

Das Konzept synchroner Rationsgestaltung für Milchkühe Umsetzungsmöglichkeiten in Beratung und Praxis

H. STEINGASS, S. KELLER und W. DROCHNER

1. Einleitung

Das nutzbare Protein am Dünndarm (nXP) resultiert aus zwei Quellen: dem mikrobiellen Protein aus dem Pansen (MP) und dem in den Vormägen nicht abgebauten Nahrungsprotein (UDP). In den meisten Fällen ist das MP der größere Anteil am nXP. Um den Proteinbedarf von Hochleistungskühen zu decken, wurde vielfach versucht, den Anteil des UDP in der Ration zu erhöhen. Aus einer Literaturübersicht von SANTOS et al. (1998) geht allerdings hervor, dass in den meisten Versuchen, bei denen Sojaextraktionsschrot durch spezielle UDP-Quellen ersetzt worden ist, keine positiven Wirkungen auf die Milchleistung festzustellen waren. Als Ursachen werden genannt, dass zum einen eine Erhöhung des UDP eine geringere mikrobielle Synthese zur Folge haben kann (McCARTHY et al. 1989), zum anderen, dass mit höherem UDP-Anteil dessen Aminosäurezusammensetzung eine zunehmende Rolle spielt, wobei in aller Regel mit einer Verschlechterung des Aminosäureprofils und der Verfügbarkeit zu rechnen ist (SANTOS et al. 1998). Aus diesem Grund ist die Optimierung der mikrobiellen Biomasseproduktion in den Vormägen ein wichtiger Ansatz zur Verbesserung der nXP-Versorgung bei Hochleistungskühen. Der Fluss an MP zum Duodenum hängt einmal von der Menge an im Pansen fermentierbarer organischer Masse (OM) ab, zum anderen von der sogenannten Effizienz des mikrobiellen Wachstums, ausgedrückt als g MP pro Einheit fermentierbarer OM oder Kohlenhydrate (CHO). Beides, die Menge an im Pansen fermentierter OM und die mikrobielle Effizienz, die keineswegs konstant ist, findet in unseren gebräuchlichen Proteinbewertungssystemen leider noch nicht in ausreichendem Maß Berücksichtigung (OLDHAM 1996).

Eine Rationsgestaltung, bei der Menge und Geschwindigkeit des Abbaus von OM oder Kohlenhydraten und Protein aufeinander abgestimmt (synchronisiert) sind, scheint folglich eine lohnende Strategie zur Erhöhung und Optimierung des Flusses an MP zum Duodenum zu sein (NOCEK und RUSSELL 1988). Zugleich ist im Zuge dieser Maßnahme mit einem Rückgang der N-Ausscheidung über den Harn zu rechnen.

2. Grundlagen des Konzeptes synchroner Rationsgestaltung

Voraussetzung für die Kalkulation synchroner Rationen ist die Kenntnis der Menge und der Abbaugeschwindigkeit des Rohproteins und der OM bzw. der CHO der Futtermittel in den Vormägen. Leider sind diese Kennzahlen noch sehr lückenhaft. Dies hat mehrere Gründe.

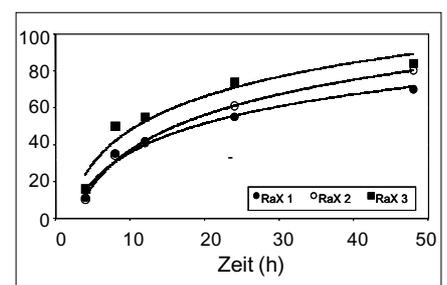
1. Es mangelt an einfachen, reproduzierbaren und standardisierten Methoden zur Charakterisierung dieser Eigenschaften der Futtermittel.
2. Es besteht eine beträchtliche Variation im Abbauverhalten innerhalb der Futtermittelgruppen. Besonders schwierig ist die Angabe standardisierter Werte für die Grundfuttermittel. Aber auch bei scheinbar gut definierten Futtermitteln wie Raps- und Sojaextraktionsschrot ist mit einer erheblichen Schwankungsbreite zu rechnen (NIBBE et al. 2001), siehe *Abbildung 1*.
3. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus Labormethoden auf die Verhältnisse *in vivo* ist schwierig. Wechselwirkungen bezüglich der Abbau- und Synthesevorgänge, wie sie im Tier auftreten, können nicht ausreichend berücksichtigt werden. Als Faktoren sind hier beispielhaft zu nennen: Fütterungsniveau, Fütterungsfrequenz so-

wie Wechselwirkungen zwischen Rationskomponenten.

Als eine gewisse Standardmethode zur Ermittlung der Abbaudynamik der Futtermittel hat sich das *in situ*-Verfahren etabliert. Der Verlust an XP, OM oder CHO aus Kunststoffgewebebeuteln über die Zeit wird ermittelt und anschließend mit einer nicht linearen Funktion, z.B. einer Exponentialfunktion, beschrieben (McDONALD 1981):

$$p = a + b (1 - e^{-c(t-L)}) \text{ für } t > L$$

Der Abbau p des Stoffes zur Zeit t ergibt sich aus den geschätzten Konstanten a , b und c , ggf. unter Berücksichtigung einer Verzögerungsphase L . a stellt die unmittelbar lösliche Fraktion, b die unlösliche, potenziell abbaubare Fraktion und c die Ratenkonstante von b dar. Aus diesem Modell können nun die für die Synchronisierung der Ration notwendigen Daten (b und c) ermittelt werden. Ein methodisches Problem ergibt sich allerdings durch die lösliche Fraktion a , die als unmittelbar abgebaut gilt. Sie kann einmal sehr groß sein, z.B. über 90 % des gesamten abbaubaren N bei Graspilagen, zum anderen erhebt sich die Frage nach der Abbaurrate dieser Fraktion a



	RaX 1	RaX 2	RaX 3
Abbaurrate (%/h)	9	7	13
Effekt. Abbau (PR 5%/h)	51	56	66

Abbildung 1: Proteinabbau bei drei Rapsextraktionsschroten (eigene Untersuchungen)

Autoren: Dr. Herbert STEINGASS, Dipl. Ing. agr. Sven KELLER und Prof. Drs. Drs. h.c. Winfried DROCHNER, Institut für Tierernährung (450), Universität Hohenheim, D-70593 STUTTGART, email: steingas@uni-hohenheim.de

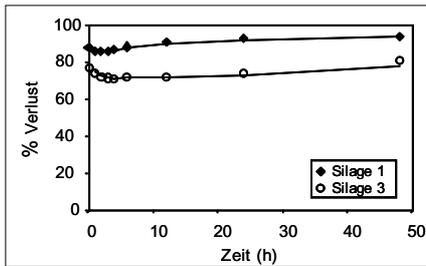


Abbildung 2: Rohproteinverlust bei Grassilagen *in situ* (nach SCHÄFER 1996)

(Abbildung 2). Denn Löslichkeit darf nicht immer gleichgesetzt werden mit unmittelbarem Abbau. Dies mag beispielsweise für die Ammonium-N-Fraktion bei Silagen zutreffen, nicht jedoch für andere N- und CHO-Quellen wie beispielsweise Melasse, Milchprodukte oder lösliche Stärke. Selbst Zucker oder Harnstoff, beide Stoffe sind vollständig löslich, haben zwar eine sehr rasche aber keine unendlich hohe Abbaurates. Daraus folgt, dass die *in situ*-Methode für die Beschreibung der Abbaudynamik, insbesondere des XP, bei einer Reihe von Futtermitteln nicht geeignet erscheint. Dies trifft leider auch für Silagen zu.

