

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

3a. Broilers. Fattening procedures and animal properties

Hans-Dieter Haenel* and Ulrich Dämmgen**

Summary

Broilers' excretions of nitrogen and carbon relevant to gaseous emissions are depending on animal performance, i.e. on weight and weight gain rates. Weight gains are primarily governed by genetic preposition. However, they also depend on other factors such as feeding, stocking density, diseases, and broiler house indoor climate. In addition, final animal weights are depending on the duration of the fattening period.

Emission reporting for ammonia requires an assessment of excretions with an adequate resolution in space and time. In principle, this is possible. However, in Germany, the data needed for this purpose are not available on a regular basis.

This paper deals with the basics for an improved method to assess excretions by the German broiler production. The new method itself will be presented in a companion paper (Haenel and Dämmgen, 2009).

Keywords: broiler, VS excretion, N excretion, Ammonia, emission inventory

Zusammenfassung

Konsistente Zeitreihen von Daten zur Modellierung der Ausscheidungen von „volatile solids“ und Stickstoff bei Geflügel

3a. Masthähnchen und -hühnchen. Mastverfahren und Tiereigenschaften

Die emissionsrelevanten Stickstoff- und Kohlenstoff-Ausscheidungen von Masthähnchen und -hühnchen sind leistungs-, d. h. gewichts- und zuwachsabhängig. Der Gewichtszuwachs wird vorrangig durch genetische Veranlagung bestimmt, hängt aber auch von Faktoren wie Fütterung, Besatzdichte, Erkrankungen und Stallklima ab. Die erreichbaren Tierendgewichte sind überdies eine Funktion der Mastdauer.

Die Berichterstattung für Ammoniak-Emissionen erfordert eine angemessene räumlich und zeitlich differenzierte Beschreibung der Ausscheidungen. Dies ist im Prinzip möglich, scheitert aber daran, dass die benötigten Daten in Deutschland nicht regelmäßig zur Verfügung stehen.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Grundlagen für ein verbessertes Verfahren zur Berechnung der Ausscheidungen bei Masthähnchen und -hühnchen in Deutschland, das in einer ergänzenden Publikation (Haenel und Dämmgen, 2009) vorgestellt wird.

Schlüsselwörter: Masthähnchen, Masthühnchen, Broiler, VS-Ausscheidung, N-Ausscheidung, Ammoniak, Emissionsinventar

* Johann Heinrich von Thünen Institut (vTI), Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries, Institute of Agricultural Climate Research, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Germany

** University of Veterinary Medicine Hannover, Institute for Animal Breeding and Genetics, Buenteweg 17p, 30559 Hannover, Germany

1 Introduction

As highlighted by Steinfeld et al. (2006), agricultural animal production plays an important role in the generation of the anthropogenic greenhouse effect. In addition, the contribution to the emission of gaseous and particulate air pollutants is so important that this sector has to be included in any measures to reduce emissions (BMU, 2006; Dämmgen and Haenel, 2008). A prerequisite to any reduction measures is an adequate description of the emitting processes as well as an assessment of the frequency with which they occur. In Germany, the national emission inventories provided to comply with the reporting obligations within the Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 1997) and the Geneva Protocol on Long Range Transport of Atmospheric Pollutants (UNECE, 2006) serve this purpose. The annual reports describe not only the emissions themselves and the respective process models, but also the emission explaining variables, if possible, as a continuous time series from 1990 onwards.

Emissions from so-called key sources should be assessed with an adequate resolution in time and space. For ammonia, poultry as a whole is considered a key source with respect to the amount emitted. Ammonia has a comparatively short atmospheric lifetime. This again should be reflected by a high resolution of the emission calculations in time and space. In addition, broiler production in Germany has been increasing over time and therefore has to be regarded as a key source with respect to its trend (cf. e. g. ZMP, 1990 to 2006).

Within the calculation procedures depicting emissions from animal production, the adequate assessment of the excretions of carbon and nitrogen compounds is a major prerequisite (Webb et al., 2005). However, due to lack of suitable data and calculation procedures, the emissions from German broiler production have been reported using a comparatively simple method reported in the literature (Dämmgen et al., 2007).

This paper deals with the basics for an improved method to assess excretions by the German broiler production. The new method itself will be described in detail in a companion paper (Haenel and Dämmgen, 2009), which also presents the derivation of the time series of the parameters relevant for emission estimations. The calculations reflect the information provided by both husbandry and animal nutrition. However, the papers aim at a complete description of the processes and data, irrespective of their importance within animal nutrition.

Similar contributions dealing with pullets and laying hens were published recently (Haenel and Dämmgen, 2007a, 2007b).

1 Einleitung

Spätestens seit Steinfeld et al. (2006) ist deutlich, dass die landwirtschaftliche Tierproduktion zu einem großen Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt beteiligt ist. Ihre Rolle bei der Emission luftverschmutzender Stoffe ist so erheblich, dass die Landwirtschaft in Minderungsmaßnahmen einbezogen werden muss (BMU, 2006; Dämmgen und Haenel, 2008). Solche Minderungsmaßnahmen setzen voraus, dass die emittierenden Prozesse und ihre Häufigkeit hinreichend gut beschrieben werden können. Hierzu dienen in Deutschland die nationalen Inventare, die gleichzeitig die Erfüllung der internationalen Berichtspflichten im Zusammenhang mit der Klimarahmen-Konvention (UNFCCC, 1997) und dem Genfer Luftreinhalteabkommen (UNECE, 2006) ermöglichen. Die jährlich erstellten Inventarberichte beschreiben neben den Emissionen auch die Prozesse, die sie hervorrufen, und ihre Modellierung und dokumentieren die die Emissionen bestimmenden Variablen als möglichst lückenlose Zeitreihen ab 1990.

Emissionen aus so genannten Hauptquellgruppen sollen mit einer angemessenen zeitlichen und räumlichen Auflösung bestimmt werden. Geflügel insgesamt ist eine Hauptquellgruppe für Ammoniak bezüglich der Höhe der Emissionen. Bei Ammoniak spricht insbesondere die geringe atmosphärische Verweildauer für die feine Auflösung von Emissionsberechnungen. In der Geflügelhaltung in Deutschland stellt die Produktion von Masthähnchen und -hühnchen (Broiler) eine Emissionsquelle mit zunehmender Tendenz dar (vgl. z. B. ZMP, 1990 bis 2006).

Eine wichtige Voraussetzung für die Berechnung von Emissionen aus der Nutztierhaltung ist eine zutreffende Quantifizierung der Ausscheidungen von Kohlenstoff- und Stickstoff-Verbindungen (Webb et al., 2005). Mangels geeigneter Datensätze und Rechenverfahren wurden die Emissionen aus der Masthähnchen-Produktion bisher allerdings nur mit nationalen Mittelwerten (Literaturdaten) nach einem vergleichsweise einfachen Verfahren gerechnet (Dämmgen et al., 2007).

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Grundlagen für ein verbessertes Verfahren zur Berechnung der Ausscheidungen bei Masthähnchen und -hühnchen in Deutschland. Darauf aufbauend wird in einer ergänzenden Publikation (Haenel und Dämmgen, 2009) die Ermittlung der Zeitreihen der emissionsrelevanten Parameter beschrieben. Die Berechnungen beruhen auf Erkenntnissen aus Tierhaltung und -ernährung. Dabei steht, unabhängig von der Bedeutung einzelner Teilprozesse für die Tierernährung, die möglichst vollständige Prozess- und Datenbeschreibung im Vordergrund.

Entsprechende Arbeiten zu Junghennen und Legehennen gingen dieser Arbeit voraus (Haenel und Dämmgen, 2007a, 2007b).

2 Fattening procedures and durations

The various broiler production intensities are coined by their respective duration and the final weights obtained. Another important characteristic is the service time between any two fattening periods.

The fattening procedures applied in Germany differ with respect to their duration. Rapid fattening, intermediate fattening, split fattening, extended fattening (both conventional and organic) can be observed. However, rapid fattening and split fattening are dominating. Only in extended fattening are cocks and hens kept separately; in all other cases both genders are fattened together.

The respective typical duration of the fattening process, the numbers of animal rounds per year and the final weights obtained are listed in Table 1.

2 Mastverfahren und Mastdauer

Hähnchen-Mastverfahren werden durch Mastdauer und Tierendgewicht geprägt. Ein weiteres Verfahrensmerkmal ist die für die Reinigung benötigte Zeit zwischen zwei Mastperioden.

Die in Deutschland eingesetzten Mastverfahren gliedern sich in Kurzmast, Mittellangmast, Splittingmast, Langmast und ökologische Langmast. Bevorzugt werden in Deutschland Kurzmast und Splitting-Verfahren. Mit Ausnahme der Langmast, in der Hähne und Hennen getrennt gehalten werden, werden Tiere beider Geschlechter gemeinsam gemästet.

Mastdauer, Reinigungsdauer, Anzahl der Mastdurchgänge pro Jahr und Lebendendgewicht werden nach Mastverfahren getrennt in Tabelle 1 wiedergegeben.

Table 1:

Data characterizing German broiler production procedures

Tabelle 1:

Verfahrenskennwerte zur Hähnchenmast in Deutschland

Fattening procedure	Sources (*)	Characteristics			
		duration of fattening period d round ⁻¹	service period d round ⁻¹	animal rounds per year round a ⁻¹	final weight g animal ⁻¹
rapid fattening (Kurzmast)	1	32 - 34	12.5	8.1	1500
	2	32 - 35			1400 - 1700
	3	33 - 35	12.5	7.9	1500
intermediate fattening (Mittellangmast)	1	38 - 40	13.4	6.7	2000
fattening for intermediate weights („Mittelschwere Mast“)	2	40 - 42			1700 - 2000
semi-extended fattening („verlängerte Mast“)	3	38 - 42	13.4	7.1	2000
split fattening (Splittingverfahren)					
lot A	1	30 - 32	12.7	7.2	1500
lot A	3	33	12.7		1500
lot B	1	40	12.7	7.2	2200
lot B	3	42	12.7	7.1	1850 - 2000
extended fattening (Langmast)	1	50 - 60	17.6	4.8	2000 - 3000
	2	41 - 51			2000 - 2800
	3	50 - 60	17.6	5.0	2000 - 3000
	4	40 - 45 (hens)			2000 - 2200
	4	50 - 60 (cocks)			2800 - 3300
extended fattening in organic farming (ökologische Langmast)	3	56 - 81	21	4.5	2000 - 3000

(*) Sources: 1: LWK-NW (2006); 2: Sudhop (2008); 3: KTBL (2004), pg. 507; 4: Berk (2005)

The actual duration of fattening procedure is identical with the animal lifespan. It is also the time during which an animal occupies an animal place.

The fattening period is followed by the cleansing period also denoted as service time. The addition of the durations of fattening and cleansing periods yields the duration of the animal round. This can also be treated formally as the product of fattening days and the duration of a day.

$$\tau_{\text{round}} = \tau_{\text{lifespan}} + \tau_{\text{service}} = k_{\text{fin}} \cdot \tau_{\text{day}} + \tau_{\text{service}} \quad (1)$$

where

τ_{round}	duration of round (in d round ⁻¹)
τ_{lifespan}	span of lifetime within a round (in d round ⁻¹)
τ_{service}	time needed for cleansing prior to new round (in d round ⁻¹)
k_{fin}	number of the final day of fattening period
τ_{day}	time period of one day ($\tau_{\text{day}} = 1 \text{ d round}^{-1}$)

The number of animal rounds is derived directly from the duration of animal rounds. The unit for rounds per year is equivalent to the unit of animals per place and year

$$n_{\text{round}} = \frac{\alpha}{\tau_{\text{round}}} \quad (2)$$

where

n_{round}	number of rounds per year (round a ⁻¹ = animal place ⁻¹ a ⁻¹)
α	time unit conversion factor ($\alpha = 365 \text{ d a}^{-1}$)
τ_{round}	duration of round (in d round ⁻¹)

With respect to the needs of Section 4.2, a derivation of the duration of the service period from the duration of the fattening period is required. It can be obtained from the characteristics of the various fattening procedures listed in Table 1, and can be expressed as in equation (3) and Figure 1 using the data as compiled below. Equation (3) is based on the fact that rapid fattening and split fattening prevail in Germany. However, it also takes extended fattening into account. The data points for split and extended fattening are derived for the following conditions:

- **split fattening:** ratio of cocks to hens 1:1, mean duration of the fattening period (lot A) 38.3 d round⁻¹ (from 32 d for 30 % and 41 d round⁻¹ for 70 % of the population, lot B), duration of round 53.7 d round⁻¹ (from 41 d round⁻¹ for the animals with extended fattening plus service period of 12.7 d round⁻¹), resulting in an effective service period of 15.4 d round⁻¹ (i.e., difference between a duration of round of 53.7 d round⁻¹ and a mean duration of the fattening period of 38.3 d round⁻¹)

Die Mastdauer wird auch als Haltungsdauer oder Lebensdauer bezeichnet. Sie gibt den Zeitraum an, während dessen ein Tier einen Tierplatz besetzt.

