

Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie

Stellungnahme zur energetischen Futterbewertung beim Schwein auf Basis Umsetzbarer Energie versus Nettoenergie

Quelle und zu zitieren als: GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (2017): Stellungnahme zur energetischen Futterbewertung beim Schwein auf Basis Umsetzbarer Energie versus Nettoenergie. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 26, 210-217.

Zusammenfassung

Die vorliegende Stellungnahme ist eine umfassende Darlegung der wissenschaftlichen Argumente sowie der für die praktische Fütterung und Rationsgestaltung relevanten Aspekte, die bei der Futterbewertung beim Schwein auf der Basis der Umsetzbaren Energie (ME) und der Nettoenergie (NE) von Bedeutung sind.

Die ME gibt das Vermögen eines Futtermittels an, dem Stoffwechsel des Tieres Energie bereitzustellen. Die NE berücksichtigt darüber hinaus die im Stoffwechsel auftretenden, nährstoffspezifischen Wärmeverluste und gibt die beim wachsenden Tier retinierte Energie (RE) an. Da die Höhe dieser Verluste insbesondere beim Protein jedoch nicht konstant ist, und der Bedarf für den Grundumsatz sowie für die Trächtigkeit, Thermoregulation und Bewegungsaktivität als Äquivalent zur RE angegeben werden muss, ergeben sich daraus Probleme bzw. Ungenauigkeiten. Die RE als Teil der Leistungsvorhersage gelingt mit einem NE-System daher nur begrenzt. Erst wenn die Zusammensetzung der Ration, insbesondere deren Protein- und Aminosäuregehalte vorliegen sowie die Eigenschaften des Tieres, vor allem dessen Proteinansatzvermögen, bekannt sind, ist eine Vorhersage des Wachstums, der Körperzusammensetzung und der ausgeschiedenen Nährstoffe möglich.

Umfangreiche Berechnungen, die in Zusammenarbeit mit einem großen Futterhersteller durchgeführt wurden, haben ergeben, dass Mischfutteroptimierungen auf der Basis NE gegenüber ME nicht zu einer Kostenreduktion und auch nicht zu einer Absenkung des Proteingehalts führen. Ein einzelnes NE-System hat darüber hinaus den Nachteil, dass es mit anderen NE-Systemen nicht kompatibel ist, während die NE-Werte verschiedener NE-Systeme sich in der Regel aus der ME berechnen lassen. Ein ganz erhebliches Problem wird auch darin gesehen, dass die Möglichkeit einer experimentellen Überprüfung von NE-Werten aufgrund des hohen Aufwands für Respirationsversuche nicht gegeben ist. Die ME hingegen lässt sich mit Hilfe eines Verdaulichkeitsversuchs, ergänzt durch eine Harnsammlung, bestimmen. Zukünftige neue Erkenntnisse über die Effizienz der Nährstoffverwertung und den Bedarf können in einem ME-System bei den Versorgungsempfehlungen einfacher und rascher berücksichtigt werden als in NE-Systemen, da hier die Futterwerte und damit auch Tabellenwerke geändert werden müssen.

Es ist daher weder aus wissenschaftlicher Sicht sinnvoll noch im Interesse der landwirtschaftlichen Praxis, eine Umstellung von der ME auf eines der vorhandenen NE-Systeme vorzunehmen. Eine Rationsgestaltung auf Basis der ME ist nach heutigem Wissensstand als ‚best practice‘ anzusehen.

1. Einleitung

Die Bedeutung einer präzisen Bestimmung des Energielieferungsvermögens von Futtermitteln ergibt sich daraus, dass der ökonomische Wert der meisten Futtermittel überwiegend vom Energiegehalt abhängt und die Leistung eines Tieres in hohem Maße von der Energieversorgung beeinflusst ist. Bei Futtermitteln mit geringen Fettgehalten ist vor allem ihr Gehalt sowie die Verdaulichkeit der Faserfraktionen für die Variation des energetischen Futterwert bestimmend, da Proteine, Stärke und Zucker in der Regel eine hohe praecaecale Verdaulichkeit (pcV) aufweisen. Die bei der Fermentation der Faser auftretenden Verluste in Form von Methan, Fermentationswärme und mikrobieller Substanz verringern des Weiteren den energetischen Wert faserreicher Futtermittel. Folgt man dem Postulat von Menke

(1987), dass der energetischen Futterbewertung die Aufgabe zukommt, die überwiegend durch Eigenschaften des Futters bedingten Verluste zu schätzen, sind daher zusätzlich zu den Verlusten durch die Ausscheidung über den Kot diejenigen über die Methanbildung und den Harn zu berücksichtigen (Umsetzbare Energie, ME). Wird darüber hinaus die durch Nährstoffzufuhr bedingte Wärmebildung im Stoffwechsel einbezogen, führt dies zur Nettoenergie (NE). Gegenstand des vorliegenden Beitrags ist es, den aktuellen Stand der energetischen Futterbewertung beim Schwein in Deutschland darzustellen und die Gründe aufzuzeigen, die zur Entscheidung führten, die Bewertung auf der Stufe der ME vorzunehmen. Des Weiteren werden mögliche Vorteile und Grenzen einer Bewertung auf der Stufe der NE dargelegt sowie damit verbundene Probleme angesprochen. Mit dem vorliegenden Text erweitert der Ausschuss für Bedarfsnormen (AfBN) der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) die Argumentation, die er bereits in Form einer kurzen Pressemitteilung im Dezember 2015 publiziert hat¹. Der Text basiert auf den Ausführungen der GfE (2006; Kapitel 2), den Publikationen bzw. Tagungsbeiträgen von Susenbeth (2005, 2010 und 2016), in denen auch Einzelaspekte näher behandelt werden.

