

Nährstoffökonomische und ökologische Aspekte bei der Erzeugung von essbarem Eiweiß tierischer Herkunft bei unterschiedlichem Leistungsniveau der Nutztiere

Prof. Dr. Gerhard Flachowsky (Braunschweig)

1. Einleitung

Die weiter ansteigende Erdbevölkerung und die zunehmende Nachfrage nach Lebensmitteln tierischer Herkunft lassen den effektiven Ressourceneinsatz zu einer erst-rangigen Forderung werden. Besondere Aufmerksamkeit bzw. kritische Diskussionen werden dabei den bei der Umwandlung pflanzlicher Produkte in Lebensmittel tierischer Herkunft auftretenden Verlusten gewidmet. Daraus resultiert die Frage nach der Notwendigkeit und dem Umfang der Bereitstellung von Lebensmitteln tierischer Herkunft.

Aus der Sicht der Humanernährung geht es bei Lebensmitteln tierischer Herkunft in erster Linie um die Protein- bzw. Aminosäurenbereitstellung, vor allem für Kinder und Jugendliche, Schwangere, Stillende und weitere Bevölkerungsgruppen. Bei einem täglichen Proteinbedarf von 0,75 bis 1 g je kg Lebendmasse (DGE, 1989) wird allgemein eingeschätzt, dass ein Drittel davon aus Protein tierischer Herkunft das Risiko eines Aminosäuredefizits weitgehend vermeiden kann. Daraus resultiert eine anzustrebende tägliche Bereitstellung von Protein tierischer Herkunft von etwa 20 g je Einwohner. Neben den Aminosäuren enthalten Fleisch, Milch und Eier jedoch auch weitere Nährstoffe, wie verschiedene Mengen- und Spurenelemente (z. B. Ca, P, Fe, Cu, Zn, Se, J) sowie Vitamine (Vitamin A, E, B₁, B₂, B₆, B₁₂ u. a.), die bei Verzicht auf Tierprodukte in der Humanernährung ins Defizit geraten können. Nicht unerwähnt bleiben soll auch der Genusswert von Lebensmitteln tierischer Herkunft. In vielen Regionen der Erde werden weit mehr als die wünschenswerten 20 g je Einwohner und Tag bereitgestellt und verzehrt (Tab. 1).

Tabelle 1: Bereitstellung von Lebensmitteln tierischer Herkunft in verschiedenen Regionen der Erde (FAO, 1997)

| Region | Lebensmittel tierischer Herkunft je Einwohner und Jahr | | | | | |
|---------------|---|------|-------|------|------|-----|
| | Fleisch | | Milch | | Eier | |
| | kg | g* | kg | g* | kg | g* |
| Welt | 37,3 | 18,4 | 95,2 | 8,3 | 7,5 | 2,5 |
| - Nordamerika | 93,2 | 46,0 | 195,2 | 16,7 | 14,1 | 4,6 |
| - Europa | 58,5 | 28,8 | 219,6 | 19,2 | 9,2 | 3,0 |
| - Asien | 24,4 | 12,0 | 37,9 | 3,3 | 6,5 | 2,1 |
| - Afrika | 12,6 | 6,2 | 30,4 | 2,7 | 2,3 | 0,8 |

* essbares Eiweiß

Die weltweit erzeugte Menge an essbarem Protein tierischer Herkunft würde im Mittel gegenwärtig ausreichen, 20 g essbares Protein je Einwohner und Tag bereitzustellen (Tab. 2). Selbst 8 Mrd. Menschen könnten theoretisch noch ausreichend mit Protein versorgt werden. Demnach existiert gegenwärtig kein Erzeugungs-, sondern ein Verteilungsproblem. Die Situation wird sich ändern, wenn Bevölkerungsgruppen ganzer Regionen zukünftig mehr Protein tierischer Herkunft essen bzw. essen wollen. Von

dieser Entwicklung ist mit Sicherheit auszugehen, so dass die in Tabelle 2 als Szenarien 2 und 3 gekennzeichneten Varianten zukünftige Trends bzw. mittlere Versorgungssituationen aufzeigen.

Tabelle 2: Kalkulation zur Bereitstellung von essbarem Protein tierischer Herkunft unter Berücksichtigung verschiedener Szenarien (FLACHOWSKY, 2000)

| Aufnahme an Tierprotein/Einwohner und Tag | Einwohner | |
|---|-----------|--------|
| | 6 Mrd. | 8 Mrd. |
| <u>Szenario 1</u> 20 g für jeden Menschen | 130 %* | 95 %* |
| <u>Szenario 2</u> 60 g für 2 Mrd. und 20 g für 4 bzw. 6 Mrd. Menschen | 80 % | 65 % |
| <u>Szenario 3</u> 60 g für 2 Mrd. und 40 g für 4 bzw. 6 Mrd. Menschen | 55 % | 45 % |

* mögliche Versorgung in % unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Erzeugung von Protein tierischer Herkunft: ~10 kg /Einwohner und Jahr

Daraus resultiert die Notwendigkeit einer erhöhten Bereitstellung von Lebensmitteln tierischer Herkunft bei einem geringen Ressourceneinsatz. Diese Thematik ist in jüngerer Vergangenheit von verschiedenen Autoren aufgegriffen worden (z. B. FLACHOWSKY, 1999; JAHREIS und GUNSTHEIMER, 1998; KIRCHGEßNER et al., 1991).

Im Beitrag soll versucht werden, nährstoffökonomische und ökologische Aspekte bei der Erzeugung von essbarem Eiweiß tierischer Herkunft mit landwirtschaftlichen Nutztieren in Abhängigkeit von den verschiedenen Produktionsformen und Leistungshöhen darzustellen. Auf Möglichkeiten der Proteinerzeugung mit Aquakultur, Insekten, Mollusken u. a. wird nachfolgend nicht eingegangen. Darüber berichteten kürzlich JAHREIS und GUNSTHEIMER (1998). Bei der Kalkulation wird die Proteinerzeugung auf den Rohprotein- bzw. Futterenergieeinsatz bezogen. Weitere Ressourcen, die nur begrenzt zur Verfügung stehen und die zur Futter- bzw. Nahrungserzeugung ebenfalls benötigt bzw. verbraucht werden, wie landwirtschaftliche Nutzfläche oder technische Energie, bleiben unberücksichtigt. Derartige Betrachtungen würden den Umfang des Beitrages übersteigen und spielen in früheren Arbeiten bereits eine Rolle (z. B. BICKEL et al., 1979; FLACHOWSKY, 1992; FLACHOWSKY et al., 1982; KRUMMEL und DRITSCHILO, 1977; PIMENTEL et al., 1975; VANDENHAAR, 1998; WERSCHNITZKY, 1979).

