Lohmann Information

Energieumsatz: Einflussfaktoren, Modellierung und energetische Futterbewertung
3. Mitteilung: Zur energetischen Futterbewertung in Deutschland

Dr. Arthur Chudy (Rostock)

1. Einführung

Die energetische Futterbewertung ist nicht nur für die Zusammenstellung und Berechung von Futterrationen bedeutungsvoll, sondern insbesondere auch für das ökonomische Management. In der ökonomischen Analyse geht es letztendlich zur Minimierung der Futterkosten um einen Vergleich von Futterwert- und Preis-/Kostenrelationen zwischen den einzelnen Futtermitteln bei den verschiedenen Tierarten und Produktionsrichtungen. Beide Anwendungsfelder der Futterbewertung benötigen einen energetischen Maßstab, der die energetische Wirkung (Äquivalenz) der einzelnen Futtermittel und Nährstoffe im intermediären Stoffwechsel der Tiere kennzeichnet; für beide sind letztendlich aber nur die Relationen (Verhältnisse) im energetischen Futterwert zwischen den Futtermitteln, Nährstoffen und Substraten entscheidend. Die absolute Größe des Futterwertes, der „nominale Futterwert (NFW)“, ist eine relativ unbedeutende Größe, weil die Nominalwerte durch die Bilanzierung von Futterbedarf und Futtereinsatz (-versorgung) kompensiert werden. Die absoluten Größen spielen bei der Definition und Festsetzung der Normen eine gewichtige Rolle.

Aufgabe der Forschung ist es, einen universellen Maßstab für den energetischen Futterwert zu entwickeln, der nach Möglichkeit für alle Tierarten und Produktionsrichtungen tierseitig das energetische Potential der Futtermittel im Intermediärstoffwechsel und dementsprechend futtermittelseitig die qualitativen und quantitativen Differenzen (Effizienz) zwischen den Futtermitteln quantifiziert. Das gilt besonders für Wiederkäuer in Bezug auf den Ausweis der Qualitätsunterschiede zwischen den Grobfuttermitteln, wie Heu, Trockengrünfutter und Silagen.

Gemessen an diesen Ansprüchen ist die energetische Futterbewertung in der Bundesrepublik Deutschland auf einen relativ niedrigen Stand zurückgefallen - und das ausgerechnet in dem Land, das, verbunden mit den Namen LIEBIG; RUBNER, KÜHN, KELLNER, FINGERLING, NEHRING, SCHIEMANN u. a., auf diesem Gebiet über die größten Traditionen in Europa und der Welt verfügt!

Die Verantwortung dafür trägt der bei der DLG angesiedelte „Ausschuss für Bedarfsnormen“. Anstatt die mit der deutschen Wiedervereinigung gebotene einmalige Chance zu nutzen und in Deutschland ein für die EU beispielgebendes, für alle Tierarten und Nutzungsrichtungen einheitliches energetisches Futterbewertungssystem einzuführen, ist man faktisch - abgesehen von einigen zum Teil fragwürdigen Korrekturen - auf dem Stand in der „alten“ Bundesrepublik stehen geblieben bzw. ist - ausgerechnet bei Wiederkäuern (wachsenden Rindern) - auf die umsetzbare Energie als Bewertungsmaßstab übergegangen.

Ohne eine grundlegende wissenschaftliche Diskussion unberücksichtigt blieben

1. der Stand in der energetischen Futterbewertung, der in Fortsetzung der KELLNER`schen Traditionen mit dem komplexen, alle Produktionsbereiche, Tierarten und Produktionsrichtungen integrierenden „Rostocker Futterbewertungssystem“ (AUTORENKOLLEKTIV, 1971, 1989) mit der Nettoenergie-Fett als einheitlichem Bewertungsmaßstab erreicht und über das - aus politischen Gründen zwangsweise als „DDR-Futterbewertungssystem“ bezeichnete - Futterbewertungssystem in die Landwirtschaftspraxis der damaligen DDR eingeführt worden war, sowie
2. eine Reihe bedeutender experimenteller Ergebnisse und theoretische Ansätze zur energetischen Futterbewertung sowie praktische Erfahrungen bei der Einführung und durchgängigen Anwendung der Futterbewertung in der landwirtschaftlichen Praxis - angefangen von der Futterproduktions- und Futtereinsatzplanung über die rationelle Fütterung bis hin zur Ermittlung und Bewertung des Futterenergieaufwandes (AUTORENKOLLEKTIV, 1973, 1978).

In zwei Mitteilungen, „Historischer Rückblick und die Arbeiten in Rostock zur energetischen Futterbewertung“ (JENTSCH et al., 2000) und „ Zur Weiterentwicklung des Rostocker Futterbewertungssystems und ein Vergleich mit anderen Bewertungssystemen“(JENTSCH et al., 2001), in den „Übersichten Tierernährung“ wird der interessierten Fachwelt ein umfassender Überblick über die wissenschaftlichen Grundlagen, die experimentellen Ergebnisse und deren Umsetzung unter Einbeziehung von Literaturergebnissen in ein praxisreifes einheitliches Futterbewertungssystem, das „Rostocker Futterbewertungssystem“, gegeben.

Die gravierendsten Schwachstellen in der energetischen Futterbewertung in Deutschland (GFE - Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung, 1995, 1999 und 2001) sind

- die prinzipielle Unzulänglichkeit der umsetzbaren Energie (uE) in der Kennzeichnung und qualitätsabhängigen Differenzierung des energetischen Wirkungspotentials der Nährstoffe und Futtermittel im tierischen Organismus,
- der Dualismus bei den Wiederkäuern - Nettoenergie Laktation bei Milchkühen einerseits und umsetzbare Energie bei Aufzucht- und Mastrindern sowie anderen Wiederkäuern andererseits,
- die formale Suspension des (scheinbar) verdaulichen Rohproteins bei der mehrfachregressiven Ableitung der Berechnungsgleichung für die umsetzbare Energie bei Wiederkäuern, wodurch die Besonderheiten des N-Umsatzes bei der Pansenfermentation berücksichtigt werden sollten; in Wahrheit aber lediglich die Futtermittelspezifik der Berechnungsergebnisse weiter eingeschränkt wird,
- die bei Schweinen aus kritikwürdig angelegten Experimenten (GÄDEKEN et al., 1992) abgeleitete Korrektur der umsetzbaren Energie nach dem Gehalt an bakteriell fermentierbarer Substanz (BFS >100 g/kg TS), wodurch Verwertungsverluste bei der Umsetzung von flüchtigen Fettsäuren im Dickdarm abgesetzt werden sollen; so dass dieser Bewertungsmaßstab weder der umsetzbaren Energie noch einer definierbaren Nettoenergie zuzuordnen ist,
- die uneinheitlichen Maßstäbe für den energetischen Futterwert bei den verschiedenen Tierarten bzw. Produktionsrichtungen, wodurch Vergleichbarkeit und öko-

nomische Transparenz der Futterwerte als auch eine betriebswirtschaftliche Bilanzierbarkeit der futterwirtschaftlichen Prozesse eingeschränkt bzw. verhindert werden, und

- die damit verbundene Reduzierung der Rolle der Futterenergie auf eine rein quantitative Bilanzierungsgröße (Mengenbilanz) in Futterrationen und Mischfuttermitteln.

Die für Deutschland aufgezeigten Verhältnisse sind leider auch typisch für die Europäische Union. Von einer einheitlichen Europäischen Futterbewertung, die wir aus ökonomischen und handelspolitischen Gründen dringend benötigten, sind wir noch meilenweit entfernt. Die energetische Futterbewertung hat sich zu einem Prestigeobjekt zwischen Ländern und Wissenschaftlern entwickelt. Somit ist es schwer, dieses Problem auf nationaler und internationaler Ebene zu diskutieren und einvernehmlich zu lösen! Die Leidtragenden sind die landwirtschaftliche Praxis, der Futtermittelhandel und die Futtermittelindustrie und nicht zuletzt die europäischen Landwirte.

Es ist daher nicht verwunderlich, dass gegenwärtig in mehreren europäischen Ländern an Problemen und Vorschlägen zur energetischen Futterbewertung gearbeitet wird bzw. es wurden und werden einschneidende Veränderungen auf diesem für die Tierproduktion bedeutsamen Gebiet vorgenommen (SCHEELE et al., 1976; HOFFMANN et al., 1993b, HOFFMANN 1993a, 1994a, 1994b, 1994c, 1998; EMMANS, 1994; MARTIN-ROSSET, 1990; VERMOREL und MARTIN-ROSSET, 1993; BOISEN und VERSTEGEN, 1998; NOBLET et al., 1994; u. a.).

Diese Arbeiten gehen jedoch ausschließlich auf Initiativen und Aktivitäten einzelner Wissenschaftler bzw. Gruppen von Wissenschaftlern auf Länderebene zurück und werden ohne internationale Diskussion, Koordinierung und Arbeitsteilung ausgeführt. Ziel dieser Arbeiten sollte es aber aus ökonomischen und Gründen der europäischen Integration sein, auf wissenschaftlicher Grundlage **ein einheitliches System der energetischen Futterbewertung für alle Tierarten und Produktionsrichtungen** in internationaler Gemeinschaftsarbeit auszuarbeiten und einzuführen.

Es ist das Anliegen der vorliegenden Ausarbeitung, abgeleitet aus der Analyse des gegenwärtigen Standes und den in den vorangestellten 2 Mitteilungen (CHUDY, 2000 und 2001) dargestellten wissenschaftlichen Grundlagen des Energieumsatzes einen Vorschlag für eine einheitliche energetische Futterbewertung für alle Tierarten und Produktionsrichtungen zu unterbreiten. Damit soll die Aufmerksamkeit erneut auf dieses Problem gelenkt und versucht werden, einen Beitrag für eine wissenschaftlich begründete, national und international konsensfähige Lösung des Problems zu leisten.