2. Die Bewertung auf der Stufe der Umsetzbaren Energie

Es war der Leitgedanke des AfBN, den energetischen Futterwert als das Potential zu definieren, Energie dem Stoffwechsel des Tieres zur Verfügung zu stellen, und diesen aus den Gehalten an verdaulichen (Roh-)Nährstoffen zu berechnen (GfE, 2006). Dies führt notwendigerweise zu einer Bewertung auf der Stufe der ME. Hingegen kann die Voraussage der Leistungen und damit auch der retinierten Energie (RE) nicht primäre Aufgabe der energetischen Futterbewertung sein, da die Aminosäurenversorgung, das Leistungspotential und die Art der Leistung der Tiere ebenfalls auf die Verwertung der Energie Einfluss nehmen, so dass eine Leistungsvorhersage allein aufgrund der Eigenschaften eines Futtermittels nur sehr begrenzt möglich ist (siehe die Ausführungen im Folgenden).

Die Formel zur Berechnung des Gehalts an ME lautet (GfE, 2006):

$$ME = 20,5 \text{ DXP} + 39,8 \text{ DXL} + 17,3 \text{ ST} + 16,0 \text{ ZU} + 14,7 \text{ DOR} \quad (\text{kJ bzw. g/kg Trockenmasse [TM]}),$$

wobei DXP verdauliches Rohprotein, DXL verdauliches Rohfett, ST Stärke, ZU Zucker, DOR verdaulicher organischer Rest ($\text{DOR} = \text{DOS} - \text{DXP} - \text{DXL} - \text{ST} - \text{ZU}$; DOS = verdauliche organische Substanz) bedeuten. Diese Formel basiert auf den umfangreichen Untersuchungen der Rostocker Arbeitsgruppe (Jentsch et al., 2001). Lediglich der Faktor für DOR wurde gegenüber der ursprünglichen Formel modifiziert. Mit diesem werden die Methanverluste und die Fermentationswärme berücksichtigt. Diese Berechnungsgleichung ist sehr robust und sicher in ihrer Anwendung, da die Faktoren mit den theoretisch zu erwartenden Werten fast identisch sind. Der Faktor 20,5 für DXP entspricht einem ME-Wert für Protein, wenn dieses effizient im Stoffwechsel genutzt wird, d.h. die N-Ausscheidung über den Harn gering ist. Zu beachten ist, dass die Faktoren für ST und ZU sich nicht auf die verdaulichen Anteile beziehen, sondern auf den Gesamtgehalt im Futter; aufgrund ihrer in der Regel sehr hohen pcV sind diese Faktoren jedoch nahezu mit dem Brennwert identisch.

Die Berücksichtigung des DOR, mit der die Faserfraktion sowie andere Nicht-Stärke-Polysaccharide (NSP) nicht analytisch, sondern rechnerisch ermittelt werden, führt zu einem erheblichen Vorteil hinsichtlich der Sicherheit bei der Anwendung der Gleichung². Analytische Fehler, insbesondere bei den Kohlenhydratfraktionen, wirken sich nur geringfügig auf den berechneten ME-Wert aus, da eine Über- oder Unterschätzung von Nährstoffgehalten quantitativ durch den DOR wieder aufgefangen wird. Die Faktoren für die drei Fraktionen DOR, ST und ZU unterscheiden sich nicht erheblich, so dass die Folge eines Analysefehlers für den ME-Wert des Futters gering ist. Wird beispielsweise der Stärkegehalt um 5 Prozentpunkte zu niedrig analysiert, nimmt folglich der Gehalt an DOR um 5 Prozentpunkte zu.

¹ (http://www.gfe-frankfurt.de/download/GfE_Nettoenergie_Schwein.pdf)

² Eine organische Restfraktion wird auch bei Berechnungsgleichungen anderer Autoren berücksichtigt (Susenbeth, 2005). Es ist allerdings zu beachten, dass diese Fraktion in den jeweiligen Gleichungen unterschiedlich definiert bzw. berechnet wird.

Trotz dieses erheblichen analytischen Fehlers beträgt der daraus resultierende Fehler für die Bestimmung des ME-Gehalts des Futtermittels jedoch nur $(17,3 \text{ kJ/g} - 14,7 \text{ kJ/g}) \cdot 50 \text{ g} = 0,13 \text{ MJ/kg TM}$. Die GfE (2006) weist darauf hin, dass die Anwendung der Formel für Einzelfuttermittel, die nennenswerte Gehalte beispielsweise an Pektinen oder Alkoholen aufweisen, zu Fehleinschätzungen führen kann. In diesen Fällen kann die Genauigkeit der Berechnung verbessert werden, wenn die Menge und der Energiewert solcher Nährstoffe gesondert berücksichtigt werden und gegebenenfalls die davon betroffene Nährstofffraktion entsprechend verringert wird³. Entsprechendes gilt auch für Futtermittel, bei denen die Stärke eine geringe pcV aufweist; die praecaecal nicht verdaute Stärke ist dem DOR zuzurechnen.