2. Material und Methoden

2.1 Bezugsbasis essbares Protein

Bei der Wahl des essbaren Proteins als Bezugsbasis für die folgenden Kalkulationen waren die Vorteile ausschlaggebend, wohlwissend, dass damit auch Grenzen verbunden sind:

Vorteile

- Wesentliches Ziel bei der Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft,
- Vergleichbarkeit verschiedener Proteinquellen bzw. Produktionsformen wird möglich.

Grenzen

- Schwierigkeiten bei der Umrechnung auf erzeugtes Tierprodukt,
- Formulierung verschiedener Festlegungen (z. B. Anteil essbarer Teile, Proteingehalt in essbaren Teilen u. a.),
- Vernachlässigung des Energiegehaltes der Lebensmittel (z. T. erhebliche Bedeutung für die Deckung des Energiebedarfes der Menschen).

Die täglich erzeugte Menge an essbarem Protein unter Berücksichtigung von Tierart und -kategorie bzw. Leistungshöhe basiert auf experimentellen Daten aus Fütterungs- und Ausschlichtungsversuchen. Wesentliche Quellen, deren Angaben bei den Kalkulationen zur täglich erzeugten Menge an essbarem Protein Berücksichtigung fanden, sind Tabelle 3 zu entnehmen. Die Schwankungen im Proteingehalt einer Proteinquelle sind zwischen verschiedenen Autoren nicht übermäßig groß. Problematischer sind Festlegungen zum essbaren Proteinanteil, da die Ansichten zwischen Autoren und Völkern (z. B. Verwertung von Innereien, Blut u. a.) hier weit auseinander gehen. Die unterstellten Daten können auch als Grundlage für weiterführende Berechnungen, z. B. zur Protein-erzeugung je Kuh bzw. Legehennen und Jahr u. a. dienen.

Tabelle 3: Unterstellte Bedingungen bei der Erzeugung von essbarem Protein tierischer Herkunft

| Proteinquelle | Leistung je Tag | Essbarer Anteil (%) | Proteingehalt im essb. Anteil (g/kg Frischmasse) | Essbares Protein (g/Tag) |
|-------------------------------|-----------------|---------------------|--|--------------------------|
| Milch ¹⁾ | 5 kg | 95 | 32 | 152 |
| | 10 kg | | | 304 |
| | 20 kg | | | 608 |
| | 40 kg | | | 1216 |
| Rindfleisch ²⁾ | 500 g LMZ* | 50 | 190 | 48 |
| | 1000 g LMZ | | | 95 |
| | 1500 g LMZ | | | 143 |
| Schweinefleisch ³⁾ | 300 g LMZ* | 60 | 150 | 27 |
| | 500 g LMZ | | | 45 |
| | 700 g LMZ | | | 63 |
| | 900 g LMZ | | | 81 |
| Geflügelfleisch ⁴⁾ | 20 g LMZ* | 60 | 200 | 2,4 |
| | 40 g LMZ | | | 4,8 |
| | 60 g LMZ | | | 7,2 |
| Eier ⁵⁾ | 30 % LL** | 95 | 120 | 2,3 |
| | 50 % LL | | | 3,6 |
| | 70 % LL | | | 5,1 |
| | 90 % LL | | | 6,6 |

* Lebendmassezunahme, ** Legeleistung in %; *** Eimasse
¹⁾ GfE (2000), ²⁾ GfE (1995), ³⁾ GfE (1987), ⁴⁾ GfE (1999), ⁵⁾ GfE (1999)

2.2 Einsatz von Futter bzw. Nährstoffen

Die Menge und die Zusammensetzung des eingesetzten Futters bzw. der Nährstoffe haben wesentlichen Einfluss

auf die Ergebnisse nährstoffökonomischer und ökologischer Kalkulationen. Die Ermittlung der Höhe der Futteraufnahme in Abhängigkeit von Tierart, -kategorie und Leistungshöhe erfolgte auf der Grundlage von Fütterungsversuchen und den Angaben der GfE (1987, 1995, 1999, 2000). Größere Schwierigkeiten bereitet die Festlegung, welcher Naturalmaßstab für die nährstoffökonomischen Kalkulationen genutzt wird. Als mögliche Maßstäbe stehen u. a. Trockensubstanz und/oder organische Substanz, Bruttoenergie oder die bei den verschiedenen Spezies gängigen Energiemessgrößen (verdauliche, umsetzbare oder Nettoenergie) sowie Rohprotein oder andere Parameter des Proteineinsatzes (verdauliches Rohprotein, wichtige Aminosäuren) zur Verfügung. Aus pragmatischen Gründen werden im Beitrag die Bruttoenergie und das Rohprotein als Kalkulationsbasis verwendet, wohlwissend, dass beide Größen wenig präzise sind. Bei der Verwendung der Bruttoenergie für derartige Kalkulationen werden beispielsweise Wiederkäuer, deren Futter meist zellwandreicher (ligninreicher) als das der Nichtwiederkäuer ist, benachteiligt. Andererseits sollte jedoch die erzeugte Futterausgangsmenge als Grundlage dienen, so dass bei Berücksichtigung anderer Messgrößen diese Vergleiche nur noch bedingt möglich sind.

Bei nährstoffökonomischen Kalkulationen wird häufig die Frage nach der Nahrungskonkurrenz zwischen Mensch und Tier gestellt. Ähnlich der Festlegung der Höhe der essbaren Anteile (vergl. Tab. 3) sind auch Unterstellungen über die Höhe des Konzentratanteils, der direkt in der Humanernährung genutzt werden könnte, erforderlich. Das betrifft nicht nur die Höhe des Anteils, sondern auch die Bewertung von Konzentraten, ob sie als Nebenprodukte zu betrachten sind (z. B. Sojaextraktionsschrot, Nebenprodukte der Getreideverarbeitung (FLACHOWSKY und KAMPHUES, 1996) oder auch direkt in der Humanernährung eingesetzt werden können. Der Anteil der in der Tierernährung genutzten Nebenprodukte hat nicht nur nährstoffökonomische Konsequenzen, sondern beeinflusst auch die Ergebnisse von Kalkulationen zum Flächenverbrauch (VANDENHAAR, 1998) bzw. zum Einsatz von technischer Energie bzw. zum CO₂ Output bei der Nahrungsgütererzeugung (BOCKISCH, 2000). In Tabelle 4 sind Angaben zum Konzentratanteil, der auch direkt in der Humanernährung verwendet werden könnte, mitgeteilt.

2.3 Ausscheidungen

Als ökologische Kriterien werden die N-, P- und Methanausscheidungen je kg essbares Protein bei den Kalkulationen berücksichtigt.

2.4 Bezugsgrößen

Nachfolgend sind die angewendeten Berechnungswege für Aufwand, Wirkungsgrad und Ausscheidungen dargestellt.

