Fütterungs- und tierbedingte Einflußfaktoren auf den Harnstoffgehalt der Milch von Kühen

A. Steinwidder und L. Gruber

Feeding and animal factors influencing milk urea content of dairy cows

1. Einleitung

Der Harnstoff in Blut, Milch und Harn stammt von einem Überschuß an Ammoniak im Pansen und dem Proteinkatabolismus im Stoffwechsel. Dieser Eiweißabbau dient der Deckung des Aminosäuren- bzw. Energiebedarfes für Erhaltung und Leistung. Zusätzlich entsteht Harnstoff auch aus dem Abbau von Aminosäurenüberschüssen im Stoffwechsel (VERITE et al., 1995).

In zahlreichen Untersuchungen konnte ein enger Zusammenhang zwischen dem Harnstoffgehalt in Blut, Milch und Harn festgestellt werden (KAUFMANN et al., 1982; OLTNER und WIKTORSSON, 1983; OLTNER et al., 1985; KREUZER et al., 1991; CARLSSON und PEHERSON, 1994; VERITE et al., 1995; BRODERICK und CLAYTON, 1997; JONKER et al., 1998).

Auf Grund der einfachen Probenziehung wird der Milchharnstoffgehalt routinemäßig als metabolischer Indikator zur Abschätzung der N-Versorgung der Pansenmikroben herangezogen (KIRCHGESSNER et al., 1985; KIRCHGESSNER et al., 1986; KIRCHGESSNER und WINDISCH, 1989; CARLSSON und PEHERSON, 1994; VERITE et al., 1995; HOF et al., 1997; SCHEPERS und MEIJER, 1998; STEINWIDDER et al., 1998; JILG, 1999). Überschüsse an Ammoniak, relativ zu der im Pansen zur Verfügung stehenden Energie, werden in der Leber rasch zu Harnstoff umgewandelt.

Daneben üben aber auch die Aminosäuren- und Energieversorgung des Wirtstieres einen Einfluß auf den Harnstoffgehalt aus (BLUM und KUNZ, 1980; DEHARENG et al., 1996; VERITE et al., 1995; HOF et al., 1997; SCHEPERS und MEIJER, 1998). Durch Abbau von überschüssigen Aminosäuren und Peptiden, aber auch im Fall eines Aminosäurenabbaus bei Energiemangel zur Energiebedarfsdeckung, kommt es durch Desaminierung zu einem Harnstoffüberschuß in der Leber, der in das Blut gelangt und über den Harn (Niere) und die Milch (Euter) ausgeschieden wird (BLUM und KUNZ, 1980).

In Versuchen mit Milchkühen wurde auch ein Anstieg des Milchharnstoffgehaltes bei zunehmender Milchleistung festgestellt (OLTNER et al., 1985; CARLSSON et al., 1995; VERITE et al., 1995; TREVASKIS und FULKERSON, 1999). Als weitere mögliche Einflußfaktoren auf den Harnstoffgehalt

Summary

Experimental data (n = 1567) were statistically analysed regarding the impact on milk urea content of dairy cows, using nutritional and animal factors.

In partial correlation analysis a week stochastic relation between milk urea content and selected parameters for the description of rumen metabolism was found (r = 0.3 to 0.5). The highest correlation to milk urea content was found when digestible crude protein intake was related to energy intake (r = 0.5). Regression analysis showed a significant influence of breed and animal, but protein and energy supply of rumen microbes was most important. Additionally, stage of lactation, milk protein yield, supply of utilizable protein in duodenum (nXP) and feed intake proved to be significant. The lowest residual standard error was found when using digestible carbohydrate and digestible crude protein intake for describing the rumen nitrogen metabolism in regression analysis. Nevertheless the relative high residual standard error of 3.9 mg/100 ml of milk urea shows, that a remarkably high proportion of variation is caused by factors not considered in the model. This corresponds to numerous data in literature. When milk urea data are interpreted, this inaccuracy should be taken into account.

Key words: Milk urea content, dairy cows, energy and protein supply.

Zusammenfassung

Versuchsdaten (n = 1567) wurden hinsichtlich der Beeinflussung des Milchharnstoffgehaltes durch ausgewählte fütterungs- und tierbedingte Parameter einer statistischen Auswertung unterzogen.

In der partiellen Korrelationsanalyse zeigte sich nur ein schwacher stochastischer Zusammenhang (r = 0,3 bis 0,5) zwischen dem Milchharnstoffgehalt und ausgewählten Parametern zur Beschreibung des Pansenstoffwechsels. Die höchste Korrelation zum Harnstoffgehalt der Milch ergab sich, wenn die Aufnahme an verdaulichem Rohprotein in Bezug zur Energieaufnahme gesetzt wurde (r = 0,5). In der Regressionsanalyse wurde ein signifikanter Rassen- und Tiereffekt und vor allem ein Effekt der Protein- und Energieversorgung der Pansenmikroben festgestellt. Weitere signifikante Einflußgrößen stellten aber auch der Laktationstag, die Milcheiweißleistung, die Versorgung mit nutzbarem Rohprotein am Dünndarm und die Futteraufnahme dar. Die geringste Residualstandardabweichung ergab sich bei Berücksichtigung des verdaulichen Rohproteins und der verdaulichen Kohlenhydrate zur Beschreibung des N-Pansenstoffwechsels in der Regressionsanalyse. Allerdings zeigt die relativ hohe Residualstandardabweichung von 3,9 mg/100 ml, daß ein großer Teil der Streuung auf nicht im Modell berücksichtigte Einflußgrößen zurückgeführt werden muß. Dies deckt sich mit vielen Literaturangaben.

Bei der Beurteilung von Milchharnstoffanalysen ist diese Unschärfe zu berücksichtigen.