Es soll noch die Frage beantwortet werden, ob mit dem Faktor 14,7 für DOR, der zunächst recht hoch erscheint und nur um 2,6 niedriger ist als der für Stärke, alle mit einer Fermentation verbundenen Verluste im erforderlichen Umfang berücksichtigt sind. Diese 2,6 kJ/g erfassen nur die Verluste über Fermentationswärme und Methanbildung. Die bei der Fermentation gebildete mikrobielle Substanz stellt eine weitere und bedeutendere Verlustquelle dar und beträgt über 20 % der fermentierten Energie. Dieser Verlust wird jedoch nicht mit dem Faktor für den Energiewert des DOR berücksichtigt, da im Verdaulichkeitsversuch eine Erfassung der mikrobiellen Substanz in der XP-Fraktion sowie bei anderen Fraktionen über die Kotanalyse schon erfolgt ist. Es wäre daher nicht richtig, aus der Formel abzuleiten, dass 1 g fermentierte Faser 14,7 kJ ME liefert; vielmehr liegt der Energiewert auch nach dieser Formel unter 11,2 kJ ME/g, wenn alle durch Fermentation bedingten Verluste – einschließlich der mikrobiellen Substanz – ausschließlich beim Faktor für DOR berücksichtigt würden.

Mit der Berechnungsgleichung der GfE (2006) für die ME gelingt es sehr gut, die aus dem Futter dem Stoffwechsel zur Verfügung gestellte Energie anzugeben. Eine gewisse Einschränkung ergibt sich aus der Variabilität der Harnenergie. Die Höhe der Harnenergieverluste kann aber nicht dem Einzelfuttermittel zugeordnet werden, weil diese Verluste überwiegend ein Resultat des Gehalts und der Qualität des Proteins der Gesamtration sind, welche durch die pcV und das Muster der Aminosäuren bestimmt wird, sowie vom Proteinansatz der Tiere abhängen.⁴

3. Die Leistungsvorhersage auf der Basis der Umsetzbaren Energie

Die energetische Futterbewertung kann nicht losgelöst von den Fragen der Bedarfsermittlung bzw. der Leistungsvorhersage vorgenommen werden (Menke, 1987). Es ist zwar nicht die eigentliche Aufgabe der energetischen Futterbewertung, eine Leistungsvorhersage vorzunehmen. Der energetische Futterwert muss jedoch so definiert werden, dass er als einer der Determinanten für die Leistungsvorhersage verwendet werden kann. So können für die Voraussage der Energieretention (RE) beim Wachstum die von Jentsch et al. (2000a) angegebenen und durch umfassende Experimente gut abgesicherten Verwertungsfaktoren ($k = \text{RE/ME}$) verwendet werden. Sie betragen für Stärke, Protein und Fett 0,757, 0,623 bzw. 0,859 und, wenn Stärke = 100 gesetzt wird, für Protein und Fett 82 bzw. 113 %⁵. Vereinfachend kann jedoch *in praxi* für die Voraussage der RE als Stoffansatz im Körper und als Milch aus der ME

³ In entsprechender Weise wird bei der Formel F.V09 des CVB (2016) vorgegangen.

⁴ Von diesem Problem der Variabilität der Ausscheidung von Energie über den Harn ist die NE in gleicher Weise betroffen. Die Möglichkeit, die Genauigkeit des ME-Werts (und damit auch des NE-Werts) einer Ration zu verbessern und diese Unschärfe zu vermeiden, besteht in der Berücksichtigung der Proteinverwertung des Tieres, welche die Hauptursache für Unterschiede in der Ausscheidung von Energie über den Harn ist. Ein Vorschlag für eine derartige Berechnung wurde erarbeitet (A. Susenbeth, unveröffentlicht), bei der zwei Energiewerte für das Protein verwendet werden: Einen höheren Wert für Protein, das für den Proteinansatz verwendet wird und die maximale Proteinverwertung des Idealen Proteins aufweist, und einen deutlich niedrigeren für Protein, das über den Minimalbedarf (d.h. die Mindestversorgung an Rohprotein; s. Tab. 4.9; GfE, 2006) hinausgeht und dessen Stickstoff vollständig über den Harn ausgeschieden wird.

⁵ Die Verwendung der von Noblet (2006) angegebenen Verwertungskoeffizienten führt zu abweichenden Ergebnissen, da sich diese nicht unerheblich von denjenigen bei Jentsch et al. (2000a) unterscheiden.

der Ration ein mittlerer k_{pr} -Wert von 0,72 - 0,74 bzw. k_i -Wert von 0,72 (Susenbeth, 1996⁶; GfE, 2006) verwendet werden, wobei dann die Unterschiede in der Effizienz der Verwertung zwischen den Nährstoffen nicht berücksichtigt werden.^{7,8} Dies bedeutet, dass die Voraussage der RE allein aus der ME ohne Kenntnis der Gehalte der jeweiligen Nährstoffe mit einer gewissen Ungenauigkeit verbunden sein muss. Dies ist der entscheidende Tatbestand, der als Argument für die Notwendigkeit der Futterbewertung auf der Stufe der NE herangezogen wird. Die Ungenauigkeit, die man bei einer pauschalierenden Berechnung der RE aus der ME in Kauf nimmt (konstanter k-Wert, keine Berücksichtigung der Nährstoffunterschiede), ist für eine Situation bei bedarfsgerechter Proteinversorgung jedoch sehr gering. Ähnlich verhält es sich beim Fett: die Energieverwertung nimmt pro Prozentpunkt Fett in der Ration nur um 0,001 zu.

Bei Annahme einer konstanten⁹, von der Nährstoffzusammensetzung unabhängigen Verwertung der ME nimmt die Genauigkeit der RE-Berechnung eigentlich nur bei Rationen mit höheren Fettgehalten und bedarfsüberschreitenden Proteingehalten etwas ab, und die NE dürfte in diesem Fall einen Vorteil aufweisen. Für eine präzisere Schätzung der RE, die zudem die Kenntnis des Proteinansatzes des Tieres sowie des Gehalts und der Qualität des Proteins der Ration zur Voraussetzung hat und gegebenenfalls auch Einflüsse der Haltung berücksichtigen muss, stellt die Bewertung der Energielieferung der Futtermittel nach ME keinerlei Hindernis dar, vielmehr kann und sollte sie auf dieser Grundlage erfolgen. Damit ist das Argument, dass eine genauere Schätzung der Energieretention mit der NE erfolge, für die praktische Rationsgestaltung und Fütterung ohne Belang.

