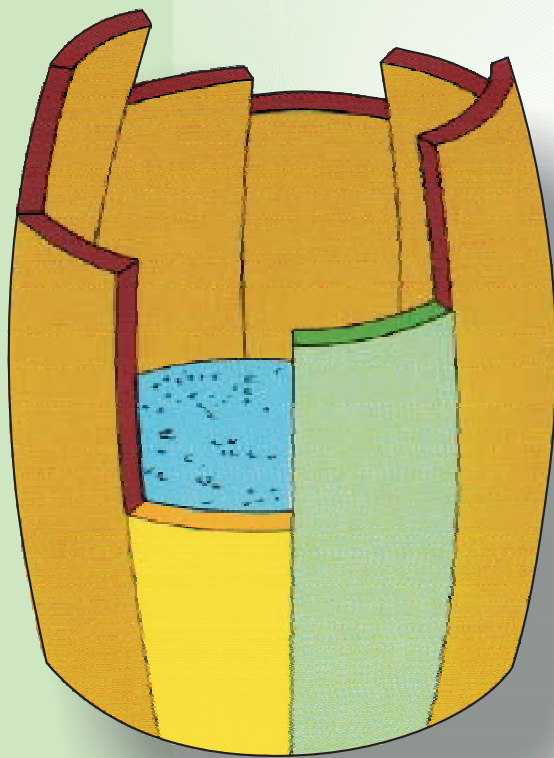


Aminosäuren

in der Tierernährung



Lys

Met

Thr

Trp

Ile

Val

Arg

Leu



Aminosäuren in der Tierernährung

Verantwortlich für den Inhalt

Dr. J. Häffner, Rhone Poulenc

Dr. D. Kahrs, Lohmann Animal Health

Dr. J. Limper, Degussa AG

J. de Mol, Novus

Dr. M. Peisker, ADM

Herausgeber

**Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe
in der Tierernährung e.V. (AWT)**

Ansprechpartner: Dr. E. Süphke

Roonstr. 5

D-53175 Bonn

Tel. + 49 228/ 35 24 00

Fax + 49 228/ 36 13 97

Wirtschaftsverband AWT

Die AWT als deutscher Wirtschaftsverband mit internationaler Tätigkeit vertritt die fachlichen, wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Interessen der führenden Hersteller und Verarbeiter von Zusatzstoffen für die Tierernährung.

Aufgaben und Ziele

- Wahrnehmung der Mitgliederinteressen und deren Vertretung gegenüber Behörden, Regierungsstellen, gesetzgebenden Körperschaften, Fachorganisationen und anderen Institutionen auf nationaler Ebene
- Vertretung der deutschen Interessen für Zusatzstoffe auf internationaler Ebene
- Mitarbeit bei der Harmonisierung der Zulassungsbedingungen von Zusatzstoffen
- Unterrichtung und Beratung der Mitglieder in allen fachspezifischen Angelegenheiten und insbesondere über aktuelle Gesetzgebungsverfahren
- Information der Öffentlichkeit über Nutzen, Sicherheit und Qualität von Zusatzstoffen in der Tierernährung

ISBN 3-86037-085-5

© 1998 by Buchedition Agrimedia GmbH

im Verlag Alfred Strothe

– Ein Unternehmen der Verlagsgruppe Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main.

Postfach 11 65 · D - 25488 Holm

Telefon (0 41 03) 91 73 - 0 · Telefax (0 41 03) 1 44 36

E-Mail: agrimedi@aol.com · Internet: www.agrimedia.com

Alle Rechte vorbehalten.

Druck: Druckerei Garloff

1. Einführung 5

2. Eiweiß und Aminosäuren 8

2.1 Der Nährstoff Eiweiß 8

2.1.1 Bedeutung und Zusammensetzung 8

2.1.2 Einteilung 9

2.1.3 Bestimmung 10

2.1.4 Verdauung und Resorption 11

2.1.5 Stoffwechsel und Proteinsynthese 11

2.1.6 Proteinqualität 12

2.2 Aminosäuren 16

2.2.1 Chemische Struktur 16

2.2.2 Einteilung der Aminosäuren 17

2.2.3 Essentielle Aminosäuren 18

2.2.4 Limitierende Aminosäuren und Ideales Protein 20

2.3 Aminosäurenverfügbarkeit 23

2.3.1 Grundsätzliche Betrachtung 23

2.3.2 Einflußfaktoren 25

2.3.3 Grenzen der Bewertungssysteme 28

2.4 Analytik 28

2.5 Aminosäuregehalte in Futtermitteln 32

3. Aminosäurebedarf 36

3.1 Broilermast 36

3.2 Legehennen (inkl. Aufzucht) 36

3.3 Putenzucht und -mast 39

3.4 Wassergeflügel 39

3.5 Ferkelproduktion und Schweinemast 40

3.6	Kälberaufzucht und Kälbermast	44
3.7	Milchkühe	45
3.8	Fische.	48

4. Aminosäurenergänzung in Mischfuttern 49

4.1	Lysin	50
4.1.1	Handelsformen	50
4.1.1.1	L-Lysin-Monohydrochlorid (L-Lysin HCl)	50
4.1.1.2	L-Lysin-Konzentrat, flüssig	51
4.1.1.3	L-Lysin-Monohydrochlorid-Konzentrat, flüssig.	51
4.1.1.4	Lysin-Sulfat.	52
4.2	Methionin.	53
4.2.1	Handelsformen	53
4.2.1.1	DL-Methionin.	53
4.2.1.2	DL-Methionin-Natriumsalz, flüssig.	54
4.3	Threonin	55
4.4	Tryptophan	56
4.5	Hydroxy-Analog von Methionin.	57

5. Ökologische Aspekte des Aminosäureeinsatzes in der Fütterung. . 58

6. Verarbeitung der Aminosäuren in Futtermitteln 59

In der tierischen Veredlung ist bei der Entwicklung der Tierbestände ein deutlicher Trend zu spezialisierten Einheiten mit hohem Produktionsniveau zu sehen. Ursache hierfür ist das Streben nach effektiveren Produktionsmethoden, das sich in genetischen und haltungstechnischen Fortschritten niederschlägt. Der Anstieg der durchschnittlichen Legeleistung in den letzten Jahrzehnten verdeutlicht – stellvertretend für andere Veredlungsbereiche – welche Steigerungen durch gleichgerichtete Anstrengungen bei der Zucht und Haltung realisiert wurden. Einen wesentlichen Anteil hat ohne Zweifel die laufend an neue wissenschaftliche Erkenntnisse angepaßte Ernährung der Nutztiere.

Schon früh wurde erkannt, daß dem Eiweiß als »organischem Baustoff« im Organismus eine zentrale Bedeutung zukommt. Mit Beginn der Nährstoffanalyse im frühen neunzehnten Jahrhundert wurde eine erste qualitative Bewertung bei der Fütterung von Nutztieren möglich. Trotzdem war die praktische Rezeptgestaltung über lange Zeit durch das sogenannte Komponentendenken geprägt. Obwohl lange bekannt war, daß die Aminosäuren als Proteinbausteine den Wert eines Futters entscheidend

Jahr	Anzahl Eier/Henne/Jahr
1950	120
1960	157
1970	215
1980	242
1990	266
1995	284

Table 1

Entwicklung der Legeleistung in der Bundesrepublik Deutschland

mitbestimmen, führten erst ökonomische Gründe dazu, dieses Wissen bei der Formulierung der Futtermittel auch einzusetzen. Das »Komponentendenken« entwickelte sich langsam zum »Nährstoffdenken«. Dem Gehalt an Rohprotein wurde als Kriterium bei der Eiweißbewertung bis in die heutige Zeit eine hohe Bedeutung beigemessen. Die Unzulänglichkeiten der Analytik haben dazu beigetragen, daß auch von Seiten des Gesetzgebers Mindestgehalte an Rohprotein vorgegeben wurden, die nach wie vor in den verschiedenen Mischfuttermitteltypen zu hoch liegen.

Erst in Verbindung mit den Fortschritten bei der Analytik hat sich gezeigt, daß auch in der Praxis der Fütterung eine Proteinbewertung über den effektiv nutzbaren Anteil an den wesentlichen Aminosäuren sachlich und ökonomisch erforderlich ist. Das Kriterium »Rohprotein« verliert mit Recht an Gewicht.

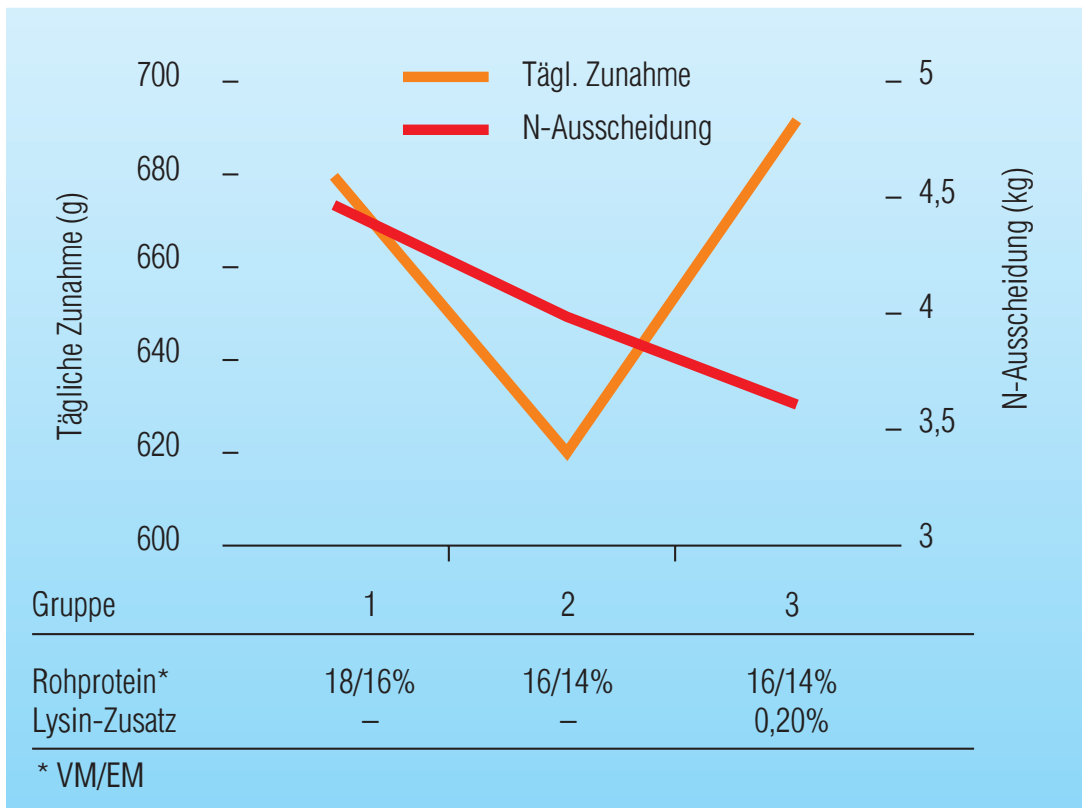
Die Weltbevölkerung steigt zur Zeit täglich um ca. 220.000 Menschen, wodurch sich zwangsläufig der Bedarf an Protein erhöht. Zusammen mit der sich regional stark konzentrierenden landwirtschaftlichen Produktion ergibt sich daher immer deutlicher die Forderung und Notwendigkeit, mit allen Reserven sparsam umzugehen und die produzierten Rohstoffe möglichst effektiv einzusetzen. Die Berücksichtigung des Naturschutzes macht gerade vor der Tierproduktion nicht halt und hat zu einer mehr und mehr bedarfsangepaßten Fütterung geführt. Die Aminosäuren sind eine wichtige Ergänzung oder auch ein teilweiser Ersatz für die in der Natur erzeugten Proteine und tragen dazu bei, Eiweiß einzusparen und die Stickstoffausscheidungen zu reduzieren. Aminosäuren werden in der Zukunft noch stärker als bisher erforderlich sein, eine umweltverträgliche, ressourcenschonende und wirtschaftliche tierische Veredlung abzusichern.

Aminosäuren und Mischfutter

Mischfuttermittel repräsentieren als Allein- und Ergänzungsfuttermittel den größten Anteil der gesamten landwirtschaftlichen Vorleistungen und sind

nach wie vor das wichtigste Betriebsmittel der Landwirtschaft. Mit dem Anstieg der Mischfutterproduktion im letzten Jahrzehnt verlief der Trend zu größeren Tierbeständen und höheren Leistungen. Der Nutzung ernährungsphysiologischer Erkenntnisse bei der Rezepturgestaltung der Mischfutter kommt eine immer größere Bedeutung zu. Das stellt an den Rezepturgestalter immer höhere Ansprüche, um durch leistungsfähige, kostengünstige und ökologisch ausgerichtete Futter den Forderungen der Betriebe und der Endverbraucher gerecht zu werden. Das Ergebnis eines sehr einfachen Versuches mit nur einer geringen Ergänzung einer Aminosäure zu einem Schweinemastfutter zeigt die nachfolgende Darstellung (Abb. 1).

Das Wachstum verschlechtert sich deutlich gegenüber der Kontrollgruppe, wenn der Proteingehalt um 2 % (von 18/16 % auf 16/14 % in Vormast und Endmast (VM/EM)) gesenkt wird. Nach einer Lysinergänzung wird mit der proteinärmeren Ration das Niveau der Kontrollgruppe erreicht. Außerdem wird die Stickstoffausscheidung in den beiden proteinreduzierten Gruppen deutlich abgesenkt.

**Abbildung 1**

Abhängigkeit der Leistung und der N-Ausscheidung und der Aminosäurenversorgung

Industriell produzierte Aminosäuren bieten seit Jahren die Möglichkeit der Leistungssteigerung, der Eiweißeinsparung und auch der Kostenreduzierung. Neben diesen Vorteilen rücken aber positive Effekte wie Gesundheitsverbes-

serung beim Tier und die Entlastung der Umwelt immer stärker in das Interesse der Tierproduzenten und auch der Konsumenten.

2.1 Der Nährstoff Eiweiß

2.1.1 Bedeutung und Zusammensetzung

Eiweiß (Protein - griech.: proteios = das Erste, Wichtigste) stellt den wichtigsten und mengenmäßig dominierenden Bestandteil aller Organismen dar und ist die Voraussetzung für das Leben schlechthin. Es kann im tierischen Organismus nicht durch andere Nährstoffe ersetzt werden. Eiweißverbindungen finden sich in jeder Zelle und machen die Hauptmenge des Protoplasmas aus. Sie dienen der Ernährung aller tierischen Zellen und damit dem Erhalt, dem Wachstum und der Reproduktion des Gesamtorganismus. Diese Funktion erfüllen sie allerdings nur im Zusammenspiel mit energieliefernden Nährstoffen, Vitaminen, Mengen- und Spurenelementen sowie Wasser.

Eiweißkörper sind hochmolekulare, aus Aminosäuren nach dem Baukastenprinzip aufgebaute Verbindungen. Auf Grund ihres chemischen Aufbaus aus ca. 20 Aminosäuren besitzen sie eine strenge Spezifität, die für die Funktion des jeweiligen Eiweißkörpers steht. Eiweiße mit katalytischer Funktion sind z.B. die Enzy-

me. Immunkörper haben Abwehrfunktionen; Knochen-, Haut- und Bindegewebe-eiweiß haben Stütz- und Schutzfunktionen und das Muskelprotein setzt das Tier in die Lage, physikalische Arbeit zu leisten. Die Bildung von Muskelprotein (Fleisch) stellt ein primäres Ziel in der Tierproduktion dar.

An der elementaren Zusammensetzung der Eiweiße sind, wie in Fetten und Kohlenhydraten, Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O) und Wasserstoff (H) beteiligt, darüber hinaus jedoch noch Stickstoff (N), sowie meist auch Schwefel (S) und manchmal Phosphor (P).

Der Gehalt dieser Elemente im Eiweiß ist relativ konstant (%):

C:	51,0 - 55,0
H:	6,5 - 7,3
O:	21,5 - 23,5
N:	15,5 - 18,0
S:	0,5 - 2,0
P:	0 - 1,5

Die Reihenfolge der Aminosäuren innerhalb des Proteinmoleküls ist genetisch festgelegt und wird als Aminosäuresequenz bezeichnet (Abb.2). Die Aminosäu-

- Metalloproteine (z.B. Hämoglobin)
- Phosphoproteine (z.B. Kasein)
- Lipoproteine (z.B. Serumlipoproteine)
- Nucleoproteine (z.B. Nucleinsäure + Protein)
- Glykoproteine (z.B. Seromukoide)
- Chromoproteine (z.B. Myoglobin)

Die Art der Bindung zwischen dem Proteinanteil und der prosthetischen Gruppe ist ebenso unterschiedlich wie die Funktion der Proteide im Organismus.

Außer den genannten Proteinen kommen auch im tierischen Gewebe *N-haltige Verbindungen nicht-eiweißartiger Natur* vor. Hierzu zählen u.a. Alkaloide, Amide (Asparagin, Glutamin, Harnstoff), Betain, Cholin sowie Purine. Man faßt diese Verbindungen als NPN (Nicht-Protein-Nitrogen)- Verbindungen zusammen. Per Definition zählen auch Aminosäuren außerhalb des Proteinverbandes zu den NPN-Verbindungen. Allerdings sind aus ernährungsphysiologischer Sicht Aminosäuren dem Protein gleichzusetzen. Auch aus diesem Grund wird in der Ernährung von monogastrischen Tieren die Betrachtungsebene zunehmend auf Aminosäuren verlagert.

