

Proteinbewertung und Proteinversorgung in der Milchviehfütterung

nXP- und UDP-Bestimmung, Routineanalytik, Aminosäurenversorgung

K.-H. SÜDEKUM

1. Einleitung

Zentrale Größen des von der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie in Deutschland 1997 veröffentlichten Proteinbewertungssystems für Milchkühe und Aufzuchtrinder (GfE 1997) sind – neben dem nutzbaren Rohprotein (XP) am Duodenum (**nXP**) – das in den Vormägen unabbaubare (besser: unabgebaute) XP (**undegradable Protein, UDP**) sowie die ruminale Stickstoff-(N)-Bilanz (**RNB**) zur Charakterisierung der Versorgung der Pansenmikroorganismen mit N-Verbindungen für die mikrobielle XP-Synthese. Angaben über die Gehalte dieser Kenngrößen in Grün- und Grobfuttermitteln sowie Konzentratfuttermitteln sind für die meisten Einzelfuttermittel auch in der neuesten Auflage der DLG-Futterwerttabellen (UNIVERSITÄT HOHENHEIM – DOKUMENTATIONS-STELLE 1997) enthalten. Diese Größen sind jedoch nur unter großem experimentellem Aufwand *in vivo* an dünn-darmfistulierten Rindern zu ermitteln. Entsprechend enthalten auch die DLG-Futterwerttabellen in der aktuellen Version Werte, die mittels *in situ*-Methode ("Nylonbeutel-Technik") abgeleitet wurden. Zudem wurde bei völligem Fehlen von *in vivo*- und *in situ*-Werten der Proteinwert von Futtermitteln auch durch den Vergleich mit Futtermitteln ähnlicher Art und chemischer Zusammensetzung abgeschätzt.

Da *in vivo*-Versuche an Milchkühen mit Duodenalkanülen außerordentlich aufwändig sind, in Deutschland derzeit nur noch an einem Standort (Braunschweig-Völkenrode) durchgeführt werden (können) und auch international der zukünftig noch zu erwartende Umfang weiterer *in vivo*-Versuche – mit experimen-

tellen Techniken, die eine möglichst weitgehende Übereinstimmung mit den in Deutschland bisher durchgeführten Versuchen aufweisen sollten – sehr begrenzt sein wird, ergab sich schon mit Erscheinen der Broschüre zum Proteinbewertungssystem für Milchkühe und Aufzuchtrinder (GfE 1997) sowie der neuen Futterwerttabellen (UNIVERSITÄT HOHENHEIM – DOKUMENTATIONS-STELLE 1997) die Herausforderung, nach realisierbaren Wegen zu suchen, um bestehende Kenntnislücken schließen und unsichere Daten besser absichern zu können.

In einem Beitrag zur 28. Viehwirtschaftlichen Fachtagung 2001 hieß es (SÜDEKUM 2001): „Aus Sicht des Verfassers sollten zunächst konkrete Fortschritte hinsichtlich einer zuverlässigeren Beurteilung des Proteinlieferungsvermögens von Futtermitteln (nXP, UDP) erzielt werden, bevor die Frage intensiver bearbeitet wird, inwieweit die Berücksichtigung eines spezifischen Aminosäurenbedarfs analog dem Vorgehen bei monogastrischen Tierarten (Huhn, Schwein) auch für die Rationsgestaltung der Milchkuh relevant ist.“ Dieser immer noch gültigen Einschätzung entsprechend stehen in der Zwischenzeit erreichte Fortschritte in der Proteinwertschätzung von Futtermitteln im Mittelpunkt dieses Beitrages. Insbesondere sollen Ergebnisse von Vorhaben zusammengefasst werden, in denen geprüft wurde, ob es generell möglich ist, mittels einfacherer Verfahren die wesentlichen Größen des Proteinwertes eines Futtermittels zu schätzen, nämlich den Gehalt an nXP sowie den Anteil UDP am XP. Weiterhin werden Ergebnisse eigener Arbeiten in der Anwendung einer pansensaftunabhängigen, chemischen

Labormethode vorgestellt. Die Aminosäurenversorgung der Milchkuh als Erweiterung der Proteinbewertung wird abschließend nur kurz angesprochen und bleibt in größerer Ausführlichkeit damit späteren Veranstaltungen vorbehalten.

2. Bestimmung von nXP und UDP

2.1 Charakterisierung der Methoden

Für die Ermittlung oder Schätzung des Proteinwerts von Futtermitteln im Labor müssen Kriterien definiert werden, anhand derer ein Methodenvergleich erfolgen soll. Die folgenden Kenngrößen können bei der Entscheidungsfindung für die Auswahl von Labormethoden berücksichtigt werden (modifiziert nach SÜDEKUM 2002):

- Übereinstimmung mit der Referenzmethode (*in vivo*);
- Zukünftige Referenzmethode: *in vivo*, *in situ*;
- Grad der Standardisierung der Methoden;
- Zuverlässigkeit der Informationen;
- Vorliegendes Datenmaterial;
- Informationsdichte;
- Prinzipielle Anwendbarkeit der Methoden;
- Flexibilität der Anwendung;
- Mit oder ohne Verwendung von Pansensaft;
- Kosten;
- Einbindung der ermittelten Variablen in andere Proteinbewertungssysteme.

Nachfolgend sollen die in den vergangenen Jahren in Deutschland in der Anwendung befindlichen Methoden kurz

Autor: Prof. Dr. Karl-Heinz SÜDEKUM, Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie, Christian-Albrechts-Universität, D-24098 KIEL, email: suedekum@aninut.uni-kiel.de

skizziert werden. Anschließend werden Ergebnisse eines größeren Verbundprojektes vorgestellt, in dem diese Methoden zur Anwendung kamen, bevor abschließend ein sicher subjektiv geprägter Versuch unternommen werden soll, eine vorläufige Rangierung der Methoden anhand der oben genannten Kriterien vorzunehmen.

Methoden mit Pansensaft

1. Methode **FAL** (ZHAO und LEBZIEN 2000): Inkubation von Einzelfuttermitteln und Konzentrattuttermischungen ($n = 25$) in einem Pansensaft/Puffergemisch bei 38 °C für 24 h gemäß dem ersten Schritt der zweistufigen *in vitro*-Methode zur Verdaulichkeitschätzung von TILLEY und TERRY (1963). Aus dem Nicht-Ammoniak-N im Inkubationsansatz nach 24 h (x ; g XP/kg T) wurde der Gehalt an nXP *in vivo* (y ; g/kg T; ermittelt in Versuchen an Milchkühen mit Duodenalkanülen) wie folgt geschätzt:

$$y = 0,85x + 18,0; r^2 = 0,84, p \leq 0,001.$$

2. Methode **HOHENHEIM** (STEINGASS et al. 2001): Ermittlung der Ammoniakfreisetzung und der Gasbildung *in vitro* im System Hohenheimer Futterwerttest. Basis ist die von RAAB et al. (1983) vorgestellte Me-

thode zur Ermittlung des Proteinabbaus im Pansensaft *in vitro*, die weiterentwickelt und an das nXP-System angepasst wurde. Durch Bestimmung der Ammoniakkonzentration in einer Blindprobe und in der inkubierten Futterprobe kann unter Zugrundelegung der inkubierten XP-Menge der Probe der nXP-Gehalt ermittelt werden. Darüber hinaus ist durch Berechnung der Effizienz der mikrobiellen XP-Synthese (mg N/ml Gasbildung) mit Hilfe einer Kohlenhydratsupplementierung eine Differenzierung des nXP in UDP und Mikrobenprotein möglich.

