Consistent time series of data to model volatile solids and nitrogen excretions of poultry 2. Laying hens

Hans-Dieter Haenel[1] and Ulrich Dämmgen[1]

Summary

Emission inventories established according to the respective guidance documents are used to meet the international reporting obligations (climate change convention, Geneva convention on air pollutants, national emission ceilings directive). In addition, they are an important tool to identify emission reduction potentials and allow for the valuation of single emission reducing measures. In order to meet this target, the calculation procedures that the emission inventories are based upon, must be able to trace the relevant mass flows. They also must be able to describe and explain the chronological development of the respective emissions.

The treatise provided here calculates the time series of volatile solids and nitrogen excretions of laying hens for Germany and the period from 1990 to 2005. The calculation procedures are described in detail, time series of the entities governing the respective excretions are provided.

The data forming the base of these calculations exhibit considerable gaps. Hence, the discussion of data gap closure procedures is an important constituent of this treatise.

The data base does not allow for a differentiation in time of important parameters such as feed composition. It is also impossible to differentiate in space, e.g. for federal states (Länder). However, with the uniformity of production processes in Germany this is thought to be adequate.

Among other things, the calculations showed that excretion rates of laying hens have not changed significantly since 1990. The results of the breeders' efforts to decrease animal weights have been compensated for by increased laying performance of the animals.

Keywords: laying hens, VS excretion, N excretion

Zusammenfassung

Konsistente Zeitreihen von Daten zur Modellierung von im Lager abbaubaren Kohlenstoff-Verbindungen („volatile solids") und von Stickstoff-Ausscheidungen bei Geflügel
2. Legehennen

Emissionsinventare dienen der Berichterstattung nach den Regeln der internationalen Übereinkommen (Klimarahmenkonvention, Genfer Luftreinhalteabkommen, Direktive zu nationalen Emissionsobergrenzen). Sie sind darüber hinaus ein wesentliches Instrument bei der Identifizierung von Minderungspotenzialen und erlauben die Bewertung einzelner emissionsmindernder Maßnahmen. Zu diesem Zweck müssen die den Inventaren zugrunde liegenden Rechenverfahren die relevanten Stoffströme nachvollziehen können. Sie müssen die zeitliche Entwicklung der Emissionen beschreiben und erklären können.

In der vorliegenden Arbeit werden die Zeitreihen für die Ausscheidungen von im Lager abbaubaren Kohlenstoff-Verbindungen und von Stickstoff-Verbindungen für Legehennen für die Jahre von 1990 bis 2005 in Deutschland berechnet. Hierzu werden die Berechnungsverfahren beschrieben und die Zeitreihen der die Ausscheidungen steuernden Größen erstellt.

Die vorliegenden Datenquellen weisen erhebliche Lücken auf. Wesentlicher Bestandteil der Arbeit ist daher die Diskussion von Lückenschluss-Verfahren.

Die Datenlage erlaubt derzeit keine zeitliche Differenzierung wichtiger Parameter (z.B. Futterzusammensetzung). Ebenso ist es unmöglich, eine räumliche Differenzierung - etwa nach Bundesländern - vorzunehmen. Dies erscheint im Hinblick auf die Einheitlichkeit der Produktionsbedingungen in Deutschland als vertretbar.

Ein Ergebnis der Berechnungen ist u. A., dass die Legehennen-Ausscheidungen seit 1990 nahezu gleich geblieben sind, wobei eine potentielle Absenkung infolge züchterisch bedingter Tiergewichtabnahme durch die gestiegene Legeleistung kompensiert wurde.

Schlüsselwörter: Legehennen, VS-Ausscheidung, N-Ausscheidung

[1] Federal Agricultural Research Centre (FAL), Institute of Agroecology, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig/Germany; Email: dieter.haenel@fal.de

1 Introduction

Agricultural systems contribute significantly to the emissions of greenhouse gases and air pollutants. The present state of air pollution and the increasing atmospheric concentrations of greenhouse gases necessitate political decisions to induce reduction measures. One important prerequisite is the existence of national emission inventories which are transparent, complete, methodologically consistent over the time period considered, sufficiently accurate and comparable with those of other countries. The German emission inventories provided previously largely met these requirements.

However, the assessment of emissions from poultry farming has depended largely on the application of national expert data and the default values provided by the guidance documents of the Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 1997; IPCC, 1996, 2000) and the Geneva Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (UNECE, 2006; EMEP/CORINAIR, 2002). This treatment is adequate with respect to the general importance of emissions from poultry farming. However, it does not allow for the detection of mitigation potentials. In a first step, the excretion rates of chickens are calculated as a function of performance and feed, as correct excretion data are fundamental for the calculation of emissions of carbon and nitrogen compounds (Webb et al., 2005).

This article deals with the establishment of complete time series of those parameters, from which the excretion of rapidly decomposing carbon compounds (volatile solids, VS) and nitrogen compounds of laying hens can be derived. The calculation procedure is based upon expert knowledge of animal breeding and nutrition.

The data base used in principle as well as important definitions were provided in the previous article dealing with excretions from pullets (Haenel and Dämmgen, 2007). As stated there, data are taken into consideration that were available in June 2006.

Another article describing the excretions of broilers is in preparation (Haenel and Dämmgen, 2008).

2 Excretions from laying hens

Emission inventories do not quantify the real emissions from a source in a given region at a given time. They rather describe the emissions that are typical for the respective animal category with a given regional performance, feed and management. Here, we describe the properties of the "typical mean laying hen" for a region at a given time.

The structure of this paper reflects the calculation proce-

1 Einleitung

Landwirtschaftliche Quellen tragen zur Emission von Treibhausgasen und luftverschmutzenden Stoffen in erheblichem Umfang bei. Das Ausmaß der heutigen Luftverschmutzung sowie die weitere Zunahme des atmosphärischen Gehaltes an Treibhausgasen erfordern politische Entscheidungen zu Minderungsmaßnahmen. Eine wichtige Voraussetzung hierfür sind nationale Emissionsinventare, die transparent, vollständig, über den Berichtszeitraum in sich methodisch konsistent und hinreichend genau sowie mit den Inventaren anderer Länder vergleichbar sein sollen. Die bisherigen deutschen Inventare kamen dieser Forderung im Wesentlichen nach.

Die Beschreibung der Emissionen aus der Geflügelhaltung beruhte dabei jedoch weitgehend auf der Verwendung von nationalen Expertendaten und den default-Werten der Richtlinien der Klimarahmenkonvention (UNFCCC, 1997; IPCC, 1996, 2000) und des Genfer Luftreinhalteabkommens (UNECE, 2006; EMEP/CORINAIR, 2002). Dies entspricht zwar der Bedeutung der Emissionen aus der Geflügelhaltung für die Zwecke der nationalen Berichterstattung, lässt jedoch keine oder kaum Minderungspotenziale erkennen. In einem ersten Schritt sollen daher die Ausscheidungen der Hühner so berechnet werden, dass tierische Leistung und Fütterung abgebildet werden. Sie sind eine wesentliche Größe bei der Modellierung von kohlenstoff- und stickstoffhaltigen Emissionen (Webb et al., 2005).

Die vorliegende Arbeit behandelt die Erstellung von lückenlosen Zeitreihen von Parametern, mit denen die Ausscheidung von im Lager leicht abbaubaren Kohlenstoff-Verbindungen (volatile solids, VS) und von Stickstoff-Verbindungen bei Legehennen berechnet werden können. Das Berechnungsverfahren beruht auf Erkenntnissen aus Tierhaltung und -ernährung.

Die Datenbasis sowie wichtige Definitionen wurden bereits in der Arbeit über die Ausscheidungen von Junghennen (Haenel und Dämmgen, 2007) beschrieben. Wie dort angemerkt, wurden nur Datenquellen berücksichtigt, die bis Juni 2006 verfügbar waren.

Eine weitere Arbeit über Ausscheidungen von Masthähnchen und -hühnchen ist in Vorbereitung (Haenel und Dämmgen, 2008).

2 Ausscheidungen von Legehennen

Inventare beschreiben nicht die tatsächlichen Emissionen einer Quelle in einer Region zu einer Zeit, sondern die Emission, die für die jeweilige Tierkategorie bei den diese Region üblichen Leistungs-, Fütterungs- und Haltungsbedingungen typisch sind. Es wird also die gebiets- und zeittypische „mittlere Legehenne" beschrieben.

Der Aufbau des Aufsatzes orientiert sich an dem von

dure proposed in IPCC (1996) which models feed requirements rather than feed intakes.

2.1 VS excretions

The assessment of VS excretions of laying hens is performed according to the guidance provided in IPCC (1996) as in Equation (1).

$$VS_{lh} = GE_{lh} \cdot \frac{1}{c_{E,lh}} \cdot \left(1 - X_{DE,lh}\right) \cdot \left(1 - x_{ash,lh}\right) \quad (1)$$

where
- VS_{lh} volatile solid excreted (in kg place^{-1} d^{-1} DM)
- GE_{lh} gross energy intake of laying hens (in MJ place^{-1} d^{-1})
- $c_{E,lh}$ energy content of dry matter (in MJ kg^{-1})
- $X_{DE,lh}$ digestibility of feed (in MJ MJ^{-1})
- $x_{ash,lh}$ ash content of excreta (in kg (kg DM)$^{-1}$)
- DM dry matter

2.1.1 Gross energy and feed characteristics

The gross energy GE_{lh} is derived from the daily requirements of metabolizable energy ME_{lh} (in MJ place^{-1} d^{-1}) and the metabolizability $X_{ME,lh}$ (in MJ MJ^{-1}) of the feed (Equation (2)).

$$GE_{lh} = \frac{ME_{lh}}{X_{ME,lh}} \quad (2)$$

where
- ME_{lh} intake of metabolizable energy of laying hens (in MJ place^{-1} d^{-1})
- $X_{ME,lh}$ overall metabolizability of feed (in MJ MJ^{-1})

The entities $X_{ME,lh}$, $X_{DE,lh}$ and $c_{E,lh}$ vary with the composition of the feed. Table 1 gives examples for a single-phase diet for laying hens, including the absolute content of crude protein (XP). Up to now, it was impossible to trace all feed compositions used since 1990 and their respective share in German laying hen feeding with adequate expenditure. As a temporary measure, this composition is assumed to be valid for the whole period considered and the whole of Germany.

Table 1:

Properties of a typical single-phase diet for laying hens. Feed composition in accordance with deuka Deutsche Tiernahrung GmbH & Co. KG (Kleine-Klausing, 2006); energy and crude protein contents according to Beyer et al. (2004).

major feed components	gross energy content c_E (MJ kg^{-1})	digestible energy content c_{DE} (MJ kg^{-1})	metabolizable energy content $x_{ME,feed}$ (MJ kg^{-1})	absolute content of crude protein $x_{XP,feed}$ (kg kg^{-1})
wheat, soybean meal, maize, maize sprouts, wheat bran, vegetable fat	15.37	12.15	11.26	0.172

$X_{ME} = x_{ME,feed}/c_E = 0.73$ MJ MJ^{-1} $X_{DE} = c_{DE}/c_E = 0.79$ MJ MJ^{-1}

IPCC (1996) vorgeschlagenen Rechenverfahren, das den Futterbedarf und nicht den Futterverbrauch beschreibt.

2.1 VS-Ausscheidung

Die Berechnung der VS-Ausscheidungen von Legehennen erfolgt gemäß den Vorgaben von IPCC (1996) nach Gleichung (1).

2.1.1 Bruttoenergie und Futterkennwerte

Die Bruttoenergie GE_{lh} ergibt sich aus dem täglichen Bedarf an umsetzbarer Energie ME_{lh} (in MJ place^{-1} d^{-1}) und der Umsetzbarkeit $X_{ME,lh}$ (in MJ MJ^{-1}) des Futters (Gleichung (2)):

Die Größen $X_{ME,lh}$, $X_{DE,lh}$ und $c_{E,lh}$ sind von Art und Zusammenstellung der Futterbestandteile abhängig. In Tabelle 1 finden sich Werte für ein gängiges Legehennenalleinfutter (einschließlich des Rohproteingehaltes XP). Da es mit vertretbarem Aufwand bislang nicht möglich war, alle seit 1990 verwendeten Futterzusammensetzungen und ihren Anteil an der Legehennenfütterung in Deutschland zurück zu verfolgen, werden diese vorläufig als für alle Jahre und ganz Deutschland gültig angenommen.

Tabelle 1:

Eigenschaften eines typischen Einphasen-Futters für Legehennen. Futterzusammensetzung nach deuka Deutsche Tierernährung GmbH & Co. KG (Kleine-Klausing, 2006); Energie- und Rohprotein-Gehalte nach Beyer et al. (2004).

2.1.2 Assessment of metabolizable energy

The requirements of metabolizable energy, ME_{lh}, are calculated in accordance with GfE (1999) using Equation (3). It is assumed that the feed is optimized to meet the energy demands of the animals, and that the animals eat the very amount of feed which is required. The results are valid for both white and brown lines.

The input variables to Equation (3) are described in detail in the following paragraphs.

2.1.2 Berechnung der umsetzbaren Energie

Der Bedarf an umsetzbarer Energie, ME_{lh}, wird nach GfE (1999) gemäß Gleichung (3) berechnet. Dabei wird angenommen, dass das Futter optimal auf den Energie-Bedarf des Tieres eingestellt ist und dass das Tier genau die Menge an Futter aufnimmt, die es benötigt. Das Ergebnis wird als Mittel über weiße und braune Rassen verstanden.

Die eingehenden Größen werden nachstehend in thematischer Gliederung beschrieben.

$$ME_{lh} = c_{h,\,lh} \cdot (ME_{lh,\,g} + ME_{lh,\,m} + ME_{lh,\,egg}) \qquad (3)$$

$$= c_{h,\,lh} \cdot \left[\eta_{ME,\,g} \cdot \frac{\Delta w_{round,\,lh}}{\tau_{round,\,lh}} + \left(\eta_{ME,\,m} + \eta_{ME,\,mt}\right) \cdot \frac{\Sigma W}{\tau_{round,\,lh}} + \eta_{ME,\,egg} \cdot \frac{n_{eggs}}{\alpha} \cdot m_{egg} \right]$$

where

$c_{h,\,lh}$	correction factor for different housing systems (in MJ MJ^{-1})
$ME_{lh,\,g}$	metabolizable energy for daily maintenance (in MJ place^{-1} d^{-1})
$ME_{lh,\,m}$	metabolizable energy for growth (in MJ place^{-1} d^{-1})
$ME_{lh,\,egg}$	metabolizable energy for egg production (in MJ place^{-1} d^{-1})
$\eta_{ME,\,g}$	specific metabolizable energy required for growth ($\eta_{ME,\,g}$ = 23 MJ kg^{-1} ME)
$\Delta w_{round,\,lh}$	animal weight gain per place and round (in kg animal^{-1} = kg place^{-1} round^{-1})
$\tau_{round,\,lh}$	duration of production cycle (in d round^{-1})
$\eta_{ME,\,m}$	specific metabolizable energy required for daily maintenance (in MJ kg d^{-1} ME)
$\eta_{ME,\,mt}$	specific metabolizable energy required for daily maintenance under low temperature conditions (in MJ kg d^{-1} ME)
ΣW	cumulative metabolic weight (in kg d animal^{-1} round^{-1} = kg d place^{-1} round^{-1})
$\eta_{ME,\,egg}$	specific metabolizable energy required for egg production ($\eta_{ME,\,egg}$ = 9.6 MJ kg^{-1} ME)
n_{eggs}	number of eggs per place and day (in egg place^{-1} d^{-1})
α	time units conversion factor (α = 365 d a^{-1})
m_{egg}	average mass of one egg (in kg egg^{-1})

Mobility

Factor $c_{h,\,lh}$ in Equation (3) takes the increased energy demands into account, when hens have the chance to move more (floor management and free range). It relates these to housing in cages. According to GfE (1999), $c_{h,\,lh}$ = 1.00 MJ MJ^{-1} for hens in air-conditioned cages, 1.10 MJ MJ^{-1} for floor management and 1.15 MJ MJ^{-1} for free range hens.