4. Die energetische Bewertung auf der Stufe der Nettoenergie

Das zentrale Anliegen, die energetische Futterbewertung auf der Stufe der NE vorzunehmen, ist, wie oben erwähnt, die Voraussage der RE aufgrund der Berücksichtigung der unterschiedlichen *energetischen Verwertung der einzelnen Nährstoffe*. Eine kritische Würdigung der NE ist daher zuerst vor dem Hintergrund dieser Zielstellung vorzunehmen:

1. Die NE gibt die RE (überwiegend als Fettansatz) an, die aus dem ME-Gehalt der einzelnen Nährstoffe und den jeweiligen Verwertungsfaktoren berechnet wird. Der so abgeleitete RE-Wert ist jedoch mit einem grundsätzlichen Problem verbunden, das vor allem beim Protein offensichtlich wird. Es muss davon ausgegangen werden, dass die **Effizienz der Verwertung der ME aus Protein** nicht konstant und für den Proteinansatz eine andere ist als bei einer rein energetischen Nutzung. Daher kann der energetische Wert des Proteins durch Faktoren beeinflusst sein, die nicht von Eigenschaften des Futtermittels verursacht sind und bei der Bewertung nicht bekannt sein können. Erst die Kenntnis der Gesamtration, der Qualität des Proteins sowie des Leistungsvermögens des Tieres ermöglicht die Voraussage des Proteinansatzes und damit auch der Effizienz der Proteinverwertung. So weist erneut das niederländische Forschungsinstitut Schothorst Feed Research (2016) darauf hin, dass die Hauptbeschränkung von NE-Systemen darin bestehe, dass die post-absorptive Nährstoffnutzung nicht berücksichtigt werden kann und daher die Verwendung eines einheitlichen Energiewerts für das Protein die unter-

⁶ Der hier angegebene höhere k_{pr} -Wert gegenüber der Originalarbeit ergibt sich aus der Verwendung der Energieverwertungswerte von 23,8 kJ/g Rohprotein und 38,7 kJ/g Rohfett.

⁷ Von der unterschiedlichen Energieverwertung der einzelnen Nährstoffe sind der k_p -Wert (= 0,56) bzw. k_f -Wert (= 0,74) (GfE, 2006) zu unterscheiden. Diese geben die Effizienz der ME-Verwertung für den Energieansatz in Form von Protein bzw. Fett an, und zwar unabhängig von der Nährstoffzusammensetzung der Ration, d.h. sie haben nicht die Herkunft der Energie, sondern deren Verwendung im Auge und gelten daher für Rationen, die übliche Gehalte an Protein, Faser sowie Fett aufweisen.

⁸ Ein k_{pr} -Wert von 0,73 - 0,74 ergibt sich auch nach INRA (2004; Gl. NE7) für eine mittlere Rationszusammensetzung.

⁹ Siehe Fußnote 7.

schiedlichen Verwendungsmöglichkeiten unberücksichtigt lasse. Boisen (2007), der das dänische System, die potentielle physiologische Energie, entwickelt hat, resümiert sogar, dass die NE keine geeignete Basis für eine Futterbewertung darstelle. Er greift die schon früher von anderen Autoren vorgebrachte Kritik auf, dass eine NE nur für eine spezifische Leistung gelte, und dass der Response des Tieres in Form von RE als Maß für den Futterwert auch deshalb ungeeignet sei, weil gerade die vom Tier selbst ausgehenden Einflüsse zu einer Variabilität eines solchen Futterwerts führen.

Die durch diese Variabilität der Proteinverwertung bedingte nicht mögliche Festlegung eines generell zutreffenden Energiewerts für Protein spricht für eine Bewertung auf der Stufe ME, da dieses Problem bei einer Futterbewertung nach ME eben nicht berücksichtigt werden muss – oder offengelassen wird. In zwei bedeutenden NE-Systemen, dem Rostocker Futterbewertungssystem (Beyer et al. 2003, basierend auf Jentsch et al., 2001) und dem Französischen System (INRA, 2004, basierend auf Noblet et al., 1994) ist offensichtlich der Energiewert von Protein für eine rein energetische Nutzung angegeben. Sollten in Zukunft abgesicherte spezifische Verwertungsfaktoren zur Verfügung stehen, die für die jeweilige Proteinverwendung gelten (Proteinansatz bzw. energetische Nutzung), kann dies bei der NE nur mit großem Aufwand berücksichtigt werden, da die Futterbewertung geändert und Futtermitteltabellenwerke umgearbeitet werden müssten. Bei der ME jedoch ist eine Berücksichtigung relativ einfach im Rahmen der Bedarfsermittlung oder Leistungsvorhersage möglich. – Es sind neben der Variabilität der Verwertung weitere konzeptionelle Probleme bei der Bewertung auf der Stufe der NE vorhanden:

2. Die etablierten NE-Werte sind zunächst nur für die Leistung als Stoffansatz (RE) im Wachstum gültig. Die **Milchbildung** weist zwar eine ähnliche Effizienz der ME-Verwertung auf. In einem NE-System müsste jedoch für die Lactosebildung ein gesonderter Verwertungsfaktor eingeführt werden. Noch offensichtlicher wird das Problem, wenn der Bedarf für die **Trächtigkeit** bestimmt werden soll: Da die Verwertung der ME für Trächtigkeit deutlich geringer ist als für das Wachstum, übersteigt die Bedarfsangabe für Trächtigkeit – angegeben als NE für Wachstum – die tatsächliche Energieretention in Föten und Adnexen um ein Mehrfaches. Eine formale Umrechnung ist zwar möglich, aber nur schwer zu vermitteln.

