

Aminosäurenverdaulichkeit als ein Futterwertkriterium in der Geflügelfütterung: Methodische Aspekte zur Messung

Prof. Markus Rodehutscord und Dr. Holger Kluth (Halle-Wittenberg)

1. Einleitung

Die Optimierung der Versorgung mit Rohprotein (XP) und Aminosäuren (AS) ist ein andauerndes Anliegen der Forschung in der Geflügelnahrung. Zwei Komplexe sollten hier unterschieden werden, auch wenn sie für die Mischfutteroptimierung letztlich immer gemeinsam betrachtet werden müssen. Der eine beinhaltet die Aspekte des Bedarfes der Tiere mit seinen Teilfaktoren, die Modellierung von Wachstum und Proteinansatz und dessen kontinuierliche Anpassung an die Entwicklung des Tiermaterials. Den zweiten Komplex macht die möglichst präzise Bewertung der Futtermittel aus. Hiermit befasst sich der vorliegende Beitrag.

Die Bewertung von Futterproteinen hat seit der Etablierung von hinreichend präzisen und routinemäßig durchführbaren AS-Analysen einen relativ hohen Genauigkeitsgrad erreicht. Verfahren zur Schätzung von AS-Gehalten mittels NIRS oder auf der Grundlage von Korrelationen zum Rohproteingehalt (NRC, 1998) erleichtern das Vorgehen in der Routine, sind jedoch mit verfahrensabhängigen Schätzfehlern verbunden. Die Eignung verschiedener Proteine für das Tier kann aber mit diesen „Brutto“werten allein nicht beurteilt werden. Die bekanntermaßen vorhandenen, aber noch nicht ausreichend quantifizierten Unterschiede in der Verdaulichkeit ziehen daher in Systemen auf Basis von Brutto-AS einen gewissen Sicherheitszuschlag nach sich. Je höher der Anteil von freien AS im Futter ist, desto bedeutender werden diese Unterschiede; denn freie AS werden im Gegensatz zu AS aus Proteinen vollständig absorbiert (CHUNG und BAKER, 1992).

Eine differenzierende Futterbewertung unter Einbeziehung von Messungen mit Tieren bedeutet im Vergleich zur rein chemisch-analytischen Bewertung einen erheblichen Mehraufwand. Als Maßstab für die „Ausnutzung“ eines Proteins oder einer AS durch das Tier werden verschiedene Messgrößen verwendet. Unter den quantitativen Größen sind es z. B. die Verwertung (definiert als Ansatz im Tierkörper in Relation zur Aufnahme) und die Verdaulichkeit (definiert als der nicht im Kot wiedergefundene Anteil der aufgenommenen Menge). Sobald solche Messungen mit dem Ziel der **Futterbewertung** vorgenommen werden, sind Standardisierungen erforderlich. Denn der Futterwert soll grundsätzlich die Kapazität oder das Potenzial beschreiben, das einem Futter zugeordnet werden kann. Wird dieses Potenzial mit Tieren bestimmt, ist bei der Messung auf eine möglichst weitgehende Ausschaltung (oder Standardisierung) von Regulationsmechanismen des Tieres zu achten. Dies ist auf der Basis der Verdaulichkeit eher realisierbar als auf Basis der Verwertung. Länger zurückliegende Untersuchungen zur N-Ausscheidung legten bereits nahe, dass es eine nennenswerte Anpassung der Absorptionsraten für AS und Dipeptide an die Höhe der Proteinaufnahme nicht gibt (MITCHELL und BERT, 1954; KRAWIELITZKI und BOCK, 1976). Die Anzahl von Publikationen zur AS-Verdaulichkeit hat daher in den letzten Jahren stark zugenommen. Beim Schwein werden Futterbewertung und Bedarfsableitung für AS teilweise bereits unter Einbeziehung der Verdaulichkeit vorgenommen (z. B. NRC (1998). Die Empfehlungen des Ausschusses für Bedarfsnormen (GfE, 2002) machen allerdings deut-

lich, wie sehr die Aussagefähigkeit und **Vergleichbarkeit von Messwerten** zur Verdaulichkeit von der Beachtung verschiedener Standards abhängt. Dies gilt in gleicher Weise für das Geflügel.

2. Messung der Verdaulichkeit

Unter „Verdaulichkeit“ wird allgemein der Anteil der Aufnahme verstanden, der nicht wieder mit dem Kot ausgeschieden wird. Aufgrund der anatomischen Gegebenheiten ist beim Geflügel eine getrennte Erfassung des Kotes aber bekanntermaßen schwierig. Zudem ist zweifelhaft, ob die Ausscheidung von AS mit dem Kot eine geeignete Grundlage für die Futterbewertung sein kann. Es wurden daher unterschiedliche Wege bei der Messung von Verdaulichkeiten beschritten, wodurch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt ist.

Prinzipiell können die Exkremate und der Ileumchymus untersucht werden. Im letzteren Fall wird die Verdaulichkeit bis zum Ende des Ileums betrachtet. Im deutschen Sprachraum hat sich dementsprechend der Begriff **prae-caecale Verdaulichkeit** (pcVQ) durchgesetzt. Das englische Synonym hierfür ist „ileal digestibility“.

2.1 Messung auf Basis der Exkremate

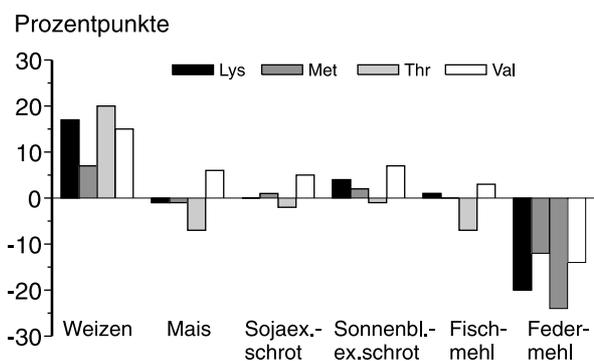
Die Sammlung und Analyse der **Exkremate** hat zwei wesentliche Vorteile: sie ermöglicht quantitative Aussagen und ist relativ einfach in Bilanzkäfigen möglich. Eine Tötung der Tiere ist nicht erforderlich. Häufig findet sich in der Literatur das von SIBBALD (1979) vorgeschlagene Schnellverfahren. Hierbei wird Hähnen nach Nüchternung eine Einmaldosis des zu untersuchenden Futters verabreicht und die Exkremate werden anschließend über 48 Stunden quantitativ gesammelt. Mit Paralleltieren werden häufig zusätzlich die N-Ausscheidungen bei Futterentzug bzw. N-freier Diät bestimmt. Dieses Verfahren erwies sich wegen seines relativ geringen Aufwandes und der Standardisierung für vergleichende Untersuchungen als vorteilhaft. Wegen des Einflusses der Mikroflora, der unphysiologischen Verhältnisse (Nüchternung) sowie wegen des Alterseffektes (s. unten) ist diese Methode aber kaum geeignet, wenn das Ziel die Bestimmung eines absoluten Futterwertes ist.

