

# Einfluss der Kraftfutterzusammensetzung auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen bei unterschiedlichem Vegetationsstadium des Wiesenfutters

*Influence of concentrate composition on feed intake and milk yield of dairy cows at different vegetative stages of meadow forage*

Leonhard Gruber<sup>1\*</sup>, Anton Schauer<sup>1</sup>, Johann Häusler<sup>1</sup>, Andrea Adelwöhrer<sup>1</sup>, Marcus Urdl<sup>1</sup>, Karl-Heinz Südekum<sup>2</sup> und Susanne Kirchhof<sup>3</sup>

## Zusammenfassung

Um den Energiebedarf genetisch hochveranlagter Milchkühe decken zu können, sind sowohl eine hohe Grobfutterqualität als auch ein ausreichender Kraftfutteranteil der Ration erforderlich. Die Überschreitung pansenphysiologischer Grenzen durch zu hohe Kraftfutteranteile, rasch fermentierbare Kohlenhydrate, nicht ausreichende Partikelgröße und zu junges Wiesenfutter führt zu (subakuter) Pansenazidose. Neben dem Gehalt an strukturwirksamer, physikalisch effektiver Faser wirken auch die ruminale Abbaubarkeit der Stärke und die Höhe der Futteraufnahme auf den pH-Wert im Pansen. Kraftfutter mit Stärke von geringer Abbaubarkeit und/oder langsamer Abbaurate (getrockneter Mais und Sorghum-Hirse) bzw. mit einem hohen Gehalt an leicht abbaubarer Faser (Trockenschnitzel, Sojaschalen, Rückstände von Zitrusfrüchten) verringern die Säurebelastung im Pansen. Es ist auf Grund dieser positiven Wirkungen auf den Pansenstoffwechsel zu erwarten und wurde in Versuchen mehrfach bestätigt, dass solche Kraftfutter die Futteraufnahme und Milchleistung sowie auch den Milchfettgehalt erhöhen. Allerdings bedeutet der Rückgang von im Pansen fermentierbarer organischer Masse auch, dass die Menge an Mikrobenprotein und damit auch der Milcheiweißgehalt verringert werden.

Daher wurde der Einfluss von Menge und Zusammensetzung des Kraftfutters auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen bei unterschiedlichem Vegetationsstadium des Wiesenfutters untersucht. Als Grobfutter erhielten die Kühe 75 % Grünfutter, 15 % Maissilage und 10 % Heu ad libitum. Eine Dauerwiese mit homogenem Pflanzenbestand wurde in drei Abschnitte geteilt, um den Vegetationsverlauf des Wiesenfutters in allen drei Aufwüchsen der ganzen Vegetationszeit zu verfolgen (Wiederholung 3 Jahre). Jeder Aufwuchs wurde für die Dauer von sieben Wochen verfolgt und in frischem Zustand für die Versuche herangezogen. Als zweiter Versuchsfaktor wurde die Menge (0, 25, 50 % der TM) und Zusammensetzung des Kraftfutters (langsam (L) und

## Summary

In order to cover the energy requirement of dairy cows disposing of high-class genetic material, both is necessary, roughage of high quality and a sufficient portion of concentrate in the ration. The transgression of rumenphysiological limits by too large portions of concentrate, quickly fermentable carbohydrates, non-sufficient size of particles and too young forage lead to (sub-acute) rumen acidosis. Beside the content of structurally efficient, physically effective fibres there are also the ruminal degradability of starch and the extent of feed intake affecting the ruminal pH-value. Concentrate with starch of low degradability and/or slow rate of degradation (dry maize and sorghum) and with a high content of easily degradable fibres (dried beet pulp, soybean hulls, residues of citrus fruits) decrease the ruminal acid stress. Due to these positive effects on the rumen's metabolism one can expect – and it was confirmed in several trials, as well – that such concentrate increases feed intake and dairy performance as well as the milk fat percentage. However, the reduction of ruminally fermentable organic material also means that the amount of microbial protein and therefore also the milk protein content are decreased.

Thus, the influence of amount and composition of the concentrate on feed intake and performance of dairy cows was investigated at different vegetative stages of meadow forage. Cows got 75% fresh grass, 15% maize silage and 10% hay ad libitum as roughage ration. A permanent meadow with homogenous crop was divided into three sections, in order to monitor the processing of the meadow's vegetation in all three growths during the whole vegetation period (replication 3 years). Each growth has been followed up for the duration of seven weeks and in fresh condition taken for the trials. As a second parameter the amount (0, 25, 50% of DM) and composition of concentrate (slowly (L) and quickly (S) fermentable) was investigated. The amount as well as the degradability of the concentrate had significant influence on feed intake and milk yield of the cows. On average

<sup>1</sup> LFZ Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, A-8952 Irdning

<sup>2</sup> Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften, D-53115 Bonn

<sup>3</sup> Universität Kiel, Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie, D-24098 Kiel

\* Ansprechpartner: Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, email: [leonhard.gruber@raumberg-gumpenstein.at](mailto:leonhard.gruber@raumberg-gumpenstein.at)



schnell (S) fermentierbar) geprüft. Sowohl die Menge als auch die Abbaubarkeit des Kraftfutters übten einen signifikanten Einfluss auf die Futterraufnahme und die Milchleistung der Kühe aus. Im Mittel beider Kraftfutterarten ging die Grobfutterraufnahme um 0,54 kg TM pro kg TM Kraftfutter zurück und die aus dem Grobfutter erzielbare Milchleistung um 0,96 kg. Die tatsächliche Milchleistung erhöhte sich pro kg TM Kraftfutter um 0,61 kg Milch bzw. 0,58 kg ECM. Der Fettgehalt erniedrigte sich und der Proteingehalt erhöhte sich mit der Kraftfuttermenge. Das langsam fermentierbare Kraftfutter führte gegenüber dem schnell fermentierbaren Kraftfutter zu einer geringeren Grundfuttermverdrängung (0,49 vs. 0,59) und zu einer geringeren Verminderung des Milchfettgehaltes, allerdings auch zu einer geringeren Erhöhung des Milchproteingehaltes. Alle angeführten Veränderungen lassen sich pansenphysiologisch über die Säureproduktion (flüchtige Fettsäuren) und mikrobielle Proteinsynthese erklären.

*Schlagwörter:* Kraftfuttermenge, Kraftfutterzusammensetzung, Wiesenfutter, Vegetationsstadium, Futterraufnahme, Milcherzeugungswert

the intake of roughage decreased by 0.54 kg DM per kg concentrate with both types of concentrate and the milk yield achievable from roughage decreased by 0.96 kg. The actual milk yield increased by 0.61 kg milk per kg DM of concentrate and by 0.58 kg ECM. The fat content decreased and the protein content increased with the amount of concentrate. Compared to the quickly fermentable concentrate, the slowly fermentable concentrate led to a lower substitution of the forage ration (0.59 vs. 0.49) and to a smaller decrease of the milk fat content, however, also to a smaller increase of the milk protein content. All the mentioned changes are rumen-physiologically to be explained by the acid production (volatile fatty acids) and by the microbial protein synthesis.

*Keywords:* Concentrate level, concentrate composition, meadow forage, vegetative stage, feed intake, milk production from forage

## 1. Einleitung und Literaturübersicht

Um den Energie- und Nährstoffbedarf genetisch hochveranlagter Milchkühe decken zu können, sind sowohl eine hohe Grobfutterqualität als auch ein ausreichender Kraftfutteranteil der Ration erforderlich. Die Überschreitung pansenphysiologischer Grenzen durch zu hohe Kraftfutteranteile, rasch fermentierbare Kohlenhydrate, nicht ausreichende Partikelgröße und zu junges Wiesenfutter führt zu (subakuter) Pansenazidose (ØRSKOV 1986, NOCEK 1997, STONE 2004, GRAF et al. 2005, KRAUSE und OETZEL 2005, BEAUCHEMIN und YANG 2005, YANG und BEAUCHEMIN 2007, BRAMLEY et al. 2008, DOHME et al. 2008, ZEBELI et al. 2008, DOEPEL et al. 2009, COLMAN et al. 2010). Neben dem Gehalt an strukturwirksamer, physikalisch effektiver Faser (peNDF, MERTENS 1997) wirkt auch die ruminale Abbaubarkeit der Stärke und die Höhe der Futterraufnahme auf die Säureproduktion im Pansen und somit auf den pH-Wert (De VISSER 1996, STEINGASS und ZEBELI 2008, GRUBER 2009).