Methoden ohne Pansensaft

3. Methode **ENZYM** (LICITRA et al. 1998, 1999): Schätzung des *in vitro* abbaubaren XP mit einem enzymatischen Verfahren (Protease aus *Streptomyces griseus*). Dieses prinzipiell schon lange bekannte Verfahren wurde von den Autoren in den zitierten Arbeiten weitgehend standardisiert. Es erfolgt eine Vorinkubation in Borat-Phosphatpuffer für 1 h. Danach wird die Protease in einem definierten Verhältnis von Enzym- zu Futterreinproteinmenge zugegeben, und je nach Futtermitteltyp werden Inkubationszeiten von 18 h (Konzentratfutter), 24 h (Nebenprodukte) oder 30 h (Grün- und Grobfutter) verwendet. Nach Ende der Inkubation wird filtriert, und die XP-Menge im Filtrierückstand ist das Maß für den UDP-Anteil (% des XP) des jeweiligen Futtermittels.

4. Methode **CHEMIE** (LICITRA et al. 1996, SHANNAK et al. 2000): Chemische Fraktionierung des Rohproteins gemäß dem "Cornell net carbohydrate and protein system" (CNCPS). Aus den XP-Fractionen unter Einbeziehung der Gehalte an XP- und Neutral-Detergenzienfaser (NDF, mittels Filterpapiermethode ermittelt) werden UDP-Gehalte unter Annahme von Passageraten aus dem Pansen 2, 5, und 8 %/h geschätzt. Referenzmethode für die UDP-Anteilsschätzung ist ein standardisiertes *in situ*-Verfahren (SHANNAK et al. 2000, siehe Abbildung 1).

2.2 Vergleich der Methoden zur Bewertung von Raps- und Sojaextraktionsschroten

Zur Bewertung des Energie- und Proteinlieferungsvermögens von Raps- (RES) und Sojaextraktionsschroten (SES) gab es in den vergangenen Jahren in Deutschland umfangreiche Versuche in Koope-

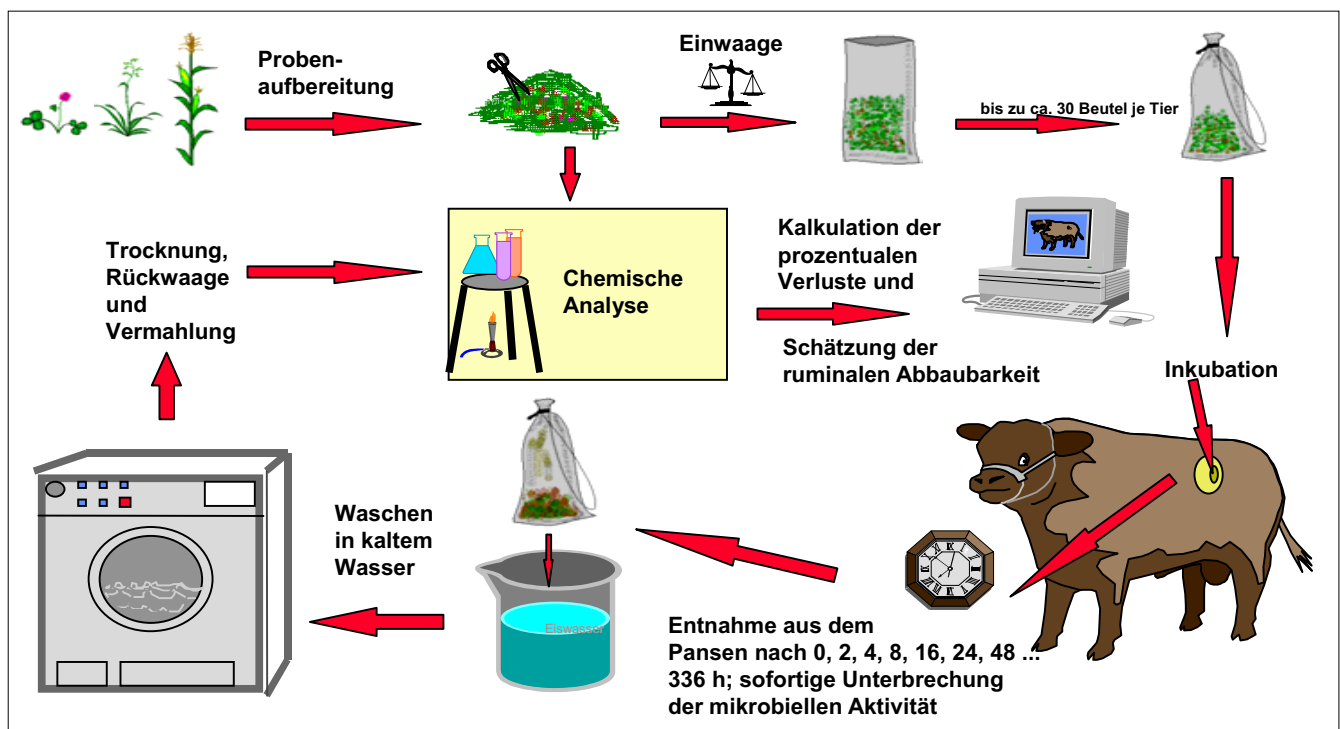


Abbildung 1: Bestimmung des ruminalen Abbaus mit einer standardisierten *in situ*-Methode (Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie, Universität Kiel 2001)

rationsprojekten mit Beteiligten aus Bonn, Braunschweig-Völkenrode, Stuttgart-Hohenheim und Kiel. Dabei wurde als zweite wesentliche Versuchsfrage neben dem primären Anliegen einer zuverlässigeren Einschätzung des Proteinwertes der untersuchten Futtermittel geprüft, mit welcher der oben skizzierten Labormethoden, die deutlich weniger Aufwand erfordern als *in vivo*-Versuche an dünn-darmfistulierten Tieren, der Proteinwert am zuverlässigsten beurteilt werden kann. Die tabellierten Proteinwerte für SES und RES unterscheiden sich erheblich. Nach Angaben der DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer (UNIVERSITÄT HOHENHEIM – DOKUMENTATIONSSTELLE 1997) enthält SES je nach XP-Gehalt (510 beziehungsweise 485 g XP/kg Trockenmasse [T]) 308 beziehungsweise 298 g nXP/kg T, für RES („00“-Typ) beträgt der nXP-Gehalt nur 219 g/kg T. Auch der Anteil an UDP liegt beim SES mit 35 % des XP deutlich höher als beim RES (25 %). Neuere Fütterungsversuche an Milchkühen mit RES und SES in Konzentratfuttermischungen mit unterschiedlichen Kohlenhydratträgern (SPIEKERS et al. 1998) und parallel dazu durchgeführte Untersuchungen zum Abbau des XP dieser Futtermittel im Pansen (SÜDEKUM et al. 1998) legten jedoch den Schluss nahe, dass vor allem die deutlichen Unterschiede zwischen den tabellierten Abbaubarkeiten der beiden Extraktionsschrote zugunsten des SES nicht oder nicht mehr den derzeitigen Qualitäten entsprechen. Deshalb wurde im Rahmen eines größeren Projektes der Proteinwert von Raps- und Sojaextraktionsschrot umfassend geprüft. Es wurden insgesamt 10 RES aus deutschen Ölmöhlen und 7 SES, davon 4 in deutschen Ölmöhlen produzierte Extraktionsschrote und je eines aus brasilianischen, argentinischen und niederländischen Ölmöhlen, im Frühjahr 1999 bezogen. An allen 17 Extraktionsschroten wurden Proteinwertkenngrößen (nXP, UDP) mit folgenden Verfahren geschätzt:

- *In situ* mit einem strikt standardisierten Verfahren (SHANNAK et al. 2000), dessen Grundzüge in *Abbildung 1* schematisch dargestellt sind;
- *In vitro* mit Pansensaft mit den oben skizzierten Methoden FAL und HOHENHEIM;
- *In vitro* mit der Methode ENZYM;

- Chemisch mittels Methode CHEMIE. Je zwei RES und SES, die nach ersten *in vitro*-Ergebnissen den höchsten beziehungsweise geringsten Umfang des XP-Abbaus im Pansen aufwiesen, wurden für *in vivo*-Versuche (Referenzmethode für das nXP-System) an Kühen mit Duodenalkanülen in Braunschweig-Völkenrode ausgewählt und die nXP-Werte für die vier Extraktionsschrote wurden mit der dort etablierten Technik ermittelt. Die *in situ*-Methode wurde mit einbezogen, weil sie weltweit in vielen Ländern als Standardmethode zur Proteinwertermittlung von Futtermitteln für Wiederkäuer genutzt wird. Dies ermöglicht eine bessere Einordnung der Ergebnisse des Projektes in Daten anderer Versuchsansteller.