Diese Kritik zielt also nicht primär auf die geringen Mengen an AS, die im Harn enthalten sein können. Der renale Beitrag zur N- und AS-Ausscheidung kann nach operativem Verlegen des Darmausgangs (Colostomie) ausgeschaltet werden (GRUHN und ZIEGER, 1969). Wesentlicher erscheint, dass die post-ileale Mikroflora die AS-Zusammensetzung der Exkremate beeinflusst. Es kommt sowohl zur Hydrolyse von im Dünndarm nicht verdauten Proteinen und zum Abbau von Aminosäuren als auch zur Neusynthese mikrobiellen Proteins. Der erste Fall führt zu einer Überschätzung des Proteinwertes, der zweite zu einer Veränderung im AS-Muster des ausgeschiedenen Proteins, möglicherweise auch zu verminderten Verdaulichkeitswerten. In Untersuchungen mit ausgewachsenen kolostomierten Hennen zeigten BERGER und Mitarbeiter (1984), dass der Anteil des Reinproteins am Rohprotein des Kotes mit zunehmender Aufnahme an

fermentierbaren Substanzen zunahm. Sie sehen dies als eine Konsequenz zunehmender Anteile von Nucleinsäuren und Proteinabbauprodukten. Hähne, bei denen die Blinddärme operativ entfernt waren, wiesen geringere Verdaulichkeitswerte auf als intakte Hähne (ANGKANAPORN et al., 1997a). Diese Unterschiede waren ebenfalls von der Zusammensetzung der Futtermischung abhängig.

Aufgrund der Ergebnisse einer vergleichenden Studie mit 12 verschiedenen Einzelkomponenten schlussfolgerten RAVINDRAN und Mitarbeiter (1999), dass die post-ilealen mikrobiellen AS-Umsetzungen erheblich sein können (Abb. 1). Dabei sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Messorten keineswegs über die Futtermittel konsistent. Man darf vermuten, dass sie mit zunehmendem Anteil fermentierbarer Kohlenhydrate oder schlecht verdaulichen Proteins größer werden.

Abbildung 1: Differenz in der Verdaulichkeit von Aminosäuren ausgewählter Einzelkomponenten bei unterschiedlichen Entnahmeorten (Ileumchymus minus Exkremente; nach RAVINDRAN et al. (1999))



Messungen im Ileumchymus sind daher für vergleichende Messungen des Futterwertes besser geeignet (BERGER et al., 1984; Ten DOESCHATE et al., 1993; RAVINDRAN et al., 1999; KADIM et al., 2002). In Ländern oder Regionen, in denen sehr viele Einzelkomponenten in die Mischfütteroptimierung einbezogen werden, ist dies vermutlich von größerer Bedeutung als in Regionen in denen eine Beschränkung auf Mais und Sojaextraktionsschrot anzutreffen ist.

2.2 Messung der praecaecalen Verdaulichkeit - Einflussfaktoren

2.2.1 Darmabschnitt

In Untersuchungen mit Schweinen ist es nach operativer Behandlung der Tiere üblich, den Chymus am Ende des Ileums der lebenden Tiere entweder quantitativ oder stichprobenartig zu gewinnen (GfE, 2002). Dies impliziert, dass die Dünndarmverdauung abgeschlossen ist. Bei ausgewachsenen Hühnern ist das Einsetzen einer T-Kanüle in das Ileum (JOHNS et al., 1986) prinzipiell in ähnlicher Weise möglich. Bei einer entsprechend intensiven Pflege der Kanülen und Betreuung der Versuchstiere können diese dann über einen längeren Zeitraum genutzt werden. In neueren Arbeiten ist jedoch mehr Wert auf das Arbeiten mit wachsenden Broilern gelegt worden, bei denen operative Eingriffe angesichts der kurzen Wachstumsphase kaum praktikabel sind.

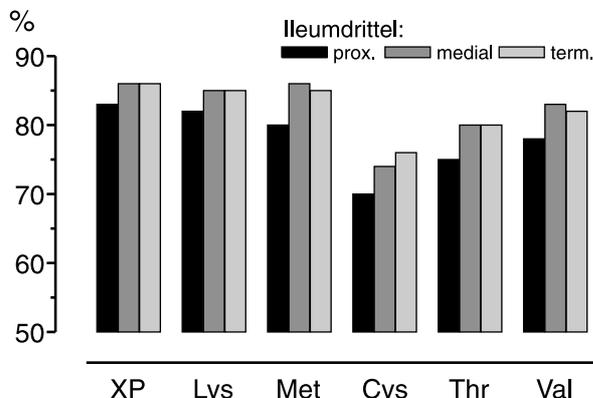
Als Alternative hat die Gewinnung von Chymus unmittelbar nach Tötung der Tiere weite Verbreitung gefunden. Bei Zusatz von unverdaulichen Markern zum Futter (z. B. Titandioxid, Chromoxid, salzsäureunlösliche Asche) wird die Veränderung des Verhältnisses von Marker zu AS in Futter und Chymus zur Ermittlung der Verdaulichkeit herangezogen.

Im Gegensatz zu einer Sammlung über einen längeren Zeitraum handelt es sich hier also um eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Tötung der Tiere. Da bei dieser Vorgehensweise zur Gewinnung einer hinreichend großen Probenmenge üblicherweise der Chymus von mehreren Tieren gepoolt wird, kann der tierindividuelle Einfluss allerdings nicht zum Ausdruck kommen.

Die Vorgehensweise bedeutet auch, dass ein Abschnitt des terminalen Dünndarms zu definieren ist, aus dem die Chymusprobe entnommen wird. Verschiedene Arbeitsgruppen sind hier unterschiedlich vorgegangen, definieren aber überwiegend das Meckelsche Diverticulum als den Beginn des Ileums (SIRIWAN et al., 1993). Folgende Beschreibungen sind für die beprobten Abschnitte zu finden: die letzten 10 cm (JOHNS et al., 1986) oder 15 cm (KADIM und MOUGHAN, 1997b) des Ileums, distale Hälfte des Ileums (RAVINDRAN et al., 2001), distale Hälfte des Abschnittes zwischen Meckel's Diverticulum und dem Übergang vom Ileum in Colon/Caeca (ÜICC) (PERTILÄ et al., 2002), Meckel's Diverticulum bis 15 cm (NAMKUNG und LEESON, 1999), 4 cm (YI et al., 1996), 2 cm vor (RODEHUTSCORD et al., 2004) oder bis direkt zum ÜICC (SHORT et al., 1999; SNOW et al., 2003), terminale Hälfte des Ileums abzüglich der letzten 4 cm vor dem ÜICC (RAVINDRAN et al., 1999).