2.1.3 Bestimmung

Die Bestimmung des Proteingehaltes in Futtermitteln erfolgt in der Regel über die Bestimmung des Stickstoffgehaltes nach dem Kjeldahl-Verfahren. Der Stickstoffgehalt in verschiedenen Proteinen variiert nur geringfügig und beträgt im Mittel 16%. Durch Multiplikation des analysierten N-Gehaltes mit dem Faktor 6,25 kann der Proteingehalt des Futtermittels errechnet werden. Da bei der N-Bestimmung auch NPN-Verbindungen erfasst werden, bezeichnet man den ermittelten Proteingehalt korrekterweise als Rohprotein. Zur Trennung zwischen Rein- und Rohprotein werden andere Methoden (z.B. Fällungsreaktionen) benutzt.

Zur schnellen Abschätzung des Rohproteingehaltes in Futtermitteln läßt sich die NIR-Methode verwenden (NIR - Near Infrared Reflection). Voraussetzung für diese Methode ist, daß genügend chemisch bestimmte Analysenwerte in die Gerätekalibrierung eingegangen sind und es sich bei der Probe um ein Futtermittel ähnlicher Zusammensetzung handelt wie die zur Kalibrierung verwendeten Proben.

Der Proteingehalt eines Futtermittels stellt nur eine bedingt verwertbare Information über dessen Nährwert dar. Zum einen ist darin der von monogastrischen Tieren nicht nutzbare NPN-Anteil enthalten (Ausnahme Aminosäuren), und andererseits stehen Proteingehalt und -qualität in keinem Zusammenhang (s. *Kapitel 2.1.6 Proteinqualität*).

2.1.4 Verdauung und Resorption

Proteingebundene Aminosäuren müssen aus dem Proteinverband gelöst werden, um ihnen die Passage durch die Darmwand (Resorption) zu ermöglichen. Dieses erfolgt im Verdauungstrakt durch hydrolytische Enzyme (Proteinasen). Zur besseren Wirksamkeit der proteinspaltenden Enzyme wird der zerkleinerte Nahrungsbrei zunächst im Magen mit verdünnter Salzsäure angesäuert. Das führt zur Denaturierung des Eiweißes.

Die Aufspaltung der Peptidketten erfolgt zunächst von der Mitte her über Endopeptidasen (Pepsin, Trypsin, Chymotrypsin). Exopeptidasen hydrolisieren von den Enden her weiter zu Aminosäuren und Oligopeptiden, welche von den Mucosazellen resorbiert werden. Dort werden Oligopeptide weiter hydrolisiert und

gelangen schließlich als freie Aminosäuren ins Blut.

Für die Absorption der Aminosäuren sind spezifische Transportsysteme zuständig. Die absorbierten Aminosäuren gelangen über die Pfortader zur Leber, dem Hauptorgan für die Umsetzung der Aminosäuren.

2.1.5 Stoffwechsel und Proteinsynthese

Im Proteinstoffwechsel laufen Proteinaufbau (Synthese) und Proteinabbau (Proteolyse) nebeneinander ab. Beim wachsenden Tier überwiegt die Synthese, beim ausgewachsenen Tier stellt sich ein Gleichgewicht ein. Da die Aminosäuresequenz eines Proteins genetisch bedingt ist, müssen für dessen Synthese alle dafür benötigten Aminosäuren *synthesynchron* bereitstehen. Das Fehlen nicht-essentieller Aminosäuren kann vom Organismus in Grenzen durch Eigensynthese ausgeglichen werden. Fehlt aber eine der essentiellen Aminosäuren, kommt die Proteinsynthese zum Stillstand.

Die dadurch verbleibenden Aminosäuren müssen abgebaut werden. Dabei wird das Kohlenstoffgerüst zur Energiegewinnung

herangezogen, das freiwerdende Ammoniak muß »entgiftet« und aus dem Körper entfernt werden. Das erfolgt über die Synthese von Harnstoff (bei Geflügel Harnsäure) und stellt einen sehr energieaufwendigen Prozeß dar. Auch im Energiemangelzustand wird Eiweiß zur Aufrechterhaltung von Lebensprozessen abgebaut. Der Wirkungsgrad ist jedoch im Vergleich zu Fetten und Kohlenhydraten gering.

Aus diesem Zusammenhang wird ersichtlich, daß:

- Proteinstoffwechsel und Energiestoffwechsel nicht entkoppelt gesehen werden dürfen. Das wird insbesondere durch das Verhältnis der limitierenden Aminosäure zur umsetzbaren oder Nettoenergie im Futter berücksichtigt und
- die Abstimmung der im Stoffwechsel bereitgestellten Aminosäuren mit dem aktuellen Bedarf des Tieres möglichst eng sein sollte (s. Kapitel 2.2.4 *Ideales Protein*).

Eiweiß kann im Körper, abgesehen vom Muskelwachstum, nur begrenzt gespeichert werden, z.B. in der Leber. Andererseits unterliegt es einem mehr oder min-

der schnellen Abbau, der mit der Halbwertszeit ausgedrückt werden kann. Besonders betroffen sind z.B. Verdauungsenzyme, deren Halbwertszeit nur wenige Tage beträgt und die somit sehr anpassungsfähig an sich verändernde Stoffwechselbedingungen sind. Ein vorübergehender Mangel an Aminosäuren für die Synthese des Enzymproteins kann sich demzufolge in Leistungseinbußen niederschlagen.

Die Fragen des kontinuierlichen Flusses freier Aminosäuren aus der Nahrung in den Stoffwechsel des Tieres (Aminosäuren-Flux) haben somit einen hohen Stellenwert und verdienen besondere Beachtung beim Zusatz von freien Aminosäuren zu Futtermischungen. Zugesezte, freie Aminosäuren liegen in vollständig resorbierbarer Form vor und stehen dadurch schneller am Syntheseort zur Verfügung.

2.1.6 Proteinqualität

Die Qualität eines Proteins kann an dessen Potential zur Deckung des von Tierart, Alter, Genotyp, Geschlecht und Leistungshöhe abhängigen physiologischen Bedarfes an Aminosäuren für Erhaltung und Leistung bestimmt werden. Daraus

ergibt sich, daß das Aminosäuren-Profil, d.h. die Mengenverhältnisse der essentiellen Aminosäuren im Protein zueinander sowie deren Verfügbarkeit (siehe 2.3), ausschlaggebend für die Proteinqualität ist. Proteine mit hervorragender Qualität sind z.B. Vollmilchpulver und Volleiprotein. Proteine pflanzlicher Herkunft weichen in ihrer Aminosäurezusammensetzung zum Teil erheblich vom jeweiligen Bedarfsverhältnis ab.

Abbildung 3 demonstriert, daß Sojaschrot allein mit Ausnahme der *schwefel-*

haltigen Aminosäuren (Methionin, Cystin) den zur Bedarfsdeckung eines Mastschweines (30 - 50 kg LM) notwendigen Gehalt an essentiellen Aminosäuren im Futterprotein überschreitet. Weizen hingegen zeigt nur bei den schwefelhaltigen Aminosäuren einen bedarfsdeckenden Anteil im Protein.

Eine geeignete Kombination beider Proteine macht es möglich, Bedarfsdeckung bei limitierenden Aminosäuren zu erreichen, wenn der Gesamtproteingehalt der Mischung unberücksichtigt bleibt

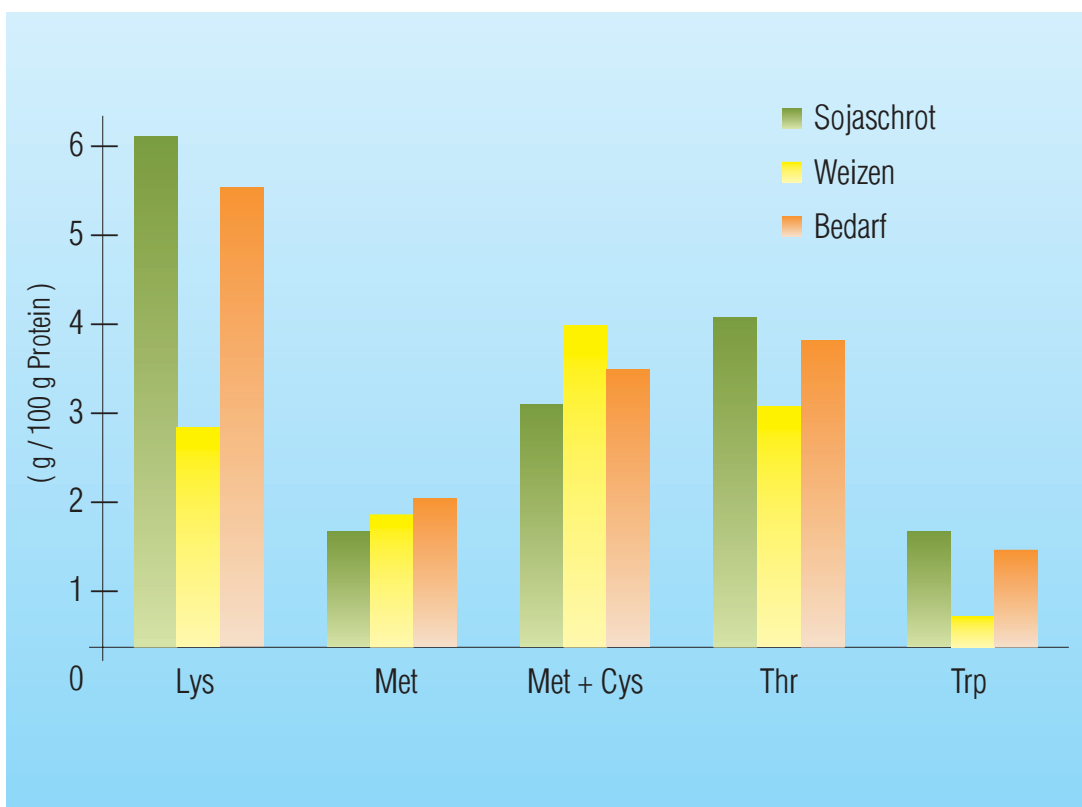


Abbildung 3
Aminosäuregehalte im Protein von Sojaschrot und Weizen, vergleichend dargestellt zum Bedarfsverhältnis (Mastschwein 30-50 kg)

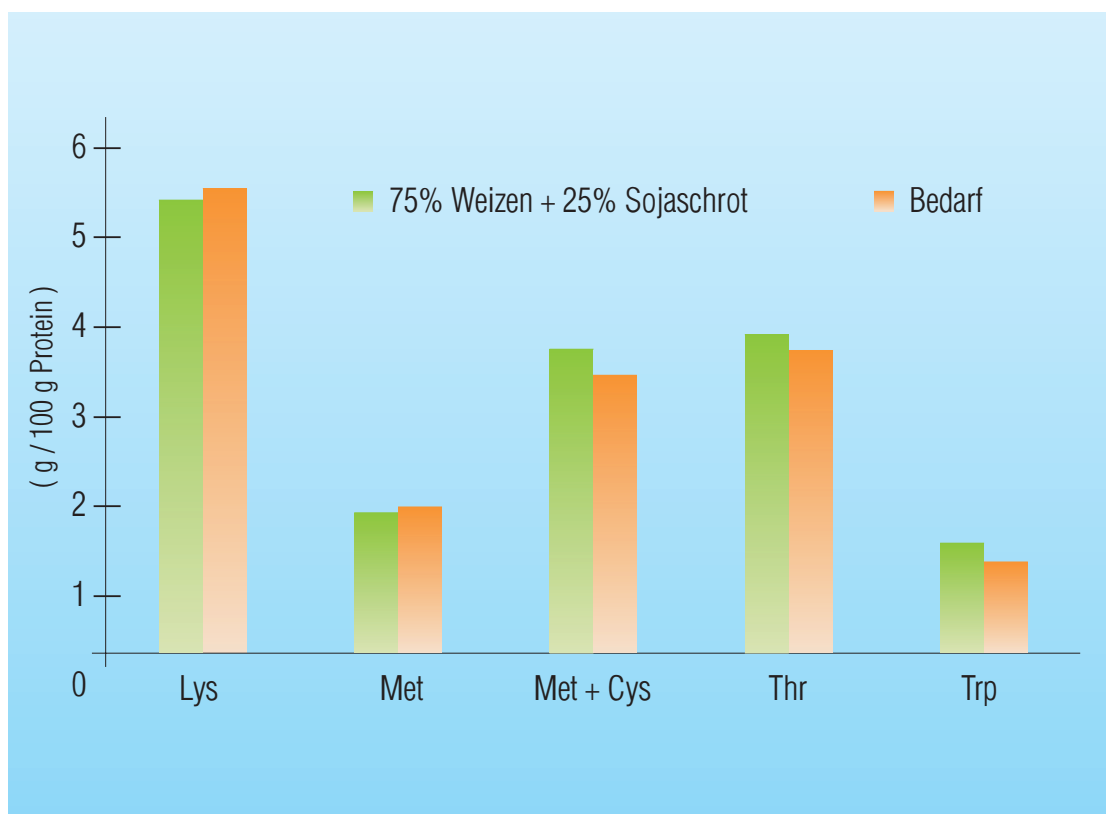
(Abb. 4). Die Proteinqualität dieser Mischung ist höher als die der einzelnen Rohstoffe.

Die Proteinqualität einer Komponente bzw. eines Fertigfutters lässt sich im Tierversuch am zuverlässigsten ermitteln. Im einfachsten Fall bestimmt man das Wachstum je Einheit aufgenommenes Protein (Protein Efficiency Ratio - PER). Interaktionen zwischen Protein- und Fettansatz und Auswirkungen auf die Körperzusammensetzung bleiben dabei unberücksichtigt.

Der physiologische Nutzwert (Net Protein Utilisation - NPU) setzt die retinierte zur aufgenommenen Proteinmenge ins Verhältnis, die Biologische Wertigkeit (BW) bezieht die retinierte Proteinmenge auf die Menge an resorbiertem Futterprotein. Diese Kennzahlen der Proteinqualität werden meist in N-Bilanzversuchen ermittelt. Sie sind neben der tierspezifischen Verwertungssituation vor allem von der Menge des aufgenommenen Futterproteins abhängig.

Ein universeller Qualitätsmaßstab, der unabhängig von Tierart und Eiweißsyntheseleistung anwendbar wäre, existiert

Abbildung 4
Aminosäuregehalte im Protein einer Mischung von Sojaschrot und Weizen, vergleichend dargestellt zum Bedarfsverhältnis (Mastschwein 30-50 kg)



nicht. Proteinqualität bezieht sich stets auf eine konkrete Verwertungssituation. Allgemein üblich ist die Verwendung von Bedarfsnormen von Aminosäuren für Altersabschnitte und Leistungen, an denen, wie im oben genannten Beispiel gezeigt, die Qualität eines Futterproteins abgeschätzt werden kann.

Diejenige Aminosäure, deren Gehalt im Protein gegenüber dem Bedarf am niedrigsten ist, wird als erstlimitierende bezeichnet und begrenzt den Wert des Proteins (Chemical Score). Im genannten Beispiel ist das für Weizenprotein die Aminosäure Lysin und für Sojaprotein

Methionin bzw. die Summe der schwefelhaltigen Aminosäuren.

Chemisch bestimmbare Bruttogehalte an Aminosäuren im Futterprotein sind nicht in vollem Umfang im Stoffwechsel verfügbar. Die Gegenüberstellung von Bruttoaminosäuren im Futterprotein mit Bedarfsangaben an Bruttoaminosäuren kann deshalb nur eine erste Näherung für die Abschätzung der Qualität eines Futterproteins darstellen. Im Abschnitt »Verfügbarkeit« wird auf diese Zusammenhänge näher eingegangen.

2.2 Aminosäuren

2.2.1 Chemische Struktur

Aminosäuren sind - wie der Name sagt - durch charakteristische funktionelle Gruppen im Molekül gekennzeichnet: die Aminogruppe $-NH_2$ und die Carboxygruppe $-COOH$.

Als Eiweißbausteine treten ausschließlich die sogenannten α -Aminosäuren auf, bei denen die Aminogruppe in α -Stellung zur Carbonsäuregruppe (Carboxygruppe) steht. Daneben gibt es andere Aminosäuren, bei denen sich die Aminogruppe in der γ -Position usw. zur Carbonsäuregruppe befindet, wie in nachfolgender Abbildung dargestellt:

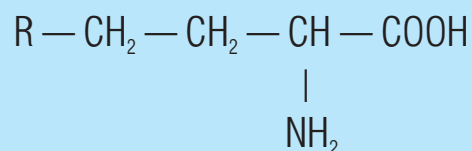
Der einfachste Vertreter der α -Aminosäuren ist das Glycin. Bei allen anderen

(proteinogenen) Aminosäuren steht am α -Kohlenstoffatom außer der Aminogruppe noch ein aliphatischer oder aromatischer Substituent (= R). Dieser kann auch noch weitere funktionelle Gruppen tragen. In der unten angegebenen allgemeinen Formel ist das α -Kohlenstoffatom von vier verschiedenen Substituenten umgeben (asymmetrisch substituiert). Von Verbindungen dieser Art, den sogenannten optisch aktiven Verbindungen, gibt es zwei unterschiedliche Formen, die sich durch die räumliche Anordnung der vier Substituenten am α -Kohlenstoffatom unterscheiden: die L-Form und die D-Form.

