

Institute of Agroecology

Ulrich Dämmgen
Manfred Lüttich

The derivation of nitrogen excretions for dairy cows from available statistical data

Published in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 291, pp. 231-243

Braunschweig
Federal Agricultural Research Centre (FAL)
2005

The Derivation of Nitrogen Excretions for Dairy Cows from Available Statistical Data

Die Ableitung von Stickstoff-Ausscheidungen bei Milchkühen aus statistisch verfügbaren Datensätzen

Ulrich Dämmgen and Manfred Lüttich¹

1 Einleitung

Bei den landwirtschaftlichen Emissionen von Ammoniak (NH₃) Mit einem Anteil von etwa 30 % stellen die NH₃-Emissionen aus der Milchkühhaltung die mit Abstand größte Einzelquelle dar. Der Minimierung der Unsicherheiten bei der Berechnung der Emissionen kommt hier also eine besondere Bedeutung im Qualitätsmanagement der Emissionsinventare zu. Der erste Schritt hierbei ist eine zutreffende Bestimmung der Stickstoff-(N)-Ausscheidungen, und zwar der Stickstoff-Ausscheidungen insgesamt als auch des leicht des ammonifizierbaren Stickstoffs (total nitrogen, N_{tot}, und total ammonical nitrogen, TAN).

Die Angaben für N-Ausscheidungen von 100 kg Tier⁻¹ a⁻¹ bei EMEP/CORINAIR (2003) und bei IPCC (1996) können bestenfalls als Anhaltspunkte dienen. In Deutschland werden in Flächenbilanzen konstante N-Ausscheidungen von Milchkühen von 110 kg Tier⁻¹ a⁻¹ N angenommen (Frede und Bach, 2002); Rogasik et al. (2004) verwenden 115 kg Tier⁻¹ a⁻¹ N für die deutsche Stickstoff-Stallbilanz.

N-Ausscheidungen sind stets Funktionen der Leistung des Tiers, seines Gewichtes, seiner Fütterung und seiner Futtermittelverwertung. Auch die Reproduktion zählt zur Leistung.

Unter Berücksichtigung der Erhaltungssätze gilt dann:

$$m_{\text{feed}} - m_{\text{g}} - m_{\text{calf}} - m_{\text{milk}} - m_{\text{urine}} - m_{\text{faeces}} = 0$$

where	m_{feed}	amount of N in feed (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	m_{g}	amount of N retained in animal during growth (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	m_{calf}	amount of N bound in calf (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	m_{milk}	amount of N secreted with milk (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	m_{urine}	amount of N excreted in urine (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	m_{faeces}	amount of N excreted in faeces (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)

Die mit Urin und Kot ausgeschiedenen Mengen (oder ihre Summe) lassen sich auf diese Weise berechnen, wenn alle anderen Parameter bekannt sind. Sie lassen sich aber auch durch Regressionen ermitteln, die die wesentlichen Einflussgrößen enthalten.

1 Introduction

Agricultural emissions of ammonia (NH₃) are governed by the emissions from dairy cattle husbandry, which forms the largest single source by far with a share of 30 % of total emissions. Thus a reduction of the uncertainties in the calculation of these emissions is of importance in the quality management of emission inventories. A first step is the appropriate assessment of the amount of nitrogen (N) excreted, in fact as total nitrogen excreted (N_{tot}) as well as the portion which is readily converted to NH₃, the so-called total ammonical nitrogen (TAN).

EMEP/CORINAIR (2003) and IPCC (1996) give N emissions of dairy cows as 100 kg animal⁻¹ a⁻¹, which can serve as first orientation. In Germany, values of 110 kg animal⁻¹ a⁻¹ N for dairy cows (constant in time and space) are used by Frede and Bach (2002) to establish regional N balances. Rogasik et al. (2004) use 115 kg animal⁻¹ a⁻¹ N for farm N balances.

N excretion is always a function of animal performance, animal weight, feed composition and digestion. Reproduction is part of performance.

Mass and energy conservation leads to the following basic relation:

The amounts of N excreted with urine or faeces (or their total) can be calculated from this equation, if all other parameters are known. Another way to assess these entities is the use of regressions which make use of the most important parameters.

¹ Federal Agricultural Research Centre, Institute of Agroecology, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Germany

$$m_{\text{excreted}} = f(Y, w, \text{feed}, \dots)$$

where	m_{excreted}	amount of N in excrements (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	Y	annual milk yield (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹)
	w	animal weight (in kg animal ⁻¹)
	feed	amount and/or quality of feed

Bei Milchkühen ist offenbar die wichtigste Einflussgröße die Milchleistung je Tier.

Für Deutschland existieren mehrere Regressions-Beziehungen sowie ein Massenbilanz-Rechenverfahren. Massenbilanz-Rechenverfahren aus Staaten, deren Landwirtschaft mit der deutschen möglicherweise vergleichbar ist, wurden in Dänemark und dem Vereinigten Königreich beschrieben. Das international angewendete Modell RAINS berechnet auch Emissionen für Deutschland und bedient sich dabei eines Regressionsmodells zur Beschreibung der N-Ausscheidung. Es wurde ebenfalls einbezogen.

Die acht Verfahren wurden miteinander verglichen und auf ihre Anwendbarkeit überprüft mit dem Ziel, das für die deutschen Inventare am ehesten geeignete Verfahren zu identifizieren.

2 Die Regressions-Verfahren

2.1 Das RAINS-Verfahren

In dem integrierten Bemessungsmodell RAINS² wird die N-Ausscheidung von Milchkühen zur Ableitung von NH₃-Emissionsfaktoren verwendet. Wenn entsprechende nationale Daten nicht verfügbar sind, wendet RAINS ein einfaches Regressionsmodell an, das die N-Ausscheidung mit der Milchleistung verknüpft (Klimont und Brink, 2004):

$$m_{\text{excreted}} = m_0 + a \cdot Y$$

where	m_{excreted}	amount of N excreted (in kg place ⁻¹ a ⁻¹ N)
	m_0	constant ($m_0 = 0.2271$ kg place ⁻¹ a ⁻¹ N)
	a	constant ($a = 0.0178$ kg N (kg milk) ⁻¹)
	Y	milk yield (in kg place ⁻¹ a ⁻¹)

Die Datengrundlage sind Literaturwerte aus europäischen Studien. Das Bestimmtheitsmaß beträgt $R^2 = 0,84$.