Diese Unterschiede im beprobten Darmabschnitt dürften dann ignoriert werden, wenn sicher wäre dass die AS-Absorption am Beginn des Ileums abgeschlossen ist. Sie dürften auch dann vernachlässigt werden, wenn es innerhalb einer Studie nur auf die Relation der Behandlungen zueinander ankommt. So sind beispielsweise viele Versuche zur Beeinflussung der AS-Verdaulichkeit durch Enzymzusätze durchgeführt worden (YI et al., 1996; SEBASTIAN et al., 1997; HEW et al., 1998; MARTIN et al., 1998; NEWKIRK und CLASSEN, 2001; RUTHERFURD et al., 2002; SNOW et al., 2003). Wenn es aber um die Verdaulichkeit im Sinne des Futterwertes geht (also um die Kapazität) sollte der Darmabschnitt so gewählt sein, dass tatsächlich von abgeschlossener AS-Absorption ausgegangen werden kann. KLUTH und RODEHUTSCORD (2004) unterteilten den Abschnitt zwischen Meckel's Diverticulum und 2 cm vor dem ÜICC in drei gleichlange Teile. Dabei ergab sich, dass zwischen dem mittleren und dem terminalen Teil des Ileums keine signifikanten Veränderungen in der pcVQ mehr auftraten. Im vorderen Drittel waren die Werte aber um 3 bis 6 Prozentpunkte geringer als in den weiter hinten gelegenen Abschnitten des Ileums (Abb. 2). Bei einer weiteren Unterteilung des terminalen Drittels des Ileums wurden keine wesentlichen Unterschiede in den Verdaulichkeitswerten zwischen den Teilen gefunden (SUMMERS und ROBBLEE, 1985; Ten DOESCHATE et al., 1993). Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen KADIM und MOUGHAN (1997a) auf der Basis von Messungen zur N-Verdaulichkeit. Es kann hieraus die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die gemessenen Verdaulichkeiten dann als Kapazität des Futters interpretiert werden können, wenn mindestens das vordere Drittel des Ileums nicht beprobt wurde. Die letzten 2 bis 4 cm vor dem ÜICC werden nicht beprobt, damit mögliche Rückflüsse von Darminhalt aus dem postilealen Teil nicht erfasst werden.

Abbildung 2: Verschwindensrate ausgewählter Aminosäuren aus dem Ileum, gemessen in drei Abschnitten bei Einsatz von Sojaextraktionsschrot und Erbsen als den wesentlichen Proteinträgern (KLUTH und RODEHUTSCORD, 2004)



Die alternative Angabe definierter Längen des zu beprobenden Ileumabschnittes bringt keine zusätzliche Genauigkeit, da die tierindividuellen Unterschiede in der Länge des Abschnittes zwischen Meckel's Diverticulum und dem ÜICC auch bei gleichem Alter oder gleicher LM sehr groß sind.

2.2.2 Chymusgewinnung

Die Gewinnung des Chymus aus dem Darm erfolgt entweder mit Druck durch sanftes Ausstreifen oder durch Ausspülen mit destilliertem Wasser. Solange nicht untersucht ist, ob Epithel- oder Sekreteinträge, die möglicherweise beim Ausstreifen auftreten, die Messergebnisse beeinflussen können, sollte diese Vorgehensweise nicht angewendet werden.

2.2.3 Tötung/Betäubung der Tiere

Geringfügige Unterschiede in der pcVQ der Aminosäuren wurden festgestellt, wenn die Ileumentnahme entweder nach Betäubung mit Halothan oder nach cervikaler Dislokation durchgeführt wurde (im Durchschnitt der AS 1 Prozentpunkt) (SUMMERS und ROBBLEE, 1985). Peristaltische Bewegungen, die post mortem bei den mit Dislokation getöteten, nicht aber bei den zuvor betäubten Tieren beobachtet wurden, könnten diesen Unterschied hervorgerufen haben.

2.2.4 Standardisierung der Fütterung bzw. der Futtervorlage

Es gibt Unterschiede in der Vorgehensweise bei der Futtervorlage und dem Zeitintervall zwischen Fütterung und Probengewinnung aus dem Ileum. Wenn nach 24-stündiger Nüchterung und anschließender einmaliger Futtergabe die Chymusproben 2, 3, 4, 5 oder 6 Stunden nach der Fütterung entnommen wurden, ergab sich nur für wenige der untersuchten Proteinträger ein Unterschied in der pcVQ des Stickstoffs (maximal 4 Prozentpunkte) (KADIM und MOUGHAN, 1997a). In den Fällen, in denen ein Unterschied auftrat, war die Verdaulichkeit 4 Stunden nach der Fütterung am höchsten. In einer Folgestudie war ein

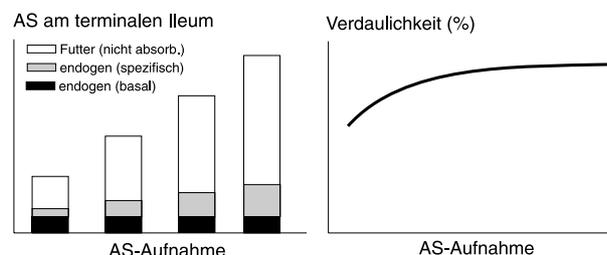
Einfluss der Dauer einer Nüchterungsperiode (0, 12 oder 24 Stunden) auf die pcVQ des Stickstoffs nicht erkennbar (KADIM und MOUGHAN, 1997b). Ein Effekt einer vorangehenden Nüchterung scheint allerdings darin zu bestehen, dass die tierindividuellen Unterschiede in der pcVQ geringer werden. Dies hat umso weniger Relevanz, je mehr Tiere zur Gewinnung der Chymusprobe gepoolt werden. In den eigenen Untersuchungen zur pcVQ verzichten wir daher auf eine Nüchterungsperiode.

2.2.5 Berücksichtigung der endogenen Ausscheidungen von Aminosäuren

Aminosäuren, die das terminale Ileum erreichen, können unterschiedlichen Ursprungs sein. Ein Teil sind die nicht absorbierten AS aus dem Futter, ein anderer die auf endogene Sekretion zurückgehenden Aminosäuren. Die letzteren werden üblicherweise in die „basalen“ und die „spezifischen“ Ausscheidungen unterteilt. Es werden im Folgenden die Konsequenzen für die Bestimmung der pcVQ dargestellt. In ähnlicher Weise gelten diese Betrachtungen, wenn Verdaulichkeitsmessungen auf der Basis der Gesamtausscheidungen durchgeführt werden.

Weder die Menge noch das AS-Muster des endogenen Proteins ist konstant. Während die basalen endogenen Ausscheidungen im Wesentlichen als eine Funktion der Höhe des Futtermittels angesehen werden, sind die spezifischen Ausscheidungen von der Menge und der Herkunft des untersuchten Proteinträgers abhängig. Einflussfaktoren sind z. B. die Verdaulichkeit, der Anteil von Faserfraktionen, Nicht-Stärke-Polysacchariden und damit die Viskosität des Chymus, oder antinutritive Faktoren (ANGKANAPORN et al., 1997b; DÄNICKE et al., 2000; SOUFFRANT, 2001). Die basalen endogenen Ausscheidungen sind daher als unabhängig von der Aufnahme eines Proteinträgers anzusehen, während die spezifischen mit zunehmender Aufnahme des Proteinträgers ansteigen. Dies ist in Abbildung 3 skizziert. Für die ermittelte pcVQ bedeutet dies, dass sie wegen des geringer werdenden Anteils der basalen endogenen Ausscheidungen mit zunehmender AS-Aufnahme ansteigt und sich einem Plateau annähert (FAN et al., 1994; GfE, 2002).