Eine synchrone Ration ist so zu definieren, dass die gesamte N-Freisetzung möglichst identisch zum Abbau der OM bzw. der CHO erfolgt, so dass das Verhältnis von verfügbarem N zu energieliefernden Stoffen **jederzeit** dem Bedarf der Mikrobenpopulation entspricht. Daraus ergibt sich auch, dass die Betrachtung der Synchronisation auf der Ebene der Gesamtration erfolgen muss. Eine synchrone Anpassung nur bestimmter Rationsbestandteile, z.B. nur des Kraftfutters, ist sinnlos und kann sogar kontraproduktiv sein.

Es ist allgemein akzeptiert, den N-Bedarf der Mikroben auf die im Pansen fermentierbare OM oder die fermentierten CHO zu beziehen. Nach CZERKAWSKI (1986) bzw. SINCLAIR et al. (1993) sind für ein optimales mikrobielles Wachstum 25 g verfügbarer N pro kg fermentierbarer OM oder 32 g verfügbarer N pro kg fermentierbarer CHO erforderlich. Aus der Definition der Synchronität ergibt sich, dass diese Verhältnisse stetig vorliegen müssen.

SINCLAIR et al. (1993) haben zur Kalkulation der Synchronität einen sogenannten Synchronismusindex entwickelt,

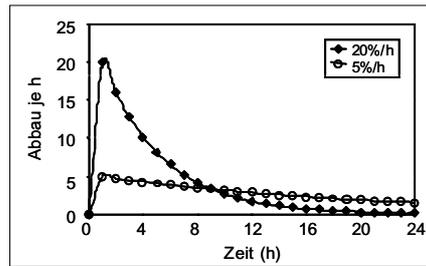


Abbildung 3: Schematische Nährstofffreisetzung bei unterschiedlicher Abbaurates

der den oben genannten Forderungen Rechnung trägt:

$$\text{Index} = \frac{25 - \sum_{1-24} \sqrt{(25 - N \text{ h}^{-1} / OM \text{ h}^{-1})^2}}{24}$$

25

Der Idealwert ist 1 und wird erreicht, wenn zu jeder Stunde des Tages der Optimalwert von 25 g N/kg OM vorhanden ist. Soll der Synchronismusindex auf der Basis fermentierbarer CHO berechnet werden, ist in der Gleichung die Zahl 25 [gN/kg DOM] durch die Zahl 32 [gN/kg ferm. CHO] zu ersetzen. Die zur Berechnung erforderlichen Daten werden durch Ermittlung der Abbaudynamik mit Hilfe der *in situ*-Methode gewonnen.

In *Abbildung 3* ist die Nährstofffreisetzung bei Abbaurates von 20 und 5 % je h schematisch dargestellt (ohne Berücksichtigung der Passage). Eine Synchronität wäre gegeben, wenn sich die Kurvenverläufe für N und CHO im idealen Verhältnis 25 g N/1000 g CHO überlappten, entweder bei jeweils schneller oder langsamer Fermentationsrate.

Ein asynchrone Situation liegt vor, wenn CHO und XP unterschiedliche Abbaurates haben. Hat das XP eine höhere Abbaurates als die CHO, tritt anfangs ein hoher N-Verlust ein, woraus zu späterer Zeit dann ein N-Mangel resultiert. Im umgekehrten Fall ist zu Beginn entweder mit einem verminderten CHO-Abbau aufgrund eines N-Mangels zu rechnen oder es kommt zu einer „Leerfermentation“ ohne entsprechende mikrobielle Syntheseleistung. Zu späteren Zeiten schließlich ist das CHO verbraucht und ein relativer N-Überschuss mit entsprechenden Verlusten tritt ein. In beiden Fällen nimmt die Effizienz des mikrobiellen Wachstums ab, möglicherweise verbunden mit einem Rückgang von Verdaulichkeit und Futteraufnahme.

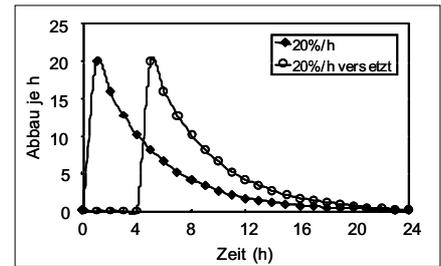


Abbildung 4: Asynchronität aufgrund zeitlich versetzter Futtergabe

Eine weitere Möglichkeit einer asynchronen Situation ist in *Abbildung 4* schematisch dargestellt.

Trotz gleicher Abbaurates kommt es in dieser als „Trennkostmodell“ zu bezeichnenden Situation zu asynchroner Nährstofffreisetzung. Dies ist ein grundsätzliches Problem bei getrennter Futterverabreichung, wenn z.B. das Grundfutter (Grassilage) früher oder später verabreicht wird als das Ausgleichsfutter.

SINCLAIR et al. (1993) und SINCLAIR et al. (1995) konzipierten mit auf diese Weise ermittelten Synchronismusindizes verschiedene Rationen, die in Versuchen mit Schafen geprüft wurden. Die Autoren konnten in beiden Untersuchungen bei den synchronen Varianten einen höheren mikrobiellen N-Ertrag sowie eine höhere Effizienz des mikrobiellen Wachstums feststellen.

Die ruminale N-Bilanz (RNB), die unserem Proteinsystem „nutzbares Rohprotein am Dünndarm“ (nXP) zu Grunde liegt (GfE 2001), stellt in gewisser Weise ein Maß für eine „Endpunktsynchronisierung“ dar, ohne natürlich die Dynamik des Abbaus von Protein und OM zu berücksichtigen. Bei der Berechnung des mikrobiellen Proteins (MP) nach der Gleichung

$$MP = (187,7 - (115,4 \cdot (\text{UDP}/\text{XP}))) \text{ DOS}$$

ergibt sich bei einem UDP-Anteil von 25 % eine Syntheseleistung von 154 g MP bzw. 25,4 g N/kg DOS. Dieser Wert liegt im oberen Bereich des im allgemeinen als Effizienz angenommenen Wertes, wenn man bedenkt, dass nicht die gesamte DOS fermentativ in den Vormägen verdaut wird. Eine RNB von Null bedeutet daher ein adäquates Verhältnis von ca. 25 g N/kg DOS, jedoch ohne Berücksichtigung der Abbaudynamik.

