE, P.J., R.C. BOSTON, I.J. LEAN und W. CHALUPA, 2006: Short communication: Further validation of the fat submodel in the Cornell-Penn-Miner dairy model. *J. Dairy Sci.* 89, 1052-1056.
- NRC (National Research Council), 2001: *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. Washington, DC, National Academy Press.
- ONETTI, S.G. und R.R. GRUMMER, 2004: Response of lactating cows to three supplemental fat sources as affected by forage in the diet and stage of lactation: a meta-analysis of literature. *Anim. Feed Sci. Technol.* 115, 65-82.
- PETTIT, H.V., R.J. DEWHURST, N.D. SCOLLAN, J.G. PROULX, M. KHALID, W. HARESIGN, H. TWAGIRAMUNGU und G.E. MANN, 2002: Milk production and composition, ovarian function, and prostaglandin secretion of dairy cows fed omega-3 fats. *J. Dairy Sci.* 85, 889-899.
- SANTOS, F.A.P., J.E.P. SANTOS, C.B. THEURER und J.T. HUBER, 1998: Effects of rumen-undegradable protein on dairy cow performance: a 12-year literature review. *J. Dairy Sci.* 81, 3182-3213.
- SCHINGOETHE, D.J. und D.P. CASPER, 1991: Total lactational response to added fat during early lactation. *J. Dairy Sci.* 74, 2617-2622.
- SCHROEDER, G.F., G.A. GAGLIOSTRO, F. BARGO, J.E. DELAHOY und L.D. MULLER, 2004: Effects of fat supplementation on milk production and composition by dairy cows on pasture: a review. *Livest. Prod. Sci.* 86, 1-18.
- SCHWAB, C.G., P. HUHTANEN, C.W. HUNT und T. HVELPLUND, 2005: Nitrogen requirements of cattle. In: *Nitrogen and Phosphorus Nutrition of Cattle. Reducing the Environmental Impact of Cattle Operations* (eds. E. Pfeffer und A. Hristov). Wallingford, CABI, 13-70.
- SKAAR, T.C., R.R. GRUMMER, M.R. DENTINE und R.H. STAUFFACHER, 1989: Seasonal effects of prepartum and postpartum fat and niacin feeding on lactation performance and lipid metabolism. *J. Dairy Sci.* 72, 2028-2038.
- STAPLES, C.R., J.M. BURKE und W.W. THATCHER, 1998: Influence of supplemental fats on reproductive tissues and performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 81, 856-871.
- STOCKDALE, C.R. und J.R. ROCHE, 2002: A review of the energy and protein nutrition of dairy cows through their dry period and its impact on early lactation performance. *Aust. J. Agric. Res.* 53, 737-753.

- SÜDEKUM, K.-H., 2002: Grundlagen internationaler Futterbewertungssysteme für Milchkühe und Perspektiven für die deutschen Empfehlungen (Energie, Protein und Aminosäuren). Übers. Tierernährg. 30, 135-162.
- SÜDEKUM, K.-H., 2004: Proteinbewertung und Proteinversorgung in der Milchviehfütterung: nXP- und UDP-Bestimmung, Routineanalytik, Aminosäurenversorgung. In: 31. Viehwirtschaftliche Fachtagung „Kälberaufzucht, Mutterkuhhaltung, Milchviehfütterung“. BAL Gumpenstein, Irdning, 41-49.
- VOIGT, J., K. GAARFAR, W. KANITZ, D. PRECHT, F. BECKER, F. SCHNEIDER, M. SPITSCHAK, U. SCHÖNHUSEN, P. JUNG-HANS, J.R. ASCHENBACH und G. GÄBEL, 2005: Verwertung von Glucose und langkettigen Fettsäuren durch die laktierende Milchkuh bei Fütterung einer fettangereicherten Diät. 2005. Dtsch. tierärztl. Wschr. 112, 423-425.
- WU, Z. und J.T. HUBER, 1994: Relationship between dietary fat supplementation and milk protein concentration in lactating cows: a review. Livest. Prod. Sci. 39, 141-155.
- WULF, M. und K.-H. SÜDEKUM, 2005: Effects of chemically treated soybeans and expeller rapeseed meal on *in vivo* and *in situ* crude fat and crude protein disappearance from the rumen. Anim. Feed Sci. Technol. 118, 215-227.