Nach der Ausstallung folgt die Reinigungs- oder Servicezeit. Die Summe aus Haltungsdauer und Reinigungsdauer ergibt die Durchgangsdauer, die sich auch als Produkt von Masttagezahl und der Dauer eines Tages darstellen lässt:

Aus der Durchgangsdauer folgt unmittelbar die Durchgangszahl, wobei die Einheit für „Durchgang“ äquivalent zur Einheit „Tier pro Platz und Jahr“ ist:

Für Abschnitt 4.2 wird eine Darstellung der Servicedauer als stetige Funktion der Mastdauer benötigt. Sie lässt sich mit Hilfe der unten aufgeführten Mastverfahren-Kennwerte aus Tabelle 1 ableiten, s. Gleichung (3) und Abbildung 1. Gleichung (3) gründet sich darauf, dass Kurz- und Splittingmast in Deutschland bevorzugt eingesetzt werden, berücksichtigt aber auch die Langmast. Die Mittel-langmast wird außer Betracht gelassen. Die Datenpunkte für die Splitting- und die Langmast in Abbildung 1 gelten für folgende Bedingungen:

- **Splittingmast:** Verhältnis Hähne zu Hennen 1:1, mittlere Mastdauer 38,3 d Durchgang⁻¹ (aus 32 d für 30 % – Gruppe A – und 41 d Durchgang⁻¹ für 70 % der Tiere – Gruppe B), Durchgangsdauer 53,7 d Durchgang⁻¹ (aus 41 d Durchgang⁻¹ der länger gemästeten Tiere zuzüglich Reinigungsdauer 12,7 d Durchgang⁻¹), effektive Reinigungsdauer 15,4 d Durchgang⁻¹ (Differenz aus Durchgangsdauer 53,7 d Durchgang⁻¹ und mittlerer Mastdauer 38,3 d Durchgang⁻¹);

- extended fattening: ratio of cocks to hens 1:1, duration of fattening period 56 d round⁻¹ for cocks and 42 d round⁻¹ for hens, service time in both cases 17.6 d round⁻¹.

Function (3) is constructed in a way that it also includes the service period for extended fattening of cocks, see Figure 1. However, it can only be applied for fattening periods between 30 and 56 d round⁻¹, because for longer periods it yields unrealistic results.

$$\tau_{\text{service}} = a_s + b_s \cdot k_{\text{fin}} + c_s \cdot k_{\text{fin}}^2 + d_s \cdot k_{\text{fin}}^3 \tag{3}$$

where

τ_{service}	service time (in d round ⁻¹)
k_{fin}	number of the final day of fattening period
a_s	constant ($a_s = -60.914473$ d round ⁻¹)
b_s	constant ($b_s = 4.24917001$ d round ⁻¹)
c_s	constant ($c_s = -0.07646862$ d round ⁻¹)
d_s	constant ($d_s = 0.0004582$ d round ⁻¹)

- Langmast: Verhältnis Hähne zu Hennen 1:1, Mastdauer 56 d Durchgang⁻¹ für Hähne und 42 d für Hennen, Reinigungsdauer jeweils 17,6 d Durchgang⁻¹.

Die Funktion (3) wurde so gewählt, dass auch für die reine Hähne-Langmast die Reinigungsdauer noch realistisch beschrieben wird (Abbildung 1). Die Funktion ist nur für Mastdauern zwischen rund 30 und 56 Tagen anwendbar. Für längere Mastdauern erbringt sie unbrauchbare Ergebnisse.

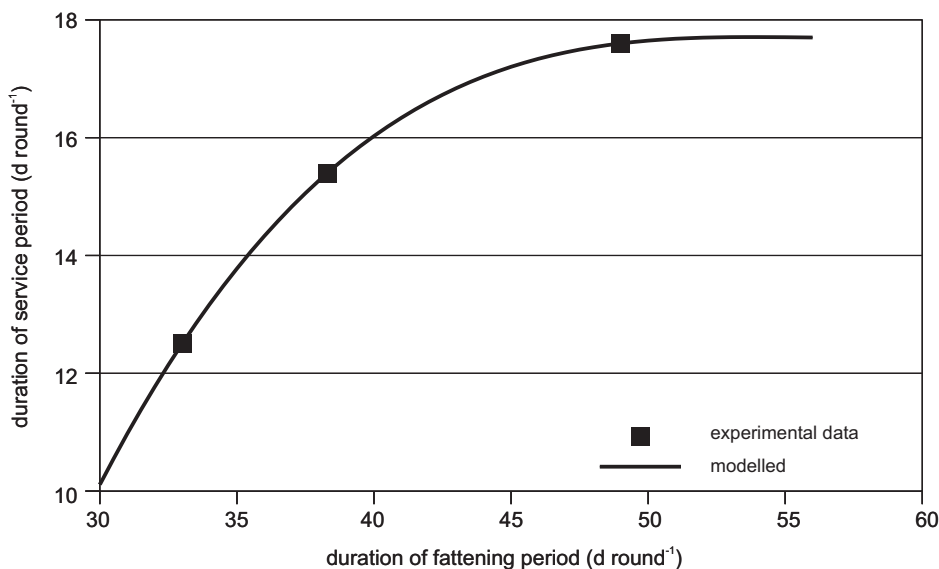


Figure 1:

Parameterization of the duration of the service time as a function of the duration of the fattening period. For details see text.

Abbildung 1:

Parametrisierung der Reinigungsdauer als Funktion der Mastdauer. Details siehe Text.

3 Animal properties

3.1 Live weights

3.1.1 Start weight

GfE (2000) presupposes a start weight of 42 g animal⁻¹.

In subsequent sections, a number of calculations make use of this value. Thus, a comparison of data obtained within the breeding line and feed contests was made to

3 Tiereigenschaften

3.1 Lebendgewichte

3.1.1 Anfangsgewicht

GfE (2000) geht von einem Anfangsgewicht von 42 g Tier⁻¹ aus.

Dieser Wert liegt einer Reihe von Auswertungen in nachfolgenden Abschnitten zugrunde, so dass ein Vergleich mit

check whether this assumption is valid (Anonymus, 1997; Anonymus, 2001; Damme, 1994, 1995, 1997; Damme and Rychlik, 2001; Klein, 1991a, 1991b; Lüke et al., 2004; Poteracki, 1991, 1994, 1995, 1996; Poteracki and Adam, 1993a, 1993b; Poteracki et al., 1994; Simon, 2001; Simon and Stegemann, 2005). Figure 2 illustrates the frequency distribution observed ($n = 52$, bin width 1 g animal^{-1}). The calculated mean is $41.2 \text{ g animal}^{-1}$. There is no trend in the time series. It therefore appears acceptable to use the GfE start weight of 42 g animal^{-1} throughout.

Daten aus Herkunfts- und Futtermittelprüfungen (Anonymus, 1997; Anonymus, 2001; Damme, 1994, 1995, 1997; Damme und Rychlik, 2001; Klein, 1991a, 1991b; Lüke et al., 2004; Poteracki, 1991, 1994, 1995, 1996; Poteracki und Adam, 1993a, 1993b; Poteracki et al., 1994; Simon, 2001; Simon und Stegemann, 2005) sinnvoll erscheint. Abbildung 2 zeigt die Häufigkeitsverteilung dieser Daten ($n = 52$, Klassenbreite 1 g Tier^{-1}). Der Mittelwert liegt bei $41,2 \text{ g Tier}^{-1}$. Es existiert kein zeitlicher Trend. Es erscheint daher akzeptabel, den GfE-Wert von 42 g Tier^{-1} als generelles Anfangsgewicht beizubehalten.

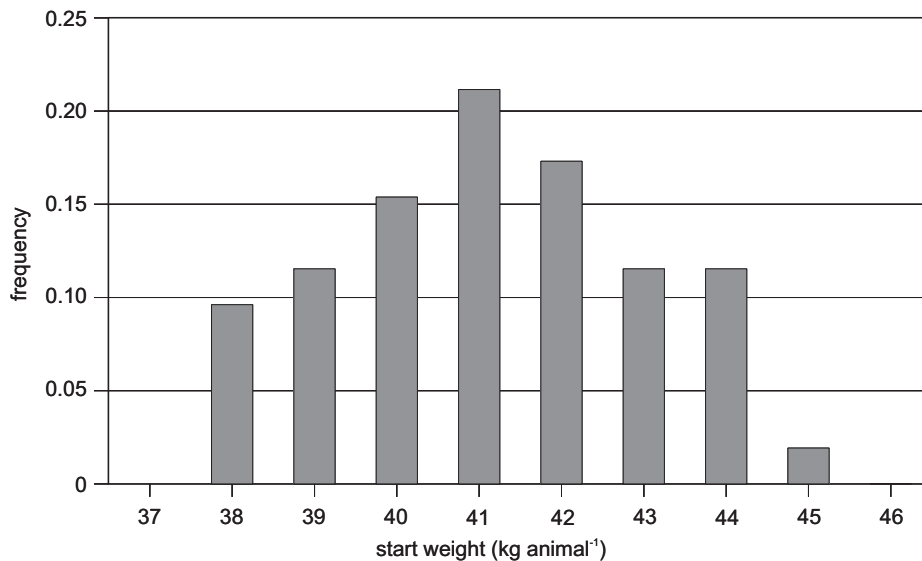


Figure 2:

Frequency distribution of start weights as derived from breeding line and feed contests. For details see text.

Abbildung 2:

Häufigkeitsverteilung der Anfangsgewicht-Daten aus Herkunfts- und Futtermittelprüfungen. Details siehe Text.

3.1.2 Weight gains and final weights according to GfE

Weight gains are mainly determined by genetic predisposition. Other important factors are feeding, stocking density, diseases, as well as indoor climate (LWK-NW, 2006). As data for the latter are not available, their influence on weight gains cannot be ruled out in the context of this paper. Thus we investigate to what extent weight gains can be assessed as a function of lifespan. The changing genetic predisposition is taken into account as weight gain increase since 1990 (cf. Section 3.1.3).

GfE (2000, Table 1.3.2) provides gender specific weight data including gains of the protein and fat contents of the animals. These data are shown in Table 2. GfE (2000) do not report on the year of origin of their data.

3.1.2 Zuwachs und Endgewicht nach GfE

Die Gewichtszunahme wird wesentlich durch die genetische Veranlagung bestimmt. Zusätzliche Einflussfaktoren wie Fütterung, Besatzdichte, Erkrankungen sowie Stallklima (LWK-NW, 2006) werden in der vorliegenden Arbeit mangels Daten nicht berücksichtigt. Im Folgenden wird deshalb angestrebt, die Gewichtszunahme als Funktion der Lebensdauer zu beschreiben. Die genetische Veranlagung wird dabei durch den mittleren Anstieg in den Tiergewichten seit 1990 berücksichtigt (s. Abschnitt 3.1.3).

GfE (2000, Tabelle 1.3.2) gibt – ohne Jahresangabe der Datenerhebung – geschlechtsspezifische Wachstumsdaten einschließlich Proteinzunahme und Fettzunahme als Funktion der Lebensdauer an, Tabelle 2.

Table 2:

Gender specific weight characteristics according to GfE (2000, Table 1.3.2)

Tabelle 2:

Geschlechtsspezifische Wachstumsdaten aus GfE (2000, Tabelle 1.3.2.)

Age	animal weight at the end of week n		mean weekly weight gain		protein gains (feathers only), related to overall weight gain	protein gains (body except feathers), related to overall weight gain	fat gains (body including feathers), related to overall weight gain	
	(w)		$(\Delta w/\Delta t)$		$(\Delta x_{XP,F})$	$(\Delta x_{XP,B})$	(Δx_p)	
weeks	cocks	hens	cocks	hens	broilers	broilers	cocks	hens
n	10^{-3} kg animal ⁻¹		10^{-3} kg animal ⁻¹ d ⁻¹		kg kg ⁻¹	kg kg ⁻¹	kg kg ⁻¹	kg kg ⁻¹
1	168	150	18.0	15.4	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$14.5 \cdot 10^{-2}$	$11.5 \cdot 10^{-2}$	$11.5 \cdot 10^{-2}$
2	396	364	32.6	30.6	$1.2 \cdot 10^{-2}$	$15.9 \cdot 10^{-2}$	$13.4 \cdot 10^{-2}$	$14.0 \cdot 10^{-2}$
3	754	693	51.1	47.0	$2.6 \cdot 10^{-2}$	$16.1 \cdot 10^{-2}$	$15.9 \cdot 10^{-2}$	$16.5 \cdot 10^{-2}$
4	1226	1109	67.4	59.4	$3.0 \cdot 10^{-2}$	$16.3 \cdot 10^{-2}$	$16.4 \cdot 10^{-2}$	$17.5 \cdot 10^{-2}$
5	1768	1561	77.4	64.6	$3.8 \cdot 10^{-2}$	$16.4 \cdot 10^{-2}$	$16.8 \cdot 10^{-2}$	$18.9 \cdot 10^{-2}$
6	2329	2002	80.1	63.0	$4.3 \cdot 10^{-2}$	$16.4 \cdot 10^{-2}$	$17.2 \cdot 10^{-2}$	$20.1 \cdot 10^{-2}$
7	2867	2399	76.9	56.7	$4.5 \cdot 10^{-2}$	$16.5 \cdot 10^{-2}$	$17.5 \cdot 10^{-2}$	$21.5 \cdot 10^{-2}$
8	3352	2737	69.3	48.3	$4.5 \cdot 10^{-2}$	$16.5 \cdot 10^{-2}$	$17.4 \cdot 10^{-2}$	$23.0 \cdot 10^{-2}$

The gender specific weight gains until day k are defined by equation (4).