Unsere Arbeitsgruppe hat den Hohenheimer Futterwerttest so modifiziert, dass

damit eine Schätzung des nXP und der RNB möglich ist (STEINGASS et al. 2001). Wird nun mit diesem Verfahren die RNB über einen Zeitverlauf (z.B. nach 4, 8, 12 und 24 Stunden) bestimmt, ist dies eine Möglichkeit zur Abschätzung der Synchronität eines Futtermittels oder einer Ration. Eine Synchronität ist dann gegeben, wenn zu jedem Zeitpunkt eine RNB von Null besteht.

3. Umsetzungsmöglichkeiten in der Praxis

Aus den vorigen Ausführungen muss deutlich werden, dass in der praktischen

Rationsgestaltung die Einbeziehung des Synchronisierungskonzeptes im eigentlichen Sinn äußerst schwierig, wenn nicht gar unmöglich ist. Zu viele unbestimmte Faktoren spielen hier eine Rolle. Dennoch soll versucht werden, mit den nachfolgenden Ausführungen einige Hinweise für die Praxis zu liefern. Dies ist mit gewissen Vereinfachungen und Pauschalierungen verbunden und das Ergebnis kann nicht gleichbedeutend sein mit Synchronisierung im engeren Sinn. Ob ein solches vereinfachtes Vorgehen jedoch auch zielführend ist, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht abgesehen werden. Einer Prüfung in der

Praxis scheint es jedoch in jedem Fall Wert zu sein.

Da nicht alle Futtermittel mit den oben genannten Labormethoden untersucht werden können, ist in Anbetracht der Variation innerhalb der verschiedenen Futtermittelgruppen für die Praxis eine vereinfachte Vorgehensweise zum gegenwärtigen Zeitpunkt notwendig. Hierzu liegt ein Vorschlag einer DLG-Arbeitsgruppe vor (DLG-Information 2/2001). Das Ausmaß des Abbaus von CHO und XP wird in fünf Stufen differenziert. Die Abbaugeschwindigkeit wird in vier Kategorien eingeteilt (Tabellen 1 und 2).

Tabelle 1: Ausmaß des Nährstoffabbaus (DLG-Information 2/2001)

Kategorie	Kohlenhydrate		Rohprotein	
	Spanne	Mittel	Spanne	Mittel
sehr hoch	>75	80	>85	90
hoch	75 - 65	70	85 - 75	80
mittel	<65 - 55	60	<75 - 55	65
niedrig	<55 - 45	50	<55 - 35	45
sehr niedrig	<45	40	<35	30

Nach diesem Schema werden nun die einzelnen Futtermittel eingeteilt (Tabellen 3 und 4).

Es ist erkennbar, dass bei den Grundfuttermitteln der XP-Abbau im Mittel höher und schneller als der CHO-Abbau eingestuft wird, die meisten Futtermittel sind also in sich nicht synchron. Bei den Konzentraten ist dies unterschiedlich bzw. es überwiegt häufig der CHO-Abbau den XP-Abbau in Ausmaß und Geschwindigkeit.

Tabelle 2: Geschwindigkeit des Nährstoffabbaus (DLG-Information 2/2001)

Kategorie		Kohlenhydrate	Rohprotein
		% je h	% je h
++++	sehr schnell	>15	>15
+++	schnell	15 - 10	15 - 10
++	mittel	<10 - 5	<10 - 5
+	langsam	<5	<5

Nun wird die Ration zusammengestellt, wobei die Verhältnisse von N/CHO für die einzelnen Klassen der Abbaugeschwindigkeit einzeln berechnet und mit dem Zielwert verglichen werden (Tabelle 5).

Tabelle 3: Abbauverhalten von CHO und XP bei Grundfutter (DLG-Information 2/2001, Auszug)

	Kohlenhydrate				Rohprotein			
	Gehalt g/kg	Ausmaß %	abgeb. g/kg	Geschw.	Gehalt g/kg	Ausmaß %	abgeb. g/kg	Geschw.
Weide jung	665	70	466	+++	200	90	180	++++
Weide mittel	660	70	462	++	200	80	160	+++
Grassil. jung	670	70	469	++	180	90	162	++++
Grassil. mitt.	690	60	414	++	165	90	149	++++
Heu gut	755	60	453	++	140	80	112	+++
Heu mittel	775	50	388	+	120	80	96	++
Maissil. mitt.	838	60	503	++	85	80	68	+++

Die Ration in Tabelle 5 weist pro kg T ca. 6,8 MJ NEL und 155 g nXP bei ausgeglichener RNB auf und ist nach konventioneller Rechnung ausgeglichen und ausgelegt für einen mittleren Leistungsbereich von ca. 30 kg Tagesmilch.

Bei Kalkulation der Verhältnisse zwischen abbaubarem N und abbaubarem CHO in den einzelnen Geschwindigkeitsklassen fällt aber auf, dass die Ration nicht synchron ist. In den Klassen mit langsamer Abbaurrate (l, m) besteht eine Unterversorgung an verfügbarem N, während in der schnellen Abbaukategorie ein entsprechender Überschuss besteht. Noch eklatanter ist dieses Missverhältnis in der Klasse mit sehr schneller Abbaurrate. Hier liefert die Grassilage eine sehr hohe N-Menge, eine entsprechend schnell verfügbare CHO-Quelle fehlt völlig.

Tabelle 4: Abbauverhalten von CHO und XP bei Konzentraten (DLG-Information 2/2001, Auszug)

	Kohlenhydrate				Rohprotein			
	Gehalt g/kg	Ausmaß %	abgeb. g/kg	Geschw.	Gehalt g/kg	Ausmaß %	abgeb. g/kg	Geschw.
Gerste	822	80	658	++++	124	80	99	+++
Weizen	823	80	658	++++	138	80	110	+++
Mais	832	50	416	+	106	45	48	+
Sojaschalen	795	70	557	++	131	80	105	+++
Melasseschn.	782	70	547	++++	125	65	81	++
Maiskl.futter	641	70	449	+++	258	65	168	++
Erbsen	700	80	560	++++	251	80	201	++++
Rapsextr.schrot	497	70	348	++	392	65	255	+++
Sojaextr.schrot	408	80	326	+++	510	65	332	+++

Die Ration in Tabelle 6 gilt für den gleichen Leistungsbereich und hat 6,9 MJ NEL und 159 g nXP bei ausgeglichener

