



# Ernährung der Hochleistungsmilchkuh

## Neue Herausforderungen an die Forschung

Jürgen Voigt, Wilhelm Kanitz, Falk Schneider, Frank Becker, Ulrike Schönhusen, Cornelia C. Metges, Hans Hagemeyer (Dummerstorf) und Dietz Precht (Kiel)

**M**ilch und ihre Produkte sind hochwertige und beliebte Nahrungsmittel. Sie enthalten neben Eiweiß, Fett und Kohlenhydraten nicht nur wichtige Mineralstoffe, Spurenelemente und Vitamine, ihr Gesundheitswert ist auch durch den Gehalt an spezifischen Fettsäuren, insbesondere konjugierten Linolsäuren (CLA), begründet. Der Verbraucher erwartet heute schmackhafte Milch und Milchprodukte, die von gesunden, sich wohl fühlenden, fruchtbaren Kühen stammen und sich durch einen hohen Gesundheitswert auszeichnen. Ein Schlüssel dazu liegt in der Ernährung der Milchkuhe.

### Milchproduktion auf hohem Stoffwechselliveau

In der Milchproduktion vollzieht sich seit Jahren eine Entwicklung, die in diesem Ausmaß früher nicht absehbar war. Ökonomische Zwänge führten zu einem kontinuierlichen Anstieg der jährlichen Milchmenge je Kuh. In der Bundesrepublik Deutschland beträgt die mittlere Milchleistung je Kuh und Jahr gegenwärtig 7.350 kg mit 3,4% Eiweiß und 4,16% Fett. Der jährliche Zuwachs betrug in den letzten 10 Jahren 140 kg/Kuh. Ein Ende dieses Anstiegs ist vorerst nicht abzuse-

hen. Einzelkuhleistungen von über 15.000 kg/Jahr und Herdenleistungen von über 10.000 kg/Jahr sind nicht selten zu beobachten. In Israel liegt die landesweite mittlere jährliche Milchleistung deutlich über 10.000, in Japan über 8.500 kg/Kuh.

Der Leistungsanstieg vollzieht sich auf der Grundlage des erreichten Zuchtfortschrittes. Der Stoffwechsel der Hochleistungskuh ist hormonell so reguliert, dass nach dem Einsetzen der Laktation die Milchdrüse auf Kosten anderer Organe bevorzugt mit Nährstoffen versorgt wird. Bei unzureichender Nährstoff- bzw. Energieaufnahme mit dem Futter wird mehr Körpergewebe ab- als aufgebaut – die Kuh magert ab. In Phasen geringerer Milchab-


gabe gleicht die Kuh diesen Körperverlust wieder aus. Dabei ist Insulin das Schlüsselhormon. Es bewirkt, dass die Nährstoffe des Blutes, vor allem Glucose, im Körpergewebe in Fett überführt werden. Wie Hochleistungssportler besitzen auch Hochleistungskühe sehr niedrige Insulinspiegel im Blut. Der physiologische Effekt: Die verfügbaren Nährstoffe im Blut gehen in geringerem Ausmaß in das Körpergewebe über und stehen dem Sportler für seinen hohen Energiebedarf bzw. der Kuh für die Milchsynthese im Euter zur Verfügung.

### Das Problem

Die Inanspruchnahme von Körpersubstanz für die Milchsynthese ist bis zu einem gewissen Ausmaß für die Hochleistungskuh als physiologisch normal anzusehen und kann auf den Stoffumsatz von Tieren in freier Wildbahn zurückgeführt werden, die in Zeiten guter Futterversorgung Fett ansetzen, um es in Mangelzeiten zu nutzen. In den ersten 12 Laktationswochen nach der Geburt verliert die Kuh Körpermasse, zwischen der 2. bis 6. Woche täglich bis zu 1,5 kg. In der letzten Laktationsphase wird dieser Substanzverlust wieder kompensiert.

Aus energetischer Sicht ist diese zweifache Stoffumwandlung (Futterenergie in Körperenergie und Körperenergie in Milchenergie) jedoch als nachteilig anzusehen, weil jede Transformation mit Verlusten verbunden ist. Hinzu kommt, dass ein extrem hohes Energiedefizit (Energieaufnahme mit dem Futter minus Energiebedarf für Körpererhaltung und Milchabgabe) intensive Stofftransformationen be-

Abb. 1: Nährstoffbilanz einer Milchkuh in der Phase der höchsten Leistung.