Kraftfutter mit Stärke von geringer Abbaubarkeit und/oder langsamer Abbaurate bzw. mit einem hohen Gehalt an leicht abbaubarer Faser verringern die Säurebelastung im Pansen und somit das Auftreten von (subakuter) Pansenazidose (Van VUUREN et al. 1986, STEG et al. 1988, De VISSER et al. 1992, De VISSER 1996, KEADY und MAYNE 2001). Zu diesen Kraftfuttern zählen vor allem getrockneter Mais und Sorghum-Hirse. Zu den Kraftfuttern mit leicht abbaubarer Faser gehören insbesondere Trockenschnitzel, Sojaschalen sowie Rückstände von Zitrusfrüchten etc. (SAUVANT et al. 2004, GRUBER et al. 2005). Es ist auf Grund dieser positiven Wirkungen auf den Pansenstoffwechsel zu erwarten und wurde in Versuchen mehrfach bestätigt, dass solche Kraftfutter die Futterraufnahme und Milchleistung sowie auch den Milchfettgehalt erhöhen (MEIJS 1985, JACKSON et al. 1991, SUTTON et al. 1993, ASTON et al. 1994, WEISS 1995, DOHERTY und MAYNE 1996, MOORBY et al.

1996, KEADY et al. 1998, DEWHURST et al. 1999, ROMNEY et al. 2000, KHALILI et al. 2000 und 2001, SPÖRNDLY 1991, HUHTANEN 1993, HUHTANEN et al. 1995, IPHARRAGUERRE et al. 2002, CHERNEY et al. 2003, DELAHOY et al. 2003, SAYERS et al. 2003, SILVEIRA et al. 2007). Allerdings bedeutet der Rückgang von im Pansen fermentierbarer OM auch, dass die Menge an Mikrobenprotein und damit auch der Milcheiweißgehalt verringert werden. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, über die Energie- und Proteinversorgung hinausgehend, die im Zuge von Verdauung und Stoffwechsel entstehenden Vorstufen der in der Milchdrüse gebildeten Milchhaltsstoffe zu berücksichtigen. Dabei wird in ketogene, aminogene sowie glukogene Nährstoffe unterschieden, welche die Precursor für Fett, Protein und Laktose in der Milch darstellen (TAMMINGA 2000). Die Versorgung an ketogenen, aminogenen und glukogenen Nährstoffen für die Milchsynthese wird durch den Typ der Kohlenhydrate (Faser- und Nichtfaser-Kohlenhydrate), deren Abbaureate und Abbaubarkeit sowie durch das Abbauverhältnis von Kohlenhydraten zu Protein im Pansen gesteuert (De VISSER 1996).

Im vorliegenden Versuch wurde daher der Einfluss von Menge und ruminalem Abbau des Kraftfutters auf Futterraufnahme und Leistung von Milchkühen bei unterschiedlichem Vegetationsstadium des Wiesenfutters untersucht.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Versuchsplan und Futterrationen

Der Versuchsplan sah drei Kraftfutter-Niveaus vor (0, 25, 50 % der Trockenmasse-Aufnahme [TM]) sowie zwei Stufen des ruminalem Abbaus der Kraftfutter im Pansen (Hoch „H“ und Niedrig „N“). Dies ergibt die fünf Kraftfuttergruppen 0, H25, N25, H50, N50. Die Kraftfutter waren folgendermaßen zusammengesetzt:

<b>Kraftfutter H</b>	<b>Kraftfutter N</b>
25 % Gerste	45 % Mais
25 % Weizen	30 % Sorghum-Hirse
25 % Roggen	10 % Sojaschalen
25 % Hafer	10 % Trockenschnitzel
	5 % Weizenkleie

Das Grobfutter setzte sich aus 75 % Grünfutter, 15 % Maissilage und 10 % Heu (1. Schnitt) zusammen (auf TM-Basis). Das Grünfutter wurde zwei Mal täglich ad libitum angeboten. Dieses Grünfutter wurde während der gesamten Vegetationsperiode in drei Aufwüchsen je 7 Wochen lang verfüttert. Der Einfluss des Vegetationsstadiums auf den Futterwert (Rohnährstoffe, Gerüstsubstanzen, ruminale Abbaubarkeit *in situ* und Verdaulichkeit *in vivo*) sowie auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen ist Gegenstand der Veröffentlichung von GRUBER et al. (2010). In jener Arbeit ist auch Material und Methodik dieses dreijährigen Forschungsprojektes (2000, 2001, 2002, (2003)) zum Einfluss des Vegetationsstadiums von Wiesenfutter sowie der Kraftfütterergänzung bei Milchkühen im Detail beschrieben. Auf Grund von Hagel (2. Aufwuchs 2000) und Hochwasser (3. Aufwuchs 2002) mussten diese zwei Aufwüchse im Jahr 2003 nachgeholt werden.

## 2.2 Fütterungsversuch mit Milchkühen

Von jedem Aufwuchs wurde während der 7 Wochen ein Fütterungsversuch mit 15 Milchkühen durchgeführt (Rasse Fleckvieh, Brown Swiss, Holstein Friesian). Die Kühe wurden für die weiteren Aufwüchse nicht verwendet, um den Einfluss des Laktationsstadiums auf Futteraufnahme und Milchleistung möglichst gering zu halten. Das Wiesenfutter wurde täglich ein Mal geerntet und in frischem Zustand an die Kühe (und Hammel des kontinuierlichen Verdauungsversuches; NEHRING 1963, OMBABI et al. 1999) gefüttert. Die Ergänzung mit Mineralstoffen erfolgte bedarfsgerecht als Differenz zwischen Bedarf (GfE 2001) und dem Angebot an Mineralstoffen aus Grob- und Kraftfutter. Als Mineralfutter wurde kohlenaurer Futterkalk (38 % Ca), Viehsalz (37 % Na) und eine phosphorreiche Mineralstoffmischung (9,2 % Ca, 12,6 % P, 4,3 % Mg, 11,7 % Na) verwendet. Die Ergänzung an Spurenelementen und Vitaminen erfolgte konstant mit einer Vormischung (120 g je Tag). Die mit dem Vegetationsstadium und Kraftfütterniveau sich ändernde ruminale N-Bilanz (RNB, GfE 2001) wurde mit Futterharnstoff ausgeglichen. Die 15 Kühe wurden jeweils 5 Kraftfutter-Gruppen möglichst gleicher Milchleistung und Futteraufnahme zu je 3 Tieren zugeteilt.

Die Milchleistung wurde in der 2. Woche vor Versuchsbeginn bei bedarfsgerechtem Kraftfüttereinsatz erhoben und die Futteraufnahme in der 1. Woche vor Versuchsbeginn bei einem konstanten Kraftfutteranteil von 25 % der TM. Beide Parameter wurden als Basis für die Gruppeneinteilung verwendet und auch als Kovariable im statistischen Modell berücksichtigt. Die Futteraufnahme wurde individuell für jedes Tier zu jeder Mahlzeit erhoben, indem von jedem Futtermittel die Ein- und Rückwaage inklusive TM-Gehalt festgestellt wurde. Die Fütterungszeit dauerte 8 Stunden (04:30-08:30 Uhr und 15:00-19:00 Uhr). Die Futtermittel wurden in der Reihenfolge (1) Kraftfutter inkl. Mineralstoffe, (2) Heu, (3) Maissilage und (4) Grünfutter angeboten.

Die Milchleistung wurde bei jeder Melkung (05:00 und 16:00 Uhr) erhoben (mittels Tru-Test von Westfalia). Die Milchanalyse erfolgte mit einem MilcoScan (MSC-605, Foss Electric) aus einer Sammelprobe pro Tag. Die Kühe wurden ein Mal pro Woche um die gleiche Tageszeit (13:00 Uhr) gewogen.

## 2.3 Statistische Auswertung

Die Daten wurden mit dem Programm SAS (2010) nach der Prozedur GLM statistisch ausgewertet. In den Ergebnistabellen werden die LS means und die gepoolte Standardabweichung innerhalb Gruppen (RSD, Wurzel Durchschnittsquadrat Rest) sowie die P-Werte für die Effekte und das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  angeführt.