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Veränderung in der Anflutung von Aminosäuren am terminalen Ileum bei zunehmender Aminosäureaufnahme und der Veränderung in der berechneten Verdaulichkeit



Im Sinne der Futterbewertung sind die endogenen Ausscheidungen ein Störfaktor, sofern sie nicht direkt der Futterkomponente zugeordnet werden können. Basale Ausscheidungen sind als Bestandteil des Bedarfs der Tiere zu berücksichtigen. Mit unterschiedlichen Ansätzen wird versucht, der Bedeutung der endogenen Ausscheidungen

gen gerecht zu werden. Für Untersuchungen mit Schweinen empfiehlt der Ausschuss für Bedarfsnormen die Einstellung eines Mindestgehaltes an Aminosäuren in den Verdaulichkeitsbestimmungen, damit die Messungen in dem in Abbildung 3 gezeigten Plateaubereich der Verdaulichkeit stattfinden (GfE, 2002) und eine separate Bestimmung der endogenen Ausscheidungen nicht erforderlich wird. Sehr viele Untersuchungen sind aber in der Vergangenheit unterhalb solcher „Schwellenwerte“ durchgeführt worden, vor allem wenn es sich um Futtermittel handelte, die nicht zu den proteinreichen gezählt werden können.

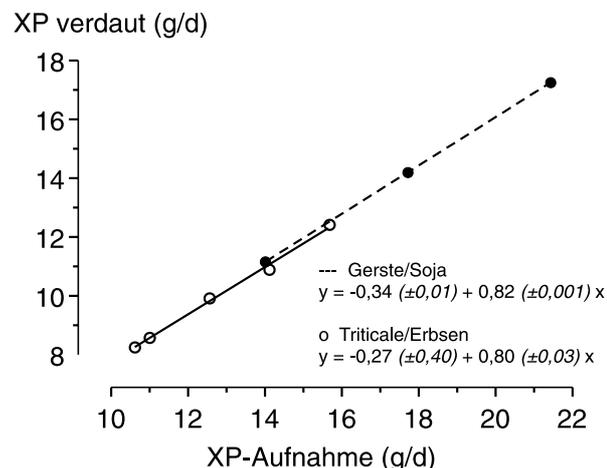
Deshalb ist in vielen Untersuchungen, speziell mit Hühnergeflügel, eine Korrektur der Messwerte um die endogenen Ausscheidungen vorgenommen worden. Die so erhaltenen Werte werden dann als „wahre“ Verdaulichkeit bezeichnet, suggerierend dass sie genauer seien als die eigentlichen Messwerte, die zur Abgrenzung „scheinbare“ Verdaulichkeiten genannt werden. Dieser Ansatz, Verdaulichkeitsmessungen mehr Aussagefähigkeit im Hinblick auf die Absorbierbarkeit zu verleihen, ist auch bei anderen Nährstoffen schon intensiv diskutiert worden. Im Zusammenhang mit den AS ist problematisch, dass die Höhe der endogenen Ausscheidungen je nach angewandeter Methode sehr unterschiedlich ausfällt (z. B. SIRIWAN et al., 1993; DONKOH und MOUGHAN, 1999; JANSMAN et al., 2002; CREMERS, 2003), und es offensichtlich bislang nicht die Methode der Wahl gibt (SAUER et al., 2000). Hinzu kommt, dass eine Differenzierung zwischen basalen und spezifischen endogenen Ausscheidungen nicht bei jedem methodischen Ansatz möglich ist. Die in Untersuchungen mit Geflügel häufig vorgenommene Quantifizierung der endogenen Ausscheidungen bei Gabe N-freier Diäten scheint jedenfalls eine Unterschätzung zu beinhalten (RAVINDRAN et al., 2000). Somit bleibt offen, ob Messwerte durch eine Korrektur im Sinne des Futterwertes genauer werden. Jede Methode der Futterbewertung, die nicht eine separate Erfassung der endogenen Ausscheidungen erforderlich macht, stellt daher einen Vorteil dar.

Eine weitere Variante ist die so genannte „standardisierte“ Verdaulichkeit. Hierbei wird nach Festlegung von Werten für die basalen endogenen Ausscheidungen eine einheitliche „Korrektur“ publizierter Messdaten vorgenommen.

Ohne weitere Korrektur können Messdaten im Sinne der Verdaulichkeit interpretiert werden, wenn sie bei gestaffelter Aufnahme des Proteins über Regressionsrechnung ermittelt werden. Schon lange ist bekannt, dass die Beziehung zwischen der N-Aufnahme und der N-Ausscheidung über einen weiten Bereich der N-Aufnahme (auch deutlich über den Bedarf hinaus) linear ist (MITCHELL und BERT, 1954). Diese Linearität ist auch für die Beziehung zwischen der AS-Aufnahme und dem AS-Fluss am terminalen Ileum von Broilern belegt (RODEHUTSCORD et al., 2004). Bei deutlich unter dem Bedarf liegender Versorgung mit Energie und Rohprotein war die AS Verdaulichkeit bei kolostomierten Hennen nicht von der Höhe der Versorgung beeinflusst (GRUHN und WIEFEL, 1985). Aus Veröffentlichungen, in denen die Auswirkungen eines Austausches von Sojaextraktionsschrot gegen Gerste oder von Erbsen gegen Triticale mit kolostomierten Hennen untersucht wurden, lässt sich die Linearität ebenfalls zurückrechnen (Abb. 4).

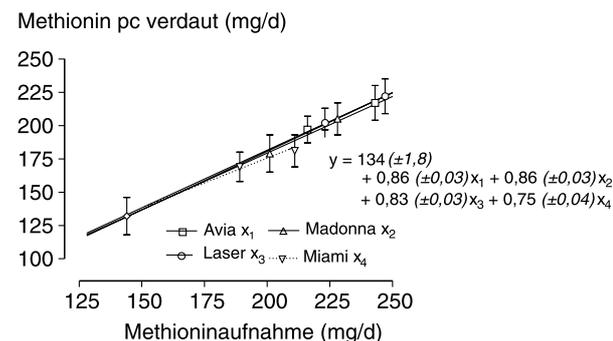
Dem im linken Teil der Abbildung 3 skizzierten Konzept folgend enthält die Steigung einer linearen Regression den Einfluss der nicht-absorbierten AS des Futters und

Abbildung 4: Beziehung zwischen der Aufnahme und der verdauten Menge an Rohprotein bei Austausch von Gerste gegen Sojaextraktionsschrot und von Triticale gegen Erbsen bei ausgewachsenen kolostomierten Hennen (nach Daten von GRUHN und ZANDER, 1989; GRUHN und ZANDER, 1990).



