

Mais und Maisnebenprodukte und ihre Bedeutung für die Protein- und Aminosäuren-versorgung von Wiederkäuern und Nicht-Wiederkäuern

Maize and maize by-products – relevance for protein and amino acid supply to ruminants and non-ruminants

Karl-Heinz Südekum

Institut für Tierwissenschaften, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Endenicher Allee 15,
53115 Bonn

Zusammenfassung

Maisfuttermittel für landwirtschaftliche Nutztiere werden primär durch Energiegehalte und spezifische Verdauungscharakteristika der wesentlichen energieliefernden Verbindungen definiert. Beim Wiederkäuer weisen diese Merkmale eine enge Beziehung zur Protein- und Aminosäurenversorgung auf, da der Umfang der mikrobiellen Proteinsynthese direkt von der Menge der in den Vormägen fermentierten organischen Masse abhängt. Die mikrobielle Synthese von (Roh-)Protein ist dort am höchsten, wo ein hoher Anteil der insgesamt verdaulichen Nährstoffe aus Maisprodukten in den Vormägen umgesetzt wird. Beim Nicht-Wiederkäuer hängt das Aminosäurenlieferungsvermögen von Maisfuttermitteln vom Aminosäurenmuster des Futterproteins und der praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeit ab. Weniger klar ist, in welchem Umfang Maisproteine selbst zur Aminosäurenversorgung des Wiederkäuers beitragen. Kenntnisse zum Anteil an pansenstabilem Rohprotein und dessen Aminosäurenmuster bei unterschiedlichen Verweildauern des Futters in den Vormägen sowie Daten zur Geschwindigkeit des ruminale Rohproteinabbaus helfen, die am besten geeignete Rohproteinergänzung festzulegen, um die bei den meisten Maisfuttermitteln ausgeprägt negative ruminale N-Bilanz auszugleichen.

Der Beitrag gibt gleichfalls Hinweise zu weiterem Forschungsbedarf mit dem Ziel einer noch weiter verbesserten Futterwertermittlung von Mais und Maisnebenprodukten.

Schlüsselwörter: Mais, Futtermittel, Protein

Abstract

The feeding value for farm animals of maize and its by-products is largely determined by means of energy concentration and specific digestive characteristics of the energy-yielding compounds. In ruminants, these characteristics are closely related to protein and amino acid supplies, because microbial crude protein synthesis depends on the amount of ruminally fermented organic matter. Microbial crude protein synthesis will be greatest when the rumen constitutes the major site of digestion of nutrients of maize products. The amino acid supply for non-ruminants from maize products is largely determined by the amino acid pattern of the feed protein and the praecaecal amino acid digestibility.

How much maize proteins can contribute to amino acid supply of ruminants, is less clear. Improved knowledge on the proportion of ruminally undegraded feed protein and its amino acid pattern at varying ruminal residence times, and data on the rate of ruminal crude protein degradation may aid in optimizing the protein supplementation to maize grain- and maize silage-based diets, which typically are deficient in ruminally degradable nitrogen sources. The paper also considers research requirements to further improve the feed evaluation of maize and maize by-products.

Key words: Maize, feedstuffs, protein

Einleitung

Mais wird in Form verschiedener Futtermittel in Rationen landwirtschaftlicher Nutztiere verwendet. Neben unterschiedlich technisch aufbereiteten Maiskörnern und kornbetonten Futtermitteln wie Korn-Spindel-Gemisch (corn-cob-mix, CCM) oder seltener Lieschkolbenschrotsilage werden Mais-Ganzpflanzensilagen (synonym Maissilagen) genutzt, die bei beachtlichen Stärkegehalten auch erhebliche Anteile pflanzlicher Gerüstsubstanzen (Cellulose, Hemicellulosen und Lignin) mit variablen Verdaulichkeiten enthalten. Des Weiteren spielen Maiskleberfutter sowie (in Europa relativ selten) Maisschlempen und Maiskleber eine Rolle, die wegen des teilweisen (Maiskleberfutter) bis nahezu vollständigen (Maiskleber) Entzuges der Stärke als mäßig bis sehr proteinreiche Futtermittel verwendet werden. Je mehr der Rohproteingehalt zu Lasten des Stärkegehaltes zunimmt, desto bedeutsamer wird auch der Beitrag von Maisfuttermitteln zur Protein- und Aminosäurenversorgung des Nutztieres. Im Nachfolgenden werden vorliegende Befunde beleuchtet und – vor allem – Lücken aufgezeigt, wobei der Schwerpunkt auf den Wiederkäuer gelegt wird und Nicht-Wiederkäuer am Beispiel Schwein nur mit einem kurzen Abschnitt gewürdigt werden.