Im statistischen Modell zur Auswertung des Versuches sind die Effekte **Aufwuchs**, **Woche** und **Jahr** sowie die Interaktion **Aufwuchs**  $\times$  **Woche** und die **Kraftfutter-Gruppe**, **Rasse** und **Laktationszahl** sowie die Interaktionen **Aufwuchs**  $\times$  **Kraftfutter-Gruppe**, **Woche**  $\times$  **Kraftfutter-Gruppe** und die Kovariablen **Laktationstag vor Versuchsbeginn**, **Futteraufnahme vor Versuchsbeginn**, **Milchleistung vor Versuchsbeginn**, **Milchfettgehalt vor Versuchsbeginn** und **Milcheiweißgehalt vor Versuchsbeginn** enthalten:

$$y_{ijklmn} = A_i + W_j + J_k + K_l + R_m + L_n + (A \times W)_{ij} + (A \times K)_{il} + (W \times K)_{jl} + b_1 T_{vVb} + b_2 I_{vVb} + b_3 M_{vVb} + b_4 F_{vVb} + b_5 E_{vVb} + e_{ijklmn}$$

$A_i$  = fixer Effekt Aufwuchs i, i = 1, 2, 3  
 $W_j$  = fixer Effekt Woche j, j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7  
 $J_k$  = fixer Effekt Jahr k, k = 1, 2, 3, 4  
 $K_l$  = fixer Effekt Kraftfutter-Gruppe l, l = 1, 2, 3, 4, 5  
 $R_m$  = fixer Effekt Rasse m, m = 1, 2, 3  
 $L_n$  = fixer Effekt Laktationszahl n, n = 1, 2, 3, 4, 5, 6  
 $(A \times W)_{ij}$  = Interaktion Aufwuchs i  $\times$  Woche j  
 $(A \times K)_{il}$  = Interaktion Aufwuchs i  $\times$  Kraftfutter-Gruppe l  
 $(W \times K)_{jl}$  = Interaktion Woche j  $\times$  Kraftfutter-Gruppe l  
 $b_1 T_{vVb}$  = Kovariable Laktationstag vor Versuchsbeginn  
 $b_2 I_{vVb}$  = Kovariable Futteraufnahme vor Versuchsbeginn  
 $b_3 M_{vVb}$  = Kovariable Milchleistung vor Versuchsbeginn  
 $b_4 F_{vVb}$  = Kovariable Milchfettgehalt vor Versuchsbeginn  
 $b_5 E_{vVb}$  = Kovariable Milcheiweißgeh. vor Versuchsbeginn  
 $e_{ijklmn}$  = Restkomponente

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Charakterisierung der Versuchsfuttermittel

Die im Fütterungsversuch eingesetzten Futtermittel (Grünfutter, Heu, Maissilage, Kraftfutter H und N) sind in *Tabelle 1* beschrieben. Der Einfluss von Aufwuchs und Vegetationsstadium auf den Futterwert von Wiesenfutter wird bei GRUBER et al. (2010) ausführlich diskutiert, hier wird nur Mittelwert, Streuung und Spannweite angeführt.

Der Rohproteingehalt [XP] des **Wiesenfutters** betrug im Durchschnitt 170 g, mit einer Spannweite von 84 – 235 g/kg TM. Einen ebenfalls weiten Streuungsbereich ergaben

die Rohfaser [XF] (283 g, 203 – 356 g/kg TM) sowie die Gerüstsubstanzen [NDFom] (581 g, 494 – 667 g/kg TM). Über einen entsprechend weiten Bereich spannten sich auch die Verdaulichkeit [dOM] (Mittelwert 71,1 %, 58,0 – 81,2 %) und die Parameter der *in situ*-Abbaubarkeit nach ØRSKOV und McDONALD (1979). Die Abbauraten [c] der organischen Masse [OM] des Wiesenfutters betrug im Durchschnitt 6,6 %/h, mit einer Spannweite von 3,9 – 10,2 %/h (nach KIRCHHOF 2007). Die potenzielle Abbaubarkeit [a + b] belief sich auf 79,5 % (71,1 – 88,9 %). Die Verdaulichkeit der Rohfaser [XF] und Gerüstsubstanzen [NDFom] verringerte sich im Lauf der Vegetation noch deutlicher als die OM. Dementsprechend wies der Energiegehalt einen Bereich von 4,53 – 6,78 MJ NEL/kg TM auf, bei einem Mittelwert von 5,68 MJ NEL. Auch die Mineralstoffe zeigten eine starke Abhängigkeit von Vegetationsstadium sowie von Aufwuchs.

Der mit fortschreitender Vegetation einhergehende Anstieg der Gerüstsubstanzen und die intensive Lignifizierung sind

in vielen Futterwert-Tabellen (u.a. INRA 1989 und 2007, DLG 1997, RAP 1999, NRC 2001, ÖAG-Futterwerttabellen 2006) und Untersuchungen dokumentiert. Die Ursache für die verminderte Abbaubarkeit liegt in der zunehmenden Lignifizierung der Gerüstsubstanzen, die den Zutritt der fibrolytischen Enzyme an den Lignin-Kohlenhydrat-Komplex räumlich behindert (JUNG und DEETZ 1993).

Zur Stabilisierung der Fermentationsvorgänge im Pansen wurde das Wiesenfutter im Fütterungsversuch mit 10 % Heu und 15 % Maissilage ergänzt. Das Heu (1. Aufwuchs) wies einen Gehalt an Rohfaser von 300 g/kg TM auf und an NDFom von 568 g/kg TM. Verdaulichkeit und Energiekonzentration beliefen sich auf 68,8 dOM % bzw. 5,55 MJ NEL. Entsprechend der Grenzlage für Silomais im alpinen Raum betrug der Gehalt an Rohfaser 241 g/kg TM und an NDFom 476 g/kg TM. Der Energiegehalt war mittelmäßig und betrug 6,13 MJ NEL und die Verdaulichkeit [dOM] wies 70,5 % auf. Bei ähnlicher Verdaulichkeit (68,8 vs. 70,5 %) unterschieden sich Heu und Maissilage deutlich in der Abbaubarkeit (49,2 vs.

Tabelle 1: Beschreibung der Versuchsfuttermittel

Parameter	Einheit	Mittelwert	Wiesenfutter frisch			Heu 1. Aufwuchs	Maissilage	Kraftfutter	
			± s	Min	Max			H	N
<b>Rohnährstoffe</b> (Weender Analyse, nach VDLUFA 1976)									
TM	g/kg FM	171	23	133	262	871	303	875	878
XP	g/kg TM	170	32	84	235	129	87	133	116
XL	g/kg TM	22	3	17	33	18	31	19	35
XF	g/kg TM	283	34	203	356	300	241	57	73
XX	g/kg TM	419	26	352	466	469	591	766	743
XA	g/kg TM	107	14	88	141	84	50	25	33
<b>Gerüstsubstanzen und Nichtfaser-Kohlenhydrate</b> (Van SOEST et al. 1991)									
NDFom	g/kg TM	581	47	494	667	568	476	236	221
ADFom	g/kg TM	339	39	251	428	336	275	72	98
ADLom	g/kg TM	42	8	22	57	35	32	14	13
NFC	g/kg TM	121	33	35	190	201	357	586	595
<b>Parameter der <i>in situ</i>-Abbaubarkeit OM</b> (nach Dissertation KIRCHHOF 2007)									
a	%	17,5	5,2	9,0	29,9	22,1	14,3	7,9	9,7
b	%	62,0	4,7	51,9	72,1	59,7	59,4	74,5	83,3
c	%/h	6,6	1,7	3,9	10,2	4,6	3,6	27,9	4,3
a + b	%	79,5	4,6	71,1	88,9	81,8	73,8	82,4	93,0
ED2	%	64,1	6,3	53,2	77,4	62,8	52,0	76,6	66,3
ED5	%	51,5	6,8	38,8	66,4	49,2	38,4	69,2	47,8
ED8	%	44,1	6,6	31,4	59,4	42,1	31,9	63,1	38,4
<b>Verdaulichkeit der Nährstoffe und Gerüstsubstanzen</b>									
dOM	%	71,1	5,4	58,0	81,2	68,8	70,5	82,5	86,8
dXP	%	71,9	5,9	49,5	87,2	61,6	54,1	67,6	59,0
dXL	%	21,9	12,8	0,0	48,5	27,7	76,7	61,9	68,6
dXF	%	73,0	6,5	48,7	86,1	68,7	62,4	49,1	71,4
dXX	%	72,0	6,2	56,5	85,2	72,2	75,9	93,3	99,8
dNDF	%	72,3	7,3	52,9	84,5	67,6	56,3	52,5	75,6
dADF	%	68,9	6,6	51,2	81,2	62,7	54,6	41,4	67,4
dNFC	%	73,3	5,1	65,0	82,6	80,7	92,9	98,6	97,5
<b>Proteingehalt (nXP-System) und Energiekonzentration</b> (nach GfE 2001)									
degXP	%	84,7	0,7	83,2	86,6	78,6	75,0	81,1	56,3
nXP	g/kg TM	131	12	104	152	127	127	157	168
RNB	g/kg TM	6,2	3,7	-3,1	13,2	0,3	-6,5	-3,8	-8,4
DOMD	g/kg TM	635	47	528	725	631	670	805	840
ME	MJ/kg TM	9,59	0,75	7,94	11,09	9,43	10,27	12,31	12,95
NEL	MJ/kg TM	5,68	0,53	4,53	6,78	5,55	6,13	7,66	8,16
<b>Mengenelemente</b>									
Ca	g/kg TM	7,6	1,7	4,2	11,1	5,6	2,2	1,1	2,1
P	g/kg TM	2,9	0,4	2,1	3,9	2,4	2,1	3,5	3,4
Mg	g/kg TM	2,9	0,8	1,7	4,6	2,4	1,7	1,3	1,6
K	g/kg TM	29,1	4,3	18,3	37,8	25,8	13,1	6,2	7,8
Na	g/kg TM	0,72	0,63	0,23	2,90	0,27	0,07	0,08	0,56