Bewegungsmöglichkeiten

Der Faktor $c_{h,\,lh}$ in Gleichung (3) berücksichtigt den gesteigerten Energie-Bedarf, der sich aufgrund erweiterter Bewegungsmöglichkeiten bei Bodenhaltung und Freilandhaltung ergibt. Nach GfE (1999) wird $c_{h,\,lh}$ = 1,00 MJ MJ^{-1} für temperierte Käfighaltung, 1,10 MJ MJ^{-1} für Bodenhaltung und 1,15 MJ MJ^{-1} für Freilandhaltung angesetzt.

2.1.3 Metabolic energy for growth

Relevant time parameters

Table 2 gives an overview about time parameters needed to describe egg production.

For the function of the characteristic time span see chapter 2.1.5.

2.1.3 Wachstumsenergie

Zeitparameter

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die haltungsrelevanten Zeitangaben.

Zur Bedeutung der charakteristischen Zeit siehe Kapitel 2.1.5.

Table 2:

Relevant time parameters, based on Anonymus (2005a), GfE (1999), and KTBL (2004). The day-of-round column represents the time axis within one round. It serves to relate respective dates of animal life. For modelling parameter $\tau_{char,\ lh}$ see section 2.1.5.

Tabelle 2:

Wichtige Zeiten und Zeitabschnitte (nach Anonymus, 2005a, GfE, 1999 und KTBL, 2004). Die Spalte der Lebensabschnitte beschreibt die Zeitachse innerhalb eines Durchgangs und dient zur Festlegung einzelner Zeitpunkte im Leben des Tieres. Zum Modellparameter „charakteristische Zeit" siehe die Ausführungen in Abschnitt 2.1.5.

	dates			time spans		
	day of round	day of life	week of life	(days per round)		
first day of laying hen lifespan	1	129	18.4	duration of round τ_{round} 441	lifespan $\tau_{lifespan}$ 434	modelling parameter $\tau_{char,\ lh}$ 56
start of egg production	21	149	21.3			
intermediate date for modelling purposes	56	184	26.3			
last day of official laying hen examinations	376	504	72			
last day of life	434	562	80.3			
first day of service time	435	563	80.4		service time $\tau_{service}$ 7	
last day of service time	441	569	81.3			

Weight gain and egg production

Figure 1 illustrates typical variations in time of animal weight gain and daily egg production for the actual laying period.; the final weight[2] is assumed to be 1.8 kg animal^{-1}.

Gewichtszunahme und Legeleistung

Abbildung 1 zeigt für die Legephase typische Verläufe von Gewichtszunahme und täglicher Eiproduktion. Der Gewichtszunahme liegt ein Endgewicht von 1,8 kg Tier^{-1} zugrunde[2].

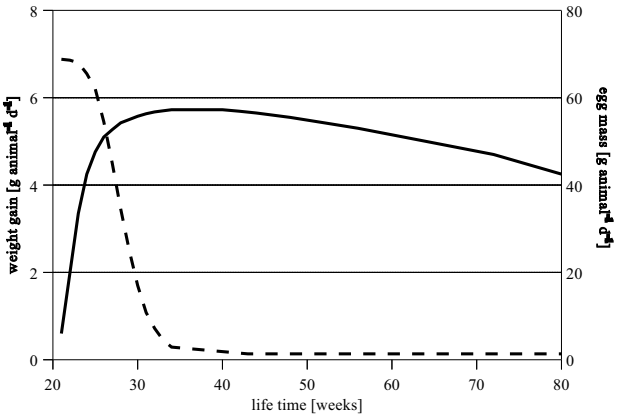

Figure 1:

Daily weight gain (dotted line) and daily egg mass production (continuous line) for a typical laying hen of 1.8 kg final weight (adapted from GfE, 1999, Figure 1.2.1)

Abbildung 1:

Tägliche Gewichtszunahme (gestrichelte Linie) und täglich produzierte Eimasse (durchgezogene Linie) einer typischen Legehenne mit 1,8 kg Endgewicht (nach GfE, 1999, Abbildung 1.2.1)

The weight gain function is used for the assessment of both the weight gain $\Delta w_{round,\ lh}$ (see chapter 2.1.4) and the cumulative metabolic weight ΣW. It is assumed that the growth curves of all laying hens are similar, irrespective

Die Zuwachskurve dient der Ermittlung von Gewichtszuwachs $\Delta w_{round,\ lh}$ (Abschnitt 2.1.4) und kumulativem metabolischem Gewicht ΣW. Es wird angenommen, dass die Wachstumskurven aller Legehennen unabhängig von

2 The final weight of 1.8 kg animal^{-1} is not quoted explicitly in GfE (1999) with respect to Figure 1.2.1. However, the resulting energy requirements listed can only be explained if a final weight of 1.8 kg animal^{-1} is assumed. The same is true for the protein requirements discussed in GfE (1999), where all literature data are standardized for a final weight of 1.8 kg animal^{-1}.

of their line and final weight. This similarity assumption is also used by GfE (1999) (Table 1.2.8) for the calculation of energy requirements for hens of lines with different weights and diverging daily egg production rates.

If the similarity concept is valid it should result in a proportionality of weights at the beginning of egg production and final weights, if the duration of the laying period remains constant. This is indeed observed (see Figure 5 and its context).

Rasse und Endgewicht ähnlich sind. Diese Annahme wird auch von GfE (1999) (Tabelle 1.2.8) verwendet, um den Energiebedarf bei unterschiedlichen Tiergewichten und Eiproduktionsraten zu berechnen.

Bei Gültigkeit der Ähnlichkeitsannahme ist (bei gleich bleibender Haltungsdauer) das Einstallungsgewicht proportional zum Endgewicht. Tatsächlich existiert eine solche Proportionalität, vgl. Abbildung 5 und Kontext.

2.1.4 Total weight gain

The total weight gain Δw is the difference between the weights at the end of the laying period w_{fin} and the weight at the begin of the laying period w_{start}. However, they cannot be obtained directly from official statistics and have to be derived from other sources.

Assessment of the final weight w_{fin} from the slaughterhouse data

In Dämmgen et al. (2005), live weights had been derived successfully from carcass weights. This procedure uses the total amount (mass) of carcasses, m_{sl}, and the number of animals slaughtered, n_{sl}. Assuming that the number of animals transported across the boundaries of the area considered is negligible, the final live weights can be obtained using a slaughter yield coefficient (ration of carcass weight to live final weight) c_w according to equation (4).

2.1.4 Gesamtgewichtszunahme

Die Gesamtgewichtszunahme Δw ist die Differenz zwischen dem Gewicht am Ende der Legeperiode w_{fin} und dem Einstallungsgewicht w_{start}. Aus statistischen Berichten sind diese Daten nicht direkt erhältlich; sie müssen aus anderen Quellen bereitgestellt werden.

Ermittlung des Endgewichtes w_{fin} aus Schlachtmengen

Ein Ansatz zur Ermittlung von w_{fin}, der sich in anderem Zusammenhang (Dämmgen et al., 2005) als praktikabel erwiesen hat, geht von der jährlichen Gesamtschlachtfleischmenge, m_{sl}, und der Anzahl der geschlachteten Tiere, n_{sl}, aus. Können die Tier- und Fleischtransporte über die Grenzen der zugrunde liegenden räumlichen Einheit vernachlässigt werden, folgt mit dem Schlachtausbeutekoeffizienten c_w für das Lebendendgewicht w_{fin}:

$$w_{fin} = \frac{\tau_{round}}{\alpha} \cdot \frac{m_{sl}}{n_{sl} \cdot c_w} \qquad (4)$$

where

w_{fin}	final live weight of laying hens (kg animal^{-1})
τ_{round}	duration of round (in d round^{-1})
α	time units conversion factor (α = 365 d a^{-1})
m_{sl}	total mass of slaughtered animals per year (in Gg a^{-1})
n_{sl}	number of slaughtered animals (in 10^6 round^{-1})
c_w	ratio of carcass weight to final live weight (in kg kg^{-1})

After slaughtering, laying hens are processed to boiling hens. Without further differentiation with respect to lines (brown or white lines), cumulative carcass weights are reported by German Statistics (StatBA, FS3 R4). Slaughterhouses producing less than 2000 carcasses per month are not considered. However, the number of animals slaughtered is not reported. This has to be derived from the number of animal places, n_{lh}, counted in the census. However, census data cover animals from enterprises with more than 3000 places only. In addition, imports and exports of live or dead animals have to be considered and must be known or zero. This condition is not met for Germany. The errors resulting from the application of Equation (4) cannot

Nach der Schlachtung werden Legehennen zu Suppenhühnern verarbeitet. Gesamtschlachtfleischmengen werden durch das Statistische Bundesamt ohne Unterscheidung nach weißen und braunen Rassen berichtet (StatBA FS3 R4). Schlachtereien mit weniger als 2000 Schlachttieren im Monat werden nicht berücksichtigt. Die nicht berichtete Anzahl der Schlachttiere muss durch die offiziell erhobene Anzahl der Legeplätze n_{lh} ersetzt werden, die allerdings nur Betriebe mit mehr als 3000 Tieren berücksichtigt. Die Voraussetzung, dass keine Im- und Exporte von Tieren und Fleisch stattfinden, kann in Deutschland unabhängig von der räumlichen Bezugseinheit als nicht erfüllt angesehen werden. Die Fehler, die daraus resultieren, können nicht

be quantified.

If one applies Equation (4), despite these deficiencies, a time series as in Table 3 results. Here, the ratio of carcass weight to live weight of 0.665 kg kg^{-1} was used in accordance with Pingel and Scholtyssek (1999). When compared with GfE (1999) and KTBL (2004), the results obtained appear to be plausible. However, Figure 3 shows the scatter, when measured and modelled data are compared.

Table 3:

Total mass of slaughtered animals (boiling hens) per year, m_{sl}, number of laying hen places, n_{lh}, and final live weight of laying hens, w_{fin}, calculated according to Equation (9) with τ_{round} = 441 d round^{-1} and c_w = 0.665 kg kg^{-1}.

quantifiziert werden.

Wendet man dennoch Gleichung (4) an, erhält man mit einer Schlachtausbeute von 0,665 kg kg^{-1} (Pingel und Scholtyssek, 1999) die in Tabelle 3 wiedergegebenen Ergebnisse, wobei die Zeitreihen der Eingangsdaten ebenfalls in Tabelle 3 dargestellt sind. Die Ergebnisse erscheinen plausibel (vgl. z. B. GfE, 1999; siehe KTBL, 2004). Zur Bewertung der Ergebnisse wird auf Abbildung 3 verwiesen.

Tabelle 3:

Gesamtgewicht m_{sl} der geschlachteten Legehennen (Suppenhühner) pro Jahr, der Anzahl der Legehennenplätze n_{lh} und der Lebendgewichte vor Schlachtung w_{fin} der Legehennen, wie sie unter Anwendung von Gleichung (9) bei τ_{round} = 441 d Durchgang^{-1} und c_w = 0,665 kg kg^{-1} erhalten wurden.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
m_{sl} (Gg a^{-1})[a]		36.9	38.4	36.6	38.1	35.1	35.3	35.8	36.6	35.0	34.1	35.5	34.1	35.5	39.6	
n_l (10^6 round^{-1})[a]		35.2	34.3	32.0	33.6	33.4	33.7	33.7	34.0	34.4	35.2	35.1	34.6	32.5	38.5	
w_{fin} (kg animal^{-1})		1.90	2.04	2.08	2.06	1.91	1.91	1.93	1.95	1.85	1.76	1.84	1.79	1.98	1.87	

[a] Source: StatBA FS 3 R4 for various years

Assessment of the final weight w_{fin} using data of performance tests

The official laying hen performance tests may serve as another source to derive final live weights. In addition, these tests report start weights. As for the analysis of the carcass weights, this method does not allow for a differentiation in space.

The official laying hen performance tests consistently terminate the laying period on day 504 (week 72). Even if the laying period lasts for another eight weeks (see Table 2), the animal weights do not change significantly any more (see Figure 1). As a consequence, the weights reported in the performance tests are considered to be equivalent to the final weights at the end of the laying period.

Figure 2 illustrates the time series from 1990 to 2004 of weights officially reported for laying hen performance tests. The respective table 4 also contains final weights reported from Haus Düsse[3]. (No data are available from Haus Düsse for start weights.)

The comparatively large difference between start weight and final weight for 2004 is conspicuous. A transcription error can be ruled out; neither of the two weights can be considered to be an outlier. The start weight is on the same level as in previous years. The final weight is supported by the weights reported for Haus Düsse. Thus, the data set for 2004 was not declared an outlier, nor was it eliminated.

Ermittlung des Endgewichtes w_{fin} aus Daten der Legeleistungsprüfungen

Einen weiteren Zugang zum Tierendgewicht ermöglichen die Amtlichen Legeleistungsprüfungen, die überdies auch Einstallungsgewichte berichten. Wie bei der oben beschriebenen Schlachtdatenauswertung ist keine regionale Differenzierung gegeben.

Die Legeleistungsprüfungen geben die Endgewichte für das Ende der Leistungsuntersuchungen am 504. Lebenstag (72. Woche) an. Danach würden nur unwesentliche Gewichtsänderungen bis zum üblichen Ende der Legeperiode acht Wochen später (s. Tabelle 2) folgen. Daher wird das Endgewicht aus den Legeleistungsprüfungen als Schätzung für das Endgewicht nach der gesamten Legeperiode angesetzt.

Abbildung 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Gewichtsdaten aus den Legeleistungsprüfungen für 1990 bis 2004. Die entsprechende Tabelle 4 zeigt auch Endgewichtsdaten von Haus Düsse[3] (Einstallungsgewichte sind aus Haus Düsse nicht verfügbar.)

Auffällig ist für 2004 die vergleichsweise große Differenz zwischen Einstallungs- und Endgewicht. Ein Übertragungsfehler kann ausgeschlossen werden. Keiner der beiden Werte kann als Ausreißer identifiziert werden: Das Einstallungsgewicht steht in gutem Einklang mit dem Niveau der Vorjahre, das Endgewicht wird durch den Wert

3 Chamber of Agriculture Nordrhein-Westfalen, Centre of Agriculture Haus Düsse (dealing with process development, breeding and feed examination)

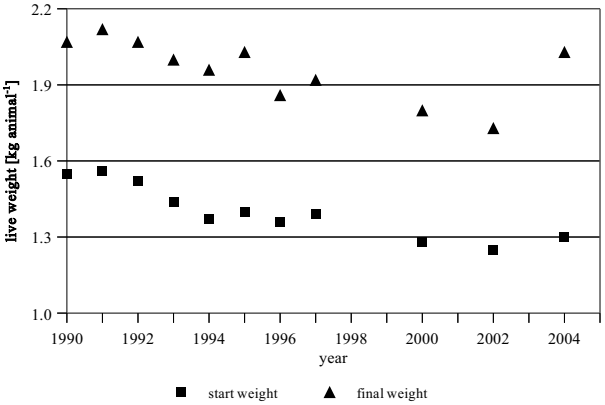

Figure 2:
Time series of start weight and final live weight for laying hens as obtained from official laying hen performance tests

Abbildung 2:
Zeitreihen der Anfangs- und Endgewichte von Legehennen nach den Angaben der Allgemeinen Legeleistungsprüfungen

Table 4:
Data of start weight w_{start} and final weight w_{fin} of laying hens for the years 1990 to 2005 (in kg animal^{-1}). Data indexed ALLP are based on laying hen performance examinations, data subscripted DÜSSE are reported from the German experimental farm Haus Düsse.