Nicht-Wiederkäuer

Beim Nicht-Wiederkäuer hängen das Protein- und damit auch das Aminosäurenlieferungsvermögen von Maisfuttermitteln vom Aminosäurenmuster des Futterrohproteins und der praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeit ab. Je zuverlässigere Werte hierfür vorliegen, desto besser kann der erforderliche Ergänzungsbedarf an Protein und insbesondere an leistungsbegrenzenden Aminosäuren spezifiziert und in der Rationsgestaltung berücksichtigt werden. Angesichts der großen Bedeutung, die Mais und Maisnebenprodukte in der Schweinefütterung haben, ist es überraschend, dass für Maisfuttermittel insgesamt nur wenige Befunde zur (standardisierten) praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeit vorliegen (GfE, 2005), dem vor wenigen Jahren publizierten Bewertungsmaßstab für die Aminosäurenversorgung von Schweinen (GfE, 2006). Am günstigsten sieht die Situation noch für Körnermais aus, wo zwischen 12 (für Tryptophan) und 28 Datensätze vorliegen. Jedoch ist auch hier anzumerken, dass die zugrunde liegenden Publikationen vorwiegend aus den 90er-Jahren des vorigen Jahrhunderts stammen und die neuesten Arbeiten aus dem Jahre 2002, so dass mögliche Veränderungen in der Proteinqualität von Körnermais für Schweine, die z. B. durch züchterische Maßnahmen

bedingt sein könnten, im vorhandenen Datensatz keinesfalls zu erkennen sind. Für Maiskleberfutter und Maiskleber ist nur je ein Versuchsergebnis aufgeführt.

Noch auffälliger ist aber, dass es keine Angaben zur praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeit von CCM gibt, obwohl in vielen Regionen Deutschlands CCM-basierte Rationen in der (Mast-)Schweinefütterung eine bedeutende Rolle spielen und darüber hinaus Unterschiede in der Art und Qualität der Konservierung von CCM auch Auswirkungen auf die Proteinqualität für Schweine haben könnten. Da jedoch mit CCM-basierten Rationen regelmäßig und gut wiederholbar sehr gute Leistungen in der Schweinemast erzielt werden, liegt die Vermutung nahe, dass die Protein- und Aminosäureergänzungen zu diesen Rationen so hoch liegen, dass die mögliche Variation in der Proteinqualität von CCM keine negativen Auswirkungen zeigt. Es kann allerdings auch nicht ausgeschlossen werden, dass die Varianz der Proteinqualitäten weniger ausgeprägt ist als hier unterstellt wurde.

Im Hinblick auf eine noch effizientere und damit gleichzeitig ressourcenschonende Nährstoffverwertung sollte jedoch angestrebt werden, den Kenntnisstand über die praecaecalen Aminosäurenverdaulichkeiten von Maisfuttermitteln deutlich zu verbessern.