2.2 Das LWK-Hannover-Verfahren

In den Richtwerten für die Nährstoffausscheidung landwirtschaftlicher Nutztiere gibt die Landwirtschaftskammer Hannover (LWK-Han-

For dairy cows, the most decisive parameter is obviously the milk yield per animal.

For Germany several regression models exist or can be applied to the German situation. Also, a mass balance approach is available. Other mass balance approaches developed in countries whose agriculture may be comparable to the German one, were described for Denmark and the United Kingdom. The internationally applied model RAINS calculates emissions for Germany. It uses a regression model to assess N excretion. It was therefore included into the comparison.

The eight calculation procedures were compared and tested for their applicability in order to find the procedure which is best suited to serve the inventory making process in Germany.

2 The regression methods

2.1 The RAINS method

Within the RAINS² integrated assessment model, N excretion of dairy cows is an important figure for the derivation of NH₃ emission factors. If national data are not communicated, RAINS uses a simple regression relating milk yield to N excretion (Klimont and Brink, 2004):

The regression is based on literature data from European studies. The coefficient of determination $R^2 = 0.84$.

2.2 The LWK-Hannover approach

In their guidance document on nutrient excretions, the Hannover Chamber of Agriculture (Landwirtschaftskammer, LWK-Hannover, 2002)

² Regional Air Pollution Information and Simulation, developed by International Institute of Applied Systems Analysis, IIASA, at Laxenburg, Austria

nover, 2002) vier Datenpaare, aus denen sich die folgende Regression ableiten lässt:

$$m_{\text{excreted}} = m_0 + a \cdot Y$$

where m_0 constant ($m_0 = 45.15 \text{ kg place}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$)
 a constant ($a = 0.00993 \text{ kg N (kg milk)}^{-1}$)

Die Herkunft der Daten wird nicht berichtet. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,995.

2.3 Das FAL-LR-Verfahren

Am Institut für Ländliche Räume der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) findet ein Regressions-Verfahren Anwendung, das die N-Ausscheidungen aus der Milchleitung und dem Gras-Anteil $x_{\text{m, grass}}$ im Futter ableitet. Dieses Verfahren wurde den bisherigen deutschen Emissionsinventaren, die mit Hilfe von GAS-EM berechnet wurden (Dämmgen et al., 2002, 2003) zugrundegelegt.

$$m_{\text{excreted}} = (m_0 + a \cdot Y) \cdot f_{\text{grass}}$$

where m_0 constant ($m_0 = 45 \text{ kg place}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$)
 a constant ($a = 0.0095 \text{ kg N (kg milk)}^{-1}$)
 Y milk yield (in $\text{kg place}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ milk}$)
 f_{grass} correction factor regarding the grass share in the diet

Der Korrekturfaktor f_{grass} wurde wie folgt ermittelt:

$$\begin{aligned} x_{\text{m, grass}} &> 0.75 \\ 0.35 < x_{\text{m, grass}} &< 0.75 \\ x_{\text{m, grass}} &< 0.35 \end{aligned}$$

where $x_{\text{m, grass}}$ share of grass and grass silage in forage dry matter (in kg kg^{-1})

Der Schätzung liegen 3 Datenpaare der Landwirtschaftskammer Hannover (LWK-Hannover, 1997) sowie 2 Datenpaare der Musterverwaltungsvorschrift (zitiert bei Frede und Dabbert, 1998) zugrunde. Das Bestimmtheitsmaß für die Schätzung beträgt 0,98.

2.4 Das RAUMIS-Verfahren

Das gesamtdeutsche Agrarsektormodell RAUMIS (Heinrichsmeyer et al., 1996) verwendet in seinem Kapitel 8 (Nährstoffbilanzierung in RAUMIS) die Regressionsbeziehung:

provides a data set for milk yields and N excretions (4 pairs), from which the following regression can be constructed:

The origin of the underlying data is not reported. The correlation coefficient is 0.995.

2.3 The FAL-LR method

The Institute of Rural Studies of the Federal Agricultural Research Centre (FAL) makes use of a regression approach which relates N excretion to milk yield and the share of grass $x_{\text{m, grass}}$ in the diet. This approach was used in those previously published German emission inventories which were calculated using GAS-EM (Dämmgen et al., 2002, 2003).

The correction factor was determined as follows:

$$\begin{aligned} f_{\text{grass}} &= 1.1275 \\ f_{\text{grass}} &= (1 + 0.1275) \cdot (x_{\text{m, grass}} - 0.35) \cdot 100/40 \\ f_{\text{grass}} &= 1 \end{aligned}$$

The approach is based on 3 data pairs originating from the Hannover Chamber of Agriculture (LWK-Hannover, 1997) and 2 pairs of the official nutrient balance guidance (as cited in Frede and Dabbert, 1008). The coefficient of determination is 0.98.

2.4 The RAUMIS method

In its chapter 8 (nutrient balances in RAUMIS), the German agricultural sector model RAUMIS (Heinrichsmeyer et al., 1996) applies the following regression:

$$m_{\text{excreted}} = m_0 + a \cdot Y$$

where m_0 constant ($m_0 = 60.5 \text{ kg place}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$)
 a constant ($a = 0.0084 \text{ kg N (kg milk)}^{-1}$)

Die Verfasser geben in Heinrichsmeyer et al. (1996, S. 137) an, dass die Parameter vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zur Verfügung gestellt wurden. Sie wurden „leicht verändert“, ohne das beschrieben wurde, warum, wo und wie dies geschehen ist.