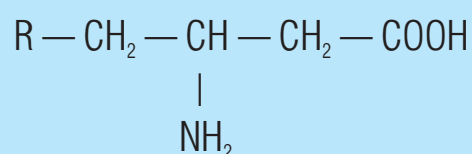
L- und D-Aminosäuren verhalten sich zueinander wie Bild und Spiegelbild oder wie die rechte und die linke Hand.

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften dieser Verbindungen, die

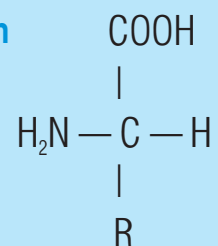
γ -Aminosäuren



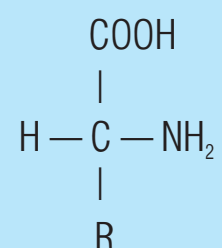
β -Aminosäuren



L-Aminosäuren



D-Aminosäuren



auch als optische Isomere bezeichnet werden, sind bis auf eine Ausnahme gleich. Sie differieren – abgesehen von Unterschieden in der physiologischen Wirksamkeit in tierischen Organismen – nur in der Drehung der Ebene des polarisierten Lichtes.

Die in den Proteinen vorkommenden Aminosäuren gehören der L-Reihe an. Werden dem tierischen Organismus Aminosäuren in der D- und L-Form (50:50 Gemisch aus L- und D-Aminosäure, »Racemat«) zugeführt, so muß die D-Form umgewandelt werden. Dies ist möglich über eine Desaminierung zur α -Ketoform und anschließende Aminierung zur

L-Aminosäure. Diese Umwandlung ist abhängig von der Tierart und läuft bei den einzelnen Aminosäuren mit unterschiedlicher Effizienz ab. Bei Methionin (und Tryptophan beim Schwein) läuft die Umwandlung so effektiv ab, daß auf eine Isomerentrennung aus ernährungsphysiologischer Sicht verzichtet werden kann (s. Kapitel 4, Aminosäureergänzung).

2.2.2 Einteilung der Aminosäuren

Heute sind rund 20 verschiedene Aminosäuren als direkte Hydrolyseprodukte von gängigen Nahrungs- und Futterproteinen

Neutrale Aminosäuren	saure Aminosäuren	basische Aminosäuren
Alanin	Asparaginsäure	Arginin
Asparagin	Glutaminsäure	Histidin
Cystein/Cystin ¹		Lysin
Glutamin		
Glycin		
Hydroxyprolin		
Isoleucin		
Leucin		
Methionin		
Phenylalanin		
Prolin		
Serin		
Threonin		
Tryptophan		
Tyrosin		
Valin		

Tabelle 2
Einteilung der Aminosäuren nach ihrem chemischen Verhalten

¹ Aus zwei Molekülen Cystein entsteht ein Molekül Cystin

bekannt. Nach chemischen Gesichtspunkten kann man sie in drei Hauptgruppen unterteilen: neutrale, saure und basische Aminosäuren.

Die Einteilung beruht auf den unterschiedlichen Resten R, die neben der Aminogruppe am α -Kohlenstoffatom vorhanden sind. Die sauren Aminosäuren enthalten im Rest R noch eine zweite Carboxygruppe, die basischen Aminosäuren noch eine basisch wirkende Gruppe.

2.2.3 Essentielle Aminosäuren

Ungefähr die Hälfte der oben genannten Aminosäuren kann der Organismus selbst synthetisieren. Diese werden als nicht-essentielle Aminosäuren bezeichnet. Etwa

10 Aminosäuren (abhängig von der Spezies) sind jedoch essentiell, d. h. sie können vom Organismus nicht selbst synthetisiert werden und müssen deshalb mit der Nahrung aufgenommen werden.

Die essentiellen Aminosäuren sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Die Einteilung in essentielle und nichtessentielle Aminosäuren darf nicht zu dem Schluß verleiten, daß der Organismus letztere nicht zum Aufbau seines eigenen Proteins benötigt. Er ist aber in der Lage, diese nichtessentiellen Aminosäuren selbst zu synthetisieren bzw. ineinander umzuwandeln. Dafür müssen ihm ausreichende Mengen an Kohlenhydraten und geeignete Stickstoffverbindungen zur Verfügung stehen.

Tabelle 3
Essentielle Aminosäuren in der Ernährung

Aminosäure	Geflügel	Schwein	Mensch
Arginin ^{1, 2}	±	±	±
Histidin ¹	+	+	±
Isoleucin	+	+	+
Leucin	+	+	+
Lysin	+	+	+
Methionin	+	+	+
Phenylalanin	+	+	+
Threonin	+	+	+
Tryptophan	+	+	+
Valin	+	+	+

¹ Arginin und Histidin sind beim Menschen nicht essentiell. Sie werden jedoch essentiell unter Bedingungen eines erhöhten Bedarfs (schnelles Wachstum in der ersten Lebensphase, Streß, Trauma).

² Arginin ist bei jungen Küken essentiell.

	Pflanze	Tier
Biosynthese	Alle Aminosäuren (auch die für das Tier essentiellen Aminosäuren)	Nur eine begrenzte Anzahl von Aminosäuren (nur nichtessentielle Aminosäuren)
Folgerung	Die Pflanze benötigt nur eine Versorgung mit einfachen Stickstoffverbindungen (Düngung)	Das Tier muß diejenigen Aminosäuren, die es selbst nicht herstellen kann (essentielle Aminosäuren) mit dem Futter aufnehmen ¹

¹ Ausnahme: Bei Wiederkäuern trägt die mikrobielle Proteinsynthese im Pansen zu seiner Versorgung mit essentiellen Aminosäuren bei.

Im Gegensatz zum tierischen Organismus ist die Pflanze in der Lage, sämtliche Aminosäuren aus einfachen Stickstoff- und Kohlenstoffverbindungen aufzubauen (siehe oben).

Einige der essentiellen Aminosäuren werden aufgrund ihrer besonderen Struktur und Rolle im Stoffwechsel näher erläutert:

Schwefelhaltige Aminosäuren

Die beiden schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein enthalten je ein Atom Schwefel und sind in unterschiedlichen Anteilen in tierischen und pflanzlichen Proteinen enthalten. Methionin ist dabei eine essentielle Aminosäure, Cystin ist nichtessentiell, kann aber tierartabhän-

gig bis zu 50% der Methioninfunktion übernehmen. Neuere Arbeiten zeigen, daß im oberen Leistungsbereich dieser Anteil deutlich unter 50% liegt. Neben seiner Rolle als essentieller Proteinbaustein und Vorstufe des Cystein ist Methionin durch Abgabe einer Methylgruppe (S-Adenosyl-Methionin) an der Biosynthese zahlreicher wichtiger Verbindungen wie u. a. Cholin, Kreatin und Adrenalin beteiligt. Somit spielt es indirekt eine wichtige Rolle z. B. im Fett- und Hormonstoffwechsel sowie bei der Reizleitung im Nervensystem und im Leberstoffwechsel. Aus Methionin (S-Adenosyl-Methionin - Cystathionin) entsteht im Organismus Cystein. Cystein wird teilweise weiter zu Taurin metabolisiert, oder es wird über Zwischenstufen zu Sulfat umgebaut. Der Sulfatbedarf des Tieres sollte aber über

anorganische S-Verbindungen gedeckt werden.

Basische und aromatische Aminosäuren

Lysin ist eine der wichtigsten essentiellen Aminosäuren. Arginin ist bei jungen Küken essentiell, kann aber durch Citrullin ersetzt werden. Auch Phenylalanin und Tyrosin stehen in Wechselwirkung miteinander. Phenylalanin und Tyrosin sind aromatische Aminosäuren. Sie enthalten im Rest eine aromatische Verbindung. Der Gesamtbedarf kann durch Phenylalanin allein, nicht aber durch Tyrosin gedeckt werden. Tyrosin kann nur knapp 50% des Phenylalaninbedarfs decken.

2.2.4 Limitierende Aminosäuren und Ideales Protein

Das Wachstum eines Organismus setzt eine Eiweißsynthese voraus. Hierbei werden die benötigten essentiellen und nicht essentiellen Aminosäuren entsprechend der genetisch festgelegten Sequenz aneinander gereiht. Wird bei der Verlängerung der Eiweißkette eine Aminosäure benötigt, welche am Syntheseort nicht vorhanden ist, kommt die Eiweißsynthese zunächst zum Stillstand. Handelt es sich

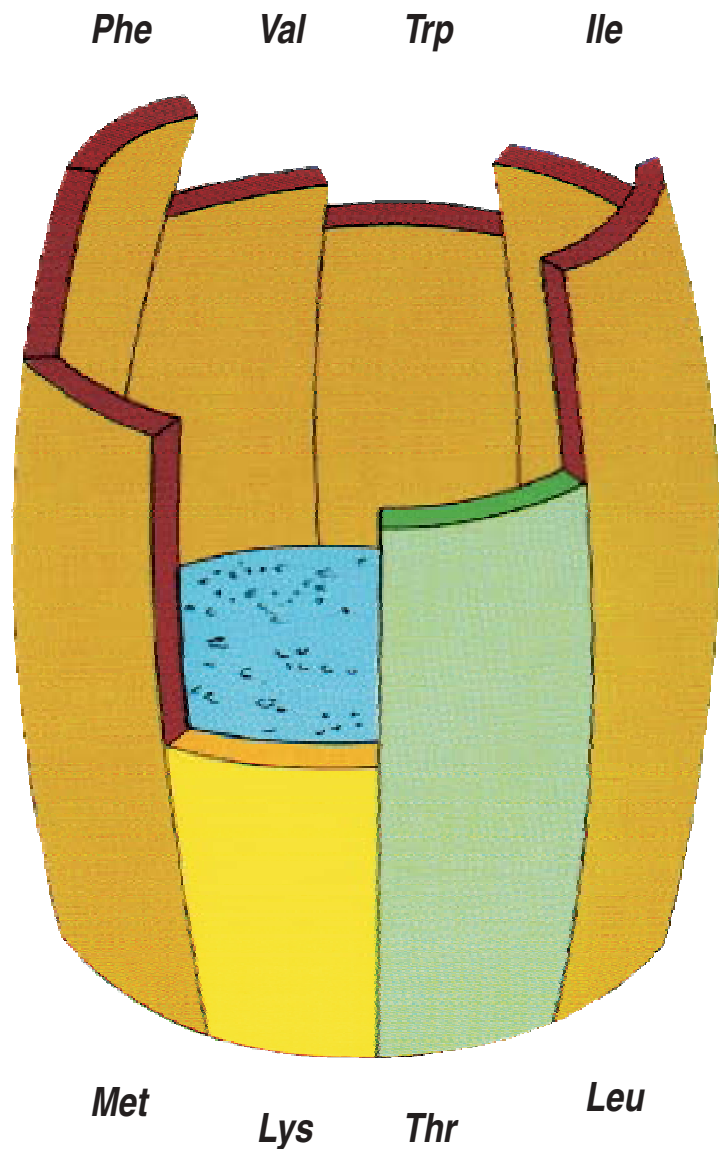
um eine nicht-essentielle Aminosäure, ist der Körper in der Lage, diese über Eigensynthese zur Verfügung zu stellen. Fehlt jedoch eine essentielle Aminosäure, »limitiert« diese Aminosäure die Proteinsynthese.

Die limitierende Aminosäure muß also im Futter in ausreichender Menge vorhanden sein. Bei der Bedarfsermittlung unterteilt man genauer in erst-, zweit- und nächstlimitierende Aminosäuren. In Rationen für Geflügel sind im allgemeinen die schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein erstlimitierend, in Rationen für Schweine das Lysin. Ein ausreichender Gehalt an diesen Aminosäuren im Futter entscheidet also darüber, ob auch die anderen Aminosäuren in effizienter Weise zur Eiweißsynthese verwertet werden können.

Dieses Prinzip wird durch das »Liebig'sche Faß« illustriert, wobei der Füllungsgrad des Fasses das Proteinsynthesevermögen des Tieres darstellt (Abb. 5): Die kürzeste Daube »limitiert« das Fassungsvermögen des Fasses. Wird die kürzeste Daube verlängert, so steigt das Fassungsvermögen bis zur Höhe der ursprünglich »zweitlimitierenden« Daube.

Der wichtigste Faktor für die Ausnutzung des Futterproteins für eine bestimmte Leistung ist die Ausgewogenheit der in ihm enthaltenen Aminosäuren im Vergleich zum physiologischen Bedarf für diese Leistung. Basierend auf den Arbeiten von Cole und Fuller (1988) konnte gezeigt werden, daß beim Schwein rasen- und geschlechtsabhängige Differenzen im Aminosäurebedarf überwiegend quantitativer Natur sind. Die relativen Mengen essentieller Aminosäuren für die Synthese von 1 g Protein sind gleich. Das führte zur Aufstellung von Relationen zwischen den essentiellen Aminosäuren und Lysin als Referenzaminosäure. Dieses relative Verhältnis der essentiellen Aminosäuren im Vergleich zu Lysin wird als »Ideales Protein« oder »Ideales Aminosäureprofil« bezeichnet. Neuere Arbeiten deuten darauf hin, daß der Bedarf an essentiellen Aminosäuren (schwefelhaltige Aminosäuren, Threonin und Tryptophan), die eine wesentliche Rolle im Erhaltungsstoffwechsel spielen, mit zunehmender Lebendmasse in ihrer relativen Konzentration zum Lysin ansteigt.

Aufgrund des tierartspezifischen Aminosäurebedarfs für Erhaltungsstoffwechsel und Proteinsynthese sowie dem sich änderndem Verhältnis im Verlaufe des



Wachstums, unterscheidet sich das »Ideale Protein« von Tierart zu Tierart einerseits und innerhalb einer Tierart in Abhängigkeit von Alter und Produktionsrichtung andererseits.

Das Konzept des Idealen Proteins erleichtert die Arbeit für den Rezepturgestalter erheblich. Ist der Lysinbedarf für eine Tierart und Produktionsrichtung bekannt,

Abbildung 5
Das »Liebig'sche Faß«: Limitierung der Proteinsynthese bei Mangel einer essentiellen Aminosäure

kann der Bedarf an den anderen essentiellen Aminosäuren daraus abgeleitet werden. Um den Einfluß von Aminosäurenverlusten bei der Verdauung und

Resorption zu berücksichtigen, basieren neuere Angaben zu den idealen Aminosäurenverhältnissen auf ileal verdaulichen Aminosäuren (Tabellen 4 u. 5)..

Tabelle 4
Ideale Verhältnisse verdaulicher Aminosäuren für Schweine

Aminosäure	(in % vom Lysin)		
	5-20 kg	20-50 kg	50-100 kg
Lysin	100	100	100
Threonin	65	67	70
Tryptophan	17	18	19
Methionin	30	30	30
Cystin	30	32	35
Met + Cys	60	62	64
Isoleucin	60	60	60
Valin	68	68	68
Leucin	100	100	100
Phenylalanin + Tyrosin	95	95	95
Arginin	42	30	18
Histidin	32	32	32

(Baker, 1997)

Tabelle 5
Ideale Verhältnisse verdaulicher Aminosäuren für Mastkühen

Aminosäure	(in % vom Lysin)	
	0-21 Tage	21-42 Tage
Lysin	100	100
Met + Cys	72	75
Methionin	36	37
Cystin	36	38
Arginin	105	105
Valin	77	77
Threonin	67	73
Tryptophan	16	17
Isoleucin	67	67
Histidin	31	31
Phenylalanin + Tyrosin	105	105
Leucin	111	111

(Baker & Han, 1997; Baker, 1997)

2.3 Aminosäurenverfügbarkeit

2.3.1 Grundsätzliche Betrachtung

Bevor eine im Futterprotein enthaltene Aminosäure für die körpereigene Proteinsynthese verwendet werden kann, muß sie aus dem Proteinverband freigesetzt (verdaut) und resorbiert werden (s. Kapitel 2.1.4 Verdauung und Resorption). Faktoren, die Verdauung und Resorption im Tier beeinflussen, sind somit auch gravierende Einflußgrößen für die Verfügbarkeit der Aminosäuren.

Weiterhin können Aminosäuren in technischen Bearbeitungsprozessen so verändert werden, daß sie zwar den potentiellen Syntheseort noch erreichen, also verdaut und resorbiert werden, jedoch als Baustein für die Proteinsynthese nicht mehr verwendbar sind.

Die Verfügbarkeit einer Futteraminosäure ist deren relativer Bruttoanteil, der für alle Stoffwechselprozesse, in denen diese Aminosäure benötigt wird, uneingeschränkt zur Verfügung steht.

Aus der Annahme, daß verdaute und resorbierte Aminosäuren biologisch verfügbar sind, leitet sich die Kategorie der

verdaulichen Aminosäuren ab, die zur Einschätzung des Wertes von Futterproteinen herangezogen werden.