Tabelle 4:
Werte für Anfangsgewichte w_{start} und Endgewichte w_{fin} von Legehennen in der Zeit von 1990 bis 2005 (in kg Tier^{-1}). Die mit ALLP gekennzeichneten Daten entstammen Amtlichen Legeleistungsprüfungen, die mit DÜSSE gekennzeichneten Werte wurden vom Landwirtschaftszentrum Haus Düsse veröffentlicht.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
$w_{start, ALLP}$[a]	1.55	1.56	1.52	1.44	1.37	1.40	1.36	1.39			1.28		1.25		1.30	
$w_{fin, ALLP}$[a]	2.07	2.12	2.07	2.00	1.96	2.03	1.86	1.92			1.80		1.73		2.03	
$w_{fi, DÜSSE}$[b]	2.04	2.08	2.11	2.06	2.03	0.00	0.00	1.85		1.90	1.86	1.93	1.79		2.07	

[a] Sources: Hartmann and Heil (1992), Heil and Hartmann (1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2000), Anonymus (2001, 2003, 2005a)
[b] Sources: Anonymus (1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1999, 2000, 2002, 2004, 2005b)

Comparison of methods

In Figure 3, the final weights obtained using carcass weights (according to Table 3) and those derived from official laying hen performance test (Table 4) are compared. Both results are in the same order of magnitude. The considerable scatter is obvious and is related to the shortcomings in principle of the carcass weight method that was described above. Furthermore, these data cannot be related to start weights. Therefore, these data cannot be used to establish a time series of relevant data.

The solution is to base the time series of w_{start} and w_{fin} (which includes Δw) on official laying hen performance tests (Table 4). However, this time series contains data gaps after 1997.

aus dem Haus Düsse gestützt. Es wurde daher davon abgesehen, den Datensatz von 2004 als Ausreißer zu eliminieren.

Methodenvergleich

Abbildung 3 vergleicht die Endgewichte aus der zuvor beschriebenen Schlachtmengenauswertung (Tabelle 3) mit den Ergebnissen aus den Amtlichen Legeleistungsprüfungen (Tabelle 4). Beide Datenreihen liegen im gleichen Größenbereich. Die erhebliche Streuung wird hauptsächlich darauf zurückgeführt, dass die der Tabelle 3 zugrunde liegenden Daten die an sie gestellten Anforderungen nicht erfüllen. Die Daten enthalten darüber hinaus keine Anfangsgewichte. Sie werden daher nicht zur Erstellung der Zeitreihen benutzt.

Die benötigten Zeitreihen von w_{start} und w_{fin} (und damit von Δw) können nur auf die Daten aus den Amtlichen Legeleistungsprüfungen (Tabelle 4) gegründet werden. Dieser Datensatz enthält allerdings Lücken nach 1997.

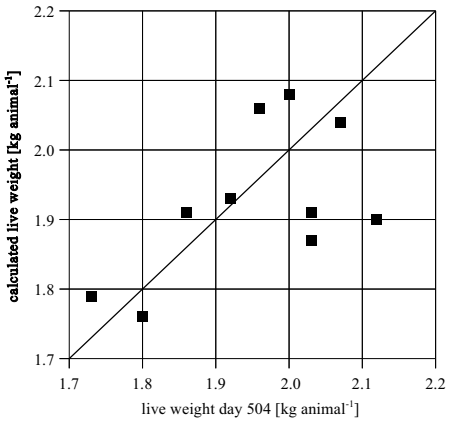

Figure 3:

Laying hens final live weight as calculated from total mass of slaughtered animals (see Table 3), displayed over animal weight at day 504 (see text and Table 4)

Abbildung 3:

Lebendendgewicht von Legehennen (berechnet aus dem Gesamtgewicht der Schlachtkörper, siehe Tabelle 3) im Vergleich zu den Lebendgewichten am 504. Tag (siehe Text und Tabelle 4)

Data gap closure for the weights and weight gains time series

The simplest method to fill data gaps is to keep the respective data from the previous year. Although this is generally assumed to be a "rough" method and inferior to the application of a trend or interpolation. However. in contrast to these procedures that may have to make use of weak correlations, the data kept reflect the fact *that* data were missing. It thus is considered the more honest way to represent the existing data situation.

However, if suitable predictors are available, modelling of the missing data may be a solution. We tested the regressions between the animal weights at day 504 as provided by the official laying hen performance test and the final weights reported by Haus Düsse (Figure 4, Table 4). This regression is linear with a satisfactory regression coefficient, a slope close to 1 and an intercept close to 0 (for details see caption of Figure 4). The Haus Düsse data listed in Table 4 can thus be used to close the final weight gaps for 1999 and 2001.

For the time series of final weights, the remaining gaps for 1998 and 2003 are closed by keeping the respective weights of the previous years.

A second attempt assumes a correlation between final weights and start weights to close the existing gaps for start weights. Figure 5 illustrates that a useful relation exists. A regression coefficient of 0.70 and an intercept of 0 are felt to be adequate (for details see Figure 5). Thus, this relation is used to fill the gaps for all start weights. The complete time series is given in Table 5.

Schließen von Datenlücken bei den Zeitreihen der Gewichte und Gewichtszunahmen

Die einfachste Methode zur Schließung von Datenlücken besteht in der Beibehaltung des jeweiligen Vorjahreswertes. Dieser Ansatz erscheint zwar gröber als die Fortschreibung eines aktuellen Trends oder die Interpolation über Datenlücken hinweg. Im Gegensatz zu diesen Verfahren, die möglicherweise nicht existierende Zusammenhänge postulieren, spiegeln beibehaltene Werte die Unkenntnis über die tatsächliche Datenlage wider.

Mit geeigneten Prädiktoren ist dagegen eine Modellierung der fehlenden Daten möglich. Wir untersuchten die Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Amtlichen Legehennen Leistungsprüfungen und den Daten von Haus Düsse (Abbildung 4, Tabelle 4). Die Regression ist linear mit hinreichendem Bestimmtheitsmaß; die Steigung ist praktisch 1 und der Achsenabschnitt nahe 0 (zu Details siehe Text zu Abbildung 4). Die Haus-Düsse-Daten in Tabelle 4 werden daher zum Schließen der Datenlücken bei den Endgewichten für 1999 und 2001 genutzt.

Die weiteren Lücken für die Endgewichte (1998 und 2003) werden durch Fortschreiben der Vorjahreswerte geschlossen.

Eine zweiter Versuch zur Lückenschließung bei den Anfangsgewichten beruht auf einer Korrelation der Anfangs- und Endgewichte. Abbildung 5 zeigt einen akzeptablen Zusammenhang mit Bestimmtheitsmaß 0,70 und Achsenabschnitt 0 (zu Details siehe Text zu Abbildung 5). Die mit Hilfe dieser Beziehung geschlossene Zeitreihe der Anfangsgewichte ist in Tabelle 5 dargestellt.

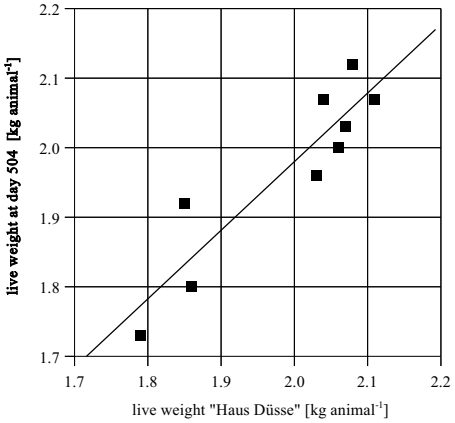

Figure 4:

Weights at day 504 as obtained from official laying hen performance tests, displayed over final live weight data reported from the German experimental farm Haus Düsse. (Linear regression: slope 0.987 kg kg^{-1}, intercept 0.007 kg animal^{-1}, $R^2 = 0.84$)

Abbildung 4:

Lebendgewichte am 504 Tag (nach Angaben der Amtlichen Legeleistungsprüfung) im Vergleich zu Lebendendgewichten, die vom Landwirtschaftszentrum Haus Düsse veröffentlicht wurden

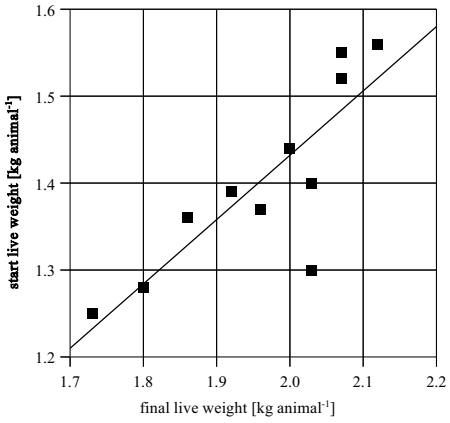

Figure 5:

Start live weight as related to weight at day 504. All data obtained from official laying hen performance tests, see Table 4. (Linear regression: slope 0.714 kg kg^{-1}, intercept 0 kg animal^{-1}, $R^2 = 0.70$)

Abbildung 5:

Der Zusammenhang zwischen Anfangsgewicht und Lebendgewicht am 504. Tag. Alle Daten aus Amtlichen Legeleistungsprüfungen, siehe Tabelle 4 (Lineare Regression: Steigung: 0,714 kg kg^{-1}, Achsenabschnitt 0 kg Tier^{-1}, $R^2 = 0,70$)

Table 5:

Time series of average start weight w_{start}, final weight w_{fin}, and weight gain Δw of laying hens (in kg animal^{-1}). Data are based on laying hen performance tests (data obtained from gap closure procedures are indicated by italics).

Tabelle 5:

Zeitreihe der mittleren Anfangsgewichte w_{start}, Endgewichte w_{fin} und Gewichtszunahmen Δw von Legehennen (in kg Tier^{-1}). Die Daten beruhen auf Angaben der Amtlichen Legeleistungsprüfung. Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
w_{start}	1.55	1.56	1.52	1.44	1.37	1.40	1.36	1.39	*1.39*	*1.34*	1.28	*1.36*	1.25	*1.25*	1.30	*1.30*
w_{fin}	2.07	2.12	2.07	2.00	1.96	2.03	1.86	1.92	*1.92*	*1.88*	1.80	*1.91*	1.73	*1.73*	2.03	*2.03*
Δw	0.52	0.56	0.55	0.56	0.59	0.63	0.50	0.53	*0.53*	*0.54*	0.52	*0.55*	0.49	*0.49*	0.72	*0.72*

2.1.5 Maintenance energy requirements

The maintenance energy requirements are a function of the metabolic live weight and a temperature dependent specific metabolizable energy.

The specific metabolizable energy featured in Equation (3) for "normal" temperatures $\eta_{ME,\,m}$ amounts to $\eta_{ME,\,m}$ = 0.48 MJ kg^{-1} d^{-1} ME. This value is reported for German conditions in GfE (1999, Equation 1.2.4.1). The units used here were converted to the SI system[4].

For temperatures lower than 15 °C, an additional specific metabolizable energy has to be calculated according to Equation (5) (GfE, 1999):

2.1.5 Energiebedarf für Erhaltung

Der Energiebedarf für Erhaltung ist eine Funktion des metabolischen Gewichtes und einer temperaturabhängigen spezifischen umsetzbaren Energie.

Die in Gleichung (3) einzusetzende spezifische metabolische Energie $\eta_{ME,\,m}$ und $\eta_{ME,\,mt}$ beträgt 0,48 MJ kg^{-1} d^{-1} ME. Der Zahlenwert geht auf Gleichung 1.2.4.1 in GfE (1999) zurück, wobei die Gewichtseinheit dem SI-System angepasst wurde[4].

Die bei niedrigen Haltungstemperaturen zusätzlich benötigte spezifische Erhaltungsenergie, $\eta_{ME,\,mt}$, wird nach GfE (1999) wie folgt berechnet:

$$\eta_{ME,\,mt} = \mu_{ME,\,m} \cdot \max\{0, (t_{h,\,ref} - t_h)\} \quad (5)$$

where
- $\mu_{ME,\,mt}$ homoiostatic constant ($\mu_{ME,\,mt}$ = 0.007 MJ kg^{-1} K^{-1} d^{-1} ME)
- $t_{h,\,ref}$ reference housing temperature ($t_{h,\,ref}$ = 15 °C; GfE, 1999)
- t_h actual housing temperature (in °C)

The temperatures recommended for laying hen houses in Germany are between 16 and 18 °C. As laying hens are predominantly kept in insulated houses with forced ventilation, $\eta_{ME,\,mt}$ = 0 MJ kg^{-1} is assumed to be adequate.

Die Richttemperaturen für Hühnerställe liegen bei 16 bis 18 °C. Da der bei weitem überwiegende Teil der Legehennen in Deutschland in wärmeisolierten und zwangsbelüfteten Ställen lebt, kann mit $\eta_{ME,\,mt}$ = 0 MJ kg^{-1} gerechnet werden.

Accumulated metabolic weight

The accumulated metabolic weight ΣW (in kg d animal^{-1} round^{-1} or kg d place^{-1} round^{-1}, see Haenel and Dämmgen, 2007) is gained by adding up the respective daily metabolic weights $w_m(\tau)$, which are derived from the animal weights w, for all days of the duration of the lifespan $\tau_{lifespan}$ (i.e. 434 days according to Table 2):

Kumulatives metabolisches Gewicht

Das kumulative metabolische Gewicht ΣW (in kg d Tier^{-1} Durchgang^{-1} bzw. kg d Platz^{-1} Durchgang^{-1}, siehe Haenel und Dämmgen, 2007) erhält man durch Aufsummieren des täglichen metabolischen Gewichtes $w_m(\tau)$, das eine Funktion des Tiergewichtes w ist, über alle Tage der Lebensdauer $\tau_{lifespan}$ (434 Tage nach Tabelle 2):

$$\Sigma W = \sum_{\tau=1}^{\tau_{lifespan}} w_m(\tau) = w_{ref} \cdot \sum_{\tau=1}^{\tau_{lifespan}} \left(\frac{w(\tau)}{w_{ref}} \right)^{0.75} \quad (6)$$

where
- τ time (in d round^{-1})
- $\tau_{lifespan}$ span of the animals life within a round (in d round^{-1})
- $w_m(\tau)$ metabolic animal weight at day τ (in kg animal^{-1})
- w_{ref} reference value of animal weight (w_{ref} = 1 kg animal^{-1})
- $w(\tau)$ animal weight at day τ (in kg animal^{-1})

4 In GfE (1999), Equation 1.2.4.1 quotes $\eta_{ME,\,m}$ without giving a unit. Implicitly, it is given as a unit of weight with an exponent which is not an integer. The relation of the actual weight to a reference weight of 1 kg allows for an exact mathematical treatment of metabolic weights.

According to GfE (1999), an exponent of 0.75 is used in Equation (6). This is in line with the proposals of IPCC (1996). It should be kept in mind that earlier investigations used smaller exponents of 0.67 or even lower (cf. e. g. GfE, 1999)

As Equation (6) is non-linear, the knowledge of the variation in time of the typical animal weight w is a prerequisite. However, it is not normally available. From the weight gain function (Figure 1) such a time course can be derived for a 1.8 kg laying hen. Based on the assumption of growth curve similarity (described in the context to Figure 1), the growth curve given in Figure 1 allows for the construction of a general approach to calculate cumulated metabolic weight.