The data points described by equation (4) can be converted into the steady function expressed in equation (5) with an $R^2 = 0.9999$ for both genders.

Der geschlechtsabhängige Gewichtszuwachs bis zum k-ten Lebenstag ist durch Gleichung (4) definiert. Gleichung (4) kann mittels Regression approximiert werden. Es ergibt sich mit $R^2 = 0,9999$ für beide Geschlechter die Gleichung (5).

$$\Delta w_{i,k} = w_{i,k} - w_{start} = \sum_{j=1}^k \Delta t \cdot \left(\frac{\Delta w}{\Delta t} \right)_{i,j} \tag{4}$$

where

- $\Delta w_{i,k}$ gender-related total weight gain until day k of life as function of gender i (in kg animal⁻¹)
- i gender index (i = male, female)
- k number of day of life
- $w_{i,k}$ gender-related live weight as function of day k of life (in kg animal⁻¹)
- w_{start} animal start weight (in kg animal⁻¹)
- j running index
- Δt time increment ($\Delta t = 1$ d)
- $(\Delta w/\Delta t)_{i,j}$ gender-related weight gain per animal and day according to Table 2 (in kg animal⁻¹ d⁻¹)

$$\Delta w_{i,k} = \beta_{g,i} \cdot k + \gamma_{g,i} \cdot k^2 + \delta_{g,i} \cdot k^3 \tag{5}$$

where

- $\Delta w_{i,k}$ gender-related total weight gain until day k of life (in kg animal⁻¹)
- i gender index (i = male, female)
- k number of day of life
- $\beta_{g,i}$ constant ($\beta_{g,male} = 0.952266 \cdot 10^{-3}$ kg animal⁻¹, $\beta_{g,female} = 1.321635 \cdot 10^{-3}$ kg animal⁻¹)
- $\gamma_{g,i}$ constant ($\gamma_{g,male} = 1.946104 \cdot 10^{-3}$ kg animal⁻¹, $\gamma_{g,female} = 1.799757 \cdot 10^{-3}$ kg animal⁻¹)
- $\delta_{g,i}$ constant ($\delta_{g,male} = -0.016163 \cdot 10^{-3}$ kg animal⁻¹, $\delta_{g,female} = -0.017214 \cdot 10^{-3}$ kg animal⁻¹)

Figure 3 shows the curves obtained from the application of equation (5). In the regions visualized by continuous lines, a linear approximation as in equation (6) is possible (cocks: $R^2 = 0.9999$; hens: $R^2 = 0.9991$). The subsequent calculations make use of these linear relationships.

Abbildung 3 zeigt die durch Gleichung (5) gegebenen Kurvenverläufe. Im durchgezogenen Bereich ist eine lineare Approximation durch Gleichung (6) möglich (Hähne: $R^2 = 0,9999$; Hennen: $R^2 = 0,9991$), wovon im Folgenden Gebrauch gemacht wird.

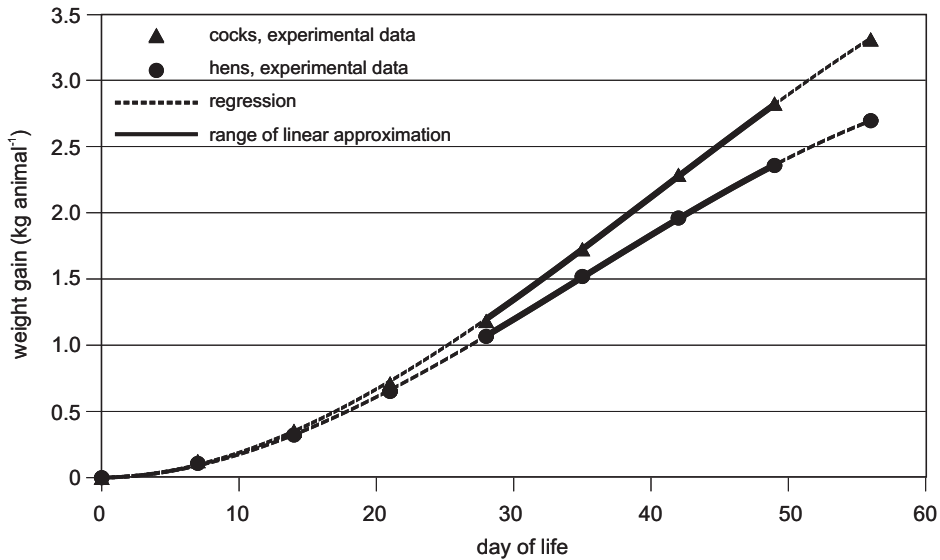


Figure 3:

Weight gain as a function of animal gender and age till week 8, inclusively. Squares and triangles: calculations according to data in GfE (2000), Table 2; dotted lines: regressions functions (equation 5) (cocks and hens: $R^2 = 0.9999$). Between days 28 and 49, weight gain functions can be approximated linearly (equation 6), continuous lines.

Abbildung 3:

Von Geschlecht und Lebensalter abhängiger Zuwachs bis zur 8. Woche einschließlich. Punkte: Berechnungen nach GfE (2000)-Daten (Tabelle 2); Linien: Regressionsfunktionen, s. Gleichung (5) (Hähne und Hennen: $R^2 = 0,9999$). Zwischen Tag 28 und Tag 49 (durchgezogene Linienteile) ist eine Linearisierung der Zuwachsfunktionen möglich, s. Gleichung (6).

$$\Delta w_{i,k,lin} = a_{g,i} + b_{g,i} \cdot k \quad (6)$$

where

$\Delta w_{i,k,lin}$	linearization of total weight gain $\Delta w_{i,k}$ (in kg animal ⁻¹)
i	gender index ($i = \text{male, female}$)
k	number of day of life
$a_{g,i}$	constant ($a_{g,male} = -1010.7 \cdot 10^{-3}$ kg animal ⁻¹ , $a_{g,female} = -645.3 \cdot 10^{-3}$ kg animal ⁻¹)
$b_{g,i}$	constant ($b_{g,male} = 78.343 \cdot 10^{-3}$ kg animal ⁻¹ , $b_{g,female} = 61.586 \cdot 10^{-3}$ kg animal ⁻¹)

The gender specific live weight at the end of the fattening period can be assessed using equation (7). For fattening periods between 28 and 49 days the linear relation expressed in equation (6) can be used.

If one needs a mean for both genders, equation (7) is

$$w_{i,kfin} = w_{start} + \Delta w_{i,kfin} \quad (7)$$

where

$w_{i,kfin}$	gender-related final live weight (in kg animal ⁻¹)
i	gender index ($i = \text{male, female}$)
w_{start}	animal start weight (in kg animal ⁻¹)
$\Delta w_{i,kfin}$	gender-related total weight gain during fattening period (in kg animal ⁻¹)

Das geschlechtsspezifische Lebendgewicht am Ende einer Mast ergibt sich aus Gleichung (7), wobei für Mastdauern zwischen 28 und 49 Tagen näherungsweise der linearisierte Zuwachs nach Gleichung (6) eingesetzt werden kann.

modified to yield equation (8):

Gemittelt über beide Geschlechter wird Gleichung (7)

3.1.3 Development of animal weights since 1990

zu:

$$w_{br, kfin} = w_{start} + \Delta w_{br, kfin} = w_{start} + x_{male} \cdot \Delta w_{male, kfin} + (1 - x_{male}) \cdot \Delta w_{female, kfin} \quad (8)$$

where

- $w_{br, kfin}$ average final live weight (in kg animal⁻¹)
- $\Delta w_{br, kfin}$ average animal weight gain per place and fattening period (in kg animal⁻¹ = kg place⁻¹ round⁻¹)
- w_{start} animal start weight (in kg animal⁻¹)
- x_{male} ratio of male broiler animal numbers to total population
- $\Delta w_{male, kfin}$ total weight gain of a male broiler during fattening period (in kg animal⁻¹ = kg place⁻¹ round⁻¹)
- $\Delta w_{female, kfin}$ total weight gain of a female broiler during fattening period (in kg animal⁻¹ = kg place⁻¹ round⁻¹)

3.1.3 Development of animal weights since 1990

3.1.3 Tiergewicht-Entwicklung seit 1990

Due to the progress in animal breeding, daily weight gains have increased steadily. This development cannot be reflected in the growth function (5) and (6). Thus, a correction is needed.

Aufgrund des züchterischen Fortschritts wachsen die täglichen Tiergewichtszunahmen beständig an. Da dies in den Wachstumsfunktionen (5) bzw. (6) nicht enthalten ist, ist eine Korrektur erforderlich.

The evaluation of breeding line and feed contests (for sources see section 3.1.1) exhibit steadily increasing final weights (cf Figure 4, left). These data are based on the assumption of a uniform start weight of 42 g animal⁻¹. According to the test protocols, these data were obtained from populations with equal shares of cocks and hens.

Abbildung 4 (links) zeigt den zeitlichen Trend anhand von Daten aus Herkunfts- und Futtermittelprüfungen (Quellenangaben s. Abschnitt 3.1.1), wobei ein einheitliches Anfangsgewicht von 42 g pro Tier zugrunde gelegt wurde. Die Daten gelten den Versuchsbeschreibungen zufolge für Populationen mit gleichen Anteilen von Hähnen und Hennen.

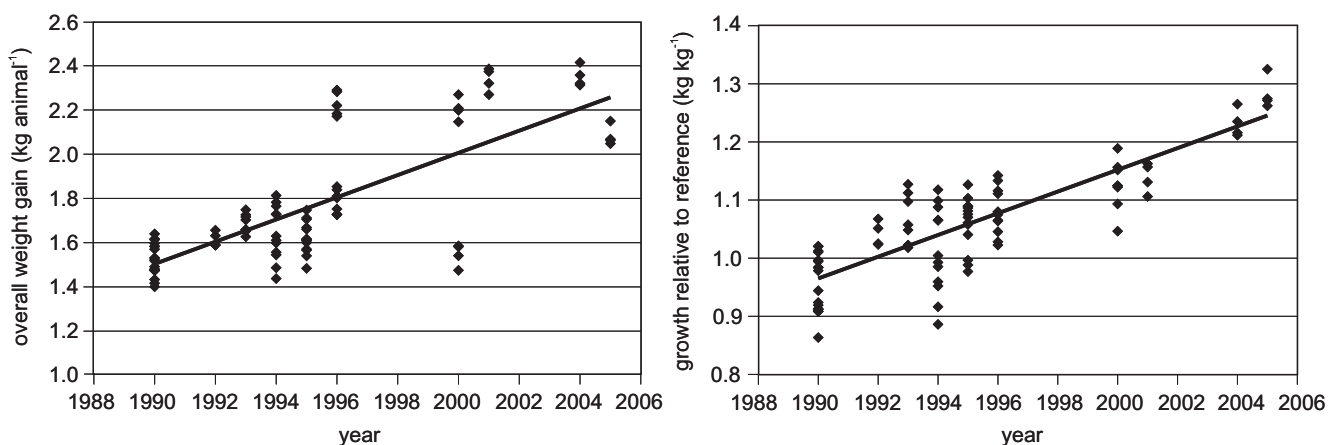


Figure 4:

Left: Absolute overall weight gains exhibit a tendency to increase (experimental data from breeding line and feed contests). Assumed start weight in all cases 0.042 kg animal⁻¹. Right: relative growth rate increases. The regression function defines the growth rate relative to reference, r_g , see equation 9.

Abbildung 4:

Links: Zeitliche Tendenz der Gesamtgewichtszuwächse aus Herkunfts- und Futtermittelprüfungen (Details siehe Text). Annahme in allen Fällen: Anfangsgewicht 0,042 kg Tier⁻¹. Rechts: Zeitliche Entwicklung der normierten Gewichtszunahmen. Die Regressionsfunktion definiert den Zuwachsquotienten r_g , s. Gleichung (9).

The scatter is reduced, when the reported weight gains are normalized using the weight gains as functions of the duration of the fattening period in accordance with GfE (2000) (see Section 3.1.2, equation (5)). The results of this

Die Streuung reduziert sich, wenn die berichteten Zuwächse mit Hilfe der mastdauerabhängigen Zuwächse normiert werden, wie sie sich nach GfE (2000) ergäben, vgl. Abschnitt 3.1.2, Gleichung (5). Abbildung 4 (rechts)

procedure are shown in Figure 4, right). A linear trend with a correlation coefficient of 0.7117 was determined for the description with equation (9). This trend defines the growth coefficient r_g (cf Table 3). In accordance with its origin, this coefficient applies to both cocks and hens.

$$r_g = a_r + b_r \cdot Y \quad (9)$$

where

r_g	growth relative to reference (in kg kg ⁻¹)
a_r	constant ($a_r = -3623.6$ kg kg ⁻¹)
b_r	constant ($b_r = 1.8694$ kg kg ⁻¹ a ⁻¹)
Y	year (four-digit format)

Table 3:

Growth rate relative to reference r_g (in kg kg⁻¹) as calculated using equation (9)

Tabelle 3:

Der mit Gleichung (9) berechnete Zuwachsquotient r_g (in kg kg⁻¹)

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0.964	0.982	1.001	1.020	1.038	1.057	1.076	1.095	1.113	1.132	1.151	1.169	1.188	1.207	1.225	1.244	

Although there are indications of yet increasing final live weights (Krüger, 2007), weight gain rates for the years from 2006 onwards should not be derived from the long-term trends by extrapolation. Instead, they should be based on reported breeding line and feed contests (reported weight gains normalized using weight gains as in GfE, see Section 3.1.2).