Tabelle 5: Konventionell berechnete Mischration

Futter	kg T	abbaubare CHO (g)				abbaubares Rohprotein (g)			
		I	m	s	ss	I	m	s	ss
Grassilage	5,0			2007					767
Heu	3,0	1134					249		
Maissilage	3,0		1508					204	
Pressschnitzelsilage	3,2			2066			231		
Mais	3,6	1498				172			
Rapsschrot	2,2		765					561	
Summe Ration	20,0	2632	4280	2066	0	172	480	765	767
g N/kg abgeb. CHO						10	18	59	Div/0

Tabelle 6: Mischration unter Berücksichtigung von Ausmaß und Rate des Abbaus

Futter	kg T	abbaubare CHO (g)				abbaubares Rohprotein (g)			
		I	m	s	ss	I	m	s	ss
Grassilage	5,0			2007					767
Heu	3,0	1134					249		
Maissilage	3,0		1508					204	
Pressschnitzelsilage	3,2			2066			231		
Weizen	4,2				2765				464
Kartoffeleiweiß	0,6	47				227			
Maiskleberfutter	1,0			449			168		
Summe Ration	20,0	1181	3515	2515	2765	227	648	668	767
g N/kg abgeb. CHO						31	29	42	44

Tabelle 7: Einordnung des Rohproteins bei Grassilage

	XP (g/kg T)	Fraktion		Abbau (%)	Geschw.
Grassilage „ist“	165	I	165	90	++++
Grassilage „soll“	165	I	95	100	++++
		II	70	70	++

RNB. In der Ration sind die selben Grundfutterkomponenten in gleicher Menge vorhanden wie im Beispiel der Tabelle 5. Es wurde versucht, die Kraftfutterkomponenten synchron anzupassen, durch Austausch des Maises durch Weizen. Das Rapsschrot wurde durch Kartoffelprotein und Maiskleberfutter ersetzt, um den N-Mangel bei langsamer und mittlerer Abbaurate auszugleichen. Das Verhältnis N/CHO kommt in den einzelnen Abbauklassen dem Zielwert von 32 g/kg recht nahe.

Praktische Erfahrungen mit dieser erweiterten Form der Rationsberechnung liegen derzeit noch nicht in ausreichendem Umfang vor. Es können aber bereits einige kritische Anmerkungen getroffen werden:

- Es ist sehr schwierig, praxismgerechte synchrone Rationen zu berechnen, besonders wenn zwangsläufig vorhandene Komponenten (Grundfutter) mit

kurzfristig nicht änderbarer Qualität verwendet werden müssen.

- der Zielwert ist jeweils 32 g N/kg ferm. CHO. Daraus ergibt sich die Frage, welche Verhältnisse von N/CHO noch als synchron gelten und welche nicht mehr. Eine strikte Einstellung des Zielwertes ist nicht möglich, ohne die Grundprinzipien einer Rationskalkulation zu missachten.
- Für viele Futtermittel liegen keine entsprechenden Angaben vor.
- Das Schema ist einerseits sehr grob und starr, gerade deshalb aber auch sehr instabil. Die Einteilung in die Abbau- und Geschwindigkeitsklassen ist äusserst problematisch, aber entscheidend für das Ergebnis.

Unter praktischen Gesichtspunkten wäre das Modell mit nur 3 Geschwindigkeitsklassen besser zu handhaben. Andererseits wäre wiederum eine stärkere Differenzierung notwendig. Es wird z.B. die Fermentationsrate von Getreide (außer

Mais) gleichgesetzt mit der von Zucker, die aber ein vielfaches höher ist. Entsprechendes gilt für die N-Fraktion, wo die Abbaugeschwindigkeit von Getreide- oder Körnerleguminosenprotein gleichgesetzt wird mit der bei Grassilage, wo deren hoher NPN-Anteil sicher anders einzuordnen wäre.

Gerade am Beispiel von Silagen ergibt sich ein weiteres Problem: Protein und sicher auch die Kohlenhydrate sind nicht uniform, sondern es gibt Fraktionen mit unterschiedlichen Eigenschaften. Derzeit wird das Rohprotein der Grassilage einheitlich einer hohen Abbauklasse mit sehr schneller Fermentationsrate zugeordnet. Besser wäre jedoch, das Rohprotein in zwei Fraktionen aufzuteilen, in die NPN-Fraktion mit vollständigem Abbau bei sehr hoher Abbaurate und in eine zweite Fraktion mit mittlerem Abbauniveau und mittlerer Abbaurate (Tabelle 7).

Das Modell ist dennoch als erster Schritt zur Einbeziehung der Synchronisierung in die Rationsgestaltung zu würdigen. Es ist jedoch zu betonen, dass das Ergebnis solcher Berechnungen nicht gleichbedeutend mit einer Synchronisierung im eigentlichen Sinn ist.

Es erscheint lohnend, das Konzept in der Praxis anzuwenden, um weitere Erfahrungen zu sammeln. Insbesondere ist es interessant, hiermit Rationen zu konzipieren und diese unter praktischen Verhältnissen zu testen. Dass eine Weiterentwicklung und Verbesserung notwendig sein wird, steht außer Frage.

Aus den bisherigen Ausführungen wird ersichtlich, dass sich das Konzept der Synchronisierung mit unseren zur Verfügung stehenden Kenntnissen am ehesten bei Totalmischrationen (TMR) umsetzen lässt. Nicht nur in Deutschland sondern auch in Österreich gewinnt diese Fütterungstechnik zwar zunehmend an Bedeutung, ist jedoch nur in einem relativ geringen Prozentsatz der Betriebe vorhanden. Daraus ergibt sich die Frage, inwieweit sich das Konzept der Synchronisierung auch bei separater Futtermittelverteilung wenigstens ansatzweise realisieren lässt.

Es wurde bereits oben betont, dass sich eine Synchronisierung auf die Gesamtration beziehen muss. Eine Synchronisierung des Kraftfutters allein ist sinnlos. Der Grund ist, dass die meisten Grundfuttermittel oder Grundrationen in

Tabelle 8: Synchronisierung des Kraftfutters allein ist nicht zielführend

	Grassilage		Kraftfutter synchron	
XP	s	s	m	l
CHO	m	s	m	l

sich asynchron sind. Am Beispiel einer Grassilage als Grundfutter soll dies verdeutlicht werden (Tabelle 8).

Grassilage ist in sich asynchron, gekennzeichnet durch schnellen XP-Abbau bei nur mittlerer CHO-Abbaurrate. Ein synchron gestaltetes Kraftfutter kann entweder schnelle, mittlere oder langsame Abbauraten von XP und CHO haben. Keine dieser drei Kraftfuttertypen erlaubt jedoch in Kombination mit Grassilage eine abgestimmte Gesamtration.

Bei getrennter Futtermittelvorlage kann eine gewisse Verbesserung der Situation unter Anwendung der klassischen Vorgehensweise des „dreigeteilten Rationsaufbaus“ unter Berücksichtigung der Synchronisierung erreicht werden (Abbildung 5).