Bezugsgrößen für nährstoffökonomische und ökologische Kalkulationen:

$$\text{Aufwand (je kg)} = \frac{\text{Aufnahme (Energie/Nährstoff)}}{\text{Erzeugtes essbares Protein (in kg)}}$$

$$\text{Wirkungsgrad (\%)} = \frac{\text{Retention (Energ./Nährst., essb. Protein)}}{\text{Aufnahme (Energie/Nährstoff)}} \times 100$$

$$\text{Ausscheidungen je kg essbares Protein} = \frac{\text{Ausscheidungen (N, P, CH}_4\text{)}}{\text{Erzeugtes essbares Protein (in kg)}}$$

Tabelle 4: Futtermittelverbrauch bei ausgewählten Nutzungsrichtungen und Leistungen

| Proteinquelle | Leistung je Tag | Futteraufnahme (kg T/Tier/Tag) ²⁾ | Konzentrationsanteil ¹⁾ (%) | Rohprotein (g/Tier/Tag) | |
|-----------------|-----------------|--|--|-------------------------|------|
| Milch | 5 kg | 8 | 0 | 1000 | |
| | 10 kg | 12 | 0 | 1400 | |
| | 20 kg | 17 | (20) | 2200 | |
| | 40 kg | 24 | (40) | 3300 | |
| Rindfleisch | 500 g LMZ* | 6 | 0 | 720 | |
| | 1000 g LMZ | 7 | (20) | 850 | |
| | 1500 g LMZ | 8 | (30) | 1000 | |
| Schweinefleisch | 300 g LMZ* | 1,5 | (20) | 280 | |
| | 500 g LMZ | 1,8 | (40) | 330 | |
| | 700 g LMZ | 2,1 | (65) | 380 | |
| | 900 g LMZ | 2,3 | (80) | 430 | |
| Geflügelfleisch | 20 g LMZ* | 0,06 | (20) | 12 | |
| | 40 g LMZ | 0,07 | (50) | 16 | |
| | 60 g LMZ | 0,09 | (80) | 20 | |
| Eier | 30 % LL** | 20 g EM*** | 0,09 | (20) | 15 |
| | 50 % LL | 32 g EM | 0,10 | (35) | 16,5 |
| | 70 % LL | 45 g EM | 0,11 | (50) | 18 |
| | 90 % LL | 58 g EM | 0,12 | (70) | 19,5 |

1) Konzentrate, die direkt vom Menschen verzehrt werden können (= Nahrungskonkurrenz zum Menschen)

2) Bruttoenergiegehalt des Futters in Abhängigkeit vom Fett- und Aschegehalt (17 bis 20 MJ/kg T)

* Lebendmassezunahme, ** Legeleistung in %; *** Eimasse

Die Schwachstellen nährstoffökonomischer und ökologischer Kalkulationen zur Erzeugung von essbarem Protein sind u. a.:

Unsichere Datenlage

- Variationen in Futtereinsatz und Verzehr der Tiere,
- Variation des Gehaltes an Nährstoffen im Futter und im Tierprodukt,
- Einfluss der Leistungshöhe,
- Berücksichtigung des Aufzucht- bzw. Elterntieranteils.

Unterstellungen (Festlegung verschiedener Sachverhalte)

- Ausmaß der essbaren Teile und ihres Proteingehaltes,
- Nahrungskonkurrenz zum Menschen (z. B. Zuordnung einzelner Futtermittel).

Im Beitrag wird vor allem auf vergleichbare Betrachtungen in Abhängigkeit von der Leistungshöhe bzw. zwischen verschiedenen Tierarten und -kategorien eingegangen. Spezifische Möglichkeiten der Tierernährung, die Effizienz der Futterkonvertierung zu erhöhen (z. B. Rationsgestaltung, Einsatz von Aminosäuren, Enzymen, Antibiotika, Mikroorganismen u. a.), werden nachfolgend nicht erwähnt. Auf das Potential der Fachdisziplin bezüglich Ressourcenschonung sind wir an anderer Stelle eingegangen (FLACHOWSKY und SOUFFRANT, 2000).

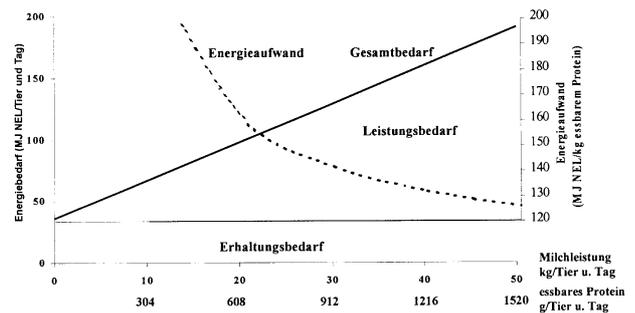
3. Nährstoffökonomische Bewertung verschiedener Proteinquellen

Die elementare Voraussetzung für Wachstum, Reproduktion, Laktation und Eierzeugung der Tiere ist zunächst die Absicherung der Grundversorgung (Grund- bzw. Erhal-

tungsbedarf) mit Energie und Nährstoffen. Über den Erhaltungsbedarf hinausgehende Energie- und Nährstoffbereitstellung sind die Grundlage für Stoffansatz bzw. Milch- und Eierabgabe. Demnach ist die Effizienz bzw. der Wirkungsgrad der Nährstoffnutzung für die Erzeugung von essbarem Protein bei Tieren ohne messbare Leistungen gleich Null und bei niedrigen Leistungen relativ gering bzw. der Aufwand sehr hoch, da der „unproduktive“ Erhaltungsbedarf auf eine geringe Leistung bzw. niedrige Proteinerzeugung anteilig „umgelegt“ wird.

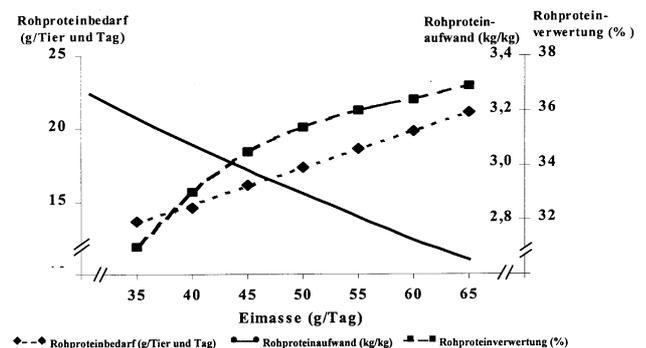
In Abbildung 1 ist diese Entwicklung am Beispiel des Energieaufwandes für die Erzeugung von essbarem Milchprotein in Abhängigkeit von der Milchleistung dargestellt. Analoge Entwicklungen können für Rohprotein oder andere Nährstoffe abgeleitet werden, wie in Abbildung 2 beispielhaft für die Eierzeugung gezeigt wird. Trotz ansteigendem Rohproteinbedarf nimmt die Rohproteinverwertung mit höherer Leistung zu bzw. der Rohproteinaufwand zur Erzeugung von essbarem Eiweiß wird geringer.

