

Gibt es Grenzen in der Zucht auf Milchleistung ?

– Aus der Sicht der Physiologie –

G. BREVES und M. RODEHUTSCORD

1. Einleitung

In der Europäischen Union ist das Niveau der Laktationsleistung in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen. Nach Angaben der Zentralen Markt- und Preisberichtsstelle betrug es 1998 im Schnitt 5.610 kg mit einem deutlichen Nord-Süd-Gefälle innerhalb von Europa. So lagen die schwedischen Kühe mit einer Laktationsleistung von 7.150 kg an der Spitze, und in Griechenland waren die Leistungen mit 3.600 kg am niedrigsten. In der Bundesrepublik Deutschland lagen die Kühe im innersuropäischen Vergleich mit 5.750 kg im Mittelfeld. Dieser Wert ist durch eine erhebliche regionale Variabilität gekennzeichnet, wie eine von der Landwirtschaftskammer Hannover jährlich durchgeführte Erhebung über die Kreisstelle Nienburg klar belegt. Nach diesen Daten liegt die Milchleistung in mehr als 100 Betrieben mit einer Zahl von etwa 50 Tieren pro Betrieb bereits seit 1993/94 in einem Plateaubereich von etwa 7.000 kg, einem Wert, der durch deutliche Zunahmen aus den Jahren 1983/84 erreicht wurde. Unter dem Blickwinkel des intermediären Stoffwechsels und der Bereitstellung von Metaboliten für die Milchbildung sind Leistungen in dieser Höhe noch nicht als kritisch zu bewerten.

Es ist das Ziel der folgenden Ausführungen, unter Annahme von Herdenleistungen von ca. 10.000 kg die quantitative Beziehung zwischen Energie- und Proteinbedarf für die Milchbildung einerseits und Nährstoffbereitstellung über die Futteraufnahme andererseits

darzustellen. Da für den Nährstofftransfer die Perfusion der Milchdrüse eine entscheidende Größe darstellt, müssen die physiologischen Merkmale der Verteilung des Herzzeitvolumens ebenso berücksichtigt werden.

2. Laktationsverlauf, Trockensubstanzaufnahme und Energiekonzentration

Bei einer angenommenen Laktationsleistung von 10.000 kg ist die Zunahme der Milchleistung in den ersten 2 – 3 Laktationswochen durch einen steilen Anstieg der täglichen Leistungen auf 40 kg und mehr gekennzeichnet. Das Maximum wird etwa mit der 7. Woche erreicht und bleibt für die Dauer von etwa 10 Wochen in einer Höhe von > 40 kg/Tag, um dann bis zum Ende der Laktationsperiode kontinuierlich abzufallen (Abbildung 1). In der Phase der maximalen Leistungen sind tägliche Futteraufnahmen von 25 – 26 kg T erforderlich, in den übrigen Phasen liegen sie immer noch in einer Größenordnung von 20 kg T/

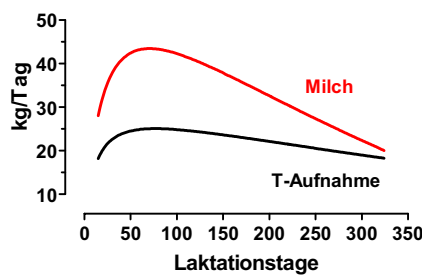


Abbildung 1: Annahme: Laktationsleistung ca. 10 000 Liter (Futteraufnahme geschätzt nach SCHWARZ & GRUBER 1999)

Tag. Futteraufnahmen von 25 – 26 kg sind als absolute Obergrenzen der freiwilligen Futteraufnahme anzusehen und setzen bereits optimales Management voraus. Dazu zählen vor allem Fütterung von „total mixed rations“, häufige Futtervorlage und hohe Grundfutterqualität.