Futter		Milch
25 bis 26 kg	Trockensubstanz	6,0 bis 6,5 kg
15 bis 16 kg	Kohlenhydrate	2,3 bis 2,4 kg
4,5 bis 5,0 kg	Rohprotein	1,6 bis 1,8 kg
0,6 bis 0,8 kg	Rohfett	1,8 bis 2,0 kg
400 bis 430 MJ	Energie	155 bis 160 MJ

wirken, die die Leistungsfähigkeit besonders der Leber überfordern. Außerdem kann es zu Ungleichgewichten an einzelnen Stoffwechselprodukten kommen, die kompensiert werden müssen. Die möglichen Folgen: Für die Leber besteht die Gefahr der Verfettung, in die Milch gelangen in höherer Konzentration unerwünschte Stoffwechselprodukte wie Aceton und Harnstoff, und die Eierstöcke werden nicht mit genügend Energie versorgt, sodass sich die Uterusinvolutions verzögert und die Kuh nicht empfängnisbereit ist.

Bei der Zucht ist in erster Linie auf die Erhöhung der Milchleistung geachtet worden, das Futteraufnahmevermögen trat demgegenüber in den Hintergrund und wurde nicht in gleicher Weise verbessert. Dadurch ist die Differenz zwischen der Energieaufnahme mit dem Futter und der Energieabgabe mit der Milch größer geworden. Folge ist, dass sich mit dem Leistungsanstieg die Trächtigkeitsrate (Anteil

tragender Kühe nach ein- oder mehrmaliger Besamung) im Mittel deutlich verringert hat, was sich ungünstig auf die Lebensleistung der Kuh auswirkt. Eine hohe Milchleistung muss aber nicht zwangsläufig mit einer verringerten Fruchtbarkeit einhergehen. Wenn Ungleichgewichte im Stoffwechsel rechtzeitig erkannt oder besser vermieden werden, kann die Fruchtbarkeitsrate auch bei Hochleistungskühen durchaus befriedigend sein.

Für die Höhe der Milchleistung ist entscheidend, wie viel Glucose der Milchdrüse für die Synthese des Milchzuckers (Lactose) zur Verfügung steht, da der Lactosegehalt der Milch mit 4,8% relativ konstant ist (aus Gründen des osmotischen Gleichgewichts). Zwei Punkte sind wesentlich:

1. Infolge der mikrobiellen Umsetzungen in den Vormägen der Kuh wird im Darm pro Tag höchstens 1 kg Glucose absorbiert. Der überwiegende Teil des Glucosebedarfs von ca. 3,6 kg muss daher in der Leber durch Neusynthese bereitgestellt werden, vor allem aus Produkten der Fermentation der Kohlenhydrate und Proteine (Propionsäure, Aminosäuren) in den Vormägen. Die Glucoseneubildung ist ein energieaufwändiger Vorgang. Sie verläuft über Oxalacetat, das auch im Citratzyklus benötigt wird (Abb. 2). Fehlt es, kommt es zur verstärkten Bildung von Ketonkörpern – in

### Stoffumsatz der Milchkuh

Eine Kuh mit einer Milchleistung von 10.000 kg/Laktation (305 Tage) gibt in der Phase der höchsten Leistung (etwa 4. bis 8. Laktationswoche) täglich 50 kg Milch und mehr. Die dazugehörige Nährstoffbilanz ist in Abbildung 1 dargestellt.