Schlagworte: Milchharnstoffgehalt, Milchkühe, Energie- und Proteinversorgung.

der Milch werden die Lebendmasse der Tiere (OLTNER et al., 1985; JONKER et al., 1998), das Laktationsstadium (CARLSSON et al., 1995; TREVASKIS und FULKERSON, 1999), der Milchzuchtwert (TREVASKIS und FULKERSON, 1999), die Rasse (RODRIGUEZ et al., 1997), das Alter der Kühe (TREVASKIS und FULKERSON, 1999) sowie tägliche metabolische Schwankungen (GUSTAFSSON und PALMQUIST, 1993; KLOVER und MACMILLAN, 1993; CARLSSON und BERGSTRÖM, 1994; RODRIGUEZ et al., 1997; BRODERICK und CLAYTON, 1997; STEINWIDDER et al., 1998) beschrieben. Auch auf die analytischen Schwierigkeiten bei der Milchharnstoffbestimmung wird in der Literatur hingewiesen (CARLSSON und BERGSTRÖM, 1994; WEISS et al., 1996; HERRE und SEKUL, 1997; JONKER et al., 1998).

In der vorliegenden Arbeit wurden umfangreiche Versuchsdaten der BAL Gumpenstein hinsichtlich der Beeinflussung des Milchharnstoffgehaltes durch ausgewählte fütterungs- und tierbedingte Parameter einer statistischen Auswertung unterzogen.

2. Material und Methoden

2.1 Datenmaterial

Zur Untersuchung tierspezifischer und fütterungsbedingter Einflußgrößen auf den Harnstoffgehalt der Milch wurden die Daten von Fütterungsversuchen zusammengefaßt. Die Versuche behandelten den Einfluß unterschiedlicher Proteinversorgung (GRUBER et al., 1991; STEINWIDDER et al., 1998), Energieversorgung (GRUBER et al., 1995; STEINWIDDER et al., 1998) sowie des Fütterungszeitpunktes vor der Melkung (STEINWIDDER et al., 1998) auf die Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen. Das Datenmaterial umfaßte 1567 Datensätze von insgesamt 134 Milchkühen. Es wurden jedem Tier die regelmäßig festgestellten Milchharnstoffgehalte, die entsprechend festgestellten Futter- und Nährstoffaufnahmen (Mittelwert von zwei Tagen) sowie die Tierparameter (Lebendmasse, Laktationstag etc.) zugeordnet. Die Bestimmung des Milchharnstoffgehaltes erfolgte nach dem Prinzip der Leitfähigkeitsmessung mit einem halbautomatischen „ASTRA-4" Gerät, welches auch in der Humanmedizin Verwendung findet. Die Ableitung des pansenabbaubaren Rohproteins (RDP), der ruminalen N-Bilanz (RNB) sowie der fermentierbaren organischen Masse (FOM) erfolgten entsprechend den Angaben der DLG (1997), GfE (1997) bzw. CVB (1991). Die Bedarfsdeckung mit nutzbarem Rohprotein am Dünndarm (nXP) wurde aus der Differenz von nXP-Bedarf und dem nXP-Angebot berechnet. In Situationen einer negativen RNB wurde eine maximale N-Rezirkulation von 20 % des gesamten N-Bedarfes der Pansenmikroben berücksichtigt (GfE, 1997). Eine darüber hinaus gehende N-Unterversorgung führte zu einer entsprechenden Beschränkung des nXP-Angebotes.

Wie Tabelle 1 zeigt, weist das Datenmaterial in den zur Diskussion stehenden Parametern eine große Streubreite auf und deckt einen weiten Bereich der tierspezifischen Faktoren

(466–758 kg LM, 3–46 kg ECM) sowie der Futterparameter (Verdaulichkeit der Grundfutterration 52–70 %, RNB -114 bis +136) ab. Die Grund- und Gesamtfutteraufnahme lag in einem Bereich von 6,4–17,6 bzw. 8,0–25,1 kg T. Von den 1567 Datensätzen entfielen 753 auf die Rasse Fleckvieh, 713 auf Holstein Friesian und 101 auf Braunvieh.

Tabelle 1: Datenbeschreibung
Table 1: Description of data

		Mittel	Min.	Max.
Anzahl	n	1567	-	-
Tiere	n	134	-	-
Laktationszahl	n	3,4	1	9
Laktationstag	Tag	129	1	313
Lebendmasse	kg	603	466	758
dOS Grundfutter	%	60,3	52,8	69,8
Futteraufnahme	kg T	15,2	8,0	25,1
Grundfutter	kg T	12,4	6,4	17,6
Kraftfutter	kg T	2,7	0,0	11,2
ME	MJ/kg T	9,7	7,9	11,2
NEL	MJ/kg T	5,7	4,5	6,9
Rohprotein	g/kg T	119	73	192
RNB	g	-19	-114	136
ECM	kg	19,1	3,0	46,5
Milchharnstoff	mg/100 ml	16,6	4	45

2.2 Versuchsauswertung

Die Versuchsdaten wurden mit dem Programm LSMLMW PC-1 Version (HARVEY, 1987) sowie dem STATGRAPHICS-PLUS (1997) Statistikpaket ausgewertet.

