

Consistent time series of data to model volatile solids and nitrogen excretions of poultry

1. General considerations and pullets

Hans-Dieter Haenel¹ and Ulrich Dämmgen¹

Summary

National emission inventories provide a tool to identify mitigation potentials in measures for reduction of emissions of air pollution and green house gases. These inventories have to describe the relevant processes in adequate resolution with respect to space and time.

For so-called key sources, the maximum possible resolution in time and space is required. To quantify emissions from poultry production, excretions of rapidly decomposing carbon compounds (volatile solids, VS) and of nitrogen compounds are to be calculated. Although poultry production as a whole is a key source for ammonia, calculations in the past had to be based on nationally averaged input data, because only a relatively simple calculation procedure was available. The treatise provided here describes the estimation of time series for the excretions by German pullets beginning with the base year of climate reporting (1990). As the data needed to derive these time series is not available for every single year, data gap closure approaches are an essential part of the calculation procedure. They are discussed in detail.

The advantage of the improved method is that it describes the current situation in such a way that the need for action as well as mitigation potentials become evident. One outcome of our calculation results is that excretions by pullets have tended to decrease since 1990 which is to be attributed to a decrease in animal weight.

Unsatisfactorily, important data to describe animal performance and feeding requirements are still available as averages on a national scale only.

Keywords: pullets, 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

1. Allgemeine Zusammenhänge und Junghennen

Das Erkennen von Minderungspotenzialen bei Maßnahmen zur Verringerung von Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen setzt nationale Emissionsinventare voraus. Solche Inventare müssen die relevanten Prozesse hinreichend genau und hinreichend räumlich und zeitlich aufgelöst beschreiben.

Für so genannte Hauptquellgruppen wird eine möglichst feine zeitliche und räumliche Auflösung gefordert. Die Quantifizierung von Emissionen aus der Geflügelhaltung beruht auf der Berechnung der Ausscheidungen von im Lager leicht abbaubaren Kohlenstoff-Verbindungen (volatile solids, VS) und von Stickstoff-Verbindungen. Obwohl Geflügel insgesamt eine Hauptquellgruppe für Ammoniak darstellt, konnte bisher nur mit nationalen Mittelwerten nach einem vergleichsweise einfachen Verfahren gerechnet werden. Die vorliegende Arbeit beschreibt die Berechnung von Zeitreihen der Ausscheidungen für Junghennen in Deutschland ab dem Basisjahr der Klimaberichterstattung (1990). Die erforderlichen Daten sind nicht für jedes Jahr verfügbar. Wesentlicher Bestandteil der Arbeit ist daher die Diskussion von Ansätzen zum Schließen von Datenlücken.

Das verbesserte Verfahren bietet die Möglichkeit, die gegenwärtige Situation so zu beschreiben, dass Handlungsbedarf und Minderungspotenziale erkennbar werden. Ein Ergebnis der Berechnungen ist u. a., dass die Junghennen-Ausscheidungen seit 1990 tendenziell abnehmen, was auf die zuchtbedingte Abnahme der Tiergewichte zurückzuführen ist.

Unbefriedigend bleibt, dass noch immer wichtige Daten, die die Leistung und damit den Futterbedarf beschreiben, nur als Mittel für das gesamte Bundesgebiet erhalten werden konnten.

Schlüsselwörter: Junghennen, 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

Atmospheric accumulation of air pollutants and green house gases is a central problem in environmental and agricultural politics. Counter-actions require knowledge on sources and amounts of the respective gases as well as an investigation in potentials and efficiency of mitigation strategies. National emission inventories are to serve these objectives. The compilation of emission inventories is also required by the Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 1997) and the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (UNECE, 2006). The parties to these conventions have to report annual emissions and emission controlling variables by time series from 1990, if possible without data gaps.

Emissions from key sources have to be determined with temporal and spatial resolutions that are as high as possible. In the past, this was already realised for cattle and pig husbandry, as these are key sources with respect to methane and ammonia emissions. In case of ammonia, a short atmospheric residence time indicates the need for high resolution emission calculations. Poultry as a whole is a key source of ammonia. However, due to the lack of appropriate data and calculation concepts, emissions from poultry were calculated in the past using comparatively simple approaches using nationally averaged input data only (Dämmgen et al., 2007).

The calculation of emissions from livestock husbandry presupposes to correctly quantify excretions of rapidly decomposing carbon compounds (volatile solids, VS) and of nitrogen compounds (Webb et al., 2005). The treatise provided here describes an improved method of excretion calculation for pullets in Germany and documents the time series of the relevant parameters. The method is based on current knowledge in poultry husbandry and nutrition. Priority was given to the development of a process description as complete as possible (including the data needed), regardless of the relevance of single subprocesses for animal nutrition.

Companion treatises will follow up dealing with laying hens and broilers (Haenel and Dämmgen, 2007, 2008).

2 Data sources

Due to interrelation of pullet and layer productions, the subsequent description of data sources partly comprises also the data sources for laying hens which are dealt with in Haenel and Dämmgen (2007).

In this treatise, only those data sources were considered which were available at the end of June 2006, i.e. when

1 Einleitung

Die Anreicherung der Atmosphäre mit Schadstoffen und Treibhausgasen ist ein zentrales Problem der Umwelt- und der Landwirtschaftspolitik. Gegenmaßnahmen erfordern die Kenntnis beteiligter Stoffquellen und -mengen sowie die Untersuchung von Potenzial und Wirksamkeit von Minderungsstrategien. Diesen Zielen dient die Erstellung von nationalen Emissionsinventaren. Emissionsinventare sind auch im Rahmen der Berichtspflichten gegenüber der Klimarahmen-Konvention (UNFCCC, 1997) und dem Genfer Luftreinhalteabkommen (UNECE, 2006) zu erstellen. Diese fordern jährliche Berichte ab 1990, die neben den Emissionen auch die die Emissionen bestimmenden Variablen als möglichst lückenlose Zeitreihen enthalten.

Emissionen aus sog. Hauptquellgruppen sollen mit einer möglichst feinen zeitlichen und räumlichen Auflösung bestimmt werden. Bislang erfolgte dies bereits für Emissionen aus der Haltung von Rindern und Schweinen, da diese Kategorien Hauptquellgruppen für die Emission von Methan und Ammoniak sind. Bei Ammoniak spricht insbesondere die geringe atmosphärische Verweildauer für die feine Auflösung von Emissionsberechnungen. Geflügel insgesamt ist eine Hauptquellgruppe für Ammoniak. Dennoch wurde bisher mangels geeigneter Datensätze und Rechenverfahren nur mit nationalen Mittelwerten nach einem vergleichsweise einfachen Verfahren gerechnet (Dämmgen et al., 2007).

Eine wichtige Voraussetzung für die Berechnung von Emissionen aus der Nutztierhaltung ist eine zutreffende Quantifizierung der Ausscheidungen von im Lager abbaubaren Kohlenstoff-Verbindungen (volatile solids, VS) und von Stickstoff-Verbindungen (Webb et al., 2005). Die vorliegende Arbeit beschreibt die verbesserte Berechnung der Ausscheidungen bei Junghennen in Deutschland und präsentiert die Zeitreihen der relevanten Parameter. Die Berechnungen beruhen auf Erkenntnissen aus Tierhaltung und -ernährung. Dabei steht die möglichst vollständige Prozess- und Datenbeschreibung im Vordergrund, unabhängig von der Bedeutung einzelner Teilprozesse für die Tierernährung.

Entsprechende Arbeiten zu Legehennen und Masthühnern und -hühnchen folgen in Haenel und Dämmgen (2007, 2008).