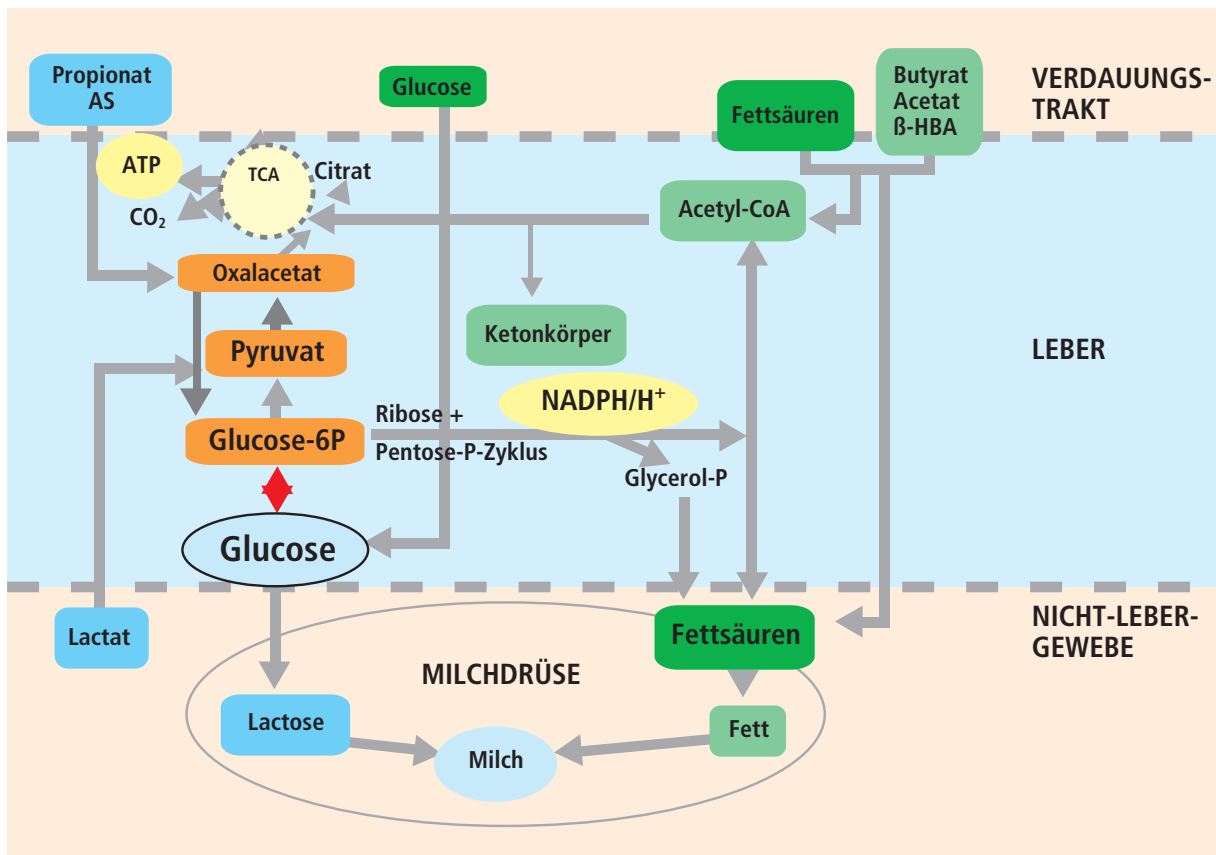


Abb. 2: Vereinfachtes Schema des Nährstoffumsatzes bei der Milchkuh. Die Glucose-Neubildung ist die wesentliche Quelle des Glucoseeintritts in den Stoffwechsel. Das dafür benötigte Oxalacetat wird aber auch für die Oxidation von Acetyl-CoA im Citratzyklus (TCA) benötigt. Fehlt es, kommt es zur Bildung von Ketonkörpern. Die aus dem Verdauungstrakt absorbierten langkettigen Fettsäuren umgehen den Leberstoffwechsel und gelangen direkt zur Milchdrüse. Dadurch wird die Synthese von Fettsäuren und folglich auch die dafür benötigte Glucosemenge reduziert. Die so eingesparte Glucose steht in der Milchdrüse für die Lactosesynthese zusätzlich zur Verfügung.