Die *partielle Korrelationsanalyse* (STATGRAPHICS-PLUS, 1997) erfolgte unter Ausschaltung der Einflüsse von Leistungsparametern (kg Milcheiweiß/Tag, Futteraufnahme pro metabolischem Körpergewicht), der nXP-Bedarfsdeckung (g pro Tag) sowie des Laktationstages. Die *multiple Regressionsanalyse* wurde nach Modell 3 (HARVEY, 1987) mit den fixen Effekten „Rasse" sowie dem zufälligen Effekt „Tier" genestet innerhalb „Rasse" und den entsprechend weiteren unabhängigen Regressionsvariablen durchgeführt. Als Maß für die Schätzgenauigkeit der Regressionsgleichungen wird die Residualstandardabweichung angegeben. Unabhängige Regressionsvariable (linear, quadratisch bzw. kubisch) wurden nur bei vorliegender Signifikanz ($P < 0,05$) im Modell berücksichtigt.

$Y_{ijkl} = \mu + R_i + t_{ji} + V_k + e_{ijkl}$

Y_{ijkl} = Beobachtungswert der abhängigen Variable (Milchharnstoff)
μ = gemeinsame Konstante
R_i = fixer Effekt der Rasse i, i = FV, BS, HF
t_{ji} = zufälliger Effekt des Tieres j genestet innerhalb der Rasse, j = 1, 2,...,134
V_k = unabhängige Variable
e_{ijkl} = Restkomponente

3. Ergebnisse

3.1 Partielle Korrelationsanalyse

Da der Milchharnstoffgehalt vorrangig als Indikator zur Beurteilung der N-Versorgung der Pansenmikroben herangezogen wird, wurde in einem ersten Schritt am zusammengefaßten Datenmaterial (n = 1567) der Zusammenhang zwischen Milchharnstoffgehalt und errechneten Parametern zur Beschreibung des N-Stoffwechsels ermittelt. In Tabelle 2 werden die partiellen Korrelationskoeffizienten zwischen dem Milchharnstoffgehalt einerseits und ausgewählten Pansenparametern andererseits dargestellt.

Wie die Ergebnisse zeigen, ergab sich für alle Parameter nur ein geringer stochastischer Zusammenhang mit dem Milchharnstoffgehalt. In allen Fällen wurden bei Einbeziehung des RDP zur Beschreibung der N-Versorgung der Pansenmikroben die geringsten Korrelationskoeffizienten zum Milchharnstoffgehalt festgestellt. Ein geringfügig engerer Zusammenhang ergab sich bei Berücksichtigung von XP bzw. der RNB. Die höchsten Korrelationen (0,5) ergaben sich, wenn das verdauliche Rohprotein in Bezug zur Energieversorgung gesetzt wurde.

Tabelle 2: Partielle Korrelation zwischen Milchharnstoffgehalt (mg/100 ml) und ausgewählten Parametern
Table 2: Partial correlation between milk urea content (mg/100 ml) and selected parameters

Merkmal		r	Merkmal		r
RNB	g/Tag	0,43	XP/FOM	g/g	0,40
RNB	g/kg T	0,41	XP/KH	g/g	0,46
RDP[1]/ME	g/MJ	0,39	XP/DKH	g/g	0,46
RDP/DOM	g/g	0,39	DXP/ME	g/MJ	0,53
RDP/FOM[2]	g/g	0,36	DXP/DOM	g/g	0,53
RDP/KH[3]	g/g	0,42	DXP/FOM	g/g	0,51
RDP/DKH	g/g	0,42	DXP/KH	g/g	0,52
XP/ME	g/MJ	0,44	DXP/DKH	g/g	0,53
XP/DOM	g/g	0,44			

[1] Pansenabbaubares Rohprotein (errechnet nach GfE, 1997)
[2] im Pansen fermentierbare organische Masse (errechnet nach CVB, 1991)
[3] Kohlenhydrate (g KH = g OM - g XP - g XL)

3.2 Multiple Regressionsanalyse

Zur Darstellung signifikanter fütterungs- und tierbedingter Einflußgrößen auf den Milchharnstoffgehalt sind in Tabelle 3 die regressionsanalytischen Ergebnisse zusammengefaßt. Wie Gleichung 1 (Tab. 3) zeigt, ergab sich bei alleiniger Berücksichtigung der RNB als unabhängiger Variable eine Residualstandardabweichung von 4,6 mg/100 ml. Die Berücksichtigung des zufälligen Effektes „Tier", genestet innerhalb der „Rasse" (Modell 3), führte zu einer Verringerung der Standardabweichung von 5,1 (R^2 = 37 %) auf 4,6 mg/100 ml. Bei einer ausgeglichenen RNB wurde nach Gleichung 1 im Durchschnitt ein Milchharnstoffgehalt von 21 mg/100 ml festgestellt. Durch Erhöhung der RNB um 10 g steigt der Harnstoffgehalt um 1,5 mg/100 ml an (Abbildung 1). Beim Rasseneffekt ergaben sich je nach Modell für Fleckvieh-Kühe geringfügig höhere Werte (0,6–1,9 mg/100 ml) als für Holstein Friesian-Kühe. Der Milchharnstoffgehalt der Braunviehkühe lag deutlich über dem der Fleckviehtiere (2 bis 5 mg/100 ml), wobei diese Rasse aber nur mit einer relativ geringen Anzahl von Datensätzen im Gesamtmaterial vertreten war (n = 101). Die Erweiterung des Modells (Gleichung 2) durch andere auf den Milchharnstoffgehalt signifikant wirkende Einflußgrößen wie Laktationstag (LakTag), Deckung des nXP-Bedarfes (DECKnXP (g) = nXP-Angebot – nXP-Bedarf) und der Milcheiweißleistung pro Tag (EIWkg) sowie der Gesamtfutteraufnahme bezogen auf die metabolische Lebendmasse (IT^x) führte zu einer Verringerung der Residualstandardabweichung auf 4,06. Unter Konstanz der anderen im Modell berücksichtigten Variablen zeigte sich sowohl zwischen der nXP-Bedarfsdeckung als auch der Milcheiweißleistung und dem Milchharnstoffgehalt ein positiver Zusammenhang (Tabelle 4). Mit steigender Futteraufnahme (IT^x) ergab sich jedoch ein Rückgang des Harnstoffgehaltes. Der Einfluß des Laktationstages war kurvilinear. Die höchsten Milchharnstoffgehalte zeigen sich, unter Konstanz der anderen Regressionsvariablen, um den 100. Laktationstag. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse (Tabelle 4) ist zu berücksichtigen, daß sich unter praktischen Fütterungsbedingungen einzelne Effekte teilweise aufheben.