Erste wesentliche Ergebnisse des Projektes wurden in kurzer Form bereits im September 2001 anlässlich des 113. Kongresses des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) in Berlin vorgestellt (NIBBE et al. 2001, STEINGASS et al. 2001, SÜDEKUM et al. 2001) und werden nachfolgend zusammengefasst. Die RES variierten in ihren XP-Gehalten von 37,6 bis 42,9 % der T, im Rohfettgehalt von 2,6 bis 4,1 % der T und im Rohfasergehalt von 12,7 bis 15,3 % der T; der im Verdauungsversuch ermittelte Energiegehalt betrug 11,8 bis 12,2 MJ ME/kg T. Für die SES betragen die entsprechenden Werte: 47,5 - 51,8 % XP, 1,9 - 4,1 % Rohfett, 5,8 - 8,5 % Rohfaser und 13,7 - 14,1 MJ ME/kg T.

- Alle Labormethoden und die *in situ*-Methode ergaben übereinstimmende Ergebnisse dahingehend, dass (1) der UDP-Anteil von RES höher und der von SES niedriger als bisher tabelliert war; (2) in Umkehrung der Differenzen in den DLG-Futterwerttabellen die RES im Mittel einen um 12 - 14 Prozentpunkte höheren UDP-Anteil am XP aufwiesen als die SES und (3) innerhalb der beiden Extraktionsschrottypen eine erhebliche Streuung der UDP-Anteile beobachtet wurde.
- Die nXP-Werte wurden bei den *in vitro*-Verfahren mit Pansensaft direkt aus den Inkubationsdaten ermittelt und bei den anderen Labor-Verfahren sowie der *in situ*-Prozedur aus den UDP-Werten und den Verdaulichkeiten der

organischen Masse berechnet. Auch für die nXP-Gehalte von RES und SES bestand dahingehend Übereinstimmung zwischen den Methoden, dass (1) erwartungsgemäß die SES im Mittel einen höheren nXP-Gehalt (g/kg T) aufwiesen als die RES; (2) die Differenzen zugunsten des SES mit je nach Methode im Mittel 10 - 50 g nXP/kg T jedoch deutlich geringer ausfielen als in der DLG-Tabelle ausgewiesen (80 - 90 g/kg T); (3) ähnlich wie bei den UDP-Anteilen wurden auch für die nXP-Gehalte beträchtliche Unterschiede innerhalb der RES und SES beobachtet, die jedoch nicht von den jeweiligen XP-Gehalten abhingen (STEINGASS et al. 2001).

Die *in vivo*-Versuche in Braunschweig-Völkenrode zur Ermittlung der nXP-Gehalte und UDP-Anteile der vier Extraktionsschrote lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die absoluten Werte für UDP und nXP sind wenig plausibel. Gute Übereinstimmung mit den anderen Verfahren bestand aber dahingehend, dass (1) auch *in vivo* die RES zumindest einen gleich hohen UDP-Anteil am XP aufwiesen wie die SES; (2) die Einstufung „hoher“ und „niedriger“ UDP-Anteil innerhalb RES und SES auch *in vivo* gefunden wurde und (3) die nXP-Gehalte die aus den Labormethoden abgeleitete geringere Differenz zwischen RES und SES bestätigen konnten.

Aus der Gesamtschau aller eigenen und von anderen Arbeitsgruppen publizierten Ergebnisse wurde trotz der derzeit nicht befriedigend zu interpretierenden *in vivo*-Befunde folgendes vorläufige Fazit gezogen (SÜDEKUM und SPIEKERS 2002):

- (1) RES enthält mehr und SES weniger UDP als bisher angegeben.
- (2) Die – verglichen mit den Tabellenwerten – geringere Differenz im nXP-Gehalt zwischen SES und RES ist auf die Veränderungen im UDP-Anteil zurückzuführen. Weil die *in vivo* ermittelten Referenzwerte an ausgewählten Extraktionsschroten die sehr deutlichen Befunde der anderen Verfahren weitgehend, jedoch nicht vollständig bestätigen, wurde vorgeschlagen, bis auf weiteres für RES und SES einen mittleren UDP-Anteil am XP von 30 % anzugeben

und die nXP-Werte entsprechend anzupassen: SES enthält im Mittel 288 g nXP/kg T und RES 231 g/kg T. Beim Raps ergibt sich dadurch auch ein gleicher UDP-Anteil für die Kuchen/Expeller und das Extraktionsschrot. Von der DLG als zuständiger Stelle für die Dokumentation der Futterwerte wurde dieser Vorschlag bereits aufgenommen und online im „Futtermittel.net“ veröffentlicht:

(<http://www.dlg.org/de/landwirtschaft/futtermittelnet/fachinfos/futterwertzahlen.html>).

In *Tabelle 1* ist für einige der Kriterien, die eingangs dieses Kapitels als mögliche Richtschnur für eine vergleichende Bewertung von Labormethoden angeführt wurden, ein Vergleich der Labormethoden einschließlich des *in situ*-Verfahrens zusammengefasst. Nur für eine der Methoden (FAL) erfolgte die Schätzung von nXP-Gehalten für Futtermittel in direkter Anbindung an die Referenzmethode, d.h. *in vivo*-Versuche an dünn darmfistulierten Milchkühen. Da dieses ein ausschlaggebendes Kriterium ist, solange man sich innerhalb eines bestimmten Proteinbewertungssystems bewegt, sollte dieser Methode der Vorzug für eine weitere Evaluierung gegeben werden, sofern sie in anderen wichtigen Kriterien nicht deutlich gegenüber anderen Verfahren abfällt. Es ist jedoch festzustellen, dass die Standardisierung der Methode bisher nicht in dem Maße durchgeführt werden konnte, wie dies für eine rasche Umsetzung in die Laborpraxis erforderlich erscheint. In diesem Merkmal hat bei den Verfahren mit Pansensaft die Me-

thode HOHENHEIM deutliche Vorteile. In ihrem Beitrag zur 30. viedwirtschaftlichen Fachtagung haben STEINGASS et al. (2003) das Potenzial der Methode HOHENHEIM sowohl für die Proteinwertschätzung als auch die Charakterisierung synchronen und asynchronen Nährstoffabbaus im Pansen demonstriert.

Bei den pansensaftunabhängigen Verfahren ist zwar die Standardisierung der Methode ENZYM auf Basis der Arbeiten von LICITRA et al. (1998, 1999) weit fortgeschritten, es gibt aber zumindest mit in Mitteleuropa gebräuchlichen Futtermitteln fast keine laborpraktischen Erfahrungen in der Umsetzung, anders als mit der Methode CHEMIE. Da unter verschiedenen Gesichtspunkten eine möglichst baldige Bereitstellung von Labormethoden für die Untersuchungsroutine erstrebenswert ist, wurde das Kriterium der Standardisierung der Methoden als ausschlaggebend erachtet und im Frühjahr 2003 von der Fachgruppe Futtermittel des VDLUFA ein Ringversuch an je zwei Einzel- und Mischfuttermitteln mit den Methoden HOHENHEIM und CHEMIE beschlossen, der in diesem Frühjahr abgeschlossen wird.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in der Proteinwertschätzung von Futtermitteln für Wiederkäuer erhebliche Fortschritte bei Methoden zu verzeichnen sind, die einen weitgehenden oder sogar vollständigen Verzicht auf die Verwendung fistulierter Versuchstiere erlauben. Es steht zu erwarten, dass in Kürze auch für die Untersuchungsroutine standardisierte Laborverfahren zur Futterproteinwertschätzung für Wiederkäuer zur Verfügung stehen.