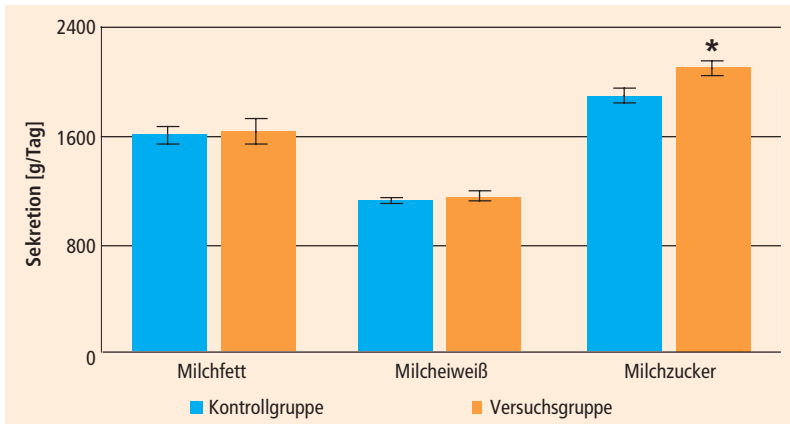


Abb. 3: Ausscheidung von Fett, Eiweiß und Milchzucker (Lactose) mit der Milch von Kühen in der 4. bis 14. Laktationswoche. In der Diät der Versuchsgruppe waren 1,8 kg Stärke der Kontrollration durch geschütztes Fett ersetzt. Die Kühe der Versuchsgruppe gaben täglich im Mittel 3,6 kg mehr Milch und sekretierten 170 g mehr Milchzucker ( $P = 0,032$ ), obwohl die Aufnahme an glucoseliefernden Verbindungen um ca. 700 g geringer war.

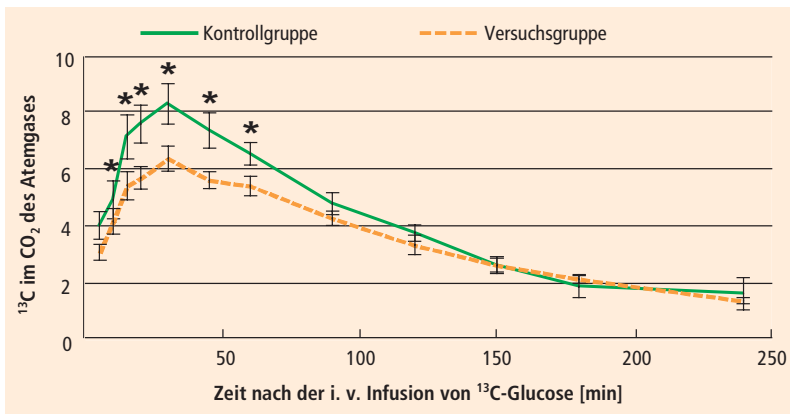


Abb. 4:  $^{13}\text{C}$ -Excess ( $\delta$ -‰) im ausgeatmeten Kohlendioxid der Kühe nach einmaliger intravenöser Infusion von  $^{13}\text{C}_6$ -Glucose. Die geringere  $^{13}\text{C}$ -Anreicherung bei den Kühen der Versuchsgruppen zeigt, dass die Glucose bei diesen Kühen in einem geringeren Ausmaß oxidiert wurde.

Extremfällen bis hin zum Krankheitsbild einer subklinischen oder klinischen Ketose. Ein Überschuss an Ketonkörpern führt zu zentral-nervalen Störungen, die sich bereits im Anfangsstadium in einer verminderten Futteraufnahme und Leistung auswirken.

- Für die Milchfettbildung ist eine Nettosynthese von bis zu 2 kg Fett in der Milchdrüse erforderlich. Da die Diäten der Kuh normalerweise nur wenig Fett enthalten, stammen die dafür benötigten Fettsäuren nur zu etwa 35 % aus dem Futter. Neben mobilisierten Körperfettsäuren decken neu synthetisierte Fettsäuren zu etwa 40–50 % den Bedarf. Für diese Neusynthese der Fettsäuren wird Glucose benötigt.

Die Glucosebereitstellung im Stoffwechsel der Kuh ist letztlich der Dreh- und Angelpunkt für hohe Milchleistungen der gesunden und fruchtbaren Kuh.

### Geschütztes Futterfett – ein Beitrag zur Lösung des Problems?

Um das Energiedefizit der Kuh zu verringern und die Glucoseversorgung zu optimieren, sind grundsätzlich zwei Ansätze möglich.