Wiederkäuer

Weil in den – an der verwendeten Menge gemessenen – bedeutendsten Maisfuttermitteln (Maissilage, Körnermais) Kohlenhydrate in Form von Stärke und Zellwandkohlenhydraten den größten Anteil an der Trockenmasse des Futtermittels ausmachen, werden Maisfuttermittel typischerweise vor allem anhand von Energiegehalten sowie spezifischen Verdauungscharakteristika der wesentlichen energieliefernden Verbindungen, insbesondere von Stärke, in den verschiedenen Abschnitten des Verdauungstraktes der Wiederkäuer definiert. Hierzu sei exemplarisch auf umfangreiche experimentelle Studien im Rahmen einer Kooperation von Arbeitsgruppen an der damaligen Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig und an der TU München in Weihenstephan (z. B. Ettle et al., 2002; Höner et al., 2002) sowie auf eine ausführliche Übersicht zur Bedeutung pansenstabiler Stärke für die Glucoseversorgung hochleistender Milchkühe (Matthé et al., 2000) verwiesen. In diesen und anderen Arbeitsgruppen weltweit wurden die Verdauungscharakteristika von Stärke und Zellwandverbindungen intensiv in Hinblick auf Einflussgrößen wie Sorte(ntyp), Entwicklungsstadien und Standort geprüft.

Umsetzungen in den Vormägen – energieabhängige mikrobielle Synthese

Die im vorhergehenden Absatz bereits erwähnten Energiegehalte sowie spezifischen Verdauungscharakteristika von Stärke und Zellwandkohlenhydraten (Cellulose, Hemicellulosen) in den verschiedenen Abschnitten des Verdauungstraktes weisen beim Wiederkäuer eine enge Beziehung zur Protein- und Aminosäurenversorgung auf. Der Umfang der mikrobiellen Aminosäuren- und Proteinsynthese hängt direkt von der Menge der in den Vormägen fermentierten organischen Masse ab. Deshalb ist generell die mikrobielle Synthese von (Roh-)Protein dort am höchsten, wo – bei gleichzeitig hoher Nährstoffverdaulichkeit der Maisprodukte im Gesamttrakt – ein hoher Anteil der verdaulichen Nährstoffe in den Vormägen umgesetzt wird. Somit kann der Beitrag der in Mikrobenmasse gebundenen Aminosäuren zur

Versorgung des Wiederkäuers nach üblicher Vorgehensweise je nach verwendetem Bewertungssystem und den darin vorgesehenen Bezugsgrößen aus den Gehalten in den Futtermitteln an fermentierter oder umsetzbarer Energie oder den Verdaulichkeiten (ruminal oder im Gesamttrakt) abgeleitet werden.

Umsetzungen in den Vormägen – ruminaler Rohproteinabbau

Nachfolgend werden ausgewählte Aspekte zu Umfang und Geschwindigkeit des ruminalen Rohproteinabbaus von Maisfuttermitteln skizziert. Es mag zunächst fraglich erscheinen, ob eine explizite Beschäftigung mit diesem Thema überhaupt lohnt, weil viele Maisprodukte wie Körnermais und Maissilage durch niedrige Rohproteingehalte gekennzeichnet sind. Bei maisbetonten Rationen für Wiederkäuer stammt jedoch ein erheblicher Teil des gesamten Futterrohproteins aus Mais, so dass Art und Umfang des ruminalen Abbaus sowohl die Bereitstellung von N-Verbindungen für die mikrobielle Synthese in den Vormägen als auch die Menge und Zusammensetzung des pansenstabilen Futterrohproteins (undegraded dietary protein, UDP) beeinflussen.

Cooper et al. (2002) untersuchten an Mastrindern bei Rationen mit 90 % Konzentratanteil, wie sich das Quetschen von trockenem Körnermais oder Feuchtmals verglichen mit Dampfflockieren („steam-flaking“) auf das Geschehen im Verdauungstrakt auswirkt. Feuchtmalsfütterung führte bei annähernd isonitrogenen Rationen gegenüber den beiden anderen Varianten zu mittleren Ammoniak-Gehalten in der Pansenflüssigkeit und einem höheren bakteriellen Rohproteinfluss in den Dünndarm. Diese Befunde geben den deutlichen Hinweis, dass Futterbehandlungsmaßnahmen wie das Quetschen von Maiskörnern unterschiedlicher Feuchtegehalte oder das Dampfflockieren, die primär Geschwindigkeit und Umfang der Stärkeverdauung beeinflussen, auch den Proteinwert dieser Futtermittel verändern können.