Ein bezüglich seines Milcherzeugungswertes nach Protein und Energie unausgeglichenes Grundfutter wird üblicherweise mit einem entsprechenden Ausgleichsfutter ergänzt. Im Falle einer Maissilage-Ration ist bekanntlicherweise ein Eiweißfutter notwendig, bei Grundrationen auf der Basis von Grünlandfutter in aller Regel eine Energieergänzung. Soll nun der Gedanke der Synchronisierung einfließen, bedeutet dies, dass nicht nur

das Protein/Energie-Verhältnis, d.h. die jeweiligen Fehlmengen ausgeglichen, sondern auch die Abbauraten abgestimmt werden. Für die Abbauraten des Proteins im Grundfutter muss eine identische Abbauraten der Kohlenhydrate des Ergänzungsfutters gewählt werden und umgekehrt. Im Falle der maissilagebetonten Ration ist ein Ausgleich mit einem Proteinträger von mittlerer Proteinabbauraten erforderlich, z.B. Birtreber, Maiskleberfutter oder Rapsextraktionsschrot. Das in sich synchrone Leistungsfutter sollte relativ rasch abbaubar sein, damit die Gesamtration insgesamt keine zu niedrige Fermentationsrate bekommt. Bei der Grassilageration ist als Ausgleichsfutter ein Kohlenhydratträger mit sehr schneller Fermentationsrate angezeigt. Ergänzt werden sollte mit einem Leistungsfutter von nur mittlerer Abbaugeschwindigkeit, damit die Fermentationsrate der Gesamtration nicht zu hoch wird (zu hohe Anteile leicht fermentierbarer Stärke und Zucker).

Bei getrennter Futtermittelvorlage genügt dies jedoch noch nicht. Auch die Futterzeiten für Grundfutter und Ausgleichsfutter sind aufeinander abzustimmen, sonst liegt die in Abbildung 3 beschriebene „Trennkostsituation“ vor. Da es in aller Regel zwei Hauptfutterzeiten für das Grundfutter gibt (normalerweise nach dem Melken), folgt daraus, dass das Ergänzungsfutter zeitgleich hierzu in wenigen (nur zwei!) Portionen verabreicht werden sollte. Die grundsätzliche Forderung nach Verteilung

der Kraftfuttergaben ist demgegenüber abzuwägen. Gelingt diese zeitliche Koordinierung, spielt die zeitliche Verteilung des Leistungsfutters keine weitere Rolle, vorausgesetzt es ist in sich synchron. Es kann mit der üblichen Technik verabreicht werden (Transponder, von Hand ...).

Grundsätzlich gilt, dass die Notwendigkeit für eine synchrone Rationsgestaltung und auch deren Wirkung zunimmt, je höher die Fermentationsraten von XP und CHO sind. Desto schwieriger wird aber auch zugleich eine praktikable Lösung unter Einhaltung einer wiederkäuergerechten Rationsgestaltung. Insbesondere bei hohen Anteilen rasch abbaubaren Rohproteins in der Ration wären theoretisch entsprechend hohe Anteile sehr rasch fermentierbarer Kohlenhydrate notwendig, die wiederum zu einer Destabilisierung des Pansenmilieus beitragen können. Eine Synchronisierung von Rationen auf der Basis von Grassilage stellt diesbezüglich eine große Herausforderung dar. Aus diesem Grund sollen nachfolgend einige Maßnahmen für eine verbesserte Gestaltung solcher Rationen diskutiert werden.

Das Rohprotein in Grassilage vom Intensivgrünland besteht überwiegend aus löslichen N-Verbindungen, darunter beträchtlichen Anteilen in Ammoniumform (VAN VUUREN et al. 1990). Die *in situ* löslichen N-Verbindungen gelten als sehr schnell abbaubar bzw. liegen bereits in abgebauter Form vor. Eine Überführung in mikrobielles Protein würde große Mengen ähnlich schnell fermentierbarer CHO erfordern, um Stickstoffverluste aus dem Pansen zu verhindern. Vom theoretischen Standpunkt her wäre Zucker als CHO-Quelle ideal. Nimmt man einen relativ geringen Gehalt von 16 g löslichem N pro kg Silage kg T an, würde dies eine gleichzeitige Bereitstellung von 500 g Zucker erfordern. Bei 10 kg T aus Grassilage wären dies allein 5 kg Zucker bzw. ca. 25 % der Gesamtration. Somit wird deutlich, dass Limitierungen seitens einer wiederkäuergerechten Rationsgestaltung eintreten und das Ziel einer vollständigen Synchronisierung zurückgestellt werden muss. Der Einsatz von Getreide oder anderer stärkereicher Futtermittel hilft hier nur teilweise. Mit 5 kg schnell fermentierbaren Stärketrägern (Weizen, Gerste, Maniok etc.) können bei Annahme einer Fermentationsrate dieser CHO von 20 %/