According to Table 3, data provided in GfE (2000) (Table 2), may be valid for 1992. This means that they are likely to be representative of the first half of the 1990ies. Therefore, a correction of the growth function deduced in Section 2.2.1.2 is inevitable: equation (5) has to be substituted by (10), (6) by (11). Strictly speaking, equations (11) and (6) are only valid for fattening periods between 28 and 49 days.

zeigt das Ergebnis, wobei der lineare Trend durch lineare Regression ($R^2 = 0,7117$) ermittelt wurde, s. Gleichung (9). Der Trend definiert den Zuwachsquotienten r_g (s. auch Tabelle 3), der der Datenherkunft entsprechend einheitlich für Hähne und Hennen gilt.

Es gibt Anhaltspunkte für weiterhin steigende Lebendendgewichte (Krüger, 2007). Zuwachsquotienten für die Zeit nach 2005 sollten nicht durch Extrapolation des Trends abgeleitet werden, sondern anhand von Berichten über Herkunfts- und Futtermittelprüfungen (Normierung der berichteten Gewichtszuwächse mit dem Zuwachs nach GfE, s. Abschnitt 3.1.2).

Nach Tabelle 3 träfen die undatierten Hähnchenmastdaten aus GfE (2000) (Tabelle 2) für das Jahr 1992 zu, womit sie allenfalls für die erste Hälfte der 1990er Jahre als repräsentativ angesehen werden können. Eine Korrektur der in Abschnitt 2.2.1.2 abgeleiteten Wachstumsfunktionen ist daher unumgänglich: Gleichung (5) wird zu (10), (6) zu (11), wobei (11) wie (6) streng genommen nur für Mastdauern von 28 bis 49 Tagen gültig ist:

$$\Delta w_{i,k} = r_g \cdot (\beta_{g,i} \cdot k + \gamma_{g,i} \cdot k^2 + \delta_{g,i} \cdot k^3) \quad (10)$$

where

$\Delta w_{i,k}$	gender-related total weight gain until day k of life (in kg animal ⁻¹)
i	gender index (i = male, female)
k	number of day of life
r_g	growth relative to reference (in kg kg ⁻¹)
$\beta_{g,i}$	constant ($\beta_{g,male} = 0.952266 \cdot 10^{-3}$ kg animal ⁻¹ , $\beta_{g,female} = 1.321635 \cdot 10^{-3}$ kg animal ⁻¹)
$\gamma_{g,i}$	constant ($\gamma_{g,male} = 1.946104 \cdot 10^{-3}$ kg animal ⁻¹ , $\gamma_{g,female} = 1.799757 \cdot 10^{-3}$ kg animal ⁻¹)
$\delta_{g,i}$	constant ($\delta_{g,male} = -0.016163 \cdot 10^{-3}$ kg animal ⁻¹ , $\delta_{g,female} = -0.017214 \cdot 10^{-3}$ kg animal ⁻¹)

$$\Delta w_{i,k,lin} = r_g \cdot (a_{g,i} + b_{g,i} \cdot k) \tag{11}$$

where

- $\Delta w_{i,k,lin}$ linearization of total weight gain $\Delta w_{i,k}$ (in kg animal⁻¹)
- i gender index (i = male, female)
- k number of day of life
- r_g growth relative to reference (in kg kg⁻¹)
- $a_{g,i}$ constant ($a_{g,male} = -1010.7 \cdot 10^{-3}$ kg animal⁻¹, $a_{g,female} = -645.3 \cdot 10^{-3}$ kg animal⁻¹)
- $b_{g,i}$ constant ($b_{g,male} = 78.343 \cdot 10^{-3}$ kg animal⁻¹, $b_{g,female} = 61.586 \cdot 10^{-3}$ kg animal⁻¹)

3.2 Cumulative metabolic weight

The metabolic weight is a function of gender and day of life. It is defined by equation (12). Figure 5 illustrates the development with time of the metabolic weight for the GfE data set described in Section 3.1.2 as calculated using equations (4) and (5).

3.2 Kumulatives metabolisches Gewicht

Das von Geschlecht und Lebenstag abhängige metabolische Gewicht ist durch Gleichung (12) definiert. Abbildung 5 zeigt den zeitlichen Verlauf des metabolischen Gewichtes für den in Abschnitt 3.1.2 beschriebenen GfE-Datensatz (berechnet mit Hilfe der Gleichungen (4) und (5)).

$$w_{m,i,k} = w_{ref} \cdot \left(\frac{w_{i,k}}{w_{ref}} \right)^{0.75} \tag{12}$$

where

- $w_{m,i,k}$ metabolic animal weight on day k with i = male, female (in kg animal⁻¹)
- i gender index (i = male, female)
- k number of day of life
- w_{ref} reference value of animal weight ($w_{ref} = 1$ kg animal⁻¹)

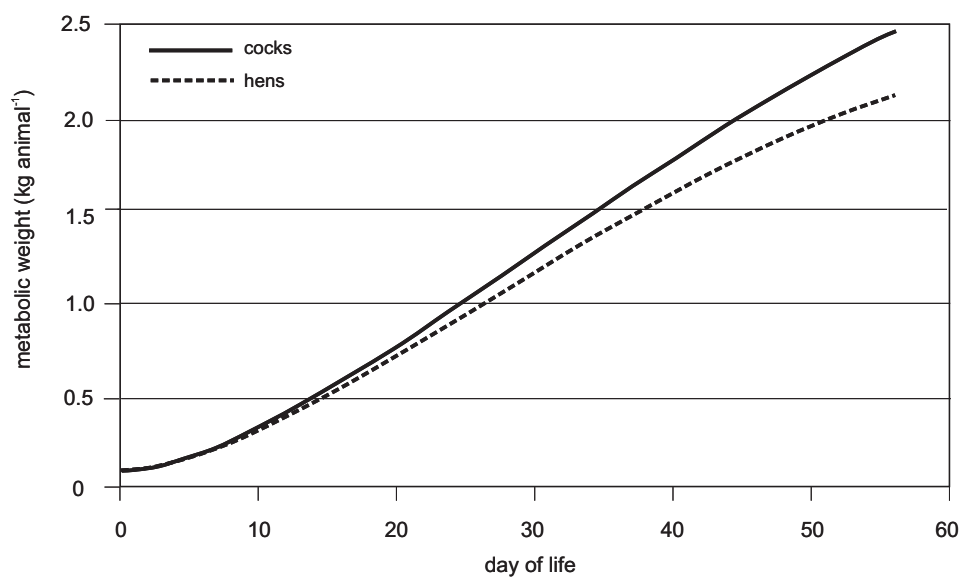


Figure 5:
Exemplary metabolic weight for cocks and hens

Abbildung 5:
Beispielhafter Verlauf des metabolischen Gewichtes für Hahn und Henne

The determination of the metabolizable energy requirements in Section 3.3 presupposes a description of the cumulative metabolic weight ΣW_i , which is equivalent to the areas under the gender specific curves in Figure 5.

In order to simplify the determination, the method described in Haenel and Dämmgen (2007b) is used. Its input parameters are start and final weights as well as a time parameter $\tau_{\text{char, br, } i}$:

$$\Sigma W_i = w_{\text{ref}} \cdot \left[\tau_{\text{char, br, } i} \cdot \left(\frac{w_{\text{start}}}{w_{\text{ref}}} \right)^{0.75} + \left(\tau_{\text{lifespan}} - \tau_{\text{char, br, } i} \right) \cdot \left(\frac{w_{i, \text{kfin}}}{w_{\text{ref}}} \right)^{0.75} \right] \quad (13)$$

where

ΣW_i	gender-dependent cumulative metabolic live weight (kg d animal ⁻¹ round ⁻¹)
i	gender index ($i = \text{male, female}$)
$\tau_{\text{char, br, } i}$	gender-dependent characteristic time scale of growth (in d round ⁻¹)
w_{start}	animal start weight (in kg animal ⁻¹)
w_{ref}	reference value of animal weight ($w_{\text{ref}} = 1 \text{ kg animal}^{-1}$)
τ_{lifespan}	duration of fattening period (in d round ⁻¹)
$w_{i, \text{kfin}}$	animal live weight at the end of the round (in kg animal ⁻¹)

The characteristic time parameter $\tau_{\text{char, br, } i}$ needs to be assessed once only. For this purpose, equation (13) is resolved yielding $\tau_{\text{char, br, } i}$ and equations (4) and (5) are included. The resulting equation (14) is used to obtain $\tau_{\text{char, br, } i}$ as a function of the duration of the fattening period.

Für die Ermittlung des Bedarfs an umsetzbarer Energie in Abschnitt 3.3 wird das geschlechtsabhängige kumulative metabolische Gewicht ΣW_i benötigt, das der Fläche unter der geschlechtsspezifischen Kurve in 5 entspricht.

Zur Vereinfachung der Berechnung wird die Vorgehensweise von Haenel und Dämmgen (2007b) aufgegriffen, die als Eingabegrößen lediglich Anfangs- und Endgewicht sowie einen Zeitparameter $\tau_{\text{char, br, } i}$ benötigt:

Zur einmaligen Berechnung von $\tau_{\text{char, br, } i}$ wird Gleichung (13) nach $\tau_{\text{char, br, } i}$ aufgelöst und mit Hilfe von (4) und (5) ausgewertet. Gleichung (14) und Abbildung 6 zeigen das Ergebnis.

$$\tau_{\text{char, br, } i} = a_{\tau, i} + b_{\tau, i} \cdot k_{\text{fin}} + c_{\tau, i} \cdot k_{\text{fin}}^2 \quad (14)$$

where

$\tau_{\text{char, br, } i}$	characteristic time scale of growth (in d round ⁻¹)
i	gender index ($i = \text{male, female}$)
k_{fin}	number of final day of fattening period
$a_{\tau, i}$	constant ($a_{\tau, \text{male}} = -1.419952 \text{ d round}^{-1}$, $a_{\tau, \text{female}} = -1.502001 \text{ d round}^{-1}$)
$b_{\tau, i}$	constant ($b_{\tau, \text{male}} = 0.689000 \text{ d round}^{-1}$, $b_{\tau, \text{female}} = 0.713653 \text{ d round}^{-1}$)
$c_{\tau, i}$	constant ($c_{\tau, \text{male}} = -0.002281 \text{ d round}^{-1}$, $c_{\tau, \text{female}} = -0.003068 \text{ d round}^{-1}$)

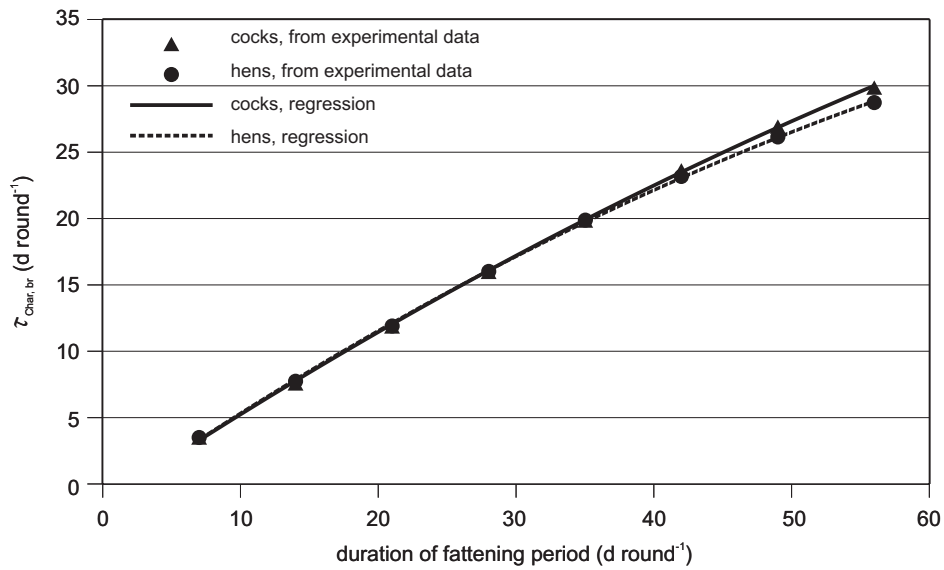


Figure 6:

Characteristic time parameter $\tau_{char,br,i}$ as function of fattening period duration and gender. Symbols: values calculated according to GfE (2000), Table 2; lines: respective regression functions (cocks: $R^2 = 0.9997$; hens: $R^2 = 0.9996$)

Abbildung 6:

Charakteristischer Zeitparameter $\tau_{char,br,i}$ als Funktion von Mastdauer und Geschlecht. Punkte: Berechnungen nach GfE (2000)-Daten (Tabelle 2); Linien: Regressionsfunktionen (Hähne: $R^2 = 0,9997$; Hennen: $R^2 = 0,9996$)