Die Verdaulichkeit kann in verschiedenen Abschnitten des Verdauungskanals gemessen werden. Bestimmt man die Verdaulichkeit am Ende des Dünndarmes, spricht man von der präzäkalen oder ilealen Verdaulichkeit. Diese Methode schließt den Einfluß mikrobieller Umsetzungen im Dickdarm weitestgehend aus und führt zu einer genaueren Leistungsvorhersage bei der Rationsformulierung im Vergleich zur Bruttoaminosäure. Dies zeigt das Beispiel in Tabelle 6 auf der folgenden Seite.

Wird in einer Ration aus Mais und Sojaextraktionsschrot (Gruppe 1) 50% des Rohproteins aus Sojaextraktionsschrot durch Fleischknochenmehl ersetzt (Gruppen 2 - 4), führt das in Gruppe 2 zu einer signifikanten Reduzierung der täglichen Lebendmassezunahmen und Erhöhung des Futteraufwandes je Zuwachseinheit. Die alleinige Ergänzung mit Tryptophan (Gruppe 3) auf das Niveau der Kontrollgruppe 1 bringt keine signifikante Verbesserung. In Gruppe 4 wurde neben Tryptophan auch Lysin auf das gleiche Niveau an ileal verdaulichem Lysin ergänzt. Es

Tabelle 6

Einfluß eines Austausches von Sojaprotein durch 50% Fleischknochenmehlprotein auf die Mastleistung von Schweinen (20-45 kg LM)

	Sojaprotein	50% Sojaprotein		
Gruppe	1	2	3	4
AS-Ergänzung	-	-	+ Trp	+ Trp + Lys
RP (%)	15,2	15,2	15,2	15,3
Trp (%)	0,12	0,09	0,12	0,12
ileal verdaul. Trp (%)	0,09	0,06	0,09	0,09
Lys (%)	0,70	0,66	0,66	0,74
ileal verdaul. Lys (%)	0,60	0,53	0,53	0,60
Zuwachs (g/d)	690 ¹	590 ²	610 ²	710 ¹
kg Futter/kg Zuwachs	2,42 ¹	2,63 ²	2,63 ²	2,49 ¹

^{1,2} Mittelwerte mit unterschiedlichen Ziffern innerhalb einer Zeile unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$)

gibt hier keine Unterschiede mehr in den Leistungsdaten im Vergleich zur Kontrolle. Dieses Beispiel läßt klar erkennen, daß die Ergänzung auf Basis des ileal verdaulichen Aminosäuregehaltes vorgenommen werden muß. Auf Basis des Bruttogehaltes wäre beim Lysin in Gruppe 4 der tatsächliche Bedarf unterschätzt worden, da die Verdaulichkeit des Lysins in Fleischknochenmehl geringer ist als in Sojaextraktionsschrot.

Den Einfluß von Aminosäuren endogener Herkunft auf die Verdaulichkeitsmessung versucht man durch Korrekturfaktoren zu minimieren. Hierbei ist zu berücksichti-

gen, daß Höhe und Zusammensetzung der endogenen Ausscheidungen von der Höhe der Trockensubstanzaufnahme, dem Aminosäureprofil des Futterproteins, dem Gehalt an Nicht-Stärke-Polysacchariden im Futter, der Darmkinetik, der mikrobiellen Besiedelung des Darmes und anderen Faktoren abhängen. Die quantitative Erfassung und Zuordnung zu den einzelnen Einflußgrößen ist deshalb tierexperimentell kaum möglich.

Häufig werden die Begriffe Verdaulichkeit und Verfügbarkeit gleichgesetzt. Das kann, wie noch gezeigt wird, zu Fehleinschätzungen führen, da auch verdaute

und resorbierte Aminosäuren nicht immer voll für die Proteinsynthese verfügbar sind.

Die Gesamtbetrachtung aller Einflüsse führt zur Kategorie der *physiologisch wirksamen Aminosäuren*. Diese können für limitierende Aminosäuren aus N-Bilanz- oder Ansatzversuchen ermittelt werden und erfassen auch Wirkungsin-suffizienzen von Aminosäuren auf Stoff-

wechsellniveau, die mit der Verdaulich-keitsbestimmung allein nicht erfasst wer-den können. Allein auf dieser Ebene kann der Begriff Verfügbarkeit für eine Futtera-minosäure zu Recht angewendet werden.

2.3.2 Einflußfaktoren

Wie gezeigt, ist die Verdaulichkeit der wichtigste Einflußfaktor für die Verfüg-barkeit von Futteramino-säuren. Die Verdau-

Tabelle 7

Wahre Verdaulich-keit essentieller Aminosäuren in ausgewählten Fut-termitteln beim Schwein¹ und beim Geflügel² (%)

	Lysin		Methionin		M + C		Threonin		Tryptophan	
	Schwein	Geflügel	Schwein	Geflügel	Schwein	Geflügel	Schwein	Geflügel	Schwein	Geflügel
Weizen	80	83	89	89	89	87	84	82	90	93
Gerste	79	80	85	85	85	84	81	84	78	
Roggen	73	75	80	77	81	75	73	78	66	56
Mais	77	82	89	93	88	88	83	85	87	90
Triticale	85	84	90	89	90	85	82	85		
Ackerbohnen	89	90	79	84	80	82	83	87	75	79
Erbsen	83	87	78	82	73	78	76	83	75	82
Sojaschrot 44	88	87	90	89	87	84	84	83	82	84
Rapsschrot 00	78	80	86	91	85	82	69	82	74	89
Sonnenblumenschrot	81	86	89	94	86	88	83	86	79	91
Erdnußschrot	87	77	88	87	87	82	91	85	76	
Baumwollschrot	64	60	75	78	72		68	67	65	66
Fischmehl	93	85	92	90	90	90	92	84	79	69
Fleischknochenmehl	83	78	85	84	78	71	83	76	78	71
Magermilchpulver	96		95		90		90		85	

¹ am Ende des Dünndarmes

² bestimmt mit caeektomierten Hähnen

lichkeit ist unter Beachtung einer gewissen Variabilität futtermittelspezifisch und mit annähernder Genauigkeit, ermittelt in einer Vielzahl von Tierversuchen, für die einzelnen Proteinträger tabellarisch aufgelistet. Tabelle 7 zeigt exemplarisch eine Auswahl dieser Daten für die wichtigsten essentiellen Aminosäuren, auf Basis ihrer wahren ilealen Verdaulichkeit.

Diese Informationen stellen aus Sicht der Futtermittelbewertung einen Fortschritt gegenüber der Betrachtung der Bruttoaminosäuren dar und sollten bei der Gestaltung von Futtermittelrezepturen genutzt werden. Da hiermit unterschiedliche Verluste im Prozeß Verdauung/Resorption, z.B. von Lysin in Getreide, berücksichtigt werden, ist eine bessere Deckung des Aminosäurenbedarfes auf der Basis verdaulicher Aminosäuren möglich. Erfolgt die Verdaulichkeitsbestimmung am Ende des Dünndarmes, wird der Einfluß mikrobiologischer Umsetzungen im Dickdarm weitgehend eliminiert. Wird der endogene Anteil bei der Berechnung berücksichtigt, spricht man von der wahren, ilealen Verdaulichkeit. Rationsformulierung auf dieser Basis führt besonders bei schlecht verdaulichen Futtermitteln zu einer genaueren Abschätzung der für das Tier verfügbaren Aminosäuren.

Für nicht hitzegeschädigte Proteine reflektiert die Messung der Verdaulichkeit am Ende des Dünndarmes die Verfügbarkeit zuverlässiger als am Ende des Verdauungskanal.

Ein weiterer wichtiger Einflußfaktor auf die Verfügbarkeit sind *technische Bearbeitungsprozesse*, denen Futtermittel unterzogen werden müssen.

Hierbei können Aminosäuren geschädigt werden.

Liegt eine thermische Schädigung vor, wird mit der Bestimmung der ilealen Verdaulichkeit die Verfügbarkeit der entsprechenden Aminosäuren überschätzt, da ein Teil der resorbierten Aminosäuren auf Grund struktureller Schädigung seiner proteinogenen oder metabolischen Funktion nicht gerecht werden kann.

Dieser Verfügbarkeitsverlust kann mit der Bestimmung der physiologisch wirksamen Aminosäuren erfaßt werden.

Viele Einzelfuttermittel werden vor ihrer Verwendung einer Bearbeitung unterzogen bzw. gelagert. Das trifft vor allem auf Eiweißträger, aber auch Getreide zu.

Tabelle 8 gibt Beispiele für Bearbeitungsverfahren und daraus resultierende Reaktionen, die die Verfügbarkeit der betroffenen Aminosäuren einschränken.

Innerhalb der technischen Bearbeitungsverfahren ist das Erhitzen besonders relevant. Einzelfuttermittel werden einer Vielzahl thermischer Behandlungen unterzogen wie z.B. das Toasten von Sojabohnen und Sojaextraktionsschrot, Rapsprodukten, Erbsen und Ackerbohnen; das Autoklavieren von Tiermehlen und Federmehl; das Pasteurisieren von Fischmehl oder

die Trocknung von Maiskleber und Feuchtgetreide.

Auch fertige Mischungen werden aus prozeßtechnischen, ernährungsphysiologischen und hygienischen Gründen einer zum Teil erheblichen Wärmebehandlung unterzogen (Pelletieren bis 80°C; Expandieren bis 110°C; Extrudieren bis 130°C).

In Fertigmischungen liegen zudem oft reaktionsfördernde Bedingungen (reduzierende Zucker) für Maillardreaktionen

Verfahren	Reaktion	betroffene Aminosäuren
Erhitzen (Trocknen, Toasten)	Maillard - Reaktion Razemisierung Abbau Vernetzung (cross links)	Lysin
Proteinextraktion	Protein- Polyphenolreaktion	Lysin, Methionin, Cystin Tryptophan
Alkalibehandlung	Razemisierung Abbau Vernetzung	Lysin, Methionin, Cystin Phenylalanin, Histidin Threonin
Lagerung (Peroxidbildung)	Oxidationsprodukte + Aminosäuren	Methionin, Cystin, Tryptophan, Lysin

Tabelle 8
Bearbeitungsverfahren und mögliche Schädigung von Aminosäuren

vor. Der Einfluß dieser Bearbeitungsverfahren für Einzelproteine und Mischungen ist noch wenig untersucht, insbesondere unter dem Aspekt verallgemeinerungsfähiger und damit vorhersagbarer Auswirkungen.

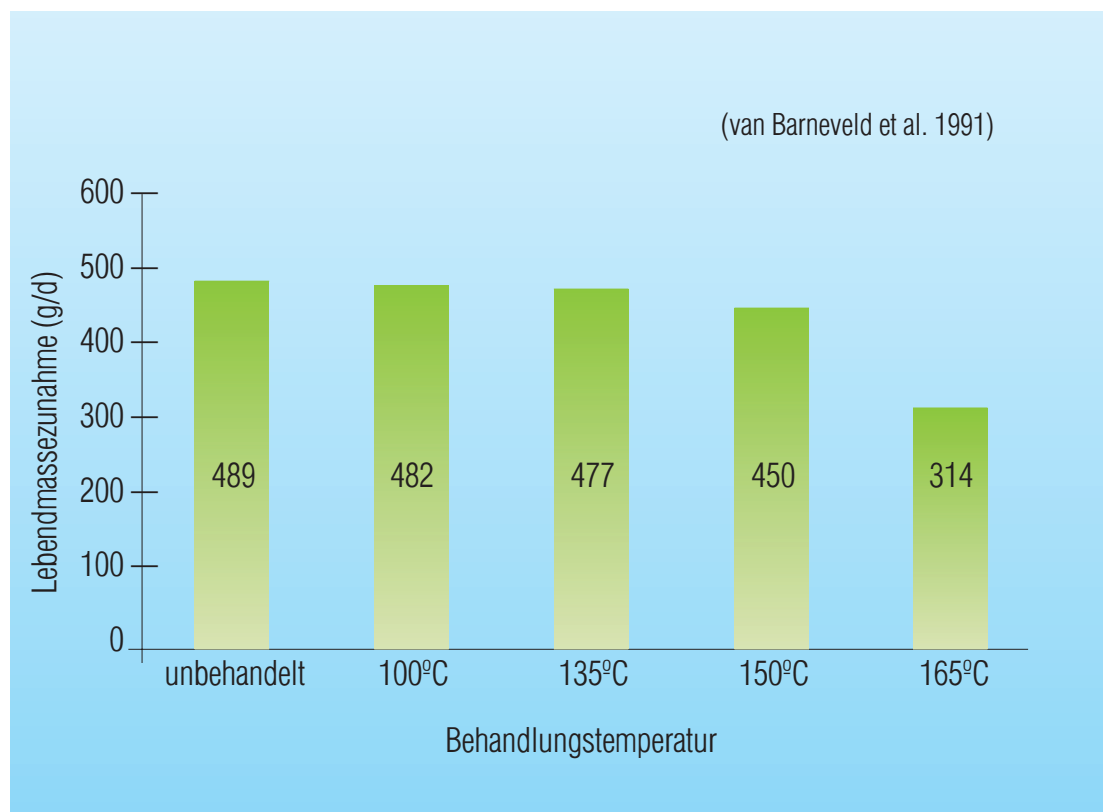
2.3.3 Grenzen der Bewertungssysteme

Die Aminosäurenverfügbarkeit kann wie gezeigt in verschiedenen Kategorien abgeschätzt werden. Abgesehen von der Rationsformulierung auf Basis der Brut-

toaminsäuren ist gegenwärtig das Arbeiten auf Basis verdaulicher Aminosäuren von praktischer Bedeutung. Systeme für die Bewertung der Verfügbarkeit als physiologisch wirksame Aminosäuren bestehen in Ansätzen und dürften zukünftig im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten stehen.

Für Getreide und nicht hitzegeschädigte Proteinträger ist die Verfügbarkeit mit der Verdaulichkeit weitgehend erklärt. Für thermisch behandelte Proteine stehen in-vitro Verfügbarkeits-tests für Korrekturen

Abbildung 6
Tägliche Lebendmassezunahme von Schweinen (g/d) – Rationen formuliert mit 0,36 g ileal verdaulichem Lysin / MJ verdauliche Energie und thermisch behandelten Erbsen



zur Verfügung (Carpentertest), jedoch ohne breite Anwendung in der Futtermittelindustrie.

Die Abbauraten auch essentieller Aminosäuren im Stoffwechsel (Katabolisierung) entzieht sich heute noch weitgehend unserer Kenntnis, ist jedoch für die genaue Abschätzung des Bedarfes an physiologisch wirksamen Aminosäuren, besonders für die limitierenden Aminosäuren zukünftig unerlässlich.

Versuche mit Mastschweinen (Abbildung 6) zeigen die Grenzen der Bewertung auf der Basis verdaulicher Aminosäuren.

Obwohl alle Rationen mit gleichem Gehalt an verdaulichem Lysin formuliert wurden, fällt mit zunehmender Intensität der Hitzebehandlung die Zuwachsleistung ab.

Ziel der weiteren Forschungen muß es deshalb sein, ein adäquates System zur Bewertung der Aminosäurenverfügbarkeit zu entwickeln, das auch unter den Bedingungen moderner Futtermittelbearbeitungsverfahren zuverlässige Voraussagen liefert. Eine Beschränkung der Betrachtung auf die Ebene Verdauung/Resorption wird diesem Anspruch künftig nicht genügen.

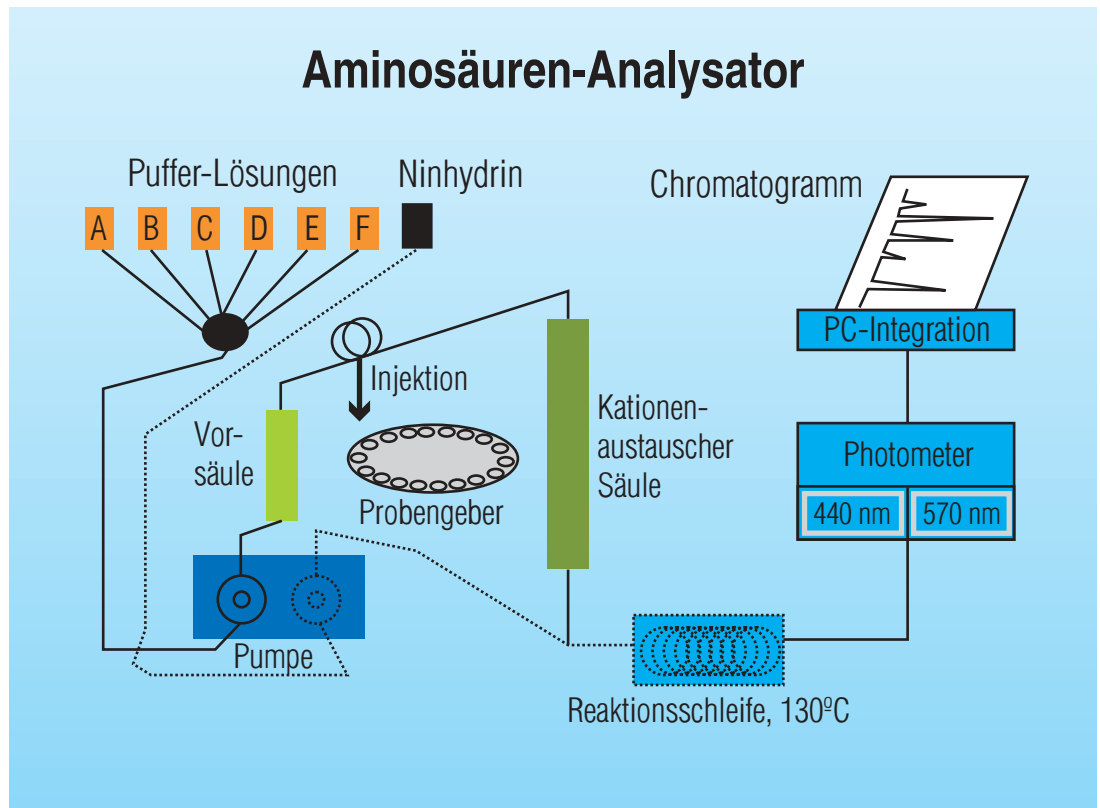
2.4 Analytik

Die Kenntnis der quantitativen Aminosäurezusammensetzung der Futtermittel ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Formulierung bedarfsgerechter Mischfutter. Die Bestimmung der Aminosäuregehalte in Futtermitteln kann sowohl von der Methodik als auch von der Technik her als ausgereift angesehen werden.