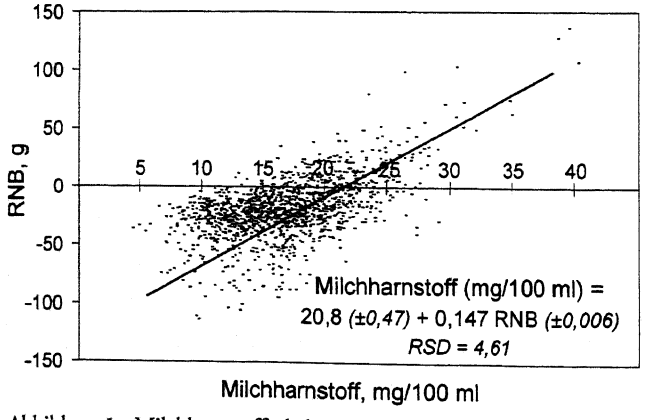

Abbildung 1: Milchharnstoffgehalt und RNB (Gleichung 1)
Figure 1: Milk urea content and RNB (equation 1)

In jenen Fällen, wo keine exakten Daten zur nXP-Bedarfsdeckung und Futteraufnahme zur Verfügung stehen, muß auf Gleichung 3 zurückgegriffen werden. Dies führt zur Erhöhung der Residualstandardabweichung auf 4,2 mg/ 100 ml.

Wird an Stelle der RNB (Gleichung 2) das XP/ME-Verhältnis (Gleichung 4) bzw. der Quotient aus RDP-Aufnahme und der Aufnahme an verdaulichen Kohlenhydraten (Gleichung 5) in den Regressionsgleichungen berücksichtigt, dann führt dies zur selben Vorhersagegenauigkeit.

Die geringste Residualstandardabweichung (3,9 mg/ 100 ml) ergab sich, wenn zur Beschreibung der Protein- und Energieversorgung der Quotient aus verdaulichem Rohprotein und verdaulichen Kohlenhydraten (Gleichung 6) herangezogen wurde. Die dennoch hohe Residualstandardabweichung von 3,9 mg besagt jedoch, daß ein großer Teil der Streuung auf nicht im Modell berücksichtigte Einflußgrößen zurückgeführt werden muß.

4. Diskussion

Trotz der in der Literatur vielfach beschriebenen Zusammenhänge zwischen der N- und Energieversorgung der Pansenmikroben einerseits und dem Milchharnstoffgehalt andererseits (KIRCHGESSNER et al., 1985; KIRCHGESSNER et al., 1986; KIRCHGESSNER und WINDISCH, 1989; CARLSSON und PEHERSON, 1994; VERITE et al., 1995; HOF et al., 1997; SCHEPERS und MEIJER, 1998; STEINWIDDER et al., 1998; JILG, 1999) ergab sich am vorliegenden Datenmaterial in der partiellen Korrelationsanalyse nur ein schwacher stochastischer Zusammenhang (r = 0,3 bis 0,5). Die höchste Korrelation wurde festgestellt, wenn zur Beschreibung der Proteinaufnahme das verdauliche Rohprotein in Beziehung zur Energieaufnahme gesetzt wurde (r = 0,53). Für die RNB ergab sich demgegenüber ein deutlich geringerer Korrelationskoeffizient von 0,43. Um weitere Einflußfaktoren auf den Milchharnstoffgehalt quantitativ erfassen zu können, wurde daher eine multiple Regressionsanalyse durchgeführt. Wie auch in den Untersuchungen von OLTNER et

Tabelle 3: Regressionsgleichungen (Milchharnstoff MH, mg/100 ml)
Table 3: Regression equations (milk urea MH, mg/100 ml)

Gleichung 1	
MH =	18,0 + Rasse + 0,147 (**RNB** + 19,1);
Rasse:	Fleckvieh -1,5; Braunvieh +3,7; Holstein Friesian -2,1
RSD =	*4,61*
Gleichung 2	
MH =	18,7 + Rasse + 0,098 (**RNB** +19,1) - 0,00606 (LakTag -129) - 0,000128 (LakTag -129)^2 + 0,00000082 (LakTag -129)^3 + 0,0117 (DECKnXP -143) + 27,69 (EIWkg -0,554) -6,272 (EIWkg -0,554)^2 -129,41 (IT^x -0,125)
Rasse:	Fleckvieh -1,1; Braunvieh +2,9; Holstein Friesian -1,8
RSD =	*4,06*
Gleichung 3	
MH =	18,9 + Rasse + 0,131 (**RNB** +19,1) + 0,00369 (LakTag -129) - 0,000163 (LakTag -129)^2 + 0,00000116 (LakTag -129)^3 + 16,49 (EIWkg -0,554) - 6,889 (EIWkg -0,554)^2
Rasse:	Fleckvieh -0,5; Braunvieh +2,9; Holstein Friesian -2,4
RSD =	*4,18*
Gleichung 4	
MH =	18,5 + Rasse + 2,111 (**XP/ME** -12,274) - 0,00573 (LakTag -129) - 0,000135 (LakTag -129)^2 + 0,00000078 (LakTag -129)^3 + 0,0101 (DECKnXP -143) + 23,55 (EIWkg -0,554) - 132,61 (IT^x -0,125)
Rasse:	Fleckvieh -1,0; Braunvieh +2,9; Holstein Friesian -1,9
RSD =	*4,06*
Gleichung 5	
MH =	18,6 + Rasse + 111,15 (**RDP/DKH** -0,1708) – 0,00802 (LakTag -129) - 0,000141 (LakTag -129)^2 + 0,00000083 (LakTag -129)^3 + 0,0110 (DECKnXP -143) + 24,95 (EIWkg -0,554) – 145,29 (IT^x -0,125)
Rasse:	Fleckvieh -1,2; Braunvieh +3,0; Holstein Friesian -1,8
RSD =	*4,06*
Gleichung 6	
MH =	18,0 + Rasse + 150,41 (**DXP/DKH** -0,1356) – 0,00222 (LakTag -129) - 0,000125 (LakTag -129)^2 + 0,00000071 (LakTag -129)^3 + 0,0033 (DECKnXP -143) + 9,25 (EIWkg -0,554) – 68,59 (IT^x -0,125)
Rasse:	Fleckvieh -0,5; Braunvieh +1,8; Holstein Friesian -1,3
RSD =	*3,93*