3.3 ME requirements

Metabolic energy (ME) requirements comprise the requirements for both maintenance and growth. The overall ME requirements during the fattening period are to be calculated separately for both genders according to:

$$\sum_{j=1}^{k_{fin}} \tau_{day} \cdot ME_{i,j} = \sum_{j=1}^{k_{fin}} \tau_{day} \cdot ME_{m,i,j} + \sum_{j=1}^{k_{fin}} \tau_{day} \cdot ME_{g,i,j} \tag{15}$$

where

$\sum \tau_{day} \cdot ME_{i,j}$	fattening-period total of $ME_{i,j}$ (in MJ animal ⁻¹ round ⁻¹ ME)
τ_{day}	time period of one day ($\tau_{day} = 1 \text{ d round}^{-1}$)
$ME_{i,j}$	gender-dependent requirements of total metabolizable energy for day j (in MJ animal ⁻¹ d ⁻¹ ME)
i	gender index (i = male, female)
j	index of day
k_{fin}	number of final day of fattening period
$\sum \tau_{day} \cdot ME_{m,i,j}$	fattening-period total of $ME_{m,i,j}$ (in MJ animal ⁻¹ round ⁻¹ ME)
$ME_{m,i,j}$	gender-dependent metabolizable energy required for maintenance for day j (in MJ animal ⁻¹ d ⁻¹ ME)
$\sum \tau_{day} \cdot ME_{g,i,j}$	fattening-period total of $ME_{g,i,j}$ (in MJ animal ⁻¹ round ⁻¹ ME)
$ME_{g,i,j}$	gender-dependent metabolizable energy consumed for growth for day j (in MJ animal ⁻¹ d ⁻¹ ME)

The right hand side terms of (15) equal to

3.3 ME-Bedarf

Der Bedarf an umsetzbarer Energie (ME) umfasst den Bedarf für Erhaltung und den Bedarf für Zuwachs. Unter Berücksichtigung der Geschlechtsabhängigkeit gilt damit für den während einer Mastperiode pro Tier entstehenden ME-Bedarf:

Für die Terme der rechten Seite von (15) gilt:

$$\sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \tau_{\text{day}} \cdot ME_{m,i,j} = \eta_{ME,m} \cdot \Sigma W_i \quad (16)$$

where

$\Sigma \tau_{\text{day}} \cdot ME_{m,i,j}$	fattening-period total of $ME_{m,i,j}$ (in MJ animal ⁻¹ round ⁻¹ ME)
τ_{day}	time period of one day ($\tau_{\text{day}} = 1$ d round ⁻¹)
$ME_{m,i,j}$	gender-dependent metabolizable energy required for maintenance for day j (in MJ animal ⁻¹ d ⁻¹ ME)
i	gender index (i = male, female)
j	index of day
k_{fin}	number of final day of fattening period
$\eta_{ME,m}$	specific metabolizable energy required for daily maintenance ($\eta_{ME,m} = 0.48$ MJ kg ⁻¹ d ⁻¹ ME, GfE (2000))
ΣW_i	gender-dependent cumulative metabolic weight (in kg d animal ⁻¹ round ⁻¹)

$$\sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \tau_{\text{day}} \cdot ME_{g,i,j} = \eta_{ME,g,i} \cdot \tau_{\text{day}} \cdot \sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \left(\frac{\Delta W}{\Delta t} \right)_{i,j} \quad (17)$$

where

$\Sigma \tau_{\text{day}} \cdot ME_{g,i,j}$	fattening-period total of $ME_{g,i,j}$ (in MJ animal ⁻¹ round ⁻¹ ME)
τ_{day}	time period of one day ($\tau_{\text{day}} = 1$ d round ⁻¹)
$ME_{g,i,j}$	gender-dependent metabolizable energy consumed for daily growth (in MJ animal ⁻¹ d ⁻¹ ME)
i	gender index (i = male, female)
j	index of day
k_{fin}	number of final day of fattening period
$\eta_{ME,g,i}$	gender-dependent specific metabolizable energy required for growth (in MJ kg ⁻¹ ME)
$(\Delta w/\Delta t)_{i,j}$	gender-related daily weight gain per animal and day according to Table 2 (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)

The specific energy requirements for growth, $\eta_{ME,g,i}$, is a function of the duration of the fattening period. According to GfE (2000), equations (1.3.2) in combination with (1.3.11) lead to

Der spezifische Energiebedarf für Zuwachs, $\eta_{ME,g,i}$, ist eine Funktion der Mastdauer. Aus der Kombination der Gleichungen (1.3.2) und (1.3.11) in GfE (2000) folgt:

$$\eta_{ME,g,i} = \frac{\alpha_p}{k_p} \cdot P_i + \frac{\alpha_f}{k_f} \cdot F_i \quad (18)$$

where

$\eta_{ME,g,i}$	gender-dependent specific metabolizable energy required for growth (in MJ kg ⁻¹ ME)
i	gender index (i = male, female)
α_p	coefficient ($\alpha_p = 23.86$ MJ kg ⁻¹ ME, according to GfE, 2000, equation 1.3.2)
α_f	coefficient ($\alpha_f = 39.77$ MJ kg ⁻¹ ME, according to GfE, 2000, equation 1.3.2)
k_p	coefficient ($k_p = 0.52$ MJ MJ ⁻¹ , according to GfE, 2000, equation 1.3.11)
k_f	coefficient ($k_f = 0.84$ MJ MJ ⁻¹ , according to GfE, 2000, equation 1.3.11)
P_i	ratio of total protein gain to total weight gain during lifespan (in kg kg ⁻¹)
F_i	ratio of total fat gain to total weight gain during lifespan (in kg kg ⁻¹)

The relative increase of the amount of protein P_i is obtained by adding daily amounts over all days of the fattening period (crude protein denoted by XP)

Für die relative Proteinzunahme P_i erhält man durch Summenbildung über alle Tage des Mastzeitraums (XP steht für Rohprotein):

$$P_i = \left[\sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \left(\frac{\Delta w}{\Delta t} \right)_{i,j} \cdot (\Delta x_{\text{XP},F,j} + \Delta x_{\text{XP},B,j}) \right] \cdot \left[\sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \left(\frac{\Delta w}{\Delta t} \right)_{i,j} \right]^{-1} \quad (19)$$

where

P_i	ratio of total protein gain to total weight gain during lifetime (in kg kg ⁻¹)
i	gender index (i = male, female)
j	index of day
k_{fin}	number of final day of fattening period
$(\Delta w/\Delta t)_{i,j}$	gender-related daily weight gain per animal and day according to Table 2 (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)
$\Delta x_{\text{XP},F,j}$	gender-related protein gain by feathers according to Table 2 (in kg XP (in kg weight gain) ⁻¹)
$\Delta x_{\text{XP},B,j}$	gender-related protein gain in animal body according to Table 2 (in kg XP (in kg weight gain) ⁻¹)

The input entities required for Equation (19) can be taken directly from the weekly data provided in Table 2 (corresponding to the day j).

Die in Gleichung (19) eingehenden Größen können direkt aus der dem Tag j entsprechenden Wochenzeile in Tabelle 2 entnommen werden.

By analogy, the relative increase in fat F_i is:

Analog erhält man für die relative Fettzunahme F_i :

$$F_i = \left[\sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \left(\frac{\Delta w}{\Delta t} \right)_{i,j} \cdot \Delta x_{F,i,j} \right] \cdot \left[\sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \left(\frac{\Delta w}{\Delta t} \right)_{i,j} \right]^{-1} \quad (20)$$

where

F_i	ratio of total fat gain to total weight gain during lifespan (in kg kg ⁻¹)
i	gender index (i = male, female)
j	index of day
k_{fin}	number of final day of fattening period
$(\Delta w/\Delta t)_{i,j}$	gender-related daily weight gain per animal and day according to Table 2 (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)
$\Delta x_{F,i,j}$	gender-related fat gain according to Table 2 (in kg fat (in kg weight gain) ⁻¹)

Figure 7 illustrates the specific energy requirements for growth, $\eta_{\text{ME},g,i}$, as a function gender and the duration of the feeding period.

Abbildung 7 zeigt den spezifischen Energiebedarf für Zuwachs, $\eta_{\text{ME},g,i}$, als Funktion von Geschlecht und Mastdauer.

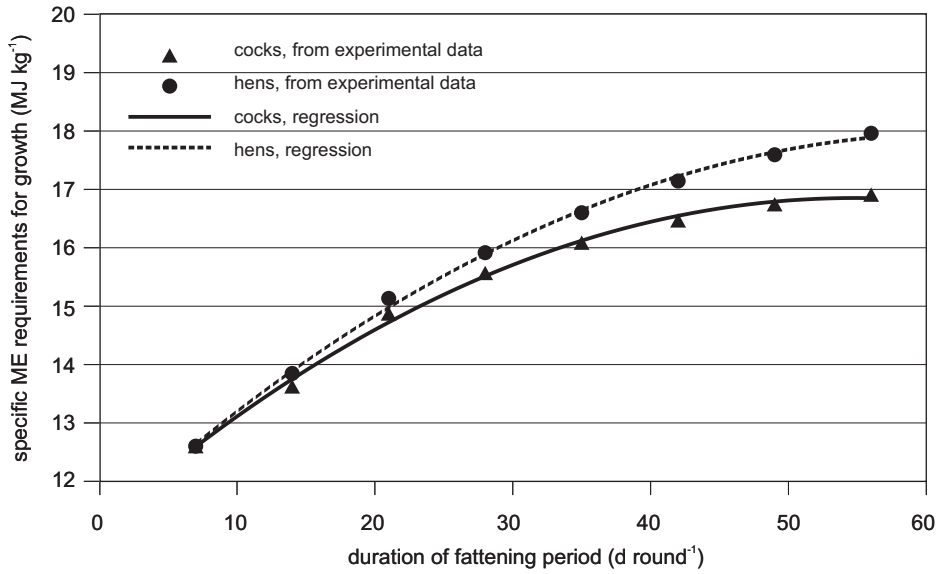


Figure 7:

Mean specific ME requirements for growth (averaged over the whole fattening period). Symbols: results derived from GfE (2000) data as given in Table 2; lines: regression functions as given by equation (21) (cocks: $R^2 = 0.9982$; hens: $R^2 = 0.9968$)

Abbildung 7:

Über die Mastdauer gemittelter spezifischer ME-Bedarf für Zuwachs. Punkte: Berechnungen unter Verwendung von GfE (2000)-Daten (s. Tabelle 2); Linien: Regressionsfunktionen (Hähne: $R^2 = 0,9982$; Hennen: $R^2 = 0,9968$)

The regression obtained for the relation shown in Figure 7 is as follows:

Die Gleichung für die in Abbildung 7 gezeigte Regression lautet:

$$\eta_{ME, g, i} = a_{\eta, i} + b_{\eta, i} \cdot k_{fin} + c_{\eta, i} \cdot k_{fin}^2 \quad (21)$$

where

$\eta_{ME, g, i}$	gender-dependent specific metabolizable energy required for growth (in MJ kg ⁻¹ ME)
k_{fin}	number of final day of fattening period
$a_{\eta, i}$	constant ($a_{\eta, male} = 11.253984$ MJ kg ⁻¹ , $a_{\eta, female} = 11.2224501$ MJ kg ⁻¹)
$b_{\eta, i}$	constant ($b_{\eta, male} = 0.204377$ MJ kg ⁻¹ , $b_{\eta, female} = 0.214422$ MJ kg ⁻¹)
$c_{\eta, i}$	constant ($c_{\eta, male} = -0.001865$ MJ kg ⁻¹ , $c_{\eta, female} = -0.001704$ MJ kg ⁻¹)

Averaging the daily metabolic energy requirements over the entire round, one obtains:

Der über einen Durchgang gemittelte Tagesbedarf der metabolisierbaren Energie ergibt sich aus:

$$ME_{br} = \frac{1}{\tau_{round}} \cdot \left[x_{male} \cdot \sum_{j=1}^{k_{fin}} \tau_{day} \cdot ME_{male, j} + (1 - x_{male}) \cdot \sum_{j=1}^{k_{fin}} \tau_{day} \cdot ME_{female, j} \right] \quad (22)$$

where

ME_{br}	daily metabolizable energy averaged over one round (in MJ place ⁻¹ d ⁻¹ ME)
τ_{round}	duration of production cycle (in d round ⁻¹)
j	index of day
k_{fin}	number of final day of fattening period
x_{male}	ratio of male broiler animal numbers to total population
$ME_{male, j}$	requirements of total metabolizable energy for male broilers on day j (in MJ animal ⁻¹ d ⁻¹ ME)
$ME_{female, j}$	requirements of total metabolizable energy for female broilers on day j (in MJ animal ⁻¹ d ⁻¹ ME)

GfE (2000) recommends surplus supplies to the ME requirements calculated from (22) to reflect common feeding practice (see Table 1.3.2 in GfE, 2000, footnote 3). This recommendation was checked by calculation of "real" ME intakes using feed ME contents as reported from breeding line and feed contests (all feed ME data as declared by the producers; for data sources see Section 3.1.1). Figure 8 displays these "real" ME intakes over the ME requirements calculated from (22). It seems that Equation (22) tends to slightly overestimate the "real" ME intakes. Thus, in subsequent calculations no surplus supplies are added to the ME requirements obtained by Equation (22). This reflects the proposal made in IPCC (2006), Section 10.2, to derive excretion rates from the energy requirements for adequate feeding.