2 Datenquellen

Die nachstehende Beschreibung der Datenquellen umfasst wegen inhaltlicher Zusammenhänge auch teilweise die Datenquellen für die Legehennenhaltung, die in Haenel und Dämmgen (2007) behandelt wird.

Es werden nur die Datenquellen berücksichtigt, die bis Ende Juni 2006 zur Verfügung standen und damit noch

making the calculations for the 2006 inventory (Dämmgen et al., 2007).

2.1 Data provided by the German Statistical Office and the Statistical Offices of the Federal States

Animal numbers for pullets and laying hens on district level were published by the Statistical Offices of the German Federal States (StatLA C III vj4) for even years including 1996 (census in December). Since 1999 the census has taken place in the May of odd years. Animal numbers for the Federal States or the entire country are reported annually by the Federal Statistical Office (StatBA FS3 R4). Farms with animal numbers lower than 3000 are generally not accounted for. Animal numbers in official statistics are based on the separation between pullets and laying hens at the age of half a year whereas in practice pullets are installed as layers after about 18 weeks of life.

The Federal Statistical Office does not report on animal weights and weight gain data. However, these are important prerequisites for the performance-oriented calculations of excretions and emissions. Official statistics do not distinguish between white and brown lines, although these exhibit differences in performance (see e. g. Flock and Heil, 2001).

It is relevant for the follow-up paper on excretions by laying hens (Haenel and Dämmgen, 2007) that StatBa FS3 R4 reports additional data on animal production (number of eggs, slaughter weight data). However, slaughterhouses with less than 2000 animals slaughtered per month are not considered in official statistics.

2.2 Data from official performance tests

Official laying hen performance tests provide data on laying hen performance (animal weight, weight gain data, number of eggs, egg weight, feed intake). Initial weights of laying hens are used as final weights of pullets.

The tests are performed separately for brown and white lines. Until the middle of the 1990s, tests were performed nearly every year. Since then, they have been performed every second year only. The tests are performed as representative random sample tests. There is no regional differentiation. Test results were reported by Hartmann und Heil (1992), Heil und Hartmann (1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2000) and Anonymus (2001, 2003, 2005).

2.3 Additional information

Relevant data on feed properties, amounts of feed, and

Eingang in das 2006 erstellte Inventar (Dämmgen et al., 2007) fanden.

2.1 Daten des Statistischen Bundesamtes und der Statistischen Landesämter

In den Veröffentlichungen der Statistischen Landesämter (StatLA C III vj4) finden sich Tierzahlen für Junghennen und Legehennen auf Kreisebene bis 1996 in allen geraden Jahren (Zählung im Dezember) und seit 1999 in allen ungeraden Jahren (Zählung im Mai). Tierzahlen auf Landes- und Bundesebene werden jährlich durch das Statistische Bundesamt (StatBA FS3 R4) berichtet. Betriebe mit weniger als 3000 Tieren werden generell nicht berücksichtigt. Die Tierzahlen der Officialstatistik beruhen auf einer Abgrenzung zwischen Jung- und Legehennen im Alter von einem halben Jahr; dies entspricht nicht der Haltungspraxis mit einer Einstellung der Junghennen als Legehennen nach etwa der 18. Lebenswoche.

Tiergewichte und Gewichtszunahmen, die eine wichtige Grundlage der angestrebten leistungsorientierten Ausscheidungs- und Emissionsberechnung darstellen, werden vom Statistischen Bundesamt nicht berichtet. Trotz unterschiedlichen Leistungsverhaltens (s. z. B. Flock und Heil, 2001) wird nicht zwischen weißen und braunen Rassen unterschieden.

Für die nachfolgende Arbeit über die Ausscheidungen bei Legehennen (Haenel und Dämmgen, 2007) ist von Bedeutung, dass StatBa FS3 R4 auch weitergehende Daten zur tierischen Erzeugung berichtet (Eierzeugung, Schlachtfleischmengen), wobei Schlachtereien mit weniger als 2000 Schlachttieren im Monat unberücksichtigt bleiben.

2.2 Daten aus Amtlichen Legeleistungsprüfungen

Amtliche Legeleistungsprüfungen liefern in Daten zum Leistungsverhalten von Legehennen (Tiergewichte, Gewichtszunahmen, Eierzahlen, Eigewichte, Futtermengen). Die Startgewichte der Legehennen sind identisch mit den Endgewichten für Junghennen.

Die Prüfungen erfolgen getrennt für braune und weiße Rassen. Sie fanden noch bis zur Mitte der 1990er Jahre etwa jährlich statt, werden seitdem aber nur noch ca. alle zwei Jahre vorgenommen. Die Prüfungen werden als repräsentative Stichprobenprüfung (Random Sample Test) durchgeführt. Ein räumlicher Bezug ist nicht gegeben. Hartmann und Heil (1992), Heil und Hartmann (1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2000) und Anonymus (2001, 2003, 2005) berichten über die Ergebnisse.

2.3 Zusätzliche Informationen

Wichtige Aussagen über Futtereigenschaften, Futtermen-

ash content in the excreta (as well the ratio of live and carcass weights of laying hens) were taken from the literature or could be obtained from firms, experts and associations, in particular:

- Institute of Animal Nutrition, Federal Agricultural Research Centre, Braunschweig
- Feed production industry
- Lohmann Tierzucht GmbH
- Society of Nutrition Physiology, GfE
- Centre of Agriculture Haus Düsse, Chamber of Agriculture North Rhine-Westphalia (process engineering, tests of breeding animals and feed composition)
- Central Association of the German Poultry Production, ZDG
- German Association for Agriculture, DLG
- Association for Technology and Structures in Agriculture, KTBL

3 Animal rounds, animal places and animal numbers - time series of activities

As mentioned in section 2.1, the definition of pullets and laying hens by official German statistics does not correspond with that used in practice. As both animal categories have quite a different pattern of performance and therefore also of excretion, correct excretion calculations presuppose modifications of the official animal numbers the details of which will be described subsequently.

3.1 Animal rounds

The time span an animal place is occupied by a growing (pullet) or egg producing animal (laying hen) is called life time (τ_{lifespan}). It is followed by a cleansing period which is also denoted as service time (τ_{service}). The duration of a round (τ_{round}) is the sum of animal lifespan and service time, see Equation (1) with i denoting the animal category:

$$\tau_{\text{round}, i} = \tau_{\text{lifespan}, i} + \tau_{\text{service}, i} \quad (1)$$

where	$\tau_{\text{round}, i}$	duration of round for animal category i (in d round ⁻¹)
	$\tau_{\text{lifespan}, i}$	span of lifetime within a round for animal category i (in d round ⁻¹)
	$\tau_{\text{service}, i}$	time needed for cleansing prior to new round (in d round ⁻¹)

As time span data are generally related to one single round they are given in units of days per round.

Nowadays, rearing pullets takes 18 weeks or, on a daily base, 128 days (KTBL, 2004). In former times, pullets became older before being installed as laying hens. The 128th day of life, which is valid both for white and brown lines,

ge, Aschegehalt im Kot und - bei Legehennen - Schlachtausbeute wurden der vorhandenen Literatur entnommen oder bei Firmen, Experten und Verbänden erfragt. Hier sind insbesondere zu nennen:

- Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig
- Futtermittelindustrie
- Lohmann Tierzucht GmbH
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE)
- Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Verfahrensentwicklung, Zucht- und Futtermittelprüfung)
- Zentralverband der Deutschen Geflügelwirtschaft e. V. (ZDG)
- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V. (DLG)
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)

3 Durchgangsdauer, Tierplatz und Tierzahl - Zeitreihen der Aktivitäten

Wie in Abschnitt 2.1 dargelegt, definieren die deutschen Statistiken Junghennen und Legehennen anders, als dies der Haltungspraxis entspricht. Da sich das Leistungs- und damit auch Ausscheidungsverhalten der beiden Tierkategorien deutlich unterscheidet, ist im Zusammenhang mit der Ausscheidungsberechnung eine Modifikation der offiziellen Tierzahlen unumgänglich. Grundlagen und Umrechnungsverfahren werden nachfolgend beschrieben.