Michalet-Doreau und Doreau (1999) haben aus einer umfangreichen Literaturobwertung abgeleitet, dass eine bestimmte Fraktion des Maisproteins, nämlich die (α , β , δ)-Zeine, eine enge Beziehung zum ruminalen Stärkeabbau aufweist. Die Gehalte an Zeinen relativ zum Stärkegehalt (g Zeine/kg Stärke) sind bei Hartmaistypen häufig höher als bei Zahnmaistypen, aber innerhalb dieser Maistypen gibt es ebenfalls eine erhebliche Variation der Werte (siehe Michalet-Doreau und Doreau, 1999). Je höher nun der Anteil an (α , β , δ)-Zeinen relativ zum Stärkegehalt bei Körnermais war, desto geringer war der Umfang des ruminalen Stärkeabbaus (Michalet-Doreau und Doreau, 1999). Verursacht wurde dieser Effekt vermutlich dadurch, dass der langsame und unvollständige Abbau der Matrixproteine – und insbesondere der Zeine – auch den Stärkeabbau verzögerte. Dass dieser postulierte Zusammenhang nicht nur im Körnermais, sondern auch in Maissilagen von Bedeutung sein könnte, zeigt eine Studie an Schafen von Verbic und Babnik (1998). Die Autoren untersuchten den Nährstoffabbau in den Vormägen sowie im postruminalen Verdauungstrakt von Silagen des Zahn- oder Hartmaistyps und stellten fest, dass der Umfang des ruminalen Stärke- und Rohproteinabbaus für den Hartmaistyp geringer ausfiel als für den Zahnmaistyp (Tabelle 1).

Dieser Befund ist für das Rohprotein bemerkenswert, weil offensichtlich der mit dem Siliervorgang grundsätzlich verbundene partielle Abbau von Proteinen diese „Schutzwirkung“ nicht oder nicht nennenswert beeinflusste.

Ob dieser zumindest für Maissilagen bisher nur auf den zitierten Einzelbefunden beruhende Gleichklang zwischen ruminalem Stärke- und Rohproteinabbau verallgemeinerungsfähig ist, sollte geprüft werden. Dies bedeutet zunächst, dass überall dort, wo vergleichend für mehrere Sorten, Hybriden oder Sortentypen der ruminale Stärkeabbau ermittelt wird, auch der Rohproteinabbau geschätzt werden sollte. Bei hinreichender Übereinstimmung in den beiden Merkmalen ließe sich dann später möglicherweise der ruminale Rohproteinabbau aus dem Stärkeabbau schätzen, so dass sowohl die Stickstoff-Versorgung der Mikroorganismen als auch der UDP-Anteil am Rohprotein damit beschrieben werden könnten.

Tabelle 1: Stärke- und Rohproteinabbau in den Vormägen sowie im postruminalen Verdauungstrakt von Silagen des Zahn- oder Hartmaistyps bei Schafen (Verbic und Babnik, 1998)

Merkmal	Zahnmais	Hartmais	Signifikanz
Rohprotein			
Ruminaler Abbau (%)	77	70	p < 0,001
Postruminale Verdaulichkeit (% des UDP)	70	80	NS
Mikrobielle Rohproteinsynthese (g/kg TM)	99	114	p < 0,05
Stärke			
Ruminaler Abbau (%)	92	75	p < 0,001
Postruminale Verdaulichkeit (% der beständigen Stärke)	96	94	NS

NS: Nicht signifikant (p > 0,05); TM: Trockenmasse; UDP: pansenstabiles Futterrohprotein (undegraded dietary protein)

Bei höheren UDP-Anteilen, wie sie bisher vor allem für Maiskleberfutter und insbesondere Maiskleber berichtet wurden, wird auch für den Wiederkäuer das Aminosäuremuster des Futterproteins bzw. des UDP sowie die Verdaulichkeit des UDP im Dünndarm eine Größe, die – analog der Vorgehensweise beim Schwein – nicht unbeachtet bleiben sollte. Für Maissilagen gibt es bisher zu diesem Komplex nur vereinzelte Befunde aus europäischen Nachbarländern (Niederlande: van Straalen et al., 1997; Dänemark: Hvelplund et al., 2001; Schweiz: Kröber et al., 2000; Kröber et al., 2001), die noch keine hinreichende Datenbasis bilden.