GfE (2000) empfiehlt einen praxisorientierten Zuschlag zu den nach Gleichung (22) berechneten ME-Bedarfs-werten, vgl. Fußnote 3 zu Tabelle 1.3.2 in GfE (2000). Zur Überprüfung dieses Vorschlags wurde anhand der deklarierten ME-Futtergehalte, wie sie in Herkunfts- und Futtermittelprüfungen (Quellenangaben s. Abschnitt 3.1.1) berichtet wurden, die „reale“ ME-Aufnahme berechnet. Abbildung 8 zeigt das Ergebnis im Vergleich zu den Resultaten aus Gleichung (22). Letztere tendieren eher zu einer leichten Überschätzung des „realen“ ME-Bedarfes, weshalb in nachfolgenden Berechnungen auf einen Zuschlag zum Ergebnis von (22) verzichtet wird. Dies entspricht dem Vorschlag von IPCC (2006), Kapitel 10.2, die Berechnung der Ausscheidungen aus dem Energiebedarf für eine bedarfsgerechte Fütterung vorzunehmen.

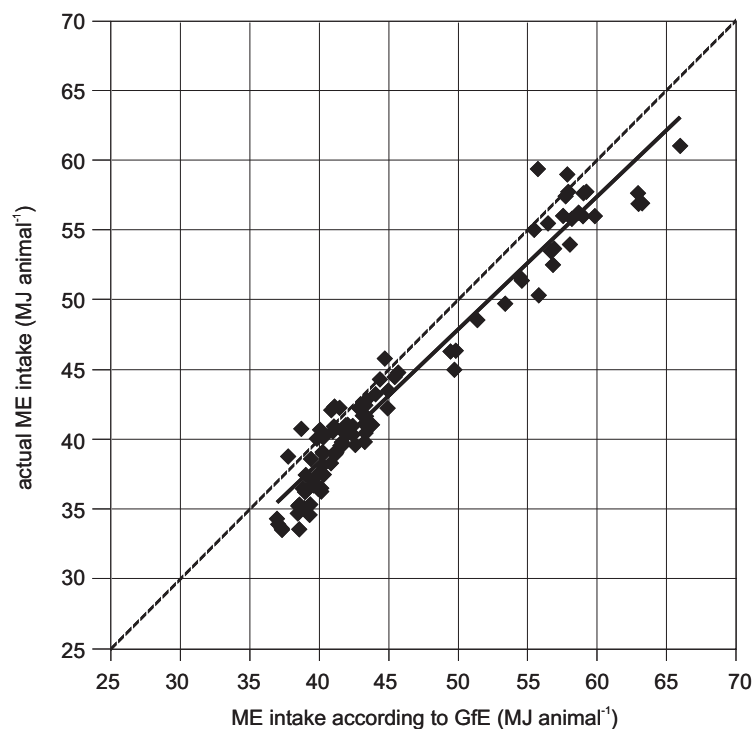


Figure 8:

Comparison of the actual ME intake with the intake calculated according to GfE (2000). Slope of regression with zero intercept: 0.9508 ($R^2 = 0.9372$). The dashed line is the 1 to 1 line. For details see text.

Abbildung 8:

Vergleich der tatsächlichen ME-Aufnahme mit dem nach GfE (2000) berechneten ME-Bedarf. Steigung der Regressionsgerade durch den Ursprung: 0,9508 ($R^2 = 0,9372$). Gestrichelt: 1:1-Linie. Details s. Text.

3.4 N balance

The cumulative N balance for the whole fattening period reads as follows:

3.4 N-Bilanz

Für die N-Bilanz eines Tieres über eine gesamte Mastperiode gilt:

$$\sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \tau_{\text{day}} \cdot m_{\text{excreted}, i, j} = x_{\text{N}} \cdot \sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} (\tau_{\text{day}} \cdot x_{\text{XP}, \text{feed}, j} \cdot m_{\text{feed}, i, j}) - x_{\text{N}, \text{ret}, i}(k_{\text{fin}}) \cdot \sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \left[\tau_{\text{day}} \cdot \left(\frac{\Delta w}{\Delta t} \right)_{i, j} \right] \quad (23)$$

where

$\sum \tau_{\text{day}} \cdot m_{\text{excreted}, i, j}$	gender-dependent amount of nitrogen excreted during one round (in kg place ⁻¹ round ⁻¹ N = kg animal ⁻¹ N)
τ_{day}	time period of one day ($\tau_{\text{day}} = 1 \text{ d round}^{-1}$)
$m_{\text{excreted}, i, j}$	gender-dependent amount of nitrogen excreted daily (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹ N)
i	gender index (i = male, female)
j	index of day
k_{fin}	number of final day of fattening period
x_{N}	nitrogen content of crude protein ($x_{\text{N}} = 1/6.25 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$)
$x_{\text{XP}, \text{feed}, j}$	content of crude protein in feed as function of day j (in kg kg ⁻¹ XP)
$m_{\text{feed}, i, j}$	daily feed intake during fattening period (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)
$x_{\text{N}, \text{ret}, i}(k_{\text{fin}})$	gender-dependent specific N retention as function of fattening period duration (in kg kg ⁻¹ N)
τ_{day}	time period of one day ($\tau_{\text{day}} = 1 \text{ d round}^{-1}$)
$(\Delta w/\Delta t)_{i, j}$	gender-related daily weight gain per animal and day according to Table 2 (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)

Here, the term following the equal sign of equation (23) describes the crude protein intake with feed, the subsequent term the amount of protein retained.

In general, the crude protein content of feeds varies with feeding phases (see Section 2). It is therefore taken into account as a function of the respective day of life.

For adequate feeding reflecting the daily requirements of ME exactly, the amount of feed consumed daily can be calculated according to equation (24).

$$m_{\text{feed}, i, j} = \frac{ME_{i, j}}{\eta_{\text{ME}, \text{feed}, j}} \quad (24)$$

where

$m_{\text{feed}, i, j}$	daily feed intake during fattening period (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)
$ME_{i, j}$	gender-dependent requirements of total metabolizable energy for day j (in MJ animal ⁻¹ d ⁻¹ ME)
i	gender index (i = male, female)
j	index of day of life
$\eta_{\text{ME}, \text{feed}, j}$	content of metabolizable energy in feed on day j (in MJ kg ⁻¹ ME)

A value for the specific N retention was published by LfL (2006) (0.035 kg kg⁻¹ N). However, this is a mean value used for poultry as a whole. The data provided in GfE (2000) facilitate a differentiated approach resulting in the calculation of a mean depending on the duration of the fattening period:

Der linke Term der rechten Seite von Gleichung (23) beschreibt die Rohprotein-Aufnahme über das Futter, der rechte Term den Rohprotein-Ansatz.

Der Rohproteingehalt des Futters variiert im Allgemeinen mit den Fütterungsphasen (s. Abschnitt 2), weshalb er formal als Funktion des Lebensstages eingeht.

Die tägliche Futtermenge ergibt sich bei bedarfsgerechter, d. h. den tagesspezifischen ME-Bedarf exakt erfüllender Fütterung wie folgt:

Für die spezifische N-Retention gibt LfL (2006) einen Wert von 0,035 kg kg⁻¹ N an. Dies ist allerdings ein Geflügel-Mittelwert. Einen differenzierteren Ansatz ermöglichen die in Tabelle 2 wiedergegebenen Proteindaten aus GfE (2000). Man erhält damit einen von der Mastdauer abhängigen Mittelwert:

$$x_{N,ret,i}(k_{fin}) = x_N \cdot P_i \tag{25}$$

where

- $x_{N,ret,i}$ lifespan-related gender-dependent specific N retention (in kg kg⁻¹ N)
- k_{fin} number of final day of fattening period
- x_N nitrogen content of crude protein ($x_N = 1/6.25$ kg kg⁻¹ N)
- P_i ratio of total protein gain to total weight gain during fattening period (see eq. 19) (in kg kg⁻¹)

In practice, equation (25) yields the same results for cocks and hens, see Figure 9

Die Geschlechtsabhängigkeit von (25) erweist sich als vernachlässigbar, wie Abbildung 9 zeigt.

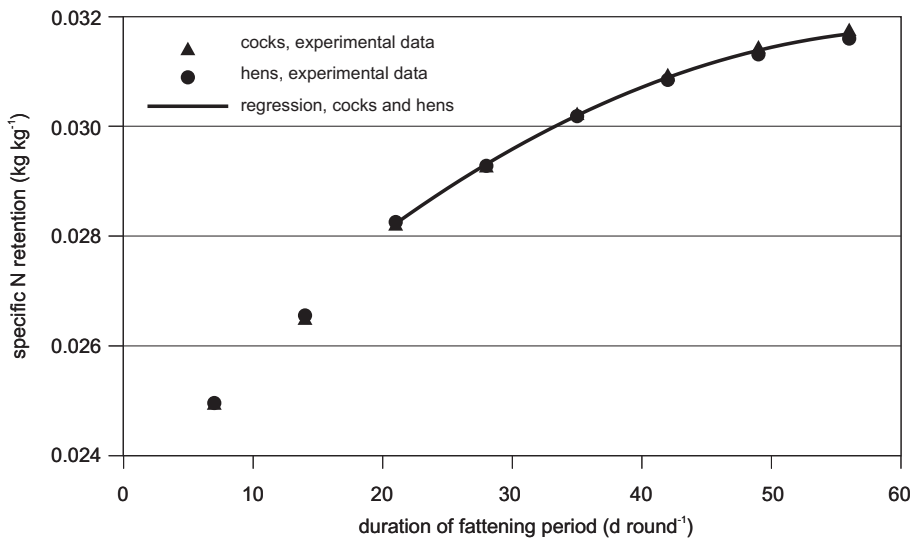


Figure 9:

Specific N retention as function of the duration of the fattening period as well as of gender. Symbols: results calculated from GfE (2000) data as given in Table 2. Regression function as given by Equation (26), R² = 0.9981.

Abbildung 9:

Spezifische N-Retention als Funktion von Mastdauer und Geschlecht. Punkte: Berechnungen nach GfE (2000)-Daten (Tabelle 2); Regressionsfunktion nach Gleichung (26) mit R² = 0,9981.

If one neglects the irrelevant durations of fattening periods below three weeks as well as the very small differences obtained for cocks and hens, the mean specific N retention can be expressed as a function of the duration of the fattening period by a second order polynomial as in equation (26) (R² = 0.9961):

Blieben die für die Mastpraxis in jedem Fall irrelevanten Mastdauern bis drei Wochen sowie die sehr geringe Geschlechtsabhängigkeit unberücksichtigt, lässt sich die von der Mastdauer abhängige mittlere spezifische N-Retention durch ein Polynom zweiten Grades darstellen (R² = 0,9961):

$$x_{N,ret,male}(k_{fin}) \approx x_{N,ret,female}(k_{fin}) \approx x_{N,ret,br}(k_{fin}) = a_{ret} + b_{ret} \cdot k_{fin} + c_{ret} \cdot k_{fin}^2 \tag{26}$$

where

- $x_{N,ret,male}$ lifespan-related specific N retention of male broilers (in kg kg⁻¹ N)
- $x_{N,ret,female}$ lifespan-related specific N retention of female broilers (in kg kg⁻¹ N)
- $x_{N,ret,br}$ gender-averaged specific N retention as function of lifespan (in kg kg⁻¹ N)
- k_{fin} number of final day of fattening period
- a_{ret} constant ($a_{ret} = 2.3806 \cdot 10^{-2}$ kg kg⁻¹ N)
- b_{ret} constant ($b_{ret} = 2.5244 \cdot 10^{-4}$ kg kg⁻¹ N)
- c_{ret} constant ($c_{ret} = -1.9964 \cdot 10^{-6}$ kg kg⁻¹ N)

A shortcoming of equation (26) is the fact that is based on data of the early 1990ies (see Section 3.1.3). However, a potential adjustment of a changing retention as a result of breeding progress is impossible due to the lack of more recent data. As the data obtained using equation (26) fall below those reported by LfL (2006), the results of equation (26) are preferred. This guarantees that the N excretions and thus the emissions are not underestimated.