Bei der Bestimmung des Aminosäuregehaltes von Futtermitteln wird das Protein durch Hydrolyse mit halbkonzentrierter Salzsäure in die einzelnen Aminosäuren gespalten. Das Hydrolysat wird durch Ionenaustauschchromatographie mit einem Aminosäuren-Analysator oder HPLC (High pressure liquid chromatography) auf den Gehalt an Aminosäuren untersucht (s. Abbildung 7).

Hierzu wird die aus dem Eiweißhydrolysat gewonnene Meßlösung im Aminosäuren-Analysator auf eine Trennsäule mit Kationenaustauscherharz gegeben und diese mit verschiedenen Puffern bei variabler Temperatur gespült. Dadurch treten die Aminosäuren aus der Analysensäule nacheinander getrennt aus. Sie werden dann

Abbildung 7
Schematischer
Aufbau eines
Aminosäuren-
Analyators



im Gerät mit dem Farbreagenz Ninhydrin gemischt und in einer Reaktionsschleife bei 130° C zu einer spezifisch blauviolett oder gelben Farbe umgesetzt. Die Intensität der gebildeten Farbe (Peak) wird photometrisch gemessen, mittels eines Rechners die Peakfläche ermittelt und das Chromatogramm ausgedruckt. Die Peakfläche entspricht dem Gehalt an der jeweiligen Aminosäure. Dieser selektive Nachweis ermöglicht eine genaue, interferenzfreie, quantitative Untersuchung von Futtermittelprotein auf seine Aminosäurezusammensetzung.

Für die schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystin ist zunächst eine Oxidation dieser Aminosäuren notwendig, um sie vor einem teilweisen Abbau während der Hydrolyse zu schützen. Die Oxidation der schwefelhaltigen Aminosäuren erfolgt mit Perameisensäure, wobei aus Methionin das Methioninsulfon und aus Cystin zwei Moleküle Cysteinsäure entstehen.

Tryptophan muß separat nach alkalischer Hydrolyse bestimmt werden, da es bei der sauren Hydrolyse mit Salzsäure zerstört wird. Für den Nachweis stehen verschiedene Methoden zur Verfügung.

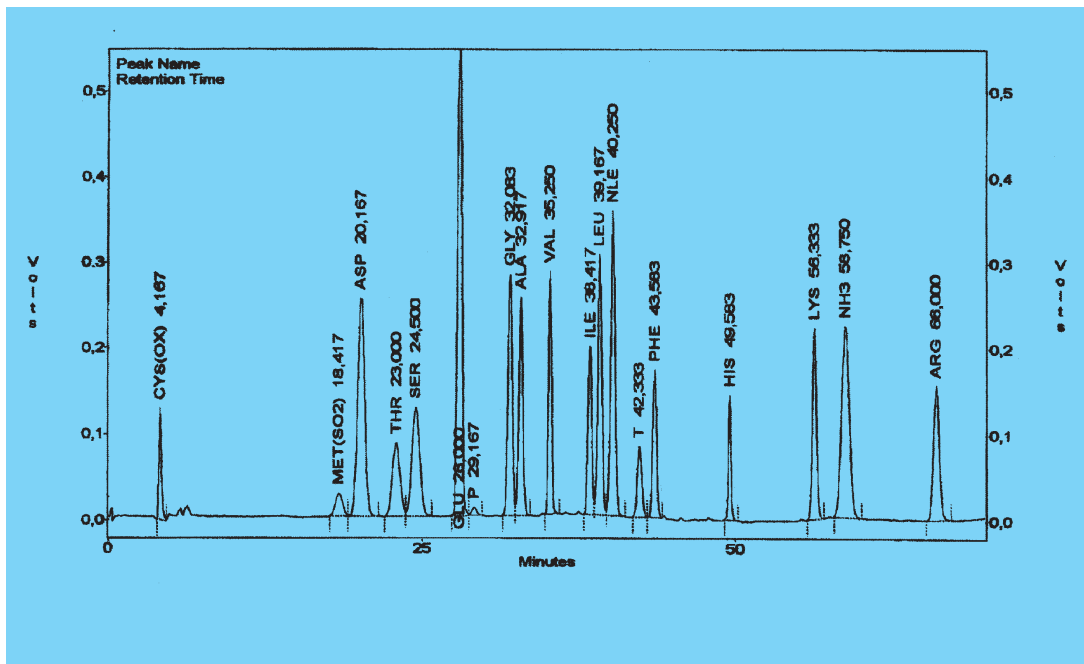


Abbildung 8

Chromatogramm
einer Aminosäuren-
bestimmung

Die Reproduzierbarkeit der Aminosäurenbestimmung innerhalb eines Laboratoriums sollte im Schwankungsbereich $\pm 3 - 4\%$ liegen. In den vergangenen Jahren wurde die Aminosäurenanalytik für Futtermittel sowohl innerhalb der Europäischen Union (EU) als auch in den USA standardisiert.

Der Anteil an zugesetzten Aminosäuren wie DL-Methionin, L-Lysin·HCl, Threonin und Tryptophan kann in einfacher Weise bestimmt werden, indem eine Mischfutterprobe mit verdünnter Salzsäure bei Raumtemperatur extrahiert und der Extrakt anschließend ebenfalls mittels Ionenaustauschchromatographie am Aminosäureanalysator bzw. HPLC untersucht wird. Methionin-Hydroxy-Analoge Säuren (s.

Kapitel 4.5) werden mit einem wässrigen Extraktionsmittel aus dem Futter freigesetzt und anschließend mit HPLC quantitativ bestimmt.

Seit einigen Jahren wird mit Erfolg daran gearbeitet, Aminosäuregehalte in Futterrohstoffen (Einzelfuttermitteln) mit der Nahinfrarot-Reflexionsspektroskopie (NIR) zu ermitteln. Diese Methode wird schon seit Jahren bei Futterherstellern zur Bestimmung des Feuchte-, Rohprotein-, Fett- und Fasergehaltes sowie anderer Futterbestandteile eingesetzt. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, daß innerhalb von Minuten das Ergebnis ermittelt wird und außer Vermahlen der Probe keine Vorbereitung oder Reagenzien benötigt werden.

Die NIR-Methode basiert auf einer umfangreichen Kalibrierung mit Proben, deren Nährstoffgehalte mittels Referenz-Methoden ermittelt wurden. Für Rohstoffe pflanzlicher und tierischer Herkunft (z. B. Soja, Weizen, Fleisch-knochenmehl) konnten bereits NIR-Kalibrierungen für die Aminosäuregehalte erstellt werden. Darüber hinaus lassen sich mittels NIR auch Gehalte an verdaulichen Aminosäuren abschätzen. Analysen von Mischfutter auf supplementierte Aminosäuren gelingen mit NIR nicht. Dennoch hilft die Methode den Rohstoffeinsatz zu optimieren.

2.5 Aminosäuregehalte in Futtermitteln

Jeder Rohstoff zeichnet sich durch ein Aminosäuremuster aus, das je nach Herkunft deutlichen Schwankungen unterliegen kann. Deshalb ist bei der Verwendung von Tabellenwerten zu berücksichtigen, daß es sich bei den angegebenen Gehalten um Durchschnittswerte handelt und das die Gehalte einzelner Aminosäuren in den Rohstoffen deutlich von den Tabellenwerten abweichen können.

Bei Verwendung der verschiedenen Tabellen für die Formulierung von Misch-

futtern ist besonders darauf zu achten, welche Bezugsgrößen den Aminosäureangaben zugrunde liegen; bzw. auf welcher Bewertungsebene die Angabe erfolgt (Brutto-, scheinbar, wahr verdauliche Aminosäuren):

- Gehalt im Rohstoff (in % oder in g/kg)
- Gehalt in der Trockensubstanz des Rohstoffes (in % oder in g/kg)
- Gehalt in % des Rohproteins

Die in den Tabellen 9 - 11 angeführten Werte beziehen sich auf einen definierten Trockensubstanzgehalt. Abweichende Trockensubstanzgehalte sind bei der Rezepturgestaltung zu berücksichtigen. Für die praktische Rationsberechnung ist die Rohproteinangabe von Bedeutung. Weicht der Tabellenwert vom analysierten Gehalt ab, so verschiebt sich auch der Aminosäuregehalt in die gleiche Richtung. Um die bedarfsgerechte Aminosäurenversorgung der Tiere zu gewährleisten, wird bei der Futteroptimierung immer häufiger mit den ileal verdaulichen Aminosäuren gerechnet. In den nachfolgenden Tabellen sind daher auch die wahren, ileal verdaulichen Aminosäuren für einige Rohstoffe angegeben.

	TS	RP	Lys	Thr	Met	M+C	Try
Ackerbohne	88	25,0	1,57	0,90	0,19	0,50	0,22
Bierhefe, getrocknet	88	50,5	3,43	2,42	0,81	1,34	0,57
CCM	55	5,7	0,15	0,20	0,11	0,23	0,04
Futtererbsen	88	20,0	1,46	0,78	0,21	0,53	0,19
Gerste	88	10,5	0,38	0,36	0,18	0,42	0,12
Hafer	88	12,6	0,53	0,44	0,22	0,58	0,14
Kokosschrot, extr.	88	18,5	0,47	0,57	0,28	0,58	0,14
Leinsamenschrot, extr.	89	34,0	1,19	1,23	0,60	1,19	0,50
Luzerngrünmehl	88	17,0	0,74	0,70	0,25	0,43	0,24
Mais	88	8,5	0,25	0,31	0,18	0,37	0,06
Maiskeimschrot	88	11,2	0,47	0,44	0,20	0,43	0,10
Maiskleber	88	60,5	1,02	2,08	1,43	2,52	0,31
Maiskleberfutter	88	19,0	0,58	0,68	0,32	0,72	0,11
Malzkeime	92	26,0	1,20	0,87	0,35	0,66	0,20
Rapsschrot, extr.	88	34,8	1,95	1,53	0,71	1,59	0,45
Roggen	88	9,6	0,39	0,34	0,17	0,42	0,09
Sojaschrot, extr. 44 %	88	44,0	2,75	1,76	0,64	1,31	0,57
Sojaschrot, extr. 48 %	88	47,6	2,98	1,89	0,69	1,40	0,61
Sonnenblumenschrot	90	36,2	1,29	1,35	0,84	1,48	0,43
Tapioka	88	3,3	0,12	0,11	0,04	0,09	0,04
Trockenschnitzel	88	9,4	0,39	0,31	0,11	0,21	0,07
Weizen	88	12,7	0,34	0,37	0,20	0,48	0,15
Weizenkleie	88	15,7	0,65	0,53	0,25	0,57	0,25
Weizenfuttermehl	88	15,9	0,57	0,51	0,26	0,58	0,20
Blutmehl	91	88,8	7,69	3,85	1,03	2,17	1,42
Federmehl	91	83,5	2,12	3,98	0,58	4,91	0,56
Fischmehl 55 %	91	56,3	4,10	2,31	1,53	2,08	0,53
Fischmehl 65 %	91	64,8	4,81	2,64	1,77	2,43	0,66
Tiermehl	88	54,7	2,98	2,01	0,80	1,47	0,43
Fleischknochenmehl 50 %	91	49,1	2,51	1,59	0,68	1,18	0,28
Fleischknochenmehl 55 %	91	53,0	2,82	1,79	0,78	1,33	0,35
Fleischmehl 50 %	91	48,8	2,44	1,63	0,68	1,24	0,30
Fleischmehl 55 %	91	53,6	2,70	1,88	0,75	1,46	0,35
Geflügelabfallmehl	91	57,7	3,32	2,18	1,11	1,76	0,48
Magermilchpulver	93	35,8	2,76	1,58	0,89	1,17	0,49
Molkenpulver	93	11,8	0,87	0,70	0,16	0,40	0,17
Molkenpulver, teilentz.	93	23,9	1,80	1,33	0,34	0,81	0,37

Tabelle 9

Aminosäure-
gehalte in Futter-
mitteln in %

Tabelle 10

Wahr ileal verdauliche Aminosäuregehalte in Futtermitteln in % (Schwein)

	TS	RP	Lys	Thr	Met	M+C	Try
Ackerbohne	88	28,5	1,59	0,88	0,18	0,38	0,19
Futtererbsen	88	20,0	1,12	0,58	0,16	0,39	0,13
Gerste	88	10,0	0,29	0,27	0,14	0,32	0,09
Hafer	88	10,5	0,32	0,23	0,14	0,37	0,10
Luzernegrünmehl	88	17,0	0,36	0,39	0,15	0,17	0,12
Mais	88	9,0	0,20	0,27	0,17	0,34	0,06
Maiskeimschrot	88	11,2	0,27	0,29	0,16	0,31	0,07
Maiskleber	88	62,0	0,90	1,88	1,39	2,32	0,27
Maiskleberfutter	88	20,0	0,45	0,53	0,31	0,55	0,10
Rapsschrot, extr.	88	35,5	1,51	1,16	0,66	1,38	0,34
Roggen	88	9,6	0,27	0,24	0,12	0,31	0,06
Sojaschrot, extr. 44 %	88	44,0	2,40	1,44	0,54	1,06	0,48
Sojaschrot, extr. 48 %	88	47,6	2,76	1,70	0,62	1,24	0,59
Sonnenblumenschrot	90	34,0	0,94	1,00	0,64	1,08	0,35
Tapioka	88	2,5	0,05	0,06	0,03	0,05	0,01
Weizen	88	11,5	0,26	0,28	0,16	0,42	0,12
Weizenkleie	88	15,7	0,47	0,36	0,18	0,43	0,15
Blutmehl	91	85,0	7,37	3,41	0,85	1,50	0,95
Federmehl	91	83,5	1,00	2,91	0,33	2,82	0,26
Fischmehl 60 %	91	59,0	4,20	2,20	1,40	1,90	0,45
Fischmehl 65 %	91	64,8	4,70	2,50	1,70	2,20	0,61
Fleischknochenmehl 50 %	91	49,1	2,01	1,34	0,49	0,90	0,16
Fleischknochenmehl 55 %	91	53,0	2,35	1,53	0,54	1,06	0,17
Fleischmehl 50 %	91	48,8	1,95	1,26	0,57	0,81	0,22
Fleischmehl 55 %	91	53,6	2,15	1,46	0,63	0,95	0,25
Geflügelabfallmehl	91	57,7	2,69	1,55	0,87	1,30	0,35
Magermilchpulver	93	35,0	2,76	1,32	0,78	1,02	0,42

	TS	RP	Lys	Thr	Met	M+C
Ackerbohne	88	25,0	1,43	0,79	0,15	0,39
Futtererbsen	88	20,0	1,38	0,66	0,17	0,39
Gerste	88	10,5	0,30	0,27	0,14	0,34
Hafer	88	12,6	0,47	0,37	0,19	0,48
Luzernegrünmehl	88	17,0	0,44	0,48	0,18	0,25
Mais	88	8,5	0,23	0,27	0,17	0,33
Maiskleber	88	60,5	0,92	1,93	1,39	2,34
Maiskleberfutter	88	19,0	0,42	0,52	0,27	0,53
Rapsschrot, extr.	88	34,8	1,56	1,22	0,63	1,29
Roggen	88	9,6	0,31	0,27	0,13	0,34
Sojaschrot, extr. 44 %	88	44,0	2,48	1,57	0,59	1,16
Sojaschrot, extr. 48 %	88	47,6	2,68	1,68	0,63	1,24
Sonnenblumenschrot	90	36,2	1,04	1,09	0,72	1,20
Tapioka	88	3,3	0,09	0,08	0,03	0,07
Weizen	88	12,7	0,31	0,32	0,18	0,44
Weizenkleie	88	15,7	0,47	0,38	0,19	0,42
Weizenfuttermehl	88	15,9	0,47	0,38	0,20	0,47
Blutmehl	91	88,8	6,85	3,39	0,94	1,80
Federmehl	91	83,5	1,29	2,71	0,44	2,75
Fischmehl 56 %	91	56,3	3,65	2,08	1,38	1,81
Fischmehl 65 %	91	64,8	4,46	2,46	1,66	2,11
Fleischknochenmehl 42 %	91	42,9	1,59	0,95	0,45	0,63
Fleischknochenmehl 48 %	91	48,1	1,84	1,16	0,53	0,82
Fleischmehl 47 %	91	47,1	1,86	1,23	0,55	0,81
Fleischmehl 54 %	91	53,7	2,13	1,50	0,64	1,02
Geflügelabfallmehl	91	57,7	2,66	1,68	0,92	1,32
Geflügelabfallmehl, federr.	91	56,7	1,46	1,91	0,47	1,90

Tabelle 11

*Wahr verdauliche
Aminosäuren-
gehalte in Futter-
mitteln in %
(Geflügel)*

3.1 Broilermast

Die Energiegehalte in Broilermastfuttern variieren von Land zu Land erheblich. Auch die in den einzelnen Mastabschnitten verwendeten Mischfutter und deren Einsatzdauer werden von der unterschiedlichen Rohstoffbasis der Länder beeinflusst. Schließlich differieren die Mastendgewichte aufgrund der Verbraucherwünsche. In jedem Fall müssen bei hohen Energiekonzentrationen in Geflügelmastfuttern (ausgedrückt in Megajoule N-korrigierter umsetzbarer Energie [abgekürzt: MJ ME N-korr]) entsprechend hohe Aminosäuregehalte eingestellt werden, da die Tiere bei hohem Energiegehalt in der Ration die Futteraufnahme reduzieren. Somit muß der Gehalt an Aminosäuren im Futter erhöht werden, damit die absolute Aminosäureaufnahme nicht sinkt. In der nachfolgenden Tabelle 12 sind die Versorgungsempfehlungen für die üblicherweise in drei Mastabschnitte unterteilte Broilermast dargestellt. Aus den vorgenannten Gründen werden in der Tabelle neben den Gehalten im Futter (%) bei vorgegebenem Energiegehalt auch die benötigten Aminosäuremengen (g) pro Energieeinheit (MJ ME) angegeben.