3. Ein noch größeres Problem tritt beim Bedarf für **Erhaltung** auf, da dieser ebenfalls als RE angegeben werden muss. Immerhin entfällt auch beim intensiv wachsenden Tier ungefähr ein Drittel des Gesamtbedarfs an Energie auf den Erhaltungsumsatz. Es ist bekannt, dass sich nicht nur die Effizienz der Verwertung im Erhaltungsumsatz von der beim Wachstum unterscheidet, sondern dass auch die Relationen der Verwertungsgrößen zwischen Nährstoffen andere sind als beim Wachstum (Chudy und Schiemann, 1969; Blaxter, 1989; Jentsch et al., 2000a).

4. Der Bedarf für **körperliche Aktivität** und **Thermoregulation** kann nur in ME angegeben werden, da die hierfür aufgewendete ME vollständig in Wärme umgewandelt wird und NE-Werte für einen solchen Bedarf nicht existieren. Die Wärmeproduktion ist größer als der hierfür erforderliche Bedarf an NE. Ein solcher Bedarf, der nicht auf Erhaltung und Wachstum entfällt, kann unter praktischen Haltungsbedingungen beim Mastschwein 15 % des Gesamtbedarfs betragen (Naatjes et al., 2014). Es wurde außerdem beobachtet, dass eine faserreiche Fütterung die körperliche Aktivität reduziert. Dadurch kommt es zu einer geringeren durch Aktivität verursachten Wärmeproduktion, welche die erhöhte Fermentationswärme kompensiert (Rijnen, 2003), wodurch der gemessene RE-Wert nicht dem NE-Wert der Faser entspricht. Solche Effekte sind bei der NE-Berechnung zu berücksichtigen, da dies sonst zu einer Vermischung von Bedarfsbestimmung und Futterbewertung führt.

5. Es besteht ein **methodisches Problem bei der experimentellen Bestimmung des NE-Werts**. Um die RE eines Futtermittels zu bestimmen, müssen Respirationmessungen als Zulageversuche durchgeführt werden. Da aufgrund des großen Aufwands darauf in der Regel verzichtet wird, ist eine Annahme für die Höhe des Grundumsatzes¹⁰ erforderlich; dieser Wert wird zum gemessenen RE-Wert addiert.

¹⁰ Der Grundumsatz ist definiert als die Wärmeproduktion ohne Nahrungsaufnahme und entspricht daher der im Hunger mobilisierten Körpersubstanz (negative RE). Aus diesem Grunde gibt es auch keinen Erhaltungsbedarf an

Da dieser angenommene Wert für die verschiedenen NE-Systeme nicht identisch ist und der tatsächliche Grundumsatz auch durch Versuchsbedingungen, insbesondere von der Dauer des Nahrungsentzugs beeinflusst sein kann, stellt dieses Problem einen entscheidenden, grundsätzlichen Kritikpunkt an NE-Systemen dar. Dies hat auch zur Folge, dass sich NE-Werte zwischen verschiedenen NE-Systemen unterscheiden, wodurch eine Umrechnung zwischen NE-Systemen erhebliche Schwierigkeiten bereitet. Sollten z. B. neuere Informationen zum Erhaltungsbedarf bzw. Grundumsatz zur Verfügung stehen, könnten diese nicht bei den Versorgungsempfehlungen berücksichtigt werden, sondern müssten zu neuen NE-Werten der Futtermittel und auch aus diesem Grunde zu einer Überarbeitung der Futterwerttabellen führen.

6. Eine **experimentelle Überprüfbarkeit von NE-Werten** ist theoretisch zwar möglich, jedoch nicht realistisch. Zum einen, weil der im jeweiligen System festgelegte Wert für den Erhaltungs- bzw. Grundumsatz übernommen werden muss, also keinen Messwert darstellt, zum anderen, weil zur Zeit nur wenige Institutionen über Respirationskammern für Großtiere verfügen. Man kann den für die ME-Ermittlung ausreichenden Verdaulichkeitsversuch, der durch eine Harnsammlung ergänzt werden kann, zum Zwecke der Futterbewertung noch als vertretbar ansehen, während für die NE-Ermittlung notwendige Gesamtstoffwechselversuche kaum in Betracht kommen.

5. Aktuelle Nettoenergie-Systeme

Eine Beurteilung der energetischen Futterbewertung nach NE muss neben den zuvor erläuterten generellen Aspekten auch die Unterschiede zwischen den jeweiligen NE-Systemen ins Auge fassen. Es seien hier drei aktuelle NE-Systeme¹¹ aufgeführt, welche die RE im Wachstum zur Grundlage haben: INRA (2004), CVB (2016) und das Rostocker System (Beyer et al., 2003). Die jeweiligen Formeln lauten:

Rostocker System (Beyer et al., 2003)

$$NE = 11,0 \text{ DXP} + 34,0 \text{ DXL} + 12,7 \text{ ST} + 11,6 \text{ ZU} + 12,0 \text{ DOR}$$

INRA (2004)

$$NE = 12,1 \text{ DXP} + 35,0 \text{ DXL} + 14,3 \text{ ST} + 11,9 \text{ ZU} + 8,6 \text{ DOR}$$

CVB (2016)¹²

$$NE = 11,70 \text{ DXP} + 35,74 \text{ DXL} + 14,14 \text{ ST} + 12,73 \text{ pcv ZU} + 9,74 \cdot \text{fermentierte Kohlenhydrate}^{13}$$