die spezifischen endogenen AS-Ausscheidungen. Die basalen endogenen Ausscheidungen sind hingegen Bestandteil des Intercepts. Folglich kann die Steigung unmittelbar als Verdaulichkeit im Sinne des Futterwertes interpretiert werden, wenn sowohl x- als auch y-Werte quantitativ abgetragen sind (Abb. 5). Eine Korrektur ist nicht erforderlich (RODEHUTSCORD et al., 2004). Der experimentelle Aufwand ist durch die Notwendigkeit von mindestens zwei Zulagestufen des zu testenden Proteins zwar höher. Dafür ist aber ein separater Aufwand zur Ermittlung der endogenen Ausscheidungen nicht erforderlich. Auch eine Differenzrechnung ist nicht erforderlich, weil bei entsprechender Versuchsanlage die Steigerung in der AS-Aufnahme nur auf die zu untersuchende Einzelkomponente zurückgeführt werden kann. Verschiedene Weizen- und Erbsenchargen wurden mit diesem Ansatz miteinander verglichen (SHORT et al., 1999; KLUTH et al., 2003; WISEMAN et al., 2003). Dabei wurde klar, dass zwischen verschiedenen Partien eines Futtermittels große Unterschiede in der Verdaulichkeit auftreten können. Weitere Futtermittel sind in Bearbeitung.

Abbildung 5: Vergleich der Verdaulichkeit verschiedener Erbsensorten mittels multipler linearer Regression (KLUTH et al., 2003)



3. Effekte von Lebendmasse, Alter, Genetik und Geschlecht des Hühnergefüglers

Bei Broilern im Alter von wenigen Wochen lässt sich Chymus in ausreichender Menge praktisch nur nach Tötung der Tiere gewinnen. Für ausgewachsene Hähne sind Operationstechniken beschrieben, mit denen eine T-Kanüle in das Ileum implantiert werden kann. Somit wäre die Gewinnung von Chymusproben von lebenden Tieren möglich. Nach den Ergebnissen von JOHNS und Mitarbeitern (1986) ist aber davon auszugehen, dass die Verdaulichkeitswerte für AS bei ausgewachsenen Hähnen signifikant niedriger sind als bei Broilern im Alter von etwa 3 Wochen. Inwieweit dies mit der Absorption oder mit endogenen Ausscheidungen zusammenhängt ist noch ungeklärt. Die endogenen Ausscheidungen, ausgedrückt in Relation zur Trockensubstanzaufnahme und ermittelt über Extrapolation der N-Aufnahme auf Null, waren zwischen ausgewachsenen Hähnen und Broilern unterschiedlich (SIRIWAN et al., 1993). Die Erstellung von Tabellenwerken für die Broilerfütterung wird sich daher auf Messungen mit Broilern stützen müssen.

Auf der Basis von Exkrementanalysen ermittelten BATAL und PARSONS (2002) im Abschnitt vom Schlupf bis zum Ende der dritten Woche einen Anstieg der AS-Verdaulichkeit bis zum 10. Tag bei Mischungen auf Basis von Mais und entweder Soja- oder Rapsextraktionsschrot. Am 2. Lebenstag war die Verdaulichkeit der AS um etwa 10 Prozentpunkte geringer, und der Anstieg in der Verdaulichkeit bis zum 10. Tag verlief für die meisten der untersuchten Aminosäuren linear. Bei Mischungen auf Basis von Stärke und freien Aminosäuren oder Dextrose und Casein war der LM-Einfluss auf die Verdaulichkeit deutlich geringer oder nicht vorhanden.

Auf Basis von Exkrementanalysen fanden Ten DOESCHATE und Mitarbeiter (1993) bei weiblichen Broilern signifikant höhere Verdaulichkeitswerte für AS als bei männlichen. Für die meisten AS war die Differenz zwischen den Geschlechtern geringer als 2 Prozentpunkte. Dieselben Autoren ermittelten auch einen Unterschied in der Verdaulichkeit zwischen verschiedenen Genotypen. Eine Selektion über 11 Generationen entweder auf hohe Futtermittelverwertung oder hohen LM-Zuwachs führte zu signifikanten Unterschieden in der AS-Verdaulichkeit. Die Verdaulichkeit der essenziellen AS war bei den auf Futtermittelverwertung selektierten Broilern um 2 bis 6 Prozentpunkte höher. Hieraus sollte allerdings nicht vorschnell die Schlussfolgerung gezogen werden, dass für jede Broilerherkunft spezifische Tabellenwerte für die Aminosäurenverdaulichkeiten erarbeitet werden müssen.

4. Übertragbarkeit von Daten

In Analogie zu den bereits angesprochenen Unterschieden zwischen Broilern und adulten Hähnen scheint eine Übertragbarkeit der Daten von Broilern auf Legehennen nicht gegeben zu sein. Für die pcVQ des Rohproteins fanden HUANG und Mitarbeiter (2000) bei Einsatz von 8 verschiedenen Futtermitteln Unterschiede zwischen 5 Wochen alten Broilern und 60 Wochen alten Legehennen (ohne gerichtete Tendenz) von bis zu 5 Prozentpunkten. Unterschiede in der Höhe der endogenen Ausscheidungen (SIRIWAN et al., 1993) mögen hier eine Rolle spielen. Eine weitergehende Prüfung für einzelne AS unter Ausschaltung der basalen endogenen Ausscheidungen ist daher ratsam.

Einige Untersuchungen zur pcVQ von AS mit Puten liegen vor. Diese erlauben aber keinen direkten Vergleich mit Daten aus Broilerversuchen. Für Enten gibt es Messungen zur AS-Verdaulichkeit auf Basis der Exkrement-sammlung (HONG et al., 2002) und auf praecaecaler Basis (MARTIN et al., 1998). JAMROZ und Mitarbeiter (2002) fanden bei Enten niedrigere Werte für die pcVQ von AS als bei Broilern gleichen Alters. Hier bleibt zu klären, inwieweit dies auf die Absorption oder die endogene Sekretion zurückzuführen ist. Vergleichende Untersuchungen mit Broilern, Puten und Pekingenten werden derzeit in Halle durchgeführt.