2.5 Das LfL-Verfahren

Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 2004) gibt zwei Regressionsgleichungen an, die je nach dem Grünlandanteil $x_{A, \text{grass}}$ an der Gesamtfläche des betrachteten Betriebes anzuwenden sind:

$$m_{\text{excreted}} = m_0 + a \cdot Y$$

where $x_{A, \text{grass}} < 0.75$ $m_0 = 42 \text{ kg place}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$
 $a = 0.010 \text{ kg N (kg milk)}^{-1}$
 $x_{A, \text{grass}} > 0.75$ $m_0 = 73 \text{ kg place}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$
 $a = 0.007 \text{ kg N (kg milk)}^{-1}$

with $x_{A, \text{grass}}$ area of grassland on a farm related to overall area of the farm

Der Datensatz oder die Güte der Regression werden nicht beschrieben.

3 Die Massenbilanz-Verfahren

3.1 Das GfE-Verfahren

GfE (2001) gibt Richtzahlen zur Proteinversorgung von Milchkühen an. Die Menge des ausgeschiedenen N wird aus dem Proteinbedarf und den Ausscheidungen mit der Milch und dem Kalb berechnet. Das Gewicht der Kuh w_{cow} wird als im Mittel gleichbleibend angesehen.

$$m_{\text{feed}} - m_{\text{g}} - m_{\text{calf}} - m_{\text{milk}} = m_{\text{excreted}}$$

where m_{feed} amount of nitrogen intake with feed (in $\text{kg animal}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$)
 m_{g} amount of nitrogen retained with growth ($m_{\text{g}} = 0$)
 m_{calf} amount of nitrogen lost with the calf
 m_{milk} amount of nitrogen secreted with milk

Die Protein-Aufnahme wird aus der folgenden Beziehung abgeleitet:

The authors explain that their data base was provided by the German Federal Ministry of Nutrition, Agriculture and Forestry. They were used with “slight changes”. However, these changes and the reasons for the change were not documented.

2.5 The LfL method

The Bavarian Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 2004) provides two equations, which are to be used according to the share of grassland in the respective area or enterprise:

No reference is made towards the origin of the data nor to the quality of the regression.

3 Mass balance methods

3.1 The GfE method

GfE (2001) provides “approximate values” for the protein supply of dairy cows. The amount of N excreted is derived from the protein requirements and the losses with milk and with the calf. The weight of the cow w_{cow} is considered to be constant.

The protein intake is given by the following relation:

$$m_{\text{feed}} = m_{\text{m}} + m_{\text{p}} + m_{\text{l}}$$

where	m_{feed}	amount of nitrogen intake with feed (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	m_{m}	amount of nitrogen required for maintenance
	m_{p}	amount of nitrogen required for pregnancy
	m_{l}	amount of nitrogen required for lactation

Die einzelnen Terme werden wie folgt bestimmt:

The single terms of this equation are determined as follows:

$$m_{\text{m}} = m_{\text{XP},\text{m}} \cdot x_{\text{N}} = (a + b \cdot w) \cdot x_{\text{N}} \cdot \alpha$$

where	$m_{\text{XP},\text{feed}}$	crude protein intake for maintenance (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ XP)
	a	constant ($a = 0.19$ kg animal ⁻¹ d ⁻¹ XP)
	b	constant ($b = 0.004$ kg kg ⁻¹)
	w	animal weight (in kg animal ⁻¹)
	x_{N}	nitrogen content of crude protein ($x_{\text{N}} = 1/6.25$ kg kg ⁻¹ N)
	α	time conversion factor ($\alpha = 365$ d a ⁻¹)

and

$$m_{\text{p},1} = t_1 \cdot m_{\text{XP},1} \cdot x_{\text{N}}$$

$$m_{\text{p},2} = t_2 \cdot m_{\text{XP},2} \cdot x_{\text{N}}$$

where	$m_{\text{p},1}$	amount of nitrogen required for pregnancy period 1
	t_1	duration of pregnancy period 1 ($t_1 = 21$ d a ⁻¹)
	$m_{\text{XP},1}$	amount of crude protein XP required for pregnancy period 1 ($m_{\text{XP},1} = 1.135$ kg d ⁻¹ XP)
	t_2	duration of pregnancy period 2 ($t_2 = 21$ d a ⁻¹)
	$m_{\text{XP},2}$	amount of crude protein XP required for pregnancy period 2 ($m_{\text{XP},2} = 1.230$ kg d ⁻¹ XP)
	x_{N}	nitrogen content in XP ($x_{\text{N}} = 1/6.25$ kg kg ⁻¹ N)

as well as

$$m_{\text{l}} = (d + e \cdot x_{\text{MP}}) \cdot Y \cdot x_{\text{N}}$$

where	m_{l}	amount of nitrogen required for lactation (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	d	constant ($d = 0.017$ kg MP)
	e	constant ($e = 0.020$ kg)
	x_{MP}	milk protein content (in kg kg ⁻¹ MP)
	Y	milk yield (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹)

Die N-Menge, die bei der Geburt des Kalbs und mit der Milch abgegeben wird, berechnet sich zu:

The amount of N lost with the pregnancy products (calf) and the milk are:

$$m_{\text{calf}} = n_{\text{calf}} \cdot w_{\text{calf}} \cdot x_{\text{N},\text{calf}}$$

$$m_{\text{milk}} = Y \cdot x_{\text{N},\text{milk}}$$

where	n_{calf}	number of calves per year ($n = 1.0$ animal a ⁻¹)
	w_{calf}	weight of the calf ($w = 36$ kg animal ⁻¹)
	$x_{\text{N},\text{calf}}$	nitrogen content of the calf ($x_{\text{N},\text{calf}} = 0.0296$ kg kg ⁻¹ N)

and	x_{MP}	protein content of milk (in kg kg ⁻¹ MP)
	$x_{\text{N},\text{milk}}$	nitrogen content of milk protein ($x_{\text{N},\text{milk}} = 1/6.38$ kg kg ⁻¹ N)

Die Datenherkunft und die Qualität der Regressionen sind in GfE (2001) ausführlich beschrieben.