Ein weiterer Faktor ist die limitierte NEL(Nettoenergie-Laktation)-Konzentration in der Gesamtration. Diese Problematik wird beispielhaft in *Tabelle 1* erläutert. Zur Deckung des Energiebedarfs für die Laktation sind bei täglichen Milchleistungen von 25 oder 35 kg und entsprechenden Futteraufnahmen von 19 bzw. 23 kg T/Tag NEL-Konzentrationen von 6,3 bzw. 6,6 MJ/kg T erforderlich, ein Wert, der selbst bei mittlerer Grundfutterqualität und einem Anteil von 60 % Grundfutter an der Gesamtration erreichbar ist. Die maximale NEL-Konzentration wird dann zu einem limitierenden Faktor, wenn infolge einer begrenzten Futteraufnahmekapazität NEL-Konzentrationen über 7,5 MJ/kg T erforderlich sind.

3. Laktation und intermediärer Glukoseumsatz

Die Laktationsleistung wird über den Laktosegehalt in der Milch maßgeblich durch die Glukoseverfügbarkeit sichergestellt. Schätzwerte für den täglichen Glukosebedarf auf der Grundlage eines Laktosegehaltes von 48 g/kg Milch unter Einbeziehung weiterer Stoffwechselwege wie beispielsweise dem Pentose-Phosphat-Zyklus sind in *Tabelle 2* angegeben. Dabei wird deutlich, dass bei einer täglichen Milchmenge von 55 kg der Glukosebedarf bei 4,0 kg/Tag liegt.

Aufgrund nur geringer endogener Glukosereserven kann dieser Bedarf nur über die Glukoneogenese und/oder die intestinale Glukoseabsorption gedeckt werden. Die Glukoseneubildung erfolgt unter physiologischen Bedingungen zu etwa 60 – 65 % aus Propionat. Dies un-

Tabelle 1: Erforderliche Energiekonzentration in der Milchkuhration

Milch kg/Tag	NEL-Bedarf ¹⁾ MJ/Tag	Futteraufnahme kg T/Tag	NEL-Konz. MJ/kg T
25	120	19	6,3
35	151	23	6,6
45	183	25	7,3
55	214	26	8,2

¹⁾ LM: 700 kg, Erhaltung: 40 MJ NEL/Tag, 3,17 MJ NEL je kg Milch

Autoren: Univ.-Prof. Dr. Gerhard BREVES, Physiologisches Institut der Tierärztlichen Hochschule, Bischofsholer Damm 15/102, D-30173 HANNOVER, Univ.-Prof. Dr. Markus RODEHUTSCORD, Institut für Ernährungswissenschaften, Universität Halle, Emil-Abderhalden-Strasse 26, D-06108 HALLE, email:breves@physiology.thio-hannover.de

Tabelle 2: Schätzung des Glukose-“Bedarfes“

Milch kg/Tag	Laktose-Abgabe ¹⁾ kg/Tag	Glukose-Bedarf ²⁾ kg/Tag
25	1,20	1,8
35	1,68	2,5
45	2,16	3,2
55	2,64	4,0

¹⁾ Laktosegehalt der Milch: 48 g/kg; ²⁾ Unter Einbeziehung weiterer Stoffwechselwege, z.B. PPZ (geschätzt nach KRONFELD et al. 1968)

terstreicht die Notwendigkeit ungestörter mikrobieller Fermentationsleistungen, die das Vormagensystem und vom Darm insbesondere den Dickdarm betreffen. Als weitere Glukosevorläufer sind glukoplastische Aminosäuren und Glycerin zu berücksichtigen, die sowohl diätetischen als auch endogenen Ursprungs sein können. Gemessen am Glukosebedarf kann der Umfang der intestinalen Glukoseabsorption infolge der Kohlenhydratfermentation unter den meisten Fütterungssystemen als gering eingestuft werden. Studien an kleinen Wiederkäuern haben belegt, daß der Na⁺-gekoppelte sekundär aktive Glukosetransport im Dünndarm mit der funktionellen Ausbildung des Vormagenstoffwechsels verschwindet, durch abomasale Infusion von Glukose jedoch wieder stimuliert werden kann (SHIRAZI-BEECHEY et al. 1991). Ob dieser Mechanismus bei entsprechender Rationsgestaltung auch bei der Hochleistungskuh im Sinne einer erhöhten Glukoseversorgung genutzt werden kann, ist ein wissenschaftlich lohnender Forschungsgegenstand. Dieser Aspekt wird im vorletzten Abschnitt unter dem Gesichtspunkt möglicher Fütterungsalternativen erneut behandelt.