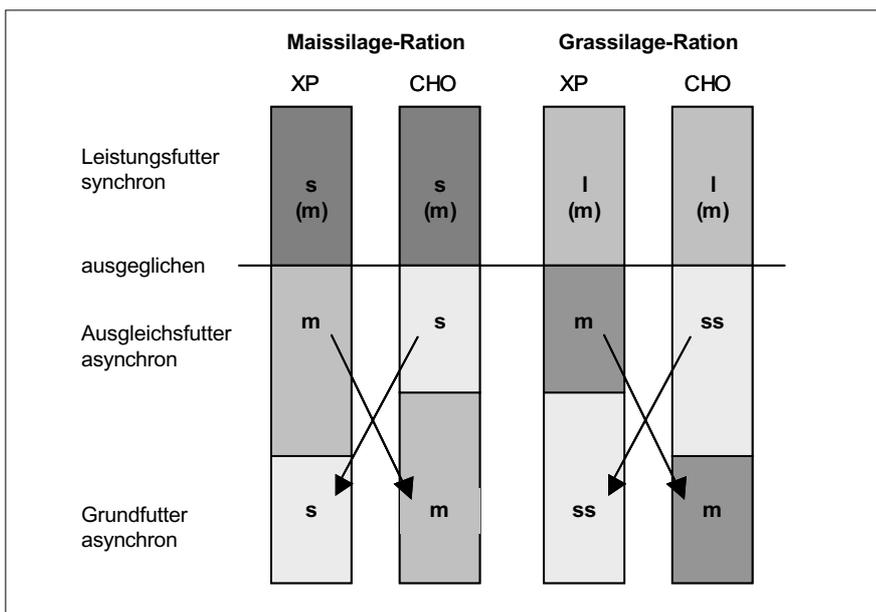


Abbildung 5: Synchronisierung der Grundration über Ausgleichsfutter

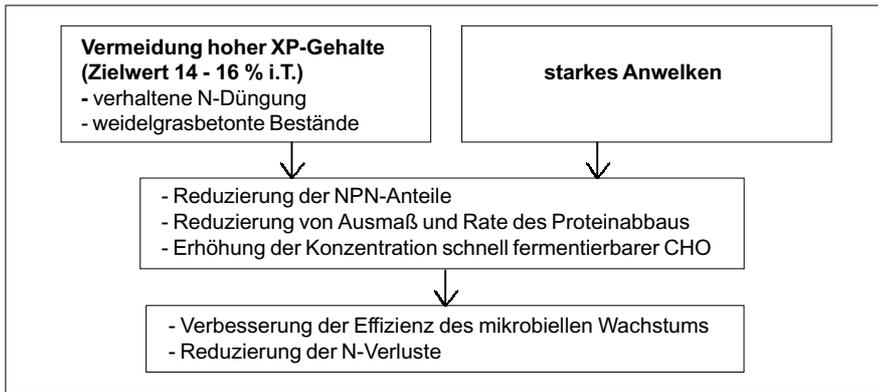


Abbildung 6: Maßnahmen zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz bei Grassilage

h ca. 50 g NPN in MP überführt werden. Dagegen kann mit 5 kg Körnermais bei einer Fermentationsrate von 4 %/h nur ca. 10 g NPN mikrobiell gebunden werden. Um hier wenigstens eine gewisse Stickstoffeffizienz zu erzielen, sind Getreide mit schneller Fermentationsrate zur Ergänzung von Grassilage unbedingt vorzuziehen.

Nachdem nicht unbegrenzt hohe Mengen an leicht fermentierbaren CHO zu Grassilage ergänzt werden können, bleibt als einzige Alternative zur Verbesserung der N-Effizienz eine Modifizierung der Eigenschaften der Grassilage selbst (Abbildung 6).

Zunächst müssen überhöhte XP-Gehalte im Futter vermieden werden. Nach VAN VUUREN (1993) besteht bei Gras eine ausgeglichene Pansen-N-Bilanz bei 15,5 % XP i.T.. Ein vergleichbares Stickstoffniveau kann auch für Qualitätssilagen angenommen werden bzw. ergibt sich aus der Berechnung der RNB. Eine verhaltene Düngungsintensität ist hier eine wichtige Maßnahme. Ein hoher Leguminosenanteil im Grünlandbestand ist unter diesem Aspekt kritisch zu bewerten. Aus dieser Sicht ist ein weidelgrasbetonter Grünlandbestand ideal, da Weidelgras auch in jungem Zustand relativ niedrige Rohprotein- und NPN-Gehalte sowie hohe Zuckergehalte aufweist.

Eine entscheidende Verbesserung ist durch das Vorwelken zu erreichen. In Bezug auf die N-Optimierung ist ein möglichst hoher Anwelkgrad, bis an die Grenze der Silagestabilität, anzustreben. In stark angewelkter Silage bleiben relativ viel wasserlösliche CHO erhalten. Bei gleichzeitig reduzierten NPN-Anteilen kann die Effizienz des mikrobiellen

Wachstums steigen. Ein Rückgang der Proteinabbaubarkeit mit steigendem T-Gehalt der Silage ist darüber hinaus noch ein weiterer Vorteil. Unter dem Aspekt der Synchronisierung ist Heu wesentlich günstiger zu bewerten als Grassilage. Eigene Untersuchungen an einer Reihe von Heuproben unterschiedlicher Qualität ergaben stets ein recht synchrones Abbaumuster von XP und CHO, d.h. Heu ist in sich relativ ausgewogen. Dies kommt auch in den Untersuchungen von VERBIC (1997) zum Ausdruck (Tabelle 9). Der Autor konnte hier auch die Veränderungen des Proteinwertes von Graskonserven durch Anwelken eindrucksvoll demonstrieren.

Tabelle 9: Einfluss des Anwelkens auf den Proteinwert von Grassilage (nach VERBIC 1997, verändert)

Welkzeit	(h)	2	6	23	55 (Heu)
Trockenmasse	(%)	21	43	52	89
NH ₃ -N	(% von N)	18	5	4	2
XP-Abbau	(%)	86	80	75	68
Effizienz der MPS	(gXP/kg VOS)	136	140	175	163
nXP	(g/kg T)	89	91	110	114
RNB	(g/kg T)	+8	+3	+2	-1

Tabelle 10: Synchroner Rationen auf der Basis von Grassilage und Maissilage

Grassilage „synchron“ kg T		Maissilage „synchron“ kg T	
Grassilage	8,0	Maissilage	6,5
Heu 2. Schnitt	2,0	Heu	3,5
		Proteinergänzung	
		Kartoffeleiweiß	1,0
		Sojaextr.schrot	0,3
	10,0	Zwischensumme	11,3
Sonnenblumen	1,4	Sonnenblumen	1,4
Tapioka	3,0	Tapioka	1,0
Melasse	0,3	Sojaschalen	2,4
Zucker	1,4	Mais	1,6
Kartoffeleiweiß	0,5	Maisnachmehl	1,5
Erbsen	3,4	Sojaextr.schrot	0,8
	20,0	Summe	20,0

Gegenüber Frischsilage führt ein starkes Anwelken zu einem Rückgang des Ammonium-N-Anteils und der Proteinabbaubarkeit. Zugleich steigt die Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese deutlich an als Ergebnis einer besseren Übereinstimmung der N- und CHO-Freisetzung. Diese Effekte bewirken schließlich einen Anstieg des nXP-Gehaltes und dadurch eine Reduzierung des RNB-Überschusses. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Heubereitung sehr günstig zu beurteilen.

4. Eigene Untersuchungen an Milchkühen

Unter Anwendung der oben erwähnten Methode der nXP-Schätzung mit dem Hohenheimer Futterwerttest wurden verschiedene Einzelfuttermittel untersucht und daraus synchrone und asynchrone Rationen zusammengestellt, die an Milchkühen geprüft wurden (KELLER 2003).

Es wurden Grundrationen auf der Basis von Grassilage und Maissilage durch Ergänzung mit entsprechenden Kraftfutterkomponenten jeweils synchron gestaltet und in Form von Totalmischrationen eingesetzt. Durch Austausch der Kon-

zentratanteile entstanden die asynchronen Versuchsvarianten (Tabelle 10).

Die Rationen wurden in C/N-Bilanzversuchen mit je 4 Kühen geprüft. Zusätzlich wurden Untersuchungen zur Pansenfermentation durchgeführt sowie die mikrobielle Proteinproduktion über die Allantoinausscheidung im Harn geschätzt (CHEN et al. 1993). Alle Rationen wurden auch in Fütterungsversuchen mit mindestens 32 Kühen eingesetzt, in denen Futteraufnahme, Milchleistung und Milchezusammensetzung gemessen wurde.