3.1 Durchgänge

Unter der Haltungsdauer (τ_{lifespan}) wird die Zeitdauer verstanden, während der ein Tier einen Tierplatz besetzt (Junghennen: Aufzuchtdauer; Legehennen: Legeperiode). Danach folgt die Reinigungs- oder Servicezeit (τ_{service}). Die Durchgangsdauer (τ_{round}) ist die Summe aus Haltungsdauer und Reinigungsdauer. Für jede Tierkategorie i gilt damit:

Alle Zeitangaben beziehen sich auf einen Durchgang und werden daher in Tagen pro Durchgang angegeben.

Die Aufzucht von Junghennen dauert heutzutage bis zur 18. Lebenswoche einschließlich, wobei KTBL (2004) den 128. Tag angibt. In früheren Jahren erfolgte die Einstallung als Legehennen zu einem etwas späteren Zeitpunkt.

is taken to be constant with space and time, as long as more detailed data are not available. The service time normally lasts 14 days. Thus, the duration of one round for pullets is 142 days.

3.2 Animal places and animal numbers

Emissions are calculated as the product of an activity and an emission factor matching this activity. As the German census counts animal places, the emission factor must be related to animal places and not to animal numbers.

Other censuses count the number of animals produced per year and denote the result as "animal number". The number of animals produced, the number of animal places (n_{place}), and the number of rounds per year (n_{round}) are related by:

$$n_{\text{animals produced}} = n_{\text{place}} \cdot n_{\text{round}}$$

As a consequence from (2), for entities related to only one single animal round, the unit animal^{-1} may be replaced by place^{-1} .

3.3 Derivation of consistent animal numbers

The animal numbers provided by the Federal Statistical Office cannot be used directly, as they do not describe homogeneous populations. Thus, the pullet numbers have to be recalculated. The recalculation procedure is based on the assumption that for a given region (i. e. district, federal state, Germany) as many pullets are raised as are needed to replace slaughtered laying hens. This assumption is more fully met, the larger the region under consideration. In principle, the larger a region is, the smaller the ratio of net transboundary animal transfer to the total number of animals within the region will be. While this may be valid for districts in a limited way only, it is taken as given for the federal states (Länder) and Germany as a whole.

The other constraint is that the modified animal numbers have to add up to a total sum of pullets and laying hens reported by the official census for the district or region under consideration.

Hence, from the official animal numbers $n_{\text{pu, stat}}$ and $n_{\text{lh, stat}}$ for pullets and laying hens, respectively, the modified animal numbers n_{pu} and n_{lh} are calculated as follows:

Mangels detaillierter Daten wird der 128. Lebenstag, der für weiße und braune Rassen gleichermaßen gilt, vorläufig als räumlich und zeitlich konstant angesehen. Die Reinigungsphase umfasst gewöhnlich 14 Tage. Die Durchgangsdauer für Junghennen wird demnach mit 142 Tagen angesetzt.

3.2 Tierplatz und Tierzahl

Emissionen werden als Produkt einer Aktivität und einem auf diese Aktivität bezogenen Emissionsfaktor berechnet. Da die deutschen Tierzählungen besetzte Tierplätze erfassen, muss sich der Emissionsfaktor auf eben diese Größe beziehen.

Andere Zählungen erfassen die pro Jahr produzierten Tiere und bezeichnen dies als „Tierzahl“. Zwischen produzierten Tierzahlen ($n_{\text{animals produced}}$), den Tierplatzzahlen (n_{place}) und der Anzahl der Durchgänge (n_{round}) besteht der folgende Zusammenhang:

(2)

Eine Konsequenz aus (2) ist, dass nur bei Größen, die auf den Durchgang bezogen werden, Tier^{-1} durch Platz^{-1} ersetzt werden kann.

3.3 Ableitung konsistenter Tierzahlen

Die Tierzahlen des Statistischen Bundesamtes sind nicht direkt nutzbar, da sie keine homogenen Populationen erfassen. Die Umrechnung der Junghennenzahlen für einen gegebenen räumlichen Bereich (Kreis, Bundesland, Deutschland) geht davon aus, dass genau so viele Junghennen aufgezogen werden, wie zur Besetzung frei werdender Legehennenplätze benötigt werden. Diese Annahme ist umso besser erfüllt, je größer der betrachtete räumliche Bereich ist, weil damit der in der Umrechnung nicht berücksichtigte Nettotransfer von Tieren über die Bereichsgrenze hinaus im Vergleich zum Tierbestand besser vernachlässigt werden kann. Dies gilt für Kreise nur eingeschränkt, wird für die Bundesländerebene und ganz Deutschland aber als gegeben angesehen.

Des weiteren muss die Summe der modifizierten Tierzahlen für jeden betrachteten räumlichen Bereich der Summe der in der offiziellen Tierzählung für diesen Bereich ermittelten Gesamtzahl von Junghennen ($n_{\text{pu, stat}}$) und Legehennen ($n_{\text{lh, stat}}$) entsprechen.

Unter diesen Voraussetzungen erhält man für die modifizierte Anzahl an Junghennenplätzen (n_{pu}) und Legehennenplätzen (n_{lh}):

$$n_{\text{pu}} = (n_{\text{pu, stat}} + n_{\text{lh, stat}}) \cdot \frac{\tau_{\text{round, pu}}}{\tau_{\text{round, lh}} + \tau_{\text{round, pu}}} \quad (3)$$

$$n_{\text{lh}} = (n_{\text{pu, stat}} + n_{\text{lh, stat}}) \cdot \frac{\tau_{\text{round, lh}}}{\tau_{\text{round, lh}} + \tau_{\text{round, pu}}} \quad (4)$$

where	n_{pu}	number of pullet places considered in the inventory (place)
	n_{lh}	number of laying hen places considered in the inventory (place)
	$n_{\text{pu, stat}}$	number of pullet places in the German census (place)
	$n_{\text{lh, stat}}$	number of laying hen places in the German census (place)
	$\tau_{\text{round, pu}}$	duration of round for pullets (d round ⁻¹)
	$\tau_{\text{round, lh}}$	duration of round for laying hens (d round ⁻¹)

4 Excretions of pullets

Emission inventories do not describe actual emissions, but emissions typical for a category of performance, feeding, housing, etc. Thus, emission factors are based on typical values or frequency distribution of husbandry conditions. The present work therefore aims at a description of a pullet typical for a single year and region.

4.1 VS excretions

VS excretions are calculated according the IPCC guidelines (1996) using Equation (5). The respective input entities are described in the subsequent paragraphs.

$$VS_{\text{pu}} = GE_{\text{pu}} \cdot \frac{1}{c_{\text{E, pu}}} \cdot (1 - X_{\text{DE, pu}}) \cdot (1 - x_{\text{ash, pu}}) \quad (5)$$

where	VS_{pu}	volatile solid excreted (in kg d ⁻¹ place ⁻¹ DM)
	GE_{pu}	gross energy intake of pullets (in MJ place ⁻¹ d ⁻¹)
	$c_{\text{E, pu}}$	energy content of dry matter (in MJ kg ⁻¹)
	$X_{\text{DE, pu}}$	digestibility of feed (in MJ MJ ⁻¹)
	$x_{\text{ash, pu}}$	ash content of the manure (in kg kg ⁻¹)
	DM	dry matter

4.1.1 Gross energy and feed properties

The gross energy GE_{pu} is calculated from metabolizable energy ME_{pu} and the total metabolizability of feed $X_{\text{ME, pu}}$.

$$GE_{\text{pu}} = \frac{ME_{\text{pu}}}{X_{\text{ME, pu}}} \quad (6)$$

where	ME_{pu}	intake of metabolizable energy of pullets (in MJ place ⁻¹ d ⁻¹)
	$X_{\text{ME, pu}}$	metabolizability of feed (in MJ MJ ⁻¹)

4 Die Ausscheidungen von Junghennen

Emissionsinventare beschreiben nicht die tatsächlichen Emissionen, sondern die für eine Kategorie bei entsprechender Leistung und Fütterung, Haltung usw. *typischen* Emissionen. Den Emissionsfaktoren liegen deshalb typische Bedingungen oder deren Häufigkeitsverteilungen zugrunde. Ziel dieser Arbeit ist also die Beschreibung der für das entsprechende Jahr und die Region typischen Junghenne.