Tabelle 4: Einfluß der unabhängigen Regressionsvariablen auf den Milchharnstoffgehalt unter Konstanz[1)] der jeweils anderen Regressionsvariablen (Gleichung 2)
Table 4: Influence of independent regression variables on milk urea content when other regression variables are hold constant[1)] (equation 2)

RNB	g	-100	-50	0	50	100
Milchharnstoff	mg/100 ml	11,6	16,5	21,4	26,3	31,2
Milch mit 3,2 % Eiweiß	kg	15	20	25	30	35
Milchharnstoff	mg/100 ml	17,0	21,4	25,5	29,3	32,7
Laktationstag	Tag	1	50	100	200	300
Milchharnstoff	mg/100 ml	18,3	20,6	21,4	20,5	20,5
nXP-Bedarfsdeckung	g	-400	-200	0	200	400
Milchharnstoff	mg/100 ml	16,7	19,0	21,4	23,7	26,1
IT^x *(z.B. IT bei 650 kg)*	kg/kg^x	0,09 *(12)*	0,11 *(14)*	0,12 *(16)*	0,14 *(18)*	0,16 *(20)*
Milchharnstoff	mg/100 ml	25,4	23,4	21,4	19,4	17,4

[1)] unterstellte konstante Werte: RNB = 0 g; Milch = 20 kg mit 3,2 % Eiweiß (= 0,64 kg Milcheiweiß); Laktationstag = 100; nXP-Bedarfsdeckung ausgeglichen (0 g); IT^x = 0,124 (= 16 kg IT bei 650 kg LM)

al. (1985), CARLSSON et al. (1995) und VERITE et al. (1995) wurde ein signifikanter Anstieg des Milchharnstoffgehaltes mit zunehmender Milchleistung festgestellt. Durch Berücksichtigung der Eiweißleistung an Stelle der Milch- bzw. ECM-Leistung konnte in der vorliegenden Untersuchung eine Verbesserung der Schätzgenauigkeit erreicht werden. Der mit steigender Leistung zunehmende Milchharnstoffgehalt kann auf einen insgesamt höheren Nährstoffinput bzw. Nährstoffumsatz und damit auch höheren N-Anfall zurückgeführt werden.

Zahlreiche Autoren berichten aber auch von einem Einfluß der Aminosäuren- und Energieversorgung des Wirtstieres auf den Milchharnstoffgehalt (BLUM und KUNZ, 1980; DEHARENG et al., 1996; VERITE et al., 1995; HOF et

al., 1997; SCHEPERS und MEIJER, 1998). Auch im vorliegenden Material zeigte sich durch eine verbesserte nXP-Versorgung, bei gleicher RNB, ein leichter Anstieg des Harnstoffgehaltes. Die nXP-Versorgung korreliert bei ausreichender N-Versorgung der Pansenmikroben sehr eng mit der Energieversorgung. Es spiegelt sich daher in der nXP-Versorgung auch der Effekt der Energieversorgung wider.

Der in der Literatur weiters beschriebene Einfluß der Lebendmasse auf den Harnstoffgehalt der Milch (OLTNER et al., 1985; JONKER et al., 1998) konnte im vorliegenden Datenmaterial nicht direkt festgestellt werden. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß ein Literaturvergleich von Regressionsvariablen bzw. deren Koeffizienten immer nur bedingt möglich ist, da diese wesentlich vom Gesamtmodell beeinflußt werden. Im vorliegenden Datenmaterial ergab sich im Gegensatz zur Lebendmasse der Tiere jedoch ein signifikanter Einfluß der Gesamtfutteraufnahme, wenn diese auf die metabolische Lebendmasse bezogen wurde. Es zeigte sich mit steigender Futteraufnahme ein Rückgang des Milchharnstoffgehaltes. Bereits ORSKOV (1982) weist darauf hin, daß die Rohproteinabbaubarkeit im Pansen von der Pansenpassagerate des Futters beeinflußt wird. Durch Steigerung der Futteraufnahme wird diese erhöht und geht die effektive Rohproteinabbaubarkeit im Pansen zurück. Dieser Effekt erklärt den festgestellten Einfluß der Futteraufnahme auf den Milchharnstoffgehalt.