Vom Futterprotein steht nur der im Darm absorbierbare (verdauliche) Anteil der Aminosäuren dem Stoffwechsel zur Verfügung, der Rest wird als Kotbestandteil ausgeschieden. Unterschiedliche Futtermittel können, obwohl sie den gleichen Gehalt an Aminosäuren haben, verschiedene Aminosäureverdaulichkeiten aufweisen und damit in ihrem »Wert« als Aminosäurenlieferant für den Organismus deutlich differieren. Um diesem Faktor Rechnung zu tragen und den Wert des Aminosäuregehaltes eines Futtermittels für den Organismus zu präzisieren, wurden in den vergangenen Jahren verstärkt Versorgungsempfehlungen auf der Basis verdaulicher Aminosäuren erstellt und auch Futtermischungen auf dieser Grundlage formuliert.

3.2 Legehennen (inkl. Aufzucht)

Mit leistungsfähigen Legehybriden werden heute auch unter Praxisbedingungen zur Zeit der Leistungsspitze durchschnittliche Legeleistungen von 95 % erreicht und überschritten. In diesen Beständen variieren die individuellen Leistungen der Einzelhennen erheblich. Eine suboptimale Versorgung mit Nähr- oder Wirkstoffen beeinträchtigt deshalb primär die Leistung der besten Einzeltiere. Daher sollte

Tabelle 12

Empfehlungen für den
Gehalt an verdaulichen
Aminosäuren im Alleinfut-
ter für Broiler

Aminosäurenbedarf

					Empfehlungen für den Gehalt an Aminosäuren					Empfehlungen für den Gehalt an verdaulichen Aminosäuren			
Futtertyp	Abschnitt (Lebens- woche)	Energiegehalt Basis MEn (MJ/kg) (kcal/kg)		Roh- protein (%)	Lys (%)	Met (%)	Met +Cys (%)	Thr (%)	Trp (%)	Lys (%)	Met (%)	Met +Cys (%)	Thr (%)
Starterfutter	1. - 3.	13,2	3150	21,0	1,24	0,56	0,96	0,77	0,22	1,09	0,52	0,84	0,65
Mastfutter I	4. - 7.	13,4	3200	20,0	1,12	0,52	0,92	0,70	0,20	0,99	0,48	0,81	0,59
Mastfutter II	ab 7.	13,6	3250	18,0	0,98	0,43	0,82	0,65	0,18	0,86	0,40	0,72	0,55
Starterfutter	1. - 3.				0,94	0,43	0,73	0,58	0,16	0,83	0,40	0,64	0,49
Mastfutter I	4. - 7.	Aminosäuren (g/MJ ME)			0,84	0,39	0,69	0,52	0,14	0,74	0,36	0,61	0,44
Mastfutter II	ab 7.				0,72	0,32	0,60	0,48	0,13	0,63	0,29	0,53	0,40

Grundlagen: Futter mit 88 % Trockenmasse; ad libitum Fütterung; N-korrigierte Umsetzbare Energie

sich die Gestaltung der Futterrezeptur mit allen essentiellen Bestandteilen - hierzu gehören vor allem die Aminosäuren - besonders zur Zeit der Leistungsspitze

etwa von der 21. bis zur 42. Lebenswoche (s. Tabelle 13) an den Tieren mit der höchsten Leistung ausrichten.

Tabelle 13

Empfehlungen zur
Versorgung von
Legehennen mit
Aminosäuren

					Empfehlungen zur Versorgung mit Aminosäuren					Empfehlungen zur Versorgung mit verdaulichen Aminosäuren			
Futtertyp	Abschnitt (Lebens- woche)	Energie- gehalt (MJ ME /kg)	Futter/Roh- Tag (g)	Roh- protein (%)	Lys (%)	Met (%)	Met +Cys (%)	Thr (%)	Trp (%)	Lys (%)	Met (%)	Met +Cys (%)	Thr (%)
Küken- aufzuchtfutter	1. - 6.	13,2	7-40	18,5	0,86	0,39	0,76	0,59	0,16	0,76	0,36	0,67	0,50
Junghennen- futter I	7. - 12.	13,4	40-60	15,0	0,70	0,33	0,65	0,48	0,13	0,62	0,30	0,57	0,40
Junghennen- futter II	13. - 20.	13,6	60-80	13,0	0,60	0,30	0,57	0,41	0,12	0,53	0,28	0,50	0,34
Legefutter für leichte Hennen	ab 21.	12,1	105	16,0	0,84	0,40	0,74	0,55	0,15	0,74	0,37	0,65	0,46
für mittel- schwere Hennen	ab 21.	11,9	115	15,0	0,77	0,37	0,61	0,50	0,14	0,68	0,34	0,60	0,42
Aminosäurenbedarf in mg/Henne/Tag ab 21. Lebenswoche					880	420	780	575	160	770	390	690	480

Grundlagen: Futter mit 88 % Trockenmasse; ad libitum Fütterung; N-korrigierte Umsetzbare Energie

Tabelle 14

Empfehlungen für den Gehalt
an Aminosäuren im Alleinfutter
für Puten

Mast periode	Mast- woche	Futterauf- nahme (g/Tag)		Gewicht der Puten am Ende der Periode (kg)		Energie- gehalt des Futters (MJ ME/kg)	Roh- protein- gehalt d. Futters (%)	Empfehlungen zur Versorgung mit Aminosäuren				Empfehlungen zur Versorgung mit verdaulichen Aminosäuren				
		weibl.	männl.	weibl.	männl.			Lys (%)	Met (%)	Met+ Cys (%)	Thr (%)	Trp (%)	Lys (%)	Met (%)	Met+ Cys (%)	Thr (%)
1	1 - 2	21	33	0,27	0,30	11,7	29,0	1,85	0,65	1,11	1,10	0,32	1,58	0,60	1,01	0,89
2	3 - 5	73	128	1,16	1,31	11,9	27,0	1,75	0,60	1,07	1,02	0,28	1,41	0,56	0,93	0,80
3	6 - 9	164	188	3,36	4,02	12,2	24,0	1,50	0,58	1,00	0,92	0,26	1,23	0,52	0,84	0,71
4	10 - 13	277	360	6,10	7,92	12,8	21,0	1,30	0,52	0,89	0,85	0,22	1,01	0,44	0,71	0,58
5	14 - 17	307	490	8,38	11,92	13,1	18,0	1,10	0,46	0,78	0,68	0,18	0,88	0,40	0,63	0,51
6	18 - 22	-	590	-	15,82	13,5	15,0	0,96	0,40	0,68	0,61	0,16	0,75	0,36	0,55	0,44
Aufzucht						11,5	15,0	0,65	0,32	0,60	0,50	0,14	0,57	0,29	0,53	0,24
Zucht						11,7	16,5	0,75	0,37	0,68	0,58	0,15	0,66	0,34	0,60	0,49

3.3 Putenzucht und -mast

Puten haben einen höheren Proteinbedarf als Broiler. Die Energiegehalte der Putenmaststationen sind – international gesehen – wenig einheitlich. Das gilt vor allem für die späteren Mastabschnitte.

Die Mastdauer der Puten ist unterschiedlich. Sie hängt insbesondere davon ab, ob ein schwerer oder leichter Typ gemästet wird. Auch das Geschlecht spielt eine Rolle. So werden weibliche Tiere kürzer gemästet als männliche. Dementsprechend unterschiedlich ist auch das Mastendgewicht (s. Tabelle 14). Die hohe Wachstumsgeschwindigkeit der Tiere setzt eine entsprechend hohe Aminosäurenversorgung voraus.

3.4 Wassergeflügel

Zu Enten und Gänsen liegen nur wenige Literaturangaben über den Aminosäurenbedarf dieser beiden Tierarten vor. Von größerer Bedeutung sind sie vor allem im asiatischen Raum, aber auch in Osteuropa findet man größere Tierbestände. Die nachfolgende Tabelle 15 gibt Auskunft über den Aminosäurenbedarf dieser Geflügelarten.

Tierart und Kategorie	Lebenswoche	Umsetzbare Energie	Rohprotein-gehalt (%)	Lys (%)	Met (%)	Met+Cys (%)	Thr (%)
Mastenten	1 - 3	2900	20	1,1	0,48	0,83	0,62
Mastenten	3 - 8	2950	16	0,94	0,38	0,66	0,53
Aufzuchtenten	ab 8.	2900	14	0,72	0,28	0,51	0,42
Zuchtenten		2400	14	0,71	0,27	0,49	0,41
Mastgänse	1 - 5	2900	20	1,10	0,40	0,70	0,62
Mastgänse	ab 5.	2950	15	0,82	0,38	0,66	0,52
Zuchtgänse		2900	14	0,71	0,32	0,55	0,45

Tabelle 15
Empfehlungen für den Gehalt an wahrverdaulichen Aminosäuren im Alleinfutter für Enten und Gänse

3.5 Ferkelproduktion und Schweinemast

Im Verlauf der Mast ändert sich der Energie- und Nährstoffbedarf der Schweine sowie die tägliche Futtermittelaufnahme erheblich. Der Protein- und Aminosäurebedarf ist beim wachsenden Schwein vom Leistungsniveau abhängig. Deshalb sind die Gehalte im Ferkel-/Schweinemastfutter anzupassen an:

- das angestrebte Niveau der Tageszunahmen
- den Energiegehalt der Ration
- die tägliche Futtermittelaufnahme, bzw. den Grad der Futterrestriktion

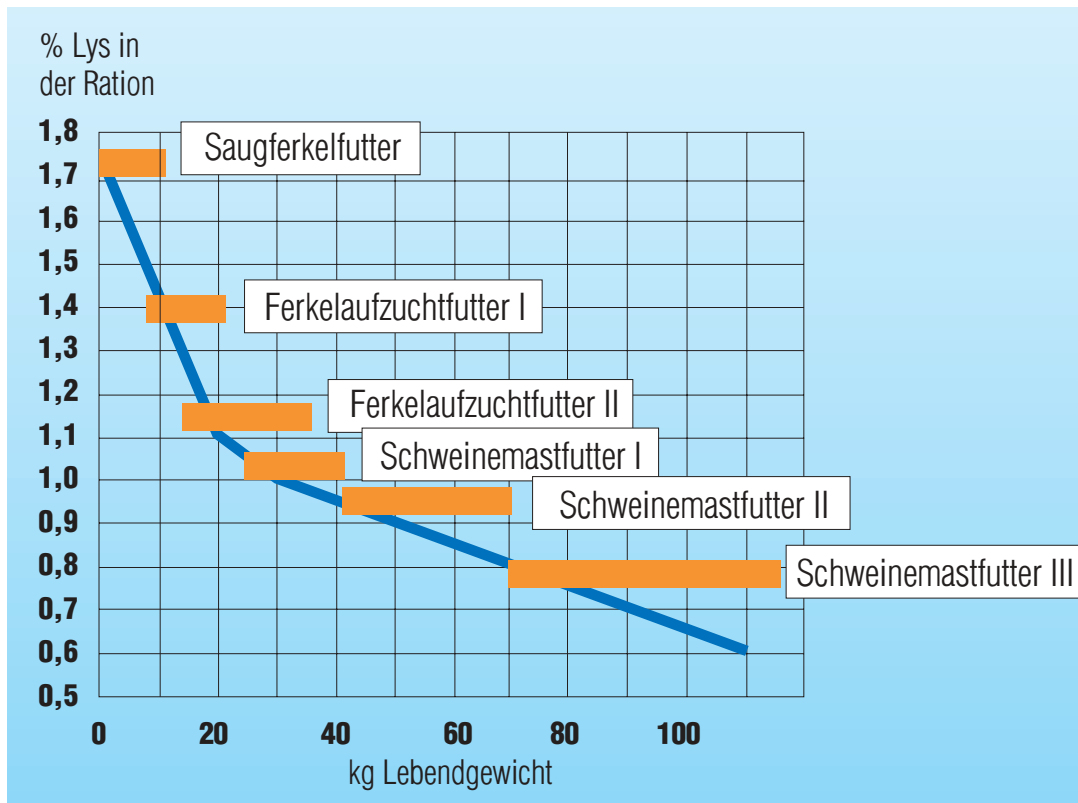
Tabelle 16

Nährstoffansprüche von Mastschweinen in den einzelnen Gewichtsabschnitten

In der Tabelle 16 sind »Mastkennndaten« für unterschiedliche Gewichtsabschnitte dargestellt. Den Empfehlungen zur Nährstoff- und Energieversorgung wird eine mittlere tägliche Zunahme von 750 g unterstellt.

Die in der Praxis verwendeten Mischfütterungen werden über unterschiedlich lange Gewichtsabschnitte eingesetzt. Vor allem bedingt durch den steigenden Futtermittelverzehr und den relativ sinkenden Eiweißansatz mit zunehmendem Gewicht sinken im Mastverlauf Protein- und Aminosäuregehalt in der Futterration. In Abbildung 9 ist der Lysinbedarf kurvenmäßig dargestellt. Der Lysinbedarf, aus-

Gewichtsbereich	Dauer in Tagen	Futtermittelaufnahme/ Tag i. d. Periode (kg)	Zunahme/ Tag (g)	Futtermittelverwertung in der Periode (kg)	ME (MJ)	Bedarf/Tag an Rohprotein (g)	Lys (g)
bis 5	21,0	ca. 0,2	240	-	Sauenmilch plus Ergänzungsfutter		
5 - 15	30,0	ca. 0,5	333	1,50	Sauenmilch plus Ergänzungsfutter		
15 - 25	20,0	1,10	500	2,20	12 - 13	200	13,8
25 - 35	15,6	1,54	645	2,39	18 - 19	260	16,2
35 - 45	13,7	1,90	728	2,60	22 - 23	300	18,4
45 - 55	12,8	2,20	782	2,81	25 - 26	330	20,5
55 - 65	12,3	2,45	813	3,02	29 - 30	360	21,3
65 - 75	12,2	2,66	824	3,23	32 - 34	380	22,1
75 - 85	12,2	2,84	819	3,46	34 - 36	370	22,2
85 - 95	12,5	2,99	799	3,74	36 - 38	360	21,8
95 - 105	13,0	3,11	768	4,06	38 - 40	340	20,2
Ø 5 - 105				2,89			
Ø 20 - 105	111		750	3,00			

**Abbildung 9**

Lysinbedarf wachsender Schweine in % der Ration im Vergleich zum Gehalt im Mischfutter

gedrückt als Prozent der Ration, nimmt mit zunehmendem Gewicht der Tiere ab. Der schwächere Abfall zwischen 50 und 70 kg Lebendgewicht korrespondiert mit der Periode des höchsten Fleischansatzes. Die Gehalte in einem Mischfutter müssen diesen Gegebenheiten angepaßt werden und so ausgerichtet sein, daß sie zu Beginn den täglichen Bedarf weitgehend decken, ohne daß es zum Schluß zu einer übermäßigen »Nährstoffverschwendung« kommt.