3. Routineanalytik mittels chemischer Rohproteinfraktionierung – Grundzüge und Anwendung auf thermisch behandelte Konzentratfuttermittel sowie auf Grünlandprodukte

3.1 Grundzüge

Für den in unserer Kieler Arbeitsgruppe bearbeiteten Lösungsansatz zur Schätzung der UDP-Gehalte wurden zunächst Referenzwerte für UDP-Gehalte mittels eines strikt standardisierten *in situ*-Verfahrens ermittelt (SHANNAK et al. 2000). Weiterhin wurde – basierend auf der Arbeit von LICITRA et al. (1996) – eine rein chemische Labormethode unter Verzicht auf die Verwendung von Pansensaft gewählt, um eine Anwendung grundsätzlich in jedem Labor zu ermöglichen, das in der Lage ist, das Kjeldahl-Verfahren zur Ermittlung des XP-Gehaltes in Futtermitteln durchzuführen. Die Methode besteht zunächst in einer chemischen Fraktionierung des XP, wie sie auch im US-amerikanischen „Cornell net carbohydrate and protein system“ (CN-CPS) vorgenommen wird (*Tabelle 2*). Anders als im CN-CPS, wo den XP-Fractionen B1, B2 und B3 jeweils ein im Pansen unabgebauter XP-Anteil zugeordnet wird (SNIFFEN et al. 1992), wurde im hier vorgestellten Ansatz aus den Fraktionen A, B1, B2, B3 und C sowie den XP- und Faser-(NDF)-Gehalten mittels multipler Regression ein UDP-Wert für das gesamte XP eines Futtermittels geschätzt (SHANNAK et al. 2000). Differenziert wurde lediglich, wie auch bei den *in situ*-Werten, nach Futteraufnahmelevel und damit zusammenhängenden Passageraten, d.h., es wurden Passageraten aus dem Pansen unterstellt von 2, 5 und 8 %/Stunde (UDP2, UDP5, UDP8).

Das oben skizzierte chemische XP-Fraktionierungsverfahren wurde in den vergangenen Jahren in unserem Labor in Kiel in großem Umfang vor allem zur Abschätzung und Überprüfung der Auswirkungen unterschiedlicher (hydro)thermischer Behandlungsverfahren auf Proteinträger wie RES und SES sowie Körnerleguminosen angewandt. Es wur-

Tabelle 1: Evaluierung von Labormethoden zur Schätzung des Proteinwertes von Futtermitteln für Wiederkäuer anhand verschiedener Kriterien (SÜDEKUM 2002, modifiziert)

| Methode ¹ | Kriterien ² | | | | |
|----------------------|------------------------|----------|-------|-----------|--------------|
| | Referenz | Standard | Daten | Anwendung | Flexibilität |
| <i>In situ</i> | Mittel | ++ | +++ | Schwierig | Gut |
| HOHENHEIM | Mittel | +++ | ++ | Mittel | Sehr gut |
| FAL | Sehr gut | + | ++ | Mittel | Gering |
| ENZYM | Wenig | + | + | Leicht | Gut |
| CHEMIE | Wenig | +++ | +++ | Leicht | Gut |

¹⁾ *In situ* – Beuteltechnik an pansenfistulierten Rindern; HOHENHEIM: Modifizierter Hohenheimer Futterwerttest (Ammoniakfreisetzung); FAL: Modifikation des Verfahrens nach TILLEY und TERRY (nXP-Schätzung *in vitro*); ENZYM: Protease aus *Streptomyces griseus*; CHEMIE: Rohproteinfraktionierung

²⁾ Referenz: Übereinstimmung mit der Referenzmethode; Standard: Grad der Standardisierung der Methoden; Daten: Vorliegendes Datenmaterial; Anwendung: Prinzipielle Anwendbarkeit der Methode; Flexibilität: Flexibilität der Anwendung der Methode

Tabelle 2: Chemische Fraktionierung des Rohproteins von Futtermitteln für Wiederkäuer (LICITRA et al. 1996)

| Fraktion | Verfügbarkeit | Rohprotein-Fraktion |
|----------|---|---|
| A | Im Pansen schnell abbaubar zu Ammoniak | NPN ¹ (Harnstoff, Peptide, Aminosäuren) |
| B1 | Im Pansen schnell abbaubar zu Ammoniak | Reinprotein |
| B2 | Im Pansen potenziell vollständig abbaubar | Reinprotein |
| B3 | Im Pansen langsam, nicht unbedingt vollständig abbaubar | Zellwandgebundenes Reinprotein |
| C | Im Pansen und Dünndarm nicht verfügbar | An Lignin, Tannin oder in Maillard-Produkten gebundenes Protein |

¹⁾ NPN = Nicht-Protein-Stickstoff-Verbindungen

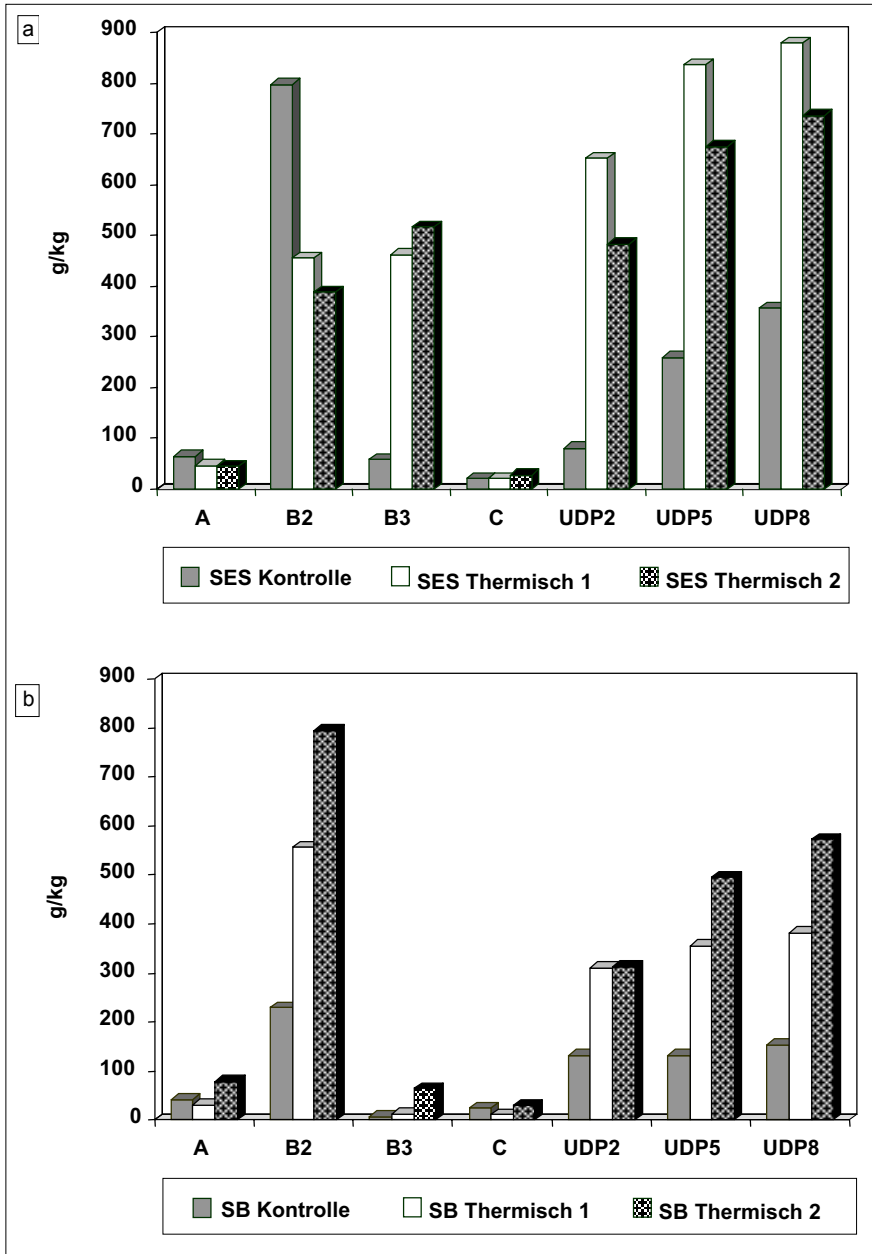


Abbildung 2: Einfluss thermischer Behandlungen auf Rohproteinfraktionen (A, B2, B3, C) und unabbaubares Rohprotein (UDP; g/kg Rohprotein; kalkuliert für angenommene Passageraten aus dem Pansen von 2, 5 und 8 %/h) bei (a) Sojaextraktionsschrot (SES) und (b) Sojabohnen (SB; SÜDEKUM und KÜHL 2003, unveröffentlicht)

den aber auch Produkte wie Grasgrünmehl oder Getreidesamen untersucht. Nachfolgend werden hierzu einige neuere Befunde dargestellt und kurz erläutert.