38,4 % effektive Abbaubarkeit ED5) sowie Abbauraten (4,6 vs. 3,6 %/h). Die Verdauung des Heus erfolgte also zu größeren Anteilen in den Vormägen, während Maissilage in stärkerem Maß im hinteren Verdauungstrakt verdaut wurde. Entsprechend dem Versuchsplan unterschieden sich die **Kraftfutter H** und **N** grundsätzlich in ihrem Abbauverhalten im Pansen (Tabelle 1). Die Abbauraten [c] der OM machte in Kraftfutter H und N 27,9 bzw. 4,3 %/h aus. Bei einer Passagerate von 5 % bedeutet dies eine effektive Abbaubarkeit [ED5] von 69,2 bzw. 47,8 %. Dagegen war die potenzielle Abbaubarkeit sowie die Verdaulichkeit der OM in Kraftfutter N höher als in H (82,4 vs. 93,0 % [a + b] sowie 82,5 vs. 86,8 % [dOM]). Somit wird offensichtlich, dass die Abbauraten und die Passageraten den Ort und das Ausmaß der Verdauung maßgeblich steuern (WALDO et al. 1972, RUSSELL et al. 1992, SNIFFEN et al. 1992). Da bei der Fermentation durch die Mikroorganismen gänzlich andere Stoffwechselprodukte entstehen (nämlich die flüchtigen Fettsäuren Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure) als bei der enzymatischen Verdauung im unteren Verdauungstrakt (im wesentlichen Glukose, Aminosäuren und langkettige Fettsäuren) kommt es zu einer deutlich unterschiedlichen Anflutung an ketogenen, aminogenen und glukogenen Nährstoffen für die Milchsäure-synthese (TAMMINGA 2000).

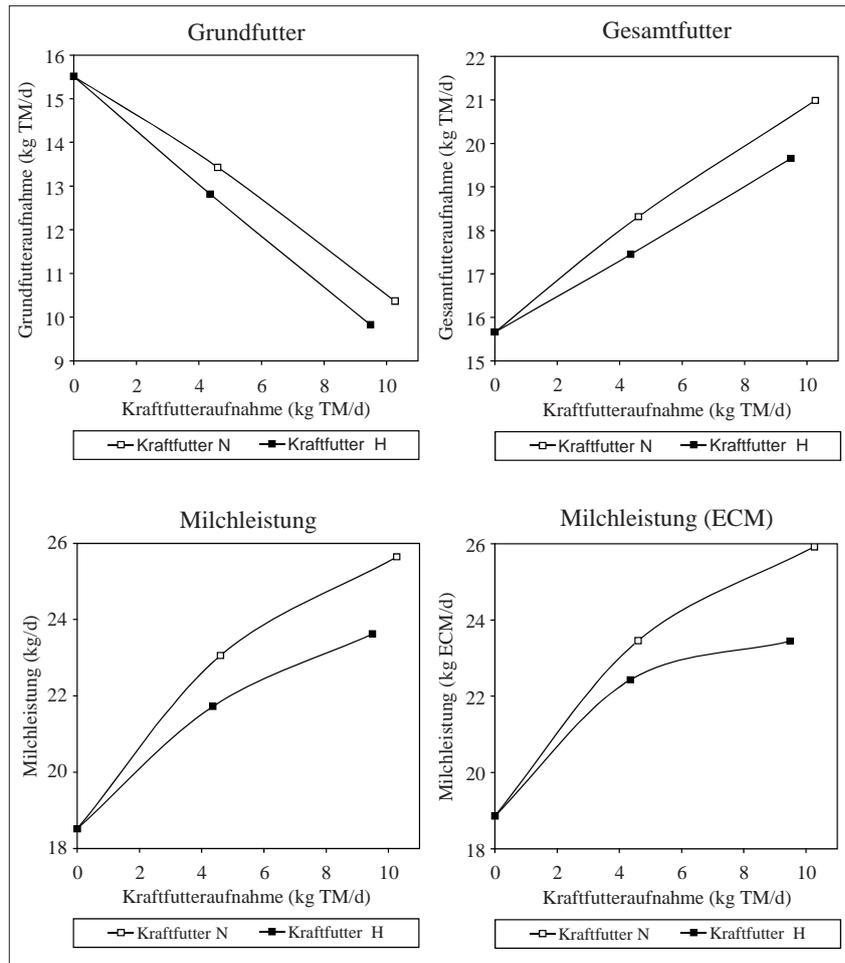


Abbildung 1: Einfluss von Menge und ruminalem Abbau des Kraftfutters auf Futtermittel- und Milchleistung (Haupteffekt Kraftfutter)

Tabelle 2: Ergebnisse des Fütterungsversuches mit Milchkühen

Parameter	Einheit	Kraftfutter-Gruppe					RSD	P-Werte			R <sup>2</sup>
		0	H25	N25	H50	N50		KF	KF × Aw	KF × Wo	
Lebendmasse	kg	629	652	637	639	622	38	0,000	0,000	0,000	0,631
<b>Futter- und Nährstoffaufnahme (pro Tag)</b>											
Grobfutter	kg TM/d	15,5	12,8	13,4	9,8	10,4	1,0	0,000	0,000	0,000	0,878
Kraftfutter	kg TM/d	0,0	4,4	4,6	9,5	10,3	0,8	0,000	0,000	0,001	0,964
Gesamtfutter	kg TM/d	15,7	17,5	18,3	19,7	21,0	1,3	0,000	0,000	0,002	0,781
NDF pro LM	g/kg	14,0	12,8	13,6	12,4	13,2	1,3	0,000	0,000	0,849	0,553
XP	g/d	2499	2669	2730	3021	3083	223	0,000	0,000	0,000	0,818
nXP	g/d	2023	2375	2545	2796	3101	193	0,000	0,000	0,000	0,854
NEL	MJ/d	89,1	107,9	115,6	130,3	144,3	9,1	0,000	0,000	0,000	0,864
<b>Nährstoffkonzentration (in der TM)</b>											
XP	g/kg TM	159	152	148	154	147	7	0,000	0,000	0,000	0,838
XF	g/kg TM	275	220	223	168	173	9	0,000	0,018	0,000	0,961
NDF	g/kg TM	558	475	471	399	388	15	0,000	0,025	0,000	0,952
ME	MJ/kg TM	9,58	10,26	10,43	10,88	11,22	0,18	0,000	0,244	0,000	0,932
NEL	MJ/kg TM	5,68	6,17	6,30	6,63	6,89	0,13	0,000	0,248	0,000	0,935
RNB	g/kg TM	4,8	2,6	1,5	1,8	-0,2	1,0	0,000	0,000	0,000	0,849
<b>Milchleistung (pro Tag)</b>											
Milchleistung	kg/d	18,5	21,7	23,1	23,6	25,6	2,0	0,000	0,000	0,000	0,881
Fettgehalt	%	4,33	4,38	4,28	3,97	4,16	2,02	0,000	0,000	0,159	0,881
Proteingehalt	%	3,16	3,28	3,24	3,42	3,36	2,02	0,000	0,000	0,159	0,881
Harnstoff	mg/100 ml	28,0	23,3	19,9	18,3	13,1	5,0	0,000	0,001	0,447	0,670
ECM	kg/d	18,9	22,4	23,5	23,4	25,9	2,3	0,000	0,000	0,000	0,854
Milch aus GF	kg/d	16,4	11,3	12,6	6,1	7,3	2,0	0,000	0,000	0,000	0,865
Milch aus GES	kg/d	16,4	21,9	24,5	29,1	33,7	2,9	0,000	0,000	0,000	0,861
NEL-Bilanz	MJ/d	-9,9	-3,8	1,1	15,7	22,3	9,4	0,000	0,088	0,976	0,769

### 3.2 Ergebnisse des Fütterungsversuches mit Milchkühen

Die Ergebnisse des Fütterungsversuches mit Milchkühen sind in *Tabelle 2* und den *Abbildungen 1 bis 4* angeführt. Es sind die LS-Mittelwerte der 5 Kraftfutter-Gruppen [0, H25, N25, H50, N50] (Haupteffekt **Kraftfutter**) sowie die P-Werte des Haupteffektes **Kraftfutter** und dessen Wechselwirkung zu Aufwuchs (**KF** × **Aw**) und Vegetationswoche (**KF** × **Wo**) angegeben.