Zusätzlich wurde, wie auch in den Untersuchungen von CARLSSON et al. (1995) sowie TREVASKIS und FULKERSON (1999), ein Einfluß des Laktationstages festgestellt. Auch am vorliegenden Datenmaterial zeigten sich die höchsten Milchharnstoffgehalte um den 100. Laktationstag – dieser Effekt war aber wesentlich geringer als in der Arbeit von CARLSSON et al. (1995) ausgeprägt. Diese Untersuchung wurde jedoch ohne Erfassung bzw. Berücksichtigung von Rationskriterien durchgeführt, wodurch sich Änderungen in der Rationsgestaltung im Effekt des Laktationstages widerspiegeln dürften.

Weiters konnte in der vorliegenden Untersuchung auch ein signifikanter Rasseneinfluß festgestellt werden. Kühe der Rasse Fleckvieh wiesen einen geringfügig höheren Milchharnstoffgehalt als HF-Kühe auf (0,6 mg/100 ml – Gleichung 6). Deutlich über dem Fleckvieh lag das Braunvieh (2,3 mg/100 ml – Gleichung 6). Der Anteil der Datensätze für das Braunvieh am Gesamtmaterial (n = 101) ist jedoch als gering zu beurteilen. Trotzdem deuten diese Ergebnisse auf genetische Einflüsse hin. Auch RODRIGUEZ et al. (1997) sowie TREVASKIS und FULKERSON (1999) berichten von Rasseneinflüssen bzw. genetischen Einflüssen. Jersey-Kühe wiesen höhere Harnstoffwerte als HF-Kühe auf (RODRIGUEZ et al., 1997). In den Untersuchungen von TREVASKIS und FULKERSON (1999) zeigten Kühe mit höherem Milchzuchtwert höhere Harnstoffwerte. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen wurden in Untersuchungen von CARLSSON et al. (1995) keine Rassenunterschiede zwischen milchbetonten schwedischen rot- und schwarzbunten Tieren festgestellt. Die geringen genetischen Unterschiede im Milchleistungspotential könnten jedoch eine Erklärung für dieses Ergebnis darstellen.

Am wesentlichsten wurde der Harnstoffgehalt der Milch vom Protein/Energie-Verhältnis der Ration bestimmt. Dies deckt sich mit den Angaben zahlreicher Untersuchungen (KIRCHGESSNER et al., 1985; KIRCHGESSNER und WINDISCH, 1989; CARLSSON und PEHERSON, 1994; VERITE et al., 1995; HOF et al., 1997; SCHEPERS und MEIJER, 1998; STEINWIDDER et al., 1998; JILG, 1999). Bei alleiniger Berücksichtigung der RNB als unabhängiger Variable wurde eine Residualstandardabweichung von 4,6 mg/100 ml festgestellt. Nach Hinzunahme von weiteren vier signifikanten unabhängigen Variablen in das Modell (siehe Tabelle 3, Gleichung 2) wurde die Residualstandardabweichung auf 4,1 mg/100 ml verringert. Entgegen den Erwartungen führte die Berücksichtigung der ruminalen Proteinabbaubarkeit an Stelle des Rohproteins und vor allem des verdaulichen Rohproteins zu keiner Verbesserung der Schätzgenauigkeit. Dies ist ein Hinweis darauf, daß die Energie- und Proteinbewertungssysteme das Angebot und den Bedarf von Nährstoffen zum Teil nicht ausreichend genau bzw. nur für Tiergruppen und nicht für Einzeltiere beschreiben können, da große tierindividuelle Verwertungsunterschiede auftreten (GRUBER, 1999). Bei Vergleichen von Energie- und Proteinbewertungssystemen anhand von Fütterungsversuchen zeigten sich absolute Vorhersagefehler bei Energie von etwa 6 und bei Protein von 4 bis 8 kg ECM pro Kuh und Tag (GRUBER, 1999). Dieses Ergebnis erklärt auch teilweise die in der vorliegenden Untersuchung verbleibende große Residualstandardabweichung von 3,9 mg (Gleichung 6) – ein nicht geringer Teil der Streuung ist auf nicht im Modell erfaßte Einflußgrößen zurückzuführen. Auch in den Untersuchungen von VERITE et al. (1995) ergab sich eine vergleichbare Residualstandardabweichung (3,8 mg) bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,65. Ein noch deutlich schlechteres Bestimmtheitsmaß (0,2 bis 0,4) zeigte sich in den Berechnungen von TREVASKIS und FULKERSON (1999).

Überraschend war das Ergebnis, daß zur Beschreibung der Energie- und Proteinversorgung im Vergleich zur RNB

bzw. dem XP/ME-Verhältnis und dem RDP/DKH-Verhältnis der Quotient aus verdaulichem Rohprotein und verdaulichen Kohlenhydraten (DXP/DKH) die beste Schätzgenauigkeit zeigte. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß das verdauliche Rohprotein in diesem Fall nicht zur Bewertung der Versorgung des Tieres mit Protein herangezogen wird. Das verdauliche Rohprotein gibt vielmehr einen Aufschluß darüber, wie viel des gefütterten Rohproteins im Pansen, im Verdauungstrakt und damit auch im Stoffwechsel des Tieres umgesetzt wird. Im amerikanischen CNCPS (Cornell net carbohydrate and protein system) und auch im britischen MP-System (Metabolic protein system) fließt beispielsweise der ADIN-Gehalt (Acid detergent insoluble nitrogen) in die Abschätzung der Verdaulichkeit des UDP ein (CNCPS, 1990; AFRC, 1993). Zwischen dem ADIN-Gehalt in Futtermitteln und der Verdaulichkeit des Rohproteins besteht ein negativer Zusammenhang (VAN SOEST, 1994). Futtermittel mit hohem ADIN-Gehalt weisen aber auch eine geringere ruminale N-Abbaubarkeit auf (VAN SOEST, 1994). Da sich das Grundfutter im untersuchten Datenmaterial vorwiegend aus Heu und Silagen zusammensetzte und dieses auch ein breites Qualitätsspektrum abdeckte, kann von einer großen Variabilität und im Durchschnitt auch von relativ hohen ADIN-Gehalten in den Rationen ausgegangen werden. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen von N-Bilanzversuchen, in denen GRUBER et al. (1999) im Vergleich zu Literaturangaben hohe N-Ausscheidungen über den Kot feststellten. Durch Berücksichtigung des verdaulichen Rohproteins dürften daher in der vorliegenden Untersuchung indirekt die Unterschiede in der Abbaubarkeit sowie der Verdaulichkeit des Proteins in einem größeren Ausmaß mit erfaßt worden sein, als dies mit RDP möglich war.