The mean N excretion per place and day for a population of broilers of both genders is then obtained from equation (27):

$$\sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \tau_{\text{day}} \cdot m_{\text{excreted}, j} = x_{\text{male}} \cdot \sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} (\tau_{\text{day}} \cdot m_{\text{excreted}, \text{male}, j}) + (1 - x_{\text{male}}) \cdot \sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} (\tau_{\text{day}} \cdot m_{\text{excreted}, \text{female}, j}) \quad (27)$$

where

$\sum \tau_{\text{day}} \cdot m_{\text{excreted}, j}$	gender-averaged amount of nitrogen excreted (in kg place ⁻¹ round ⁻¹ N = kg animal ⁻¹ N)
τ_{day}	time period of one day ($\tau_{\text{day}} = 1 \text{ d round}^{-1}$)
$m_{\text{excreted}, j}$	gender-averaged amount of nitrogen excreted daily (in kg place ⁻¹ d ⁻¹ N)
j	index of day
k_{fin}	number of final day of fattening period
x_{male}	fraction of male broiler population (in place place ⁻¹)
$m_{\text{excreted}, \text{male}, j}$	amount of nitrogen excreted daily by a male broiler (in kg place ⁻¹ d ⁻¹ N)
$m_{\text{excreted}, \text{female}, j}$	amount of nitrogen excreted daily by a female broiler (in kg place ⁻¹ d ⁻¹ N)

Presupposing feed compositions with respect to ME and XP that are constant with time, the cumulative N excretion amounts to

Daraus folgt unter der Voraussetzung effektiver, d. h. zeitlich konstanter Futtergehalte an ME und XP (s. Abschnitt 2.3.2) zunächst:

$$\sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \tau_{\text{day}} \cdot m_{\text{excreted}, j} = \frac{x_{\text{N}} \cdot x_{\text{XP}, \text{feed}}}{\eta_{\text{ME}, \text{feed}}} \cdot \left[x_{\text{male}} \cdot \sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} (\tau_{\text{day}} \cdot \text{ME}_{\text{male}, j}) + (1 - x_{\text{male}}) \cdot \sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} (\tau_{\text{day}} \cdot \text{ME}_{\text{female}, j}) \right] - x_{\text{N}, \text{ret}, \text{br}}(k_{\text{fin}}) \cdot \left\{ x_{\text{male}} \cdot \sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \left[\tau_{\text{day}} \cdot \left(\frac{\Delta w}{\Delta t} \right)_{\text{male}, j} \right] + (1 - x_{\text{male}}) \cdot \sum_{j=1}^{k_{\text{fin}}} \left[\tau_{\text{day}} \cdot \left(\frac{\Delta w}{\Delta t} \right)_{\text{female}, j} \right] \right\} \quad (28)$$

where

$\sum \tau_{\text{day}} \cdot m_{\text{excreted}, j}$	gender-averaged amount of nitrogen excreted (in kg place ⁻¹ round ⁻¹ N = kg animal ⁻¹ N)
τ_{day}	time period of one day ($\tau_{\text{day}} = 1 \text{ d round}^{-1}$)
$m_{\text{excreted}, j}$	gender-averaged amount of nitrogen excreted daily (in kg place ⁻¹ d ⁻¹ N)
j	index of day
k_{fin}	number of final day of fattening period
x_{N}	nitrogen content of crude protein ($x_{\text{N}} = 1/6.25 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$)
$x_{\text{XP}, \text{feed}}$	content of crude protein in feed (in kg kg ⁻¹ XP)
$\eta_{\text{ME}, \text{feed}}$	effective content of metabolizable energy in feed (in MJ kg ⁻¹ ME)
$\text{ME}_{\text{male}, j}$	total metabolizable energy required by a male broiler on day j of life (in MJ animal ⁻¹ round ⁻¹ ME)
$\text{ME}_{\text{female}, j}$	total metabolizable energy required by a female broiler on day j of life (in MJ animal ⁻¹ round ⁻¹ ME)
x_{male}	ratio of male broiler animal numbers to total population
$x_{\text{N}, \text{ret}, \text{br}}(k_{\text{fin}})$	gender-averaged specific N retention as function of lifespan (in kg kg ⁻¹ N)
$(\Delta w / \Delta t)_{\text{male}, j}$	daily weight gain of a male broiler according to Table 2 (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)
$(\Delta w / \Delta t)_{\text{female}, j}$	daily weight gain of a female broiler according to Table 2 (in kg animal ⁻¹ d ⁻¹)

The left bracket of the right hand side of equation (28) can be substituted by ME_{br} (see equation (22)). The right bracket describes the mean weight gain of a population of cocks and hens, $\Delta w_{br, kfin}$, during one round (see equation (8)). Thus, equation (28) transforms into:

$$\sum_{j=1}^{k_{fin}} \tau_{day} \cdot m_{excreted, j} = \frac{x_N \cdot x_{XP, feed}}{\eta_{ME, feed}} \cdot \tau_{round} \cdot ME_{br} - x_{N, ret, br}(k_{fin}) \cdot \Delta w_{br, kfin} \quad (29)$$

where

$\sum \tau_{day} \cdot m_{excreted, j}$	gender-averaged amount of nitrogen excreted (in kg place ⁻¹ round ⁻¹ N = kg animal ⁻¹ N)
τ_{day}	time period of one day ($\tau_{day} = 1$ d round ⁻¹)
$m_{excreted, i, j}$	gender-averaged amount of nitrogen excreted daily (in kg place ⁻¹ d ⁻¹ N)
j	index of day
k_{fin}	number of final day of fattening period
x_N	nitrogen content of crude protein ($x_N = 1/6.25$ kg kg ⁻¹ N)
$x_{XP, feed}$	content of crude protein in feed (in kg kg ⁻¹ XP)
$\eta_{ME, feed}$	effective content of metabolizable energy in feed (in MJ kg ⁻¹ ME)
τ_{round}	duration of production cycle (in d round ⁻¹)
ME_{br}	daily metabolizable energy for average broiler, averaged over one round (in MJ place ⁻¹ d ⁻¹ ME)
$x_{N, ret, br}(k_{fin})$	gender-averaged specific N retention as function of lifespan (in kg kg ⁻¹ N)
$\Delta w_{br, kfin}$	average animal weight gain per place and fattening period (in kg animal ⁻¹ = kg place ⁻¹ round ⁻¹)

The estimation of mean feed properties as needed in (29) is dealt with in section 4.2.

4 Feed

4.1 Feed characteristics relevant to phase feeding

Usually, each of the fattening procedures mentioned is subdivided into phases reflecting the respective feeding requirements. The first phase comprises the first 10 to 14 days after hatching. Here, a specific chick feed is provided. The next phase is the main phase with fattening feed. As a rule, this phase ends 5 days before slaughtering. In the final phase a special diet is fed whose contents in ME and XP are very similar to the main fattening feed. However, it does not contain coccidio-static agents.

The recommended amounts of the various feeds are to be found e.g. in KTBL (2004). Numerous experiments dealing with the variation of feed constituents have been reported in DGS-Magazin (e.g. Richter and Fischer, 2005).

The breeding line and feed contests used to provide the present paper report manufacturer-declared contents of ME and XP instead of analysed values (Anonymus, 1997; Anonymus, 2001; Damme, 1994, 1995, 1997; Damme and Rychlik, 2001; Klein, 1991a, 1991b; Lüke et al., 2004; Poteracki, 1991, 1994, 1995, 1996; Poteracki and Adam, 1993a, 1993b; Poteracki et al., 1994; Simon, 2001; Simon and Stegemann, 2005). Table 4 presents the trends of the declared feed properties.

Die linke Klammer auf der rechten Seite von (28) kann durch ME_{br} (s. Gleichung (22)) ausgedrückt werden. Die rechte Klammer repräsentiert den geschlechtsgemittelten Gesamtzuwachs während eines Durchganges, $\Delta w_{br, kfin}$ (s. Gleichung (8)). Damit wird (28) zu:

Auf die für (29) benötigten mittleren Futtermittel-Kennwerte geht Abschnitt 4.2 ein.

4 Fütterung

4.1 Phasenorientierte Futterkennwerte

Üblicherweise wird jedes Mastverfahren in drei Phasen unterteilt, um die Futterinhaltsstoffe dem Bedarf anpassen zu können. Die erste Phase, in der ein spezielles Kükenfutter verabreicht wird, umfasst die ersten 10 bis 14 Tage nach dem Schlüpfen. Die zweite Phase, in der das Mastfutter verfüttert wird, ist die Hauptphase und endet i. d. R. 5 Tage vor dem Schlachttermin. In letzter Phase kommt das kokzidiostatikumfreie Absetzfutter zum Einsatz, das in ME- und XP- Gehalt dem Mastfutter ähnlich ist.

Empfehlungen zur Futterzusammensetzung finden sich in KTBL (2004). Versuche zur Variierung dieser Zusammensetzungen werden u. A. im DGS-Magazin berichtet (z. B. Richter und Fischer, 2005).

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Herkunfts- und Futtermittelprüfungen (Anonymus, 1997; Anonymus, 2001; Damme, 1994, 1995, 1997; Damme und Rychlik, 2001; Klein, 1991a, 1991b; Lüke et al., 2004; Poteracki, 1991, 1994, 1995, 1996; Poteracki und Adam, 1993a, 1993b; Poteracki et al., 1994; Simon, 2001; Simon und Stegemann, 2005) berichten die vom Hersteller deklarierten Werte zu ME- und XP-Gehalt anstelle von analysierten Futtereigenschaften. Die Trends der deklarierten Futtereigenschaften gehen aus Tabelle 4 hervor.

Table 4:

Trends of ME and XP contents in feed according to breeding line and feed contests as declared by feed producers. First figure for 1990, second figure for 2005. For sources see text.

Tabelle 4:

Tendenzen zu ME- und XP-Gehalten im Futter nach Daten aus Herkunfts- und Futtermittelprüfungen (deklarierte Eigenschaften). Erste Angabe für 1990, die zweite für 2005. Quellenangaben s. Text.

type of feed	ME content (MJ kg ⁻¹)	XP content (kg kg ⁻¹)
chick feed	12.5 → 12.4	0.230 → 0.225
fattening feed	13.4 → 13.0	0.225 → 0.210
final feed	13.3 → 13.0	0.220 → 0.200

All subsequent considerations and results described make use of the feed characteristics declared by the respective producer.

4.2 Approximation of effective feed characteristics

The knowledge about feed characteristics is a prerequisite for the assessment of N excretions (see Section 3.4). If equation (29) is to be used, mean feed properties have to be known a priori. These averages do not only depend

Im Folgenden beruhen alle Überlegungen und Ergebnisse auf den durch die Hersteller deklarierten Futtereigenschaften.

4.2 Approximation effektiver Futterkennwerte

Futtermittel-Kennwerte sind eine wesentliche Grundlage zur Berechnung der N-Ausscheidung (vgl. Abschnitt 3.4). Soll dazu Gleichung (29) eingesetzt werden, müssen a priori Mittelwerte der Futtermittel-Kennwerte bekannt sein.

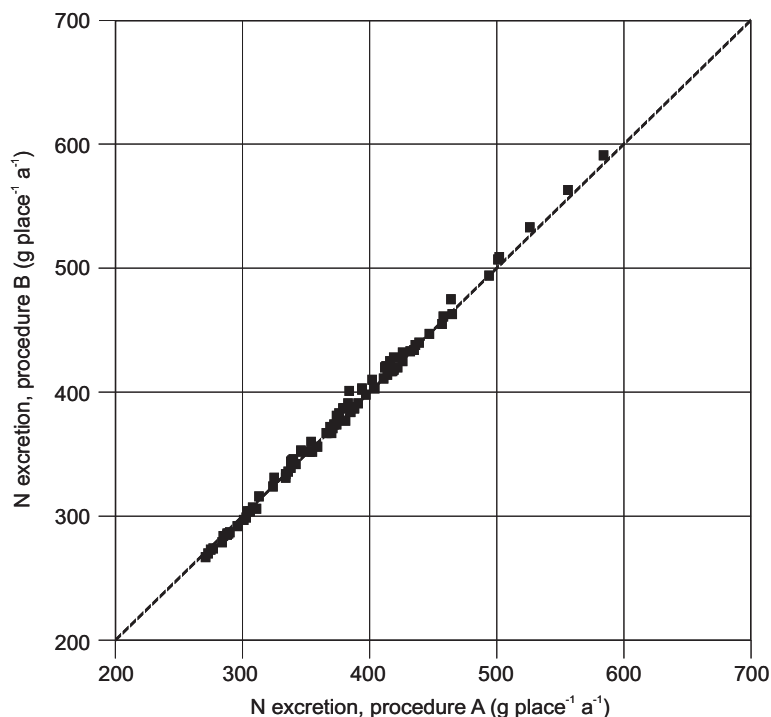


Figure 10:

Comparison of N excretions calculated (A) taking into account lifetime-dependent feeding requirements as well as phase specific feed properties, and (B) with phase-independent feed properties assumed to be identical to the properties of the fattening-phase feed (All feed properties as declared by producers). The dashed line is the 1 to 1 line.

Abbildung 10:

Vergleich berechneter N-Ausscheidungen, wobei die Berechnung zum einen mit phasenspezifischen Futter-Kennwerten (Fall A), zum anderen nur mit den Mastfutter-Kennwerten (Fall B) erfolgte (Alle Futtermerkmale vom Hersteller deklarierte Merkmale). Gestrichelt: 1:1-Linie.

on feed composition but also on the design of the fattening process with respect to the duration of the phases as well as on the feed intake. The latter is also a function of both animal age and performance. As a consequence, effective means would have to be calculated for the whole production process including all parameters. In practice, a simpler approach is preferred that permits the approximation of mean feed properties from known feed properties only. An obvious choice is to simply take the properties of the feed given in the dominating main fattening phase. Figure 10 compares the N excretions based on this simple approximation to those obtained by calculating the whole production process including all parameters.

It is obvious that the properties of the fattening feed can be used to describe N excretions with sufficient accuracy and representativeness for the whole process. Thus they can be used to derive effective feed properties.

5 Slaughter yields

Slaughter yields are mainly determined by the respective race or line, to a lesser extent also by keeping and feeding conditions. The range of potential parameters covering keeping and feeding is very wide. Thus, it is improbable that slaughter yields can be assumed to be constant. However, constant yields of 0.73 kg kg⁻¹ and 0.74 kg kg⁻¹ were proposed by Pingel (1996) and Hahn (2006), respectively.