Mit steigendem Kraftfutterniveau ging die Grobfutteraufnahme nahezu linear von 15,5 auf 9,8 bzw. 10,4 kg TM in den Gruppen H und N zurück (hoher und niedriger Abbau des KF). Daraus errechnet sich eine mittlere Grobfutterverdrängung von 0,54 kg TM (0,60 vs. 0,50 kg TM in H bzw. N). Die mit steigenden Kraftfutt ergaben abnehmende Grobfutteraufnahme lässt sich einerseits mit erhöhter Säurebelastung im Pansen erklären und andererseits mit der durch Kraftfutter verbundenen Energieübersversorgung der Kühe (FAVERDIN et al. 1991, GRUBER 2007). Die geringere Grobfutterverdrängung und somit höhere Gesamtfutteraufnahme bei niedrigem Abbau des Kraftfutters (N) bestätigt die

in der Literaturübersicht diskutierten Arbeiten (Abschnitt 1), wonach in vielen Fällen mit Kraftfutter von niedriger Abbaurrate bzw. Abbaubarkeit eine höhere Gesamtfutteraufnahme erzielt wurde (MEIJS 1985, JACKSON et al. 1991, SUTTON et al. 1993, ASTON et al. 1994, WEISS 1995, DOHERTY und MAYNE 1996, MOORBY et al. 1996, KEADY et al. 1998, DEWHURST et al. 1999, ROMNEY et al. 2000, KHALILI et al. 2000 und 2001, SPÖRNDLY 1991, HUHTANEN 1993, HUHTANEN et al. 1995, IPHARRAGUERRE et al. 2002, CHERNEY et al. 2003, DELAHOY et al. 2003, SAYERS et al. 2003, SILVEIRA et al. 2007). Die Aufnahme an NDF (g/kg Lebendmasse) war in den Gruppen N ebenfalls etwas höher und betrug im Durchschnitt 13,2 g. MERTENS (1994) gibt die mittlere Aufnahme an NDF mit 12,5 g/kg LM an, wenn die Futteraufnahme der Tiere vorrangig physikalisch reguliert wird. Verbunden mit dem höheren Energiegehalt des Kraftfutters N resultierte die höhere Futteraufnahme in einer signifikant höheren Energieaufnahme der Tiere mit Kraftfutter N. Mit Ausnahme der NDF-Aufnahme bestand zwischen **Kraftfutter** und **Aufwuchs** bzw. **Vegetationswoche** in allen Parametern der Futter- und Nährstoffaufnahme eine signifikante Wechselwirkung (*Abbildungen 3 und 4*).

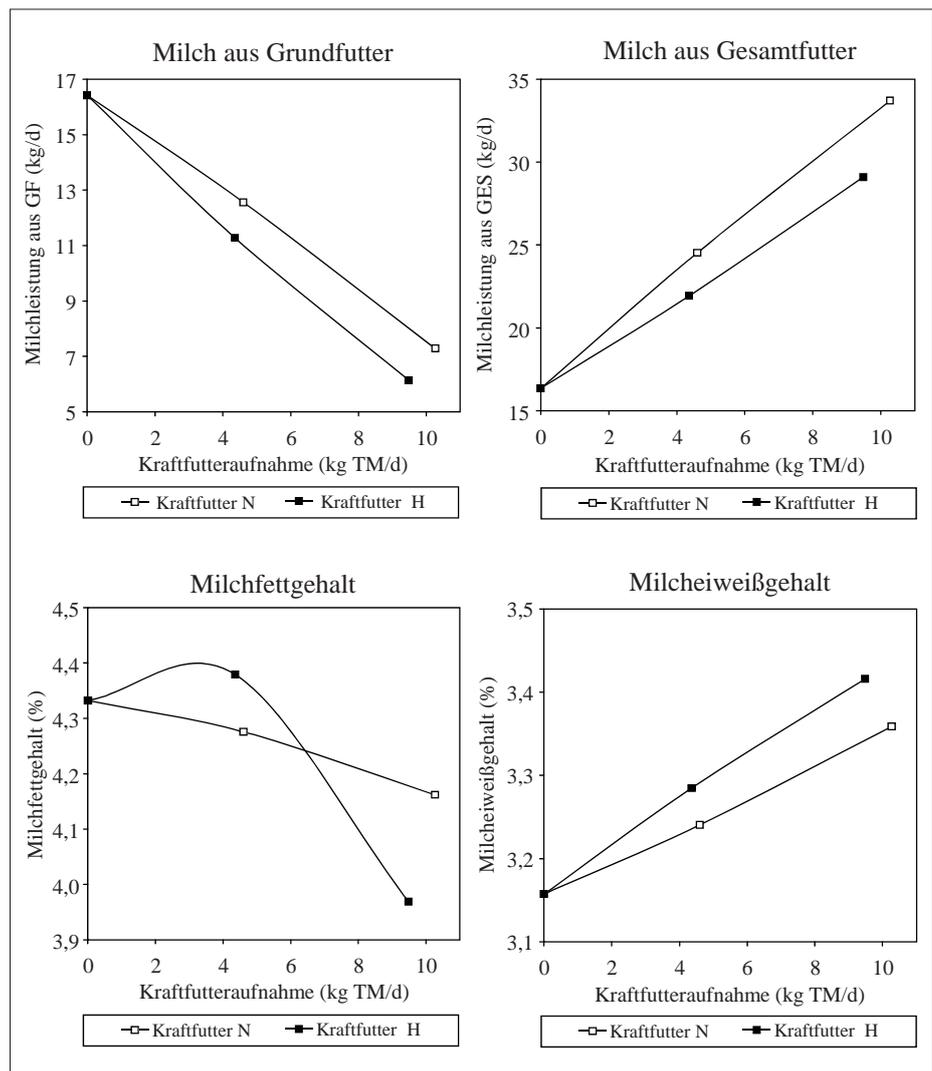


Abbildung 2: Einfluss von Menge und ruminalem Abbau des Kraftfutters auf Milcherzeugungswert und Milchinhaltsstoffe (Haupteffekt Kraftfutter)

Mit steigendem Kraftfutterniveau ging der Proteingehalt der Gesamtration von 16 auf 15 % zurück. Allerdings waren die Pansenmikroben in allen Gruppen ausreichend mit RDP (rumen degradable protein) versorgt, wie die positiven Werte der ruminalen N-Bilanz [RNB] zeigen (GfE 2001). Die Kühe erhielten durchschnittlich 35, 31, 37, 69 bzw. 90 g Harnstoff pro Tag (Werte nicht in *Tabelle 1* angeführt).

Die Milchleistung stieg mit zunehmendem Kraftfutterangebot an, allerdings nicht linear, sondern in degressiver Form. Im Mittel beider Kraftfuttertypen (H, N) erhöhte sich die Milchleistung bis zum Kraftfuttanteil von 25 % um 0,87 kg pro kg TM Kraftfutter und nur um 0,43 kg im Kraftfuttbereich 25 bis 50 %. Hinsichtlich Kraftfuttertyp war Gruppe N in beiden Kraftfuttelniveaus überlegen (21,7 vs. 23,1 kg Milch (25 % KF) bzw. 23,6 vs. 25,6 kg Milch (50 % KF)). Die mit steigendem Kraftfuttangebot abnehmende Response an Milchleistung haben COULON und REMOND (1991) in einer Meta-Analyse umfangreicher Literaturdaten bestätigt und die Energiebilanz als die wesentliche Ursache für die abnehmende Milchleistungssteigerung herausgearbeitet. Im vorliegenden Versuch war die Energiebilanz in KF0 negativ (-9,9 MJ NEL), in KF25 etwa ausgeglichen