3.2 Thermisch behandelte Konzentratfuttermittel

Abbildung 2 zeigt für SES (a) und Sojabohnen (b) den Einfluss thermischer Behandlungen auf einige der XP-Fraktionen und die daraus abgeleiteten UDP-Anteile am XP. Bei weitgehend konstanten Anteilen der Fraktionen A (Nicht-Protein-Stickstoff-(NPN)-Verbindungen) und C (unverdauliches XP) erfolgt beim SES eine Verschiebung der XP-Fraktionen von der potenziell vollständig abbaubaren B2-Fraktion zur in den Vormägen nicht vollständig abbaubaren B3-Fraktion, deren Abbau in der Regel auch langsamer erfolgt als die der B2-Fraktion. Letzteres dürfte auch die wesentliche Ursache für die in Folge der thermischen Behandlung stark zunehmenden UDP-Anteile am XP sein. Bei den Sojabohnen hat die Erhöhung der UDP-Anteile andere Ursachen – hier wird durch die thermische Behandlung der Anteil des schnell fermentierbaren Reinproteins (Fraktion B1; Daten ohne Abbildung) reduziert, und zwar zugunsten der zwar weniger schnell, aber potenziell immer noch vollständig abbaubaren B2-Fraktion. Folgerichtig ist der Anstieg im UDP-Anteil am XP bei den Sojabohnen weniger stark ausgeprägt als bei den SES. Ein bei allen Varianten von SES und Sojabohnen durchgehend niedriger Wert für die C-Fraktion (an Lignocellulose [ADF] gebundene Stickstoff-Verbindungen, acid detergent insoluble nitrogen, [ADIN]) liefert den Hinweis, dass keine der thermischen Behandlungen eine Proteinschädigung durch Bildung irreversibler Maillardprodukte zwischen Zuckern und Aminosäuren (ADRIAN 1974) verursacht hat. Eine Proteinschädigung würde zu einer deutlich reduzierten Verdaulichkeit des UDP im Dünndarm führen und damit den Proteinwert des Futtermittels insgesamt reduzieren. SCHROEDER et al. (1996) untersuchten thermisch unterschiedlich intensiv behandelte pflanzliche Proteinträger – Ölsaaten und daraus gewonnene Extraktionsschrote sowie Lupinen – und kamen zu dem Schluss, dass bei An-

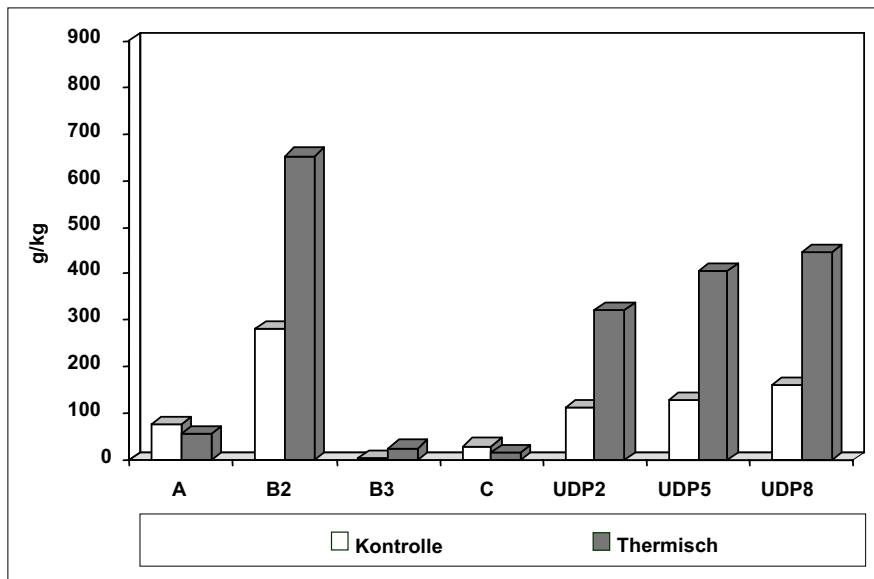


Abbildung 3: Einfluss thermischer Behandlungen auf Rohproteinfraktionen (A, B2, B3, C) und unabbaubares Rohprotein (UDP; g/kg Rohprotein; kalkuliert für angenommene Passageraten aus dem Pansen von 2, 5 und 8 %/h) von unbehandelten (Kontrolle) und thermisch behandelten (Thermisch) Lupinensamen (SÜDEKUM und KÜHL 2003, unveröffentlicht)

teilen der C-Fraktion am gesamten XP unterhalb von 12 - 15 % nicht mit einer reduzierten Verdaulichkeit des XP im Dünndarm zu rechnen sei. Bei darüber hinaus gehenden Anteilen müsse jedoch mit einer signifikant und progressiv steigenden Hitzeschädigung von Proteinen ausgegangen werden. Es muss jedoch betont werden, dass die Eignung der C-Fraktion für die Beurteilung einer möglichen Proteinschädigung und/oder der Verdaulichkeit des UDP im Dünndarm von Wiederkäuern nicht für alle Konzentratfüttermittel gleich gut geeignet erscheint wie für Ölsaatenprodukte. KUSUMANTI et al. (1996) stellten fest, dass besonders für Maisschlempe und Trockenschnitzel die C-Fraktion keine geeignete Kenngröße zur Vorhersage einer Proteinschädigung darstellt, während Baumwollsaatextraktionsschrot mit dieser Variablen ähnlich zutreffend wie die von SCHROEDER et al. (1996) geprüften Füttermittel beurteilt wurde.

Den Effekt einer thermischen Behandlung auf XP-Fractionen und UDP-Anteile von Lupinen zeigt *Abbildung 3*. Für die XP-Fractionen ergibt sich das gleiche Bild wie bei der Sojabohne: Durch die thermische Behandlung wird der Anteil des schnell fermentierbaren Reinproteins (Fraktion B1; Daten ohne *Abbildung*) zugunsten der zwar weniger schnell, aber potenziell immer noch voll-

ständig abbaubaren B2-Fraktion reduziert. Auch die Auswirkungen auf die geschätzten UDP-Anteile sind ähnlich ausgeprägt: Je nach unterstellter Passagerate erhöht sich der UDP-Anteil um den Faktor 2 bis 3. Dies stimmt gut mit Angaben anderer Versuchsansteller überein, die durch thermische Behandlung unter Druckerhöhung (Autoklavieren) den UDP-Anteil am XP (Passagerate 6 %/h) von Lupinen von 25 auf 56 % erhöhen konnten (AGUILERA et al. 1992). Inzwischen liegen in unserem Labor weitere Befunde zu den Auswirkungen unterschiedlicher thermischer Behandlungen auf den UDP-Anteil von Lupinen und anderen Körnerleguminosen vor, die alle darauf hindeuten, dass thermische Behandlungen geeignet sind, den häufig unerwünscht hohen ruminalen XP-Abbau bei Körnerleguminosen zu reduzieren und damit die Attraktivität insbesondere für Rationstypen zu erhöhen, bei denen eine zu hohe RNB besteht, wie es häufig bei Rationen mit hohen Anteilen an Grassilage der Fall ist.