The development of the metabolic weight

$$w_m(\tau) = w_{ref} \cdot [w(\tau)/ w_{ref}]^{0.75}$$

is described by a step approach. This does not result in any change of the overall ΣW. As Figure 6 shows, the curve remains at the level of ($w_{ref} \cdot [w_{start}/ w_{ref}]^{0.75}$) for a period of time that has yet to be determined. It then rises in a step to the final metabolic weight ($w_{ref} \cdot [w_{fin}/ w_{ref}]^{0.75}$) which is kept till the end of the lifespan.

Nach GfE (1999) wird für den Exponenten in Gleichung (6) der Wert 0,75 verwendet. Dies entspricht der Rechenvorschrift in IPCC (2006). Frühere Untersuchungen wurden teilweise mit dem Exponenten 0,67 (oder niedriger) ausgewertet (s. z. B. GfE, 1999).

Die Nichtlinearität von Gleichung (6) erfordert die Kenntnis des Zeitverlaufes des Gewichtes w, der im Allgemeinen nicht verfügbar ist. Die Zuwachskurve in Abbildung 1 ermöglicht die Konstruktion eines solchen Zeitverlaufes für eine 1,8-kg-Legehenne. Die Eigenschaften des Verlaufs lassen sich auf Grundlage der Ähnlichkeitsannahme (s. Kontext zu Abbildung 1) nutzen, um einen allgemeinen Ansatz zur Berechnung des kumulierten metabolischen Gewichtes zu gewinnen.

Hierzu wird ohne Verfälschung von ΣW die zeitliche Entwicklung des metabolischen Gewichtes

$$w_m(\tau) = w_{ref} \cdot [w(\tau)/ w_{ref}]^{0,75}$$

als eine Treppenfunktion dargestellt. Diese verharrt, wie in Abbildung 6 gezeigt, über eine noch zu bestimmende kurze Zeitdauer auf dem Niveau des metabolischen Anfangsgewichtes ($w_{ref} \cdot [w_{start}/ w_{ref}]^{0,75}$), und springt dann auf das metabolische Endgewicht ($w_{ref} \cdot [w_{fin}/ w_{ref}]^{0,75}$), das bis zum Ende der Lebensdauer beibehalten wird.

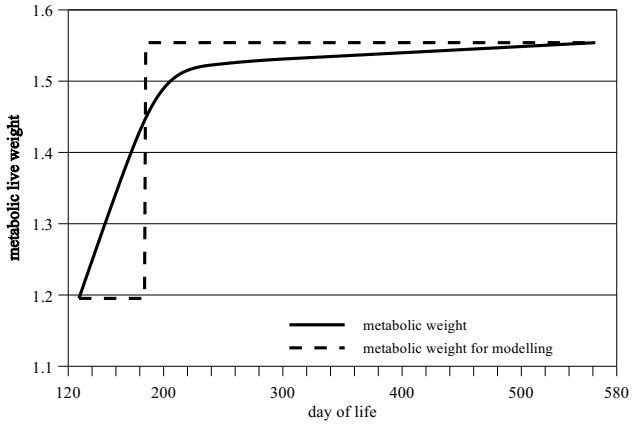

Figure 6:

Approximation of the temporal development of the laying hen metabolic weight by a step function. Both functions are displayed over a lifespan of 434 days, beginning with day 129 and ending with day 562, and the step change occurring at the end of day 184 (cf. Table 2). For details see text.

Abbildung 6:

Näherungsweise Beschreibung der zeitlichen Entwicklung des metabolischen Gewichts von Legehennen durch eine Treppenfunktion. Beide Funktionen umfassen eine Zeitspanne von 434 Tagen; Beginn: 129. Tag, Ende: 562. Tag. Der Sprung geschieht am Ende des 184. Tags. Siehe Tabelle 2. Zu weiteren Einzelheiten siehe Text.

Using this assumption, Equation (6) can be rewritten as in Equation (7).

The time for which the areas between the two curves are equal, is called the characteristic time $\tau_{char, lh}$.

Mit Hilfe dieses Ansatzes lässt sich Gleichung (6) wie in Gleichung (7) umformulieren.

Der Zeitpunkt, an dem Flächen zwischen den beiden Funktionen gleich groß sind, ist die charakteristische Zeit $\tau_{char, lh}$.

$$\Sigma W = w_{\text{ref}} \cdot \left[\tau_{\text{char, lh}} \cdot \left(\frac{w_{\text{start}}}{w_{\text{ref}}} \right)^{0.75} + \left(\tau_{\text{lifespan}} - \tau_{\text{char, lh}} \right) \cdot \left(\frac{w_{\text{fin}}}{w_{\text{ref}}} \right)^{0.75} \right] \quad (7)$$

where
- w_{start} start weight (in kg animal^{-1})
- w_{ref} reference value of animal weight (w_{ref} = 1 kg animal^{-1})
- τ_{lifespan} span of life time within a round (in d round^{-1})
- $\tau_{\text{char, lh}}$ characteristic time span over which metabolic weight is modelled by initial metabolic weight (in d round^{-1})
- w_{fin} final weight (in kg animal^{-1})

In order to determine $\tau_{\text{char, lh}}$ Equation (7) is rearranged to solve for $\tau_{\text{char, lh}}$. The input data can mainly be calculated from the weight gain curve displayed in Figure (1) which is assumed to be representative for all strains of laying hens. The last day of the weight gain curve corresponds to the end of lifetime implying the first day to coincide with the first day of egg production. For the period between first day of laying hen lifespan and first day of egg production, which is not represented in Figure 1, daily weight gain is assumed to equal that of the first day of egg production. Adding up the daily weight gain and considering the final weight (w_{fin} = 1800 g animal^{-1}) yields the temporal development of animal weight $w(\tau)$. Total weight gain results to Δw = 538 g animal^{-1}, which in turn leads to start weight w_{start} = 1262 g animal^{-1}. With $w(\tau)$ the cumulative metabolisable weight follows from Equation (6): ΣW = 654,2 kg d animal^{-1} round^{-1}. Finally one obtains $\tau_{\text{char, lh}}$ = 56 d round^{-1}.

In Table 6, the accumulated metabolic weights ΣW resulting from the use of weights given in Table 3 are listed. As a consequence of the application of the similarity approach, the characteristic time span $\tau_{\text{char, lh}}$ is constant for the period from 1990 to 2005.

Zur Bestimmung von $\tau_{\text{char, lh}}$ wird Gleichung (7) nach dieser Größe aufgelöst. Die Eingangsdaten werden im Wesentlichen aus der Wachstumskurve in Abbildung 1 ermittelt, die als repräsentativ für alle Arten von Legehennen angesehen wird. Der letzte Tag dieser Wachstumskurve entspricht dem Ende der Lebensdauer, so dass ihr Beginn auf den ersten Tag des Eierlegens fällt. Für die davor liegende Zeit ab Einstallung, für die aus Abbildung 1 keine Daten zu entnehmen sind, wird eine Wachstumsrate angenommen, die gleich derjenigen am ersten Tag des Eierlegens ist. Durch Aufsummieren des täglichen Zuwachses erhält man bei gegebenem Endgewicht (w_{fin} = 1800 g Tier^{-1}) den zeitlichen Gewichtsverlauf $w(\tau)$. Der Gesamtzuwachs ergibt sich zu Δw = 538 g Tier^{-1}, woraus w_{start} = 1262 g Tier^{-1} folgt. Mit Gleichung (6) ergibt sich aus $w(\tau)$ das kumulative metabolische Gewicht, ΣW = 654,2 kg d Tier^{-1} Durchgang^{-1}. Man erhält schließlich $\tau_{\text{char, lh}}$ = 56 d Durchgang^{-1}.

Tabelle 6 zeigt die berechnete Zeitreihe von ΣW. Dazu wurden die Gewichtsdaten aus Tabelle 3 verwendet, und angenommen, dass die Durchgangsdauer und damit auch der Zeitparameter $\tau_{\text{char, lh}}$ für die Jahre 1990 bis 2005 als gleich angesehen werden können.

Table 6:

Time series of cumulative metabolic weight ΣW (in kg d animal^{-1} round^{-1}) as required for metabolizable energy calculation by equation (3). Values in italics originate from gap closing (see Table 5).

Tabelle 6:

Zeitreihe des kumulierten metabolischen Gewichts ΣW (in kg d Tier^{-1} Durchgang^{-1}), wie die für die Berechnung der umsetzbaren Energie gemäß Gleichung (3) benötigt werden. Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden (siehe Tabelle 5).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
ΣW	739.1	751.5	737.5	716.4	702.9	721.3	678.2	694.4	*694.4*	*681.2*	658.6	*690.2*	640.7	*640.7*	714.8	*714.8*

2.1.6 Metabolizable energy required for egg production

Equation (3) indicates that the energy requirements for egg production are described using a specific metabolizable energy for egg production and the overall egg mass, which itself is derived from the number of eggs laid and a mean egg weight.

2.1.6 Bedarf an umsetzbarer Energie für die Eiproduktion

Gleichung (3) gibt an, dass sich der Bedarf an umsetzbarer Energie für die Eiproduktion aus einer spezifischen umsetzbaren Energie für die Eiproduktion und der Gesamteimasse ergibt. Letztere berechnet sich aus der Eierzahl und der mittleren Masse pro Ei.

Specific metabolizable energy required for egg production

The specific metabolizable energy required for egg production $\eta_{ME,\,egg}$ = 9.6 MJ kg^{-1} ME, is taken over from GfE (1999), Equation 1.2.4.1.

Egg numbers

The number of eggs laid per day, n_{eggs}, is derived from the annual total per place, $n_{eggs,\,year}$:

$$n_{eggs} = \frac{n_{eggs,\,year}}{\alpha} \qquad (8)$$

where α time units conversion factor (α = 365 d a^{-1})

Egg production rates are available from official census data (see also chapter 2.1.6) as a mean over all laying hen lines. They are listed in Table 7.

Table 7:

Average number of eggs produced per place and year in Germany, as reported by official statistics. For the years 1991 through 1993 the data are based on information collected for the old federal states (Alte Länder) only. For the years 2004 and 2005, data were not available yet.

Spezifische umsetzbare Energie für die Eiproduktion

Die spezifische umsetzbare Energie für die Eiproduktion wird von GfE (1999), Gleichung 1.2.4.1, übernommen: $\eta_{ME,\,egg}$ = 9,6 MJ kg^{-1} ME

Eierzahlen

Die pro Tag und Platz gelegte Zahl von Eiern, n_{eggs}, folgt aus der Eierzahl pro Platz und Jahr, $n_{eggs,\,year}$:

Eierzahlen werden durch das Statistischen Bundesamt als Mittel über alle Legehennenrassen berichtet (s. auch Kapitel 2.1.6). Sie sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7:

Mittlere Anzahl der in Deutschland pro Platz und Jahr erzeugten Eier (nach offizieller Statistik). In den Jahren 1991 bis einschließlich 1993 beruhen die Zahlen auf Angaben für die Alten Bundesländer. Für 2004 und 2005 waren noch keine Daten verfügbar.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
$n_{eggs,\,year}$	269.9	269.3	273.9	278.2	275.9	276.9	282.5	284.6	286.2	289.2	289.4	288.4	288.1	289.4		

Source: Statistisches Bundesamt (StatBA FS3 R4)

Data gap closure for egg numbers

In analogy to chapter 2.1.4, an attempt is made to find a correlation to close data gaps. In this case, a significant negative relation was found to exist between the numbers of eggs produced per place and year (as reported by German Statistics, StatBA FS3 R4) and the animal weights on day 504 (as reported by the official laying hen performance tests, see Table 4). Figure 7 illustrates these findings.

Although the correlation shown in Figure 7 exhibits a high correlation coefficient, it is not applied for 2004 and 2005 due to the following reasoning:

The (high) final live weight reported for 2004 (see Table 4) appears to be dubious, cf. chapter 2.1.4 (context to Figure 2). The application of the regression equation would result of an egg number of 275.0 eggs place^{-1} a^{-1}. However, the incomplete data set available for 2004 (January to November) indicates egg numbers in the order of magnitude of 290 eggs place^{-1} a^{-1}.

The calculation for 2005 is dropped, because for all other time series the value for 2005 is obtained by adopting the respective 2004 value.

Thus, for the time being, egg numbers from 2003 are kept

Schließen von Datenlücken für Eierzahlen

Analog zu Abschnitt 2.1.4 wird versucht, eine Korrelation zur Schließung der Datenlücken zu nutzen. So existiert eine deutliche negative Korrelation zwischen der pro Platz und Jahr gelegten Eierzahl (Statistisches Bundesamt, StatBa FS3 R4) und dem Tiergewicht am 504. Tag (aus den Amtlichen Legeleistungsprüfungen, s. Tabelle 4) besteht. Abbildung 7 zeigt den Zusammenhang.

Trotz ihrer Signifikanz wird die Regressionsfunktion aus Abbildung 7 aus folgenden Gründen nicht auf die Datenlücken der Jahre 2004 und 2005 angewandt:

Das (hohe) Lebendendgewicht für 2004 erscheint zweifelhaft, vgl. Abschnitt 2.1.4 (Kontext von Abbildung 2). Die Regressionsfunktion würde damit eine Eierzahl von nur 275,0 pro Platz erbringen, während der derzeit noch nicht ganz vollständige Datensatz aus StatBA FS3 R4 (2005) auf ein Niveau von ca. 290 Eiern pro Platz hindeutet.

Eine Berechnung für das 2005 scheidet aus, da auch bei allen anderen Zeitreihen das Jahr 2005 nur durch Beibehaltung des Wertes von 2004 gefüllt wird.

Aus diesen Gründen wird für 2004 und 2005 vorläufig die Eierzahl von 2003 angesetzt.

to close the gap.

Table 8 gives the completed time series of mean egg weights.

Tabelle 8 zeigt die vervollständigte Zeitreihe der mittleren Eierzahlen.

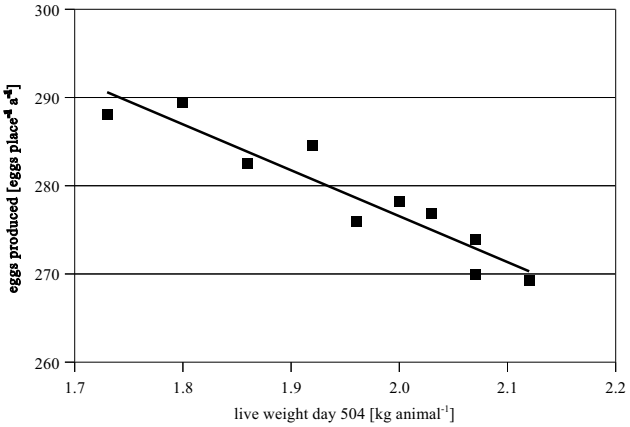

Figure 7:

Number of eggs produced per place an year, displayed over live weight at day 504. (Linear regression: slope = -52.4 eggs animal kg^{-1} place^{-1} a^{-1}, intercept: 381.4 eggs place^{-1} a^{-1}, R^2 = 0.88)

Abbildung 7:

Zahl der pro Platz und Jahr produzierten Eier als Funktion des Lebendgewichts am 504. Tag (Lineare Regression: Steigung: -52,4 Eier Tier kg^{-1} Platz^{-1} a^{-1}, Achsenabschnitt 381,4 Eier Platz^{-1} a^{-1}, R^2 = 0,88)

Table 8:

Completed time series of annual egg production (in place^{-1} a^{-1}). Data obtained by data gap closure are presented in italics. For details see text.