- Erhöhung der Energieaufnahme. Dies ist wiederum auf zwei Wegen möglich: Durch Erhöhung der Gesamtfutterauf-

nahme oder durch Erhöhung der Energiekonzentration der Diät. Doch beides ist nur bedingt realisierbar. Wieviel Futter die Kuh aufnimmt, wird durch physikalische und chemische Faktoren reguliert; energiereiche, stärkereiche Diäten erweisen sich oft als nicht wiederkäuergerecht und führen leicht zu einer Übersäuerung der Vormägen durch Milchsäurebildung.

- Erhöhung des Fettgehaltes der Diät durch Verwendung von Fett, das vor einer Fermentation im Vormagen geschützt ist (pansenstabilisiertes Fett). Dem liegt der Denkansatz zugrunde, dass die im Darm absorbierten langkettigen Fettsäuren über das Lymphsystem „an der Leber vorbei“ ins Blut gelangen und der Milchdrüse direkt zugeführt werden (Abb. 2).

Dieser Weg könnte zwei Vorteile bieten. Da die Fettsäuren in langkettiger Form im Euter angeflutet werden, erübrigt sich deren Synthese für die Milchfettbildung. Auch der dafür erforderliche Energie- und Glucoseaufwand erübrigt sich. Das könnte zu einer zusätzlichen Glucoseverfügbarkeit im Euter führen. Darüber hinaus dürfte es durch die Auswahl des Futterfettes möglich sein, das Fettsäuremuster des Milchfettes zu beeinflussen, also zum Beispiel den Anteil an konjugierten Linolsäuren zu erhöhen.

## Versuche geben Aufschluss

Um diese These zu überprüfen, führten wir im Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN) folgendes Experiment durch: Zwei Gruppen von Hochleistungskühen ( $n = 15$ ) erhielten in den ersten 15 Laktationswochen Diäten mit gleicher Energie- und Proteinmenge. In der Diät der Versuchsgruppe waren 1,9 kg Stärke der Ration der Kontrollgruppe durch 0,8 kg pansenstabile Fettsäuren aus Palm-, Soja- und Sonnenblumenöl ersetzt. Vom Energiegehalt waren diese beiden Diäten ausgeglichen. Die Milchleistung wurde täglich gemessen und die Zusammensetzung der Milch wöchentlich untersucht.

Das Ergebnis der Untersuchungen entsprach überraschend gut der These. Die

mit geschütztem Fett gefütterten Kühe gaben mehr Milch (42,8 gegenüber 39,1 kg/d;  $P = 0,024$ ) und sekretierten signifikant mehr Lactose als die Kontrolltiere, obwohl sie 1,9 kg Stärke weniger mit ihrer Diät aufnahmen (Abb. 3).

Die Kühe der Versuchsgruppe wiesen im Blutplasma einen signifikant geringeren Gehalt an Insulin auf (11,4 gegenüber 14,5  $\mu\text{U/ml}$ ,  $P = 0,01$ ). Dies spricht dafür, dass die im Blut verfügbare Glucose zu einem geringeren Ausmaß im Muskel- und Fettgewebe verstoffwechselt wird und in höherem Anteil zum Euter transportiert werden kann, da das dafür verantwortliche Transportprotein insulinunabhängig ist.

Um diese Annahme zu überprüfen, verfolgten wir den Verbleib der Glucose: Wir markierten die Glucose im Blut einiger Versuchstiere mit dem stabilen Isotop  $^{13}\text{C}$  und ermittelten dann die  $^{13}\text{C}$ -Ausscheidung im ausgeatmeten Kohlendioxid. Die in der Abbildung 4 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Kühe bei Fettfütterung die im Blut verfügbare Glucose zu einem geringeren Ausmaß oxidieren als die Kühe der Kontrollgruppe.

Die Untersuchungen ergaben weiterhin, dass es möglich ist, über die Einbeziehung von geschütztem Fett in die Diät der Kühe auch das Fettsäuremuster des Milch-

fettes zu beeinflussen. In der Abbildung 5 wird das am Beispiel der Fettsäuren mit 18 C-Atomen und jeweils zwei Doppelbindungen verdeutlicht. Es ist zu erkennen, dass die Gehalte an Linolsäure (cis 9,cis 12) und an der konjugierten Linolsäure (CLA) (cis 9,trans 11) in etwa verdoppelt werden konnten. Dieses Ergebnis ist von besonderem Interesse, da CLA bei Versuchstieren und in Zellkulturen ein Krebs und Arteriosklerose hemmendes Potenzial gezeigt hat.