In einer kanadischen Studie an Mais- und Grassilagen sowie Gras- und Luzerneheu aus der Praxis wurde der Frage nachgegangen, wie variabel der Umfang des ruminalen Rohproteinabbaus ist (von Keyserlingk et al., 1996). Mittels einer *in situ*-Methode wurde gezeigt, dass sowohl unterschiedliche Rohproteinfraktionen (A: löslich; B: unlöslich, aber ruminal abbaubar) als auch der effektive Abbau bei einer unterstellten Passagerate von 6 %/h eine erhebliche Streuung mit teils signifikanten Differenzen zwischen einigen der Silagen aufwiesen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Variation des ruminalen Rohproteinabbaus von Maissilagen (n = 12; von Keyserlingk et al., 1996)

Kenngroße	Minimum	Maximum	Mittelwert
Fraktion A (%)	44	75	63**
Fraktion B (%)	11	45	24**
c (%/h)	2,9	11,1	6,3
LAG (h)	0	21,3	4,4**
Effektiver ruminaler Abbau (%; Passagerate 6 %/h)	63	80	73**

** : Signifikante Differenzen ($p < 0,01$) zwischen mindestens zwei der geprüften Silagen

Wird der Mittelwert des effektiven ruminalen Rohproteinabbaus der 12 Silagen (73 %) zur Abschätzung des UDP-Anteils am Rohprotein verwendet (100 - 73), so stimmt dieser Wert (27 %) gut mit dem in den DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle, 1997) für Maissilagen ausgewiesenen Wert überein.

Kruczyńska et al. (2001) untersuchten an Maissilagen aus sechs verschiedenen Sorten den Einfluss unterschiedlicher Schnitthöhe bei der Ernte (10 - 12 cm gegenüber 50 cm) auf den ruminalen Nährstoffabbau (Tabelle 3).

Für den effektiven ruminalen Abbau des Rohproteins und der Stärke waren die Sortenunterschiede geringer ausgeprägt als die Schnitthöheneffekte. Bei größerer Stoppellänge waren bei den meisten Sorten (dargestellt sind in Tabelle 3 zwei typische Sorten) sowohl der ruminale Stärke- als auch der Rohproteinabbau gleichgerichtet um 2 bis 6 Prozentpunkte geringer. Diese Ergebnisse unterstützen erneut die schon weiter oben angesprochene Beobachtung, dass der Umfang der Verdauung von Stärke und Rohprotein in den Vormägen positiv korreliert sind.

Tabelle 3: Effektiver Stärke-, Rohprotein- und Zellwandabbau (in %) in den Vormägen von Maissilagen unterschiedlicher Sorten bei variiertem Schnitthöhe (Kruczyńska et al., 2001)

Variable	Sorte				
	Rasant		...	Magister	
	10-12 cm	50 cm		10-12 cm	50 cm
Stärke	87	81	84	79	
Rohprotein	87	81	84	80	
NDF	65		68		

NDF: Neutral-Detergenzienfaser

In einer neueren slowakischen Arbeit wurde vergleichend an den Körnern von Mais, Weizen und Gerste der Einfluss unterschiedlicher Partikelgrößen (Angaben in mm: < 1,4; 1,5 - 2,5; 2,6 - 3; > 3,0) auf den *in situ*-Rohproteinabbau im Pansen untersucht (Kopčková et al., 2008).

Der effektive ruminale Rohproteinabbau für den Körnermais betrug 28 (> 3,0 mm) bis 59 % (< 1,4). Diese Ergebnisse unterstreichen, dass nicht nur die Stärke-, sondern auch die Rohproteinverdauung in den Vormägen durch die Partikelgröße der Körner erheblich beeinflusst werden kann und deshalb der Partikelgröße oder Partikelgrößenverteilung bei allen Maisfuttermitteln größeres Augenmerk als bisher zukommen sollte.