Tabelle 8:

Vervollständigte Zeitreihe der pro Platz und Jahr gelegten Eier (in Platz^{-1} a^{-1}). Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden. Zu Einzelheiten siehe Text.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
$n_{eggs,\ year}$	269.9	269.3	273.9	278.2	275.9	276.9	282.5	284.6	286.2	289.2	289.4	288.4	288.1	289.4	*289.4*	*289.4*

Egg weights

Mean egg weights are not reported by German statistics. At present, they can only be derived from official laying hen performance tests, as reported by Hartmann and Heil (1992); Heil and Hartmann (1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2000), and Anonymus (2001, 2003, 2005a). Here, egg weights are reported for white and brown layers separately. For the purpose of this paper, a mean was formed where both egg weights were weighted equally. Table 9 and Figure 8 illustrate that mean egg weights have not changed since 1990. Weights vary between 63.1 and 66.2 g egg^{-1}.

Eigewichte

Das mittlere Gewicht eines einzelnen Eies m_{egg} wird durch das Statistische Bundesamt nicht berichtet. Sie kann derzeit nur aus den Amtlichen Legeleistungsprüfungen abgeleitet werden (Hartmann und Heil, 1992; Heil und Hartmann, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2000; Anonymus, 2001, 2003, 2005a). Die dort für braune und weißen Rassen getrennt berichteten Ergebnisse für braune und weißen Rassen werden mit gleicher Wichtung gemittelt. Aus Tabelle 9 und Abbildung 8 ist zu ersehen, dass sich das so erhaltene Eigewicht in den Jahren seit 1990 tendenziell nicht verändert hat; die Bandbreite liegt zwischen 63,1 und 66,2 g pro Ei.

Table 9:

Data for the average weight of one single egg, m_{egg} (in g per egg). Data are based on laying hen performance tests.

Tabelle 9:

Angaben zum mittleren Eigewicht m_{egg} (in g pro Ei). Daten aus der Amtlichen Legeleistungsprüfung.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
m_{egg}	64.6	66.2	65.4	65.1	64.4	64.1	63.1	63.1			62.6		63.8		65.3	

Sources: Hartmann and Heil (1992), Heil and Hartmann (1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2000), Anonymus (2001, 2003, 2005a)

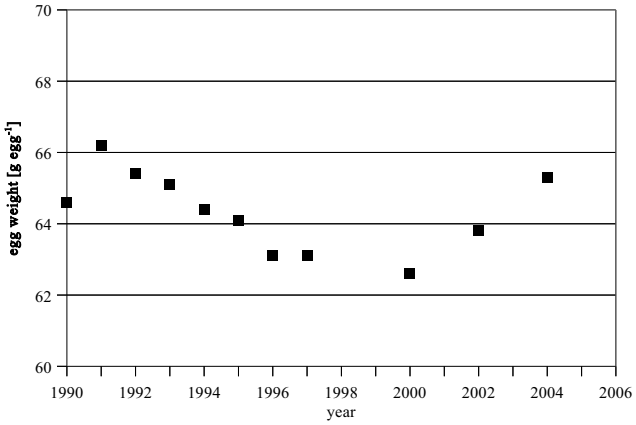

Figure 8:

Time series of average egg weights as obtained from official laying hen performance tests

Abbildung 8:

Zeitreihe der mittleren Eigewichte (aus Amtlichen Legeleistungsprüfungen)

Data gap closure for egg weights

As shown in Table 9, mean egg weights are missing for 1998, 1999, 2001, 2003 and 2005.

A relationship exists between the mean egg weight and the official laying hen performance test live weight at day 504 (see Figure 9). (The linear correlation between egg weights and final live weights reported from Haus Düsse will not be used due to its very low correlation coefficient R^2 of about 0.5.). As no weight data exist for 1998, this gap filling procedure can only be applied to the years 1999 and 2001.

In analogy to the previous chapter, the years 2004 and 2005 remain unfilled. Here, the data from the respective previous years are kept as a temporary solution.

Schließen von Datenlücken bei Eigewichten

Nach Tabelle 9 fehlen mittlere Eigewichte für 1998, 1999, 2001, 2003 und 2005.

Für 1999 und 2001 kann auf die Korrelation zwischen Eigewicht und Tierendgewicht zurückgegriffen werden, vgl. Abbildung 9. (Die lineare Korrelation zwischen Eigewichten von Haus Düsse und der Amtlichen Legeleistungsprüfung wird hier wegen des geringen Bestimmtheitsmaßes von ca. 0,5 nicht verwendet). Da für 1998 keine Gewichte existieren, kann diese Korrelation nur zur Schließung der Lücken in 1999 und 2001 verwendet werden.

In Analogie zum vorangegangenen Kapitel werden die Werte für 2004 und 2005 vom jeweiligen Vorjahr übernommen.

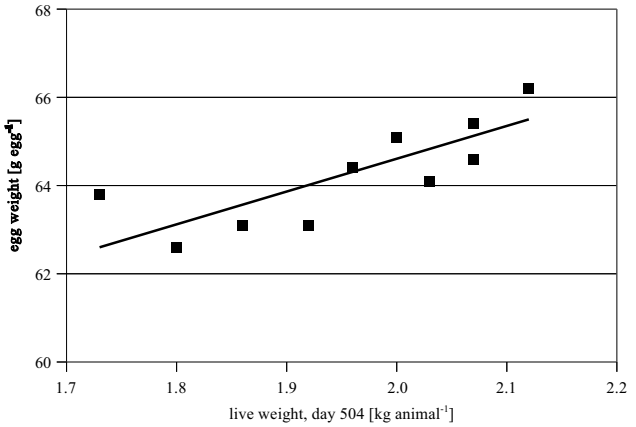

Figure 9:

Average egg weight displayed over live weight at day 504. All data obtained from official laying hen performance tests. (Linear regression: slope: 7.44 g kg^{-1}, intercept: 49.7 g egg^{-1}; $R^2 = 0.65$)

Abbildung 9:

Mittlere Eigewichte als Funktion der Lebendgewichte am 504. Tag. Alle Daten aus Amtlichen Legeleistungsprüfungen (Lineare Regression: Steigung: 7,44 g kg^{-1}; Achsenabschnitt: 49,7 g Ei^{-1}; $R^2 = 0,65$)

Gap closing procedures result in the completed time series from 1990 to 2005 of mean egg weights listed in Table 10.

Table 10:

Completed time series of the average egg weight, m_{egg}, for the years 1990 to 2005 (in g egg^{-1}). Data are based on laying hen performance tests (values in italics indicate data gap filling).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
m_{egg}	64.6	66.2	65.4	65.1	64.4	64.1	63.1	63.1	*63.1*	*63.7*	62.6	*63.9*	63.8	*63.8*	65.3	*65.3*

Man erhält schließlich die in Tabelle 10 dargestellte vervollständigte Zeitreihe der mittleren Eigewichte von 1990 bis 2005.

Tabelle 10:

Vervollständigte Zeitreihe der Eigewichte m_{egg} für die Jahre 1990 bis 2005 (in g Ei^{-1}). Steil: Daten aus der Amtlichen Legeleistungsprüfung; kursiv: Daten aus Lückenschlussverfahren.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
m_{egg}	64.6	66.2	65.4	65.1	64.4	64.1	63.1	63.1	*63.1*	*63.7*	62.6	*63.9*	63.8	*63.8*	65.3	*65.3*

2.1.7 Ash content of excreta

The calculation of VS excretions also requires the knowledge of ash contents in laying hens excreta. In accordance with Hennig and Poppe (1975) this is assumed to be $x_{ash,\ pu}$ = 0.26 kg kg^{-1}. As no further information is available, this value is assumed to be constant over the whole time series. (IPCC, 1996, neglect this term.)

2.1.8 Time series of metabolizable energy requirements

Using the overall relation given in Equation (3) and the completed data sets described in the previous chapters, the metabolic energy requirements per place and day can be calculated. Table 11 gives the data for cages, floor management and free range under the condition that temperatures are kept above 15 °C. Data which are based on gap closure procedures are indicated as such.

Table 11:

Time series of the demand of metabolizable energy ME_{lh} for the years 1990 to 2005 (in MJ place^{-1} d^{-1}) calculated according to Equation (3) for the three different housing types "cage" ($c_{h,\ lh}$ = 1.0 MJ MJ^{-1}), "floor management/aviary" ($c_{h,\ lh}$ = 1.1 MJ MJ^{-1}), and "free range" ($c_{h,\ lh}$ = 1.15 MJ MJ^{-1}), based on the assumption of housing temperatures ≥ 15°C. Values in italics are based on data defined to fill data gaps in the input time series.

housing	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
cage	1.28	1.31	1.29	1.28	1.26	1.28	1.23	1.25	*1.25*	*1.25*	1.22	*1.26*	1.20	*1.20*	*1.31*	*1.31*
aviary	1.41	1.44	1.42	1.41	1.38	1.41	1.35	1.37	*1.38*	*1.37*	1.34	*1.38*	1.32	*1.32*	*1.44*	*1.44*
free range	1.47	1.50	1.49	1.47	1.45	1.47	1.41	1.44	*1.44*	*1.44*	1.40	*1.45*	1.38	*1.38*	*1.50*	*1.50*

2.1.9 Time series of VS excretions

The time series of metabolizable energies required (Table 11) and the ash contents described in chapter 2.1.7 can be used as a base for the assessment of VS excretions using Equations (1) and (2). The additional information on the energy content of dry matter, $c_{E,lh}$, the digestibility of feed, $X_{DE,lh}$, and the metabolizability of feed, $X_{ME,lh}$, is provided

2.1.7 Asche-Gehalt der Ausscheidungen

Zur Berechnung der VS-Ausscheidungen ist auch die Kenntnis des Aschegehaltes im Legehennenkot erforderlich. Er wird nach Daten in Hennig und Poppe (1975) mit $x_{ash,\ pu}$ = 0,26 kg kg^{-1} angenommen. Mangels weiterer Informationen wird er als zeitlich konstant angesehen. (IPCC, 1996, vernachlässigt diesen Term.)

2.1.8 Zeitreihen des Bedarfs an umsetzbarer Energie

Mit Hilfe der vervollständigten Datensätze aus den vorausgegangenen Abschnitten wird über Gleichung (3) der Bedarf an umsetzbarer Energie pro Platz und Tag berechnet. Tabelle 11 zeigt die so erhaltenen Zeitreihen für Käfighaltung, Bodenhaltung und Freilandhaltung bei Temperaturen über 15°C. Hervorgehoben sind die Werte, die auf der Schließung von Datenlücken beruhen.

Tabelle 11:

Zeitreihe des Bedarfs an umsetzbarer Energie ME_{lh} für die Jahre 1990 bis 2005 (in MJ Platz^{-1} d^{-1}), berechnet mit Gleichung (3) für die drei unterschiedlichen Haltungsvarianten „Käfighaltung" (c_{lh} = 1,0 MJ MJ^{-1}), „Boden- bzw. Volierenhaltung" (c_{lh} = 1,1 MJ MJ^{-1}) und „Freilandhaltung" (c_{lh} = 1,15 MJ MJ^{-1}) bei angenommenen Temperaturen ≥ 15 °C. Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

housing	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
cage	1.28	1.31	1.29	1.28	1.26	1.28	1.23	1.25	*1.25*	*1.25*	1.22	*1.26*	1.20	*1.20*	*1.31*	*1.31*
aviary	1.41	1.44	1.42	1.41	1.38	1.41	1.35	1.37	*1.38*	*1.37*	1.34	*1.38*	1.32	*1.32*	*1.44*	*1.44*
free range	1.47	1.50	1.49	1.47	1.45	1.47	1.41	1.44	*1.44*	*1.44*	1.40	*1.45*	1.38	*1.38*	*1.50*	*1.50*

2.1.9 Zeitreihe der VS-Ausscheidungen

Mit Hilfe der ME-Zeitreihe in Tabelle 11 lässt sich über die Gleichungen (1) und (2) die Zeitreihe der täglichen VS-Ausscheidung pro Legehennenplatz berechnen. Die in Tabelle 12 wiedergegebenen Ergebnisse beruhen auf dem in Abschnitt 2.1.7 angegebenen Asche-Gehalt sowie den in Tabelle 1 zu findenden Werten von $c_{E,lh}$ und $X_{DE,lh}$.

Table 12:

Time series of average daily VS excretions of laying hens (in g place^{-1} d^{-1}) calculated according to Equation (1) from the *ME* data presented in Table 11. Values in italics are based on input data obtained by data gap closure.

Tabelle 12:

Zeitreihe der mittleren täglichen Ausscheidungen von abbaubaren C-Verbindungen (VS-Ausscheidungen) von Legehennen (in g Platz^{-1} d^{-1}), berechnet mit Gleichung (1) aus den in Tabelle 11 angegebenen *ME*-Daten. Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

housing	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
cage	17.6	18.0	17.8	17.6	17.3	17.6	16.9	17.2	*17.2*	*17.2*	16.7	*17.3*	16.5	*16.6*	*18.0*	*18.0*
aviary	19.4	19.8	19.6	19.3	19.0	19.4	18.6	18.9	*19.0*	*18.9*	18.4	*19.1*	18.2	*18.2*	*19.8*	*19.8*
free range	20.3	20.7	20.5	20.2	19.9	20.2	19.4	19.8	*19.8*	*19.8*	19.2	*19.9*	19.0	*19.1*	*20.7*	*20.7*

in Table 1. Table 12 summarizes the results.

VS excretion rates which contain information gained from data gap closure, are indicated as such.

Egg numbers and egg weights can only be obtained as national means. Thus, the ME_{lh} required, as calculated in Equation (3) is given as a national mean, irrespective of the potential covariances between these entities on the Länder or district levels. Any additional uncertainties originating in this cannot be quantified.

2.2 N excretions

The assessment of N excretion makes use of the complete N balance of a laying hen, comprising N intake with feed, N retained in the body and N excreted with eggs.

VS-Ausscheidungen, die auf Eingangsdaten beruhen, die durch Schließung von Datenlücken erhalten wurden, sind hervorgehoben.

In Ermangelung von räumlich höher aufgelösten Zeitreihen von Eierzahl und Eigewicht erfolgt die Berechnung des durch die Eiproduktion hervorgerufenen ME_{lh}-Bedarfes nach Gleichung (3) ohne Berücksichtigung einer auf Landes- und Kreisebene möglichen Kovarianz zwischen Eierzahlen und Eigewichten. Der damit verbundene Fehler kann nicht quantifiziert werden.

2.2 N-Ausscheidungen

Die Berechnung der N-Ausscheidung geht von einer auf den gesamten Durchgang bezogenen N-Bilanz der Legehenne aus. Die Bilanz umfasst futterbedingte N-Aufnahme, N-Retention im Körper und N-Abgabe über die Eier:

$$m_{\text{excreted, day}} = x_{\text{N}} \cdot x_{\text{XP, feed}} \cdot m_{\text{F, day, place}} - x_{\text{N, lh}} \cdot \frac{\Delta w_{\text{round, lh}}}{\tau_{\text{round, lh}}} - x_{\text{N, eggs}} \cdot \frac{n_{\text{egg}}}{\alpha} \cdot m_{\text{egg}} \quad (9)$$

where

$m_{\text{excreted, day}}$	amount of nitrogen excreted (n kg place^{-1} d^{-1} N)
x_{N}	nitrogen content of crude protein (x_{N} = 1/6.25 kg kg^{-1} N)
$x_{\text{XP, feed}}$	crude protein content of feed (in kg kg^{-1} XP)
$m_{\text{F, day, place}}$	daily feed intake per place (in kg d^{-1} place^{-1})
$x_{\text{N, lh}}$	specific nitrogen content of total hen ($x_{\text{N, lh}}$ = 0.035 kg kg^{-1} N, see LfL, 2006)
$\tau_{\text{round, lh}}$	duration of production cycle (in d round^{-1})
$x_{\text{N, eggs}}$	nitrogen content of eggs ($x_{\text{N, eggs}}$ = 0.019 kg kg^{-1} XP, see chapter 2.2.3)
n_{egg}	number of eggs considered (in place^{-1} a^{-1})
α	time units conversion factor (α = 365 d a^{-1})
m_{egg}	mass of egg (in kg egg^{-1})

2.2.1 N intake

The assessment of N with feed presupposes knowledge of the crude protein contents of the feed, $x_{\text{XP, feed}}$, and the daily feed intake per place, $m_{\text{F, day, place}}$.