The data sources and the quality of the regressions involved are described in detail in GfE (2001).

3.2 Das EC-Verfahren

Der hier als EC-Verfahren bezeichnete Rechenweg wurde von der Europäischen Kommission (2002) veröffentlicht und im Vereinigten Königreich angewendet und von dort bereitgestellt (B. Cottrill, ADAS, UK, Privatmitteilung). Die Bilanzgleichung lautet:

$$m_{\text{feed}} - m_{\text{g}} - m_{\text{calf}} - m_{\text{milk}} = m_{\text{excreted}}$$

Die N-Aufnahme der Kuh mit dem Futter wird aus ihrem Gewicht, der Milchleistung und dem durchschnittlichen N-Gehalt des Futters abgeleitet:

$$m_{\text{feed}} = (a \cdot w_{\text{cow}}^{0.75} + b \cdot Y) \cdot x_{\text{N, feed}}$$

where	m_{feed}	amount of nitrogen intake with feed (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	a	constant ($a = 19 \text{ kg animal}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ DM}$)
	w	scalar of w
	w	animal weight (in kg animal ⁻¹)
	b	constant ($b = 0.5 \text{ kg DM (kg milk)}^{-1}$)
	$x_{\text{N, feed}}$	N content of feed ($x_{\text{N, feed}} = 0.026 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$)

Die N-Verluste mit der Geburt des Kalbs m_{calf} und die mit der Milch ausgeschiedene N-Menge m_{milk} werden wie in GfE (2001) (siehe oben) berechnet. Die N-Retention m_{g} ergibt sich zu:

$$m_{\text{g}} = w \cdot x_{\text{N, cow}}$$

where	m_{g}	amount of N retained in animal during growth (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	$x_{\text{N, cow}}$	N content of cow mass gained ($x_{\text{N, cow}} = 0.025 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$)

Die N-Ausscheidung wird dann wie oben aus der Bilanz-Gleichung bestimmt.

Zur Herkunft der Konstanten siehe AB-DLO – ERM (1999).

3.3 Das dänische Verfahren

Das dänische Verfahren leitet Standard-Werte aus Experimenten und Bilanz-Erwägungen ab. Das Verfahren ist bei Poulsen und Kristensen (1998) und Poulsen et al. (2001) ausführlich beschrieben.

Unter Berücksichtigung des Massen-Erhalts ergibt sich

3.2 The EC method

The calculation procedure called EC method was published by the European Commission (2002). It has been used in and communicated by the United Kingdom. (B. Cottrill, ADAS, UK, private communication). The balance used is:

The N intake with feed is derived from animal weight, its milk yield and the mean N contents of the diet:

N losses with the body of the calf and with milk are calculated in the same way as in GfE (2001) (see above). The N retained is calculated as

N excretion is then calculated using the mass balance equation as above.

For the data base see AB-DLO –ERM (1999).

3.3 The Danish procedure

The Danish method is established using standard values derived from experiments and balance considerations. The procedure is described in detail in Poulsen and Kristensen (1998) and Poulsen et al. (2001).

On the base of mass conservation, the calculation procedure makes use of the following basic assumption:

$$m_{\text{feed}} - m_{\text{g}} - m_{\text{calf}} - m_{\text{milk}} = m_{\text{urine}} + m_{\text{faeces}}$$

where	m_{feed}	amount of N in feed (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	m_{g}	amount of N retained in animal during growth (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	m_{calf}	amount of N bound in calf (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	m_{milk}	amount of N secreted with milk (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	m_{urine}	amount of N excreted in urine (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)
	m_{faeces}	amount of N excreted in faeces (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹ N)

Zur Beschreibung der aufgenommenen Futtermenge bezieht sich das Verfahren nicht auf den Energie- und Protein-Bedarf (wie GfE, 2001), sondern auf Fütterungsexperimente und auf die Analyse von Daten, die von Danish Periodic Feed Control zur Verfügung gestellt wurden. Das Verfahren benutzt die Skandinavische Futter Einheit (Scandinavian Feed Unit, SFU)³ zur Beschreibung der Energiemengen. Die so beschriebenen Energiemengen werden in diesem Dokument als „Standardenergien“ (*SE*) bezeichnet.

Die mit der Nahrung aufgenommene N-Menge ergibt sich aus der Standardenergie wie folgt:

For the determination of feed intake, the methodology is not based on the energy and protein demand of the cows (as in GfE 2001) but rather on feeding experiments and analyses of data provided by the Danish Periodic Feed Control conducted on cattle farms in practice. The basic energy unit used is the Scandinavian Feed Unit (SFU)³. The energy described with this unit is named “standard energy” (*SE*) in this document.

N intake with feed m_{feed} is obtained from the standard energy according to

$$m_{\text{feed}} = SE_{\text{feed}} \cdot x_{\text{XP}} \cdot x_{\text{N}}$$

where	SE_{feed}	standard energy intake with feed (in SFU animal ⁻¹ a ⁻¹)
	x_{XP}	mean N content of crude protein XP in feed (in kg SFU ⁻¹ XP)
	x_{N}	N content in XP ($x_{\text{N}} = 1/6.25 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$)

with
$$SE_{\text{feed}} = SE_{\text{m}} + SE_{\text{l}} + SE_{\text{p}} + SE_{\text{g}}$$

where	SE	standard energy (in SFU animal ⁻¹ a ⁻¹)
	SE_{m}	standard energy required for maintenance
	SE_{l}	standard energy required for lactation
	SE_{p}	standard energy required for foetus growth
	SE_{g}	standard energy required for growth

Der Rohprotein-Gehalt des Futters x_{XP} ist das gewichtete Mittel aus den entsprechenden Gehalten des Raufutters auf der Weide und im Stall; Wichtungsfaktor ist der Zeitanteil von Weidegang und Aufenthaltsdauer im Stall:

The crude protein content of the feed x_{XP} is obtained as weighted mean from the respective contents of feed taken in during grazing and in the animal house using the share of time the animals spend grazing:

$$x_{\text{XP}} = \left(1 - \frac{t_{\text{graz}}}{\alpha}\right) \cdot x_{\text{XP,house}} + \frac{t_{\text{graz}}}{\alpha} \cdot x_{\text{XP,graz}}$$

where	t_{graz}	duration of grazing (in d a ⁻¹)
	α	time constant ($\alpha = 365 \text{ d a}^{-1}$)
	$x_{\text{XP,house}}$	concentration of crude protein in typical feed in the animal house (related to <i>SE</i>) ($x_{\text{XP,house}} = 0.173 \text{ kg SFU}^{-1}$)
	$x_{\text{XP,graz}}$	concentration of crude protein in typical feed during grazing (related to <i>SE</i>) ($x_{\text{XP,graz}} = 0.183 \text{ kg SFU}^{-1}$)

Die Berechnung der Standard-Erhaltungenergie SE_{m} setzt die Kenntnis des Tiergewichts voraus. In Deutschland müssen diese Gewichte

The standard energy required for maintenance SE_{m} presupposes knowledge of the mean animal weight. In Germany, animal weights are available

³ 1 SFU *SE* is approximately equivalent to 12 MJ *ME*.

aus den Schlachtkörper-Gewichten abgeleitet werden.

as carcass weights, from which live weights can be derived.

$$SE_m = \left(\frac{w_{\text{cow}}}{i} + j \right) \cdot \alpha \cdot k$$

where	w_{cow}	animal weight (in kg animal ⁻¹)
	i	specific weight per unit of standard energy required ($i = 200$ kg animal ⁻¹)
	j	constant ($j = 1.5$)
	α	time conversion factor ($\alpha = 365$ d a ⁻¹)
	k	specific energy consumption ($k = 1.1$ SFU kg ⁻¹ d ⁻¹)

Die Standard-Laktationsenergie SE_l ergibt sich aus der Milchleistung und -zusammensetzung. Daten für die Milchfett- und Milcheiweißgehalte sind für Deutschland verfügbar.

The standard energy required for lactation SE_l is derived from milk yield and composition. Data on milk fat content and milk protein content are available throughout Germany.

$$SE_l = g \cdot Y_{m,\text{corr}} + h \cdot Y_{m,\text{corr}}^2$$

where	SE_l	standard energy required for lactation (in SFU animal ⁻¹ a ⁻¹)
	$Y_{m,\text{corr}}$	annual milk yield, corrected for fat and protein content (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹)
	g	constant ($g = 0.4$ SFU kg ⁻¹)
	h	constant ($h = 0.0000167$ SFU kg ⁻² animal a)

with

$$Y_{m,\text{corr}} = Y_m \cdot \frac{c \cdot x_f + d \cdot x_{\text{mp}} + e}{f}$$

where	Y_m	annual milk yield (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹)
	c	constant ($c = 0.00383$)
	x_f	fat content of milk (in kg kg ⁻¹)
	d	constant ($d = 0.00242$)
	x_{mp}	protein content of milk (in kg kg ⁻¹)
	e	constant ($e = 0.7832$)
	f	constant ($f = 3.14$)

Die Standard-Reproduktionsenergie SE_p wird als constant angesehen. Für schwere Rassen wird angenommen: $SE_p = 130$ SFU Tier⁻¹ a⁻¹.

The standard energy required for pregnancy SE_p is assumed to be constant (for heavy cattle: $SE_p = 130$ SFU animal⁻¹ a⁻¹).

Die Standard-Wachstumsenergie SE_g wird von der Gewichtszunahme abgeleitet:

The Standard energy required for growth SE_g is derived from the growth rate.

$$SE_g = \Delta w \cdot c_{\text{SEg}}$$

where	SE_g	standard energy for growth (in SFU animal ⁻¹ a ⁻¹)
	Δw	weight gain (in kg animal ⁻¹ a ⁻¹)
	c_{SEg}	specific energy consumption for growth ($c_{\text{SEg}} = 4.0$ SFU kg ⁻¹)

Die mit der Milch ausgeschiedene N-Menge ist eine Funktion der Milchmenge und dem N-Gehalt der Milch:

The amount of nitrogen excreted with milk m_l is a function of milk yield and nitrogen content of the milk.

$$m_l = Y_m \cdot x_{\text{p,milk}} \cdot x_{\text{N,milk}}$$

where	$x_{\text{p,milk}}$	protein content of milk (in kg kg ⁻¹ protein)
	$x_{\text{N,milk}}$	nitrogen content of milk protein ($x_{\text{N,milk}} = 1/6.38$ kg kg ⁻¹ N)

Die N-Retention im Körper der Kuh lässt sich aus der Gewichtszunahme und dem typischen N-Gehalt des Gewichtszuwachses errechnen. Für erwachsene Kühe ist diese Menge nahezu Null.

The amount of nitrogen retained in the cow's body m_g is calculated from the weight gain and the mean nitrogen content of the cow. For adult cows, this term can be assumed to be close to zero.

$$m_g = \Delta w_{\text{cow}} \cdot x_{\text{N,cow}}$$

where $x_{\text{N,cow}}$ nitrogen content of (whole) cow ($x_{\text{N,cow}} = 0.0256 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$)

Die Geburt von Kälbern führt zu einem N-Austrag, der eine Funktion der Anzahl der jährlich geborenen Kälber, des Gewichts dieser Kälber und ihrem N-Gehalt ist:

The birth of the calf results in nitrogen exported. The amount lost m_p is a function of the weight of the calfs and its nitrogen content:

$$m_p = n_{\text{calf}} \cdot w_{\text{calf}} \cdot x_{\text{N,calf}}$$

where n_{calf} number of calves (in animal a^{-1})
 w_{calf} weight of calf (in kg animal^{-1})
 $x_{\text{N,calf}}$ nitrogen content of the (whole) calf ($x_{\text{N,calf}} = 0.0296 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$)

Die Massenerhaltung lässt dann die Berechnung der Menge des mit Exkrementen ausgeschiedenen N zu:

Mass conservation then allows the amount of nitrogen excreted to be assessed:

$$m_{\text{ex}} = m_{\text{feed}} - (m_l + m_g + m_{\text{calf}})$$

Diese Menge lässt sich unter Verwendung der Futtermenge und -energie über eine Regression in eine Kot- und eine Urin-Fraktion zerlegen. Die mit dem Kot ausgeschiedene N-Menge $m_{\text{ex, faeces}}$ berechnet sich dann zu

which can be disaggregated in the faeces and urine fractions using information on the amount and standard energy taken in by the animal. The N excreted with faeces $m_{\text{ex, faeces}}$ is determined using a regression approach:

$$m_{\text{ex,faeces}} = \alpha \cdot \left(p \cdot \frac{m_{\text{feed}}}{\alpha} + q \cdot \frac{DM}{\alpha} + r \cdot \left(\frac{DM}{\alpha} \right)^2 \right) \cdot x_{\text{N}}$$

where p constant ($p = 40$)
 DM dry matter intake (in $\text{kg animal}^{-1} \text{ a}^{-1}$)
 q constant ($q = 20$)
 r constant ($r = 1.8 \text{ kg}^{-1} \text{ animal a}$)
 x_{N} nitrogen content of crude protein ($1/6.25 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$)

with
$$DM = \frac{SE}{c_{\text{SE,DM}}}$$

where SE total standard energy intake (in $\text{SFU animal}^{-1} \text{ a}^{-1}$)
 $c_{\text{SE,DM}}$ specific SE content of feed dry matter (SFU kg^{-1})

Schließlich wird die im Urin ausgeschiedene N-Menge $m_{\text{ex, urine}}$ als Restglied bestimmen, wenn andere N-Verluste, etwa durch die Atemluft oder mit Schweiß, ausgeschlossen werden. Dies trifft in der Praxis zu.

Finally, the amount of nitrogen excreted with urine $m_{\text{ex, urine}}$ is the remainder, if other N losses (with breath or sweat) can be excluded, which is true in practice:

$$m_{\text{ex,urine}} = m_{\text{ex}} - m_{\text{ex,faeces}}$$

Damit wird der TAN-Gehalt der Ausscheidungen zu einer Variablen ($0,5 < x_{\text{TAN}} < 0,65$).

4 Die für die Modelle benötigten und die in Deutschland zur Verfügung stehenden Datensätze

Die in Deutschland zur Verfügung stehenden Parameter zur Beschreibung von Milchkühen und zur Durchführung der Rechnungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Mit Ausnahme der Gewichtszunahme der Milchkühe sind auch die vom komplexesten Modell benötigten Daten vorhanden.

The ratio x_{TAN} of TAN to total nitrogen becomes a variable ($0.5 < x_{\text{TAN}} < 0.65$).

4 The data required to run the models and the data sets available in Germany

The parameters available in Germany, which are required to describe dairy cows and run the models, are listed in Table 1. With the exception of weight gain, the data needed to run the most complex model are existing.

parameter	symbol	resolution	type
animal numbers	n	RD	S
milk yield	Y	RD	S
animal weight	w_{cow}	FS	cS
animal weight gain	Δw_{cow}	NA	
nitrogen content of cow	$x_{\text{N, cow}}$	G	C
milk protein content	x_{XP}	RD	S
milk fat content	x_{f}	RD	S
time spent grazing	t_{graz}	RD	M
area of grassland	A_{graz}	RD	S
calf weight	w_{calf}	G	C
nitrogen content of calf	$x_{\text{N, calf}}$	G	C

RD: rural district; FS: Federal State; G: Germany; NA: not available
S: statistics; cS: calculated from statistics; C: constant; M: model

5 Vergleich der Ergebnisse der Rechnungen mit den beschriebenen Modellen

Mit Hilfe der für 2001 vorhandenen Datensätze für Landkreise wurden die N-Ausscheidungen pro Kuh und die N-Ausscheidungen je Bundesland berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 und 3 zusammengestellt.

5 Comparison of the results of the calculations with the models described

The data set available for 2001 was used to calculate N excretions from district data, both as N excretions per cow and as total N excretion per Federal State. The results obtained are compiled in Tables 2 and 3.

Table 2
Intercomparison of excretion model results. I. Nitrogen excretion in kg animal⁻¹ a⁻¹ N

	RAINS	LWK-H	FAL-LR	RAUMIS	LfL	GfE	UK	DK
Schleswig-Holstein	113.7	107.4	118.4	114.4	105.4	85.3	108.5	116.2
Niedersachsen	117.4	111.7	123.2	118.1	109.7	88.3	112.0	119.5
Nordrhein-Westfalen	116.0	110.1	120.0	116.6	108.0	85.9	109.0	114.9
Hessen	116.0	110.2	121.3	116.7	108.1	86.1	108.0	115.5
Rheinland-Pfalz	110.5	103.7	114.5	111.1	101.6	80.2	102.8	106.2
Baden-Württemberg	105.9	98.3	108.0	106.5	96.1	77.5	101.4	101.9
Bayern	106.1	98.6	107.5	106.7	96.3	78.8	103.1	104.2
Saarland	109.8	102.8	113.6	110.4	100.7	80.4	105.3	107.6
Brandenburg	120.3	115.2	121.4	121.0	113.2	90.9	110.6	119.2
Mecklenburg-Vorp.	120.5	115.4	122.7	121.2	113.4	90.8	108.9	119.3
Sachsen	121.0	116.0	122.4	121.7	114.0	91.3	109.6	121.1
Sachsen-Anhalt	120.9	115.9	119.5	121.6	113.9	92.0	112.7	121.6
Thüringen	123.9	119.3	124.9	124.6	117.5	93.5	112.8	123.5
Berlin	115.8	109.9	121.3	116.5	107.9	88.8	114.0	112.4
Bremen	119.6	114.3	126.0	120.3	122.2	90.3	113.5	122.7
Hamburg	113.0	106.6	117.7	113.6	104.5	84.6	107.7	115.0
Stadtstaaten	116.1	110.3	121.7	116.8	111.5	87.9	111.7	116.7
Germany	112.9	106.5	115.8	113.5	104.4	84.2	107.1	112.2