Der in der Vergangenheit häufiger praktizierte Einsatz eines Universalfutters über

die gesamte Mastperiode wird dem sich ändernden Nährstoffbedarf der Tiere nicht gerecht und ist auch hinsichtlich der damit einhergehenden hohen Stickstoff(N)-Ausscheidung nicht mehr zeitgemäß. Zudem ist diese Fütterungsstrategie in Zeiten hoher Proteinpreise auch aus ökonomischer Sicht abzulehnen. Im Vergleich zur Universalmast kann mit Hilfe der Phasenfütterung, bei der die Nährstoffgehalte der Rationen dem unterschiedlichen Bedarf sowie der unterschiedlichen Futteraufnahme in den einzelnen Mastabschnitten angepaßt werden, eine Reduzierung der N-Ausscheidung von über 20 %

erreicht werden. Sie lassen sich um weitere 20 % absenken, wenn innerhalb der Phasen der Rohproteingehalt reduziert wird. Dies ist unter Berücksichtigung des Idealen Proteins, welches das relative Verhältnis der Aminosäuren zu Lysin angibt, möglich.

Da bei proteinreduzierten Rationen weniger Energie zum Abbau von überschüssigem Protein benötigt wird, muß die Energieaufnahme des Tieres angepaßt werden, um gleiche Schlachtkörperqualität zu erreichen. Da im System der umsetzbaren Energie proteinarme Rationen energetisch unterbewertet werden, sollte bei stark reduzierten Rationen auf der Basis der Nettoenergie formuliert werden. Empfehlungen für die Gehalte an Aminosäuren im Alleinfutter für Schweine sind in der Tabelle 18 aufgeführt. Die genannten Zahlen dienen als Anhaltspunkte für ein Zunahmenniveau, das der breiteren Praxis gerecht wird und müssen gegebenenfalls an das vorhandene Tiermaterial und Umweltbedingungen angepaßt werden.

Wie aus den Tabellen ersichtlich ist, werden in der Anfangsmast höhere Energiegehalte im Futter empfohlen als in den späteren Mastphasen. Grund hierfür ist das limitierte Futteraufnahmevermögen beim jungen Schwein, das eine für optimalen Fleischansatz bedarfsdeckende Energieversorgung nur bei hohen Energiegehalt des Futters ermöglicht. Dagegen stellt das Futteraufnahmevermögen in den späteren Mastabschnitten meist nicht mehr den begrenzenden Faktor für den Fleischansatz dar.

Tabelle 17
Empfehlungen für den Gehalt an Aminosäuren in Alleinfuttern für Schweine

Grundlagen:

- Alleinfuttermittel mit 88 % TM, ca. 13 MJ ME/kg Futter
- Mast von Börgen und Sauen erfolgt nicht getrennt
- Schweineherkünfte mit gutem Proteinansatzvermögen
- bei unterschiedlichem Zunahmestadium sind die Energiekonzentrationen in der Ration oder der Grad der Futterrestriktion variable Größen

	Gewichtsabschnitt (von-bis) kg	Alters- bzw. Trächtigkeitsabschnitt (von-bis in Wochen)	tägliche Zunahme (g)	MJ ME/kg	Rohprotein (%)	Empfehlungen für den Gehalt an Aminosäuren in Alleinfuttern für Schweine						Empfehlungen für den Gehalt an ideal verdaulichen Aminosäuren in Alleinfuttern für Schweine					
						Lys (%)	Met (%)	Met+ Cys (%)	Thr (%)	Trp (%)	Lys (%)	Met (%)	Met+ Cys (%)	Thr (%)	Trp (%)		
Tragende Sauen	–	1. - 12.	–	12,0	12,5	0,70	0,23	0,42	0,42	0,14	0,57	0,19	0,34	0,034	0,11		
Säugende Sauen	–	–	–	13,2	16,5	1,00	0,35	0,62	0,60	0,17	0,74	0,30	0,50	0,47	0,13		
Saugferkel-futter	3,5 - 8	2. - 5.	200	13,5	20,0	1,75	0,53	1,05	1,14	0,32	1,49	0,45	0,89	0,97	0,27		
Ferkelauf-zuchtfutter I	7 - 20	4. - 10.	400	13,3	17,5	1,40	0,42	0,84	0,91	0,25	1,19	0,36	0,71	0,77	0,21		
Ferkelauf-zuchtfutter II	15 - 35	8. - 12.	550	13,0	16,5	1,15	0,38	0,71	0,77	0,22	0,98	0,32	0,61	0,65	0,19		
Schweine-mastfutter I	25- 40	11. - 14.	600	13,2	16,0	1,05	0,35	0,65	0,70	0,20	0,89	0,29	0,55	0,60	0,17		
Schweine-mastfutter II	40 - 70	15. - 20.	800	13,0	14,5	0,90	0,31	0,62	0,67	0,19	0,81	0,27	0,52	0,57	0,16		
Schweine-mastfutter III	70 - 105	21. - 25.	750	12,8	12,5	0,80	0,26	0,52	0,56	0,16	0,68	0,22	0,44	0,48	0,14		

3.6 Kälberaufzucht und Kälbermast

In der Kälberaufzucht wird folgendes Zunahmenniveau angestrebt:

1. - 8. Lebenswoche 700 - 800 g/Tag

1. - 12. Lebenswoche 750 - 900 g/Tag

In der 4. bis 7. Lebenswoche liegt der höchste Verbrauch an Milchaustauschertränke, die auf 6 - 8 Liter pro Tag mit einer Konzentration von 100 - 125 g Milchaustauschfutter pro Liter Tränke limitiert wird.

Die spätestens in der 3. Lebenswoche beginnende Zufütterung von Kälberstarter bzw. Kälberaufzuchtfutter und von gutem Heu zur frühzeitigen Anregung der Pansenfunktion senkt den Gehalt an Rohprotein und essentiellen Aminosäuren in der Gesamtration deutlich ab. Gleichzeitig übernimmt das im Pansen gebildete Bakterienprotein einen steigenden Anteil an der Bedarfsdeckung.

Der fließende und individuell gehaltene Übergang von der reinen Milch- bzw. Milchaustauscherernährung zu einer wiederkäuergemäßen Ration ermöglicht deshalb die Verwendung von Milchaustauschfuttern unterschiedlicher Qualitäts- und Preisstufen. Je früher die Entwöhnung von der Milchaustauschertränke

erfolgt (Frühentwöhnung), desto schneller gehen die Anforderungen an die Eiweißqualität zurück. In den ersten Lebenswochen ist ein kaseinhaltiger Milchaustauscher von Vorteil.

Ab der 5. Lebenswoche genügt ein Milchaustauschfutter, dessen Aminosäuren hauptsächlich aus Molken- und Sojaprotein stammen. Im allgemeinen benötigen Milchaustauschfutter mit niedrigen Magermilchpulveranteilen eine Zulage an Methionin und Lysin.

In der Kälbermast liegt das durchschnittliche Zunahmenniveau in der 1. - 8. Lebenswoche bei 1200 g und in der 9. - 16. Lebenswoche bei 1400 g. Die hohen Zunahmen sind durch kontinuierlich gesteigerte Tränkemengen und Tränkekonzentrationen zu erreichen. Im zweiten Mastabschnitt werden häufig besonders fettreiche Tränken mit niedrigerem Eiweiß- und Aminosäuregehalt angeboten.

Verfahren	Futtermitteltyp (auf Basis)	Altersstufe Lebenswoche	Rohprotein (%)	Lys (%)	Met (%)	Met+ Cys (%)	Thr (%)
Aufzucht	Magermilchpulver	1.-12.	21	1,70	0,55	0,77	0,95
	Kasein+ Molkenenweiß	1.-12.	20	1,55	0,50	0,75	0,86
	Molkeneiweiß +Soja	5.-12.	20	1,45	0,48	0,72	0,78
Mast	Startermilch	1.-8. 40-100 kg	23	1,80	0,60	0,80	1,00
		Mastmilch 9.-16. 100-180 kg	19	1,50	0,50	0,70	0,83

Tabelle 18
Aminosäurenempfehlungen für Kälber (Milchaustauscherfutter)

3.7 Milchkühe

Im Gegensatz zur Schweine- und Geflügel- fütterung wird für Milchkühe überwiegend noch mit Rohprotein oder am Duodenum nutzbaren Rohprotein gerechnet. Dies liegt hauptsächlich daran, daß die Verdauungsvorgänge beim Wiederkäuer durch die Symbiose zwischen Wirtstier und einer Vielzahl von Mikroorganismen in den Vormägen gekennzeichnet sind und somit nur ungleich schwerer eingeschätzt werden können. Mittlerweile ist es jedoch gelungen, die Aminosäurezusammensetzung des Futters, des Mikrobenproteins und des Milchproteins genauer zu definieren. Dies hat zur Folge, daß in einigen Ländern, beispielsweise in Frankreich und USA, Aminosäuren routi-

nemäßig in Rationsberechnungen einbezogen werden.

Limitierende Aminosäuren

In zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen wurden bei der Milchkuh Methionin und Lysin am häufigsten als limitierende Aminosäuren genannt. Gründe hierfür sind:

- Das Mikrobenprotein ist in seiner Aminosäurezusammensetzung am besten an den qualitativen Bedarf der Milchkuh angepaßt. Die meisten Futterproteine haben einen niedrigeren Gehalt an Methionin und Lysin im

Verhältnis zum Gesamtgehalt an essentiellen Aminosäuren als das Mikrobenprotein. Lysin hat eine geringere intestinale Verdaulichkeit als andere Aminosäuren des nicht im Pansen abgebauten Futterproteins (UDP).

- Der Anteil von Lysin am Gehalt der essentiellen Aminosäuren des UDP liegt sehr häufig niedriger als im gleichen Futter vor der Pansenfermentation.

Methionin und Lysin sind die limitierenden Aminosäuren im Mikrobenprotein für den Ansatz von wachsenden Rindern.

Besonders Methionin hat für Milchkühe unabhängig von Leistungsparametern wie Milchmenge oder Eiweißgehalt der Milch zusätzlich große Bedeutung im Leberstoffwechsel. Einerseits wird Methionin im Veterinärbereich bei Problemen wie mangelnder Futteraufnahme oder Störungen im Fettstoffwechsel eingesetzt. Andererseits hat sich gezeigt daß durch Infusionen von Methionin die Leberfunktion verbessert werden kann.

Aminosäureempfehlungen für Milchkühe

Bedarfsangaben zur Versorgung von Milchkühen mit Aminosäuren sind, im Vergleich zu Schweinen und Geflügel, noch relativ unterschiedlich. Daher wurden in Tabelle 19 Bedarfsempfehlungen zusammengestellt, die bereits seit 1993 in Frankreich praktische Anwendung finden. So hat beispielsweise eine Kuh mit einer Lebendmasse von 650 kg und einer Milchleistung von 30 kg (4 % Fett, 3,4 % Eiweiß) am Dünndarm einen Lysinbedarf von ca. 130 g und einen Methioninbedarf am Dünndarm von ca. 41 g.

Pansenstabile Aminosäuren

Das Mikrobeneiweiß weist aufgrund einer günstigen Aminosäurezusammensetzung eine hohe biologische Wertigkeit auf. Allerdings liegen besonders bei Hochleistungskühen Erfahrungen vor, nach denen das über Mikrobenprotein gebildete Methionin und Lysin nicht ausreichend für eine optimale Leistung der Milchkühe ist. Mit Hilfe der heute zur Verfügung stehenden Methoden der Rationsberechnung lassen sich solche Mangelsituationen aufdecken. Im Anschluß kann dann beispielsweise über die Gabe von pan-

Milch FCM ¹ kg/Tag	600 kg LM			650 kg LM		
	PDI ²	Lysin g je Tag	Methionin g je Tag	PDI ²	Lysin g je Tag	Methionin g je Tag
0	395	28	9	420	29	9
10	875	61	19	900	63	20
15	1115	78	25	1140	80	25
20	1355	95	30	1380	97	30
25	1595	112	35	1620	113	36
30	1835	129	40	1860	130	41
35	2075	145	46	2100	147	46
40	2315	162	51	2340	164	52
45	2555	179	56	2580	181	57

Table 19
Aminosäuren-
empfehlungen für
Milchkühe

¹ FCM: auf 4 % Milchfett korrigierte Milchmenge

² PDI: Dünndarm verdauliches Protein

senstabilem Methionin und/oder Lysin die Differenz zum Bedarf gedeckt werden. Hierdurch lassen sich Leistungsparameter wie Eiweißgehalt der Milch oder die produzierte Menge an Milcheiweiß erhöhen.

Pansenstabile Aminosäuren werden aber nicht nur im Zusammenhang mit den klassischen Leistungsparametern diskutiert. Vielmehr hat sich auch gezeigt, daß speziell zusätzliche Gaben von Methionin die Konzentration an Ketonkörpern (β -Hydroxybutyrat und Azeton) verringern können. Pansenstabile Methionin kann somit besonders im ersten Laktationsdrittel und speziell bei Hochleistungstieren einen wichtigen Beitrag zur Verringerung der Ketoseproblematik leisten.

Auch bei der Ernährung von Schafen wird über positive Effekte von Methionin berichtet. Das Aminosäurenprofil im Eiweiß der Wolle ist durch einen extrem hohen Anteil schwefelhaltiger Aminosäuren

gekennzeichnet. Deshalb wirkt sich pansenstabilisiertes Methionin besonders positiv auf das Wollwachstum aus.

Übersorgung mit Eiweiß

Futterprotein wird bei Wiederkäuern überwiegend in den Vormägen gespalten und das dabei freiwerdende Ammoniak als Stickstoffquelle von den Bakterien zur Eiweißsynthese genutzt. Übersteigt die Versorgung mit Stickstoff aus Futterprotein oder NPN-Verbindungen die Kapazität des Proteinbildungsvermögens in den Vormägen, muß das überschüssige Ammoniak in der Leber zu Harnstoff synthetisiert werden. Deshalb stellt eine zu hohe Eiweißversorgung für Hochleistungskühe eine Belastung dar. Pansenstabile Aminosäuren können vor diesem Hintergrund gezielt Bedarfslücken schließen, ohne daß die Ammoniakkonzentration im Pansen erhöht wird.

3.8 Fische

Fische haben bei entsprechender Wassertemperatur und -qualität ein extrem hohes Wachstumsvermögen und eine sehr gute Futtermittelverwertung. Zur Ausschöpfung des Leistungsvermögens sind hohe Protein- bzw. Aminosäuregehalte im Futter erforderlich, da für Fische Protein die wichtigste Energiequelle für Stoffwechselprozesse darstellt. Über den Aminosäurenbedarf der Fische in Abhängigkeit von Art, Alter und Leistung liegen wenig Literaturangaben vor.

Fische haben einen sehr effizienten N-Stoffwechsel, so dass die vergleichsweise hohen Proteingehalte im Gegensatz zu Landtieren keine besondere Stoffwechselbelastung darstellen. Jungtiere haben noch höhere Anforderungen an die Nährstoffdichte; deshalb liegen die Rohprotein- und Aminosäuregehalte entsprechend höher.

In der modernen Fischfutterproduktion wird der traditionelle Aminosäurelieferant Fischmehl aus ökonomischen Gründen zunehmend durch pflanzliche Proteine in Verbindung mit Aminosäuren ersetzt.

Tabelle 20
Aminosäureempfehlungen für Fische

Art	Rohprotein (%)	Aminosäuren				
		Lys (%)	M+C (%)	Met (%)	Thr (%)	Trp (%)
Forellen	40	2,40	1,30	0,65	1,35	0,20
Karpfen	30	1,75	0,90	0,45	1,20	0,20
Lachs	40	2,40	1,30	0,65	1,35	0,20
Katzenwels	24	2,20	-	0,60	0,5	0,12
Aal	38	2,00	-	1,20	1,5	0,40
Buntbarsch	28	1,43	0,90	0,75	1,05	0,28

4. Aminosäureenerganzung in Mischfuttern

Die Deckung des Aminosurenbedarfes der verschiedenen landwirtschaftlichen Nutztiere ist ohne den Zusatz von Aminosäuren zum Futter nur unter erheblicher Eiweiuberversorgung möglich, da die Menge an hierfür notwendigem Eiweiß sich nach dem Bedarf an limitierenden Aminosäuren und deren Gehalt in den verwendeten Futtermitteln richtet. Deshalb führen solche Rezepturen zu großen Eiweiuberschussen. Der Zusatz von Aminosäuren ist in den meisten Fällen ökonomisch, ernährungsphysiologisch notwendig und in vielen Fällen aus Gründen der Umweltschonung zwingend erforderlich. Aminosurenerganzungen bringen folgende Vorteile:

- Kostengünstige Deckung des limitierenden Aminosurenbedarfes
- Reduzierung des Rohproteingehaltes der Ration
- Verminderung der N-Ausscheidung und Verringerung der Umweltbelastung
- Vermeidung von Verdauungsstörungen
- Bessere Energieausnutzung
- Vermeidung von Aminosurenimbalanzen

- Höhere Verfügbarkeit im Vergleich zu den proteingebundenen Aminosäuren
- Ausgleich von Rohstoffschwankungen
- Hohe Nährstoffdichte.

Der Einsatz von Aminosäuren in Mischfuttern sichert einen hohen Gewichtszuwachs mit guter Futterverwertung bei insgesamt niedrigen Kosten und erlaubt die volle Ausschöpfung des genetischen Leistungspotentials der Tiere. Gleichzeitig wird die immer mehr in den Blickpunkt des üblichen Interesses rückende Umweltbelastung reduziert und die Tiergesundheit verbessert.