Die ausreichende Perfusion der Milchdrüse ist Voraussetzung für den Glukosetransfer vom Blut in das Euter. Auf der Grundlage, dass für die Produktion von einem Liter Milch 500 Liter Blut erforderlich sind, errechnet sich für die Bildung von 45 l/Tag eine Perfusion der Milchdrüse von 22.500 l/Tag. Bei einem durchschnittlichen Herzminutenvolumen von 35 l folgt daraus, dass nahezu 50 % des täglichen Herzzeitvolumens für die Perfusion der Milchdrüse erforderlich sind. Ein solcher Wert liegt zweifellos im Grenzbereich der Verteilung des Herzzeitvolumens auf einzelne Organ- und Gewebegebiete im Körper.

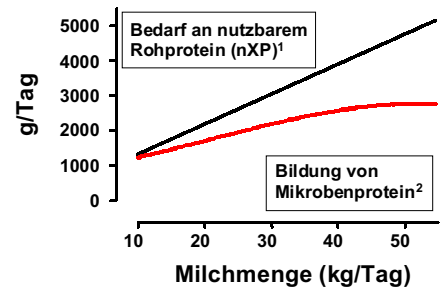
An der adäquaten Steuerung des Nährstoffflusses in die Milchdrüse sind auch

endokrine Prozesse beteiligt, die im Vergleich zwischen hoch und niedrig leistenden Kühen deutliche Unterschiede aufweisen. So wurden bei Hochleistungskühen signifikant niedrigere Insulinkonzentrationen im Plasma nachgewiesen als bei Kühen mit geringer Milchleistung (HART et al. 1978). Dies vermindert die Glukoseaufnahme in insulinempfindliche Organe wie Leber, Muskulatur und Fettgewebe und sichert somit eine hohe Glukoseverfügbarkeit für die Milchbildung.

4. Laktation und Proteinversorgung

Der Bedarf an nutzbarem Rohprotein nimmt mit steigender Milchleistung linear zu. Auf der Grundlage der Empfehlungen der GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (1997) liegt der Bedarf an nutzbarem Rohprotein bei einer täglichen Milchleistung von 40 kg bei etwa 4 kg pro Tag und erhöht sich auf etwa 4,5 kg/Tag, wenn die tägliche Milchleistung auf 50 kg ansteigt. Für die Bedarfsdeckung an nutzbarem Rohprotein stehen mit der mikrobiellen Proteinsynthese in den Vormägen und der Absorption von Peptiden und Aminosäuren, die aus dem nicht abgebauten Futterprotein stammen, zwei Quellen zur Verfügung. Die Synthese an Mikrobenprotein ist durch die Energieversorgung und damit durch die Futteraufnahme bestimmt. Wird pro MJ ME-Aufnahme eine Synthesekapazität von 10,1 g Mikrobenprotein zugrundegelegt, erreichen die Vormagenmikroorganismen hinsichtlich ihrer Fähigkeit zur Proteinsynthese bei täglichen Milchleistungen zwischen 40 und 50 kg einen Sättigungsbereich, der bei etwa 2,8 kg/Tag liegt (Abbildung 2).

Aus der *Abbildung 2* wird deutlich, daß mit steigender Milchleistung eine stetig



¹ nxP nach GfE (1997)

² 10,1 g Mikrobenprotein je MJ ME

Abbildung 2: Milchleistung und Proteinversorgung

zunehmende Deckungslücke bei der Proteinversorgung besteht. Sie kann nur theoretisch durch nicht abgebautes Futterprotein gedeckt werden. Bei einer Trockensubstanzaufnahme von 25 kg/Tag und einem Gehalt von 18 % Rohprotein in der Ration dürfte also, um einen Proteinbedarf von etwa 2 kg durch nicht abgebautes Futterprotein zu decken, die Proteinabbaubarkeit in den Vormägen lediglich bei etwa 50 % liegen. Dieser Wert ist für die üblichen Futterproteine, die in Rationen für Hochleistungskühe eingesetzt werden, als unrealistisch und als zu niedrig zu beurteilen. Hinzu kommt, dass in dieser Situation ein Entzug von glukoplastischen Aminosäuren für die Glukoneogenese das Defizit erhöht.