2. Energetische Futterbewertung

2. 1 Aufgaben

Der Energiebedarf der Tiere und der energetische Futterwert der einzelnen Futtermittel sind die wichtigsten Parameter für die quantitative Bemessung der Futtermengen und die qualitative Zusammensetzung der Futterrationen in der Tierproduktion. Abgeleitet daraus und aus der Tatsache, dass die landwirtschaftliche Produktion ein kommerzielles Unternehmen darstellt, sind die wichtigsten Aufgaben der energetischen Futterbewertung:

- Die **Quantifizierung der leistungsgerechten Energieversorgung der landwirtschaftlichen Nutztiere** in ihren verschiedenen physiologischen Zuständen und Leistungsrichtungen. Der Energiegehalt der Futtermittel und die leistungsspezifischen Energiebedarfsnormen der Tiere bilden die Basis für die Rationsberechnung (einschließlich Mischfutterrezepturen) und -kontrolle. Dabei fungiert die Futterenergie als Bilanzierungsgröße und über die Energiekonzentration zugleich als wichtiger Qualitätsparameter.
- Die **Objektivierung der Vertretungsäquivalenz der Nähr- und Futterstoffe in der Energiebedarfsdeckung**. Daraus ergeben sich an den Maßstab der energetischen Futterbewertung hohe Anforderungen, wie
  - o Quantifizierung der energetischen Wirkung des Futters im tierischen Organismus unabhängig von Tierart und Leistungsrichtung,
  - o Nährstoffabhängigkeit (futterseitig) und damit futtermittelspezifische Charakterisierung des energetischen Futterwertes,
  - o Objektivierung der Qualitätsunterschiede, insbesondere bei Grobfuttermitteln (Grünfutter, Silagen, Trockengrünfutter und Heu) und Konzentraten (Getreide, Leguminosen, Hackfrüchte), differenziert nach Vegetationsstadien, Konservierungserfolg usw. bzw. nach Ver- und Bearbeitungsverfahren.
- Die Unterstützung und Wahrnehmung betriebswirtschaftlicher Aufgaben, insbesondere durch Angabe der Futterwertrelationen entsprechend dem energetischen Wirkungspotentials zur Objektivierung des Vergleiches von Futterwert- und Preis- bzw. Kostenrelation als wissenschaftlich begründete Basis zur Senkung der Futterkosten und Erhöhung der ökonomischen Effizienz in der Tierproduktion. Damit im Zusammenhang stehend bildet der energetische Futterwert die Basis für
  - o die ökonomische Bewertung der Futtermittel einschließlich der Effizienz ihres Einsatzes bzw. ihrer Verwendung,
  - o die Beurteilung der Anbauwürdigkeit von Futterpflanzen und der optimalen Schnittzeitpunkte in der Wechselbeziehung zwischen Futterqualität und Masseertrag bei Grobfutter,
  - o die Bewertung von Konservierungs- und Behandlungsverfahren der Futtermittel und
  - o den futterwirtschaftlichen Effektivitätsvergleich zwischen Produktionsrichtungen, Tierarten und Betrieben.

2.2 Maßstäbe zur energetischen Futterbewertung

Abgesehen von der **Bruttoenergie (GE)**, die als Brennwert des Futtermittels ohne jeglichen Tierbezug von vornherein als Bewertungsmaßstab ausscheidet, sind in der klassischen Tierernährung definiert:

- **verdauliche Energie (DE)** = Futterenergie minus Kotenergie (stoffliche Bewertungsmaßstäbe auf dieser Ebene waren der „Gesamtnährstoff nach Lehmann (GN)“ und TDN (total digestible nutrients)),
- **umsetzbare Energie (uE)** = Futterenergie minus Kot-, Harn- und Methanenergie, wobei die neben diesen messbaren Größen in nennenswertem Umfang im Pansen als Gärungswärme (-energie) anfallenden Energieverluste keine Berücksichtigung finden, sowie
- **Nettoenergie (NE)** = umsetzbare Energie minus thermische (Wärme-) Energie aus den intermediären Umsetzungen im tierischen Organismus.

Angesichts der vorstehend erläuterten Aufgabenstellung kommt für die Kennzeichnung der intermediären Vertretungsäquivalenz nur die Nettoenergie als Bewertungsmaßstab in Frage, während verdauliche und umsetzbare Energie als rein quantitative Bilanzierungsgrößen ohne direkten Bezug auf tierische Leistungen einzustufen sind.

Seit mehr als einem Jahrhundert ist - beginnend mit den Respirationsversuchen in Leipzig-Möckern von KÜHN und KELLNER bekannt, dass die umsetzbare Energie der einzelnen Nährstoffe signifikant in unterschiedlicher Höhe verwertet wird. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Verwertung der umsetzbaren Energie der"reinen Nährstoffe" bei der Fettbildung aus den umfangreichen Versuchen am damaligen „Oskar-Kellner-Institut für Tierernährung" in Rostock absolut und relativiert auf die Verwertung von Stärke (= 100) als „Verwertungsrelationen" für die Tierarten Rind, Schaf, Kaninchen, Schwein und die Ratte als Modelltier als auch die Relationen aus biochemischen Kalkulationen aufgeführt (SCHIEMANN et al., 1971).

Tabelle 1: Verwertung der umsetzbaren Energie „reiner Nährstoffe" (Nettoenergie Fett)

	Verwertung der umsetzbaren Energie (%)					
Nährstoff	Rind	Schaf	Kaninchen	Schwein	Ratte	biochem. Werte
Stärke	64,1	64,1	71,0	75,7	75,5	
Protein	50,5	52,0	60,8	62,3	63,6	
Fett			92,8	85,9	83,1	
Alkohol				72,2		
Alkohol + Milchs.				72,0		
Milchsäure				74,8		
Essigsäure				59,9		
Saccarose					73,3	
Laktose					74,2	
Glukose					73,7	
Fruktose					67,5	
Gaklaktose					(78,2)	
	Verwertungsrelationen (%)					
Stärke	100	100	100	100	100	100
Protein	79	81	86	82	84	81
Fett	-	-	130	113	110	<110
Alkohol				95		
Alkohol + Milchs.				95		
Milchsäure				99		
Essigsäure				79		
Saccarose					97	
Laktose					98	
Glukose					98	
Fruktose					89	
Gaklaktose					(104)	

Generell zeigen diese Angaben

- einerseits die niedrigere Verwertung der Nährstoffe (absolut 10 Verwertungseinheiten = %) durch die Wiederkäuer Rind und Schaf und die bedeutend höhere Verwertung durch die monogastrischen Tierarten Schwein und Ratte sowie
- die Differenzierung zwischen den Nährstoffen: Protein < Kohlenhydrate < Fett in der Relation von Protein 79-86 % : Kohlenhydrate 100 % : Fett 110-130 %. Die flüchtigen Fettsäuren liegen dabei in der Höhe der Kohlenhydrate (72-75 %). Ausnahme bildet in Übereinstimmung mit biochemischen Kenntnissen die Essigsäure mit einer Verwertung von absolut 60 % bzw. relativ von 79 %. Die relativ hohe Verwertung des Fettes ist durch die direkte Inkorporation der Futterfettsäuren in Körperfett unter Umgehung der Resynthese über Acetyl-CoA verursacht (siehe CHUDY, 2000).

Die Tabelle 2 enthält Angaben zur Verwertung der umsetzbaren Energie der verdaulichen Rohnährstoffe laut WEENDER Futtermittelanalyse, abgeleitet aus den entsprechenden Regressionsgleichungen für die umsetzbare Energie und die Nettoenergie-Fett, die in den Respirationsversuchen zur energetischen Futterbewertung bei den Tierarten Rind, Schwein und Huhn durch Rationsauswertung ermittelt wurden (SCHIEMANN et al., 1971). Die Ergebnisse decken sich absolut und relativ mit den Messungen der „reinen Nährstoffe" und bestätigen in Übereinstimmung mit biochemischen Kalkulationen die Nährstoffabhängigkeit der Verwertung der umsetzbaren Energie auf eindrucksvolle Weise.

Tabelle 2: Verwertung der umsetzbaren Energie der Hauptnährstoffe und Verwertungsrelationen laut Regressionsgleichungen

Tierart	Verwertung der umsetzbaren Energie (%)			
	VRP	vRF	vRFa	vNFE
Rind	40	97	56	55
Schwein	51	96	(86)	72,5
Huhn	61	84	76	76
	Verwertungsrelationen (%) (vNFE = 100)			
Rind	73	176	100	100
Schwein	70	132	(119)	100
Huhn	80	111	(100)	100

In neueren Versuchen an pansen- und labmagenfistulierten Schafen wurden in Relation zu labmageninfundierter Glukose die Verwertungsrelationen der Endprodukte der Pansenfermentation bei der ATP-Synthese im Unterernährungsbereich gemessen (Tab. 3, CHUDY, et al., 2000).

Tabelle 3: Energetische Verwertung flüchtiger Fettsäuren in Relation zu labmageninfundierter Glukose (= 100 %)

Behandlung	Energetische Verwertung	Verwertungsrelationen (Glukose =100)	
Temperatur 26°C		experimentell	theoretisch
	%	%	%
Glukose	116,8 ± 29	**100**	**100**
Buttersäure	86,6 ± 9,2	**74**	**95**
Propionsäure	100,0 ± 8,3	**86**	**87**
Milchsäure	117,5 ± 5,4	**101**	**97**
Essigsäure	79,9 ± 19	**68,5**	**85**

Diese Ergebnisse zeigen, dass die umsetzbare Energie der einzelnen in den Intermediärstoffwechsel als Verdauungsprodukte einmündenden Substrate unter Ausschaltung der thermischen Kompensation unterschiedlich verwertet werden. Besonders die bei schlechten Grobfutterqualitäten in großem Umfang anfallende Essigsäure belastet den Stoffwechsel und wirkt nur zu ca. 68 % be-

darfsdeckend. Für Buttersäure und Propionsäure sind Verwertungsverluste von 25 % bzw. 15 % ausgewiesen. Verwertungsdifferenzen in dieser Größenordnung sind für eine leistungsbezogene Futterbewertung relevant und dürfen nicht unberücksichtigt bleiben.

Angesichts des allgemeinen Kenntnisstandes zur energetischen Verwertung war und ist es das Gebot der Stunde, dieses fundamentale Wissen der landwirtschaftlichen Praxis durch ein energetisches Futterbewertungssystem auf Basis der Nettoenergie für die Lösung futterwirtschaftlichen Aufgaben nutzbar zu machen.