4.1 VS-Ausscheidungen

Die Berechnung der VS-Ausscheidungen von Junghennen erfolgt gemäß den Vorgaben von IPCC (1996) nach Gleichung (5), wobei die eingehenden Größen in den nachfolgenden Abschnitten behandelt werden.

4.1.1 Bruttoenergie und Futterkennwerte

Die Bruttoenergie GE_{pu} wird aus der umsetzbaren Energie ME_{pu} und der Gesamtumsetzbarkeit des Futters $X_{\text{ME, pu}}$ berechnet:

The determination of VS excretions requires knowledge of gross energy. It is based on the parameters $X_{ME, pu}$, $X_{DE, pu}$ and $c_{E, pu}$, which are feed properties and depend on the content and relative fraction of various diet components. Pullet feeding is performed in at least two phases; it normally takes up to four or five phases (DLG, 2005, pg. 46; Halle, 2002; KTBL, 2004, pp. 495/496). Diet composition varies according to the number of feeding phases.

At present, it is not traceable which pullet diet types has been fed where and when in Germany in the past. Thus the only solution would be to assume present-day national-scale data to be valid for all times and regions. However, the information available does not even allow for this. Therefore, the necessary data had to be gathered from different feeding concepts. As will be described subsequently, effective diet properties were taken from two-phase feeding. However, because these data do not allow for discrimination between normal and N reduced feeding, the effective share of crude protein in pullet diets had to be taken from data given for a four-phase and a five-phase feeding concept (see Table 6). Unfortunately, for the four-phase and the five-phase feeding concepts there is no information available on digestibility, metabolizability and energy content of feed.

For a two-phase feeding example, Table 1 displays the derivation of average diet properties representative for the entire rearing time: $X_{ME, pu} = 0.71 \text{ MJ MJ}^{-1}$, $X_{DE, pu} = 0.78 \text{ MJ MJ}^{-1}$ and $c_E = 15.77 \text{ MJ kg}^{-1}$. Due to the lack of consistent data sets, the entries in Table 1 had to be collected from various data sources. The total feed intake given in Table 1 with $6.15 \text{ kg animal}^{-1}$ according to KTBL (2004) is remarkably lower than the amount given by DLG (2005) which is $6.9 \text{ kg animal}^{-1}$, see also Table 6. As will be discussed in section 4.1.2, this increase of total feed intake corresponds to the pullet weight gain increment observed since the late 1990ies. In Table 1 the total feed intake only serves for relative weighting of phase-related diet properties. That means that absolute values are of less concern.

For the two-phase feeding according to Halle (2002), the content of metabolizable energy $x_{ME, feed}$ is between 11.2 MJ kg^{-1} and 11.3 MJ kg^{-1} . For the four-phase feeding described in KTBL (2004), metabolizable energy decreases stepwise from 11.4 MJ kg^{-1} for the first two weeks of life to 10.6 MJ kg^{-1} in weeks 13 to 18. 11.4 MJ kg^{-1} is also declared for the chick feed HG 115 by RHG Nord AG Hannover, whereas the pullet feed HG 125 by the same company which is to be fed from weeks 9 to 18, has 11.2 MJ kg^{-1} (RHG, 2006).

Die zur Bestimmung der VS-Ausscheidung und im Zusammenhang damit auch der Bruttoenergie benötigten Größen $X_{ME, pu}$, $X_{DE, pu}$ und $c_{E, pu}$ sind Eigenschaften des Futters und abhängig von Inhalt und Zusammenstellung der Futterbestandteile. Die Fütterung von Junghennen erfolgt in der Regel in vier bis fünf Phasen, mindestens aber in zwei Phasen (DLG, 2005, S. 46; Halle, 2002; KTBL, 2004, S. 495/496). Die Futterzusammensetzung variiert dementsprechend.

Es ist derzeit nicht nachvollziehbar, wann und wo welches Futter in Deutschland verabreicht wurde. Der einzige Ausweg wäre, typische Werte der gesuchten Daten für heutige Verhältnisse zu bestimmen und für frühere Jahre (bis 1990) als gültig in ganz Deutschland anzunehmen. Aber selbst für diese vereinfachte Datenzusammenstellung müssen Werte aus unterschiedlichen Fütterungskonzepten verwendet werden. Wie nachstehend beschrieben, stammen die Werte für die effektiven Futtereigenschaften aus einer Zweiphasenfütterung. Sie lassen aber keinen Rückschluss auf den Unterschied zwischen normaler und NP-reduzierter Fütterung zu. Daher wurde der effektive Rohprotein-Gehalt aus Daten zu einer vier- bzw. fünfphasigen Fütterung abgeleitet (s. Tabelle 6), wofür aber keine Angaben zu Verdaulichkeit, Umsetzbarkeit und Energiegehalt erhältlich waren.

Tabelle 1 zeigt für eine Zweiphasen-Fütterung die Ableitung von mittleren, für die gesamte Aufzuchtdauer repräsentativen Futtereigenschaften: $X_{ME, pu} = 0,71 \text{ MJ MJ}^{-1}$, $X_{DE, pu} = 0,78 \text{ MJ MJ}^{-1}$ und $c_E = 15,77 \text{ MJ kg}^{-1}$. Mangels konsistenter Datensätze mussten die Eingabewerte für Tabelle 1 aus verschiedenen Quellen zusammengestellt werden. Dabei ist die in Tabelle 1 nach KTBL (2004) angesetzte Gesamtfuttermenge mit $6,15 \text{ kg Tier}^{-1}$ deutlich geringer ist als die in DLG (2005) angegebene Menge von $6,9 \text{ kg Tier}^{-1}$, vgl. Tabelle 6. Diese Spanne korrespondiert weitgehend mit den Junghennen-Gewichtszuwächsen seit Ende der 1990er Jahre (s. Abschnitt 4.1.2). In Tabelle 1 dient die Futtermenge zur relativen Wichtung der phasenbezogenen Futtereigenschaften; der absolute Wert ist von untergeordneter Bedeutung.

Für die Zweiphasen-Fütterung nach Halle (2002) liegt der Gehalt an umsetzbarer Energie $x_{ME, feed}$ zwischen $11,2 \text{ MJ kg}^{-1}$ und $11,3 \text{ MJ kg}^{-1}$. Die 4-Phasen-Fütterung nach KTBL (2004) ist von $11,4 \text{ MJ kg}^{-1}$ in den ersten beiden Lebenswochen bis hin zu $10,6 \text{ MJ kg}^{-1}$ in der 13. bis 18. Woche abgestuft. $11,4 \text{ MJ kg}^{-1}$ wird beispielsweise auch für das Kükenfutter HG 115 von RHG Nord AG Hannover angegeben, wohingegen das von der 9. bis zur 18. Woche einzusetzende Junghennenfutter HG 125 der gleichen Firma $11,2 \text{ MJ kg}^{-1}$ aufweist (RHG, 2006).