3.3 Grünlandprodukte

In *Abbildung 4* sind die XP-Fractionen und UDP-Anteile einiger Grasanweilensilagen (a) und Grünfütter (b) dargestellt. Die Grassilagen waren Bestandteile der schon weiter oben erwähnten Rationen, mit denen Fütterungsversuche an Milchkühen mit RES und SES in Kraftfütter-

mischungen mit unterschiedlichen Kohlenhydratträgern durchgeführt wurden (SPIEKERS et al. 1998). Bei den Grünfütterproben handelt es sich um Erntematerial eines homogenen Dauerwiesenbestandes in Gumpenstein, der im ersten Aufwuchs 2000 von der zweiten Maiwoche bis Ende Juni wöchentlich beerntet wurde. *Abbildung 4 (b)* zeigt exemplarisch die XP-Fractionen und UDP-Anteile für das in der ersten, dritten und sechsten Woche geerntete Grünfütter. Aus *Abbildung 4* wird deutlich, dass silierte Grünlandaufwüchse gegenüber Grünfütter grundsätzlich höhere Anteile an NPN-Verbindungen (Fraktion A) und deshalb weniger Reinprotein (B- und C-Fractionen) aufweisen. Dementsprechend ist der ruminale XP-Abbau bei den Grassilagen ausgeprägter und die UDP-Anteile sind geringer als beim Grünfütter. Die Grassilage 1 bildet hier eine Ausnahme. Sie wies sehr geringe NPN-Anteile am XP auf (< 30 %) und hatte mit 30 - 35 % außergewöhnlich hohe UDP-Anteile am XP (Passageraten von 5 und 8 %/h). Hinweise für eine Hitzeschädigung des Proteins, die wie bei den Konzentratfüttern durch stark erhöhte Anteile der C-Fraktion angezeigt würde (GOERING et al. 1972), finden sich bei keiner der Grassilagen. Auch hier soll darauf hingewiesen werden, dass der Anteil der C-Fraktion am XP für silierte oder künstlich getrocknete Grünfütter ein geeignetes Maß zur Charakterisierung möglicher Hitzeschädigungen darstellt, während die Proteinqualität von totalen Mischrationen (TMR) mit diesem Kriterium nicht erfasst werden kann (HUYLER und KINCAID 1999).

Beim Grünfütter (*Abbildung 4 (b)*) könnten deutlich ansteigende Anteile der Fraktion C am XP bei langer Aufwuchsdauer ebenfalls einen Hinweis geben, dass sich die Proteinqualität für Wiederkäuer verschlechtert. OMBABI et al. (2001) analysierten unter norddeutschen (Schleswig-Holstein) Bedingungen bei Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L., sehr frühe Sorte „Gremie“) im ersten Aufwuchs bei langer Aufwuchsdauer Mitte Juni Anteile der C-Fraktion von 15 - 20 % des XP. Allerdings dürfte eine solche Qualitätsminderung im vorliegenden Fall bei Anteilen der Fraktion C von unter 10 % des XP selbst zum Nutzungstermin „Spät“ noch

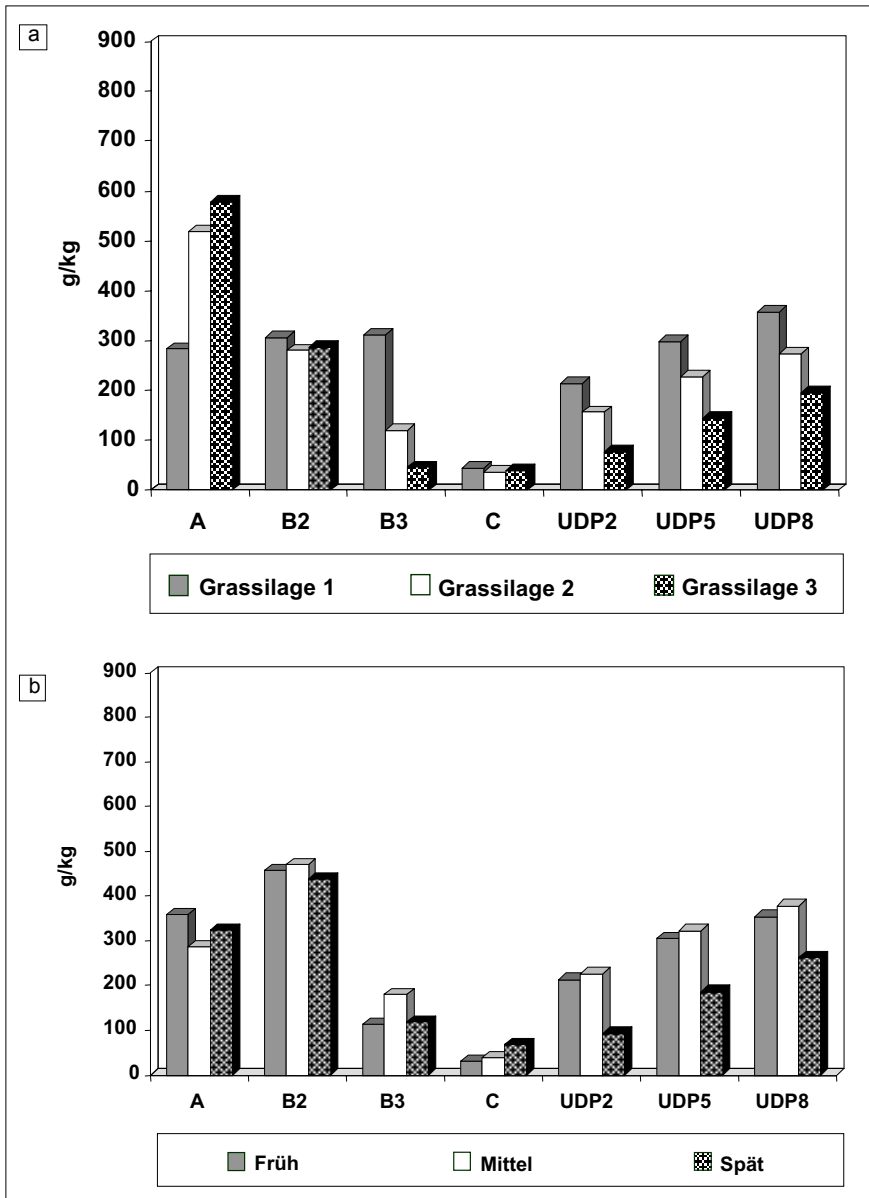


Abbildung 4: Rohproteinfraktionen (A, B2, B3, C) und unabbaubares Rohprotein (UDP; g/kg Rohprotein; kalkuliert für angenommene Passageraten aus dem Pansen von 2, 5 und 8 %/h) in (a) Grassilagen (SHANNAK et al. 2000) und (b) Grünfütter, das zu unterschiedlichen Nutzungsterminen (Früh, Mittel, Spät) im ersten Aufwuchs 2000 in Gumpenstein geerntet wurde (KIRCHHOF et al. 2003, unveröffentlicht)

nicht der Fall sein. Warum der UDP-Anteil am XP bei spät im Aufwuchs geerntetem Grünfütter entgegen den Erwartungen geringer als bei den früheren Terminen ausfiel, kann vermutlich erst nach Vorliegen aller Laboranalysen und der Befunde der *in situ*-Inkubationen besser interpretiert werden. Schließlich sind in Tabelle 3 die XP-Fraktionierungsergebnisse und daraus abgeleiteten UDP-Anteile für sechs Grasgrünmehlproben (Pellets) aus dem württembergischen Allgäu (Landkreis Ravensburg) zusammengefasst. Die Pro-