Die Problematik besteht darin, dass unter dem Begriff „Nettoenergie", die in den meisten Fällen den Energieansatz bzw. die Energiesekretion in Form von Tierprodukten beschreibt, verschiedene Inhalte zusammengefasst und eine Differenzierung nach Leistungsrichtungen erfolgt. Dabei sind die einzelnen Kategorien der Nettoenergie insbesondere im Hinblick auf das grundsätzliche Problem der Nährstoffunabhängigkeit und damit für ihre Eignung zur Kennzeichnung des energetischen Futterwertes unterschiedlich zu bewerten:

- **Nettoenergie-Fett** - definiert als Energieansatz in Form von Körperfett (Depotfett) bei in der Regel ausgewachsenen Tieren - basiert auf der ernährungsphysiologischen Fähigkeit des Organismus, alle Nährstoffe substanziell und energetisch in Körperfett zu überführen. Damit ist die Nettoenergie-Fett ein nährstoffunabhängiger Maßstab.
- **Nettoenergie-Erhaltung** ist ohne stofflichen Bezug und drückt die Äquivalenz zur Energie (Bruttoenergie) der in den Energieumsatz eingespeisten Körpernährstoffe aus. Auch sie ist, da alle Nährstoffe energetisch für Erhaltungsfunktionen und für thermische Zwecke genutzt werden können, nährstoffunabhängig.
- **Nettoenergie-Laktation** - definiert als Energie (Bruttoenergie) des Sekretionsproduktes Milch (bei Milchkühen) - beschreibt die Konvertierung von Futternährstoffen in Milch, an der sich wegen der essentiellen Inkorporation von Aminosäuren bei der Proteinsynthese nicht alle Nährstoffe gleichermaßen beteiligen und gegenseitig vertreten können; sie ist daher nährstoffabhängig, insbesondere protein- und eingeschränkt auch fettbezüglich.
- **Nettoenergie-Wachstum** - definiert als Energieansatz bei wachsenden Tieren mit entsprechend hohem Proteinansatz - ist aus gleichen Gründen wie die Nettoenergie_Laktation in bezug auf Protein und teilweise Fett ein nährstoffabhängiger Parameter.
- **Nettoenergie-ATP** - definiert als relativer Maßstab für das Potential der Futternährstoffe (Substrate) bei der ATP-Synthese (ATP-Bildungsvermögen) - basiert auf der ernährungsphysiologischen Umsetzung aller Nährstoffe in ATP-gebundene Energie (ATP-Äquivalente), der einheitlichen Energiewährung des Organismus. ATP-Äquivalente werden für alle stofflichen Syntheseleistungen, die physische Arbeit und die (nicht thermischen) Erhaltungsfunktionen benötigt bzw. bei Überschüssen substantiell in Form der Körpernährstoffe und Sekrete als ATP-Potenziale akkumuliert (reteniert) und/oder ausgeschieden. Dieser Maßstab ist universell, d. h. unabhängig von Nährstoffen und letztendlich unabhängig von Leistungsrichtung und Tierart. Wie bereits dargestellt (CHUDY, 2000 und 2001), können alle tierischen Leistungen (Ansatz, Sekretion und physische Arbeit) in ATP-Äquivalenten ausgedrückt und bilanziert werden, so dass dieser Maßstab es sogar prinzipiell ermöglichen würde, die energetischen Betrachtungen über die Tierernährung hinaus bis hin zur menschlichen Nahrungsbilanz fortzuführen.

Kriterium für die Wahl des Maßstabes und der Methoden der energetischen Futterbewertung ist das übergeordnete Ziel, eine möglichst hohe Genauigkeit und Zweckmäßigkeit bei der Quantifizierung der Beziehungen zwischen Futterversorgung/ -einsatz und tierischer Leistung als wesentliches Steuerinstrument bei der Erhöhung der Effizienz in der tierischen Nahrungsmittelproduktion zu erreichen.

Dabei ist es ein prinzipieller und weit verbreiteter Irrtum anzunehmen, dass mit der Festlegung von Verwertungsgrößen einzelner Produktionsrichtungen (Milchsekretion, Fett- bzw. Körpermasseansatz) als Maßstab der energetischen Futterbewertung (Nettoenergie-Fett, Nettoenergie-Lakation usw.) absolute Beziehungen zwischen Futtermenge und tierischer Leistung besser definiert werden können. Das ist allein wegen der notwendigen Übertragung auf die Erhaltungsfunktionen bzw. andere komplettierende Produktionsleistungen nicht möglich!

Auch bisher - angefangen vom Stärkewert und bis hin zu den gegenwärtigen Energiebewertungssystemen - konnten und können auch in Zukunft aus sachlogischen Gründen als Maßstab der energetischen Futterbewertung letztendlich nur die Wirkungs- (Verwertungs-) Relationen zwischen den einzelnen Nährstoffen direkt oder indirekt ergebniswirksam festgelegt werden.

Als Beispiel dafür soll hier auf die Nettoenergie-Fett verwiesen werden: Für alle bisherigen Bewertungssysteme auf Basis der Nettoenergie-Fett waren und sind nicht die nominalen Futterwertangaben, sondern die Verwertungsrelationen zwischen den Hauptnährstoffen (vgl. CHUDY, 2000) **Kohlenhydrate : Fett : Protein = 100 : 110-130 : 79-86** der ergebniswirksame Bewertungsmaßstab.

Die **Quantifizierung der Fütterung**, d. h. die Vorgabe der absoluten Größen (Mengen), erfolgt in den Bewertungssystemen grundsätzlich über die Energiebedarfsnormen! Bei Einstellung der Energiebedarfsnormen werden über die Rationsbilanzierung die Futterwertangaben in Futtermengen transferiert! Die Bedarfsnormen sind in den Futterbewertungssystemen das variable Element und jeweils an den Zuchtfortschritt und die Produktionsverfahren und -bedingungen anzupassen; d. h., sie sind laufend zu aktualisieren.

3. Futterbewertungssysteme - eine kritische Bewertung

In Deutschland und Europa hat sich das Problem der energetischen Futterbewertung letztendlich auf die Frage des Maßstabes zugespitzt, ob die umsetzbare Energie oder die Nettoenergie der geeignetere Maßstab zur Bewertung des energetischen Leistungspotenzials der Futterstoffe darstellt. Während bis in die 70iger Jahre die Nettoenergie favorisiert wurde, hatte in den letzten 20 Jahren die umsetzbare Energie den Vorzug. Gegenwärtig schlägt das Pendel wieder zurück, und es ist in einigen europäischen Ländern das Bestreben unverkennbar, zur Nettoenergie zurückzukehren. Und das, wie z. B. in den Niederlanden, sogar bei Geflügel (SCHEELE, 2001, persönliche Mitteilung), der Tierart, von der wegen der Schwierigkeiten bei der Kot- und Harntrennung die Entwicklung hin zur umsetzbaren Energie ihren Ausgang genommen hat. Als wesentlichstes Argument, das zur Bevorzugung der um-

setzbaren Energie führte, galt ihre im Vergleich zur Nettoenergie weniger aufwendige Bestimmbarkeit. Aber diese Argumentation ist zumindest für Wiederkäuer in Frage zu stellen, da die Erfassung der Methanausscheidung Gaswechselmessungen voraussetzt und die Energieverluste durch die Gärungswärme ohnehin nicht berücksichtigt werden können.

Auch neuere Vorschläge für ein universelles Futterbewertungssystem auf Basis der umsetzbaren Energie (HOFFMANN, 1993, 1994a,1994b) entpuppen sich in dem Maße, wie versucht wird, die Verwertung der Energie zu integrieren, in Wahrheit als „Nettoenergiesysteme" mit der umsetzbaren Energie als Bilanzierungsgröße bzw. kommen ohne die auf Nettoenergie (NEF) bezogenen Futterwertrelationen für eine objektive ökonomische Bewertung der Futtermittel nicht aus. Dieser Dualismus nach dem Motto „Zwei Systeme ein Futtermittel" ist absurd, denn wenn man Nettoenergie-Fett ermittelt und verwendet, kann man gleich von vornherein auf die umsetzbare Energie verzichten!

Die Methode, den Bedarf an umsetzbarer Energie in Abhängigkeit von der Rationszusammensetzung durch Rückrechnung von Nettoprodukten (z. B. Milch, Ansatz) in den für ihre Erzeugung notwendigen Aufwand an umsetzbarer Energie über partielle Verwertungskoeffizienten zu ermitteln und zu bilanzieren, ist gegenüber der unmittelbaren Verwendung der umsetzbaren Energie als Bilanzierungsgröße ein wesentlicher Fortschritt; letztlich aber nur eine relativ komplizierte Umschreibung einer Bewertung auf Basis von Nettoenergie. Dem Vorteil der Nutzung der experimentell leichter bestimmbaren umsetzbaren Energie stehen als Nachteile eine komplizierte Anwendung und das damit ungelöste Problem der Berücksichtigung der Energieverwertung für die Erhaltungsprozesse gegenüber.

3.1 Futterbewertungssysteme für Wiederkäuer (Rinder)

Durch die Besonderheiten der Nährstoffverdauung, -resorption und -verwertung beim Wiederkäuer, die durch das fermentative Verdauungssystem bedingt sind, gestaltet sich die energetische Futterbewertung für diese Tierarten weitaus schwieriger als bei monogastrischen Tieren. Sie ist aber insbesondere für die Rationsgestaltung und nicht zuletzt für die objektive Qualitätsdifferenzierung bei Grobfuttermitteln aus ernährungsphysiologischer und ökonomischer Sicht von ungleich höherer Bedeutung. Für Wiederkäuer sind in den relevanten Bewertungssystemen folgende Berechnungsgleichungen für umsetzbare Energie und Nettoenergie vorgegeben:

- **Rostocker Futterbewertungssystem - Nettoenergie-Fett (NEF)**
  NEF [MJ] = (0,0072 vRP + 0,0315 vRF + 0,0084(vRFa + vNFE))*f;
  Relationen: ***86*** ***375*** ***100***
  (f = -0,549 + 0,04068 VE - 0,0002670 VE^2 (Korrekturfaktor für Rationen in Abhängigkeit von der Verdaulichkeit der Energie [%] (VE)) (SCHIEMANN et al., 1971)

  NEF [MJ] = (0,0065 vRP + 0,0266 vRF[+ 0,0101vST+ 0,0075 vZu + 0,0089 vNFr)*f;
  Relationen: ***64*** ***263*** ***100*** ***74*** ***88***
  (f = -0,5574 + 0,04050 VE - 0,0002633 VE^2 (Korrekturfaktor für Rationen in Abhängigkeit von der Verdaulichkeit der Energie [%] (VE)) (HOFFMANN et al., 1993b)
- **Nettoenergie-Laktation (NEL)**
  NEL [MJ] = 0,6 [1 + 0,004 (q -57) * uE [MJ]; (q = uE*100/BE; q Ø 57) (DLG, 1997)
- **Stärkeeinheiten (STE)**
  Kraftfutter (Konzentrate) (einschl. Wurzeln, Knollen, fleischige Früchte)
  STE = (0,94 vRP + a vRF + 1,0 vRFa + b vNFE)*WE*0,01
  Relationen: ***94*** ***241-191*** ***100*** ***100***
  (a = 2,41 bei Ölsaaten, -rückstände, und Futtermittel tierischer Herkunft;
  2,12 bei Getreide und -produkten; 1,91 bei sonstigen Futtermitteln bzw.
  (b= 0,76 bei Milch und -produkten; 1,0 bei allen anderen Futtermitteln)
  Grundfutter
  STE = (0,94 vRP + 1,91 vRF + 1,0 vRFa + 1,0 vNFE - RFA + RFZ)
  Relationen: ***94*** ***191*** ***100*** ***100***
  (RFA = Rohfaserabzug je g Rohfaser = 0,58 STE
  bzw. bei Grünfutter/Silagen = 0,29-0,58 in Abhängigkeit vom Rohfasergehalt;
  RFZ = Rohfaserzuschlag = 1 g STE je g Rfa > 330 g/kg TS)
  (Details siehe DLG Futterwerttabellen für Wiederkäuer, 6. Auflage, 1991)
- **Umsetzbare Energie (uE)**
  Rostocker Futterbewertungssystem (SCHIEMANN et al., 1971; HOFFMANN et al., 1993b)
  uE [MJ] = 0,0181 vRP + 0,0324 vRF + 0,0150 vRFa + 0,0152 vNFE
  Relationen: ***119*** ***221*** ***99*** ***100***

  uE [MJ] = 0,0173 vRP + 0,0340 vRF + 0,0159 ST + 0,0151 Zu + 0,0154 NFER
  Relationen: ***109*** ***214*** ***100*** ***95*** ***97***
- **DLG- Futtermitteltabelle, 6. Auflage (1991)**
  uE [MJ] = 0,0152 vRP + 0,0342 vRF + 0,0128 vRFa + 0,0159 vNFE - 0,0007 Zu
  Relationen: ***96*** ***215*** ***81*** ***100***