Table 3
Intercomparison of excretion model results. II. Nitrogen excretion per Federal State in Gg a⁻¹ N

	RAINS	LWK-H	FAL-LR	RAUMIS	LfL	GfE	UK	DK
Schleswig-Holstein	41.2	38,9	42.9	41.4	38.2	30.9	39.3	42.1
Niedersachsen	89.5	85,2	94.0	90.1	83.7	67.3	85.5	91.2
Nordrhein-Westfalen	46.9	44,5	48.5	47.1	43.7	34.7	44.0	46.4
Hessen	19.5	18,6	20.4	19.7	18.2	14.5	18.2	19.5
Rheinland-Pfalz	14.6	13,7	15.1	14.7	13.4	10.6	13.6	14.0
Baden-Württemberg	44.3	41,1	45.2	44.5	40.2	32.4	42.4	42.6
Bayern	148.8	138,1	150.6	149.5	135.0	110.5	144.5	146.0
Saarland	1.7	1,6	1.8	1.7	1.6	1.3	1.6	1.7
Brandenburg	22.8	21,8	23.0	23.0	21.5	17.2	21.0	22.6
Mecklenburg-Vorp.	22.9	21,9	23.3	23.0	21.6	17.3	20.7	22.7
Sachsen	26.1	25,0	26.4	26.2	24.6	19.7	23.6	26.1
Sachsen-Anhalt	18.0	17,3	17.8	18.2	17.0	13.7	16.8	18.2
Thüringen	16.7	16,1	16.9	16.8	15.8	12.6	15.2	16.7
Berlin	0.0	0,0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bremen	0.4	0,4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
Hamburg	0.1	0,1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Stadtstaaten	0.5	0,5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
Germany	513.6	484.3	526.4	516.4	474.9	383.1	486.9	510.1

Die Ergebnisse der Rechnungen der Regressionsmodelle von RAINS, FAL-LR und RAUMIS und des dänischen Modells stimmen im Rahmen des Möglichen gut überein. Die Ausscheidungen nach dem Modell der LWK-Hannover, das UK-Modell und die LfL-Regression bewegen sich in gleicher Größenordnung unter den zuvor genannten Rechnungen. Angesichts eines wahrscheinlichen Fehlers in der Größenordnung von 30 % erscheint die Abweichung erträglich.

Dabei ist auffällig, dass das LfL-Kriterium für eine Einordnung eines Betriebes als Grünland-Betrieb auf Landkreisebene nie (Ausnahme: Bremen) erfüllt wird. Die hier durchgeführte Rechnung führt also in diesem Fall systematisch zu

Within the bounds of possibility, the results obtained with the RAINS, FAL-LR and RAUMIS regression models and the Danish model agree quite well with one another. The excretions modelled with the LWK Hannover approach; the UK model and the LfL regression fall below this mean by about the same amount. Keeping in mind that the probable uncertainty of these data is in the range of 30 %, the deviations of the various models appear to be tolerable.

It is conspicuous that the LfL criterion for the assignment of a region to a grassland region is met in Bremen only. The calculation with means for a whole region obviously leads to biased (underestimated) N excretions even in regions with high

Unterschätzungen der tatsächlichen Werte in Regionen mit örtlich hohen Grünlandanteilen.

Das GfE-Modell berechnet die N-Ausscheidung bei bedarfsgerechter Fütterung. Alle anderen Rechnungen gehen von Fütterung unter den wirklich herrschenden Bedingungen aus. Der Vergleich macht deutlich, welche Minderungspotenziale (theoretisch) bestehen, wenn man die Tiere bedarfsgerecht füttert.

Insbesondere ist die Übereinstimmung zwischen dem FAL-LR, dem RAUMIS- und dem DK-Modell so gut, dass es gerechtfertigt erscheint, das DK-Modell in den zukünftigen Berechnungen einzusetzen, da es im Rechenverfahren und im Parametersatz die Methoden bei der Bestimmung der Emissionen C-haltiger Spezies am ehesten widerspiegelt.

Abbildung 1 verdeutlicht, wie das FAL-LE und das dänische Verfahren übereinstimmen:

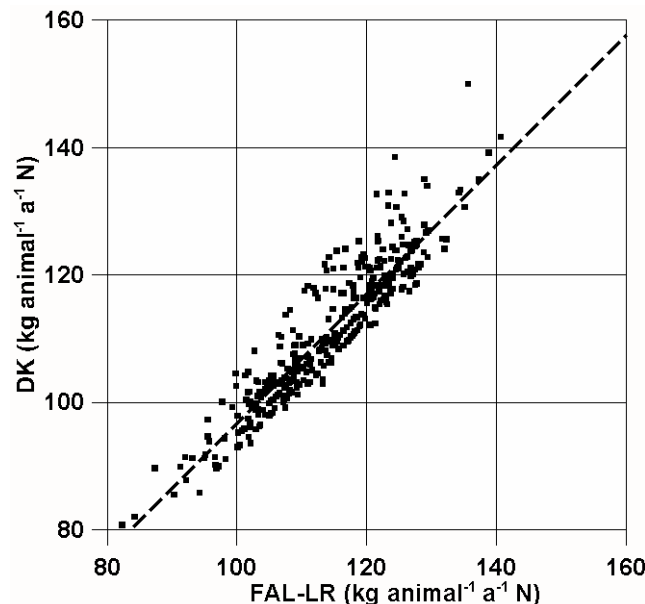


Figure 1
Nitrogen excretions per cow (single rural districts) as calculated using the regression provided by LWK-WE and using the Danish mass balance oriented model (DK). Broken line: linear regression ($R^2 = 0.84$).

Rechnungen mit beiden „realistischen“ Massenbilanz-Verfahren machen deutlich, dass Gewichtszunahmen keinen merklichen Einfluss auf die N-Ausscheidungen haben.