Table 1:

Properties of a dual-phase diet for pullets^a. Feed composition according to Halle (2002); diet mass intake according to KTBL (2004); energy contents according to Beyer et al. (2004).

Phase	Major feed components	Total diet intake (kg animal ⁻¹)	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)
Weeks 1 to 8	maize, wheat, barley, soybean meal, peas, grass meal, soybean oil	1.729	15.99	12.47	11.29
Weeks 9 to 18	maize, wheat, barley, soybean meal, grass meal	4.424	15.68	12.20	11.20
Intake weighted mean			15.77	12.28	11.23
$X_{ME} = x_{ME,feed}/c_E = 0.71 \text{ MJ MJ}^{-1}$					
$X_{DE} = c_{DE}/c_E = 0.78 \text{ MJ MJ}^{-1}$					
^a Apart from X_{ME} and X_{DE} , figures are given with as many decimal digits as necessary to reveal the way the intake weighted mean has been calculated. This accuracy is irrelevant for practical considerations.					

Tabelle 1:

Eigenschaften einer Zweiphasenfütterung für Junghennen. Futterzusammensetzung nach Halle (2002); aufgenommene Futtermengen nach KTBL (2004); Energiegehalte nach Beyer et al. (2004).

4.1.2 Metabolizable energy and performance data

For pullets, no method is available to calculate the requirements of metabolizable energy ME_{pu} as a function of weight and performance (weight gain). However, if feeding is tailored to suit the physiological needs, there is a strong correlation between the amount of metabolizable energy required per round and the total feed intake which in turn is correlated with total weight gain (e. g. Halle, 2002; Richter and Kolb, 2005). Metabolizable energy ME_{pu} can then be calculated from Equation (7):

$$ME_{pu} = x_{ME, feed, pu} \cdot \left(x_{feed, pu} \cdot \frac{\Delta w_{round, pu}}{\tau_{round, pu}} \right) \quad (7)$$

where $x_{ME, feed, pu}$ content of metabolizable energy in pullet diet (in MJ kg⁻¹ ME)
 $x_{feed, pu}$ feed conversion ratio (diet mass required per unit of animal weight gain) (in kg kg⁻¹)
 $\Delta w_{round, pu}$ total animal weight gain per animal and round (in kg animal⁻¹ round⁻¹)
 $\tau_{round, pu}$ duration of production cycle (in d round⁻¹)

According to Table 1, the content of metabolizable energy is assumed as $x_{ME, feed, pu} = 11.2 \text{ MJ kg}^{-1}$.

For pullets the feed conversion ratio $x_{feed, pu}$ (i. e. ratio of total feed intake to total weight gain) is in the range between 4.45 kg kg⁻¹ and 5.51 kg kg⁻¹ (Richter and Kolb, 2005). The evaluation of the data obtained from the official laying hen performance tests yields $x_{feed, pu} = 5.12 \text{ kg kg}^{-1}$:

The official laying hen performance tests report an accumulated amount of feed until day 140 which is considerably different from day 128 which at present marks the end of pullet rearing (see section 3.1). However inconsistent, the official laying hen performance tests do not report animal weights for day 140, but for day 126 (except tests in 1990 through 1992). While it is impossible to convert

4.1.2 Umsetzbare Energie und Leistungsdaten

Für Junghennen ist kein Verfahren zur Berechnung des Bedarfs an umsetzbarer Energie, ME_{pu} , bekannt, das den Energiebedarf als Funktion von Gewicht und Leistung (Gewichtszunahme) beschreibt. Bei bedarfsgerechter Fütterung besteht aber ein enger Zusammenhang zwischen der pro Durchgang benötigten umsetzbaren Energie und der aufgenommenen Futtermenge, die wiederum eng mit der erreichten Gewichtszunahme zusammenhängt (z. B. Halle, 2002; Richter und Kolb, 2005). Es gilt:

Der Gehalt an umsetzbarer Energie im Futter wird nach Tabelle 1 mit $x_{ME, feed, pu} = 11,2 \text{ MJ kg}^{-1}$ angesetzt.

Die Futtermittelnutzung $x_{feed, pu}$ (Verhältnis von Gesamtfuttermenge zu Gesamtgewichtszunahme) beträgt für die Aufzucht von Junghennen nach Richter und Kolb (2005) 4,45 kg kg⁻¹ bis 5,51 kg kg⁻¹. Nach Aufarbeitung von Daten der Amtlichen Legeleistungsprüfungen findet man $x_{feed, pu} = 5,12 \text{ kg kg}^{-1}$:

Abweichend vom derzeit üblichen Aufzuchtende (128. Lebenstag, vgl. Abschnitt 3.1) berichten die Amtlichen Legeleistungsprüfungen die für die Aufzucht eingesetzten Futtermengen bis zum 140. Lebenstag. Die Tiergewichte werden dagegen (mit Ausnahme der Amtlichen Legeleistungsprüfungen der Jahre 1990 bis 1992) nicht für den 140., sondern für den 126. Lebenstag angegeben. Während eine

the amounts fed directly, the animal weight at day 126 can be scaled to day 140 by multiplication with 1.0713⁽²⁾. The results are presented in Table 2. Assuming an initial weight of 45 g (Daenischessen, 2006), the weight gain until the day 140 can be calculated. From this follows the feed exploitation given in the rightmost column of Table 2. Figure 1 displays the total feed intake as regression function of total weight gain.

Umrechnung der Futtermengen nicht möglich ist, kann das 126-Tage-Tiergewicht durch Multiplikation mit dem Faktor 1,0713 auf den 140. Tag hochgerechnet werden². Das Ergebnis ist in Tabelle 2 dargestellt. Unter der Annahme eines Anfangsgewichtes von 45 g (Daenischessen, 2006) folgt daraus der Gewichtszuwachs bis zum 140. Lebenstag und schließlich die in der letzten Spalte von Tabelle 2 aufgeführte Futterverwertung. Abbildung 1 zeigt die Gesamtfutteraufnahme als Funktion des Gewichtszuwachses.

Table 2:

Feed conversion ratio up to day 140, based on laying hen performance test reports. No tests were performed in 1998, 1999, 2001, and 2003. For further details see text.

Tabelle 2:

Futterverwertungskoeffizienten bis zum 140. Lebenstag, nach Angaben von Legeleistungsprüfungen. Für die Jahre 1998, 1999, 2001 und 2003 lagen keine Prüfungsergebnisse vor. Zu Einzelheiten siehe Text.

	Animal weight at day 140 (kg animal ⁻¹) ^a	Total animal weight gain until day 140 ^b (kg animal ⁻¹)	Diet mass consumed until day 140 (kg animal ⁻¹) ^a	Feed conversion ratio (kg kg ⁻¹)
1990	1.55	1.505	7.78	5.169
1991	1.56	1.515	7.91	5.221
1992	1.52	1.475	7.60	5.153
1993	1.54 ^c	1.498	7.75	5.175
1994	1.47 ^c	1.423	7.46	5.244
1995	1.50 ^c	1.455	7.59	5.217
1996	1.46 ^c	1.412	7.15	5.064
1997	1.49 ^c	1.444	7.25	5.020
2000	1.37 ^c	1.321	6.73	5.091
2002	1.33 ^c	1.289	6.25	4.851
2004	1.40 ^c	1.351	6.83	5.057

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

^b based on starting weight 0.045 kg animal⁻¹ (Daenischessen, 2006) ^c values derived from animal weight at day 126 by multiplication with 1.0713 (see text)

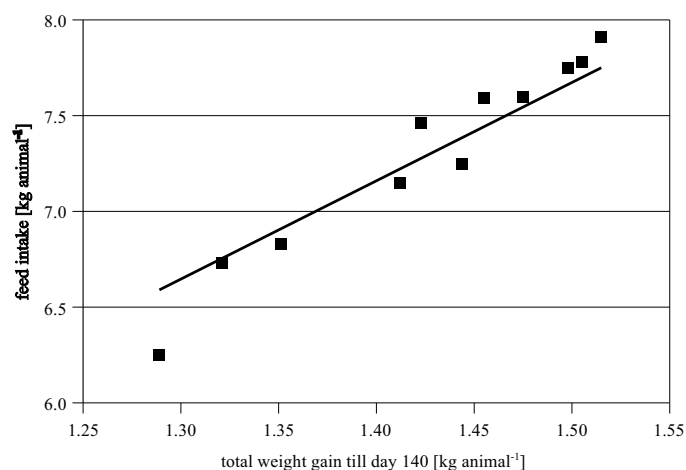


Figure 1

Accumulated feed intake until day 140 as a function of total animal weight gain. (Linear regression: slope 5.12 kg kg⁻¹, intercept 0 kg, R² = 0.91).