  DLG- Futtermitteltabellen Wiederkäuer (1997)
  uE [MJ] = 0,00234 RP + 0,0312 vRF + 0,0136 vRFa + 0,0147 (vOS - vRF - vRFa)
  Relationen: ***(100)*** ***212*** ***93*** ***100***

Im Rostocker Futterbewertungssystem wurden die Berechnungsgleichungen für die verdaulichen Nährstoffe laut WEENDER Futtermittelanalyse und später (HOFFMANN et al., 1993a, b) für die durch die Bestimmung von Stärke und Zucker stofflich weiter präzisierte N-freie Fraktion abgeleitet. Prinzipiell wurde zwischen dem Futterwert der Einzelfuttermittel, dem ohne Korrekturen laut Gleichungen tabellierten Werten einerseits, und dem Futterwert der Rationen, korrigiert nach der Höhe der Verdaulichkeit der Energie der Ration (Rationskorrektur) andererseits, unterschieden. Die Größenordnung der Rationskorrektur liegt, ausgedrückt als Anteil der nutzbaren Energie, zwischen 100 % und 82 % der aufsummierten Rationsenergie bei einer mittleren Verdaulichkeit der Ration von Ø 67 % bzw. Ø 50 %. Diese Verfahrensweise zur Berücksichtigung des Rückganges der Verwertung der Energie bei verminderter Futterqualität, bedingt durch den Anfall höherer Anteile an Essigsäure bei der Pansenfermentation, ist relativ kompliziert. Daher wird im Zuge einer gegenwärtig eingeleiteten Überarbeitung des Rostocker Futterbewertungssystems der umgekehrte Weg beschritten, indem die Verdaulichkeitskorrektur auf die Einzelfuttermittel angewandt (= minimaler Energiegehalt) und die Energie der Ration additiv ermittelt werden. Dabei wurde gleichzeitig durch Neuberechnung der Gleichungen der durch Interkorrelation bedingte niedrige Ansatzwert für verdauliches Rohprotein (0,0065 MJ/g) in der um Stärke und Zucker erweiterten Berechnungsgrundlage dem bisherigen Erwartungswert (0,0072 MJ/g) angepasst. Die Publikation des überarbeiteten Rostocker Futterbewertungssystems ist für Anfang 2002 vorgesehen.

Einerseits rein statistisch gesehen, da dieser Parameter dadurch ohnehin indirekt im regressiven Ansatz enthalten ist und sein Wirkungswert auf das statistische Mittel beider Fraktionen niveauliert wird, wodurch ein wesentlicher Teil der Futtermittelspezifik verloren geht, auch wenn eine gewisse „Korrektur" durch die positive Korrelation zwischen dem Proteinanteil der Summenfraktion und dem Rohproteingehalt vorausgesetzt werden kann. Andererseits ist es, da alle energetischen Umsetzungen letztlich in die ATP-Energie-Bilanz einmünden, aus energetischer Sicht unerheblich, auf welcher Stoffwechselebene (mikrobieller Umsatz im Pansen oder Intermediärstoffwechsel) der Energietransfer erfolgt, so dass das „verdauliche Rohprotein" nach wie vor als stoffliche „Proteinbilanz des Verdauungstraktes" für den Energieumsatz eine relevante Bezugsgröße darstellt. Es ist völlig unverständlich, warum man nicht das „nutzbare Rohprotein (nXP)", das für die Sicherstellung der Proteinversorgung ohnehin notwendig ist und das als „Reinprotein" (ohne NPN-Verbindungen) geradezu für diesen Zweck prädestiniert erscheint, anstelle des „verdaulichen Rohproteins" als sinnvolle Alternative herangezogen hat.

3.2 Futterbewertungssysteme für Schweine

Für Schweine sind in Deutschland und der Europäischen Union insgesamt die nachfolgend aufgeführten Futterbewertungssysteme mit den entsprechenden Berechnungsgleichungen für die jeweilige Bewertungsbasis in Anwendung:

- **Rostocker Futterbewertungsystem - Nettoenergie-Fett (NEF)** (SCHIEMANN, et al., 1971)
  NEF [MJ] = 0,0107 vRP + 0,0358 vRF + 0,0124 (vRFa + vNFE)
  Relationen: ***86*** ***289*** ***100***
- **Rostocker Futterbewertungsystem - Nettoenergie-Fett (NEF)** (HOFFMANN et al., 1993a)
  NEF [MJ] = 0,011 vRP +0,034 vRF + 0,0127 ST + 0,0116 Zu + (0,012 -0,00014 (80 - VE) NFER
  Relationen: ***87*** ***268*** ***100*** ***91*** ***96***
  (VE = Verdaulichkeit der Energie ≤ 80 %)
- **Dänisches Nettoenergiesystem (NE) für Wachstum und Erhaltung** (JUST, 1982)
  NE [MJ] = 0,75 uE (MJ) - 1,88
  uE [MJ] = 0,0215 vRP + 0,0377 vRF + 0,0173 (vRFa + vNFE)
  Relationen: ***124*** ***218*** ***100***
- **Rostocker Futterbewertungsystem - umsetzbare Energie (uE) (ohne Korrektur)** (SCHIEMANN, et al., 1971)
  uE [MJ] = 0,0210 vRP + 0,0374 vRF + 0,0144 vRFa + 0,0171 vNFE
  Relationen: ***123*** ***219*** ***84*** ***100***
- **Rostocker Futterbewertungsystem - umsetzbare Energie (uE)** (HOFFMANN, 1994a)
  uE [MJ] = 0,0182 vRP + 0,0398 vRF + 0,0173 ST + 0,016 Zu + 0,017 vNFER
  Relationen: ***105*** ***230*** ***100*** ***92*** ***98***
- **DLG-System - umsetzbare Energie (uE) mit Korrektur nach bakteriell fermentierbaren Substanzen (BFS)** (DLG, 1991)
  uE [MJ] = 0,021 vRP + 0,0374 vRF + 0,0144 vRFa + 0,0171 vNFE - 0,0014 Zu - 0,0068 (BFS - 100)
  Relationen: ***123*** ***219*** ***84*** ***100***
  (Korrekturen wenn zu ≥ 80 g/kg TS bzw. BFS > 100 g/kg TS)

Von den Berechnungsgleichungen für die umsetzbare Energie, die den Erwartungswerten entsprechen, soll nur auf die derzeit gültige Berechnungsgrundlage der Futterbewertung eingegangen werden. Hierbei wurden in der Absicht, das „verdauliche Rohprotein" als Futterwertparameter formal zu eliminieren, die zumeist alternativen Fraktionen der verdaulichen Nährstoffe Rohprotein und NFE zusammengefasst und der Rohproteingehalt als Hilfsparameter einbezogen. Diese Vorgehensweise ist Selbstbetrug und macht aus energetischer Sicht keinen Sinn.

Auch bei den Futterbewertungssystemen für Schweine stehen sich die Nettoenergie- und uE-Systeme gegenüber. Nur das DLG-System, umsetzbare Energie mit Korrektur einer verminderten Verwertung der Endprodukte der Dickdarmfermentation mit den bakteriell fermentierbaren Substanzen (BES) (> 100 g/kg TS) als Parameter, nimmt eine Art Zwitterstellung ein: keine reine Netto- und keine umsetzbare Energie. Insgesamt gesehen ist diese Korrektur marginal, da der Anteil solcher Futtermittel in der Schweinefütterung ohnehin gering ist. Zum anderen

trägt diese Korrektur „akademischen Charakter“, wenn andererseits durch die Wahl der umsetzbaren Energie als Bewertungsmaßstab auf die Nutzung der um ein mehrfaches größeren Verwertungsdifferenzen zwischen den Nährstoffen (Tab. 1 und 2) verzichtet wird.

3.3 Futterbewertungssysteme für Geflügel

Bei Geflügel werden in Deutschland und der Europäischen Union insgesamt über die jeweils angewandten Bewertungssysteme die nachfolgend aufgeführten Berechnungsgleichungen für umsetzbare Energie und Nettoenergie angewandt:

Tabelle 4: Relative Ansatzwirkung bzw. Gehaltswerte der Nährstofffraktionen in den Futterbewertungssystemen auf Basis der Netto- und umsetzbaren Energie (Kohlenhydrate = 100)

Tierart	Verdauliches Rohprotein		Verdauliches Rohfett		Verdauliche Rohfaser	
	Nettoenergie	Umsetzbare Energie	Nettoenergie	Umsetzbare Energie	Nettoenergie	Umsetzbare Energie
Wiederkäuer	≈ **81** (64-94)	≈ **106** (96-119)	≈ **267** (191-375)	≈ **216** (216-221)	≈ **96** (88-100)	≈ **93** (81-100)
Schweine	≈ **87** (86-87)	≈ **119** (105-124)	≈ **279** (268-289)	≈ **222** (218-230)	≈ **98** (96-100)	≈ **92** (84-100)
Geflügel	≈ **81**	≈ **104** (101-106)	≈ **250**	≈ **225** (224-225)	≈ **100**	≈ **100** (100-100)

- **Rostocker Futterbewertungssystem - Nettoenergie-Fett (NEF)** (CHUDY und SCHIEMANN, 1971)
  NEF [MJ] = 0,0108 vRP + 0,0335 vRF + 0,0134 (vRFa + vNFE)
  Relation ***81*** ***250*** ***100***
- **Rostocker Futterbewertungssystem - umsetzbare Energie (uE)** (CHUDY und SCHIEMANN, 1971)
  uE [MJ] = 0,0178 vRP + 0,0398 vRF + 0,0177 vRFa + 0,0177 vNFE
  Relation ***101*** ***225*** ***100*** ***100***
- **Futterbewertungssystem - umsetzbare Energie (Deutschland)** (HÄRTEL et al., 1977; Jager, 1988) (korrigiert auf N-Bilanz = 0))
  uE_N [MJ] = 0,0183 vRP + 0,0388 vRF + 0,0173 vRFa + 0,0173 vNFE
  Relation ***106*** ***224*** ***100*** ***100***

Bei Geflügel ist bezüglich der umsetzbaren Energie in der derzeit aktuellen Futterbewertung die Korrektur auf die N-Bilanz = 0 bemerkenswert. Damit sollen Differenzen zwischen den Geflügelarten und Nutzungsrichtungen in der N-Retention herauskorrigiert werden, indem die dem N-Ansatz entsprechenden Energieverluste bei Exkretion über die Harnsäure von der unter N-Ansatz-Bedingungen bestimmten umsetzbaren Energie abgesetzt werden.