Neben der absoluten Menge an Protein, die vom Tier für Leistung nutzbar ist, hat die Zusammensetzung des Proteins eine wesentliche Bedeutung. Dabei sind quantitativ relevante Varianzursachen vor allem im Vormagenstoffwechsel begründet. So kann das Aminosäurenmuster in Pansenbakterien maßgeblich durch die im Futter enthaltene Kohlenhydratkomponente bestimmt werden. So konnten GUZZON et al. (1997) in einer In-vitro-Studie zeigen, daß das Aminosäurenmuster der mikrobiellen Zellmasse erheblich verändert werden kann, wenn entweder Cellulose oder Stärke als Substrat für mikrobielle Fermentationsprozesse angeboten wird (Tabelle 3). Ob diesen Unterschieden grundlegende Veränderungen in der mikrobiellen Population zugrundeliegen, wurde in der Studie nicht geprüft.

Innerhalb der Mikroorganismen in den Vormägen weisen Protozoen und Bakterien deutliche Unterschiede im Aminosäuregehalt auf. Dies wird beispielhaft in *Abbildung 3* dargestellt, in der der

Tabelle 3: Aminosäuren in isolierten Pansenbakterien *in vitro*

Substrat	Cellulose g/100 g AS	Stärke
Histidin	1,2	2,1
Leucin	7,9	7,5
Lysin	5,9	5,5
Methionin	2,5	2,0

(nach GUZZON et al. 1997)

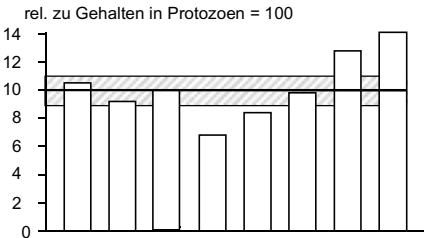


Abbildung 3: Gehalte an Aminosäuren in Bakterien

Gehalt an einzelnen Aminosäuren in der bakteriellen Zellmasse relativ zu ihrem Gehalt in den Protozoen ausgedrückt wird (RODEHUTSCORD 1992).

Dieser Faktor gewinnt zusätzlich an Relevanz, wenn die selektive Retention von Protozoen in den Vormägen berücksichtigt wird.

Aus den im Vormagenstoffwechsel begründeten Varianzursachen resultiert, daß auch am Duodenum die Anteile der einzelnen Aminosäuren im Protein erheblichen Schwankungen ausgesetzt sein können, deren Variationskoeffizienten nach Untersuchungen von LEBZIEN (1997) Werte von bis zu 25 % erreichen können (Tabelle 4).

Aus diesen quantitativen Gesichtspunkten ist zu folgern, dass in Phasen hoher Milchleistung die Protein- bzw. Aminosäurenverfügbarkeit über mikrobielle N-Assimilation und nicht abgebautes Futterprotein nicht bedarfsdeckend sind und daher die Mobilisierung aus körpereigenen Reserven erforderlich ist.

Tabelle 4: Anteile einiger Aminosäuren im Protein am Duodenum

	Mittel	Min	Max	CV
	g/100 g AS			%
Arginin	4,9	3,4	6,1	10
Histidin	2,5	1,8	4,4	20
Leucin	9,3	6,8	11,9	12
Lysin	6,7	4,7	9,5	12
Methionin	2,0	0,6	3,0	25

(nach LEBZIEN 1997)