Das dänische Modell erlaubt die Berechnung von TAN. Diese Größe wird damit zu einer zeitlich und örtlich variablen Größe. TAN-Gehalte bewegen sich zwischen 50 und 60 %, wie sie in ähnlicher Form auch in Deutschland gemessen wurden (vgl. z.B. Riemeier, 2004).

Die Vergleich der beiden Modelle ist gut angesichts der Tatsache, dass auch gemessene und sehr aufwändig modellierte Daten, etwa in Kebreab et

shares of grassland.

The GfE model calculates N excretion for the amount and composition of feed required. All other calculations consider the feed intake in real and practical circumstances. This comparison also gives a hint how large the reduction potential is in theory, if the animals are fed according to their requirements.

On the other hand, the agreement between the FAL-LR and RAUMIS regression models based on measured data and the Danish model is good enough to justify the use of this model for future calculations. This is important as the model makes use of a data set which is comparable to the one used for calculations of the emissions of carbon species.

Figure 1 illustrates the correlation between FAL-LR and the Danish model.

Calculations with the two “realistic” mass flow approaches indicate that weight gain is not an important parameter for the assessment of N excretion.

The Danish model allows to calculate TAN. Thus, this entity becomes a variable. Tan contents in excreta vary between 50 and 60 %, i.e. in the same order of magnitude as the measurements published in Germany (Riemeier, 2004).

The comparison of the two models is satisfactory, keeping in mind that even measured data and elaborately modelled data show a similar scatter,

al. (2002) erheblich streuen.

Wir haben uns daher entschieden, das dänische Modell für die Berechnungen von Stickstoff-Ausscheidungen von Milchkühen für die Erstellung von Emissionsinventaren einzusetzen.

as e.g. in Kebreab et al. (2002).

Thus, we decided to use the Danish model to assess nitrogen excretions in dairy cattle management with respect to the construction of emission inventories.

References

- Bach M, Frede H-G (2002) Methodik zur Berechnung von Stickstoff- und Phosphor-Bilanzen für die Landwirtschaft in Deutschland. Typescript, University of Gießen, 11 pp
- Dämmgen U, Lüttich M, Döhler H, Eurich-Menden B, Osterburg B (2002) GAS-EM – ein Kalkulationsprogramm für Emissionen aus der Landwirtschaft. Landbauforsch Völkenrode 52, 19-42
- Dämmgen U, Lüttich M, Döhler H, Eurich-Menden B, Osterburg B (2003) Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR 2004 for 2002. Landbauforsch Völkenrode Special Issue 260, 5-32
- ERM/ AB-DLO (1999), Establishment of Criteria for the Assessment of Nitrogen Content in Animal Manures,. European Commission, Final Report November 1999.
- European Commission (ed.) (2002) Livestock Manures – Nitrogen Equivalents. European Commission, Brussels. ISBN 92-894-1277-1.
[http://sea.helcom.fi/dps/docs/documents/Working%20Group%20on%20Agriculture%20\(WGA\)/WGA%207,%202003/5-3-INF.pdf](http://sea.helcom.fi/dps/docs/documents/Working%20Group%20on%20Agriculture%20(WGA)/WGA%207,%202003/5-3-INF.pdf)
- FredeG, Dabbert S (eds) (1998) Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Landsberg, ecomed.
- GfE – Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Ausschuss für Bedarfsnormen (2001) Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 6. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Frankfurt/M., DLG, 135 pp.
- Henrichsmeyer W, Cypris Ch, Löhe W, Meuth M, Isermeyer F, Heinrich I, Schefski A, Neander E, Fasterding F, Neumann M, Nieberg H (1996) Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BMELF (94 HS 021), Bonn, Braunschweig
- Kebreab E, France J, Mills JAN, Allison R, Dijkstra J (2003) A dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment, J Animal Sci 80, 248-259
- Klimont Z, Brink C (2004) Modelling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources. IIASA – International Institute for Applied Systems Analysis. Interim Report IR-04-048. IIASA, Laxenburg, pp. 69.
- LfL Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (ed.) (2004a) Basisdaten für die Ermittlung des Düngedarfs und Umsetzung der Düngeverordnung, Stand Dezember 2004. <http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/mineralisch/10536/>
- LWK-Hannover – Landwirtschaftskammer Hannover (1997) Nährstoffvergleich auf Feld-Stall-Basis. § 5 der Düngeverordnung. Hannover. http://www.lwk-hannover.de/data/documents//Tab_Feld3.pdf.
- LWK-Hannover – Landwirtschaftskammer Hannover (2002) Nährstoffvergleich auf Feld-Stall-Basis. § 5 der Düngeverordnung. Hannover. http://www.lwk-hannover.de/data/documents/Richtwerte_Feldstall.pdf
- Poulsen HD, Børsting CF, Rom HB, Sommer SG (2001) Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normalt 2000 (Nitrogen, phosphorous and potassium in animal manure – standard data, in Danish). Report No. 36, Husdyrbrug, Danish Institute of Agricultural Sciences. Foulum, Denmark, pp. 152.
- Poulsen HG, Kristensen VF (1998) Standard Values for Farm Manure. A Revaluation of the Danish Standard Values concerning the Nitrogen, Phosphorus and Potassium Content of Manure. DIAS report 7. Danish Institute of Agricultural Sciences, Foulum. 160 pp.
- Riemeier A (2004) Einfluss der ruminalen Stickstoffbilanz (RNB) auf die Pansenfermentation, mikrobielle Proteinsynthese, Menge des am Dünndarm anflutenden Proteins (nXP) sowie die Stickstoffausscheidung, Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover
- RogasikJ, Funder U, Schnug E (2004) N-Bilanz als Nachhaltigkeits- und Agrarumweltindikator. In: Tagung und Dialogforum Nachhaltigkeits- und Agrarumweltindikatoren: 25.-26. März 2004, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Tagungsdokumentation BMVEL, pp 60-73.