4. Bewertung der Futterbewertungssysteme

Die wichtigsten Kriterien für die Evaliierung der Futterbewertungssysteme sind

- die Wiederspiegelung der durch die nährstoffspezifischen intermediären Stoffwechselwege vorgegebenen Unterschiede in der energetischen Wirkung, dargestellt in den vorstehenden Übersichten als „Relationen“ zwischen den Ansatz- bzw. Gehaltswerten der Nährstoffe (Substrate). (Kohlenhydrate = 100) (siehe Abschnitt 3) sowie
- die Relationen zwischen den Futtermitteln im energetischen Futterwert (Futterwertrelationen) innerhalb der einzelnen Futterbewertungssysteme.

Die relativen Wirkungswerte der Nährstofffraktionen sind differenziert nach Tierarten und den Bewertungsmaßstäben in Tabelle 4 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 4 verdeutlicht die in Relation zu den Kohlenhydratfraktionen (= 100) im Vergleich zur umsetzbaren Energie wesentlich niedrigeren Wirkungswerte der Proteinfraktion bei der Nettoenergie-Fett. Da die Nettoenergie-Ansatzwerte direkt proportional zum ATP-Bildungsvermögen (CHUDY, 2000) stehen, wird damit eine Überbewertung des Proteins in den auf umsetzbarer Energie basierenden Futterbewertungssystemen dokumentiert. Demgegenüber bestätigt sich, bedingt durch die direkte Inkorporation von Fettsäuren (CHUDY, 2000), die Überbewertung des Fettes bei den Systemen mit der Nettoenergie-Fett als Basis der Futterbewertung. Bei der Rohfaserfraktion sind die erwarteten Unterschiede zwischen den Bewertungsmaßstäben nicht in dem Maße wie erwartet hervorgetreten. Ursache dafür sind, dass in den gewählten Modellansätzen zur mehrfachregressiven Auswertung die Rohfaser- und NFE-Fraktion zusammengefasst bzw. dadurch, dass die qualitätsabhängig abmindernden Korrekturen (Rationskorrektur), die nahezu ausschließlich allein auf die Faserfraktionen zu beziehen sind, in diesen Vergleich nicht einbezogen wurden.

Zum zweiten Kriterium:

In den Tabellen 5, 6 und 7 werden die nominalen Futterwertangaben und die Relationen im Futterwert für jeweils vier in ihrer Zusammensetzung stark differierende Futtermittel, die in etwa das Futtermittelspektrum in der Fütterung dieser Tierarten umreißen, in den verschiedenen Futterbewertungssystemen, einschließlich der ATP bezogenen Bewertung, auf die weiter unten eingegangen wird, dargestellt.

Anhand dieser Werte kann man erkennen, dass mit der umsetzbaren Energie als Maßstab protein- und rohfaserreiche Futtermittel energetisch überbewertet werden. Das hat - letztere betreffend - eine unzureichende Differenzierung der qualitativen Unterschiede bei den Grobfuttermitteln (Silagen und Rauhfuttermittel) zur Folge. Diese Fehleinschätzung zeigt sich insbesondere bei Weizenstroh, das mit 48 % des energetischen Futterwertes der Gerste ausgewiesen wird. Das bedeutet, dass trockensubstanzbezogen 2 kg Stroh und 1 kg Gerste im Stoffwechsel energetisch wirkungsäquivalent eingestuft werden! Die Nettenergiesysteme reduzieren die Wirkungsäquivalenz, und zwar wesentlich realistischer auf das Verhältnis von 3 : 1. In diesem Zusammenhang ist festzustellen, dass über den Stärkewert - ebenso wie mit den anderen auf Nettoenergie basierenden Systemen - weit-

Tabelle 5: Nominaler Futterwert (NFW) und Futterwertrelationen (Gerste = 100) in verschiedenen Futterbewertungssystemen (Wiederkäuer)

Futtermittel	Umsetzbare Energie [MJ]		Netto-Energie-Fett [MJ]		Netto-Energie-Laktation	Stärke-Einheiten	ATP-Bewertung NFW [MJ]	NEL-
	aktuell	neu	aktuell	neu	(NEL) [MJ]	STE	bezogen	
Absoluter Futterwert - MJ/kg TS								
Gerste	12,90	13,28	7,13	7,98	8,33	801	12,49	8.33
Soja.-Extr.-Schrot	14,12	13,85	6,64	6,24	7,94	796	11,21	7,48
Trockengrünfutter	10,04	10,14	5,60	5,44	5,67	559	8,20	5,47
Stroh (Weizen)	6,21	6,35	3,54	2,40	3,14	270	4,86	3,24
Relativer Futterwert - Gerste = 100								
			1)/ 2)	2)				
Gerste	100	100	100	100	100	100	100	
Soja.-Extr.-Schrot	109	104	93/91	78	95	99	90	
Trockengrünfutter	78	76	79/76	68	68	70	66	
Stroh (Weizen)	48	48	50/33	30	38	34	39	

1) ohne Korrektur nach der Verdaulichkeit der Energie 2) mit Korrektur nach der Verdaulichkeit der Energie
aktuell = bisher im Rostocker Futterbewertungssystem

Tabelle 6: Nominaler Futterwert (NFW) und Futterwertrelationen (Gerste = 100) in verschiedenen Futterbewertungssystemen bei Schweinen

Futtermittel	Deutschland			Dänemark	Vorschlag	Vorschlag	Vorschlag
	Rostocker System Nettoenergie-Fett bisher (DDR)	neuer Vorschlag	uE, korr. (bakteriell fermentierb. Substanzen)	Nettroenergie System (Wachstum) (JUST, 1982)	Umsetzbare Energie (HOFFMANN, 1994a)	Effektive Energie (EMMANS, 1994)	Netto-energie-ATP nominaler Energie Wert
	Absoluter Futterwert - MJ/kg TS						
Gerste	10,34	10,46	14,65	9,29	14,54	16,48	13,58
Soja.-Extr.-Schrot	9,89	9,89	15,77	10,80	15,12	15,46	12,35
Sonnenblumensamen	20,74	19,93	24,50	16,74	24,94	28,02	22,13
Luzernegrünmehl	5,57	5,04	7,80	5,13	8,79	9,38	6,88
	Relativer Futterwert - Gerste = 100						
Gerste	100	100	100	100	100	100	100
Soja.-Extr.-Schrot	96	95	108	116	104	94	91
Sonnenblumensamen	201	191	167	180	172	170	163
Luzernegrünmehl	54	48	53	55	61	57	51

aus realistischere Futterwertrelationen ausgeweisen werden als es die umsetzbare Energie als Bewertungsmaßstab vermag. Demnach ist die negative Bewertung des Stärkewertes, wie sie u. a. vom Ausschuss für Bedarfsnormen zur Begründung der Ablösung des Stärkewertes und des Überganges zur umsetzbaren Energie als Bewertungsmaßstab bei wachsenden Rindern und anderen Wiederkäuern herangezogen wurde, unbegründet. Andererseits zeugt dieses Ergebnis nochmals von der großen visionären Genialität Oskar Kellners als er den Stärkewert vor 100 Jahren schuf.

Wie bei Schwein und Geflügel ersichtlich, wird auch bei den monogastrischen Tierarten im Hinblick auf das energetische Wirkungspotenzial die relative Überbewertung der proteinreichen Futtermittel bei der umsetzbaren Energie als Bewertungsmaßstab von ca. 10 % sichtbar. Gleiches gilt auch für die Grobfuttermittel (im Beispiel Trockengrünfutter). Demgegenüber werden bei diesen Tierarten fettreiche Futtermittel - bei Wiederkäuern nicht ausgewiesen - durch die Nettoenergie-Fett überbewertet, wenn sie nicht im Fettstoffwechsel umgesetzt werden. Die ATP-bezogene Bewertung reiht sich dabei in die Relationen der Nettoenergiesysteme mit weit realistischeren Größen ein!

Tabelle 7: Nominaler Futterwert und Futterwertrelationen (Mais = 100) in verschiedenen Futterbewertungssystemen bei Geflügel

Futtermittel	Deutschland			Vorschlag
	Rostocker Futterbewertungssystem			
	Nettoenergie Fett (ehem. DDR)	Umsetzbare Energie	Umsetzbare Energie[1]	ATP-bezogene Futterbewertung
Absolute Futterwertangaben - MJ/kg TS				
Mais	11,90	15,87	15,59	15,44
Soja.-Extr.-Schrot	7,12	10,85	10,99	9,27
Sonnenblumensamen	17,85	22,48	22,12	20,31
Luzernegrünmehl	4,87	6,82	6,78	6,29
Relativer Futterwert - Mais = 100				
Mais	100	100	100	100
Soja.-Extr.-Schrot	60	68	70	60
Sonnenblumensamen	150	142	142	132
Luzernegrünmehl	41	43	43	41

1) korrigiert auf N-Bilanz = 0

Insgesamt gesehen geht aus diesen vergleichenden Betrachtungen hervor, dass wir über einen höheren Erkenntnisstand verfügen, als er in den derzeitigen Empfehlungen zur energetischen Futterbewertung zum Ausdruck kommt.