Neben den Ungenauigkeiten in der Futterbewertung und dem Tiereffekt als solchen müssen aber auch die täglichen tierindividuellen Schwankungen bei der Interpretation von Milchharnstoffanalysen berücksichtigt werden. Das zeigen auch die Ergebnisse von STEINWIDDER et al. (1998), wo die Standardabweichung des Milchharnstoffgehaltes vom jeweiligen Versuchsperiodenmittel bei 3,6 mg/100 ml (2–8 mg/100 ml) lag. Dies entspricht einem Varianzkoeffizienten von durchschnittlich 20,2 % (7–37 %). Auch OLTNER et al. (1985), HOF et al. (1997) sowie SCHEPERS und MEIJER (1998) stellten hohe tägliche tierindividuelle Schwankungen fest. Dabei muß berücksichtigt werden, daß Futteraufnahme und Rationszusammensetzung und damit auch die RNB täglich variieren.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen im wesentlichen die in der Literatur beschriebenen Zusammenhänge zwischen Fütterungs- sowie Tierparametern und dem Milchharnstoffgehalt. Bei der Interpretation von Milchharnstoffgehalten sind neben dem Protein/Energie-Verhältnis der Ration auch der Einfluß der Rasse, der Milcheiweißleistung, der Futteraufnahme, des Laktationstages und der nXP-Bedarfsdeckung zu berücksichtigen. Es zeigte sich allerdings auch eine beachtliche Restvariabilität, die neben täglichen tierindividuellen Schwankungen auf zum Teil (noch) nicht erfaßbare bzw. festgestellte Einflußfaktoren zurückgeführt werden muß. Bei der Interpretation von Milchharnstoffanalysen ist diese Unschärfe zu berücksichtigen. In jedem Fall muß auf Praxisbetrieben zur Minimierung von Fehlern auf Mittelwerte von ausreichend großen Kuhgruppen zurückgegriffen werden.

Danksagung

Die Autoren danken den Mitarbeitern im Versuchsstall und im Büro für die Datenerfassung und Versuchskoordination. Ing. Th. Guggenberger gebührt Dank für die Datenaufbereitung.

Literatur

AFRC (Agricultural and Food Research Council) (1993): Energy and protein requirements of ruminants. CAB International, Wallingford, Großbritanien.

BLUM, J. W. und P. KUNZ (1980): Stoffwechselprofile: Veränderungen von Hormonen und Metaboliten im Zusammenhang mit der Milchleistung. Schweiz. landw. Monatshefte 58, 453–465.

BRODERICK, G. A. and M. K. CLAYTON (1997): A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. J. Dairy Sci. 80, 2964–2971.

CARLSSON, J. and J. BERGSTRÖM (1994): The diurnal variation of urea in cow's milk and how milk fat content, storage and preservation effects analysis by a flow injection technique. Acta vet. Scand. 35, 67–77.

CARLSSON, J. and B. PEHERSON (1994): The influence of the dietary balance between energy and protein on milk urea concentration. Experimental trials assessed by two different protein evaluation systems. Acta vet. Scand. 35, 193–205.

CARLSSON, J., J. BERGSTRÖM and B. PEHERSON (1995): Variations with breed, age, season, yield, stage of lactation and herd in the concentration of urea in bulk milk and individual cow's milk. Acta vet. Scand. 36, 245–254.

CNCPS (The cornell net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets) (1990): Part 1: A model for predicting cattle requirements and feedstuff utilization. Cornell University, New York 14850.

CVB (Centraal veevoederbureau) (1991): Eiwitwaardering voor herkauwers: Het DVE-Systeem. 8219 Lelystad.

DEHARENG, D., B. B. NDIBUALONJI and J.-M. GODEAU (1996): Continuous profiles of ruminal ammonia and plasma urea in dry Friesian cows on hay-based rations. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 75, 57–72.

DLG (DLG-Futterwerttabellen) (1997): DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer. DLG Verlag, Frankfurt.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuß für Bedarfsnormen) (1997): Zum Proteinbedarf von Milchkühen und Aufzuchtrindern. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 6, 217–236.

GRUBER, L. (1999): Vergleich der Energie- und Proteinbewertungssysteme in Deutschland, Holland und USA anhand von Fütterungsversuchen. DLG Fütterungskonferenz „Fütterung der 10.000 Liter Kuh." Braunschweig 9.–10. 2. 1999, Tagungsband.

GRUBER, L., R. STEINWENDER und W. BAUMGARTNER (1995): Einfluß von Grundfutterqualität und Kraftfutterniveau auf Leistung, Stoffwechsel und Wirtschaftlichkeit von Kühen der Rasse Fleckvieh und Holstein Friesian. Bericht über die 22. Tierzuchttagung, BAL Gumpenstein, 9.–10. Mai 1995, 1–49.

GRUBER, L., R. STEINWENDER and A. SCHAUER (1991): Milk yield and nitrogen balance in dairy cows at different protein levels and constant energy supply. 6th Int. Symp. Protein Metabolism and Nutrition. Herning, Denmark 9–14 June 1991, 315–317.