ben stammten aus drei verschiedenen Graströcknungsanlagen (Gaisbeuren, Geiselharz, Kißlegg) und wurden im Jahr 2001 aus Grünfütter von Frühjahrs- (1. Schnitt) und Spätsommer- oder Herbstaufwüchsen (4. und 5. Schnitt) produziert. Die Daten zeigen sowohl für die XP-Fractionen als auch für die UDP-Anteile eine erhebliche Variation der Werte. Besonders auffallend – und überraschend – ist die große Spannweite der Anteile an NPN-Verbindungen (Fraktion A) von weniger als 10 bis fast 25 % des XP. Während bei Grassilagen ein

hoher NPN-Anteil praktisch immer mit geringen UDP-Anteilen einhergeht, scheint das bei den geprüften Grasgrünmehlen nicht der Fall zu sein. Die Variante mit dem höchsten NPN-Anteil am XP (Gaisbeuren, 5. Aufwuchs) liegt im oberen Bereich der geschätzten UDP-Anteile, während die Variante mit dem geringsten Anteil der Fraktion A am XP (Geiselharz, 5. Aufwuchs) nur im „Mittelfeld“ der geschätzten UDP-Anteile zu finden ist. Da alle Werte für die C-Fraktion unter 10 % (5,1 - 9,4 %) des XP liegen, gibt es keinen Hinweis, dass eine der Behandlungen zu einer Proteinschädigung führte. Vergleicht man die von uns geschätzten Werte mit denen der DLG-Fütterwerttabelle Wiederkäuer (40 % UDP; UNIVERSITÄT HOHENHEIM - DOKUMENTATIONSSTELLE 1997) und nimmt eine Passagerate von 5 %/h als Basis, dann liegen drei der Grasgrünmehle in der Größenordnung der Tabellenwerte, zwei liegen deutlich darüber und ein Grasgrünmehl weist um etwa 10 Prozentpunkte niedrigere UDP-Anteile auf. Nach unseren Vorstellungen könnten chemische Fraktionierung und UDP-Anteilsschätzung dazu genutzt werden, um Produktionsverfahren für (Gras-)Grünmehle zu optimieren. Der gezielte Einsatz von Grünmehlen, die mit technisch auf dem neuesten Stand befindlichen, dezentralen Anlagen produziert werden, könnte dazu beitragen, die häufig unausgewogene Proteinversorgung von Milchkuhen auf Grünlandstandorten zu verbessern. Da diese Futtermittel mit regional erzeugten Grünlandaufwüchsen hergestellt würden, fände kein zusätzlicher Nährstoffimport in die Region statt, wodurch unter der Annahme einer stabilisierten oder verbesserten Leistung bei gleicher XP-Aufnahme der Milchkuh insgesamt eine gewisse Entlastung der N-Bilanz der Betriebe verbunden sein wäre.

4. Aminosäurenversorgung

Aus den vorstehenden Ausführungen sind Fortschritte hinsichtlich einer zuverlässigeren Beurteilung des Proteinlieferungsvermögens von Futtermitteln (nXP, UDP) erkennbar. Bei einer konsequenten Umsetzung dieser Fortschritte kann auch eine gezieltere und genauere Proteinversorgung der Milchkuh

Tabelle 3: Rohproteinfraktionen (A, B2, B3, C) und unabbaubares Rohprotein (UDP; g/kg Rohprotein; kalkuliert für angenommene Passageraten aus dem Pansen von 2, 5 und 8 %/h) in Grasgrünmehlpellets aus drei Trocknungsanlagen im württembergischen Allgäu (SÜDEKUM und KÜHL 2001, unveröffentlicht)

| Merkmal | Gaisbeuren | | Herkunft Geiselharz | | Kißlegg | |
|----------|------------|-----|---------------------|-----|---------|-----|
| | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 | 4 |
| Aufwuchs | | | | | | |
| A | 219 | 228 | 133 | 88 | 232 | 140 |
| B2 | 390 | 334 | 342 | 355 | 420 | 380 |
| B3 | 314 | 389 | 319 | 411 | 278 | 385 |
| C | 51 | 86 | 54 | 63 | 61 | 94 |
| UDP2 | 312 | 326 | 169 | 265 | 310 | 381 |
| UDP5 | 446 | 520 | 294 | 400 | 438 | 561 |
| UDP8 | 507 | 610 | 370 | 477 | 498 | 648 |

erreicht werden, weil Proteinangebot und Bedarf (beides ausgedrückt in nXP-Menge/Tag) bei Vorliegen einer zuverlässigeren Datenbasis auf der Futtermittelseite besser aufeinander abgestimmt werden können. Im nXP kommen neben Proteinen (und wenigen freien Aminosäuren) auch NPN-Verbindungen vor, vor allem mikrobielle Nucleinsäuren, die nicht zur Aminosäurenversorgung des Wiederkäuers beitragen. Dies wird im nXP-System so berücksichtigt, dass – basierend auf Literaturdaten – ein konstanter Aminosäurenanteil von 73 % am Nicht-Ammoniak-N des Duodenalchymus unterstellt wird (GfE 1997). ZHAO und LEBZIEN (2002) prüften, ob die weiter oben schon skizzierte Methode FAL, die zur Schätzung des nXP entwickelt wurde, auch zur Schätzung der nutzbaren Aminosäuren am Duodenum geeignet ist. Hierzu musste die Methode FAL lediglich dahingehend modifiziert werden, dass in den Inkubationsresiduen nach dem Austreiben des Ammoniak-N statt des Gehaltes an N nach der Kjeldahl-Methode die Gehalte an Aminosäuren bestimmt wurden. Die Autoren fanden in zwei Versuchen mit insgesamt 63 Einzelfuttern und Konzentratfutmischungen eine enge Beziehung zwischen dem aus *in vivo*-Versuchen kalkulierten nXP-Gehalt und dem *in vitro* ermittelten Gehalt an nutzbaren Aminosäuren. Zudem wies ein Vergleich zweier Pansensaftherkünfte (Heuration bei einer nicht-laktierenden Kuh und eine gemischte Ration bei einem Schaf) darauf hin, dass beide Pansensaftherkünfte zur Schätzung der nutzbaren Aminosäuren gleich gut geeignet sind, und es wurde empfohlen, eine weitere Standardisierung des Ver-

fahrens – primär aus Kostengründen – mit Pansensaft von Schafen voranzutreiben.

Die von ZHAO und LEBZIEN (2002) vorgeschlagene Vorgehensweise stellt eine konsequente Weiterentwicklung des nXP-Systems dar, ist aber mit anderen Proteinbewertungssystemen, die das Aminosäurenlieferungsvermögen von Futtermitteln oder Rationen auf Basis scheinbar oder wahr verdaulicher Aminosäuren im Dünndarm kalkulieren, nicht kompatibel. Dies würde die gegebenenfalls zur Weiterentwicklung des Proteinbewertungssystems in ein Aminosäurenbewertungssystem für Milchkühe (und Aufzuchttrinder) nutzbare Datenbasis deutlich einschränken. Deshalb wird zu gegebener Zeit von den zuständigen Autoritäten (Ausschuss für Bedarfsnormen der GfE) zunächst festzulegen sein, auf welche Weise und mit welchem methodischen Spektrum das Thema Aminosäurenversorgung bearbeitet und in praktikable Lösungen umgesetzt werden soll. An dieser Stelle und in diesem Zusammenhang möchte ich zwei Fragen wiederholen, die anlässlich der 28. Viehwirtschaftlichen Fachtagung formuliert wurden (SÜDEKUM 2001) und die bei einer Weiterentwicklung der Protein- in Richtung Aminosäurenbewertung für Milchkühe weiterhin relevant und aktuell erscheinen:

- Gilt auch bei sehr hohen Futteraufnahmen und damit einhergehenden hohen Passageraten aus den Vormägen die weitgehende Konstanz des Aminosäurenmusters am Duodenum (LEBZIEN 1997);
- Stimmt das Aminosäurenmuster des UDP mit dem des Futter-Rohproteins überein?