5. Vorschlag für ein einheitliches System der energetischen Futterbewertung

Aus den bisherigen Ausführungen ergeben sich folgende **Konsequenzen für die energetische Futterbewertung:**

- Zur **energetischen Futterbewertung** wird ein **additiver Maßstab** benötigt, der das **energetische Wirkungspotenzial und die Vertretungsäquivalenz der Futternährstoffe beim Energieverbrauch** und ***nicht* für den Energieansatz** (-retention) kennzeichnet. Die einseitig auf die Tierprodukte bezogenen Maßstäbe, wie z. B. „Nettoenergie- Fett“ und „Nettoenergie-Laktation“, sind physiologisch gesehen der falsche Ansatz.
- Die Notwendigkeit der **Übertragung der Energiekennzahlen auf andere Leistungen**, Produktionsrichtungen und Tierarten stellt **absolute Verwertungsgrößen**, wie sie z. B. bei der Nettoenergie-Fett und Nettoenergie-Laktation die Grundlage bilden, **grundsätzlich in Frage. Absolute Verwertungsgrößen sind nicht festlegbar.** Festgelegt werden können nur die Verwertungsrelationen zwischen den Futternährstoffen. Sie bestimmen letztlich die Zusammensetzung bilanzierter Rationen und die ökonomische Aussagekraft der energetischen Futterbewertung.
- Dem Tier steht das in den Futternährstoffen gebundene **Potenzial an ATP-Äquivalenten** zur Verfügung. Die **Art und die Effizienz seiner Nutzung hängt fast ausschließlich von den tierseitigen Faktoren**, insbesondere von seinem physiologischen Zustand, und den Umweltbedingungen **ab**. Daher sind die **tierseitigen Faktoren und die Haltungsbedingungen ausschließlich Gegenstand der Definition von Bedarfsnormen und nicht der Futterbewertung**. Ihre Aufgabe ist allein die Bewertung des energetischen Wirkungspotenzials und die Kennzeichnung der Vertretungsäquivalenz der Nähr- und Futterstoffe im Energieumsatz.
- Futterbewertungssysteme auf der Basis der umsetzbaren Energie erfassen nicht die biochemisch bedingte Abhängigkeit der Energieverwertung von der Nährstoffzusammensetzung der Futtermittel und Rationen. Der Maßstab für die energetische Futterbewertung muss daher eine nettoenergiebezogene Größe sein.

5.1 Maßstab der energetischen Futterbewertung

Futterwertangaben müssen dem produktiven Wirkungspotenzial der Futterenergie im tierischen Organismus äquivalente Relationen zwischen den Futtermitteln kennzeichnen. Als Maßstab der energetischen Futterbewertung ist daher eine Lösung auf Basis der nährstoff- und produktionsrichtungsunbhängigen Nettoenergie anzustreben.

Die ATP-Verwertungsrelationen sind universell und im wesentlichen durch die intermediären substratspezifischen Stoffwechselwege bestimmt. Sie kennzeichnen die Vertretungsäquivalenz der Nährstoffe und Substrate bei der Energiegewinnung aus den katabolen Prozessen. Damit werden sie - substratbezogen - unabhängig von Tierarten und Leistungsrichtungen. Für Protein- und Kohlenhydratfraktionen sind sie, bedingt durch die gemeinsame unifizierende Verwertung über Acetyl-CoA, den Verwertungsrelationen bei der Fettsynthese analog.

Die Verwertungsrelationen der Futternährstoffe bei der ATP-Synthese sind somit der geeignetste additive Maßstab für eine universelle, d. h. von Tierarten und Produktionsrichtungen weitestgehend unabhängige Futterbewertung. Die ATP-Verwertungsrelationen können aus vorhandenen Unterlagen entnommen, experimentell bestimmt und/oder aus den Verwertungsrelationen (Protein und Kohlenhydrate) bei der Fettsynthese (CHUDY, 1967, SCHIEMANN, 1969, CHUDY, 2000) abgeleitet werden.

Als **einheitlicher Maßstab** der energetischen Futterbewertung für alle Tierarten und Produktionsrichtungen werden festgelegt:

Die **Verwertungsrelationen der Futternährstoffe bei der ATP-Synthese**, und zwar nominal, abgeleitet aus früheren Untersuchungen und den Verwertungsrelationen, die für die Fettsynthese aus Protein und Kohlenhydraten ermittelt wurden. Dabei ergeben sich folgende Wirkungswerte für die Nährstofffraktionen
Protein : Fett : Stärke : Zucker : N-freier Restfraktion
= 79 : 92 : 100 : 100 : 70.

Die auf dieser Basis berechnete ATP-bezogene Nettoenergie wird als **„universelle Nettoenergie (uNE)“** bezeichnet. Die „universelle Nettoenergie“ gilt dabei lediglich als ein **„Nominaler Futterwert (NFW)“** („Nominal Feed Value (NFV))“ und stellt keine absolute Größe für den Futterwert dar.

Gleichartige Vorschläge wurden von niederländischer Seite mit der „Kohlenhydratenergie“ (SCHEELE et. al., 1976) für Geflügel und von französischer Seite mit der „universellen Nettoenergie“ (Futterbewertungssystem für Pferde) (VERMOREL und MARTIN-ROSSET,1991) unterbreitet.

5.2 Methode der Futterbewertung

Das Prinzip der ATP-bezogenen energetischen Futterbewertung ist in Tabelle 8 für Rinder, Schweine und Geflügel dargestellt. Unter Bezug auf die **verdaulichen Nährstoffe als massebezogene Kennzahlen** wird die umsetzbare Energie der einzelnen Nährstoffe mit den ATP-Verwertungsrelationen (Kohlenhydratfraktion (NFE)/ Stärke/Zucker = 100) multipliziert und somit als relative Größe der **„Nominale Futterwert“** (Universelle Nettoenergie) **als „Nennwert** (Rechengröße)“ erhalten.

Der Nominale Futterwert (NFW) kann im Rahmen der praktischen Anwendung **in die Größenordnung anderer eingebürgerter bzw. landesüblicher Einheiten umgerechnet** werden. Die Umrechnungsfaktoren dazu können aus Durchschnittsrationen bzw. über eine Palette typischer Futtermittel abgeleitet werden.

Angesichts des hohen Verbreitungsgrades, den die Nettoenergie-Laktation in Europa gefunden hat, wird vorgeschlagen, den Nominalwert der Normen und der energetischen Futterwertangaben für alle Tierarten und Produktionsrichtungen einheitlich auf die Größenordnung der Nettoenergie-Laktation [MJ] (Umrechnungsfaktor (Wiederkäuer) = 0,67) einzustellen (siehe Tab. 5). Für Schweine und Geflügel können auch analoge traditionelle Maßstäbe hergezogen werden.

Tabelle 8: ATP-bezogene Futterbewertung für Wiederkäuer, Schweine und Geflügel

Bezeichnung **Berechnung**

1. Wiederkäuer

Berechnung des nominalen Futterwertes (NFW)

Umsetzbare Energie[1)]

uE [MJ] =	0,0173 vRP +	0,034 vRF +	0,0159 ST +	0,0151 Zu +	0,0154 vNEF-R
multipliziert mit	x	x	x	x	x
Verwertungsrelationen					
ATP-Synthese [2)] (%)	78	92	100	100	70[3)]

Nominaler Futterwert (NFW)
NFW [MJ] = 0,0135 vRP + 0,031 vRF + 0,0159 ST + 0,0151 Zu + 0,0108 vNEF-R

2. Schweine

Berechnung des nominalen Futterwertes (NFW)

Basis WEENDER-Futtermittelanalyse
Umsetzbare Energie1)

uE [MJ] =	0,0210 vRP +	0,0324 vRF +	0,0144 vRFa +	0,0171 vNFE
multipliziert mit	x	x	x	x
Verwertungsrelationen				
ATP-Synthese [2)] (%)	79	92	(70)	100

Nominaler Futterwert (NFW)
NFW [MJ] = 0,0166 vRP + 0,0298 vRF + 0,0101 vRFa + 0,0171 vNFE

Basis WEENDER-Futtermittelanalyse, erweitert auf Stärke und Zucker

Umsetzbare Energie[1)]

uE [MJ] =	0,0182 vRP +	0,0398 vRF +	0,0173 ST +	0,0160 Zu +	0,0170 vNEF-R
multipliziert mit	x	x	x	x	x
Verwertungsrelationen					
ATP-Synthese [2)] (%)	79	92	100	100	(70)

Nominaler Futterwert (NFW)
NFW [MJ] = 0,0144 vRP + 0,0366 vRF + 0,0173 ST + 0,0160 Zu + 0,0119 vNEF-R

3. Geflügel

Berechnung des nominalen Futterwertes (NFW)

Basis WEENDER-Futtermittelanalyse (CHUDY und SCHIEMANN, 1971)
Umsetzbare Energie[1)]

uE [MJ] =	0,0178 vRP +	0,0398 vRF +	0,0177 vRFa +	0,0177 vNFE
Multipliziert mit	x	x	x	x
ATP-Relationen (%)	79	92	(70)	100

Nominaler Futterwert (NFW)
NFW [MJ] = 0,0141 vRP + 0,0366 vRF + 0,0124 vRFa + 0,0177 vNFE

Basis WEENDER-Futtermittelanalyse, erweitert auf Stärke und Zucker

Umsetzbare Energie[1)]

uE [MJ] =	0,0178 vRP +	0,0398 vRF +	0,0175 ST +	0,0160 Zu +	0,0172 vNEF-R
multipliziert mit	x	x	x	x	x
ATP-Relationen (%)	79	92	100	100	(70)

Nominaler Futterwert (NFW)
NFW [MJ] = 0,0141 vRP + 0,0366 vRF + 0,0175 ST + 0,0160 Zu + 0,0120 vNFE-R

4. Anpassung des nominalen Futterwertes an Standards bzw. landesübliche Futterwerteinheiten

==> **Faktor, abgeleitet aus typischen Futterrationen bzw. Bezugsfuttermitteln** zur Relativierung des Nominalen Futterwertes auf die Größenordnung der Nettoenergie-Laktation (Rinder: F= 0,67) oder andere Standards oder anderer landesüblicher Einheiten (landesspezifische Futterbewertung)

==> **Multiplikation mit konstantem, tierartspezifischem Faktor (Wiederkäuer, Schweine und Geflügel)**

==> **landesübliche Futterwertangaben (spezifisch für jedes Land und kompatibel zwischen den einzelnen Ländern)**

[1)] HOFFMANN et al., (1993a, b); [2)] CHUDY und SCHIEMANN (1969) [3)] berechnet

Tabelle 9a: Beispiele für die Berechnung der energetischen Kennzahlen in differenten Futterbewertungssystemen bei Wiederkäuern (Rinder)