Abbildung 1:

Kumulierte Futteraufnahme bis zum 140. Lebenstag als Funktion der Gesamtgewichtszunahme. (Lineare Regression: Steigung 5,12 kg kg⁻¹, Achsenabschnitt 0 kg, R² = 0,91).

² The factor 1.0713 is derived from laying hens daily weight gain displayed as function of time in Figure 1 in GfE (1999) and the assumption that animal weight gains during days 126 and 127 be the same like that of day 128. The application of the factor to all types of laying hens is based on the assumption that the function of the time-dependent ratio between animal weight at any day of life and final animal weight be the same for all laying hens (see Haenel and Dämmgen, 2007).

Even if total feed intake is not expected to be a linear function of the total animal weight gain in principle, Figure 1 indicates that the relation between these two entities can sufficiently well be approximated linearly in the range of the weight gains considered. According to the concept of the feed conversion ratio, the regression was defined with zero intercept. The regression function allows for calculation of feed intake directly from the weight gain regardless of the time span passed to achieve this weight gain. Applying the regression function to a weight gain of 1.5 kg animal⁻¹ as typical for the early 1990ies, a total feed intake of 7.7 kg is obtained. The range of feed intake given in Table 1 (6.15 to 6.9 kg) corresponds to the weight gain values of 1.2 to 1.35 kg animal⁻¹ occurring since the end of the 1990ies (cf. Table 3).

The regression function described above is based on amounts of feed which may inseparably have included squandered feeding fractions (see discussion for laying hens in Haenel und Dämmgen, 2007). This may cause a certain bias in the determination of excretions, but, due to the lack of appropriate information, the error cannot be estimated. However, as overestimation of feed intakes results in an overestimation of excretions, the error will never lead to an unwanted underestimation of resulting emissions.

Besides the rearing time span ($\tau_{\text{lifespan}} = 128 \text{ d round}^{-1}$, see section 3.1), application of Equation (7) requires also data on total weight gains $\Delta w_{\text{round, pu}}$. The latter are derived from the initial weights of laying hens as described in Haenel und Dämmgen (2007) and from the assumption of a uniform initial chick weight of 45 g (Daenischessen, 2006). Table 3 shows the resulting time series of total pullet weight gains.

Table 3:
Time series of average total weight gain of pullets (in kg animal⁻¹ round⁻¹). Data are derived by subtracting an initial weight of 0.045 kg animal⁻¹ (Daenischessen, 2006) from the laying hens' starting weights given in Haenel and Dämmgen (2007). Values in italics are obtained from data gap closure.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
$\Delta w_{\text{round, pu}}$	1.51	1.52	1.48	1.40	1.33	1.36	1.32	1.35	<i>1.35</i>	<i>1.30</i>	1.23	<i>1.32</i>	1.20	<i>1.20</i>	1.26	<i>1.26</i>

Table 4:
Time series of metabolizable energy ME_{pu} (in MJ place⁻¹ d⁻¹) as calculated by Equation (7). 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
ME_{pu}	0.61	0.61	0.60	0.56	0.54	0.55	0.53	0.54	<i>0.54</i>	<i>0.52</i>	0.50	<i>0.53</i>	0.48	<i>0.48</i>	0.51	<i>0.51</i>

Auch wenn von einer nichtlinearen Abhängigkeit der Futtermenge vom Tiergewichtszuwachs auszugehen ist, so deutet Abbildung 1 doch darauf hin, dass dieser Zusammenhang über den betrachteten Bereich von Gewichtszuwächsen in guter Näherung als linear angesehen werden kann. Dem Konzept des Futtermittelverwertungskoeffizienten entsprechend erfolgte die lineare Regression durch den Ursprung. Mit ihrer Hilfe lässt sich der Futterverbrauch ohne Zeitbezug direkt über den Gewichtszuwachs parametrisieren. Aus dem Anfang der 1990er Jahre noch typischen Junghennen-Gewichtszuwachs von 1,5 kg Tier⁻¹ ergibt sich eine Futtermenge von 7,7 kg Tier⁻¹. Die im Zusammenhang mit Tabelle 1 erwähnten Futtermengen von 6,15 und 6,9 kg korrespondieren mit den seit Ende der 1990er Jahre zu beobachtenden Zuwächsen von ca. 1,2 bis 1,35 kg Tier⁻¹, vgl. Tabelle 3.

Die vorstehende Ableitung beruht auf Futtermengenangaben, bei denen grundsätzlich nicht auszuschließen ist, dass sie auch verschwendete Futteranteile umfassen (vgl. Diskussion für Legehennen bei Haenel und Dämmgen, 2007). In Ermangelung entsprechender Informationen kann der mögliche Fehler nicht quantifiziert werden. Da er gegebenenfalls aber zu einer Überschätzung der Ausscheidungen führt, ist die unerwünschte Unterschätzung der resultierenden Emissionen zumindest ausgeschlossen.

Für Gleichung (7) wird neben der Aufzuchtzeit ($\tau_{\text{lifespan}} = 128 \text{ d Durchgang}^{-1}$, siehe Kapitel 3.1) noch der Gesamtgewichtszuwachs $\Delta w_{\text{round, pu}}$ benötigt. Dieser leitet sich aus dem Einstellungszeitpunkt von Legehennen her (s. Haenel und Dämmgen, 2007). Nach Abzug eines einheitlich angenommenen Anfangsgewichtes von 45 g (Daenischessen, 2006) resultiert die in Tabelle 3 gezeigte Zeitreihe des Gesamtzuwachses.

Tabelle 3:
Zeitreihe der mittleren Lebendgewichtszunahmen von Junghennen (in kg Tier⁻¹ Durchgang⁻¹). Die Daten wurden erhalten, indem ein Anfangsgewicht von 0,045 kg Tier⁻¹ (Daenischessen, 2006) vom Anfangsgewicht der Legehennen (siehe Haenel und Dämmgen, 2007) abgezogen wurde. Kursiv gesetzte Zahlen wurden durch Lückenschlussverfahren erhalten.

Tabelle 4:
Zeitreihe der umsetzbaren Energie ME_{pu} (in MJ Platz⁻¹ d⁻¹), wie sie mit Gleichung (7) erhalten wurde. Kursiv gesetzte Zahlen beruhen auf Ausgangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren gewonnen wurden.

Table 4 shows the time series of metabolizable energy ME_{pu} obtained from Equation (7). Results based on input data defined by data gap closure are marked.

4.1.3 Ash content of excreta

Apart from the data discussed above, the calculation of VS excretions requires knowledge of ash content in pullet excreta. According to data presented in Hennig and Poppe (1975) the average value $x_{ash, pu} = 0.13 \text{ kg kg}^{-1}$ is used. Due to the lack of more detailed information, $x_{ash, pu}$ is assumed to be constant with space and time.