Abbildung 1: Einfluss der Höhe der Milchleistung bzw. der Proteinerzeugung auf den Energieerhaltungs- und -leistungsbedarf von Aufzuchttrindern (Lebendmasse: 650 kg; GfE 2000) sowie den Energieaufwand je kg essbarem Protein



Höhere Verwertung bzw. verminderter Aufwand haben zur Folge, dass je Produkt mehr Nährstoffe im Tier bzw. im Tierprodukt verbleiben und weniger Nährstoffe (z. B. N, P) ausgeschieden werden und damit die Umwelt belasten können.

Abbildung 2: Einfluss der täglichen Eimasseerzeugung auf den Rohproteinbedarf von Legehennen (Lebendmasse: 1,8 kg/Tier, ab 32. Lebenswoche; GfE 1999) sowie den Rohproteinaufwand bzw. die Rohproteinverwertung je g erzeugtes essbares Protein



Aus diesen grundsätzlichen Trends kann abgeleitet werden, dass bei höheren Leistungen eine effektivere Umwandlung der Futterinhaltsstoffe in essbare Tierprodukte und eine geringere Ausscheidung je erzeugtes Produkt und damit eine ressourcen- und umweltschonendere Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft zu erwarten ist. Diese Aussage darf nicht uneingeschränkt extrapoliert werden, da bei höheren Leistungen meist auch die Nahrungskonkurrenz zum Menschen größer wird (Tab. 4) und der Verbrauch an technischer Energie zur Futtererzeugung meist ansteigt (ABEL, 1996; FLACHOWSKY, 1992; KRUMMEL und DRITSCHILO, 1977).

3.1 Milch

Nährstoffökonomische und ökologische Kalkulationen zur Erzeugung von Milchprotein sind relativ einfach durchzuführen, wenn die Aufzuchtphase der Jungrinder unberücksichtigt bleibt. Mit ansteigender Milchleistung nimmt der Aufwand an Energie und Rohprotein zur Erzeugung von 1 kg Milchprotein ab, während die erforderliche Konzentratmenge absolut deutlich und relativ in geringerem Umfang ansteigt (Abb. 1, Tab. 5). Bei höheren Leistungen wird der Effekt des abnehmenden Aufwandes an Energie und Rohprotein immer weniger offensichtlich, da bei dem hohen absoluten Anteil für die Milchleistung der Anteil des Erhaltungsbedarfes relativ geringer wird (GfE, 2000). Diese Feststellung trifft auch auf die Ausscheidungen (N, P, CH₄) je erzeugtes Tierprodukt zu (vgl. Tab. 18).

Tabelle 5: Einfluss der Milchleistung auf ausgewählte nährstoffökonomische Kennzahlen bei der Erzeugung von 1 kg Milchprotein (ohne Anteil für Aufzucht und Trockenstehzeit)

| Mittlere Leistungshöhe (kg/Tag) | Mittlere Leistungshöhe (kg/Jahr) | Aufwand je kg essbares Protein | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| | | Bruttoenergie (GJ) | Bruttoenergie aus Konzentrat (GJ) | Rohprotein (kg) | Rohprotein aus Konzentrat (kg) |
| 2 | 500 | 1,6 | 0 | 10,0 | 0 |
| 5 | 1500 | 0,85 | 0 | 6,0 | 0 |
| 10 | 3000 | 0,65 | 0 | 4,6 | 0 |
| 20 | 6000 | 0,48 | (0,1) | 3,7 | (0,7) |
| 30 | 9000 | 0,38 | (0,12) | 3,4 | (1,0) |
| 40 | 12000 | 0,34 | (0,14) | 3,2 | (1,3) |

Die Aufwendungen für die Rinderaufzucht und die Nutzungsdauer der Kühe haben wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der nährstoffökonomischen und ökologischen Kalkulationen (Tab. 6).

Sowohl ein früheres Erstkalbealter als auch eine längere Nutzungsdauer der Kühe können zu einer nährstoffökonomisch und ökologisch günstigeren Proteinerzeugung beitragen (Tab. 7).

3.2 Rindfleisch

Rindfleisch kann mit Kälbern, die von Milchkühen geboren werden oder bei der Mutterkuhhaltung erzeugt werden. Bei Betrachtung des Kalbes als „Nebenprodukt der Milcherzeugung“ (Aufwendungen während der Trockenstehzeit werden bei der Milchkuh berücksichtigt) ist eine relativ eindeutige Zuordnung des Futtereinsatzes möglich. Der Aufwand je kg essbares Protein wird vor allem von der Lebendmassezunahme der Mastrinder beeinflusst (Tab. 8).

Tabelle 6: Grundlagen für nährstoffökonomische Kalkulationen bei der Milcherzeugung unter Berücksichtigung der Intensität der Jung-rinderaufzucht und der Nutzungsdauer der Milchkühe

| Kriterium | Aufwendungen in Abhängigkeit vom Erstkalbealter | | | |
|---|---|-----|-----|-----|
| | Erstkalbealter (Monate) | | | |
| | 24 | 30 | 36 | |
| Trockensubstanzaufnahme (t/Tier) | 4,0 | 4,8 | 5,3 | |
| Bruttoenergieaufnahme (GJ/Tier) | 68 | 82 | 90 | |
| Rohproteinaufnahme (kg/Tier) | 520 | 620 | 680 | |
| Proteinерtrag bei Schlachtung der Milchkühe in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer | Nutzungsdauer (Jahre) | | | |
| | 1 | 2 | 4 | 6 |
| Proteinерtrag (kg/Kuh/Jahr)* | 50 | 25 | 12 | 8,5 |

* unterstellte Bedingungen: 600 kg Lebendmasse, 50 % essbarer Anteil, 17 % Protein im essbaren Anteil

Tabelle 7: Einfluss der Dauer der Jungrinderaufzucht (Erstkalbealter) und der Nutzungsdauer der Kühe auf ausgewählte nährstoffökonomische Kennzahlen bei der Erzeugung von 1 kg Milchprotein*

| Erstkalbealter (Monate) | 24 | | | 30 | | |
|-----------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| | Nutzungsdauer (Jahre) | | | | | |
| | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 | 6 |
| Milchleistung (kg/Kuh/Jahr) | Aufwand je kg essbares Protein | | | | | |
| | Bruttoenergie (GJ) | | | | | |
| 4000 | 0,75 | 0,70 | 0,66 | 0,80 | 0,72 | 0,68 |
| 8000 | 0,50 | 0,46 | 0,44 | 0,53 | 0,47 | 0,45 |
| 12000 | 0,40 | 0,38 | 0,36 | 0,43 | 0,39 | 0,37 |
| | Rohprotein (kg) | | | | | |
| 4000 | 5,4 | 5,0 | 4,8 | 5,7 | 5,1 | 4,9 |
| 8000 | 4,2 | 3,9 | 3,8 | 4,4 | 4,0 | 3,9 |
| 12000 | 3,8 | 3,6 | 3,5 | 3,9 | 3,6 | 3,5 |

* Laktationsleistung: 4000, 8000 bzw. 12000 kg/Jahr, 32 g Protein/kg; Schlachtgewicht der Kühe: 600 kg/Tier