Bezeichnung	Roh protein	Rohfett	Stärke	Zucker	NFE-Rest	Faktor* (NEFr)	Energie MJ	rel.	Relationen
1. Gerste									
verd. Nährstoffe [g/kg TS]	90,0	19,75	579	20	100,20				
Faktoren (uE)	0,0173	0,034	0,0159	0,0151	0,0154		13,28	100	100
Umsetzbare Energie [MJ]	1,557	0,6715	9,206	0,302	1,543				
ATP-Relationen [%]	78	92	100	100	75				
Nominaler Futterwert	1,215	0,618	9,206	0,302	1,157		12,49	94	100
Nettoenergie-Fett [MJ]									
Faktoren (NEF) [MJ/g]	0,0065	0,0266	0,0101	0,0075	0,0089				
NEF [MJ]	0,585	0,525	5,848	0,150	0,892	0,998	7,98	60	100
2. Sojaextr.-Schrot									
verd. Nährstoffe [g/kg TS]	445,5	9,75	49	95	233,40				
Umsetzbare Energie [MJ]	7,707	0,332	0,779	1,435	3,594		13,85	100	104
Nominaler Futterwert	6,011	0,305	0,779	1,435	2,696		11,21	81	90
Nettoenergie-Fett MJ]	2,896	0,259	0,495	0,713	2,077	0,9685	6,24	45	78
3. Trockengrünfutter									
verd. Nährstoffe [g/kg TS]	69,6	15,60	40	90	415,95				
Umsetzbare Energie [MJ]	1,204	0,530	0,636	1,359	6,406		10,14	100	76
Nominaler Futterwert [MJ]	0,939	0,488	0,636	1,359	4,805		8,20	81	66
Nettoenergie-Fett [MJ]	0,452	0,415	0,404	0,675	3,702	0,963	5,44	54	68
4. Weizenstroh									
verd. Nährstoffe [g/kg TS]	2,9	6,40	10	10	374,70				
Umsetzbare Energie [MJ]	0,050	0,218	0,159	0,151	5,77		6,35	100	48
Nominaler Futterwert [MJ]	0,039	0,200	0,159	0,151	4,328		4,86	77	39
Nettoenergie-Fett [MJ]	0,019	0,170	0,101	0,075	3,335	0,648	2,40	38	30

Gleichungen zur Berechnung der umsetzbaren Energie und Nettoenergie-Fett nach HOFFMANN et al. (1993b)

*) Verdaulichkeitskorrektur: $F= -0,5574 + 0,0405\ VE + 0,0002633\ VE^2$; VE = Verdaulichkeit der Energie

Tabelle 9b: Beispiele für die Berechnung der energetischen Kennzahlen in differenten Futterbewertungssystemen

Bezeichnung	Rohprotein	Rohfett	Rohfaser	NFE	Energie	rel.	Relationen
1. Gerste							
Rohnährstoffe [g/kgTS]	125	25	60	760			
VC [%]	80	60	10	91			
verd. Nährstoffe [g/kgTS]	100	15	6	692			
Faktoren - (uE)	0,021	0,0324	0,0144	0,0171			
uE [MJ]	2,10	0,49	0,09	11,83	14,51	100	100
ATP-Relationen (%)	79	92	(90)	100	97		
NFW [MJ]	1,66	0,45	0,08	11,83	14,02	97	100
NEF [MJ]	1,07	0,54	0,07	8,58	10.26	71	100
2. Sojaextrakt.-Schrot							
Rohnährstoffe [g/kg TS]	495	15	80	345			
verd. Nährstoffe [g/kg TS]	441	7	64	321			
uE [MJ]	9,25	0,23	0,92	5,49	15,89	100	110
NFW [MJ]	7,31	0,21	0,83	5,49	13,84	87	99
NFE [MJ]	4,72	0,25	0,79	3,89	9,74	61	95

In den Tabellen 9a und 9b sind, um die einfache Verfahrensweise bei der Futterwertberechnung zu demonstrieren, Beispiele für die Berechnung des energetischen Futterwertes auf Basis der Nettoenergie-ATP für Rinder (Gerste, Sojaextraktionsschrot, Trockengrünfutter (Gras), Weizenstroh) für Schweine (Gerste und Sojaextraktionsschrot) einschließlich der Futterwertrelationen (Gerste = 100) im Vergleich zur umsetzbaren Energie und Nettoenergie-Fett aufgeführt.

In den Tabellen 5, 6 und 7 wurden für Rinder, Schweine und Geflügel bereits die nominalen Futterwertangaben und die Relationen für den energetischen Futterwert (Gerste bzw. Mais = 100) der ATP-bezogenen Futterbewertung mit aufgenommen und den entsprechenden Werten der verschiedenen Futterbewertungssysteme gegenübergestellt.

Im Gegensatz zur Überbewertung der proteinreichen (Sojaextraktionsschot 109 bzw.104 % bei Rindern bzw. 108/104 % bei Schweinen) und rohfaserreichen Futtermittel (Weizenstroh 48 % bei Rindern und Trockengrünfutter 61 % bzw. 53 % bei Schweinen) auf Basis der umsetzbaren Energie und zur Überbewertung der fettreichen Futtermittel in den Nettoenergie-Fett-Systemen (Wiederkäuer Sonnenblumensamen 201 bzw. 191 % bei Schweinen bzw. 150 % bei Geflügel) reflektieren die Futterwertrelationen bei der ATP-bezogenen Bewertung in prinzipieller Übereinstimmung mit den anderen Nettoenergie-Systemen und biochemischen Kalkulationen ein insgesamt realistisches und damit besser akzeptierbares Bild des Futterwertes:

Wiederkäuer
Gerste : Sojaextraktionsschrot : Trockengrünfutter : Weizenstroh = 100 : 90 : 66 : 39

Schweine
Gerste : Sojaextraktionsschrot : Sonnenblumensamen : Luzernegrünmehl = 100 : 91 : 163 : 51

Geflügel
Mais : Sojaextraktionsschrot : Sonnenblumensamen : Luzernegrünmehl = 100 : 60 : 132 : 41

Mit diesen praxisrelevanten und über die Tierarten und Produktionsrichtungen hinweg vergleichbaren und kompatiblen Daten empfiehlt sich die ATP-bezogene Futterbewertung nicht nur aus theoretischen Gründen, sondern auch aus Sicht der Anwendung als die geeigneteste Basis einer international konsensfähigen einheitlichen europäischen Futterbewertung.

5.3 Energienormen

Energienormen umfassen die tierseitigen **Faktoren (physiologischer Zustand)** und Einflüsse der Haltungsbedingungen und Produktionsverfahren. Sie sind das variable Element und jeweils dem Zuchtfortschritt und den Produktionsverfahren anzupassen. Daher sind standardisierte Versuchsmethoden zu ihrer Bestimmung und laufenden Aktualisierung notwendig. **Energiebedarfsnormen** sind summarische Größen, die faktoriell wie folgt aufgegliedert werden können:

- **ATP äquivalenter Energieverbrauch (nicht thermischer Energiebedarf)**
  - ATP-Energie zur Deckung des nicht-thermischen Erhaltungsbedarfs
  - ATP-Energie zur Deckung des Energiebedarfs für die Synthese von Körpernährstoffen und Sekreten
  - ATP-Energie für Arbeitsleistungen des Organismus (Bewegung)
- **ATP-äquivalente Energieretention (ATP-Energie der Produkte** = reteniertes ATP-Potential)
  - ATP-äquivalenter Energiegehalt der synthetisierten Körpernährstoffe und Sekrete sowie
- **nicht ATP-äquivalente thermo-regulatorische Energie, d. h. die umsetzbare Energie zur chemischen Wärmeregulation** (Wärme ≠ ATP-Potential)
  - Energie zum Ausgleich des Wärmedefizits bei bestimmten Umweltbedingungen in Abhängigkeit vom Ernährungsniveau (nicht ATP-äquivalenter (= nicht additiver) Stoffwechselbereich)

Für eine **präzise Leistungsvorhersage und Produktionssteuerung** ist zur Definition des Energiebedarfs ein möglichst allen der o. g. energetischen Teilleistungen äquivalenter, d. h. additiver Maßstab für den energetischen Futterwert von entscheidender Bedeutung.

Mit Ausnahme des rein thermoregulatorischen Energiebedarfs, der nur unter spezifischen Haltungs- und Umweltbedingungen von Einfluss ist und im Produktionsgeschehen bei mittlerem und hohem Leistungsniveau keine Rolle spielt, sind alle Komponenten (einschließlich der synthetisierten Produkte) durch ATP-Äquivalenz gekennzeichnet. Somit können mit Hilfe der auf den ATP-Verwertungsrelationen basierenden Angaben zum energetischen Futterwert Energiebedarfsnormen mit einer im Hinblick auf die Leistungsvorhersage hohen Genauigkeit formuliert werden. Die Einbeziehung dieses Wärmebedarfs in die ATP-Energie bezogenen Bedarfsnormen führt lediglich zu einer unbedeutenden Überversorgung der Tiere entsprechend der unterstellten Verwertung der umsetzbaren Energie.

6. Schlussfolgerungen

Auf Basis des oben ausgeführten Vorschlages für ein einheitliches System der ATP-bezogenen energetischen Futterbewertung könnte auf relativ einfachem Wege und ohne größere Umstellungen und Opfer ein großer Fortschritt in Gestalt einer durchgängigen Kompatibilität zwischen den europäischen Futterbewertungssystemen erreicht werden.

Wir verfügen aus den Untersuchungen im eigenen Hause und in Auswertung der nationalen und internationalen Literatur über ein ausreichendes Datenmaterial, um ein ATP-bezogenes Futterbewertungssystem in internationaler Gemeinschaftsarbeit auszuarbeiten. In einigen speziellen Fragen besteht noch Forschungsbedarf. Dies betrifft insbesondere die weitere Präzisierung der ATP-Verwertungsrelationen für die Fermentationsprodukte der Rohfaserfraktion.

Es steht somit die Aufgabe und die Möglichkeit, in internationaler Kooperation ein komplexes ATP-bezogenes System der energetischen Futterbewertung zu schaffen und einzuführen.

Abkürzungen

BE	=	Bruttoenergie
uE	=	umsetzbare Energie
NE	=	Nettenergie
NEF	=	Nettoenergie-Fett
NEL	=	Nettoenergie-Laktation
STE	=	Stärkeeinheiten (Stärkewert)
VE	=	Verdaulichkeit der Energie
NFW	=	Nominaler Futterwert
ATP	=	Adenosintriphosphat
vRP	=	verdauliches Rohprotein (g/kg)
vRF	=	verdauliches Rohfett (g/kg)
vRFa	=	verdauliches Rohfaser (g/kg)
vNFE	=	verdauliche N-freie Extrationstoffe (g/kg)
ST	=	verdauliche Stärke (g/kg)
Zu	=	verdauliche Stärke (g/kg)
vNFE-R	=	verdauliche N-freie Rest-Extraktions- und Faserstoffe (g/kg) (= vNFE + vRF - ST - Zu)

Literatur

AUTORENKOLLEKTIV (1971): Das DDR-Futterbewertungssystem - 1. Auflage, VEB Dt. Landwirtschafts-verlag Berlin, 255 S.

AUTORENKOLLEKTIV (1973): Berechnung von Futterrationen - 1. Auflage, VEB Dt. Landwirtschaftsverlag Berlin, 205 S.