5. Fütterungsalternativen bei Hochleistungskühen

In den Versuchsansätzen der letzten Jahre war es stets das Ziel, auf der Grundlage der limitierten Aufnahme an Trockensubstanz über eine höhere Energiedichte in der Ration eine Zunahme der Energieaufnahme der Tiere zu erzielen. Die Fettfütterung ist ein möglicher Ansatz, und es ist daher nicht überraschend, daß in den letzten Jahren eine große Zahl derartiger Versuche durchgeführt wurden. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus diesen Versuchen sind noch nicht als endgültig zu betrachten, sondern es gibt immer noch Forschungsbedarf zu dieser Thematik. Neben der insbesondere bei Verabreichung nativer Fette dokumentierten depressiven Wirkung auf den mikrobiellen Vormagenstoffwechsel gibt es jedoch eine Reihe eindeutiger Indikatoren, die auch unter intermediären Gesichtspunkten die Grenzen des Fetteinsatzes bei der Hochleistungskuh erkennen lassen. So wurde in einem umfangreichen Versuchsvorhaben, in dem Ca-verseifte Fettsäuren unter isonitrogenen und isoenergetischen Bedingungen geprüft wurden, festgestellt, daß in der Fettgruppe anhand der Plasmakonzentrationen an β -Hydroxybuttersäure und der freien Fettsäuren ein Status erkennbar war, wie er auch in einer frühen klinisch noch nicht manifesten Ketose vorliegt. Ferner blieb in der Fettgruppe die sog. Insulinantwort nach Futterraufnahme, d. h., die postprandiale Zunahme der Insulinkonzentrationen im Plasma vollständig aus (BREVES et al. 1990). Dies kann intermediär die Nährstoffverteilung noch weiter zugunsten der Milchdrüse verschieben und ist möglicherweise damit auch die Ursache für die gesicherte Zunahme der Milchleistung durch Ca-verseifte Fettsäuren, was die Diskrepanz zwi-

schen Nährstoffbedarf und -versorgung weiter erhöht.

Ein weiterer Ansatz zielt darauf, solche Kohlenhydrate als Rationskomponenten zu berücksichtigen, die durch eine geringe mikrobielle Fermentierbarkeit in den Vormägen gekennzeichnet sind und die daher zu einer erhöhten Glukosebereitstellung am Duodenum führen. In einem Versuchsansatz, in dem Mais und Weizen als Kohlenhydratquellen verglichen wurden, konnte FLACHOWSKY (1999) zeigen, dass bei Mais infolge der gegenüber Weizen signifikant niedrigeren Stärkeabbaubarkeit in den Vormägen eine signifikant höhere Glukosemenge den Dünndarm erreichte (Tabelle 5). Dies könnte zu einer entsprechenden höheren Deckung des Glukosebedarfs durch intestinale Glukoseabsorption führen. Voraussetzungen dafür sind eine entsprechend hohe Aktivität der membranständigen Disaccharidasen und eine entsprechend hohe Kapazität der intestinalen Glukoseabsorption. Für beide Voraussetzungen besteht noch intensiver Forschungsbedarf, so dass auch diese Alternative gegenwärtig noch nicht als eindeutig geklärt bewertet werden darf.

6. Schlussfolgerungen

Laktationsleistungen in Höhe von 10.000 kg sind heute bereits nicht mehr als absolute Spitzenleistungen anzusehen. Doch selbst bei einem derartigen Leistungsniveau ergibt sich auf der Grundlage des Verlaufes der Laktationskurve eine mehrwöchige Phase, in der der infolge der Tagesleistungen bestehende Nährstoffbedarf nicht über eine entsprechende Nährstoffzufuhr gedeckt werden kann. Dabei wird die Nährstoffzufuhr einerseits durch die Verzehrsregulation und andererseits durch die maximale Energiedichte in der Ration limitiert. Die insbesondere in der Phase der Hochlaktation bestehende negative Energiebilanz muß also zwangsläufig durch jede wei-

Tabelle 5: Einfluss des Stärkeabbaus im Pansen auf die Glukoseversorgung

nach FLACHOWSKY 1999		Mais	Weizen
Aufnahme	kg T/Tag	8,0	8,0
Stärkeaufnahme	kg/Tag	5,6	5,3
Im Pansen abgebaute Stärke	kg/Tag	3,9	4,8
Glukose am Dünndarm	kg/Tag	1,5	0,5
Beitrag zur Deckung des Glukosebedarfes bei 55 kg Milch/Tag	%	38	13

tere Leistungssteigerung verstärkt werden, was zu einer weiteren Steigerung in der Anfälligkeit gegenüber Stoffwechselerkrankungen führen muß.