4.1.4 Time series of VS excretions

From the ME time series given in Table 4, the daily excretion of volatile solids (VS) can be calculated using Equation (5). The time series is presented in Table 5. Results which are based on input data obtained from data gap closure are marked as such.

Table 5:

Calculated time series of average daily VS excretions of pullets (in $\text{g place}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Values in italics are based on input data obtained by data gap closure.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
VS_{pu}	10.3	10.4	10.1	9.6	9.1	9.3	9.0	9.2	9.2	8.9	8.4	<i>9.0</i>	8.2	8.2	8.6	8.6

4.2 Nitrogen excretions

N excretions of pullets are calculated as the difference between N intake by feed and N retention by the animal. The N retained is proportional to the total weight gain Δw_{round} . According to LfL (2006) the specific N retention of pullets is $x_{N, pu} = 0.035 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$.

As the feed conversion ratio $x_{feed, pu}$ is constant, the N intake by feed is proportional to the total weight gain Δw_{round} , yielding a daily excretion rate as described in Equation (8).

$$m_{\text{excreted, day}} = \frac{\Delta w_{\text{round}}}{\tau_{\text{round}}} \cdot (x_N \cdot x_{XP, \text{feed}} \cdot x_{\text{feed, pu}} - x_{N, \text{pu}}) \tag{8}$$

where $m_{\text{excreted, day}}$ amount of nitrogen excreted per pullet place and day (in $\text{kg place}^{-1} \text{ d}^{-1} \text{ N}$)
 Δw_{round} average animal weight gain per place and round (in $\text{kg animal}^{-1} \text{ round}^{-1}$)
 τ_{round} duration of production cycle (in d round^{-1})
 x_N nitrogen content of crude protein ($x_N = 1/6.25 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$)

Tabelle 4 zeigt die aus Gleichung (7) resultierende ME_{pu} -Zeitreihe. Ergebnisse, die auf Eingangsdaten beruhen, die durch Schließung von Datenlücken definiert wurden, sind hervorgehoben.

4.1.3 Aschegehalt der Ausscheidungen

Über die vorgenannten Daten hinaus ist zur Berechnung der VS-Ausscheidungen auch die Kenntnis des Aschegehaltes im Junghennenkot erforderlich. Er wird nach Daten in Hennig und Poppe (1975) mit $x_{ash, pu} = 0,13 \text{ kg kg}^{-1}$ angenommen. Mangels detaillierterer Informationen wird er als zeitlich und räumlich konstant angesehen.

4.1.4 Zeitreihe der VS-Ausscheidungen

Mit Hilfe der ME -Zeitreihe in Tabelle 4 lässt sich über Gleichung (5) die tägliche Ausscheidung von im Lager abbaubaren Kohlehydraten (volatile solids, VS) berechnen. Die Zeitreihe ist in Tabelle 5 wiedergegeben. Werte, die nach Schließung von Datenlücken erhalten wurden, sind hervorgehoben.

Tabelle 5:

Berechnete Zeitreihe der mittleren täglichen VS-Ausscheidungen von Junghennen (in $\text{g Platz}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

4.2 Stickstoff-Ausscheidungen

Die N-Ausscheidung von Junghennen ergibt sich als Differenz von futterbedingter N-Aufnahme und N-Retention im Tier. Letztere ist proportional zum Gewichtszuwachs Δw_{round} . Die spezifische N-Retention, $x_{N, pu}$, beträgt nach LfL (2006) $0,035 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$.

Mit Hilfe der Futterverwertung $x_{\text{feed, pu}}$ lässt sich die futterbedingte N-Aufnahme ebenfalls proportional zum Gewichtszuwachs Δw_{round} formulieren.

Zusammenfassend ergibt sich für die tägliche N-Ausscheidung pro Junghennenplatz:

$x_{XP, feed}$ content of crude protein in pullet diet (kg kg⁻¹ XP, see below)
 $x_{feed, pu}$ pullet diet mass needed for animal weight gain (in kg kg⁻¹)
 $x_{N, pu}$ N retained by pullets (in kg kg⁻¹)

For the two-phase feed presented in Table 1, the effective content of crude protein can be calculated to be 0.155 kg kg⁻¹ (using data by Beyer et al., 2004). For the four-phase feeding according to KTBL (2004), the maximum and the minimum values of weighted means for all phases are 0.155 kg kg⁻¹ XP and 0.140 kg kg⁻¹ XP, respectively. As shown in Table 6, DLG (2005) specifies 0.161 kg kg⁻¹ XP for normal feed (four phases) and 0.146 kg kg⁻¹ XP for N reduced feed (five phases). As only DLG (2005) explicitly distinguishes between normal feed and N reduced feed, the data given by DLG are used to calculate the N excretion of pullets. According to section 4.1.2, the total amount of feed required of 6.9 kg animal⁻¹ corresponds to a weight gain of 1.35 kg animal⁻¹, which is representing the upper limit of weight gain totals observed towards the end of the 1990ies.

Given these data, Equation (8) allows for the calculation of the N excretion time series for normal and for N reduced feed, which are shown in Tables 7 and 8.

Der effektive Gehalt an Rohprotein, $x_{XP, feed}$ für die in Tabelle 1 dargestellte Zwei-Phasen-Fütterung beträgt 0,155 kg kg⁻¹ (nach Daten aus Beyer et al., 2004). Für die Vier-Phasen-Fütterung nach KTBL (2004) ergeben sich im gewichteten Mittel über alle Phasen maximal 0,155 kg kg⁻¹ XP und minimal 0,140 kg kg⁻¹ XP. DLG (2005) gibt für normale Fütterung 0,161 kg kg⁻¹ XP (vier Phasen) und für NP-reduzierte Fütterung 0,146 kg kg⁻¹ XP (fünf Phasen) an, s. Tabelle 6. Da nur DLG (2005) explizit zwischen diesen beiden Fütterungsvarianten unterscheidet, werden die vorgenannten DLG-Werte der Berechnung der N-Ausscheidung von Junghennen zugrunde gelegt. Die dabei insgesamt aufgewendete Futtermenge von 6,9 kg Tier⁻¹ entspricht nach Abschnitt 4.1.2 etwa einem Gesamtgewichtszuwachs von 1,35 kg Tier⁻¹, ein Wert, der die Obergrenze der seit Ende der 1990er Jahre zu beobachtenden Zuwächse darstellt.

Aus diesen Daten folgt mit Gleichung (8) die in Tabellen 7 und 8 dargestellte Zeitreihe der N-Ausscheidung bei normaler Fütterung und für NP-reduzierte Fütterung.

Table 6: Normal and N reduced multi-phase pullet feeds with intake-weighted average of crude protein content.

Phase		1	2	3	4	5	Intake weighted average
Normal feed	total feed intake (kg)	0.3	1.5	4.0	1.1	-	-
	XP content (kg kg ⁻¹ XP)	0.210	0.185	0.145	0.175	-	0.161
N reduced feed	total feed intake (kg)	0.3	0.8	1.6	3.1	1.1	-
	XP content (kg kg ⁻¹ XP)	0.210	0.170	0.140	0.130	0.165	0.146

Source: DLG (2005, p. 46)

Tabelle 6: Normales und N-reduziertes Junghennen-Futter (Mehrphasenfütterung) mit Aufnahme-gewichteten Rohprotein-Gehalten.