Die Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese (Abbildung 7), hier ausgedrückt als g N/kg verdaute OS, erwies sich bei den synchronisierten Rationen als signifikant höher. Kein Unterschied war dagegen zwischen den Grundfuttermitteln Grassilage und Maissilage gegeben. Dieses Ergebnis bestätigt, dass die Versuchsvorgaben zumindest teilweise erreicht worden sind.

Alle Rationen wurden in Gesamtstoffwechselversuchen geprüft (Tabelle 11). Hier wurde bei den synchronen Rationen eine signifikant höhere Energieverdaulichkeit (geringere Kotenergieausscheidung) bestimmt. Bei gleichen Verlusten an Harn- und Methanenergie resultiert daraus eine signifikante Erhöhung der Umsetzbarkeit bzw. der ME. Auf der Ebene der Nettoenergie bzw. der Verwertung der ME waren die Unterschiede nicht mehr signifikant. In der Tendenz war aber die Gesamtretention (Milch plus Ansatz) bei den synchronen Rationen höher.

Schließlich sind in Tabelle 12 die wichtigsten Ergebnisse des Fütterungsversuchs zusammengestellt. Die Futteraufnahme der synchronen Ration mit Grassilage war niedriger als bei Maissilage, obwohl die Energieverdaulichkeit bei Ersterer höher war. Dies verdeutlicht die Problematik der Synchronisierung von Rationen auf der Basis von Grassilage.

Es müssen, um die großen Mengen an schnell verfügbarem N auszugleichen, entsprechend hohe Anteile schnell abbaubarer CHO ergänzt werden. Dies führt insgesamt zu einer sehr schnellen Fermentationsrate der Ration. Dadurch verschlechtert sich das Pansenmilieu mit der Folge eines Rückgangs der Futteraufnahme. Wir konnten in Untersuchungen zur Pansenfermentation nachweisen (hier nicht gezeigt), dass bei der synchronen Grassilage-Ration insgesamt die tiefsten pH-Werte und die geringsten Hydrogencarbonatreserven festzustellen waren. Die Milchleistung wies bei den verschiedenen Varianten insgesamt nur geringe Unterschiede auf. Schwierig zu interpretieren sind die Milchinhaltsstoffe, wo eine Interaktion zwischen Synchronisierung und Ration gegeben ist. Die synchronisierte Grassilage-Ration erbrachte höhere Milchfett- und -proteinanteile, während umgekehrte Verhältnisse bei der langsamer fermentierbaren Maissilage-Ration auftraten. Bei vergleichbaren Rohproteingehalten aller Rationen (14,0-15,0 % i.T.) lagen bei den synchronen Rationen niedrigere Milchwahnhstoffgehalte vor, was auf eine insgesamt höhere N-Effizienz hinweist. Letzteres steht in Einklang mit unseren Beobachtungen zum zeitlichen Verlauf der Ammoniakkonzentration im Pansen. Besonders bei der Ration auf der Basis von Grassilage bewirkte die Synchronisierung ein viel gleichmäßigeres Tagesprofil.

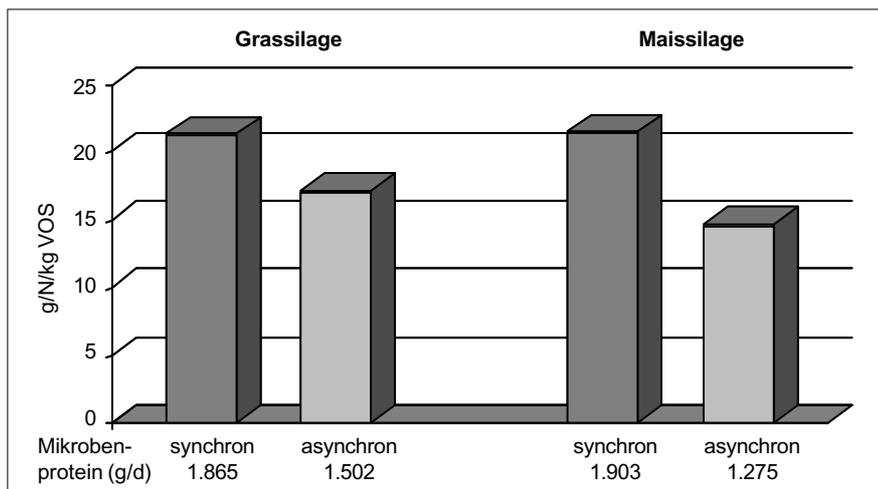


Abbildung 7: Effekt der Synchronisierung auf die mikrobielle Proteinsynthese

Tabelle 11: Effekt der Synchronisierung auf den Energieumsatz

	Grassilage		Maissilage		SEM	Kontraste		
	Syn	Asy	Syn	Asy		F ¹	S ¹	FxS ¹
in % der Energieaufnahme								
Kot	22,9	25,1	25,2	27,7	0,7	*	*	-
Harn	3,4	3,3	3,1	2,7	0,1	*	*	-
Methan	5,3	5,9	5,4	5,2	0,3	-	-	-
ME (q)	68,4	65,7	66,2	64,4	0,6	*	*	-
in % der ME								
Wärme	45,9	48,8	47,3	47,9	2,3	-	-	-
Ansatz	20,2	13,1	13,4	18,7	3,1	-	-	-
Milch	33,5	36,9	39,3	33,2	1,9	-	-	*
Milch + Ansatz	53,7	50,0	52,7	51,9	2,5	-	-	-

¹ F = Futter (Grassilage, Maissilage), S = Synchronität (synchron, asynchron) FxS = Wechselwirkung

* p<0,05; - nicht signifikant

5. Fazit und Ausblick

Eine Synchronisierung von Rationen im eigentlichen Sinn ist unter den gegenwärtigen Voraussetzungen in der praktischen Rationsgestaltung nicht durchführbar, sie wird in der Praxis nie durchführbar sein und ist dort auch nicht notwendig. Denn glücklicherweise ist die Kuh, auch die Hochleistungskuh, ein nicht zu unterschätzender Puffer zum Ausgleich unseres Nicht-Vermögens und Nicht-Wissens. Als wesentliche Gründe für diese Aussage sind zu nennen:

- die unzureichende Kenntnis über das Abbauverhalten der Futtermittel aufgrund fehlender einfacher, reproduzierbarer Methoden
- die große Variation der Abbaubarkeit innerhalb derselben Futtermittelgruppe

Tabelle 12: Effekt der Synchronisierung auf Futteraufnahme und Milchleistung

	Grassilage		Maissilage		SEM	Kontraste		
	Syn	Asy	Syn	Asy		F ¹	S ¹	FxS ¹
Futteraufnahme								
kg T	19,5	20,2	20,3	20,2	0,1	*	-	*
kg T/kg W ^{0,75}	155	161	168	162	0,9	*	-	-
Milchleistung								
kg	27,4	28,8	30,0	28,7	0,7	*	-	*
kg FECM	27,4	28,3	27,4	27,8	0,6	*	-	-
Milchzusammensetzung								
Fett (%)	3,94	3,81	3,31	3,70	0,04	*	*	*
Eiweiß (%)	3,50	3,37	3,19	3,48	0,03	*	*	*
Harnstoff (mg/l)	179	202	207	223	3	*	*	-