Tabelle 8: Einfluss der Lebendmassezunahme auf ausgewählte nährstoffökonomische Kennzahlen bei der Erzeugung von essbarem Protein aus Rindfleisch*

| Mittlere Lebendmassezunahme (g/Tier u. Tag) | Aufwand je kg essbares Protein | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| | Bruttoenergie (GJ) | Bruttoenergie aus Konzentrat (GJ) | Rohprotein (kg) | Rohprotein aus Konzentrat (kg) |
| 200 | 4,0 | 0 | 30 | 0 |
| 500 | 2,1 | 0 | 15 | 0 |
| 1000 | 1,2 | (0,25) | 9 | (1,5) |
| 1500 | 0,9 | (0,3) | 7,5 | (2,2) |

* Kalb als Nebenprodukt der Milcherzeugung

Bei der Mutterkuhhaltung beeinflussen neben der Lebendmassezunahme des Mastrindes u. a. Erstkalbealter, Zwischenkalbezeit und Nutzungsdauer der Mutterkühe die Ergebnisse nährstoffökonomischer und ökologischer Kalkulationen (Tab. 9), wobei der Einfluss der Lebendmassezunahme dominiert.

Tabelle 9: Einfluss des Erstkalbealters und der Nutzungsdauer von Mutterkühen auf ausgewählte nährstoffökonomische Kennzahlen bei der Erzeugung von 1 kg essbarem Protein aus Rindfleisch in Abhängigkeit von der Lebendmassezunahme (LMZ) der Masttiere*

| Erstkalbealter (Monate) Nutzungsdauer der Kühe (Jahre) | 27 | | 36 | |
|---|--|-----|-----|-----|
| | 3 | 6 | 3 | 6 |
| LMZ der Masttiere (g/Tier/Tag) | Aufwand je kg essbares Protein Bruttoenergie (GJ) | | | |
| 500 | 2,4 | 2,3 | 2,5 | 2,4 |
| 1000 | 1,7 | 1,6 | 1,8 | 1,7 |
| 1500 | 1,5 | 1,4 | 1,6 | 1,5 |
| | Rohprotein (kg) | | | |
| 500 | 19 | 18 | 20 | 19 |
| 1000 | 13 | 12 | 12 | 11 |
| 1500 | 11 | 10 | 12 | 11 |

* Schlachtgewicht der Kühe: 600 kg (50 % essbarer Anteil; 17 % Protein im essbarem Anteil) 1 Kalb/Jahr; Wachstumsperiode: 50-350 kg (50 % essbarer Anteil; 19 % Protein im essbarem Anteil)

Andererseits darf nicht verkannt werden, dass durch Mutterkühe Weideflächen genutzt werden können, die sonst nicht oder nur begrenzt zur Lebensmittelerzeugung nutzbar sind. Aus volkswirtschaftlicher Sicht sind Milch- und Rindfleischerzeugung als Einheit zu betrachten. Bei höheren Milchleistungen können mehr Menschen mit Milch von einer Kuh versorgt werden; je kg Milch bzw. je mit Milch versorgtem Einwohner vermindern sich die N-, P- bzw. Methanausscheidungen (Tab. 10).

Tabelle 10: Kalkulation zur N-, P- und Methanausscheidung durch Milchkühe in Abhängigkeit von der Leistungshöhe und dem Milchverbrauch (350 l/Kopf/Jahr, DGE 1996)

| Milchleistung (kg/Kuh und Jahr) | Milchmenge ausreichend für Anzahl Einwohner/Jahr | Ausscheidung durch Milchkühe je Einwohner (kg/Jahr) | | |
|---------------------------------|--|---|------|-----------------|
| | | N | P | CH ₄ |
| 6000 | 17,1 | 5,1 | 1,2 | 7,7 |
| 8000 | 22,9 | 4,6 | 1,05 | 6,0 |
| 10000 | 28,6 | 4,2 | 0,9 | 5,0 |
| 12000 | 34,3 | 4,0 | 0,8 | 4,2 |

Andererseits sind bei höheren Milchleistungen auch weniger Milchkühe zur Versorgung der Einwohner erforderlich. Obwohl der Rindfleischverzehr in den letzten Jahren in Deutschland gesunken ist (≈10 kg/Einwohner und Jahr), reicht das bei der Schlachtung der Kühe bzw. ihrer gemästeten Kälber anfallende Fleisch nicht mehr aus, um die Versorgung der Bevölkerung abzusichern. Demnach wird es notwendig, Rindfleisch über Mutterkühe und deren Kälber zu erzeugen (oder durch Importe abzudecken). Diese weniger effektive Form der Nutzung von Futterpflanzen und die dadurch bedingten hohen Ausscheidungen je erzeugtes Tierprodukt führen dazu, dass bei höheren Milchleistungen die N-, P- und CH₄-Ausscheidungen je Einwohner wieder ansteigen können (vgl. Tab. 10 mit 11).

Tabelle 11: Kalkulation zur N-, P- und Methanausscheidung durch Kühe und Mastrinder in Abhängigkeit von der Leistungshöhe der Milchkühe und dem Milch- (≈350 l/ Kopf/Jahr) bzw. Rindfleischverbrauch (≈10 kg/ Kopf/Jahr)

| Milchleistung (kg/Kuh und Jahr) | Ausreichend für Anzahl Einwohner/ Jahr | | Ausscheidung durch Kühe und Mastrinder je Einwohner (kg/Jahr) | | |
|---------------------------------|--|-----------------------|---|-----|-----------------|
| | Milch | Fleisch ¹⁾ | N | P | CH ₄ |
| 6000 | 17,1 | 20 | 7,0 | 1,5 | 10,4 |
| 8000 | 22,9 | 20 ²⁾ | 6,8 | 1,4 | 9,4 |
| 10000 | 28,6 | 20 ²⁾ | 7,0 | 1,4 | 9,3 |
| 12000 | 34,4 | 20 ²⁾ | 7,4 | 1,5 | 10,2 |

¹⁾ Kalkulation der Fleischleistung: 3 jährige Nutzungsdauer der Kühe; 600 kg Schlachtmasse; 50 % Fleischertrag (100 kg Fleisch/Kuh und Jahr); 1 Kalb/Kuh und Jahr, 50 % zur Mast, 1000 g Tageszunahme, 50 % Fleischertrag (100 kg Fleisch/Mastrind und Jahr)

²⁾ Rindfleischerzeugung über Mutterkühe notwendig

3.3 Schweinefleisch

Analog der Milch- und Rindfleischerzeugung werden auch bei der Proteinerzeugung durch Schweine die nährstoffökonomischen und ökologischen Kenngrößen vor allem von der Tageszunahme beeinflusst (Tab. 12). Mit ansteigender Lebendmassezunahme nimmt der Aufwand an Energie und Rohprotein je kg essbares Protein ab; der aus Konzentraten stammende Anteil und die Nahrungskonkurrenz zum Menschen steigen jedoch an. Neben der Höhe der Lebendmassezunahme der Mastschweine haben auch die Aufzucht-dauer der Jungsaunen, die Nutzungsdauer der Sauen und vor allem die Anzahl der je Sau abgesetzten Ferkel Einfluss auf die nährstoffökonomischen Kenngrößen.