AUTORENKOLLEKTIV (1978): Anwendung des DDR-Futterbewertungssystems in der Pflanzenproduktion - 1. Auflage, VEB Dt. Landwirtschaftsverlag Berlin, 288 S.

AUTORENKOLLEKTIV (1989): Rostocker Futterbewertungssystem - ehemals DDR-Futterbewertungssystem - 7. Auflage, VEB Dt. Landwirtschaftsverlag Berlin, 328 S.

BOISEN, S., M. W. A. VERSTEGEN (1998): Evaluation of Feedstuffs and Pig diets. Energy or Nutrient-based Evaluation? II. Proposal for a New Nutrient-based Evaluation System. Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci. 1998: 48, 95-102

CHUDY, A., R. SCHIEMANN (1969): Utilization of Dietary Fat for Maintenance and Fat Deposition in Model Studies with Rats. (Die Verwertung des Nahrungsfettes für Erhaltung und Fettbildung nach Modellversuchen an Ratten.) 4. Symposium über Energiewechsel. In: Symposium Energy Metabolism of Farm Animals. Hrsg.: BLAXTER, THORBEK, KIELANOWSKI. EAAP-Publ. Nr. 12, Oriel Press Ltd. Newcastle, 161-168

CHUDY, A. , R. SCHIEMANN (1969): Zur energetischen Verwertung der Nähr- und Futterstoffe für Erhaltung und Fettbildung. 1. Mitteilung: Die energetische Verwertung der Nährstoffe für Erhaltung oberhalb der kritischen Temperatur nach Versuchen an Ratten. Arch. Tierernährung Berlin 19: 4, 231-247

CHUDY, A. (1967): Zur energetischen Verwertung der Nähr- und Futterstoffe für Erhaltung und Fettbildung. Modellversuche an Ratten.Dissertation Dt. Akad. Landwirtschaft.-Wiss. Berlin, Sektion Tierzucht, Tierernährung und Fischerei, 166 S.

CHUDY, A., R. SCHIEMANN, (1971): Energetische Verwertung der Futternährstoffe beim Huhn. In: Energetische Futterbewertung und Energienormen (SCHIEMANN, R., K. NEHRING, L. HOFFMANN, W. JENTSCH, A. CHUDY Hrsg.) VEB Dt. Landwirtschaftsverlag Berlin, 168-202

CHUDY, A. (2000): Energieumsatz: Einflussfaktoren, Modellierung und energetische Futterbewertung. 1. Mitteilung: Einflussfaktoren auf den Energieumsatz. Lohmann Information, 4/2000, 19-28

CHUDY, A. (2001): Energieumsatz: Einflussfaktoren, Modellierung und energetische Futterbewertung. 2. Mitteilung: Das ATP-Konzept - Basis für Interpretation und Modellierung des Energiewechsels, 1/2001, 13-22

CHUDY, A., Z. SHEN, O. BELLMANN (2000): Relations of energetic utilization by ATP-synthesis of rumen fermentation products (VFAs and lactic acid) in sheep. In: Energy metabolim in animals, EAAP publication No 1003,2001, Snekkersten, Denmark,11-16, 221-224

DLG-Futtermitteltabellen - Schweine (1991): 6. erweiterte und völlig neu gestaltete Auflage - Frankfurt am Main, S. 12

DLG-Futtermitteltabellen - Wiederkäuer (1997): 7. erweiterte und überarbeitete Auflage - Frankfurt am Main, S. 10-15

EMMANS, G. C. (1994) : Effective energy: a concept of energy utilization applied across species. Britisch Journal of Nutrition, 71: 801-821

GÄDEKEN, D., E. SCHULZ, K. ROHR (1992): Untersuchungen zum Einfluß der bakteriell fermentierbaren Substanz (BFS) auf die Verwertung der umsetzbaren Energie bei Schweinen. Agribiol. Res. 45: 4, 321-332

GfE (1995): 6. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastrinder, 85 S

GfE (1999): 7. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner, 185 S

GfE (2001): 8. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder, 135 S

HÄRTEL, H., W. SCHNEIDER, R. SEIBOLD, H. J. LANTZSCH (1977): Beziehungen zwischen der N-korrigierten umsetzbaren Energie und den Nährstoffgehalten des Futters beim Huhn. Arch. Geflügelkde. 41, 152-181

HOFFMANN, L. (1993a): Vorschlag für die Einführung eines für alle Nutztierarten nach einheitlichen Parametern und Prinzipien aufgebauten Systems der energetischen Futterbewertung. 1. Mitt.: Energetische Futterbewertung für Rinder. Arch Anim. Nutr. 45: 245-261

HOFFMANN, L., W. JENTSCH, M. BEYER (1993b): Abhängigkeit von Brutto-, verdaulicher und umsetzbarer Energie des Futters sowie des Energieansatzes vom Gehalt an verdaulichen Nährstoffen unter Berücksichtigung von Stärke und Zucker, ein Beitrag zur Weiterentwicklung der energetischen Futterbewertung. 2. Mitt.: Ergebnisse aus Untersuchungen mit Rindern. Arch. Anim. Nutr. 44, 235-250.

HOFFMANN, L. (1994a): Vorschlag für die Einführung eines für alle Nutztierarten nach einheitlichen Parametern und Prinzipien aufgebauten Systems der energetischen Futterbewertung. 2. Mitt.: Energetische Futterbewertung für Schweine. Arch. Anim. Nutr. 46: 237-254

HOFFMANN, L. (1994b): Vorschlag für die Einführung eines für alle Nutztierarten nach einheitlichen Parametern und Prinzipien aufgebauten Systems der energetischen Futterbewertung. 3. Mitt.: Energetische Futterbewertung für Hühner. Arch. Anim. Nutr. 47: 115-130

HOFFMANN, L. (1994c): ATP- und NEF-Äquivalente im Vergleich als Maßstäbe energetischer Futterbewertung. Das Wirtschaftseigene Futter 40: 142-160

HOFFMANN, L. (1998): The metabolizable energy as a basis for standardisation of energetic feed evaluation. Arch. Anim. Nutr. 51: 127-134

HOFFMANN, L., R. SCHIEMANN (1985): Zur Weiterentwicklung der energetischen Futterbewertung. Arch. Tierernähr. 35: 439-460

HOFFMANN, L., M. BEYER, W. JENTSCH (1993): Abhängigkeit von Brutto-,verdaulicher und umsetzbarer Energie des Futters sowie des Energieansatzes vom Gehalt an verdaulichen Nährstoffen unter Berücksichtigung von Stärke und Zucker. Ein Beitrag zur Weiterentwicklung der energetischen Futterbewertung. 1. Mitt.: Ergebnisse aus Untersuchungen mit Schweinen. Arch. Anim. Nutr. 44: 123-137

HOFFMANN, L., R. SCHIEMANN, W. JENTSCH (1972): Die energetische Verwertung der Nährstoffe in Futterrationen. In: AUTORENKOLLEKTIV: Energetische Futterbewertung und Energienormen. VEB DLV Berlin, 118-167

HOFFMANN, L., R. SCHIEMANN, W. JENTSCH (1971): Energetische Verwertung der Nährstoffe in Futterrationen. In: Energetische Futterbewertung und Energienormen. VEB Deutscher Landw.-verlag Berlin, 118 - 167.

JAGER (1988): Jahrbuch für Geflügelwirtschaft, Verlag Eugen Ulmer, 112-119

JENTSCH, W., A. CHUDY, M. BEYER (2000): Historischer Rückblick und die Arbeiten in Rostock zur energetischen Futterbewertung, Übers. Tierernährung, 28: 133-182

JENTSCH, W., M. BEYER, A. CHUDY (2001): Zur Weiterentwicklung des Rostocker Futterbewertungssystems und ein Vergleich mit anderen Bewertungssystemen Übers. Tierernährung, 29: im Druck

JUST, A. (1975): Feed evaluation in pigs. World Rev. Anim. prod., 11: 18-30

JUST, A. (1982): The net energy value of balanced diets for growing pigs. Livest. Prod. Sci., 8: 541-555

MARTIN-ROSSET, W., M. VERMOREL, J. L. TISSERAND (1990): The new French Net Energy (UFC) and Horse digestible Crude Protein (MADC) System.41st Anual Meeting of the Eurpean Association for Animal Production, Toulouse (France), 9-12 July

NOBLET, J., H. FORTUNE, X. S. SHI, S. DUBOIS (1994): Prediction of Net Energy Value of Feeds for Growing Pigs. Journal of Animal Science 72: 344-354

NOBLET, J., X. S. SHI, H. FORTUNE, S. DUBOIS (1994): Effectt of Diet Composition on the Efficiency of utilisation of Metabolizable Energy for Maintenance or Growth in Pigs. EAAP-Publ. No. 76

SCHEELE C. W., W. M. M. A. JANSSEN, M. W. A. VERSTEGEN (1976): Feed energy that can be stored in high energy phosphate bonds, as a determinant for predicting the energy value of poultry feeds. Tag.-Ber. EAAP-Publication Nr. 19, Energiewechselsymposium Vichy, S. 277

SCHIEMANN, R. (1969): The Scientific Demands Made of a System for Evaluating Feeds as Energy Sources and Progress Made towards their Realizatiuon. 4. Symposium über Energiewechsel. In: Symposium Energy Metabolism of Farm Animals. Hrsg.: BLAXTER, THORBEK, KIELANOWSKI. EAAP-Publ. Nr. 12, Oriel Press Ltd. Newcastle, 31-40

SCHIEMANN, R., K. NEHRING, L. HOFFMANN, W. JENTSCH, A. CHUDY (1971): Experimentelle Vorarbeiten und theoretische Grundlagen für die Aufstellung eines neuen energetischen Futterbewertungssystems. In: AUTORENKOLLEKTIV: Energetische Futterbewertung und Energienormen. VEB DLV Berlin, 20-61

SCHIEMANN, R., L. HOFFMANN, W. JENTSCH, M. BEYER (1989): Investigations on the energetic utilization of rations with a high variation in the content of different carbohydrate fractions in adult pigs. Energy Metabolism of Farm Animals. Proc. of the 11th Symp., Lunteren, Netherlands, 18.-24. Sept. 1988, EAAP-Publ. No. 43: 316-319

SCHIEMANN, R. (1969): The Scientific Demands Made of a System for Evaluating Feeds as Energy Sources and Progress Made towards their Realizatiuon.4. Symposium über Energiewechsel. In: Symposium Energy Metabolism of Farm Animals. Hrsg.: BLAXTER, THORBEK, KIELANOWSKI. EAAP-Publ. Nr. 12, Oriel Press Ltd. Newcastle, 31-40

VERMOREL, M., W. MARTIN-ROSSET (1991): The new French Net Energy System (UFC). Annual Scientific Advisory Board Conference Ralston Purina International, Paris (France), 17 th September