Es seien hier einige zentrale Aspekte dieser Gleichungen angesprochen. Der Faktor für DXP unterscheidet sich zwar zwischen den NE-Systemen, zeigt aber doch eine bemerkenswert gute Übereinstimmung. Auch für DXL sowie für ZU kann diese Feststellung getroffen werden. Der angegebene Wert für DOR im Rostocker System gilt für Rationen, die eine Energieverdaulichkeit über 80 % aufweisen; liegt jedoch die Energieverdaulichkeit beispielsweise nur bei 60 oder 65 %, beträgt der Faktor 9,2 bzw. 9,9 und ist damit in der Nähe der anderen Systeme. Dies zeigt aber auch, dass der Energiebeitrag dieser Fraktion nach INRA (2004) und CVB (2016) zumindest für übliche energiereiche Rationen eher unterbewertet wird. Wegen der hohen Gehalte an ST in vielen Futtermitteln kommt den Unterschieden im Faktor für ST jedoch die größte Bedeutung zu. Aufgrund von Respirationsversuchen, in denen der Effekt einer Zulage von reiner Stärke auf den Energieansatz gemessen wurde, sind NE-Werte über 14 kJ

NE, da der Erhaltungsumsatz der Zufuhr an ME entspricht, die erforderlich ist, die Mobilisierung von Körpersubstanz zu verhindern. Der Erhaltungsumsatz ist daher größer als der Grundumsatz.

¹¹ Der „potentielle physiologische Energiewert“ des dänischen Systems (Tybirk et al., 2006; Boisen, 2007) ist aus dem ATP-Bildungsvermögen der Nährstoffe abgeleitet. Die Intention dieses Systems stimmt mit der der ME als Energielieferungsvermögen des Futters überein. Die jeweiligen Energiewerte der Nährstoffe zeigen eine Nähe zu NE-Werten, sind aber mit diesen nicht identisch, weshalb sie hier nicht zum Vergleich aufgeführt sind.

¹² Formel V.F10; (Formel V.F09 berücksichtigt zusätzlich flüchtige Stoffe und Glycerin.)

¹³ Summe an verdaulichen NSP, fermentierten ZU und fermentierter ST

pro g Stärke als unrealistisch hoch anzusehen, vielmehr liegt die energetische Verwertung von Stärke übereinstimmend im Bereich von 75 - 76 %¹⁴. Die häufig gemachte Aussage, dass Protein im NE-System nach INRA unterbewertet wird, ist daher so nicht richtig. Vielmehr liegt eine erhebliche Überbewertung der Stärke vor, die mit einer relativen Abwertung der anderen Nährstoffe verbunden ist. Da für die Auswahl der Einzelkomponenten bei der Mischfutteroptimierung nicht die absoluten Energie- werte der Nährstoffe, sondern nur die relativen relevant sind, werden stärkereiche vor allem gegenüber protein- und faserreichen Komponenten überbewertet.

6. Zusammenfassende Bewertung

6.1. NE-Systeme

Die Vorzüge und Grenzen der Bewertung von Futtermitteln auf Basis ihres NE-Gehalts lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Mit den vorliegenden NE-Systemen wird die Energieretention bei Rationen mit hohen (d.h. über die Mindestversorgung hinausgehenden) Proteingehalten und bei fettreichen Futtermitteln genauer vorhergesagt.
2. Der Energiewert von Stärke wird durch die NE nach INRA (2004) und CVB (2016) überbewertet.
3. Der Bedarf für Erhaltung, Trächtigkeit, Milchbildung, Bewegungsaktivität und Thermoregulation muss in NE-Wachstum umgerechnet werden, wodurch die Verständlichkeit leidet und die Vermittelbarkeit erheblich erschwert wird.
4. Die verschiedenen NE-Systeme liefern unterschiedliche Werte für dasselbe Futtermittel und sind nicht kompatibel.
5. Die Möglichkeit zur experimentellen Überprüfung eines Futterwerts ist wegen des extrem hohen Aufwands als nicht realistisch anzusehen.
6. Bei einer Berücksichtigung neuer Erkenntnisse zum Energieumsatz in NE-Systemen müssen die Futterwerttabellen geändert werden. Dies betrifft insbesondere den Energiewert von Protein, der als variabel anzusehen ist, sowie den Grund- bzw. Erhaltungsumsatz.

6.2. ME-System

Die Vorzüge und Grenzen der Bewertung von Futtermitteln auf Basis ihres ME-Gehalts lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die ME beschreibt die dem Stoffwechsel zur Verfügung gestellte Energie. Eine gewisse Einschränkung ist dadurch gegeben, dass die Energieverluste über den Harn auch von der Proteinqualität und dem Proteinansatz des Tieres abhängen. Nur ein System auf der Stufe der Verdaulichen Energie (DE) wäre davon nicht betroffen, aber ebenfalls jedes NE-System. Die ME verzichtet damit auf die Berücksichtigung von Unterschieden in der energetischen Verwertung der Nährstoffe. Der ME-Wert des Proteins gilt für Rationen, die eine hohe Proteinverwertung ermöglichen; dies ist durchaus zweckmäßig, da für die Praxis eine Bemessung des Proteingehalts der Ration am Bedarf erwünscht ist. Die geringere energetische Verwertung der ME aus fermentierten gegenüber im Dünndarm verdauten Kohlenhydraten beruht nach heutigem Kenntnisstand überwiegend auf der Fermentationswärme (Susenbeth, 2005). Diese Wärmebildung ist beim Faktor für DOR berücksichtigt, weil sie sowohl eine eindeutig dem Futter zuzurechnende Eigenschaft als auch konstant ist. Mit einem Verdaulichkeitsversuch sind damit alle mit der Fermentation verbundenen Energieverluste ausreichend genau erfassbar.