Tabelle 12: Einfluss der Lebendmassezunahme auf ausgewählte nährstoffökonomische Kennzahlen bei der Erzeugung von essbarem Protein aus Schweinefleisch

| Mittlere Lebendmassezunahme (g/Tier und Tag) | Bruttoenergie (GJ) | Aufwand je kg essbares Protein | | |
|--|--------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| | | Bruttoenergie aus Konzentrat (GJ) | Rohprotein (kg) | Rohprotein aus Konzentrat (kg) |
| 300 | 0,9 | (0,2) | 10 | (2) |
| 500 | 0,7 | (0,3) | 7,5 | (3) |
| 700 | 0,6 | (0,5) | 6 | (4) |
| 900 | 0,6 | (0,4) | 5 | (4) |

3.4 Geflügelfleisch

Die nährstoffökonomischen Kennzahlen zur Erzeugung von Broilerfleisch sind niedriger (Tab. 13) als die bei Rind- und Schweinefleisch mitgeteilten Daten (Tab. 8, 9 und 12). Diese Unterschiede beruhen auf dem hohen Proteinsynthesevermögen wachsender Hühner, das je kg Lebendmasse deutlich über dem von wachsenden Schweinen bzw. Rindern liegt (8 g bzw. 1,5 und 0,8 g/kg LM bei Broilern, Mastschweinen und Mastrindern mit 50, 800 und 1200 g Lebendmassezunahme/Tag). Wie bei den anderen wachsenden Tieren hat die Höhe der Lebendmassezunahme erheblichen Einfluss auf die ermittelten Daten.

Tabelle 13: Einfluss der Lebendmassezunahme (Mastdauer) auf ausgewählte nährstoffökonomische Kennzahlen bei der Erzeugung von essbarem Protein aus Broilerfleisch

| Mittlere Lebendmassezunahme in g/Tier/Tag (Mastdauer in Tagen bis 1540 g Endmasse) | Bruttoenergie (GJ) | Aufwand je kg essbares Protein | | |
|--|--------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| | | Bruttoenergie aus Konzentrat (GJ) | Rohprotein (kg) | Rohprotein aus Konzentrat (kg) |
| 20 (73) | 0,45 | (0,10) | 5 | (1,0) |
| 30 (50) | 0,32 | (0,12) | 3,5 | (1,2) |
| 40 (38) | 0,26 | (0,13) | 3 | (1,5) |
| 50 (30) | 0,22 | (0,14) | 2,5 | (1,8) |

* ohne Berücksichtigung des Aufwandes für Broilerelterntiere

3.5 Eier

Der Aufwand an Energie und Protein bei der Eiweißherzeugung durch Legehennen ist stark leistungsabhängig (Abb. 2, Tab. 14) und ist bei hohen Leistungen annähernd mit den von der Milchkuh bekannten Daten (≈ 30-40 kg Milch/Tag, Tab. 5) vergleichbar.

Tabelle 14: Einfluss der Legeleistung auf ausgewählte nährstoffökonomische Kennzahlen bei der Erzeugung von essbarem Protein aus Hühnereiern

| Mittlere Legeleistung in % (Eimasse in g pro Tag) | Bruttoenergie (GJ) | Aufwand je kg essbares Protein | | |
|---|--------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| | | Bruttoenergie aus Konzentrat (GJ) | Rohprotein (kg) | Rohprotein aus Konzentrat (kg) |
| 30 (20) | 0,70 | (0,15) | 6,0 | (1,2) |
| 50 (32) | 0,48 | (0,16) | 4,0 | (1,4) |
| 70 (45) | 0,36 | (0,18) | 3,3 | (1,6) |
| 90 (58) | 0,30 | (0,21) | 3,0 | (2,0) |

Im Vergleich zur Höhe der Legeleistung haben die Anzahl der aufgezogenen Küken je Zuchthenne und die Dauer der Junghennenaufzucht einen relativ geringen Einfluss auf die Aufwandsdaten (Tab. 15).

Tabelle 15: Einfluss der Leistung der Zuchthennen, der Intensität der Junghennenaufzucht und der Legeleistung auf ausgewählte nährstoffökonomische Kennzahlen bei der Erzeugung von 1 kg essbarem Protein aus Hühnereiern*

| Aufzuchtküken je Zuchthenne Aufzuchtdauer (Wochen) | 50 | | 200 | |
|---|--------------------------------|------|------|------|
| | 20 | 25 | 20 | 25 |
| Legeleistung | Aufwand je kg essbares Protein | | | |
| | Bruttoenergie (GJ) | | | |
| 30 % | 0,60 | 0,65 | 0,58 | 0,62 |
| 90 % | 0,40 | 0,42 | 0,38 | 0,40 |
| | Rohprotein (kg) | | | |
| | 50 % | 5,0 | 5,2 | 4,8 |
| 90 % | 3,6 | 3,8 | 3,5 | 3,0 |

* Schlachtgewicht der Hennen: 1,5 kg

3.6 Sonstige Proteinquellen

Die für die dargestellten Formen der Erzeugung von essbarem Protein aufgezeigten Tendenzen, dass mit höheren Leistungen der Aufwand an Energie und Protein niedriger und die Verwertung günstiger werden, trifft auch für weitere Zweige der Milcherzeugung (z. B. Ziege, Schaf u. a.), Fleischerzeugung (Schaf, Kaninchen, Pute, Ente, Gans u. a.) und Eierzeugung (Wachtel u. a.) zu. In Tabelle 16 sind beispielhaft Kennzahlen zur Erzeugung von Kaninchenfleisch dargestellt.

Tabelle 16: Einfluss der Fütterungsintensität auf ausgewählte nährstoffökonomische Kennzahlen bei der Erzeugung von essbarem Protein aus Kaninchenfleisch (nach SEMISCH et al., 1995)

| Mastintensität | Bruttoenergie (GJ) | Aufwand je kg essbares Protein | | |
|--|--------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| | | Bruttoenergie aus Konzentrat (GJ) | Rohprotein (kg) | Rohprotein aus Konzentrat (kg) |
| Intensive Mast (45 g LMZ/Tier/Tag) | 0,7 | (0,25) | 7,5 | (2,0) |
| Intensive Mast und Reproduktion (48 Jungtiere/Jahr, 45 g LMZ Tier/Tag) | 0,85 | (0,3) | 9,0 | (2,0) |
| Extensive Mast (20 g LMZ/Tier/Tag) | 0,95 | (0,2) | 10,0 | (2,0) |

3.7 Vergleichende Bewertung

Zwischen den verschiedenen zur Erzeugung von Nahrungsproteinen genutzten Tierarten und -kategorien bestehen erhebliche Unterschiede im Aufwand an Energie und Rohprotein bzw. bei der Ausscheidung von N, P und Methan je kg essbares Protein (Tab. 17 und 18). Die niedrigsten Aufwendungen konnten bei der Erzeugung von Milch- und Eiweiß sowie von Broilerfleisch ermittelt werden.