Table 7: Time series of *daily* N excretions of pullets (in g place⁻¹ d⁻¹) for normal and N reduced feeds. Values in italics are based on input data obtained by gap closure.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Normal	1.03	1.03	1.01	0.95	0.90	0.92	0.90	0.92	<i>0.92</i>	<i>0.88</i>	0.84	<i>0.90</i>	0.82	<i>0.82</i>	0.86	<i>0.86</i>
N red	0.90	0.90	0.88	0.83	0.79	0.81	0.78	0.80	<i>0.80</i>	<i>0.77</i>	0.73	<i>0.79</i>	0.71	<i>0.71</i>	0.75	<i>0.75</i>

Tabelle 7: Zeitreihe der *täglichen* N-Ausscheidungen von Junghennen (in g Platz⁻¹ d⁻¹) für normales und N-reduziertes Futter. Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

Table 8: Time series of *annual* N excretions of pullets (in kg place⁻¹ a⁻¹) for normal and N reduced feeds. Values in italics are based on input data obtained by gap closure.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Normal	0.37	0.38	0.37	0.35	0.33	0.34	0.33	0.33	<i>0.33</i>	<i>0.32</i>	0.31	<i>0.33</i>	0.30	<i>0.30</i>	0.31	<i>0.31</i>
N red	0.33	0.33	0.32	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	<i>0.29</i>	<i>0.28</i>	0.27	<i>0.29</i>	0.26	<i>0.26</i>	0.27	<i>0.27</i>

Tabelle 8: Zeitreihe der *jährlichen* N-Ausscheidungen von Junghennen (in kg Platz⁻¹ a⁻¹) für normales und N-reduziertes Futter. Kursiv gesetzte Zahlen basieren auf Eingangsdaten, die durch Lückenschlussverfahren erzeugt wurden.

4.3 Discussion and future work

The emission model GAS-EM is designed to calculate emissions of greenhouse gases and gaseous and particulate air pollutants from one and the same data set. This presupposes correct and systematically consistent descriptions of the animal energy budgets and the excretions of VS and N. The treatise presented here meets this demand. Additionally, calculation approaches and data sets allow for the establishment of scenarios.

It remains unsatisfactory that complete time series can be obtained only by considerable data gap closing procedures, and that important data describing performance and feeding requirements are available only as means on a national basis. This hampers especially the description of the climate-reporting base year 1990. However, in view of the pullets' relatively small contribution to the total emissions (see Lüttich et al., 2007), this seems to be tolerable.

Emission reduction potentials cannot be derived directly from this treatise. However, the fact that increased growth rates have an effect on the overall maintenance energy and thus on the overall metabolizable energy requirements, leads to the conclusion that this will result in reduced feed intakes and thus reduced VS excretions. In this case, the protein content of the feeds has to be adjusted in order to avoid additional N excretions.

The assumptions that no regional differentiation is needed to describe pullet production in Germany has yet to be proved, so has the assumption on the composition of a "mean feed" that has remained constant over time.

Acknowledgement

The authors thank H. Kleine-Klausing (deuka Deutsche Tiernahrung GmbH & Co. KG, Düsseldorf) and I. Halle (Institute of Animal Nutrition, Federal Agricultural Research Centre, Braunschweig) who answered many questions regarding both theory and practice of pullet nutrition.

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 (2001) Legeleistungsprüfung für Hühner 1998 bis 2000. DGS-Magazin 53(5):12-18
- Anonymus (2003) Legeleistungsprüfung für Hühner 2001/2002. DGS-Magazin 54(31):23-30
- Anonymus (2005) Legeleistungsprüfung für Hühner 2002/2004. DGS-Magazin 56(1):15-19
- 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, Haenel H-D, Döhler H, Eurich-Menden B, Osterburg B (2007) Calculations of emissions from German agriculture -National Emission Inventory Report (NIR 2007 for 2005 : introduction, methods and data (GAS-EM). Braunschweig : FAL, 243 p, LandbauforschVölkenrode SH 304

4.3 Diskussion und Ausblick

Das Emissionsmodell GAS-EM versucht, die Emissionen von klimarelevanten und Luft verschmutzenden Stoffen aus einem Datensatz zu berechnen. Voraussetzung ist die zutreffende und in sich konsistente Beschreibung des Energiehaushalts und der VS- und N-Ausscheidungen. Diese Voraussetzung wurde in der vorliegenden Arbeit geschaffen. Die Rechenverfahren und die Datensätze lassen nunmehr auch die Erstellung von Szenarien zu.

Es bleibt unbefriedigend, dass vollständige Zeitreihen nur durch erhebliche Lückenschlüsse erzielt werden konnten und dass wichtige Daten zu Leistung und Futterbedarf nur als Mittel für das gesamte Bundesgebiet erhalten wurden. Damit wird insbesondere eine Beschreibung des Basisjahrs 1990 der Klimaberichterstattung erschwert. Wegen des relativ geringen Beitrags der Junghühner zu den Gesamtemissionen (s. Lüttich et al., 2007) erscheint dies jedoch vertretbar.

Emissionsminderungspotenziale lassen sich aus dem vorliegenden Text nicht unmittelbar ableiten. Jedoch ist in Kenntnis der Teilenergien der umsetzbaren Energie auch hier zu erwarten, dass züchterischer Fortschritt im Hinblick auf ein schnelleres Wachstum zur Minderung der Futteraufnahme und damit auch zu einer Minderung der VS-Ausscheidungen führen sollte. Der Protein-Gehalt des Futters müsste dann optimiert werden, um zusätzliche N-Ausscheidungen zu vermeiden.

Die Annahmen, dass keine regionalen Unterschiede in der Junghennen-Produktion bestehen und dass die Zusammensetzung des „mittleren Futters“ zeitlich gleich geblieben ist, bedürfen der Überprüfung.

- Daenischessen (2006) Die dänische Eier- und Geflügelproduktion [online]. In <http://www.daenischessen.de/produktion_market/produktionszweige/gefluegel.htm> [date of quotation 2006-06-19]
- DLG - Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2005) Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Frankfurt a M : DLG-Verl., 69 p, Arbeiten der DLG 199
- Flock DK, Heil G (2001) Eine Langzeitanalyse der Leistungsentwicklung weißer und brauner Legehennen anhand von Ergebnissen der amtlichen deutschen Leistungsprüfungen von 1974/75 bis 1997/99. Arch Geflügelk 66(1):1-20
- 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 2: Laying hens. Landbauforsch Völkenrode 57(4):363-390
- 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 die Leistungsmerkmale der Hennen in der folgenden Legeperiode bei einer gestaffelten Protein- und Energieversorgung. Arch Geflügelk 66(2):66-74
- 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 (1997) Amtliche Legeleistungsprüfung 1995/96 : Zusammenfassende Auswertung. DGS Magazin 49(36):12-22
- 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
- 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 Düngedarfs u. Umsetzung der Düngerverordnung. 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]
- Lüttich M, Dämmgen U, Haenel H-D, Eurich-Menden B, Döhler H, Osterburg B (2007) Calculations of emissions from German agriculture -National Emission Inventory Report (NIR) 2007 for 2005 : tables. Braunschweig : FAL, 347 p, Landbauforsch Völkenrode SH 304/A
- 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
- StatLA FS3 R4 - Statistisches Bundesamt. Fachserie 3: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Reihe 4: Viehbestand und tierische Erzeugung (annual reports). Wiesbaden : Statistisches Bundesamt
- StatLA Statistische Berichte Reihe C III-1-vj Viehbestand (für alle Bundesländer 1990-2005)
- StatLA Statistische Berichte Reihe C III 2-vj Schlachtungen und Fleischerzeugung (für alle Bundesländer 1990-2005)
- StatLA Statistische Berichte Reihe C III 6-vj Brut und Schlachtungen von Geflügel (für alle Bundesländer 1990-2005)
- StatLA Statistische Berichte Reihe C III 7-vj Legehennenhaltung und Eierzeugung (für alle Bundesländer 1990-2005)
- 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.unecce.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