¹⁴ Nahezu identische Werte wurden bei der Ratte mit 75,5 (Nehring et al., 1961) und am Menschen mit 75,8 (Jentsch et al., 2000b) ermittelt.

2. Die höhere energetische Verwertung von Energie aus Fett wird auf der Stufe der ME nicht berücksichtigt, und stellt damit aus Sicht des AfBN das einzig ungelöste Problem bei der energetischen Bewertung von Einzelfuttermitteln dar, – nicht jedoch für die Leistungsvorhersage.

3. Die ME ist grundsätzlich für den Erhaltungsumsatz und alle Leistungsrichtungen gültig. Darüber hinaus weist sie die höchste Kompatibilität mit allen anderen Systemen auf, da die verschiedenen NE-Werte in der Regel aus der ME bzw. den verdaulichen Nährstoffen abgeleitet werden.

4. Neuere Ergebnisse aus Verdaulichkeitsversuchen, die in verschiedenen Ländern durchgeführt wurden, können unabhängig vom Energiebewertungssystem übernommen und zur Erweiterung der Futterwerttabellen genutzt werden, wohingegen publizierte NE-Werte immer nur innerhalb des jeweiligen Systems zu verwenden sind. Die Durchführung von Verdaulichkeitsversuchen ist international abgestimmt (GfE, 2005).

5. Neue Erkenntnisse zum Bedarf können im ME-System wesentlich leichter in die Praxis eingeführt werden, da diese nur die Empfehlungen zur Versorgung betreffen und Korrekturen der tabellierten Futterwerte nicht erforderlich machen.

6.3. Aspekte hinsichtlich Mischfutteroptimierung und Fütterungspraxis

Die Bewertung auf der Stufe der ME ist nicht ein System neben anderen, sondern die gemeinsame Basis aller Energiebewertungssysteme¹⁵. Eine für ein bestimmtes Futtermittel aus dem Gehalt an verdaulichen Nährstoffen abgeleitete ME erlaubt auch die Berechnung des NE-Werts in den jeweiligen Systemen. Dadurch ist eine Kompatibilität zwischen NE-Systemen über die ME gegeben.

Falls die experimentelle Überprüfung eines Futterwerts erforderlich ist, kann dies auf der Basis eines Verdaulichkeitsversuchs mit zusätzlicher Erfassung der Harnverluste erfolgen, wodurch der ME-Wert auf einer Messung basiert und nicht durch Berechnung bestimmt wird. Der NE-Wert eines Futtermittels oder einer Futtermischung lässt sich hingegen nicht mit vertretbarem Aufwand experimentell überprüfen.

Die Leistungsvorhersage nimmt eine Schlüsselstellung bei der Rationsgestaltung¹⁶ ein, sie darf jedoch nicht auf die Energieretention beschränkt werden. Dazu müssen zusätzlich die Gehalte aller relevanten Inhaltsstoffe der Ration, die Proteinqualität sowie Eigenschaften der Tiere bekannt sein. Zusammen mit diesen Informationen ermöglicht die energetische Bewertung des Futters auf der Stufe der ME eine präzise und umfassende Leistungsvorhersage.

Es wurde postuliert, dass eine Futteroptimierung auf der Basis NE zu geringeren Proteingehalten im Mischfutter und zu einer Reduktion des Preises führe, da im Gegensatz zur ME proteinarme und stärkereiche Futtermittel durch die NE energetisch günstiger und damit proteinreiche ungünstiger eingestuft werden. Dies sei deshalb von besonderer Bedeutung, weil damit eine Umstellung auf NE auch zu einer Reduktion der N-Emissionen beitrage. Diese Postulate wurden unter den praktischen Bedingungen eines großen Mischfutterherstellers in Zusammenarbeit mit dem AfBN umfassend geprüft. Hieraus ergab sich, dass eine Optimierung auf der Basis ME (GfE, 2006) zu gleichen Futterkomponentenanteilen und damit zu identischen Rohproteingehalten und Preisen führt wie eine Optimierung nach NE (INRA, 2004). In beiden Systemen wurde das Optimum bzw. Preisminimum beim Mindestrohprotein-

¹⁵ Da sich die ME gegenüber der DE nur durch die zusätzliche Berücksichtigung der Energieverluste über Methan und Harn unterscheidet, trifft dies auch für die DE zu.

¹⁶ In der Praxis der Mischfutterherstellung wird unter Rationsoptimierung i.d.R. die Preisminimierung bei vorgegebenen, zu erreichenden Nährstoffgehalten verstanden. Erst die Berücksichtigung von Effekten abweichender Gehalte auf verschiedene relevante Merkmale der Mast (Wachstum, Schlachtkörperwert, Futteraufwand, Nährstoffausscheidungen) und damit eine Vorhersage der Leistungen rechtfertigen eigentlich den Begriff der ‚Optimierung‘.

gehalt erzielt, wenn die Aminosäuregehalte auf der Basis praecaecaler Verdaulichkeit verwendet wurden. Das heißt, in beiden Systemen ist das Ziel der Reduktion der N-Ausscheidungen gleichermaßen zu erreichen¹⁷.

Empfehlungen zur Versorgung mit NE für unterschiedliche Wachstumsabschnitte, Geschlechter und Genotypen stehen zur Zeit nicht zur Verfügung. Beim wachsenden Schwein ist neben dem Bedarf für Erhaltung und Wachstum auch der Energiebedarf für Aktivität und Thermoregulation zu berücksichtigen. So sind Unterschiede in der körperlichen Aktivität zwischen Kastraten und Ebern vorhanden, auch die Haltung hat einen Einfluss auf die Aktivität. Ein solcher Bedarf kann jedoch physiologisch sinnvoll nur auf der Stufe der ME angegeben werden.