Die Proteinerzeugung mit wachsenden Schweinen und Rindern ist deutlich aufwendiger und verursacht je kg Nahrungsprotein höhere N- und P-Ausscheidungen. Die Rindfleischerzeugung ist außerdem mit einer Methanbildung im Pansen verbunden. Bei allen Formen der Proteinerzeugung nehmen Aufwand und Ausscheidungen je kg Protein mit zunehmenden Leistungen ab. Neben der Leistungshöhe werden die mitgeteilten Werte u. a. von der Höhe der Futteraufnahme, der Zusammensetzung des Futters (z. B. Rohprotein-, Energie- und P-Gehalt), dem Anteil an essbarem Protein im Tierprodukt sowie der Einbeziehung der für Aufzucht und Reproduktion erforderlichen Energie- und Nährstoffmengen beeinflusst.

Unter Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren (z. B. technische Energie, Nahrungskonkurrenz zum Menschen) sind demnach höhere Leistungen und bedarfsgerechte Versorgung der Nutztiere wesentliche Voraussetzungen für eine ressourcen- und umweltschonende Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft.

Tabelle 17: Vergleich nährstoffökonomischer Kennzahlen zur Erzeugung von essbarem Protein unter Berücksichtigung verschiedener Proteinquellen und Leistungen der Nutztiere

| Proteinquelle | Leistungshöhe | Aufwand je kg essbares Protein | |
|-----------------|----------------|--------------------------------|-----------------|
| | | Bruttoenergie (GJ) | Rohprotein (kg) |
| Milch | 5 kg/Tag | 0,85 | 6 |
| | 10 kg /Tag | 0,65 | 4,6 |
| | 20 kg/Tag | 0,48 | 3,7 |
| | 40 kg/Tag | 0,34 | 3,2 |
| Rindfleisch | 500 g LMZ/Tag | 2,1 | 15 |
| | 1000 g LMZ/Tag | 1,2 | 9 |
| Schweinefleisch | 300 g LMZ/Tag | 0,9 | 10 |
| | 700 g LMZ/Tag | 0,6 | 6 |
| Geflügelfleisch | 20 g LMZ/Tag | 0,45 | 5 |
| | 40 g LMZ/Tag | 0,26 | 3 |
| Eier | 50 % LL | 0,5 | 4 |
| | 90 % LL | 0,3 | 3 |

Tabelle 18: Orientierungswerte für anfallende Mengen an N, P und CH₄ bei der Erzeugung von 1 kg essbarem Protein tierischer Herkunft

| Proteinquelle | Leistungshöhe | Ausscheidungen durch Nutztiere je kg essbares Protein | | |
|-----------------|----------------|---|-------|----------------------|
| | | N (kg) | P (g) | CH ₄ (kg) |
| Milch | 5 kg/Tag | 0,9 | 140 | 1,5 |
| | 10 kg/Tag | 0,6 | 100 | 1,0 |
| | 20 kg/Tag | 0,4 | 60 | 0,6 |
| | 40 kg/Tag | 0,3 | 40 | 0,4 |
| Rindfleisch | 500 g LMZ/Tag | 2,0 | 300 | 2,5 |
| | 1000 g LMZ/Tag | 1,2 | 180 | 1,5 |
| Schweinefleisch | 300 g LMZ/Tag | 1,5 | 200 | - |
| | 700 g LMZ/Tag | 0,8 | 120 | - |
| Geflügelfleisch | 20 g LMZ/Tag | 0,6 | 80 | - |
| | 40 g LMZ/Tag | 0,3 | 40 | - |
| Eier | 50 % LL | 0,8 | 90 | - |
| | 90 % LL | 0,3 | 50 | - |

4. Schlussfolgerungen

Aus den vorgenommenen Kalkulationen können folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

- Nährstoffökonomische Kalkulationen auf der Basis des verzehrbaren Proteins lassen Vergleiche zwischen Tierarten und -kategorien zu, weisen jedoch auch verschiedene Schwachstellen (z. B. Festlegung des essbaren Anteils) auf.
- Nahrungsprotein aus Geflügelfleisch und Eiern, gefolgt von Kuhmilch und Schweinefleisch, ist mit den geringsten Aufwendungen an Bruttoenergie und Rohprotein zu erzeugen.
- In dieser Rangfolge steigen auch die Ausscheidungen an N und P je kg essbares Protein an.
- Mit zunehmenden Leistungen werden die nährstoffökonomischen Kenngrößen (Aufwandsdaten, Verwer-

...tung) infolge des relativ abnehmenden Erhaltungsanteils günstiger. Die Leistungshöhe hat demnach auch einen erheblichen Einfluss auf die Rangfolge der Tierarten bzw. -kategorien bezüglich der Nahrungskonvertierung.

- Für komplexe nährstoffökonomische Betrachtungen ist die Berücksichtigung der Aufzuchtperiode (z. B. Jung-rinder, Junghennen) bzw. der Aufwendungen für El-terntiere (Mutterkühe, Sauen, Broilerelterntiere u. a.) notwendig.
- Mit höheren Leistungen steigt die Nahrungskonkurrenz zum Menschen an. Sie ist bei Geflügel und Schwein größer als beim Wiederkäuer; hängt jedoch bei allen Spezies von der Menge eingesetzter Nebenprodukte in der Ration ab.
- Unter Berücksichtigung der natürlichen Bedingungen (Grasland) und der Vorteile der mikrobiellen Verdauungsprozesse in den Vormägen kommt den Wiederkäuern vor allem in den Tropen/Subtropen eine erst-rangige Bedeutung für die Proteinversorgung der Men-schen zu.
- Aus nährstoffökonomischer und ökologischer Sicht er-geben sich bei einer globalen Betrachtung u. a. fol-gende Möglichkeiten zur Verbesserung der Versorgung mit Protein tierischer Herkunft in den Tropen und Sub-tropen:
 - Reduzierung der Tierzahlen (vor allem bei Wiederkäuern in den Tropen und Subtropen, denn 70 % der weltweit dort gehaltenen Tierbestände produ-zieren nur etwa 30 % des Nahrungsproteins),
 - Erhöhung der Leistung,
 - Entwicklung einer Futtervorratswirtschaft ein-schließlich Nutzung von Nebenprodukten in den Tropen und Subtropen,
 - Erhöhung des Futterwertes geringwertiger Futter-mittel.