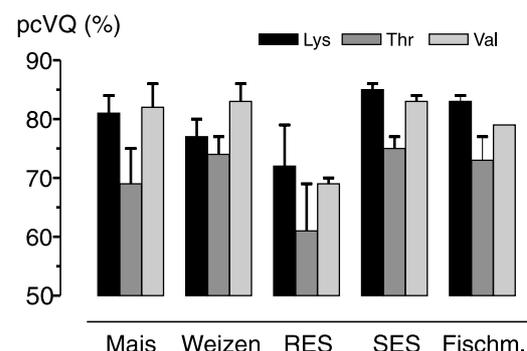
5. Anforderungen an ein System auf Basis der praecaecal verdaulichen Aminosäuren

5.1 Datengrundlage für Tabellen zur Verdaulichkeit von Einzelkomponenten

Für eine konsequente Anwendung eines Systems auf Basis der pcVQ der AS sind hinreichend sichere und vergleichbare Messungen für die gebräuchlichsten Einzelkomponenten erforderlich. Angesichts der zuvor aufgezeigten Einflussgrößen ist hierzu die Definition gewisser methodischer Standards, ähnlich wie von der GfE (2002) für Schweine vorgenommen, notwendig. Solche Standards müssen in der Regel ein Kompromiss zwischen Aufwand und Genauigkeit sein, und sie müssen mit der Vorgehensweise bei der Bedarfsableitung abgestimmt sein. Sie stellen aber die Vergleichbarkeit von Daten sicher. Im Gegensatz zum Schwein dürfte es beim Geflügel möglich sein, in einem größeren Projekt unter Beteiligung verschiedener europäischer Einrichtungen und Unternehmen relativ schnell eine hinreichend große Zahl von Einzelkomponenten nach einer zuvor festgelegten Methode zu untersuchen und der Anwendung zur Verfügung zu stellen. Dies muss im Hinblick auf eine routinemäßige Anwendung in der Mischfütterungsoptimierung auch die Prüfung der Varianz zwischen verschiedenen Chargen eines Futtermittels umfassen.

Eine australische Arbeitsgruppe hat mit Focus auf den dortigen Futtermittelmarkt auf Basis einer standardisierten Vorgehensweise eine Tabelle mit 93 Datensätzen für 25 Einzelkomponenten erarbeitet (RAVINDRAN et al., 1998). Ein Auszug hieraus ist in Abbildung 6 gezeigt. Eine Berücksichtigung der endogenen Ausscheidungen erfolgte hierbei nicht. Die Standardisierung macht die Tabelle zu einer sehr wertvollen Grundlage, auch wenn es Schwächen im Hinblick auf die S-haltigen Aminosäuren gibt.

Abbildung 6: Praecaecale Verdaulichkeit (Mw. und SD) von 3 Aminosäuren aus ausgewählten Futtermitteln, Auszug aus der Tabelle von RAVINDRAN et al. (1998)



Die Zusammenfassung von Daten aus der Originalliteratur dürfte sich angesichts der methodischen Vielfalt als schwierig erweisen. Die Verwendung einheitlicher Korrekturwerte zur Berechnung einer „standardisierten“ Verdaulichkeit aus Messdaten zur „scheinbaren“ Verdaulichkeit ist möglich, wenn man die Unsicherheit bei der Bestimmung der basalen endogenen Ausscheidungen ignoriert. Man muss bereit sein, sich pragmatisch auf plausibel erscheinende Korrekturwerte festzulegen. Ob durch diese Korrektur eine höhere Genauigkeit erreicht wird, kann noch nicht abschließend beurteilt werden. Methoden, bei denen die basalen endogenen Ausscheidungen nicht berücksichtigt werden brauchen, haben diesbezüglich einen großen Vorteil.

Hinreichend genaue in vitro-Verfahren könnten die Erstellung und Pflege eines Tabellenwerkes wesentlich erleichtern. Die Entwicklung und Validierung solcher Verfahren setzt aber eine ausreichende Zahl von Referenzwerten voraus. Und hierfür ist wiederum zunächst die Orientierung auf ein einheitliches Verfahren der Verdaulichkeitsbestimmung notwendig.

Die Prüfung auf Additivität der Verdaulichkeitswerte für Einzelkomponenten in Mischungen ist unabhängig von der Methodik der Ermittlung in jedem Fall erforderlich. Es gibt Hinweise, dass bei bestimmten Futtermitteln eine Additivität nicht für alle AS gegeben ist (HONG et al., 2002; CREMERS, 2003).

5.2 Versorgungsempfehlungen

Es versteht sich von selbst, dass eine konsequente Anwendung von Verdaulichkeitswerten nur dann möglich ist, wenn auch die Versorgungsempfehlungen und die notwendigen Konzentrationen im Futter auf der Basis pc verdaulicher Aminosäuren angegeben werden. Es wird also die Anpassung des gesamten Systems erforderlich werden. Zurückliegende Dosis-Wirkungsversuche dürften hier einen brauchbaren Fundus für neue Berechnungen darstellen. Sofern die AS-Zulagen in freier Form gemacht wurden, kann für die zugelegten Mengen eine vollständige Verdaulichkeit angenommen werden (CHUNG und BAKER, 1992). Außerdem wird in zunehmendem Maße für die Basalration von Dosis-Wirkungsversuchen auch die pcVQ der AS gemessen.

5.3 Schlüssigkeit und Vorteilhaftigkeit in der Anwendung prüfen

Angesichts der Unterschiede, die in der pcVQ einzelner AS sowohl innerhalb eines Futtermittels als auch zwischen Einzelkomponenten bestehen können, ist es logisch, von der Futteroptimierung unter Einbeziehung von Verdaulichkeiten Vorteile zu erwarten. Tierversuche sollten dies aber belegen. Aus Vergleichen zur Optimierung der Mischungen auf Basis von Brutto- oder pc verdaulichen AS schlussfolgerten verschiedene Autoren, dass die Optimierung unter Einbeziehung der Verdaulichkeiten im Hinblick auf die tierische Leistung Vorteile bringt (PERTILÄ et al., 2002). Dies war vor allem dann der Fall, wenn Futtermittel mit einer relativ geringen Verdaulichkeit verwendet wurden. Bei diesen Vergleichen ist aber einschränkend zu bedenken, dass es sich nur um Vergleiche ganzer Bewertungssysteme handelt, wenn die Bedarfsannahmen für Brutto- und pc verdauliche AS bereits ein unterschiedliches Niveau in der Aminosäurenversorgung mit sich bringen.

6. Schlussbetrachtung

Es ist eine höhere Genauigkeit in der Versorgung des Geflügels zu erwarten, wenn die praecaecale Verdaulichkeit der Aminosäuren aus Einzelkomponenten in die Futterbewertung einbezogen wird. Es versteht sich allerdings von selbst, dass die Versorgungsempfehlungen dann auch auf Basis der verdaulichen Aminosäuren ausgedrückt werden müssen. Hierbei ist auf die Passfähigkeit der Systeme zu achten (z. B. Berücksichtigung der endogenen Ausscheidungen).

Die Generierung von Daten für die Anwendung in der Mischfütteroptimierung für Broiler setzt Messungen mit dem Zieltier voraus. Der Alterseinfluss, der hinsichtlich der Proteinverdauung in den ersten beiden Wochen nach dem Schlupf bestehen kann, ist noch näher zu untersuchen. Dies gilt auch für die Additivität der Einzelkomponentendaten. Eine Übertragbarkeit der Daten auf Legehennen scheint nicht gegeben zu sein. Es bleibt noch genauer zu prüfen, ob die mit Broilern ermittelten Werte auf anderes wachsendes Geflügel, speziell Puten, übertragen werden können.