2.2.1 N-Aufnahme

Die Berechnung der futterbedingten N-Aufnahme erfordert die Kenntnis des Rohprotein-Gehaltes des Futters, $x_{\text{XP, feed}}$, und der täglichen Futtermenge pro Platz, $m_{\text{F, day, place}}$.

Crude protein content of feed

In principle, energy and protein requirements of laying hens vary with time. This can be accounted for by phase feeding. Both KTBL (2004) and DLG (2005) provide data for two-phase feeding. However, it is common practice in Germany to apply single-phase feeding.

For single-phase feeding, a differentiation is made between normal and NP reduced feeds.

Reduced N contents in feed require an adjusted amino acid composition. However, this is not significant for emission modelling.

According to information supplied by feed producers, such as RHG (2006), or Simon and Sommer (2004), typical normal crude protein (XP) concentrations are in the range of 0.17 kg kg^{-1} XP: Simon and Sommer (2004) analysed 4 feed mixtures indicated with 0.17 kg kg^{-1} XP, and found actual values between 0.166 and 0.181 kg kg^{-1} XP. The XP content of 0.175 kg kg^{-1} assumed by DLG (2005, pg. 47), is within this range also. The maximum XP content of 0.181 kg kg^{-1} was analysed for the feed mixture that was already used to derive VS excretions (see chapter 2.1.1).

It makes sense to use this feed for the assessment of N excretions.

However, neither the XP content analysed for feed nor the XP content indicated by the manufacturer could be used. For reasons of consistency with the VS excretion calculations, the XP contents were obtained from feed composition data and the standard data provided in Beyer et al. (2004). This procedure results in XP contents of 0.172 kg kg^{-1} XP (see Table 1). This is close to the manufacturer´s packing information and well within the range which is considered representative.

We therefore use this value to calculate N excretions for laying hens fed normal.

In experiments by the UFA AG (2006), XP contents between 0.0150 and 0.155 kg kg^{-1} XP were used for NP reduced feed. KTBL (2004) stated that NP reduced feed can contain as much as 0.165 kg kg^{-1} XP. DLG (2005) even indicate a value of 0.17 kg kg^{-1} XP, which is very close to the XP content of normal feed, as discussed above. We therefore prefer the value of 0.165 kg kg^{-1} XP proposed by KTBL (2004) for NP reduced feed.

With respect to emission reduction potentials it is remarkable that the difference in XP contents between the two types of feed is in the same order of magnitude as the scatter analyzed or assumed for any of the two feeds.

Daily feed intake

The following discussion uses the term feed *requirement*

Rohprotein-Gehalt des Futters

Dem zeitlich veränderlichen Bedarf an Energie- und Protein Futter kann durch Phasenfütterung entsprochen werden. KTBL (2004) und DLG (2005) geben Eckwerte für eine Zweiphasenfütterung an. In der Praxis werden dagegen häufig so genannte Alleinfutter verwendet.

Bei Alleinfutter wird zwischen normalen und NP-reduzierten Futtermischungen unterschieden.

Der verminderte N-Gehalt erfordert eine Anpassung der Aminosäuren-Versorgung, die aber für Emissionsberechnungen ohne Bedeutung ist.

Nach Herstellerangaben (s. z. B. RHG, 2006; Simon und Sommer, 2004) beträgt der typische Rohprotein-Gehalt bei normalem, d. h. nicht NP-reduziertem Alleinfutter 0,17 kg kg^{-1} XP: Simon und Sommer (2004) analysierten vier mit diesem Wert deklarierte Futtermittel und fanden Rohprotein-Gehalte zwischen 0,166 kg kg^{-1} XP und 0,181 kg kg^{-1} XP. In diesem Bereich liegt der von DLG (2005, S. 47) für normales Futter angegebene Wert 0,175 kg kg^{-1} XP. Der Maximalwert 0,181 kg kg^{-1} XP wurde in dem Produkt gefunden, das der Berechnung von VS-Ausscheidungen zugrunde gelegt wurde (s. Abschnitt 2.1.1).

Es liegt nahe, dieses Futtermittel auch der Berechnung der N-Ausscheidungen zugrunde zu legen. Dabei können aber weder das o. g. Analysenergebnis (0,181 kg kg^{-1} XP) noch die Herstellerangabe (0,17 kg kg^{-1} XP) direkt übernommen werden. Stattdessen wurde aus Konsistenzgründen der Rohprotein-Gehalt analog zur Ermittlung der für die VS-Ausscheidung relevanten Futtermittelkennwerte berechnet. Es ergab sich ein Rohprotein-Gehalt von 0,172 kg kg^{-1} XP , s. Tabelle 1. Dieser Wert liegt zum einen nahe an der Herstellerangabe, zum anderen aber auch hinreichend repräsentativ im Bereich der o. g. Analysenergebnisse.

Es erscheint akzeptabel, damit die N-Ausscheidungen für normales Futter zu berechnen.

Für NP-reduziertes Futter wurden in Versuchen der UFA AG (2006) 0,150 kg kg^{-1} XP bis 0,155 kg kg^{-1} XP eingestellt. Nach KTBL (2004) kann NP-reduziertes Futter bis zu 0,165 kg kg^{-1} XP aufweisen. Nach DLG (2005) liegt der Wert bei 0,17 kg kg^{-1} XP, und damit sehr nahe am oben diskutierten Niveau für normale Futtermittel. Daher wird für NP-reduziertes Futter der Angabe aus KTBL (2004) mit 0,165 kg kg^{-1} XP der Vorzug gegeben.

Bemerkenswert in Hinblick auf Emissionsminderungsstrategien ist, dass der XP-Unterschied zwischen beiden Futtertypen in der gleichen Größenordnung liegt wie die analysierte bzw. für möglich erachtete Streuung bei jedem einzelnen der beiden Futtertypen.

Tägliche Futtermengen

Futter*bedarf* bezeichnet im Folgenden diejenige Futter-

to describe the amount of feed of a given composition, a laying hen has to consume to satisfy her energy and nutrient needs. The feed *intake* is the amount the animal consumes in reality. It may exceed the requirements. The term feed *ration* describes the amount administered. It includes feed wasted by the hens.

For the assessment of excreta, both the feed intake and the feed ration are relevant entities, as the wasted feed will be removed from the animal house with faeces or bedding material and is also likely to contribute to emissions.

It seems adequate to compare calculated and reported quantities of feed. These amounts are needed per place and year ($m_{\mathrm{F,\,day,\,place}}$). Data per animal ($m_{\mathrm{F,\,day,\,animal}}$) have to be transformed using information about the lifespan and the duration of the round, τ_{lifespan} and τ_{round}, respectively. These data can be obtained from Table 2. The following equation is used to describe the relation:

menge, die die Legehenne bei gegebenen Futtereigenschaften zur Deckung ihres Energie- und Nährstoffbedarfs aufnehmen muss. Vom Futterbedarf grenzt sich die Futter*aufnahme* ab, die die tatsächlich aufgenommene Futtermenge darstellt und den Futterbedarf übersteigen kann. Als Futter*verbrauch* wird die verabreichte Futtermenge bezeichnet. Sie umfasst auch mögliche Futterverluste.

Im Hinblick auf die Berechnung von Emissionen interessieren sowohl die tatsächlich aufgenommene Futtermenge als auch die Verluste, die mit der Einstreu oder dem Kot aus dem Stall entfernt werden und ebenfalls zu Emissionen führen können.

Aus Vergleichsgründen erscheint es sinnvoll, neben der Berechnung der täglichen Futteraufnahme auch die derzeit verfügbaren Beobachtungsdaten zu beschreiben. Dabei wird die Futtermengenangabe nicht pro Tier ($m_{\mathrm{F,\,day,\,animal}}$), sondern pro Tierplatz ($m_{\mathrm{F,\,day,\,place}}$) benötigt. Zwischen beiden Größen besteht der folgende Zusammenhang (zu Lebensdauer τ_{lifespan} und Durchgangsdauer τ_{round} siehe Tabelle 2):

$$m_{\mathrm{F,\,day,\,place}} = m_{\mathrm{F,\,day,\,animal}} \cdot \frac{\tau_{\mathrm{lifespan}}}{\tau_{\mathrm{round}}} \qquad (10)$$

where

$m_{\mathrm{F,\,day,\,place}}$	daily feed intake per place (in kg d^{-1} $place^{-1}$)
$m_{\mathrm{F,\,day,\,animal}}$	daily feed intake per animal (in kg d^{-1} $animal^{-1}$)
τ_{lifespan}	span of animal lifetime within a round (in d $round^{-1}$)
τ_{round}	duration of production cycle (in d $round^{-1}$)

Observed feed intakes

We assume that amounts of feed reported from animal production practice include or may include wasted feed.

Data regarding feed ration are not reported by official German statistics. The official laying hen performance tests report feed ration in relation to the egg mass produced. Only since 2000, they have also given daily feed ration data. Thus, for previous years the relative data had to be transformed into daily intake data. Table 13 collates the calculated and reported feed ration data, $\mathrm{ALLP_{est}}$ and $\mathrm{ALLP_{rep}}$, respectively. Table 13 also gives the feed ration data published by Haus Düsse (Anonymus, 1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1999, 2000, 2002, 2004, 2005b).

The data sources do not give any hints as to whether the feed amounts reported represent pure feed intake or also include squandered feed fractions. However, expert knowledge suggests that with the performance level of 2004/2005 laying hens had to be supplied with about 120 g $animal^{-1}$ d^{-1}, when fed *ad libitum* (Halle, 2006; Kleine-Klausing, 2006; LfL, 2004). This value is well above the amounts listed in Table 13. We thus conclude that the data presented in Table 13 represent feed intakes rather feed rations.

Beobachtete Futteraufnahmen

Wir gehen davon aus, dass aus der Praxis berichtete Futtermengen auch verschwendetes Futter einschließen.

Futterverbrauchsdaten werden durch die Offizialstatistik nicht berichtet. Amtliche Legeleistungsprüfungen (ALLP) berichten die auf die Eimasse bezogene Futtermenge. Erst seit 2000 finden sich Angaben zur täglichen Futtermenge. Nach Umrechnung der relativen Daten ergibt sich die in Zeile $\mathrm{ALLP_{est}}$ in Tabelle 13 dargestellte Zeitreihe. Die ab 2000 direkt berichteten Futtermengen sind in Zeile $\mathrm{ALLP_{rep}}$ in Tabelle 13 angegeben. Tabelle 13 gibt zusätzlich Futtermengedaten aus Haus Düsse (Anonymus, 1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1999, 2000, 2002, 2004, 2005b).

Die Datenquellen geben keinen Hinweis darauf, ob die berichteten Futtermengen die reine Futteraufnahme darstellen oder auch verschwendetes Futter umfassen. Allerdings werden nach Expertenauskunft beim Leistungsstand von 2004/2005 im Rahmen der ad-libitum-Fütterung etwa 120 g $Tier^{-1}$ d^{-1} verabreicht (Halle, 2006; Kleine-Klausing, 2006; LfL, 2004). Dieser Wert liegt deutlich über denen, die Tabelle 13 für diese Jahre zeigt, so dass es plausibel erscheint, die Daten in Tabelle 13 als Futteraufnahme zu

Figure 10 illustrates a comparatively close relation between the data obtained from the various sources. As expected feed ration has decreased since 1990 due to the reduction in animal weights and the improvement of feed utilization.

An explanation for the differences between the different time series cannot be given.

At the time this article was written, no time series could be detected describing feed intake or ration of hens kept in floor or free range managements.

interpretieren.

Abbildung 10 zeigt einen relativ engen Zusammenhang zwischen Daten aus verschiedenen Quellen. Erwartungsgemäß waren die Futtermengen in früheren Jahren größer als heutzutage, was auf die größeren Tiergewichte zu Beginn der 1990er Jahre und die schlechtere Futterverwertung zurückzuführen ist.

Erklärungen für die Unterschiede zwischen den einzelnen Zeitreihen sind nicht bekannt.

Zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Arbeit liegen für die Haltungsformen „Bodenhaltung“ und „Freilandhaltung“ keine Zeitreihen von experimentellen Daten vor.

Table 13:

Data of daily feed provided per animal, $m_{F,\ day,\ animal}$ (in g animal^{-1} d^{-1}). Data in row $ALLP_{est}$ are estimated from reported intake data relative to egg mass, while row $ALLP_{rep}$ represents explicitly reported values. For de-tails see text (ALLP stands for Allgemeine Legeleistungsprüfung). The data in row DÜSSE are observed values reported from the German experimental farm Haus Düsse. For 2005 data were not yet available.

Tabelle 13:

Angaben zu täglichen Futtermengen pro Tier $m_{F,\ day,\ animal}$ (in g Tier^{-1} d^{-1}). Die Daten unter $ALLP_{est}$ sind aus Angaben zur Futteraufnahme bezogen auf die Eimasse abgeleitet, wohingegen die unter $ALLP_{rep}$ aufgeführten Werte direkt den Berichten entnommen wurden. Die mit DÜSSE gekennzeichneten Werte wurden vom Landwirtschaftszentrum Haus Düsse veröffentlicht. Für 2005 waren noch keine Daten verfügbar.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
$ALLP_{est}$ [a]	123.5	123.0	123.6	122.1	118.9	117.9	111.4	112.4			114.1		108.4		113.4	
$ALLP_{rep}$ [a]											113.5		110.4		113.4	
DÜSSE [b]	123.1	121.8	122.1	119.4	117.1			110.9		110.4	114.1	112.0	110.8		114.0	

[a] Sources: Hartmann and Heil (1992), Heil and Hartmann (1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2000), Anonymus (2001, 2003, 2005a)
[b] Sources: Anonymus (1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1999, 2000, 2002, 2004, 2005b)

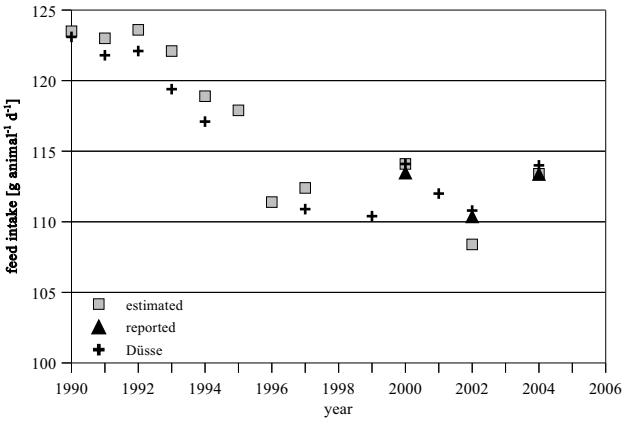

Figure 10:

Time series of data of daily feed provided per laying hen as given in Table 13

Abbildung 10:

Zeitreihe der täglich verabreichten Futtermengen je Legehenne (vergleiche Tabelle 13)

A data gap closure was not performed for the data shown in Table 13, as the data collated were primarily used to establish a comparison with feed requirement data. For this purpose they had to be converted into amounts *per place* and day. These data are presented in Table 14.

Auf eine Schließung der Datenlücken in Tabelle 13 wird verzichtet, da die beobachteten Futtermengen nur als Vergleichsdaten für die nachfolgende Futtermengenberechnung dienen. Für diesen Vergleich erfolgt noch eine Umrechnung in eine Angabe *pro Platz* und Tag, siehe Tabelle 14.