¹ F = Futter (Grassilage, Maissilage), S = Synchronität (synchron, asynchron) FxS = Wechselwirkung

* p<0,05; - nicht signifikant

pe, vor allem bei Grundfutter und hier insbesondere bei Silagen, aber auch bei scheinbar gut definierten Komponenten wie z.B. Raps- oder Sojaextraktionsschrot

- Wechselwirkungen bezüglich der Abbau- und Synthesevorgänge, die weitgehend unbekannt bzw. schlecht quantifizierbar sind, wie z.B. der Einfluss des Fütterungsniveaus oder die gegenseitige Beeinflussung einzelner Futtermittel und Futterinhaltsstoffe.

Eine Berücksichtigung des Abbauverhaltens von Protein und CHO bei der praktischen Rationsgestaltung ist dennoch grundsätzlich zu empfehlen. Dies ist jedoch noch nicht gleichbedeutend mit einer Synchronisierung im engeren Sinn. Ein solches Vorgehen ist in der Praxis bei der Technik der Totalmischration gut möglich. Schwierig ist die Umsetzung bei getrennter Futtervorlage und insbesondere dann, wenn Grassilage den Hauptanteil der Grundration ausmacht. Unter diesem Aspekt sind die Qualitätskriterien für Grassilagen neu zu definieren und ist ein verstärkter Einsatz von Qualitätsheu positiv zu sehen.

Die Anpassung der Abbaucharakteristik von Protein und CHO führt bei Milchkühen nicht grundsätzlich zu einer Leistungssteigerung. Als Gründe sind zunächst das generell hohe Leistungs- und Fütterungsniveau zu nennen, ein Zusatzeffekt durch bessere Proteinversorgung ist nur begrenzt und kann sich daher, gemessen am absoluten Produktionsniveau, nur marginal auswirken. Nachdem eine begrenzte Proteinversorgung nicht leistungsbegrenzend ist, sondern immer

die Energiezufuhr, erhebt sich die Frage, ob eine Maximierung der mikrobiellen Proteinsynthese überhaupt anzustreben ist oder ob nicht vielmehr eine hohe Fettsäureproduktion oder höhere Bypassanteile an CHO und XP (beides zu Lasten des mikrobiellen Wachstums) vorteilhafter wären. Ein ausgewogenes Verhältnis von XP- und CHO-Abbau kann, wenn es damit gelingt, die NH₃-Überschüsse im Pansen zu mildern, die N-Verluste über den Harn mindern und auf diesem Weg zu einer Umweltentlastung beitragen.

Das vorrangige Ziel einer wiederkäuergerechten Rationsgestaltung bleibt (in dieser Reihenfolge) die Sicherstellung der Versorgung mit Energie, Struktur und nXP unter Berücksichtigung der betrieblichen Gegebenheiten. Dann können Aspekte der Synchronisierung einfließen, wobei aber hier kein übertriebenes „Komponentendenken“ Eingang finden darf.

6. Literatur

- CHEN, X.B., D.J. KYLE und E.R. ORSKOV, 1993: Measurement of allantoin in urine and plasma by high-performance liquid chromatography with pre-column derivatization. *J. Chromatography* 617, 241-247.
- CZERKAWSKI, J.W., 1986: An introduction to rumen studies. Pergamon Press, Oxford.
- DLG-Information 2/2001: Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh. Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft, Frankfurt/Main.
- GFÉ (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie - Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- KELLER, S., 2003: Fat supplementation and varying rate and extent of fermentation in rations for dairy cows. Effects on milk production, rumen

fermentation and energy partitioning with particular consideration of methane production. Dissertation, Univ. Hohenheim, in Vorbereitung.

- McCARTHY, R.D., T.H. KLUSMEYER, J.L. VICINI, J.H. CLARK und D.R. NELSON, 1989: Effects of source of protein and carbohydrate on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 72, 2002-2016.
- McDONALD, I., 1981: A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 96, 251-252.
- NIBBE, D., P. LEBZIEN, H. SPIEKERS, H. STEINGASS und K.-H. SÜDEKUM, 2001: Vergleich verschiedener *in vitro*- und *in situ*-Verfahren zur Beurteilung des Proteinwertes von Raps- und Sojaextraktionsschrot. 113. VDLUFA-Kongress Berlin, Kurzfassungen der Vorträge, 111.
- NOCEK, J.E. und J.B. RUSSEL, 1988: Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71, 2070-2117.
- OLDHAM, J.D., 1996: Protein requirement systems for ruminants. In: C.J.C. Phillips (ed.), *Progress in Dairy Science*. CAB International, 3-27.
- SANTOS, F.A.P., J.E.P. SANTOS, C.B. THEURER und J.T. HUBER, 1998: Effects of rumen-undegradable protein on dairy cow performance: a 12-year literature review. *J. Dairy Sci.* 81, 3182-3213.
- SCHÄFER, K., 1996: Nährstoffabbau und Mengenelementfreisetzung frischer und siliierter Gräser im Pansen von Rindern. Dissertation, Universität Kiel.
- SINCLAIR, L.A., P.C. GARNSWORTHY, J.R. NEWBOLD, P.J. BUTTERY, 1993: Effect of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 120, 251-263.
- SINCLAIR, L.A., P.C. GARNSWORTHY, J.R. NEWBOLD, P.J. BUTTERY, 1995: Effect of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release in diets with similar carbohydrate composition on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 124, 463-472.
- STEINGASS, H., D. NIBBE, K.-H. SÜDEKUM, P. LEBZIEN und H. SPIEKERS, 2001: Schätzung des nXP-Gehaltes mit Hilfe des modifizierten Hohenheimer Futterwerttests und dessen Anwendung zur Bewertung von Raps- und Sojaextraktionsschroten. 113. VDLUFA-Kongress Berlin, Kurzfassungen der Vorträge, 114.
- VAN VUUREN, A.M., S. TAMMINGA und R.S. KETELAAR, 1990: Ruminant availability of nitrogen and carbohydrates from fresh and preserved herbage in dairy cows. *Neth. J. Agric. Sci.* 38, 499-512.
- Van VUUREN, A.M., 1993: Digestion and nitrogen metabolism of grass fed dairy cows. PhD-Thesis, Univ. Wageningen.
- VERBIC, J., 1997: The effect of preservation method on the protein value of grassland forage. Alpenländisches Expertenforum „Grundfutterqualität und Grundfutterbewertung, BAL Gumpenstein, 81-86.