Unterschiede in den methodischen Details schränken die Vergleichbarkeit und die Zusammenfassbarkeit bislang publizierter Ergebnisse aus Verdaulichkeitsuntersuchungen ein. Es sollte in einem koordinierten Projekt aber möglich sein, innerhalb kurzer Zeit einen hinreichend großen Datenpool mit einer einheitlichen und standardisierten Vorgehensweise zu generieren. Diese Vorgehensweise muss die Einflüsse der basalen endogenen Ausscheidungen berücksichtigen. In vitro- oder andere Schätzverfahren sollten im Rahmen eines solchen Programms entwickelt und hinsichtlich der Schätzgenauigkeit geprüft werden.

7. Zusammenfassung

Von der Einbeziehung von Verdaulichkeitswerten bei der Optimierung der Aminosäuregehalte im Geflügelfutter darf ein effizienterer Einsatz von Proteinen und Aminosäuren erwartet werden. Diese Abhandlung befasst sich vor allem mit den methodischen Aspekten der Verdaulichkeitsbestimmung. Die Bestimmung der Verdaulichkeit im distalen Teil des Ileums ist der Bestimmung auf Basis der Exkrementausscheidung vorzuziehen. Der Beitrag der endogenen Ausscheidungen wird, wenn überhaupt, unterschiedlich berücksichtigt. Verschiedene Methoden führen zu deutlich unterschiedlichen Werten für die Höhe der endogenen Aminosäureausscheidungen. Auch das Alter, Geschlecht und der Genotyp der Tiere können einen Einfluss auf die Verdaulichkeit haben. Eine Standardisierung der Vorgehensweise in Verdaulichkeitsbestimmungen mit Broilern ist daher notwendig, damit vergleichbare Daten für Einzelkomponenten gesammelt werden können. Zu einem System auf der Basis der praecaecalen Verdaulichkeit gehört auch die Formulierung entsprechender Versorgungsempfehlungen. Eine Übertragbarkeit der Daten von Broilern auf Legehennen scheint nicht gegeben zu sein. Für anderes wachsendes Geflügel ist diese Übertragbarkeit noch zu prüfen.