Table 14:

Time series of daily feed provided per place, $m_{F,\,day,\,place}$ (in g place^{-1} d^{-1}), derived from the data presented in Table 13, line $ALLP_{est}$, using Equation (10) with $\tau_{lifespan}$ = 434 d round^{-1} and τ_{round} = 441 d round^{-1}.

Tabelle 14:

Zeitreihe der pro Platz bereitgestellten Futtermenge $m_{F,\,day,\,place}$ (in g Platz^{-1} d^{-1}), abgeleitet aus den in Tabelle 13 aufgeführten Daten $ALLP_{est}$ unter Verwendung von Gleichung (10) mit einer Lebensdauer $\tau_{lifespan}$ und einer Durchgangsdauer τ_{round} = 441 d Durchgang^{-1}.

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
121.5	121.1	121.6	120.1	117.0	116.0	109.6	110.6			111.7		108.6		111.6	

Feed intake tailored to suite requirements

In accordance with the approach used by IPCC (1996) to assess VS excretions, performance based feeding is the scale of feed intake calculations. Therefore, the metabolic energy requirements taking performance and management into account are used to calculate feed intakes.

Hence, the amount of feed required is derived from the metabolic energy intake as follows:

Futtermengen bei bedarfsgerechter Fütterung

Es entspricht der Vorgehensweise von IPCC (1996) für die Berechnung der VS-Ausscheidungen, leistungsgerechte Fütterung zum Maßstab der Futteraufnahme zu machen. Ausgangspunkt ist deshalb der Bedarf an umsetzbarer Energie, der im Zusammenhang mit der VS-Ausscheidung ermittelt wurde.

Die tägliche Futteraufnahme wird aus dem Bedarf an umsetzbarer Energie abgeleitet:

$$m_{F,\,day,\,place} = \frac{ME_{lh}}{x_{ME,\,feed}} \qquad (11)$$

where

$m_{F,\,day,\,place}$	daily feed intake per place (in kg place^{-1} d^{-1})
ME_{lh}	daily requirement for metabolizable energy (MJ place^{-1} d^{-1})
$x_{ME,\,feed}$	content of metabolizable energy in feed ($x_{ME,\,feed}$ = 11.26 MJ kg^{-1} ME)

The energy content $x_{ME,\,feed}$ of the feed is taken from Table 1 (11.26 MJ kg^{-1}). This data set was also used to describe VS excretions and to discuss N contents of the feed. This value is taken to be constant over time, as other detailed information is missing.

Equation (11) and $x_{ME,\,feed}$ as described above are used to quantify feed intake tailored to energy requirements for cages, floor and free range management systems are given in Table 15.

Für $x_{ME,\,feed}$ wird der Energiegehalt des Futtermittels gewählt (11,26 MJ kg^{-1}, siehe Tabelle 1), das der Berechnung von VS-Ausscheidungen zugrunde gelegt wurde. Mangels besserer Informationen wird dieser Wert auch für frühere Jahre verwendet.

Mit Gleichung (11) und den ME-Angaben aus Tabelle 11 lassen sich für Käfighaltung, Bodenhaltung und Freilandhaltung die täglichen Futteraufnahmewerte pro Tierplatz berechnen. Sie sind in Tabelle 15 wiedergegeben.

Table 15:

Time series of calculated daily feed intake per place for the years 1990 to 2005 (in g place^{-1} d^{-1}) considering the three different housing types "cage", "floor management/aviary", and "free range". Values in italics are based on data defined to fill data gaps in the input time series.

Tabelle 15:

Zeitreihe der modellierten täglichen Futteraufnahme für die Jahre 1990 bis 2005 (in kg Platz^{-1} a^{-1} N) für die Haltungsvarianten „Käfighaltung", „Boden- bzw. Volierenhaltung" und „Freilandhaltung". Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

housing	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
cage	113.7	116.0	114.9	113.5	111.6	113.5	109.0	110.9	*111.2*	*110.9*	108.0	*111.8*	106.7	*106.9*	*116.1*	*116.1*
aviary	125.1	127.6	126.3	124.8	122.8	124.8	119.9	122.0	*122.3*	*121.9*	118.8	*122.9*	117.4	*117.6*	*127.7*	*127.7*
free range	130.8	133.4	132.1	130.5	128.4	130.5	125.3	127.6	*127.8*	*127.5*	124.2	*128.5*	122.7	*123.0*	*133.5*	*133.5*

Comparison of observed and modelled amounts of feed

All details regarding observed feed intakes in Table 13 originate from cage systems. Therefore, a direct comparison between observed and modelled data can only be performed for hens in cages. This is done in Figure 11 (not taking into account data based on gap closure).

Vergleich von beobachteten und berechneten Futtermengen

Alle Angaben zu beobachteten Futtermengen in Tabelle 13 stammen aus der Käfighaltung. Ein direkter Vergleich von Beobachtung und Berechnung kann daher nur für Käfighaltung durchgeführt werden. Abbildung 11 stellt die verfügbaren Daten gegenüber, wobei nur Daten berücksichtigt wurden, die nicht auf eine Datenlückenschließung zurückgehen.

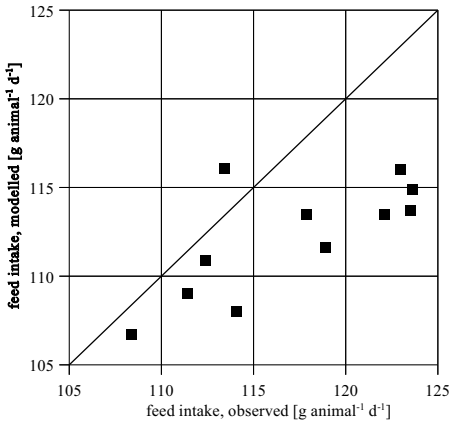

Figure 11:

Comparison of observed and modelled feed intakes for laying hens kept in cages (for details see text)

Abbildung 11:

Vergleich von beobachteten (vgl. Tabelle 15) und modellierten Futteraufnahmen bei Legehennen in Käfighaltung

As was to be expected, Figure 11 shows that in almost all cases the modelled intakes fall below the observed ones. The only exception is the data point for 2004, where the higher intake may be related to the possibly exaggerated animal weight (cf. context to Figure 2). Differences between modelled and observed intakes range between 1.4 and 9.8 g place^{-1} d^{-1}. It is conspicious that the difference increases with the overall intake and seem to become zero for about 105 g place^{-1} d^{-1}.

The modelled daily feed intake is used to derive N excretions. Table 16 gives the time series of calculated annual N intakes with feed. It is partly based on completed data sets.

Der Datenpunkt für 2004, der als einziger oberhalb der 1:1-Linie liegt, ist in seinem Betrag auf das möglicherweise zu hohe Tierendgewicht zurückzuführen (vgl. Kontext zu Abbildung 2). Die übrigen Berechnungsergebnisse sind erwartungsgemäß niedriger als die beobachteten Futtermengen, wobei die Differenzen zwischen 1,4 g Platz^{-1} d^{-1} und 9,8 g Platz^{-1} d^{-1} liegen. Auffällig ist, dass der Differenzbetrag mit niedriger werdenden Beobachtungswerten gegen Null zu gehen scheint.

Die berechnete Futtermittelaufnahme wird der Berechnung der N-Ausscheidungen zugrunde gelegt. Tabelle 16 zeigt die Zeitreihe der berechneten jährlichen N-Aufnahme über das Futter. Sie beruht teilweise auf vervollständigten Datensätzen.

Table 16:

Time series of modelled annual N intakes with feed for the years 1990 to 2005 (in kg place^{-1} a^{-1} N) considering the three different housing types "cage", "floor management / aviary", and "free range". Values in italics are based on data defined to fill data gaps in the input time series.

Tabelle 16:

Zeitreihe der modellierten jährlichen N-Aufnahme mit dem Futter für die Jahre 1990 bis 2005 (in kg Platz^{-1} a^{-1} N). Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

housing	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
cage	3.13	3.19	3.16	3.12	3.07	3.12	3.00	3.05	*3.06*	*3.05*	2.97	*3.08*	2.94	*2.94*	*3.19*	*3.19*
aviary	3.44	3.51	3.48	3.43	3.38	3.44	3.30	3.36	*3.37*	*3.36*	3.27	*3.38*	3.23	*3.24*	*3.51*	*3.51*
free range	3.60	3.67	3.63	3.59	3.53	3.59	3.45	3.51	*3.52*	*3.51*	3.42	*3.54*	3.38	*3.38*	*3.67*	*3.67*

2.2.2 N retention

According to Equation (9), the amount of N retained is a function of the weight gain Δw of the animal (see Table 5) and the specific N content of a laying hen, $x_{N,\,lh}$, for which LfL (undated) gives a value of 0.035 kg kg^{-1} N. The N retention calculated per place and year is given in Table 17.

Table 17:

Time series of modelled annual N retention for the years 1990 to 2005 (in kg place^{-1} a^{-1} N). Values in italics are based on data defined to fill data gaps in the input time series.

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0.16	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	*0.15*	*0.15*	0.14	*0.15*	0.14	*0.14*	0.16	*0.16*

2.2.3 N excreted with eggs

For the N content of eggs, LfL (undated) gives a value of 1.19 kg per 1000 eggs with a mass of 62.5 g egg^{-1}, equivalent to a crude protein content of 0.019 kg kg^{-1} XP. Given the N content of crude protein (16 %), the specific content of crude protein in eggs amounts to 0.119 kg kg^{-1} XP. This value matches the data published in other sources: GfE (1999) use 0.112 kg kg^{-1} XP, Geflügeljahrbuch (2005) states 0.121 kg kg^{-1} XP.

In our calculations, the LfL value was used.

The calculation of the amount of N excreted with eggs also requires the numbers of eggs laid, n_{egg}, as well as their weights, m_{egg}. Using the data given in Tables 6 and 7 one obtains the results summarized in Table 18.

Table 18:

Time series of modelled annual N excretion with eggs for the years 1990 to 2005 (in kg place^{-1} a^{-1} N). Values in italics are based on data defined to fill data gaps in the input time series. Results for 1990 through 1993 are based on egg numbers collected for the old federal states (Alte Länder) only.

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0.91	0.93	0.93	0.94	0.93	0.93	0.93	0.94	*0.94*	*0.96*	0.94	*0.96*	0.96	*0.96*	*0.99*	*0.99*

2.2.4 Time series of N excretions

Table 19a summarizes the N excretions per place and *day* as calculated using Equation (9) for cage, floor and free range managements, housing temperatures ≥ 15°C and normal feed. The respective excretions for NP reduced feeding are provided in Table 19b.

2.2.2 N-Retention

Die N-Retention über die gesamte Haltungsperiode ergibt sich nach Gleichung (9) als Produkt aus Gewichtsdifferenz Δw (siehe Tabelle 5) und spezifischem N-Gehalt einer Legehenne, $x_{N,\,lh}$, der nach LfL (o.J.) 0,035 kg kg^{-1} N beträgt. Die pro Platz und Jahr berechnete N-Retention ist in Tabelle 17 zusammengestellt:

Tabelle 17:

Zeitreihe der jährlichen N-Retention für die Jahre 1990 bis 2005 (in kg Platz^{-1} a^{-1} N). Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0.16	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	*0.15*	*0.15*	0.14	*0.15*	0.14	*0.14*	0.16	*0.16*

2.2.3 N-Ausscheidung mit Eiern

Für den N-Gehalt von Eiern gibt LfL (o.J.) 1,19 kg N pro 1000 Eier mit einem Einzelgewicht von 62,5 g an. Dies entspricht $x_{N,\,eggs}$ = 0,019 kg kg^{-1} N. Über den N-Gehalt im Protein (16 %) gelangt man zum spezifischen Rohproteingehalt im Ei von 0,119 kg kg^{-1} XP. Dieser Wert liegt im Bereich der Angaben aus anderen Quellen (z. B. 0,112 kg kg^{-1} XP in GfE, 1999, und 0,121 kg kg^{-1} XP im Geflügeljahrbuch, 2005).

Bei den hier durchgeführten Rechnungen wurde der LfL-Wert zugrunde gelegt.

Zur Berechnung der auf den Platz und den Tag bezogenen N-Abgabe durch Eiproduktion in Gleichung (9) werden außerdem Angaben zu Eierzahl, n_{egg}, und Eigewicht, m_{egg} benötigt (s. Tabellen 6 und 7). Die Ergebnisse sind in Tabelle 18 zusammengefasst.

Tabelle 18:

Zeitreihe der modellierten jährlichen N-Austrägen mit Eiern für die Jahre 1990 bis 2005 (in kg Platz^{-1} a^{-1} N). Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden. Die Daten für die Jahre 1990 bis 1993 beruhen auf Angaben zu Einzahlen aus den Alten Bundesländern.

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0.91	0.93	0.93	0.94	0.93	0.93	0.93	0.94	*0.94*	*0.96*	0.94	*0.96*	0.96	*0.96*	*0.99*	*0.99*

2.2.4 Zeitreihe der N-Ausscheidungen

Tabelle 19a zeigt die nach Gleichung (9) berechneten N-Ausscheidung pro Platz und *Tag* für Käfighaltung, Bodenhaltung und Freilandhaltung (mit Haltungstemperaturen ≥ 15°C) und für normale Fütterung. Entsprechende Ergebnisse für NP-reduzierte Fütterung sind in Tabelle 19b wiedergegeben.

The equivalent *annual N* excretions rates are listed in Tables 20a (normal feed) and 20b (NP reduced feed).

Die *jährlich* pro Platz ausgeschiedenen N-Mengen finden sich in den Tabellen 20a (für normale Fütterung) und 20b (für NP-reduzierte Fütterung).

Table 19a:

Time series of calculated *daily* N excretion per place (in g place^{-1} d^{-1}) considering the three different housing types "cage", "floor management/ aviary", and "free range", based on housing temperatures ≥ 15°C and *normal feed* ($x_{XP, feed}$ = 0.172 kg kg^{-1} XP). Values in italics are based on input data obtained by gap closure.

Tabelle 19a:

Zeitreihe der berechneten *täglichen* N-Ausscheidung pro Platz (in g Platz^{-1} d^{-1} N) für die Haltungsvarianten „Käfighaltung", „Boden- bzw. Volierenhaltung" und „Freilandhaltung" für Temperaturen ≥ 15 °C und *normales Futter* ($x_{XP, feed}$ = 0,172 kg kg^{-1} XP). Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
cage	2.06	2.09	2.06	2.02	1.99	2.04	1.92	1.96	*1.96*	*1.94*	1.88	*1.96*	1.84	*1.84*	*2.05*	*2.05*
aviary	2.37	2.41	2.38	2.33	2.30	2.35	2.22	2.27	*2.27*	*2.25*	2.18	*2.27*	2.14	*2.14*	*2.37*	*2.37*
free range	2.52	2.57	2.54	2.49	2.45	2.50	2.37	2.42	*2.42*	*2.40*	2.33	*2.42*	2.28	*2.28*	*2.53*	*2.53*

Table 19b:

Time series of calculated *daily* N excretion per place (in g place^{-1} d^{-1}) considering the three different housing types "cage", "floor management/ aviary", and "free range", based on housing temperatures ≥ 15°C and *N reduced feed* ($x_{XP, feed}$ = 0.165 kg kg^{-1} XP). Values in italics are based on input data obtained by gap closure.