7. Zusammenfassung

Es ist das Ziel der Arbeit, die quantitative Relation zwischen Energie- und Proteinaufnahme über das Futter einerseits und den entsprechenden Ausscheidungen mit der Milch andererseits darzustellen. Diese Relation wird maßgeblich durch die limitierte Futteraufnahme, die Energiekonzentration in Grund- und Kraftfutter und die Durchblutung der Milchdrüse bestimmt. Extrem hohe Leistungen sind Ursache für eine negative Energiebilanz und führen zur Mobilisierung körpereigener Reserven.

Summary

Physiological aspects for limitations in milk yield

by G. BREVES and M. RODEHUTSCORD

It is the aim of the present paper to quantify the relation between dietary energy

and protein intake and respective excretions in milk. This relation is mainly determined by limitations in voluntary feed intake, dietary energy concentrations and blood circulation of the mammary gland. Situations of extremely high milk yield are characterized by a negative energy balance and will result in respective mobilisation processes.

8. Literatur

- BREVES, G., F.-P. ENGLING, H.P. SALLMANN, K. ROHR und H. FUHRMANN, 1990: Ca-verseifte Fettsäuren bei der Fütterung von Milchkühen: Auswirkungen auf stoffwechselphysiologische Parameter. Symposium Energie- und Fettstoffwechsel der Milchkuh, Humboldt-Universität Berlin, 496-499.
- FLACHOWSKY, G., 1999: Glucose – ein Schlüssel für hohe Leistungen. In: Fütterung der 10.000-Liter-Kuh. Arbeiten der DLG/Band 196. DLG-Verlag, Frankfurt a. M., 43-56.
- GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (GfE), 1997: Zum Proteinbedarf von Milchkühen und Aufzuchtrindern. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 6, 217-236.
- GUZZON, P., B. STEFANON, C.F. MILLS und P. SUSMEL, 1997: Microbial amino acid yield from in vitro incubation of cellulose or starch with rumen fluid. Anim. Feed Sci. Technol. 67, 37-47.

- HART, I.C., J.A. BINES, S.V. MORANT und J.L. RIDLEY, 1978: Endocrine control of energy metabolism in the cow: comparison of the levels of hormones (prolactin, growth hormone, insulin and thyroxine) and metabolites in the plasma of high- and low-yielding cattle at various stages of lactation. J. Endocr. 77, 333-345.
- KRONFELD, D. S., F. RAGGI und C. F. RAMBERG, 1968: Mammary blood flow and ketone metabolism in normal, fasted and ketotic cows. Am. J. Physiol. 215, 218.
- LEBZIEN, P., 1997: Zum Einfluss des Futterproteins auf das Aminosäurenmuster des Proteins am Duodenum von Wiederkäuern. Übers. Tierernährg. 25, 137-153.
- RODEHUTSCORD, M., 1992: Untersuchungen zur Anpassung der mikrobiellen Aktivität im Pansen von Milchziegen an stark variierte Phosphor-Zufuhr. Diss. Agrar, Universität Bonn.
- SCHWARZ, F.J. und L. GRUBER, 1999: Futteraufnahme – Einflußfaktoren und Abschätzung. In: Fütterung der 10.000-Liter-Kuh. Arbeiten der DLG/Band 196. DLG-Verlag, Frankfurt a. M., 171-191.
- SHIRAZI-BEECHEY, S.P., B.A. HIRAYAMA, Y. WANG, D. SCOTT, M.W. SMITH und E.M. WRIGHT, 1991: Ontogenic development of lamb intestinal sodium-glucose co-transporter is regulated by diet. J. Physiol. (London), 437, 699-708

Nachdruck aus:

Züchtungskunde 71 (1999), 420-427.