8. Literaturverzeichnis

- ANGKANAPORN, K., V. RAVINDRAN und W. L. BRYDEN (1997a): Influence of caecetomy and dietary protein concentration on apparent excreta amino acid digestibility in adult cockerels. *British Poultry Science* 38, 270-276
- ANGKANAPORN, K., V. RAVINDRAN, Y. MOLLAH und W. L. BRYDEN (1997b): Evaluation of homoarginine as a marker for the determination of endogenous amino acid concentrations in poultry excreta. *British Poultry Science* 38, 577-585
- BATAL, A. B. und C. M. PARSONS (2002): Effects of age on nutrient digestibility in chicks fed different diets. *Poultry Science* 81, 400-407
- BERGER, H., T. PAHLE, R. KÖHLER, H. JEROCH und G. GEBHARDT (1984): Untersuchungen zur Bestimmung der Aminosäurenbilanz des Magen-Darm-Traktes beim Hühnergeflügel. *Archiv für Tierernährung* 34, 35-43
- CHUNG, T. K. und D. H. BAKER (1992): Apparent and true digestibility of a crystalline amino acid mixture and casein: comparison of values with ileal-cannulated pigs and cecectomized cockerels. *Journal of Animal Science* 70, 3781-3790
- CREMERS, S. (2003): Untersuchungen zur scheinbaren und wahren ilealen Protein- und Aminosäurenverdaulichkeit von Fleischknochenmehlen beim wachsenden Huhn und Methodenvergleich zur Bestimmung der endogenen Aminosäurenverluste. Diss. oec. troph., Universität Gießen, Görlich & Weiershäuser, Marburg
- DÄNICKE, S., W. BÖTTCHER, H. JEROCH, J. THIELEBEIN und O. SIMON (2000): Replacement of soybean oil with tallow in rye-based diets without xylanase increases protein synthesis in small intestine of broilers. *Journal of Nutrition* 130, 827-834
- DONKOH, A. und P. J. MOUGHAN (1999): Endogenous ileal nitrogen and amino acid flows in the growing pig receiving a protein-free diet and diets containing enzymically hydrolysed casein or graded levels of meat and bone meal. *Animal Science* 68, 511-518
- FAN, M. Z., W. C. SAUER, R. T. HARDIN und K. A. LIEN (1994): Determination of apparent ileal amino acid digestibility in pigs: effect of dietary amino acid level. *Journal of Animal Science* 72, 2851-2859
- GfE (2002): Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen: Bestimmung der praecaecalen Verdaulichkeit von Aminosäuren beim Schwein - Empfehlungen zur standardisierten Versuchsdurchführung. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 11, 233-245
- GRUHN, K. und P. WIEFEL (1985): Einfluß abgestufter Futtererweißgaben auf den Aminosäuregehalt des Rohproteins im Inhalt der Abschnitte des Gastrointestinaltraktes und der Blutfractionen von Legehennen. *Archiv für Tierernährung* 35, 197-212
- GRUHN, K. und R. ZANDER (1989): Untersuchungen zum Einfluß gestaffelter Gaben an Sojaextraktionsschrot auf die scheinbare Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und Aminosäuren bei kolostomierten Legehennen. *Archives of Animal Nutrition* 39, 123-130
- GRUHN, K. und R. ZANDER (1990): Untersuchungen zum Einfluß verschiedener hoher Gaben an Futtererbsen auf die Verdaulichkeit ihrer Rohnährstoffe bei kolostomierten Legehennen. *Archives of Animal Nutrition* 40, 297-303
- GRUHN, K. und M. ZIEGER (1969): Vergleichende Untersuchungen zur Verdaulichkeit des Rohproteins bei Legehennen nach chemischer Trennung von Kot- und Urin-N und Trennung durch Kolostomie. *Archiv für Tierernährung* 19, 631-639
- HEW, L. I., V. RAVINDRAN, Y. MOLLAH und W. L. BRYDEN (1998): Influence of exogenous xylanase supplementation on apparent metabolizable energy and amino acid digestibility in wheat for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology* 75, 83-92
- HONG, D., D. RAGLAND und O. ADEOLA (2002): Additivity and associative effects of metabolizable energy and amino acid digestibility of corn, soybean meal, and wheat red dog for white pekin ducks. *Journal of Animal Science* 80, 3222-3229
- HUANG, K., V. RAVINDRAN, L. I. HEW und W. L. BRYDEN (2000): Ileal protein digestibility of eight feed ingredients determined with broilers and layers. *Proc. Aust. Poult. Sci. Sym.* 12, 198 [Abs.]
- JAMROZ, D., A. WILICZKIEWICZ, J. ORDA, T. WERTELECKI und J. SKORUPINSKA (2002): Aspects of development of digestive activity of intestine in young chickens, ducks and geese. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 86, 353-366
- JANSMAN, A. J. M., W. SMINK, P. van LEEUWEN und M. RADEMACHER (2002): Evaluation through literature data of the amount and amino acid composition of basal endogenous crude protein at the terminal ileum of pigs. *Animal Feed Science and Technology* 98, 49-60
- JOHNS, D. C., C. K. LOW und K. A. JAMES (1986): Comparison of amino acid digestibility using the ileal digesta from growing chickens and cannulated adult cockerels. *British Poultry Science* 27, 679-685
- KADIM, I. T. und P. J. MOUGHAN (1997a): Development of an ileal amino acid digestibility assay for the growing chicken-effects of time after feeding and site of sampling. *British Poultry Science* 38, 89-95
- KADIM, I. T. und P. J. MOUGHAN (1997b): Ileal amino acid digestibility assay for the growing meat chicken-effect of the imposition of a fasting period and the nature of the test diet. *British Poultry Science* 38, 285-290
- KADIM, I. T., P. J. MOUGHAN und V. RAVINDRAN (2002): Ileal amino acid digestibility assay for the growing meat chicken - comparison of ileal and excreta amino acid digestibility in the chicken. *British Poultry Science* 44, 588-597
- KLUTH, H., M. MANTEI, G. HARTMANN und M. RODEHUTSCORD (2003): A methodological approach to study the variation in amino acid digestibility between pea cultivars, considering endogenous secretion in broiler chicks. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 12, 58
- KLUTH, H. und M. RODEHUTSCORD (2004): Standardization of the gut segment to be sampled in studies on praecaecal amino acid digestibility in broiler chickens. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, im Druck
- KRAWIELITZKI, K. und H.-D. BOCK (1976): Zur Problematik des Stickstoff-Stoffwechsels monogastrischer Tierarten. *Archiv für Tierernährung* 26, 83-98
- MARTIN, E. A., J. V. NOLAN, Z. NITSAN und D. J. FARRELL (1998): Strategies to improve the nutritive value of rice bran in poultry diets. IV. Effects of addition of fish meal and a microbial phytase to duckling diets on bird performance and amino acid digestibility. *British Poultry Science* 39, 612-621
- MITCHELL, H. H. und M. H. BERT (1954): The determination of metabolic fecal nitrogen. *Journal of Nutrition* 52, 483-497
- NAMKUNG, H. und S. LEESON (1999): Effect of phytase enzyme on dietary nitrogen-corrected apparent metabolizable energy and the ileal digestibility of nitrogen and amino acids in broiler chicks. *Poultry Science* 78, 1317-1319
- NEWKIRK, R. W. und H. L. CLASSEN (2001): The non-mineral nutritional impact of phytate in canola meal fed to broiler chicks. *Animal Feed Science and Technology* 91, 115-128
- NRC (1998): *Nutrient Requirements of Swine*; National Academy Press, Washington, D.C.
- PERTTILÄ, S., J. VALAJA, K. PARTANEN, T. JALAVA und E. VENÄLÄINEN (2002): Apparent ileal digestibility of amino acids in protein feedstuffs and diet formulation based on total vs digestible lysine for poultry. *Animal Feed Science and Technology* 98, 203-218
- RAVINDRAN, V., L. I. HEW und W. L. BRYDEN (1998): Digestible Amino Acids in Poultry Feedstuffs. Rural Industries Research and Development Corporation and the University of Sydney
- RAVINDRAN, V., L. I. HEW und W. L. BRYDEN (2000): Comparison of methodologies to estimate endogenous amino acid losses in poultry. *Proc. Aust. Poult. Sci. Sym.* 12, 197
- RAVINDRAN, V., L. I. HEW, G. RAVINDRAN und W. L. BRYDEN (1999): A comparison of ileal digesta and excreta analysis for the determination of amino acid digestibility in food ingredients for poultry. *British Poultry Science* 40, 266-274
- RAVINDRAN, V., P. H. SELLE, G. RAVINDRAN, P. C. H. MOREL, A. K. KIES und W. L. BRYDEN (2001): Microbial phytase improves performance, apparent metabolizable energy, and ileal amino acid digestibility of broilers fed a lysine-deficient diet. *Poultry Science* 80, 338-344
- RODEHUTSCORD, M., M. KAPOCIUS, R. TIMMLER und A. DIECKMANN (2004): Linear regression approach to study amino acid digestibility in broiler chickens. *British Poultry Science*, angenommen
- RUTHERFURD, S. M., T. K. CHUNG und P. J. MOUGHAN (2002): The effect of microbial phytase on ileal phosphorus and amino acid digestibility in the broiler chicken. *British Poultry Science* 44, 598-606
- SAUER, W. C., M. Z. FAN, R. MOSENTHIN und W. DROCHNER (2000): In: J. P. F. D'Mello, Ed. *Farm Animal Metabolism and Nutrition: Methods for measuring ileal amino acid digestibility in pigs*. CAB International: Wallingford, 2000; pp 279-306
- SEBASTIAN, S., S. P. TOUCHBURN, E. R. CHAVEZ und P. C. LAGUE (1997): Apparent digestibility of amino acids in broiler chickens fed a corn-soybean diet supplemented with microbial phytase. *Poultry Science* 76, 1760-1769
- SHORT, F. J., J. WISEMAN und K. N. BOORMAN (1999): Application of a method to determine ileal digestibility in broilers of amino acids in wheat. *Animal Feed Science and Technology* 79, 195-209
- SIBBALD, I. R. (1979): A bioassay for available amino acids and true metabolizable energy in feedingstuffs. *Poultry Science* 58, 668-675
- SIRIWAN, P., W. L. BRYDEN, Y. MOLLAH und E. F. ANNISON (1993): Measurement of endogenous amino acid losses in poultry. *British Poultry Science* 34, 939-949
- SNOW, J. L., M. W. DOUGLAS und D. M. PARSONS (2003): Phytase effects on amino acid digestibility in molted laying hens. *Poultry Science* 82, 474-477
- SOUFFRANT, W. B. (2001): Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig. *Animal Feed Science and Technology* 90, 93-102

SUMMERS, D. J. und A. R. ROBBLEE (1985): Comparison of apparent amino acid digestibilities in anesthetized versus sacrificed chickens using diets containing soybean meal and canola meal. Poultry Science 64, 536-541

Ten DOESCHATE, R. A. H. M., C. W. SCHEELE, V. V. A. M. SCHREURS und J. D. Van der KLIS (1993): Digestibility studies in broiler chickens: Influence of genotype, age, sex and method of determination. British Poultry Science 34, 131-146

WISEMAN, J., W. AL-MAZOOQI, T. WELHAM und C. DOMONEY (2003): The apparent ileal digestibility, determined with young broilers, of amino acids in near-isogenic lines of peas (*Pisum sativum* L.) differing in trypsin inhibitor activity. Journal of the Science of Food and Agriculture 83, 644-651

YI, Z., E. T. KORNEGAY und D. M. DENBOW (1996): Effect of microbial phytase on nitrogen and amino acid digestibility and nitrogen retention of turkey poult fed corn-soybean meal diets. Poultry Science 75, 979-990

Anschrift der Verfasser

Prof. Markus Rodehutscord
Dr. Holger Kluth
Institut für Ernährungswissenschaften
Universität Halle-Wittenberg
Emil-Abderhaldenstraße 26
06108 Halle/Saale

E-Mail: rodehutscord@landw.uni-halle.de