Umsetzungen in den Vormägen – Ausblick

Wenn die bisherigen Einzelbefunde zum Umfang und zur Geschwindigkeit des Rohproteinabbaus in den Vormägen durch systematische Studien sinnvoll ergänzt werden, dann ist zu hoffen, dass in Zukunft auch für Maisfuttermittel, und hier insbesondere die Maissilagen, die Variationen der Nährstoff-Freisetzung im Pansen im Tagesverlauf berücksichtigt werden können. Dies könnte dann dazu führen, die Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese in den Vormägen durch synchrone, d. h. gleichzeitige, Bereitstellung energie- und stickstoffliefernder Verbindungen für die Mikroorganismen so zu steigern, dass eine noch effizientere, damit gleichzeitig ressourcenschonende Nährstoffverwertung auch für Maisprodukte beim Wiederkäuer ermöglicht wird, analog den für das Schwein angestellten Überlegungen.

Das Konzept des Synchronismus beruht darauf, dass Informationen hinsichtlich Menge und zeitlichem Verlauf des Kohlenhydrat- und Rohproteinabbaus im Pansen so aufeinander abgestimmt („synchronisiert“) werden, dass eine maximale Effizienz der mikrobiellen Synthese erreicht wird. Dieses Konzept, das bisher vor allem an Futtergräsern in frischer und silierter Form (siehe Tamminga und Südekum, 2000) sowie Grassilage-basierten Rationen ausgearbeitet und geprüft wurde, ist in Abbildung 1 exemplarisch für Frischgras und Grassilage dargestellt. Die Datenlage für Maisganzpflanzen in unsilierter und silierter Form erlaubt eine gleichermaßen abstrahierende Darstellung (bisher noch) nicht.

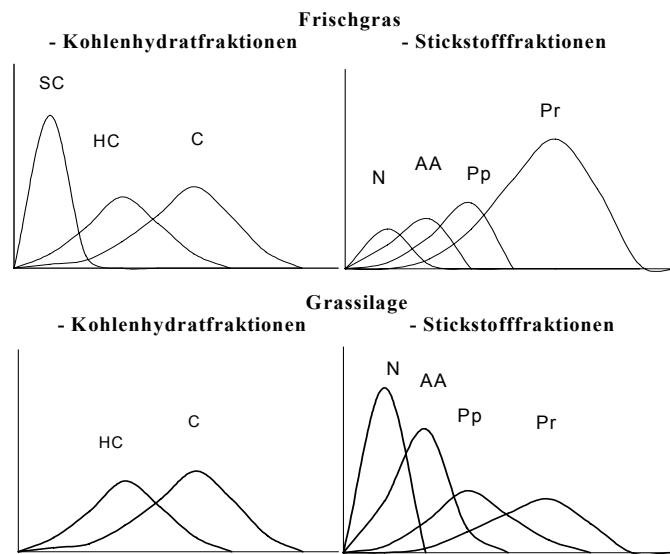


Abbildung 1: Theoretische Betrachtung der ruminalen Freisetzung von Kohlenhydraten und Stickstoff nach einmaliger Fütterung von Futterpflanzen in frischer oder siliierter Form (Beever, 1993). Die x-Achse ist die Zeitachse nach Fütterung, auf der y-Achse ist eine Massenangabe (z. B. Gramm oder Kilogramm) zu wählen. SC = lösliche Kohlenhydrate, HC = Hemicellulosen, C = Cellulose, N = Nicht-Amino-N-Verbindungen, AA = Aminosäuren, Pp = Peptide, Pr = Reinprotein.

Schlussfolgerungen

Zur Bedeutung von Mais und Maisnebenprodukten für die Protein- und Aminosäurenversorgung von Schweinen und Wiederkäuern kann festgehalten werden, dass

- (1) eine erhebliche Variation in den Verdauungscharakteristika vorhanden ist;
- (2) die Quantifizierung der Variation und der potenziellen Effekte systematische experimentelle Studien erfordert und
- (3) die Verdauung von Stärke, Zellwandfraktionen und (Roh-)Protein in identischen Futtermitteln untersucht werden sollte, um belastbare Ergebnisse erarbeiten zu können.