5. Zusammenfassung

Die Erzeugung von essbarem Eiweiß tierischer Herkunft als Hauptziel der Tierproduktion diene als Basis für die vorgenommenen nährstoffökonomischen und ökologi-schen Kalkulationen. Als nährstoffökonomische Größen wurden der Bruttoenergie- bzw. der Rohproteinaufwand je kg Nahrungsprotein aus Milch, Rind-, Schweine-, Geflügel- und Kaninchenfleisch sowie aus Eiern kalkuliert. Zur Beurteilung der Nahrungskonkurrenz zum Menschen fand der Konzentrataufwand je kg essbares Protein Berücksichtigung. Die N-, P- und Methanausscheidungen je kg Nahrungsprotein waren Grundlage ökologischer Be-trachtungen.

Die Ergebnisse der nährstoffökonomischen und ökologi-schen Kalkulationen hängen bei den verschiedenen Tier-arten bzw. -kategorien vor allem von der Leistungshöhe ab. Da mit ansteigenden Leistungen der auf das Produkt bzw. auf das essbare Eiweiß entfallende Erhaltungsanteil relativ geringer wird, vermindert sich der Aufwand bzw. die Energie- und Proteinverwertung steigt an. Bei Tages-leistungen von 30 kg Milch, 1000 g Zunahme beim Mast-rind, 700 g beim Schwein, 40 g Zunahme beim Broiler und einer Legeleistung von 80 % sind zur Erzeugung von 1 kg essbarem Eiweiß in Milch, Rind-, Schwein- bzw. Geflü-gelfleisch oder Eiern etwa 0,4; 1,2; 0,6; 0,25 und 0,35 GJ Bruttoenergie bzw. 3,4; 9,0; 6,0; 3,0 und 3,5 kg Rohpro-

tein erforderlich. Die N-Ausscheidung je kg essbares Eiweiß für die fünf Proteinquellen betragen etwa 0,35; 1,2; 0,8; 0,3 und 0,4 kg; für die P-Ausscheidungen wurden etwa 50, 180, 120, 40 bzw. 60 g kalkuliert.

Bei den angegebenen Leistungshöhen kann die Proteinherzeugung über Milch, Geflügelfleisch oder Eier demnach nährstoffökonomisch und ökologisch günstiger beurteilt werden als über Schweine- oder Rindfleisch. Die Nahrungskonkurrenz zum Menschen ist bei der Erzeugung von Protein mit Nichtwiederkäuern (Schwein, Huhn) höher als beim Wiederkäuer, wobei diese Größe auch vom Anteil der Nebenprodukte der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft in der Tagesration und der Leistungshöhe der Tiere abhängt.

Ressourcenschonende und ökologisch vertretbare Erzeugung von Protein tierischer Herkunft bedeutet global vor allem eine Reduzierung der Tierbestände, die Erhöhung der Leistung der Tiere und die Nutzung von Futtermitteln in der Tierernährung, die nicht direkt vom Menschen verzehrt werden können.

6. Literatur

- ABEL, H. J. (1996): Energieaufwand und CO₂-Ausstoß bei verschiedenen Formen der Lebensmittelerzeugung. Hülsenberger Gespräche, Travemünde, 5.-7. Juni 1996, 153-161
- BICKEL, H., F. ZIHLMANN, R. STUDER, P. FASSLER, A. SCHÜRCH (1979): Energieaufwand und Energieertrag in der Tierproduktion. Ernährung 3, 566-571
- BOCKISCH, F. J. (2000; Herausg.): Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 211, 206 S.
- DGE (1989): Empfehlungen für die Nährstoffzufuhr. Umschau-Verlag, Frankfurt/M., 2. (korr.) Nachdruck
- DGE (1996): Ernährungsbericht 1996. Frankfurt/M. 368 S.
- FLACHOWSKY, G. (1992): Nährstoffökonomische, energetische und ökologische Aspekte bei der Erzeugung von essbarem Protein tierischer Herkunft. Arch. Geflügelkd. 56, 233-240
- FLACHOWSKY, G. (1999): Nährstoffökonomische und ökologische Aspekte bei der Erzeugung von essbarem Protein tierischer Herkunft in den Tropen und Subtropen. Göttinger Beiträge zur land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. 133, 226-231.
- FLACHOWSKY, G. (2000): Effiziente Tierernährung - unverzichtbare Voraussetzung für die Welternährung im neuen Jahrtausend. Mühle und Mischfutter 137, 2-8
- FLACHOWSKY, G., A. HENNIG, P. TILLACK (1982): Überlegungen zum effektiven Einsatz technischer Energie bei der Erzeugung von wertbarem Tierprotein. Int. Z. Landwirtschaft, H. 2, 121-126
- FLACHOWSKY, G., J. KAMPHUES (1996; Herausg.): Unkonventionelle Futtermittel. Proc. Workshop, 10./11.04. 1996, Braunschweig, Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 169, 415 S.
- FLACHOWSKY, G., W. SOUFFRANT (2000): Ressourcenschonende Tierernährung. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 212, 276-302
- GfE (1987): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 4 Schweine, DLG-Verlag Frankfurt/M.
- GfE (1995): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 6, Empfehlungen zur Nährstoffversorgung der Mastrinder. DLG-Verlag Frankfurt/M.
- GfE (1999): Empfehlungen zur Nährstoffversorgung von Legehennen und Masthühnern (Broiler), Nr. 7. DLG-Verlag Frankfurt/M. (185 S.)
- GfE (2000): Empfehlungen zur Nährstoffversorgung von Milchkühen und Aufzuchtrindern. DLG-Verlag Frankfurt/M. (im Druck)
- JAHREIS, G., S. GUNSTHEIMER (1998): Nahrungsquellen und -ketten. Nova acta Leopoldina NF. 79: 309, 29-43
- KIRCHGEßNER, M., H. L. MÜLLER, W. WINDISCH (1991): Energietransfer beim Nutztier - Aspekte der Ernährung und Fütterung. Arch. Anim. Nutr. 412, 467-485
- KRUMMEL, J., W. DRITSCHILO (1977): Resource cost of animal protein production. World Anim. Rev. 21, 8-10
- PIMENTEL, D., W. DRITSCHILO, J. KRUMMEL, J. KUTZMAN (1975): Energy and land constraints in food protein production. Science 190, 761-764
- SEMISCH, J., K. LANGE, G. FLACHOWSKY (1995): Nährstoffökonomische, energetische und ökologische Aspekte bei der Kaninchenfleischerzeugung. Proc. 9. Arbeitstagung über Haltung der Kaninchen, Pelztier und Heimtiere, Celle, 10./11.05. 1995, 106-115
- VANDENHAAR, M. J. (1998): Efficiency of nutrient use and relationship to profitability on dairy farms. J. Dairy Sci. 81: 272-282
- WERSCHNITZKY, V. (1979): Energieeinsatz und Energieumsatz im Bereich der Ernährungswirtschaft. Berichte über Landwirtschaft, 195. Sonderheft, 78-97

Nach einem Vortrag anlässlich der Tagung „Nachhaltigkeit der Geflügelproduktion“ am 13.04.2000 in Mariensee