Tabelle 19b:

Zeitreihe der berechneten *täglichen* N-Ausscheidung pro Platz (in g Platz^{-1} d^{-1} N) für die Haltungsvarianten „Käfighaltung", „Boden- bzw. Volierenhaltung" und „Freilandhaltung" für Temperaturen ≥ 15 °C und *N-reduziertes Futter* ($x_{XP, feed}$ = 0,165 kg kg^{-1} XP). Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
cage	1.93	1.96	1.93	1.89	1.86	1.91	1.80	1.84	*1.84*	*1.82*	1.76	*1.84*	1.72	*1.72*	*1.92*	*1.92*
Aviary	2.23	2.27	2.24	2.19	2.16	2.21	2.09	2.13	*2.13*	*2.11*	2.05	*2.13*	2.00	*2.00*	*2.23*	*2.23*
free range	2.38	2.42	2.39	2.34	2.31	2.36	2.23	2.28	*2.28*	*2.26*	2.19	*2.28*	2.14	*2.15*	*2.38*	*2.38*

Table 20a:

Time series of calculated *annual* N excretion per place (in kg place^{-1} a^{-1}) considering the three different housing types "cage", "floor management/ aviary", and "free range", based on housing temperatures ≥ 15°C and *normal feed* ($x_{XP, feed}$ = 0.172 kg kg^{-1} XP). Values in italics are based on input data obtained by gap closure.

Tabelle 20a:

Zeitreihe der berechneten *jährlichen* N-Ausscheidung pro Platz (in g Platz^{-1} a^{-1} N) für die Haltungsvarianten „Käfighaltung", „Boden- bzw. Volierenhaltung" und „Freilandhaltung" für Temperaturen ≥ 15 °C und *normales Futter* ($x_{XP, feed}$ = 0,172 kg kg^{-1} XP). Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
cage	0.75	0.76	0.75	0.74	0.73	0.74	0.70	0.72	*0.72*	*0.71*	0.69	*0.72*	0.67	*0.67*	*0.75*	*0.75*
aviary	0.86	0.88	0.87	0.85	0.84	0.86	0.81	0.83	*0.83*	*0.82*	0.80	*0.83*	0.78	*0.78*	*0.86*	*0.86*
free range	0.92	0.94	0.93	0.91	0.89	0.91	0.87	0.88	*0.88*	*0.88*	0.85	*0.88*	0.83	*0.83*	*0.92*	*0.92*

Table 20b:

Time series of calculated *annual* N excretion per place (in kg place^{-1} a^{-1}) considering the three different housing types "cage", "floor management/ aviary", and "free range", based on housing temperatures ≥ 15°C and N reduced feed ($x_{XP, feed}$ = 0.165 kg kg^{-1} XP). Values in italics are based on input data obtained by gap closure.

Tabelle 20b:

Zeitreihe der berechneten *jährlichen* N-Ausscheidung pro Platz (in g Platz^{-1} a^{-1} N) für die Haltungsvarianten „Käfighaltung", „Boden- bzw. Volierenhaltung" und „Freilandhaltung" für Temperaturen ≥ 15 °C und *N-reduziertes Futter* ($x_{XP, feed}$ = 0,165 kg kg^{-1} XP). Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
cage	0.70	0.72	0.71	0.69	0.68	0.70	0.66	0.67	*0.67*	*0.66*	0.64	*0.67*	0.63	*0.63*	*0.70*	*0.70*
aviary	0.81	0.83	0.82	0.80	0.79	0.81	0.76	0.78	*0.78*	*0.77*	0.75	*0.78*	0.73	*0.73*	*0.81*	*0.81*
free range	0.87	0.88	0.87	0.85	0.84	0.86	0.81	0.83	*0.83*	*0.82*	0.80	*0.83*	0.78	*0.78*	*0.87*	*0.87*

3 Discussion and future work

The treatise presented here derived steady time series for the VS and N excretions of laying hens. The database did not allow for a resolution in space greater than the whole country nor for a resolution in time greater than one year. However, with the uniformity in the present German egg production this seems to be adequate.

For normal feed and a total egg mass of 18.9 kg place^{-1} a^{-1}, the modelled N excretion in 2004/2005 is 0.75 kg place^{-1} N. This has to be compared to the data given by DLG (2005): 0.786 kg place^{-1} N, based on 17.6 kg place^{-1} a^{-1} of total egg mass. According to the model the difference in total egg mass is equivalent to about 0.05 kg place^{-1} a^{-1} N. Hence, the comparison with the data of actual egg production yields that the model considering animal performance reproduces N excretion reasonably. This is also true in case of N reduced feed if the uncertainties with respect to the choice of feed parameters are taken into account. For the same respective total egg masses as given for normal feed, the N excretion modelled for N reduced feed in 2004/2005 is 0.70 kg place^{-1} N, while DLG (2005) states 0.754 kg place^{-1} N.

The share of N excreted that causes emissions of N species during housing as well as during storage and application of the excreta (UAN: uric acid N) was not quantified yet.

Admittedly, a complete time series could be provided for weights and weight gains, but the information about the feeding situation remains poor for the beginning of the time series. Thus, the results obtained are predominantly useful for *present* policy advice and may be useful as first steps to identify reduction potentials.

However, with respect to the minor importance of laying hens' emissions in the context of the national emission situation and the resources needed to develop and improve the emission inventories, the state of knowledge achieved appears to be adequate at the time being.

3 Diskussion und Ausblick

Mit der vorliegenden Arbeit wurden geschlossene Zeitreihen für die VS- und N-Ausscheidungen von Legehennen abgeleitet. Die Datenquellen erlaubten keine räumliche Auflösung der Tierleistung und -fütterung. Bei der Beschreibung der gegenwärtigen Situation der Eierproduktion in Deutschland erscheint dies angemessen.

Für normale Fütterung liegen die modellierten N-Ausscheidungen für 2004/2005 bei einer Eimasse von 18,9 kg Platz^{-1} a^{-1} mit 0.75 kg Platz^{-1} N unterhalb des von DLG (2005) für eine Eimasse von 17,6 kg Platz^{-1} a^{-1} angegeben Wertes von 0,786 kg Platz^{-1} N. Die Differenz in der Eimasse ist rein rechnerisch mit einer Differenz in der N-Abgabe über Eier von ca. 0,05 kg Platz^{-1} a^{-1} N verbunden. Das Modell ist also offenbar in der Lage, leistungsabhängig Ausscheidungswerte aus der Praxis in realistischer Weise zu reproduzieren. Dies trifft auch auf die Berechnung für NP-reduzierte Fütterung zu, wobei auch noch die Unsicherheiten in der Wahl der Futtereigenschaften berücksichtigt werden müssen: Der für 2004/2005 modellierten N-Ausscheidung von 0,70 kg Platz^{-1} N stehen 0,754 kg Platz^{-1} N nach DLG (2005) gegenüber (bei jeweils unveränderter Eimasse).

Ausscheidungen derjenigen N-Mengen, die im Stall und bei der Lagerung und Ausbringung zu Emissionen N-haltiger Spezies führen (UAN: Harnsäure-N, uric acid N), wurden noch nicht berechnet

Zwar konnte eine Zeitreihe der Gewichte und Gewichtszunahmen erhalten werden, die Informationen über die Fütterung zu Beginn der Zeitreihen konnten aber noch nicht erarbeitet werden. So dienen denn die erhaltenen Ergebnisse vornehmlich der *aktuellen* Politikberatung und sind erste Schritte auf dem Weg zum Erkennen von Minderungspotenzialen.

Angesichts der eher geringen Bedeutung der Emissionen aus der Legehennenhaltung im Hinblick auf das nationale Emissionsgeschehen und eines effizienten Ressourceneinsatzes bei der Entwicklung und Verbesserung der Inventare erscheint der derzeit erarbeitete Wissenstand als vorläufig hinreichend.

Acknowledgement

H. Kleine-Klausing (deuka Deutsche Tiernahrung GmbH & Co. KG, Düsseldorf) and I. Halle (Institute of Animal Nutrition, Federal Agricultural Research Centre, Braunschweig) willingly answered many questions and contributed important basic information. This is gratefully acknowledged.

The authors thank G. Flachowsky (Institute of Animal Nutrition of the Federal Agricultural Research Centre), and B. Amon (Department of Sustainable Agricultural Systems, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna) for carefully reviewing the manuscript.

N. J. Hutchings (Research Centre Foulum, University of Aarhus, Tjele, Denmark) and J. Webb (AEA Energy & Environment, Didcot, UK) revised the English version.

References

Anonymus (1990) Ergebnisse der Legeleistungsprüfungen. Jahrbuch Geflügelwirtsch 1991:177-186

Anonymus (1991) Ergebnisse der Legeleistungsprüfungen. Jahrbuch Geflügelwirtsch 1992:193-202

Anonymus (1992) Ergebnisse der Legeleistungsprüfungen. Jahrbuch Geflügelwirtsch 1993:188-197

Anonymus (1994) Legeleistungsprüfung. Jahrbuch Geflügelwirtsch 1995:182-194

Anonymus (1995) Legeleistungsprüfung. Jahrbuch Geflügelwirtsch 1996:198-211

Anonymus (1999) Legeleistungsprüfung. Jahrbuch Geflügelwirtsch 2000:216-221

Anonymus (2000) Legeleistungsprüfung. Jahrbuch Geflügelwirtsch 2001:220-225

Anonymus (2001) Legeleistungsprüfung für Hühner 1998 bis 2000. DGS-Magazin 2001(5):12-18

Anonymus (2002) Legeleistungsprüfung. Jahrbuch Geflügelwirtsch 2003:217-227

Anonymus (2003) Legeleistungsprüfung für Hühner 2001/2002. DGS-Magazin 2003(31):23-30

Anonymus (2004) Legeleistungsprüfung. Jahrbuch Geflügelwirtsch 2005:105-107

Anonymus (2005a) Legeleistungsprüfung für Hühner 2002/2004. DGS-Magazin 2005(1):15-19

Anonymus (2005b) Legeleistungsprüfung. Geflügeljahrbuch 2006:92-94

Beyer M, Chudy A, Hoffmann L, Jentsch W, Laube W, Nehring K, Schiemann R (2004) Rostocker Futterbewertungssystem : Kennzahlen des Futterwertes und Futterbedarfs auf der Basis von Nettoenergie. Dummerstorf : Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere, 392 p

Dämmgen U, Lüttich M, Döhler H, Eurich-Menden B, Osterburg B (2006) Calculations of emissions from German agriculture - national emission inventory report (NIR) 2006 for 2004 : methods and data (GAS-EM) Landbauforsch Völkenrode SH 291:47-221

Daenischessen (2006) Die dänische Eier- und Geflügelproduktion [online]. In < http://www.daenischessen.de/produktion_markt/produktionszweige/gefluegel.htm> [date of quotation 2006-06-19]

EMEP/CORINAIR (2002) EMEP/CORINAIR emission inventory guidebook [online]. In <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR3/en> [date of quotation 2007-08-01]

DLG - Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2005) Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Frankfurt a M : DLG-Verl., 69p, Arbeiten der DLG 199

GfE - Gesellschaft für Ernährungsphysiologie der Haustiere / Ausschuss für Bedarfsnormen (1999) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). Frankfurt a M : DLG-Verl., Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere 7

Haenel H-D, Dämmgen U (2007) Consistent time series of data to model volatile solids and nitrogen excretions of poultry : part 1: General considerations and pullets. Landbauforsch Völkenrode 57(4):349-362

Haenel H-D, Dämmgen U (2008) Consistent time series of data to model volatile solids and nitrogen excretions of poultry : part 3: Broilers. Landbauforsch Völkenrode (in preparation)

Halle I (2002) Einfluss einer gestaffelten Supplementierung von Lysin und Methionin während der Aufzucht auf das Wachstum und auf Leistungsmerkmale der Hennen in der folgenden Legeperiode bei einer gestaffelten Protein- und Energieversorgung. Arch Geflügelkd 66(2): 66-74

Halle I (2006) Personal communication. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Tierernährung, Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

Hartmann W, Heil G (1992) Amtliche Legeleistungsprüfung 1990/91 : Zusammenfassende Auswertung. DGS 44(8):219-229

Heil G, Hartmann W (1993) Amtliche Legeleistungsprüfung 1991/92 : Zusammenfassende Auswertung. DGS 45(8):7-15

Heil G, Hartmann W (1994) Amtliche Legeleistungsprüfung 1992/93 : Zusammenfassende Auswertung. DGS 46(8):6-14

Heil G, Hartmann W (1995) Amtliche Legeleistungsprüfung 1993/94 : Zusammenfassende Auswertung. DGS-Magazin 47(13):18-26

Heil G, Hartmann W (1996) Amtliche Legeleistungsprüfung 1994/95 : Zusammenfassende Auswertung. DGS-Magazin 47(18):10-21

Heil G, Hartmann W (1998) Amtliche Legeleistungsprüfung 1996/97 : Zusammenfassende Auswertung. DGS-Magazin 50(40):20-31

Heil G, Hartmann W (2000) Amtliche Legeleistungsprüfung 1997/99 : Zusammenfassende Auswertung. DGS-Magazin 52(9):10-21

Hennig A, Poppe S (eds) (1975) Abprodukte tierischer Herkunft als Futtermittel. Berlin : Deutscher Landwirtschaftsverl, 232 p

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (1996) Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories : Vol 3. Greenhouse gas inventory reference manual. Paris : OECD

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) Emissions from livestock and manure management [online]. In <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm> [date of quotation 2006-11-06]

Kleine-Klausing H (2006) Personal communication. Deuka Deutsche Tiernahrung GmbH & Co. KG, Düsseldorf

KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2004) Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/2005 : Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. Darmstadt : KTBL, 573 p

LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (undated) Basisdaten für die Ermittlung des Düngebedarfs u. Umsetzung der Düngeverordnung. Tabelle 8: Nährstoffgehalte tierischer Produkte, Stand April 2003. In <http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/mineralisch/10536/linkurl_0_1_0_8.pdf> [date of quotation 2006-11-04]

Pingel H, Scholtyssek S (1999) Faustzahlen für Schlachtgeflügel. Jahrbuch Geflügelwirtsch 2000:171-185

RHG - Raiffeisen Hauptgenossenschaft Hannover (2006) Geflügel-Mischfutter Sackwaren-Programm mit Einsatzempfehlung [online]. In <http://www.rhg-hannover.de/pdf/futtermittel/gefluegelfutterflyer.pdf> [date of quotation 2006-10-12]

Richter G, Kolb H-P (2005) Küken und Junghennenfütterung : vegetarische Fütterung erwies sich als unproblematisch. DGS-Magazin 57(9)18-23

Simon I, Sommer W (2004) Futterwertleistungsprüfung für Legehennen-Alleinfutter : vergleichender Test nach DIN 66052 von vier Legehennen-Alleinfuttern I ; Prüfungszeitraum: Oktober 2002 bis Oktober 2003 [online]. In <http://www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/tierproduktion/gefluegelhaltung/futtertests/alleinfutter-2003.htm> [date of quotation 2006-10-10]

StatBA Fachserie 03, Land- und Forstwirtschaft, Fischerei : Reihe 04: Viehbestand und tierische Erzeugung (annual reports)

UFA AG (2006) Proteinversorgung der Legehenne [online]. In <http://www.ufa.ch> [date of quotation 2006-05-31]

UNECC - United Nations Economic Commission for Europe (2006) Guidelines for estimating and reporting emission data under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution [online]. In <http://www.unece.org/env/documents/2003/eb/air/ece.eb.air.80.

E.pdf> [date of quotation 2006-08-29]

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (1997) Guidelines under articles 5, 7 and 8: methodological issues, reporting and review under the Kyoto Protocol [online]. In <http://unfccc.int/kyoto_protocol/reporting/items/3879.php> [date of quotation 2006-08-29]

Webb J, Misselbrook TH, Sutton MA (2005) Ammonia emission inventories, uncertainty and sensitivity analysis. In: Kuczyński T, Dämmgen U, Webb J, Myczko A (eds) Emissions from European agriculture. Wageningen : Wageningen Academic Publishers, pp 113-124