Literatur

- Beever, D.E. (1993): Rumen function. In: Forbes, J.M., France, J. (eds) Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. CAB International, Wallingford. pp 187-218
- Cooper, R.J., Milton, C.T., Klopfenstein, T.J., Scott, T.L., Wilson, C.B., Mass, R.A. (2002): Effect of corn processing on starch digestion and bacterial crude protein flow in finishing cattle. *J. Anim. Sci.* 80:797-804
- Ettle, T., Schwarz, F.J., Lebzien, P., Flachowsky, G. (2002): Futterwert von Silagen aus unterschiedlichen Maishybriden und ihr Einfluss auf Leistungskriterien von Milchkühen. *Landbauforsch. Völkenrode* 52:157-165
- GfE (2005): Communications of the Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology. Standardised praecaecal digestibility of amino acids in feedstuffs for pigs – methods and concepts. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 14:185-205

- GfE (2006): Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlag, Frankfurt/Main
- Höner, K., Lebzien, P., Ettle, T., Schwarz, F.J., Flachowsky, G. (2002): Einfluss von Silagen aus unterschiedlichen Maishybriden auf die Umsetzungen im Verdauungstrakt von Kühen. *Landbauforsch. Völkenrode* 52:149-156
- Hvelplund, T., Misciatelli, L., Weisbjerg, M.R. (2001): Supply of the dairy cow with amino acids from dietary protein. *J. Anim. Feed. Sci.* 10 (Suppl 1):69-85
- Kopčėková, J., Čerešňáková, Z., Šimko, M., Flak, P., Mlyneková, Z. (2008): Effect of physical processing of cereals on rumen crude protein degradability. *Slovak. J. Anim. Sci.* 41:160-165
- Kröber, T.F., Kreuzer, M., Senn, M., Langhans, W., Sutter, F. (2000): Lactational and metabolic effects in cows of lysine and methionine added to a ration deficient according to the I.N.R.A. method. *Arch. Anim. Nutr.* 53:375-394
- Kröber, T.F., Sutter, F., Senn, M., Langhans, W., Kreuzer, M. (2001): Effects of supplying leucine and methionine to early-lactating cows fed silage-concentrate based diets with a calculated deficiency in leucine and methionine. *Anim. Res.* 50:5-20
- Kruczyńska, H., Darul, K., Nowak, W., Kowalik, I. (2001): The chemical composition and ruminal degradability of maize silages depending on the cultivar and mowing height at harvest. *J. Anim. Feed Sci.* 10 (Suppl 2):331-337
- Matthé, A., Lebzien, P., Flachowsky, G. (2000): Zur Bedeutung von Bypass-Stärke für die Glucoseversorgung von hochleistenden Milchkühen. *Übers. Tierernährg* 28:1-64
- Michalet-Doreau, B., Doreau, M. (1999) : Maize genotype and ruminant nutrition. *Sci. Aliments* 19:349-365
- Tamminga, S., Südekum, K.-H. (2000): Optimize feeding value of forage protein. In: Søgaard, K., Ohlsson, C., Sehested, J., Hutchings, N.J., Kristensen, T. (eds) *Grassland farming. Balancing environmental and economic demands. Grassland Science in Europe Vol. 5.* pp143-156.
- Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle (Hrsg.) (1997): DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main
- van Straalen, W.M., Odinga, J.J., Mostert, W. (1997): Digestion of feed amino acids in the rumen and small intestine of dairy cows measured with nylon-bag techniques. *Br. J. Nutr.* 77:83-97
- Verbic, J., Babnik, D. (1998): Physiological investigations of the feed value of forage maize. Bericht 25. Viehwirtschaftliche Fachtagung der BAL Gumpenstein, Irdning, 19.-20. Mai 1998. pp 67-71
- von Keyserlingk, M.A.G., Swift, M.L., Puchala, R., Shelford, J.A. (1996): Degradability characteristics of dry matter and crude protein of forages in ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57:291-311