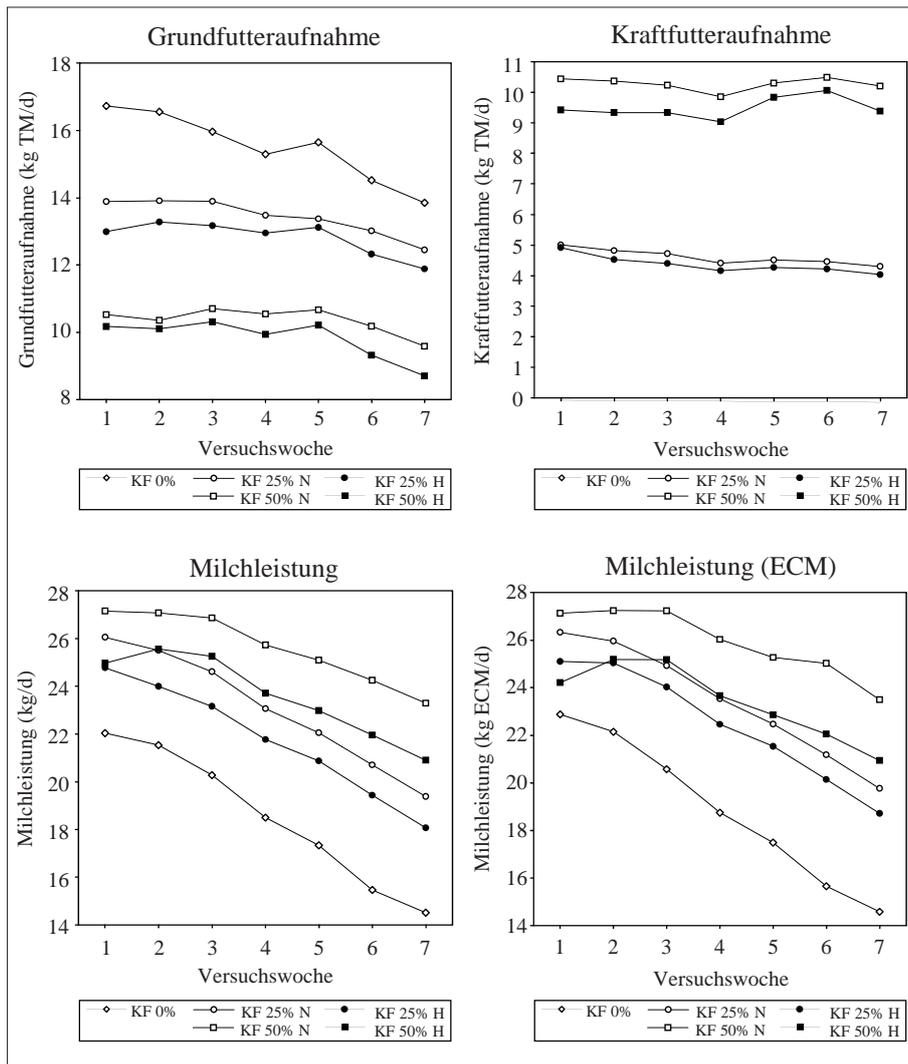


Abbildung 3: Einfluss von Menge und ruminalem Abbau des Kraftfutters auf Futteraufnahme und Milchleistung (Wechselwirkung Kraftfutter × Woche)

(im Mittel -1,4 MJ NEL) und in KF50 stark positiv (im Mittel +19,0 MJ NEL).

Aus der Meta-Analyse von COULON und REMOND (1991) sowie der zusammenfassenden Auswertung der in Gumpenstein durchgeführten Fütterungsversuche (GRUBER 2007) und der vorliegenden Arbeit ist abzuleiten, dass ein steigendes Energieangebot über Kraftfutter zu einer abnehmenden Steigerung der Milchleistung führt. Die Ursache dafür liegt einerseits in der sog. Grundfuttermverdrängung, die umso größer ist, je höher die Energiebilanz einer Kuh ist (FAVERDIN et al. 1991). Weiters reduziert sich der tatsächliche Energiegehalt einer Ration gegenüber dem theoretischen, wenn das Futterniveau und/oder der Kraftfutteranteil ansteigen (sog. negative associative effects zwischen Grund- und Kraftfutter; INRA 1989). Andererseits kann zusätzlich zugeführte, über den Bedarf hinausgehende Energie nicht vollständig in Milchleistung umgesetzt werden, wenn das genetisch festgelegte Leistungspotenzial ausgeschöpft ist. Somit wird überschüssige Energie in verstärktem Maß als Körperansatz verwertet, was die Kraftfuttereffizienz zusätzlich vermindert.

Als ganz entscheidender Einflussfaktor der Kraftfutterwirkung hat sich auch die Dauer eines Fütterungsregimes

(Kraftfutterniveaus) erwiesen. Bei kurzfristiger Unterversorgung mit Kraftfutter mobilisieren Kühe ihre Körperreserven. Die dabei festgestellte, nur relativ geringe, Verminderung der Milchleistung ergibt dadurch gegenüber normversorgten Tieren eine scheinbar geringe Verwertung der mit dem Kraftfutter zugeführten Energie. Nachdem das Mobilisationsvermögen (bis zum vollständigen Verbrauch der Körperreserven) zeitlich begrenzt ist, wird die tatsächliche Kraftfutterwirkung erst bei langfristiger Anwendung (bzw. Betrachtung) sichtbar.

Neben der Menge des Kraftfutters hat auch der Typ (hohe vs. niedrige Abbaurrate bzw. Abbaubarkeit) einen Einfluss auf die Milchleistung und Milchinhaltsstoffe. Wenn auch die in der Literatur vorliegenden Ergebnisse (siehe Literaturübersicht in Abschnitt 1) nicht in allen Fällen eine Steigerung der Milchleistung zeigen, so ist doch zu erwarten, dass im Falle von erhöhter Futteraufnahme – durch günstigere Pansenbedingungen – auch die Milchleistung ansteigt sowie durch einen höheren Anteil an Azetat auch ein höherer Milchfettgehalt festzustellen ist. Dem steht allerdings ein Rückgang von im Pansen fermentierbarer OM gegenüber, der zu einer geringeren mikrobiellen Proteinsynthese führt, was häufig auch den

Milcheiweißgehalt vermindert. Im vorliegenden Versuch erzielten die Kühe mit Kraftfutter N gegenüber H eine um 1,4 kg (25 % KF) bzw. 2,0 kg (50 % KF) höhere Milchleistung. Besonders bei hohem Kraftfutteranteil fiel die Gruppe H gegenüber N deutlich in der ECM-Leistung ab, was auch vom bemerkenswerten Rückgang des Fettgehaltes herrührt. Mit steigendem Kraftfutteranteil ging – wie zu erwarten – der Milchfettgehalt zurück, ganz besonders beim stärkereichen Kraftfutter H (Abbildung 2). Demgegenüber stieg der Milcheiweißgehalt mit höheren Kraftfutttergaben an, was über die – energieabhängige – mikrobielle Proteinsynthese eindeutig zu erklären ist. Der Milcheiweißgehalt in Gruppe N war im Durchschnitt beider Kraftfutterniveaus um 0,05 % niedriger, wofür ebenfalls die geringere Proteinsynthese im Pansen als Ursache zu diskutieren ist.

Es ist zusammenfassend festzuhalten, dass sowohl die Verdrängung des Grobfutters als auch die Steigerung der Milchleistung durch Kraftfutter wesentlich von der Energiebilanz der Milchkuh abhängen, d.h. von der Differenz an Aufnahme und Bedarf an Energie. Bei Energiemangel tritt eine geringe Grobfutter-Verdrängung und hohe Kraftfutter-Effizienz auf, weil der Organismus nach einer

ausgeglichene Energie-Bilanz strebt (WANGSNESS und MULLER 1981). Dagegen führt ein Energieüberschuss zu einer hohen Grobfutter-Verdrängung und geringen Kraftfutter-Effizienz, da die mit dem Kraftfutter zusätzlich aufgenommene Energie durch geringere Grobfutteraufnahme zum Teil kompensiert wird, um die Energie-Bilanz nicht weiter zu erhöhen. Außerdem sind der Milchleistung von Seiten des genetischen Potenzials der Kühe Grenzen gesetzt, die zu einer immer geringeren Steigerung der Milchleistung führt, während ein zunehmender Teil der mit dem Kraftfutter aufgenommenen Energie in den Körperansatz geleitet wird. Die Verwendung von Kraftfutter mit geringer Abbaurate bzw. Abbaubarkeit (hochverdauliche Faser-Kohlenhydrate an Stelle von Stärke) verringert die Säurebelastung im Pansen und kann somit sowohl die Futteraufnahme als auch die Milchleistung erhöhen. Durch Verschiebung der Fermentation in Richtung Azetat wird in vielen Fällen der Milchfettgehalt erhöht (TAMMINGA 2000). Da allerdings bei geringerer Abbaubarkeit auch die Fermentation und das Mikrobewachstum eingeschränkt werden, verringert sich häufig auch der Milcheiweißgehalt.

Die angesprochenen Effekte auf Futteraufnahme und Milchleistung sowie Milchinhaltsstoffe werden umso deutlicher sein, je kritischer die pH-Situation bei Verwendung eines stärkereichen Kraftfutters ist, d.h. bei hohen Kraftfutteranteilen und geringer Strukturwirkung des Grobfutters.