### Schlussfolgerungen

Die moderne Milchkuh ist auf eine angepasste Energieversorgung angewiesen, insbesondere auf ausreichende Glucosemengen für die Milchsynthese. Da für den Wiederkäuer das in den Vormägen synthetisierte Acetat die Hauptenergiequelle ist und der größte Teil der benötigten Glucose im Körper neu synthetisiert werden muss, verfügt sie nur über begrenzte Mechanismen, um den Energiebedarf für die Lebensprozesse und die Milchsynthese zu decken. Zu diesem Mechanismus gehört die Nutzung von Körperfett bei negativer Energiebilanz, wobei jedoch die Gefahr der Leberverfettung und Ketose besteht. Die aktuellen Fütterungssysteme setzen

demzufolge auf eine möglichst hohe Glucoseabsorption im Dünndarm, die über einen hohen Stärkegehalt der Diät erreicht werden soll. Doch die Ergebnisse in der Praxis – also die erreichten Milchmengen – entsprechen nicht den Erwartungen.

Durch vormagenstabile Fette, deren Fettsäuren im Darm absorbiert werden, kann der spezifische Glucosebedarf pro kg Milch reduziert werden, ohne den Leberstoffwechsel zu belasten. Über die Auswahl des Fettes ist es gleichzeitig möglich, das Fettsäuremuster des Milchfettes im Sinne der Verbraucherwünsche zu beeinflussen. Daher scheint dieser Weg der Sinnvollere zu sein, zumal er den Organismus der Kühe weniger belastet.



Dr. Jürgen Voigt, Prof. Dr. Wilhelm Kanitz, Dr. Falk Schneider, Dr. Frank Becker, Dr. Ulrike Schönhusen, PD Dr. Cornelia C. Metges, und Prof. Dr. Hans Hagemeister, *Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere, Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf. E-Mail: voigt@fbn-dummerstorf.de*

**BFEL** Dr. Dietz Precht, *Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Hermann-Weigmann-Str. 1, 24103 Kiel. E-Mail: dprecht@t-online.de*

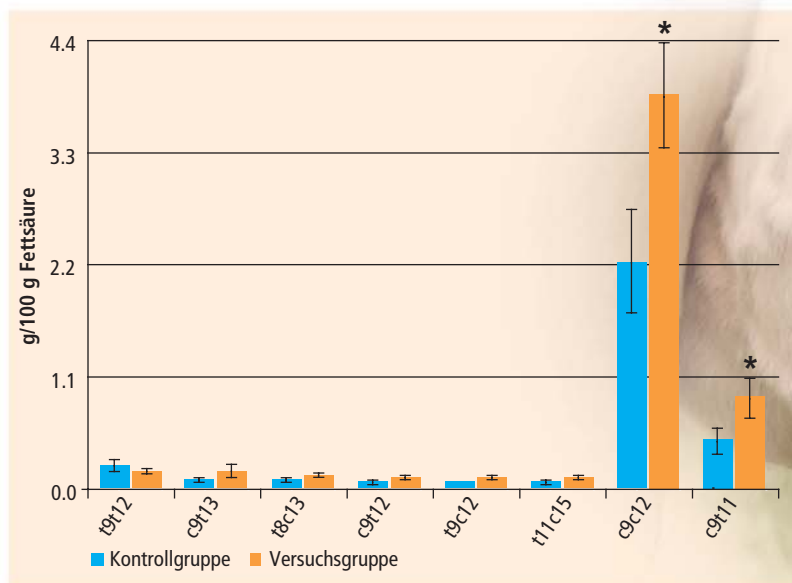


Abb.: 5: Fettsäuren im Milchfett mit einer Kettenlänge von 18 C-Atomen und zweifachen Doppelbindungen. Die Gehalte an Linolsäure (c9c12) und konjugierter Linolsäure (CLA, c9t11) sind in der Versuchsgruppe signifikant erhöht.