Es gibt daher weder aus wissenschaftlicher Sicht noch aus Sicht der landwirtschaftlichen Praxis einen Grund für eine Umstellung von der ME auf eines der vorhandenen NE-Systeme. Eine Rationsgestaltung auf Basis ME ist daher nach dem heutigen Wissensstand als ‚best practice‘ anzusehen.

Literatur

- Beyer M., Chudy A., Hoffmann L., Jentsch W., Laube W., Nehring K., Schiemann R. (2003). Rostock feed evaluation system. Plexus Verlag, Miltenberg-Frankfurt.
- Blaxter K.L. (1989). Energy metabolism in animals and man. Cambridge University Press, Cambridge.
- Boisen S. (2007). A new concept for practical feed evaluation systems. DJF Animal Science No. 79. Faculty of Agricultural Sciences, Research Centre Foulum, Tjele.
- Chudy A., Schiemann, R. (1969). Zur energetischen Verwertung der Nähr- und Futterstoffe für Erhaltung und Fettbildung. Arch. Tierernähr. 19, 231-249.
- CVB Veevoedertabel 2016. Federatie Nederlandse Diervoederketen. ww.cvbdiervoeding.nl.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 2005). Determination of digestibility as the basis for energy evaluation of feedstuffs for pigs. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 14, 207-213.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 2006). Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique, 2004). Tables of composition and nutritional value of feed materials. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- Jentsch W., Chudy A., Beyer M. (2000a). Die Rostocker Arbeiten zur energetischen Futterbewertung und zum Energiebedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. 1. Mitteilung: Historischer Rückblick und die Arbeiten in Rostock zur energetischen Futterbewertung. Übers. Tierernährg. 28, 133-182.
- Jentsch W., Beyer M., Chudy A. (2001). Die Rostocker Arbeiten zur energetischen Futterbewertung und zum Energiebedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. 2. Mitteilung: Zur Weiterentwicklung des Rostocker Futterbewertungssystems. Übers. Tierernährg. 29, 1-44.
- Jentsch W., Derno M., Klein M., Junghans P., Lührke B. (2000b). Research note: Is starch utilization for fat deposition in man different from that in animals? Arch. Anim. Nutr. 53, 395-398.
- Menke K.H. (1987). Ernährungsphysiologische Grundlagen. In: Tierernährung und Futtermittelkunde. Menke K. H. und Huss W. (Hrsg.). Eugen Ulmer, Stuttgart, 15-114.
- Naatjes, M., Susenbeth, A., 2014. Energy requirement of growing pigs under commercial housing conditions. Arch. Anim. Nutr. 68, 93-110.
- Nehring K., Jentsch W., Schiemann R. (1961). Die Verwertung reiner Nährstoffe. 1. Mitt.: Versuche mit Kaninchen und Ratten. Arch. Anim. Nutr., 11, 233-264.

¹⁷ Für einen korrekten Vergleich der beiden Systeme war es erforderlich, die Optimierungen auf der Basis der Gehalte an pcv Aminosäuren vorzunehmen und die sich exakt entsprechenden NE- und ME-Werte als Zielgrößen der Mischung vorzugeben. Die Nichtbeachtung dieser Voraussetzungen könnte der Grund dafür sein, dass verschiedentlich über abweichende Ergebnisse solcher Vergleiche berichtet wurde. Jedoch ist es eigentlich nicht Aufgabe des Energiebewertungssystems, den Rohproteingehalt des Mischfutters zu bestimmen. Der Gehalt an Protein und Aminosäuren ist durch eine aus dem Bedarf abgeleitete Vorgabe bei der Optimierung festzulegen.

- Noblet J., Fortune H., Shi X.S., Dubois S. (1994). Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72, 344-345.
- Noblet J. (2006). Recent advances in energy evaluation of feeds for pigs. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*, Garnsworthy P.C. and Wiseman J. (eds.). Nottingham University Press, Nottingham, 1-26.
- Rijnen M. (2003). Energetic utilization of dietary fiber in pigs. Ph.D. Thesis, Wageningen University.
- Schothorst Feed Research B.V. (2016). Adjustment of coefficients in the net energy equation for swine. Circular Letter SFR 2016-14, Lelystad.
- Susenbeth A. (1996). Verteilung und Verwertung der Umsetzbaren Energie beim wachsenden Schwein. *Adv. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 23. Blackwell Science, Berlin.
- Susenbeth A. (2005). Bestimmung des energetischen Futterwerts aus den verdaulichen Nährstoffen beim Schwein. *Übers. Tierernährg.* 33, 1-16.
- Susenbeth A. (2010). Die Umsetzbare Energie als Grundlage der energetischen Futterbewertung beim Schwein. In: 11. Tagung Schweine- und Geflügelernährung. Gierus, M., Kluth, H., Bulang, M. und Kluge, H. (Hrsg.), 75-80.
- Susenbeth A. (2016). Energiebewertung beim Schwein. In: 54. Jahrestagung der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung (BAT) e.V., Freising, 26-33.
- Tybirk P., Strahte A.B., Vils E., Sloth M.N., Boisen S., 2006. Det danske fodervurderingssystem til svinefoder. Rapport No. 30. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Svin, Århus.

Adresse:

Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
 Eschborner Landstraße 122
 60489 Frankfurt am Main

Autoren:

Kamphues, J., Hannover
 Rodehutsord, M., Hohenheim (Vorsitzender)
 Schenkel, H., Hohenheim
 Staudacher, W., Frankfurt
 Südekum, K.-H., Bonn
 Susenbeth, A., Kiel
 Windisch, W., Freising-Weihenstephan