#### 4. Literatur

- ASTON, K., C. THOMAS, S.R. DALEY und J.D. SUTTON, 1994: Milk production from grass silage diets: Effects of the composition of supplementary concentrates. *Anim. Prod.* 59, 335-344.
- BEAUCHEMIN, K.A. und W.Z. YANG, 2005: Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage. *J. Dairy Sci.* 88, 2117-2129.
- BRAMLEY, E., I.J. LEAN, W.J. FULKERSON, M.A. STEVENSON, A.R. RABIEE und N.D. COSTA, 2008: The definition of acidosis in dairy herds predominantly fed on pasture and concentrates. *J. Dairy Sci.* 91, 308-321.
- CHERNEY, D.J.R., J.H. CHERNEY und L.E. CHASE, 2003: Influence of dietary nonfiber carbohydrate concentration and supplementation of sucrose on lactation performance of cows fed fescue silage. *J. Dairy Sci.* 86, 3983-3991.

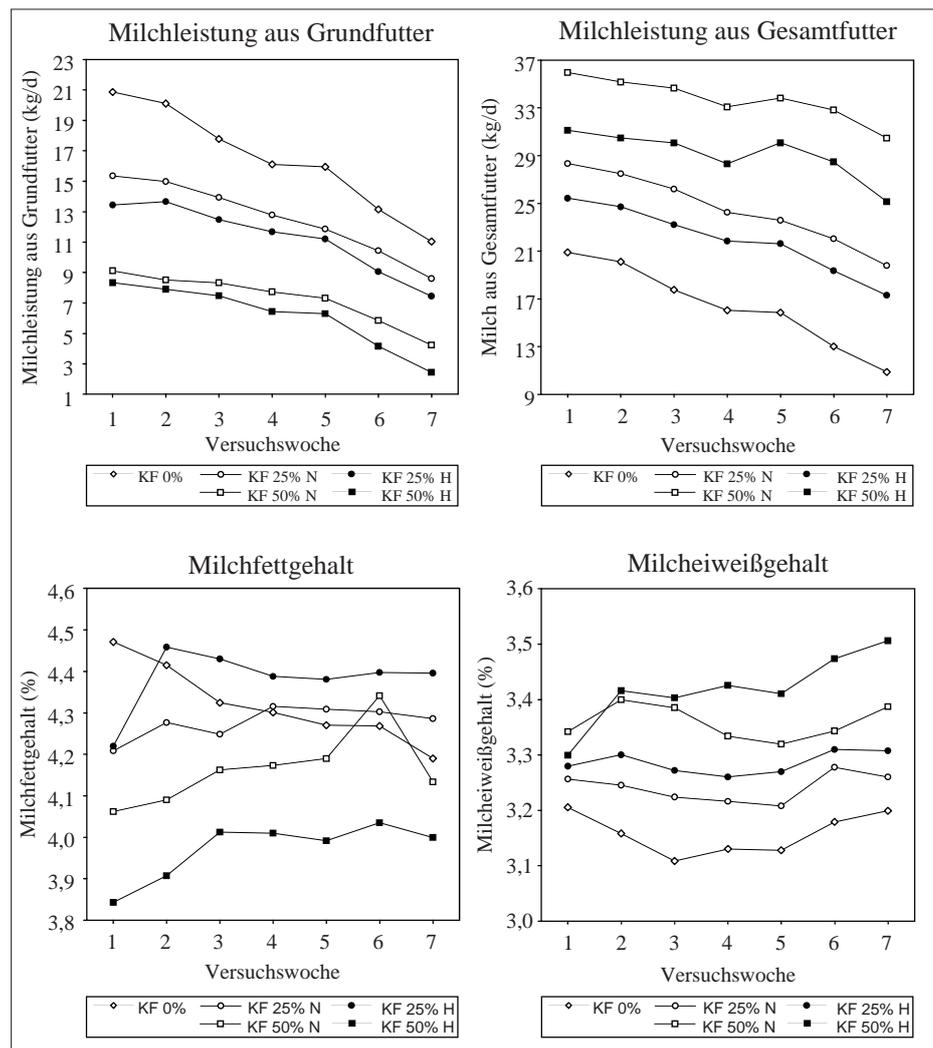


Abbildung 4: Einfluss von Menge und ruminalem Abbau des Kraftfutters auf Milcherzeugungswert und Milchinhaltsstoffe (Wechselwirkung Kraftfutter  $\times$  Woche)

- COLMAN, E., W.B. FOKKINK, M. CRANINX, J.R. NEWBOLD, B. DEBAETS und V. FIEVEZ, 2010: Effect of induction of subacute ruminal acidosis on milk fat profile and rumen parameters. *J. Dairy Sci.* 93, 4759-4773.
- COULON, J.B. und B. REMOND, 1991: Variations in milk output and milk protein content in response to the level of energy supply to the dairy cow: a review. *Livest. Prod. Sci.* 29, 31-47.
- DELAHOY, J.E., L.D. MULLER, F. BARGO, T.W. CASSIDY und L.A. HOLDEN, 2003: Supplemental carbohydrate sources of lactating dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.* 86, 906-915.
- De VISSER, H., 1996: Characterization of carbohydrates in concentrates for dairy cows. In: *Recent Developments in Ruminant Nutrition 3* (P.C. Garnsworthy, D.J.A. Cole, Eds.), Nottingham University Press, 155-174.
- De VISSER, H., P.L. Van der TOGT und S. TAMMINGA, 1990: Structural and non-structural carbohydrates in concentrate supplements of silage-based dairy cow rations. 1. Feed intake and milk production. *Neth. J. Agric. Sci.* 38, 487-498.
- De VISSER, H., P.L. Van der TOGT, H. HUISERT und S. TAMMINGA, 1992: Structural and non-structural carbohydrates in concentrate supplements of silage-based dairy cow rations. 2. Rumen degradation, fermentation and kinetics. *Neth. J. Agric. Sci.* 40, 431-445.