GRUBER, L., A. STEINWIDDER, B. STEFANON, B. STEINER and R. STEINWENDER (1999): Influence of grassland management in Alpine regions and concentrate level on N excretion and milk yield of dairy cows. Livest. Prod. Sci. 61, 155–170.

GUSTAFSSON, A. H. and D. L. PALMQUIST (1993): Diurnal variation of rumen ammonia, serum urea, and milk urea in dairy cows at high and low yields. J. Dairy Sci. 76, 475–484.

HARVEY, W. R. (1987): User's Guide for LSMLMW PC-1 Version, Mixed model least-squares and maximum likelihood computer program, Ohio State University.

HERRE, A. und W. SEKUL (1997): Wie genau sind Milchharnstoffwerte verschiedener Untersuchungsmethoden. Landinfo 7, 7–13.

HOF, G., M. D. VERVOORN, P. D. LENAERS and S. TAMMINGA (1997): Milk urea nitrogen as a tool to monitor the protein nutrition of dairy cows. J. Dairy Sci. 80, 3333–3340.

JILG, T. (1999): Einfluß der ruminalen Stickstoffbilanz (RNB) auf Milchleistung und Milchinhaltsstoffe bei Fleckviehkühen. Versuchsbericht 1/1999. Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt Aulendorf, 1–9.

JONKER, J. S., R. A. KOHN and R. A. ERDMAN (1998): Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 81, 2681–2692.

KAUFMANN, W., K.-H. LOTTHAMMER und W. LÜPPING (1982): Zum Einfluß eines verminderten Proteingehaltes der Ration (über Verwendung von geschütztem Protein) auf die Milchleistung und einige Blutparameter als Kennzeichen der Leberbelastung. Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. 47, 85–101.

KIRCHGESSNER, M., M. KREUZER and D. A. ROTH-MAIER (1986): Milk urea and protein content to diagnose energy and protein malnutrition of dairy cows. Arch. Anim. Nutr. 36, 192–197.

KIRCHGESSNER, M., D. A. ROTH-MAIER und G. RÖHRMOSER (1985): Harnstoffgehalt der Milch von Kühen mit Energie- bzw. Proteinmangel und anschließender Realimentation. Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. 53, 264–270.

KIRCHGESSNER, M. und W. WINDISCH (1989): Harnstoffgehalt der Milch und Allantoinausscheidung von Kühen während und nach Energie- und Proteinmangel. 4. Mitteilung: Zum Einfluß eines Energie- und Proteinmangels bei laktierenden Kühen und daraus entstehende Folgewirkungen. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 62, 113–118.

KLOVER, E. S. and K. L. MACMILLAN (1993): Short term changes in selected metabolites in pasture fed dairy cows during peak lactation. Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production 53, 77–81.

KREUZER, M., M. KIRCHGESSNER und J. W. BLUM (1991): Konzentration von Hormonen und Stoffwechselparametern im Blutplasma von Kühen während und nach unterschiedlicher Rohproteinzufuhr. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 65, 11–20.

OLTNER, R. and H. WIKTORSSON (1983): Urea concentrations in milk and blood as influenced by feeding varying

amounts of protein and energy to dairy cows. Livest. Prod. Sci. 10, 457–467.

OLTNER, R., M. EMANUELSON and H. WIKTORSSON (1985): Urea concentrations in milk and blood as influenced by feeding varying amounts of protein and energy to dairy cows. Livest. Prod. Sci. 10, 457–467.

ORSKOV, E. R. (1982): Protein nutrition in ruminants. Academic Press, London.

RODRIGUEZ, L. A., C. C. STALLINGS, J. H. HERBEIN and M. L. MCGILLIARD (1997): Diurnal variation in milk and plasma urea nitrogen in Holstein and Jersey cows in response to degradable dietary protein and added fat. J. Dairy Sci. 80, 3368–3376.

SCHEPERS, A. J. and R. G. M. MEIJER (1998): Evaluation of the utilization of dietary nitrogen by dairy cows based on urea concentration in milk. J. Dairy. Sci. 81, 579–584.

STATGRAPHICS PLUS (1997): Statgraphics Plus Version 3 – User Manual, Manugistics Inc.

STEINWIDDER, A., P. SCHWEIGER, L. GRUBER, F. LETTNER und W. SCHMID (1998): Einfluß des Fütterungszeitpunktes sowie der Protein- und Energieversorgung auf den Milchharnstoffgehalt. Agrarbiol. Res. 51, 341–355.

TREVASKIS, L. M. and FULKERSON, W. J. (1999): The relationship between various animal and management factors and milk urea, and its association with reproductive performance of dairy cows grazing pasture. Livest. Prod. Sci. 57, 255–265.

VAN SOEST, P. (1994): Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Cornell university press.

VERITE, R., S. RETIF and P. FAVERDIN (1995): Milk urea as an index for nutritive protein balance and urinary N excretion in dairy cows on conserved diets. 7th Symposium on protein metabolism and nutrition, Santarem, Portugal, 24–27 May 1995, EAAP Publication no. 81, 277.

WEISS, J., TH. BONSELS und W. PAPST (1996): Milchharnstoffgehalt – Fetisch oder Hilfsmittel? Zur Beurteilung der Proteinversorgung von Milchkühen. Milchpraxis 34, 184–187.

Anschrift der Verfasser

Dr. Andreas Steinwidder und **Univ. Doz. Dr. Leonhard Gruber**, Institut für Viehwirtschaft und Ernährungsphysiologie landwirtschaftlicher Nutztiere, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, A-8952 Irdning, Austria; e-mail: bal.gump@computerhaus.net

Eingelangt am 9. August 1999
Angenommen am 6. November 1999