5. Fazit

Daten zum Ausmaß des Rohprotein-Abbaus im Pansen sind mittlerweile für viele Einzelfuttermittel in Futterwerttabellen dokumentiert. Diese Größen sind jedoch nur unter großem experimentellen Aufwand *in vivo* zu ermitteln, für Mischfuttermittel liegen keine Werte vor und bei den Einzelfuttermitteln bestehen erhebliche Lücken hinsichtlich einer sicheren Datenbasis. Deshalb wurden in den vergangenen Jahren verstärkt Schnellmethoden zur Überprüfung der Werte für das nutzbare Rohprotein am Duodenum (nXP) und das im Pansen unabbaubare (besser und treffender wäre der Begriff „unabgebaute“) Rohprotein (UDP) entwickelt, geprüft und etabliert. Im vorliegenden Beitrag wurden aktuelle Fortschritte in der Schätzung des Proteinwertes von Futtermitteln für Wiederkäuer durch Labormethoden vorgestellt. Hiermit konnten bereits Lücken in der bisherigen Datenbasis gefüllt und Begrenzungen im methodischen Ansatz überwunden werden. In beiden Bereichen ist jedoch eine intensive experimentelle Bearbeitung fortzusetzen, um Fortschritte hinsichtlich Erweiterung und Weiterentwicklung der Schätzung des Proteinwertes von Futtermitteln für Wiederkäuer erreichen zu können. Bezüglich der Kalkulation der Aminosäurenversorgung von Milchkühen sind noch grundsätzliche Festlegungen zu treffen, bevor eine auch unter anwendungsorientierten Gesichtspunkten erfolgversprechende und zügige Weiterentwicklung des derzeitigen Proteinbewertungssystems erwartet werden kann.

6. Literatur

- ADRIAN, J., 1974: Nutritional and physiological consequences of the Maillard reaction. *World Rev. Nutr. Diet.* 19, 71-122.
- AGUILERA, J.F., M. BUSTOS und E. MOLINA, 1992: The degradability of legume seed meals in the rumen: effect of heat treatment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 36, 101-112.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 1997: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- GOERING, H.K., C.H. GORDON, R.W. HEMKEN, D.R. WALDO, P.J. VAN SOEST und L.W. SMITH, 1972: Analytical estimates of nitrogen digestibility in heat damaged forages. *J. Dairy Sci.* 55, 1275-1280.
- HUYLER, M.T. und R.L. KINCAID, 1999: The relationship between intestinally available pro-

- tein and detergent insoluble protein of feedstuffs. Anim. Feed Sci. Technol. 78, 101-107.
- KUSUMANTI, E., M.R. WEISBJERG und T. HVELPLUND, 1996: A comparison between protein disappearance from the mobile bag and acid detergent solubility of nitrogen as estimates of protein digestibility in ruminants. J. Anim. Feed Sci. 5, 337-345.
- LEBZIEN, P., 1997: Zum Einfluss des Futterproteins auf das Aminosäuremuster des Proteins am Duodenum von Wiederkäuern. Übers. Tierernährg. 25, 137-153.
- LICITRA, G., T.M. HERNANDEZ und P.J. VAN SOEST, 1996: Standardization of procedures for nitrogen fractions of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 57, 347-358.
- LICITRA, G., F. LAURIA, S. CARPINO, I. SCHADT, C.J. SNIFFEN und P.J. VAN SOEST, 1998: Improvement of the *Streptomyces griseus* method for degradable protein in ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 72, 1-10.
- LICITRA, G., P.J. VAN SOEST, I. SCHADT, S. CARPINO und C.J. SNIFFEN, 1999: Influence of the concentration of the protease from *Streptomyces griseus* relative to ruminal protein degradability. Anim. Feed Sci. Technol. 77, 99-113.
- 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.
- OMBABI, A., K.-H. SÜDEKUM und F. TAUBE, 2001: Untersuchungen am Primäraufwuchs zweier Weidelgräser zur Dynamik der Veränderungen im Futterwert und der Futteraufnahme durch Schafe. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 85, 385-405.
- RAAB, L., B. CAFANTARIS, T. JILG und K.H. MENKE, 1983: Rumen protein degradation and biosynthesis. 1. A new method for determination of protein degradation in rumen fluid *in vitro*. Br. J. Nutr. 50, 569-582.
- SCHROEDER, G.E., L.E. ERASMUS, K.-J. LEE-UW und H.H. MEISSNER, 1996: The use of acid detergent insoluble nitrogen to predict digestibility of rumen undegradable protein of heat processed plant proteins. S. Afr. J. Anim. Sci. 26, 49-52.
- SHANNAK, S., K.-H. SÜDEKUM und A. SUSENBETH, 2000: Estimating ruminal crude protein degradation with *in situ* and chemical fractionation procedures. Anim. Feed Sci. Technol. 85, 195-214.
- 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, 3551-3561.
- SPIEKERS, H., K. HARDEBUSCH und E. PFEFFER, 1998: Vergleich der Proteinbewertungssysteme DVE und nXP in Milchleistungsfutter bei konstantem Rohproteingehalt je MJ NEL. VDLUFA-Schriftenreihe 49, Kongressband 1998, 441-444.
- STEINGASS, H., S. KELLER und W. DROCHNER, 2003: Das Konzept synchroner Rationsgestaltung für Milchkühe. Umsetzungsmöglichkeiten in Beratung und Praxis. In: 30. Viehwirtschaftliche Fachtagung "Rinderaufzucht, Milchviehfütterung, Schafhaltung, Ökonomik". BAL Gumpenstein, Irnding, 17-24.
- 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.
- SÜDEKUM, K.-H., 2001: Fachliche Grundlagen internationaler Futterbewertungssysteme für Milchkühe und Zukunftsperspektiven für die deutschen Empfehlungen (Energie, Protein, Aminosäuren). In: 28. Viehwirtschaftliche Fachtagung "Milchviehfütterung – Grundlagen und Praxisempfehlungen". BAL Gumpenstein, Irnding, 1-9.
- SÜDEKUM, K.-H., 2002: Proteinwert der Futtermittel. Symposium Stand und Perspektiven der Futterbewertung beim Wiederkäuer. BFT, Bonn, 48-53.
- SÜDEKUM, K.-H. und H. SPIEKERS, 2002: Raps- und Sojaextraktionsschrot neu bewertet/Reevaluation of rapeseed and soybean meal. Kraftfutter/Feed Magazine 85, 62-68
- SÜDEKUM, K.-H., D. NIBBE, H. STEINGASS, H. SPIEKERS und P. LEBZIEN, 2001: Untersuchungen zum Umfang und zur Geschwindigkeit des ruminalen Abbaus von Raps- und Sojaextraktionsschroten. 113. VDLUFA-Kongress, Berlin, Kurzfassungen der Vorträge, 115.
- SÜDEKUM, K.-H., H. SPIEKERS, S. SHANNAK und M. RODEHUTSCORD, 1998: Schätzung des Proteinwertes von Milchleistungsfutter und Grassilage unter Einbeziehung des *in sacco*-Abbaus. 110. VDLUFA-Kongress, Gießen, Kurzfassungen der Vorträge, 81.
- TILLEY, J.M.A. und R.A. TERRY, 1963: A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. Br. Grassl. Soc. 18, 104-111.
- UNIVERSITÄT HOHENHEIM – DOKUMENTATIONSTELLE, 1997: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- ZHAO, G.Y. und P. LEBZIEN, 2000: Development of an *in vitro* incubation technique for the estimation of the utilizable crude protein in feeds for cattle. Arch. Anim. Nutr. 53, 293-302.
- ZHAO, G.Y. und P. LEBZIEN, 2002: The estimation of utilizable amino acids (uAA) of feeds for ruminants using an *in vitro* incubation technique. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 86, 246-256.