Die wichtigsten für den Einsatz in der Tierernährung verfügbaren Aminosäuren und ihre Analoge sind im folgenden näher erläutert.

4.1 Lysin (Lys)

Allgemeines	Tierische Proteine sind durchweg reich an Lysin. Von den pflanzlichen Proteinen sind Getreidearten lysinarm, während z. B. Sojaschrot reich an Lysin ist (s. Tab. 9, 10,11).
Vorkommen	
Bedeutung im Stoffwechsel	Eiweißbaustein, Bestandteil von Enzymen, in praktisch allen Geweben im tierischen Organismus enthalten. Besondere Bedeutung bei der Bildung kollagener Gewebe und bei der Verknöcherung. Regt als Bestandteil von Nucleotiden im Zellkern die Zellteilung an.
Herstellung	Fermentative Herstellung durch Mikroorganismen; Rohstoffe: Melasse, Zucker, stärkehaltige Produkte und ihre Hydrolysate sowie N-Quellen.
Verwertbarkeit	Die L-Aminosäure ist vollständig, die D-Form biologisch nicht verwertbar.

4.1.1 Handelsformen

4.1.1.1 L-Lysin-Monohydrochlorid (L-Lysin HCl)

Beschreibung L-Lysin-Monohydrochlorid, technisch rein, L-Lysin min. 78 % in der Originalsubstanz

Chemische

Bezeichnung L- , -Diamino-n-capronsäure-monohydrochlorid

Chem. Formel $\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}\cdot\text{HCl}$

Kennzahlen	Molekulargewicht:	182,7
	Stickstoffgehalt:	15,3%
	Rohproteinäquivalent:	95,8%
	Reinheit:	min. 98,0% (entspr. 78 % L-Lysin)
	UE (Schwein):	17,8 MJ/kg (4250 kcal/kg)
	UE (Geflügel):	16,7 MJ/kg (3990 kcal/kg)
	Löslichkeit:	64,2 g/100 ml Wasser bei 20°C
	Stabilität:	In Vormischungen und Mischfuttern stabil.

4.1.1.2 L-Lysin-Konzentrat, flüssig

Beschreibung Basisches L-Lysin-Konzentrat, flüssig aus der Fermentation von Saccharose, Melasse, Stärkeerzeugnissen und ihren Hydrolysaten
L-Lysin min. 50 v. H. in der Originalsubstanz

Chemische

Bezeichnung L- , -Diamino-n-capronsäure

Chem. Formel $\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$

Kennzahlen

Molekulargewicht:	146,2
Stickstoffgehalt:	10,17%
Rohproteinäquivalent:	63,6%
Reinheit:	min.50,0% (entspr. 50 % L-Lysin)
UE (Schwein):	11,7 MJ/kg (2794 kcal/kg)
UE (Geflügel):	11,0 MJ/kg (2623 kcal/kg)
Löslichkeit:	gut mischbar mit Wasser
Stabilität:	In Vormischungen und Mischfuttern stabil.

4.1.1.3 L-Lysin-Monohydrochlorid-Konzentrat, flüssig

Beschreibung L-Lysin-Monohydrochlorid-Konzentrat, flüssig, aus der Fermentation von Saccharose, Melasse, Stärkeerzeugnissen und ihren Hydrolysaten
L-Lysin min. 22,4 v.H. in der Originalsubstanz

Chemische

Bezeichnung L- , -Diamino-n-capronsäure-monohydrochlorid

Chem. Formel $\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}\cdot\text{HCl}$

Kennzahlen

Molekulargewicht:	182,7
Stickstoffgehalt:	5,0%
Rohproteinäquivalent:	31,25%
Reinheit:	min. 22,4% (entspr. 22,4 % L-Lysin)
UE (Schwein):	5,1 MJ/kg (1220 kcal/kg)
UE (Geflügel):	4,8 MJ/kg (1150 kcal/kg)
Löslichkeit:	gut mischbar mit Wasser
Stabilität:	In Vormischungen und Mischfuttern stabil.

4.1.1.4 L-Lysin-Sulfat

Beschreibung L-Lysin-Sulfat und seine Nebenerzeugnisse aus der Fermentation von Zuckersirup, Melasse, Getreide, Stärkeerzeugnisse und ihren Hydrolysaten mit *Corynebacterium glutaminum*
L-Lysin min. 40 v.H. in der Originalsubstanz

Chemische

Bezeichnung L- , -Diamino-n-capronsäure-sulfat

Strukturformel $((\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4-\text{CH}(\text{NH}_2) \text{COOH})_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$

Kennzahlen

Molekulargewicht:	200,9
Stickstoffgehalt:	10,7-11,7 %
Rohproteinäquivalent:	67-73 %
Reinheit:	min. 40 % L-Lysin
UE (Schwein):	16,5 MJ/kg (3940 kcal)
UE (Geflügel):	13,6 MJ/kg (3250 kcal)
Löslichkeit:	teilweise in Wasser löslich
Stabilität:	In Vormischungen und Mischfuttern stabil.

4.2 Methionin (Met)

Allgemeines	Methionin ist in tierischen Proteinen in relativ hoher Konzentration
Vorkommen	enthalten, während z. B. Sojaprotein arm an Methionin ist (s. Tabellen 9,10,11)
Bedeutung im Stoffwechsel	Eiweißbaustein, Bestandteil von Enzymen und praktisch allen Geweben des tierischen Organismus; zusätzliche Stoffwechselfunktionen, insbesondere als Vorstufe des Cysteins/Cystins und damit auch von Peptiden wie Glutathion, als Initiator der Proteinbiosynthese, Methylgruppendonor (S-Adenosylmethionin).
Herstellung	Durch chemische Synthese, ausgehend von Propylen, Methylmercaptan, Methan und Ammoniak.
Verwertbarkeit	Die Aminosäure ist in ihrer DL-Form vollständig verwertbar, da der D-Anteil durch Desaminierung und Reaminierung in die L-Form überführt wird.

4.2.1 Handelsformen

4.2.1.1 DL-Methionin

Beschreibung	DL-Methionin, technisch rein DL-Methionin min. 98 v.H. in der Originalsubstanz
Chemische	
Bezeichnung	DL- -Amino- -methylmercaptobuttersäure
Strukturformel	$\text{CH}_3\text{S}(\text{CH}_2)_2\text{-CH}(\text{NH}_2)\text{-COOH}$
Kennzahlen	Molekulargewicht: 149,2 Stickstoffgehalt: 9,4 % Rohproteinäquivalent: 58,6 % UE (Schwein): 22 MJ/kg (5280 kcal/kg) UE (Geflügel): 21 MJ/kg (5020 kcal/kg) Reinheit: min 98,0 % DL-Methionin Löslichkeit: 3,3g/100 ml Wasser bei 20°C Stabilität: In Vormischungen und Mischfutter stabil.

4.2.1.2 DL-Methionin-Natrium-Konzentrat, flüssig

Beschreibung	DL-Methionin-Natrium-Konzentrat, flüssig, technisch rein, DL-Methionin min 40 v.H. in der Originalsubstanz Natrium min. 6,2 v.H. in der Originalsubstanz
Strukturformel	$\text{CH}_3\text{S}(\text{CH}_2)_2\text{-CH}(\text{NH}_2)\text{-COOH}$
Kennzahlen	Molekulargewicht: 149,2 Stickstoffgehalt: 3,76 % Rohproteinäquivalent: 23,5 % UE (Schwein): 8,8 MJ/kg (2110 kcal/kg) UE (Geflügel): 8,5 MJ/kg (2030 kcal/kg) Reinheit: min 40,0 % DL-Methionin Löslichkeit: mischbar mit Wasser Stabilität: In Vormischungen und Mischfutter stabil.

4.2.1.3 Andere Handelsformen

Geschütztes Methionin Für Rinder , Schafe und Ziegen mit Pansenfunktion gibt es chemisch- oder physikalisch geschützte Formen von DL-Methionin.
(s. Kapitel 3.7)

4.3 Threonin (Thr)

Allgemeines Tierische Proteine sind relativ reich an Threonin, während pflanzliche

Vorkommen eher ein Defizit an Threonin aufweisen (s. Tab. 9,10,11).

Bedeutung im Wichtiger Eiweißbaustein für Proteinbildung; Bestandteil von

Stoffwechsel Verdauungsenzymen und Immunsubstanzen, Bedeutung im Energiestoffwechsel, Vorstufe für Glycinsynthese.

Herstellung Fermentative Herstellung durch Mikroorganismen.

Verwertbarkeit L-Threonin ist vollständig, D-Threonin biologisch nicht verwertbar.

Bezeichnung L-Threonin, technisch rein
L-Threonin min. 98 v.H. in der Originalsubstanz

Chemische

Bezeichnung L- -Amino- -hydroxybuttersäure

Struktur-

formel $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH(NH}_2\text{)-COOH}$

Kennzahlen

Molekulargewicht:	119,1
Stickstoffgehalt:	11,8 %
Rohproteinäquivalent:	73,7 %
Reinheit:	min. 98.0 % L-Threonin
UE (Schwein):	15,5 MJ/kg (3700 kcal/kg)
UE (Geflügel):	14,6 MJ/kg (3490 kcal/kg)
Löslichkeit:	9 g/100 ml Wasser bei 20 C
Stabilität:	In Vormischungen und Mischfuttern stabil.

4.4 Tryptophan (Trp)

Allgemeines Die meisten pflanzlichen Proteine – vor allem Sojaweiß – sind reich an Tryptophan. Ausgesprochen arm sind Maisprotein sowie Tiermehl und Fleischknochenmehl (s. Tab. 9; 10, 11).

Bedeutung im Stoffwechsel Eiweißbaustein, beteiligt an der Bildung von Vorstufen des NAD (Nicotinsäureamid-Adenin-Dinucleotid), sowie an vielen Stoffwechselprozessen über die Gewebshormone Serotonin und Tryptamin. Tryptophan fördert die Futteraufnahme.

Herstellung Fermentative Herstellung durch Mikroorganismen; Rohstoffe: Melasse, Zucker, stärkehaltige Produkte und ihre Hydrolysate sowie N-Quellen.

Verwertbarkeit L-Tryptophan ist vollständig verwertbar.

Beschreibung L-Tryptophan, technisch rein
L-Tryptophan min. 98 v.H. in der Originalsubstanz

Chemische

Bezeichnung L- -Amino- -Indolylpropionsäure

Struktur-

formel $(C_8H_5-NH)-CH_2-(CH)-NH_2-COOH$

Kennzahlen

Molekulargewicht:	204,2
Stickstoffgehalt:	13,7 %
Rohproteinäquivalent:	85,7 %
Reinheit:	min. 98,0 % L-Tryptophan
UE (Schwein):	25,0 MJ/kg (5970 kcal)
UE (Geflügel):	23,9 MJ/kg (5710 kcal)
Löslichkeit:	1g/100 ml Wasser bei 20 C
Stabilität:	Tryptophan ist empfindlich gegen Lichteinwirkung und Oxidation sowie gegen Säureeinwirkung. Unter Licht- und Luftabschluß stabil.

4.5 Hydroxy-Analog von Methionin

Allgemeines Als Stoffwechselprodukt von Mikroorganismen bei Gärungsvorgängen,

Vorkommen z.B. in Silagen sowie Nachprodukten des Gärungsgewerbes.

Herstellung Durch chemische Synthese ausgehend von Acrolein, Methylmercaptan und Cyanowasserstoff.

Chemische

Bezeichnung DL-2-Hydroxy-4-methylmercaptobuttersäure (monomere Säure)

Struktur-

formel $\text{CH}_3\text{S}(\text{CH}_2)_2\text{-CH}(\text{OH})\text{-COOH}$

Handelsform DL-2-Hydroxy-4-methylmercaptobuttersäure, flüssig

Kennzahlen

Molekulargewicht:	150,2
Reinheit:	Gesamtsäure min. 85 % monomere Säure min 65 %
UE (Schwein):	16,9 MJ/kg (4039 kcal/kg)
UE (Geflügel):	16,1 MJ/kg (3847 kcal/kg)
Löslichkeit:	in Wasser vollständig löslich
Stabilität:	in Vormischungen und Mischfuttern stabil

Bedeutung und Verwertbarkeit Das Hydroxy-Analog des Methionins stellt eine Vorstufe des Methionins dar. Die DL-Anteile des Hydroxy-Analog des Methionins werden in die L-Form des Methionins überführt. Über die Verwertbarkeit geben spezielle Literatur und Hersteller Auskunft.

5. Ökologische Aspekte des Aminosäureneinsatzes

In der Vergangenheit stand in der tierischen Veredlung die Produktivität der Erzeugung im Vordergrund. In letzter Zeit dagegen werden zunehmend Aspekte der Umweltverträglichkeit diskutiert. Die Notwendigkeit der Minderung von Emissionen ist unbestritten, insbesondere bei regionaler Konzentration der tierischen Veredlung. Einen erheblichen Beitrag zu einer umweltschonenden Fütterung leistet der Einsatz der Aminosäuren in den Rationen für die Nutztiere. Der Einsatz der Phasenfütterung unter Ausnutzung der Möglichkeiten der Aminosäuresupplementierung bietet die Möglichkeit der bedarfsgerechten, umweltgerechten und kostengünstigen Ernährung unserer Nutztiere und hat im Hinblick auf die Umweltschonung eine Reihe von positiven Aspekten:

Stickstoffreduzierung

Fütterungsmaßnahmen ermöglichen eine Verminderung der Stickstoffausscheidung um bis zu 40 % ohne negative Effekte auf die Ausschöpfung des Leistungspotentials der Tiere

Bessere Tiergesundheit

Nährstoffangepasste Fütterung reduziert die Stoffwechselbelastung der Tiere. Besonders Jungtiere leiden dadurch weniger unter Verdauungsstörungen und haben weniger häufig Durchfallerkrankungen.

Aber auch ältere Tiere sind bei diesem Fütterungssystem vitaler und weniger anfällig gegen Infektionen

Schadgasreduzierung

Versuche haben gezeigt, daß Nährstoffangepasste Fütterung die Ammoniakkonzentration in der Stallluft deutlich reduziert, die Ammoniakfreisetzung während der Güllelagerung vermindert und die Stickstoffverluste beim und nach dem Ausbringen der Gülle deutlich herabgesetzt sind.

Bessere Arbeitsbedingungen

Die Verminderung der Schadgaskonzentration aus der Tierproduktion verringert gleichzeitig die Belastung des Tierbetreuers.

Schutz von Nahrungsmittelvorräten

Der Einsatz der Aminosäuren führt zur Schonung zum Beispiel der Fischbestände in den Weltmeeren. 1 kg Methionin = 230 kg Fisch. Zur Bedarfdeckung mit Methionin aus Fischmehl würden mehr als 50% des weltweiten Fischfangs benötigt. Außerdem würde zum Beispiel der Verzicht auf den Einsatz des Lysins in der EU ein Mehrbedarf an Sojaschrot von etwa 3 Millionen Tonnen bedeuten. Zur Produktion dieser Sojabohnenmenge wären etwa 1,4 Millionen ha Ackerfläche erforderlich.

6. Verarbeitung der Aminosäuren in Futtermitteln

Die für die Zwecke der Tierernährung mittels mikrobiologischer und chemischer Verfahren hergestellten Aminosäuren sind in ihrer physiologischen Wirkung dem verfügbaren Anteil der Aminosäuren aus Futterproteinen gleichwertig.

Die Bereitstellung von Aminosäuren in ausreichendem Umfang und in standardisierter Konzentration ermöglicht es, das Aminosäurespektrum jeder Ration dem nutritiven Bedarf der Tiere zu vertretbaren Kosten anzupassen.

Die in Futtermitteln verarbeiteten Aminosäuren verhalten sich gegenüber den üblichen Umwelteinflüssen (normaler Feuchtigkeitsgehalt, Wärme, Licht und pH-Wert des Futtermittels) stabil. Ihre Haltbarkeit wird durch andere Bestandteile, insbesondere durch Mineralstoffe und Spurenelemente nicht beeinträchtigt. Das gilt überwiegend auch für technische Verarbeitungsstufen wie Melassieren, Pressen, Pelletieren und Konservieren.

Die Anforderungen an industriell produzierte Aminosäuren sind in der EU futtermittelrechtlich geregelt.

Die Korngrößenverteilung und die Oberflächenstruktur der Aminosäuren erlauben

eine technisch problemlose Handhabung. Zusätze in Alleinfutter können in der Regel direkt erfolgen. Geringe Zusätze sollten über Vormischungen oder Mineralfutter eingearbeitet werden, damit der Aminosäurezusatz in der vorgesehenen Dosierung homogen im Mischfutter verteilt ist. Flüssige Produkte lassen sich im Allgemeinen direkt dosieren.

Bei der Kennzeichnung sind nach deutschem Futtermittelrecht zwei Aspekte zu berücksichtigen. Industriell hergestellte Aminosäuren sind Einzelfuttermittel und müssen daher bei den Angaben über die Zusammensetzung ausgewiesen werden. Bei Angabe der Inhaltstoffe sind die nativ enthaltenen und die zugesetzten Anteile als Summe anzugeben. Bei den Methionin-Hydroxyanalogen ist zu beachten, daß die Anteile an monomerer Säure und Gesamtsäure neben der Angabe des Methioningehaltes aus den Rohstoffen angegeben werden müssen.