- DEWHURST, R.J., K. ASTON, W.J. FISHER, R.T. EVANS, M.S. DHANOA und A.B. McALLAN, 1999: Comparison of energy and protein sources offered at low levels in grass-silage-based diets for dairy cows. *Anim. Sci.* 68, 789-799.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1997: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer, 7. Auflage, DLG-Verlag Frankfurt am Main, 212 S.
- DOEPEL, L., A. COX und A. HAYIRLI, 2009: Effects of increasing amounts of dietary wheat on performance and ruminal fermentation of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 92, 3825-3832.
- DOHERTY, J.G. und C.S. MAYNE, 1996: The effect of concentrate type and supplementary lactic acid or soya oil on milk production characteristics in dairy cows offered grass silages of contrasting fermentation type. *Anim. Sci.* 62, 187-198.
- DOHME, F., T.J. DeVRIES und K.A. BEAUCHEMIN, 2008: Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Ruminal pH. *J. Dairy Sci.* 91, 3554-3567.
- FAVERDIN, P., J.P. DULPHY, J.B. COULON, R. VERITE, L.P. GAREL, L. ROUEL und B. MARQUIS, 1991: Substitution of roughage by concentrates for dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 27, 137-156.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Frankfurt am Main, DLG-Verlag, 135 S.
- GRAF, C.M., M. KREUZER und F. DOHME, 2005: Effects of supplemental hay and corn silage versus full-time grazing on ruminal pH and chewing activity of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 711-725.
- GRUBER, L., G. STÖGMÜLLER, K. TAFERNER, L. HABERL, G. MAIERHOFER, B. STEINER, A. STEINWIDDER, A. SCHAUER, und W. KNAUS, 2005: Protein- und Kohlenhydrat-Fractionen nach dem Cornell-System sowie ruminaler Trockenmasseabbau in situ von energie- und proteinreichen Kraftfuttermitteln. *Übers. Tierernähr.* 33, 129-143.
- GRUBER, L., 2007: Einfluss der Kraftfuttermenge auf Futterraufnahme und Leistung von Milchkühen. 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2007, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding, 19.-20. April 2007, 35-51.
- GRUBER, L., 2009: Chemische Zusammensetzung, Analytik und Bedeutung pflanzlicher Gerüstsubstanzen in der Ernährung der Wiederkäuer. *Übers. Tierernähr.* 37, 45-86.
- GRUBER, L., A. SCHAUER, J. HÄUSLER, A. ADELWÖHRER, K.-H. SÜDEKUM, F. WIELSCHER, M. URDL und S. KIRCHHOF, 2010: Einfluss des Wachstumsstadiums von Dauerwiesenfutter auf Ertrag, Futterwert, Futterraufnahme und Leistung bei Milchkühen im Laufe einer ganzen Vegetationsperiode. 122. VDLUFA-Kongress Kiel, 21.-24. September 2010, Kongress-Band, 633-671.
- HUHTANEN, P., 1993: The effects of concentrate energy source and protein content on milk production in cows given grass silage ad libitum. *Grass and Forage Sci.* 48, 347-355.
- HUHTANEN, P., S. JAAKKOLA und E. SAARISALO, 1995: The effects of concentrate energy source on the milk production of dairy cows given a grass silage-based diet. *Anim. Sci.* 60, 31-40.
- IPHARRAGUERRE, I.R., Z. SHABI, J.H. CLARK und D.E. FREEMAN, 2002: Ruminal fermentation and nutrient digestion by dairy cows fed varying amounts of soyhulls as a replacement of corn grain. *J. Dairy Sci.* 85, 2890-2904.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1989: Ruminant Nutrition. Recommended Allowances and Feed Tables (R. Jarrige, Ed.), John Libbey Eurotext Paris-London-Rome, 389 S.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 2007: Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins. Besoins des Animaux – Valeurs des Aliments. Tables INRA 2007. Editions Quae, c/o INRA, RD 10, 78026 Versailles Cedex, 307 S.
- JACKSON, D.A., C.L. JOHNSON und J.M. FORBES, 1991: The effect of compound composition and silage characteristics on silage intake, feeding behaviour, production of milk and live-weight change in lactating dairy cows. *Anim. Prod.* 52, 11-19.
- JUNG, H.G. und D.A. DEETZ, D.A., 1993: Cell wall lignification and degradability. In: Forage Cell Wall Structure and Digestibility (H.G. Jung, D.R. Buxton, R.D. Hatfield und J. Ralph, Eds.), ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, 315-346.
- KEADY, T.W.J., C.S. MAYNE und M. MARSDEN, 1998: The effects of concentrate energy source on silage intake and animal performance with lactating dairy cows offered a range of grass silages. *Anim. Sci.* 66, 21-33.
- KEADY, T.W.J. und C.S. MAYNE, 2001: The effects of concentrate energy source on feed intake and rumen fermentation parameters of dairy cows offered a range of grass silages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90, 117-129.
- KHALILI, H., A. SAIRANEN, K. HISSA und P. HUHTANEN, 2001: Effects of type and treatment of grain and protein source on dairy cow performance. *Anim. Sci.* 72, 573-584.
- KIRCHHOF, S., 2007: Kinetik des ruminalen *in situ*-Nährstoffabbaues von Grünlandaufwüchsen des Alpenraumes unterschiedlicher Vegetationsstadien sowie von Maissilagen und Heu – ein Beitrag zur Weiterentwicklung der Rationsgestaltung für Milchkühe. Dissertation Universität Kiel, 132 S.
- KRAUSE, K.M. und G.R. OETZEL, 2005: Inducing subacute ruminal acidosis in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 3633-3639.
- MEIJS, J.A.C., 1985: Comparison of starchy and fibrous concentrates for grazing dairy cows. In: Grazing occasional Symposium No. 19 (J. Frame, Ed.), British Grassland Society, Malvern, Worcestershire, 5-7 November 1985, 129-137.
- MERTENS, D.R., 1994: Regulation of forage intake. In: Forage Quality, Evaluation, and Utilization (G.C. Fahey, M. Collins und L.E. Moser, Eds.), National Conference on Forage Quality, Evaluation, and Utilization. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, 450-493.
- MERTENS, D.R., 1997: Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463-1481.
- MOORBY, J.M., R.J. DEWHURST, C. THOMAS und S. MARSDEN, 1996: The influence of dietary energy source and dietary protein level on milk protein concentration from dairy cows. *Anim. Sci.* 63, 1-10.
- NEHRING, K., 1963: Methodik zur kontinuierlichen Bestimmung der Verdaulichkeit von Grünfutter. *Sitzungsberichte AdL*, Bd. 12 (Heft 11), Rostock.
- NOCEK, J.E. 1997: Bovine acidosis: Implications on laminitis. *J. Dairy Sci.* 80, 1005-1028.
- NRC (National Research Council), 2001: Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7<sup>th</sup> Rev. Ed., National Academy Press, Washington, DC, USA, 381 S.
- ÖAG (Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau), 2006: Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. Hrsg.: R. Resch, T. Guggenberger, L. Gruber, F. Ringdorfer, K. Buchgraber, G. Wiedner, A. Kasal und K. Wurm. *Der fortschrittliche Landwirt* 84 (Heft 24/2006), Sonderbeilage 20 S.

- ØRSKOV, E.R., 1986: Starch digestion and utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 63, 1624-1633.
- ØRSKOV, E.R. und I. McDONALD, 1979: The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 92, 499-503.
- OMBABI, A., K.-H. SÜDEKUM, F. TAUBE und G. RAVE, 1999: Kurzfristige wachstumsbedingte Veränderungen im Futterwert zweier Weidelgräser: Kontinuierliche Verdauungsversuche an Schafen. *Agribiol. Res.* 52, 171-181.
- RAP (Eidgenössische Forschungsanstalt für Nutztiere), 1999: Fütterungsempfehlungen und Nährwerttabellen für Wiederkäuer. 4. überarb. Auflage. Verlag landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, CH-3052 Zollikofen, 327 S.
- ROMNEY, D.L., V. BLUNN, R. SANDERSON und J.D. LEAVER, 2000: Feeding behaviour, food intake and milk production responses of lactating dairy cows to diets based on grass silage of high or low dry-matter content, supplemented with quickly and slowly fermentable energy sources. *Anim. Sci.* 71, 349-357.
- RUSSELL, J.B., J.D. O'CONNOR, D.G. FOX, P.J. Van SOEST, C.J. SNIFFEN, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. Ruminant fermentation. *J. Anim. Sci.* 70, 3551-3561.
- SNIFFEN, C.J., J.D. O'CONNOR, P.J. Van SOEST, D.G. FOX und J.B. RUSSELL, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70, 3562-3577.
- SAS Institute Inc., 2010: SAS/STAT 9.22 User's Guide. Cary, NC (USA): SAS Institute Inc., 8460 S.
- SAUVANT, D., J.-M. PEREZ und G. TRAN (Eds.), 2004: Tables of composition and nutritional value of feed materials. 2<sup>nd</sup> revised and corrected edition Wageningen Academic Publishers, Wageningen und INRA, Paris, 304 S.
- SAYERS, H.J., C.S. MAYNE und C.G. BARTRAM, 2003: The effect of level and type of supplement offered to grazing dairy cows on herbage intake, animal performance and rumen fermentation characteristics. *Anim. Sci.* 76, 439-454.
- SILVEIRA, C., M. OBA, K.A. BEAUCHEMIN und J. HELM, 2007: Effect of grains differing in expected ruminal fermentability on the productivity of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 2852-2859.
- SPÖRNDLY, E., 1991: Supplementation of dairy cows offered freshly cut herbage ad libitum with starchy concentrates based on barley or fibrous concentrates based on unmolassed sugar beet pulp and wheat bran. *Swedish J. agric. Res.* 21, 131-139.
- STEINGASS, H. und Q. ZEBELI, 2008: Strukturbewertung von Rationen für Milchkühe. 35. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 9.-10. April 2008, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2008, 19-25.
- STEG, A., Y. Van der HONING und H. De VISSER, 1988: Effect of fibre in compound feeds on the performance of ruminants. In: *Recent Developments in Ruminant Nutrition 2* (W. Haresign, D.J.A. Cole, Eds.), Butterworths, 113-129.
- STONE, W.C., 2004: Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 87, E13-E26.
- SUTTON, J.D., S.V. MORANT, J.A. BINES, D.J. NAPPER und D.I. GIVENS, 1993: Effect of altering the starch:fibre ratio in the concentrates on hay intake and milk production by Friesian cows. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 120, 379-390.
- TAMMINGA, S., 2000: Issues arising from genetic change: Ruminants. In: *The challenge of genetic change in animal production* (W.G. Hill, S.C. Bishop, B. McGuirk, J.C. McKay, G. Simm, A.J. Webb, B. Hilton, Eds.), BSAS occasional Publ. 27, Edinburgh, 53-62.
- Van SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON und B.A. LEWIS, 1991: Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- Van VUUREN, A.M., C.J. Van der KOELEN und J. VROONS-DE BRUIN, 1986: Influence of level and composition of concentrate supplements on rumen fermentation patterns of grazing dairy cows. *Neth. J. Agric. Sci.* 34, 457-467.
- VDLUFA (Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997: Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- WALDO, D.R., L.W. SMITH und E.L. COX, 1972: Model of cellulose disappearance from the rumen. *J. Dairy Sci.* 55, 125-129.
- WANGSNES, P.J. und L.D. MULLER, L.D., 1981: Maximum forage for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 64, 1-13.
- WEISS, W.P., 1995: Full lactation response of cows fed diets with different sources and amounts of fiber and ruminal degradable protein. *J. Dairy Sci.* 78, 1802-1814.
- YANG, W.Z. und K.A. BEAUCHEMIN, 2007: Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Digestion and milk production. *J. Dairy Sci.* 90, 3410-3421.
- ZEBELI, Q., J. DIJKSTRA, M. TAJAFI, H. STEINGASS, B.N. AMETAJ und W. DROCHNER, 2008: Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *J. Dairy Sci.* 91, 2046-2066.