A look at the data available suggests that there is some correlation between final live weight and slaughter yield. Figure 11 presents data from several test reports (Culioli et al., 1990, see Grashorn, 2000; Damme, 2001; Damme et al., 2005; Grashorn und Brose, 1997, see Grashorn, 2000; Hadorn und Wiedmer, 1998; Soliman et al., 1990; Tiller, 1990; Tüller et al., 1990; Tüller und Velten, 1991). The data points for "hens and cocks" (i.e. data sets originating from the slaughtering of a mixed population) allow for the derivation of a linear trend as described in equation (30). Some data describing hens and cocks separately do not confirm this relation. However, they are mostly restricted to very low and irrelevant weights. Nonetheless, equation (30) will be used in the companion paper (Haenel and Dämmgen, 2009) as part of the pragmatic approach to model durations of animal rounds.

$$c_{w, br} = a_c + b_c \cdot w_{br, kfin} \quad (30)$$

where

$c_{w, br}$	ratio of carcass weight to final live weight (in kg kg ⁻¹)
$w_{br, kfin}$	average final live weight of broilers (in kg animal ⁻¹)
a_c	constant ($a_c = 0.617494$ kg animal ⁻¹)
b_c	constant ($b_c = 0.039585$ kg kg ⁻¹)

Solche Mittelwerte sind allerdings nicht nur eine Funktion der Futterzusammensetzung, sondern werden durch Phasenunterteilung und -dauer sowie durch die von Tieralter und -leistung abhängige Futtermittelaufnahme mitbestimmt. Zur Gewinnung der Mittelwerte der Futtereigenschaften müsste folglich der gesamte Mastprozess durchgerechnet werden. In der Praxis wünschenswert wäre dagegen eine Approximation allein auf Basis der bekannten Futtermitteleigenschaften. Hierzu bieten sich unmittelbar die Daten des Mastfutters an, da dieses in der Fütterung dominiert. Abbildung 10 zeigt einen Vergleich dieses Approximationsansatzes mit der vollständigen Berechnung auf Basis der resultierenden N-Ausscheidung.

Offensichtlich können die Mastfuttoreigenschaften hinsichtlich der N-Ausscheidung als hinreichend repräsentativ für die gesamte Fütterung angesehen und somit anstelle der an sich benötigten effektiven Futtereigenschaften verwendet werden.

5 Schlachtausbeute

Die Schlachtausbeute wird maßgeblich durch die Eigenschaften der Tierrasse bestimmt, unterliegt aber auch dem Einfluss von Haltungs- und Fütterungsbedingungen. Das weite Spektrum möglicher Einflussfaktoren spricht dagegen, dass der Schlachtausbeutefaktor eine Konstante ist, wie Pingel (1996) und Hahn (2006) sie angeben (0,73 kg kg⁻¹ und 0,74 kg kg⁻¹).

Immerhin scheint eine gewisse Korrelation zwischen Tierendgewicht und Schlachtausbeutefaktor zu existieren. Abbildung 11 zeigt entsprechende Daten aus einer Auswahl von Schlachtuntersuchungen (Culioli et al., 1990, zitiert in Grashorn, 2000; Damme, 2001; Damme et al., 2005; Grashorn und Brose, 1997, zitiert in Grashorn, 2000; Hadorn und Wiedmer, 1998; Soliman et al., 1990; Tiller, 1990; Tüller et al., 1990; Tüller und Velten, 1991). Die Datenpunkte „Hähne und Hennen“, die Schlachtergebnisse von Hähnen und Hennen zusammenfassen, erlauben die Ableitung eines linearen Trends, s. auch Gleichung (30). Einige Datensätze, die separat für Hähne und Hennen erhoben wurden, bestätigen den Trend nicht, beschränken sich aber im Wesentlichen auf heute nicht mehr übliche niedrige Tiergewichte. Daher geht Gleichung (30) als pragmatischer Ansatz in das in Haenel and Dämmgen (2009) beschriebene Mastdauer-Berechnungsverfahren ein.

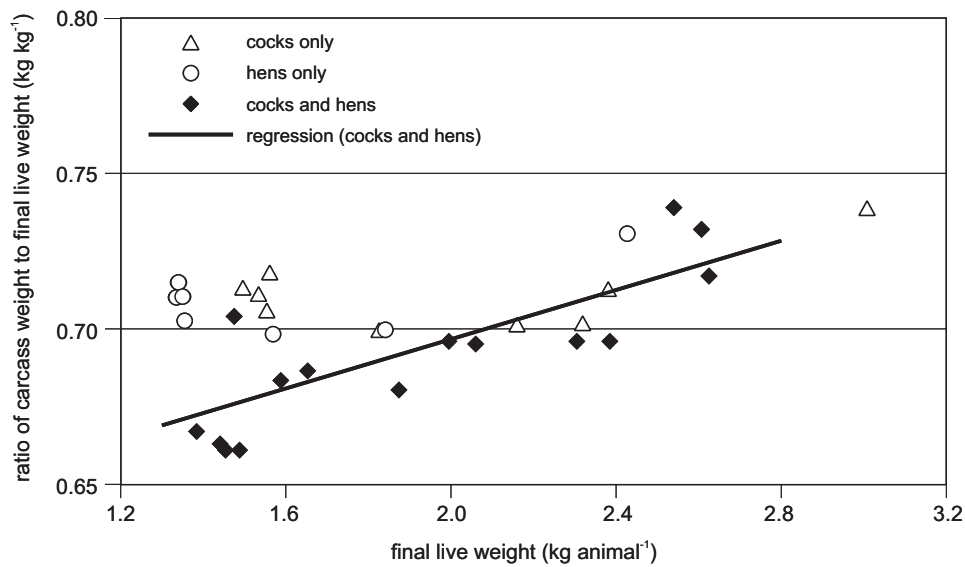


Figure 11:

Slaughter yield as a function of the final live weight. For details see text.

Abbildung 11:

Darstellung von Schlachtausbeute-Faktoren in Abhängigkeit vom Lebendengewicht. Details siehe Text.

6 Concluding remarks

In the present paper, data on broiler breeding as well as animal properties of broilers could be analysed to yield mathematical formulae. These formulae provide the means to relate excretions per place and year to the progress in broiler breeding (i. e. increasing daily growth rates) as well as to the modifications in broiler rearing (in particular increased fattening periods) and feeding.

In case of a limited data base for the derivation of process descriptions, solutions were selected which make sure that excretions are overestimated rather than underestimated.

For the future it would be preferable to obtain the input data in finer spatial resolution. More information on feed properties would also be desirable.

The equations developed in the present paper will be used in a companion paper (Haenel and Dämmgen, 2009) to derive a model which allows to establish the time series of the parameters relevant for the calculation of emissions from the German broiler husbandry.

7 Acknowledgements

Barbara Amon and Nicholas Hutchings, co-chairs of the Agriculture and Nature Panel, UNECE Task Force on Emission Inventories and Projections, critically reviewed this text for which the authors wish to express their thanks.

6 Schlussbemerkung

In der vorliegenden Arbeit wurden für Masthähnchen und -hühnchen Haltungparameter und Tiereigenschaften in mathematische Formeln umgesetzt. Diese ermöglichen u. A., den Einfluss züchterischen Fortschritts (d. h. steigender täglicher Gewichtszuwächse) und Veränderungen in der Haltung (insbesondere bei der Mastdauer) und der Fütterung auf die Ausscheidungen pro Platz und Jahr nachzuvollziehen.

In Fällen eingeschränkter Datenverfügbarkeit bei der Ableitung von Prozessbeschreibungen wurden Lösungen gewählt, die eher zu einer Über- als einer Unterschätzung der Ausscheidungen führen.

Für die Zukunft wäre eine feinere räumliche Auflösung der Daten wünschenswert, ebenso wie eine Verdichtung der Futtereigenschaftsdaten.

Die gefundenen Ansätze sollen in einer nachfolgenden Arbeit (Haenel und Dämmgen, 2009) dazu dienen, ein Modell zur Erstellung von Zeitreihen der emissionsrelevanten Parameter in der deutschen Broilerhaltung zu entwickeln.

7 Danksagungen

Barbara Amon und Nicholas Hutchings, die Vorsitzenden des Agriculture and Nature Panel, UNECE Task Force on Emission Inventories and Projections, haben den Text kritisch durchgelesen, wofür Ihnen herzlich gedankt sei.

References

- Anonymus (1997) Futterwertleistungsprüfung: Masthühnerküken-Alleinfutter im Test (1997). DGS Intern 49(14):10-11
- Anonymus (2001) Masthühnerküken-Alleinfutter I: Futterwertleistungsprüfung 2001 (2001). DGS Magazin 53(40):28-32
- Berk J (2005) Faustzahlen zur Haltung von Mastgeflügel. Geflügeljahrbuch 2006:123-142
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006) Abschätzung der Folgen der Thematischen Strategie zur Verbesserung der Luftqualität für Deutschland : Art der Maßnahmen, deren Wirkung und Kosten ; Hintergrundpapier des BMU, Referat IG 1 3 – Gebietsbezogene Luftreinhaltung [online]. Stand: März 2006. <http://www.bmu.de/files/luftreinhaltung/downloads/application/pdf/strategien_luftqualitaet.pdf> [date of quotation 2008-10-30]
- Damme K (1994) LVA Kitzingen : Broiler-Herkunftsprüfung 1994. DGS Magazin 46(39):8-9
- Damme K (1995) Gemischt oder getrenntgeschlechtlich? DGS Intern 47(51/52):7-10
- Damme K (1997) Lehr- und Versuchsstation für Kleintierzucht Kitzingen : 12. Mastherkunftsprüfung für Jungmasthühner. DGS Intern 49(13):3-5
- Damme K (2001) Mastgeflügel in der Ökoproduktion : welche Hybriden eignen sich für die Ökomast. DGS Magazin 53(48):25-28
- Damme K, Lemme A, Petri A (2005) Mast von Biohähnchen : über kristalline Aminosäuren sollte diskutiert werden. DGS Magazin 57(9):24-29
- Damme K, Rychlik I (2001) 13. Bayerische Herkunftsprüfung für Masthybriden : rasche Gewichtsentwicklung bei bester Futterverwertung. DGS Magazin 53(5):24-29
- Dämmgen U, Haenel H-D (2008) Emissions of greenhouse gases and gaseous air pollutants : a challenge for animal nutrition. *Proc Soc Nutr Physiol* 17:163-167.
- Dämmgen U, Lüttich M, Haenel H-D, Döhler D, Eurich-Menden B, Osterburg B (2007) Calculations of emissions from German agriculture - National Emission Inventory Report (NIR 2007 for 2005 : methods and data (GAS-EM) = Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2007 für 2005. Methoden und Daten (GAS-EM). *Landbauforsch Völknerode SH 304:9-243*
- EMEP/CORINAIR (2006) Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook [online]. 3rd ed., EEA, Copenhagen. http://reports.eea.europa.eu/EMEP_CORINAIR4/en/B1090vs2.pdf [date of quotation 2008-10-30]
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie der Haustiere / Ausschuss für Bedarfsnormen (2000) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). Frankfurt a M : DLG-Verl., 185 p
- Grashorn M (2000) Bessere Fleischqualität, aber Mehrkosten bei extensiver Haltung. DGS Magazin 52(22):27-32
- Hadorn R, Wiedmer H (1998) Welchen Einfluß hat die Besatzdichte auf die Leistung? DGS Magazin 50(49):22-26
- Haenel H-D, Dämmgen U (2007 a) Consistent time series of data to model volatile solids and nitrogen excretions of poultry : 1. General considerations and pullets. *Landbauforsch Völknerode 57(4):349-362*
- Haenel H-D, Dämmgen U (2007 b) Consistent time series of data to model volatile solids and nitrogen excretions of poultry : 2. Laying hens. *Landbauforsch Völknerode 57(4):363-390*
- Haenel H-D, Dämmgen U (2009) Consistent time series of data to model volatile solids and nitrogen excretions of poultry : 3b. Broilers. Modelling using official statistical data. *Landbauforsch Völknerode 59(2)(in press)*
- Hahn G (2006) Faustzahlen über Schlachtgeflügel. *Jahrbuch Geflügelwirtsch* 2007:224-231
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Vol. 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 10. Emissions from livestock and manure management [online]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf> [date of quotation 2008-10-30]
- Klein F W (1991a) Jungmasthühner im Test: Ergebnisse aus der LVA Kitzingen. DGS Magazin 43(16):452-454
- Klein F W (1991b) 24. Bayerische Futterwertleistungsprüfung für Broilermastfutter. DGS Magazin 43(18):510-512
- Krüger A (2007) Es geht um Centbeträge. DGS Magazin 59(5):24-27
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (ed.) (2004) Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05 : KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft. 19. Aufl. Darmstadt : KTBL, 573 p
- LfL – Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2006) Basisdaten zur Berechnung des KULAP-Nährstoffsaldos 2006, Stand: August 2006. Tabelle 8: Nährstoffgehalte tierischer Produkte. <http://www.alf-kf.bayern.de/pflanzenbau/linkurl_0_4_0_2.pdf> [date of quotation 2008-01-31]
- Lüke M, Simon I, Poteracki P (2004) Hähnchenherkünfte im Vergleich. Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen [online]. <http://www.duesse.de/gefluegel/pdfs/haehnchen_iii_2004.pdf> [date of quotation 2007-01-17]
- LWK-NW – Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2006) Verfahrenstechnik in der Broilermast [online]. <<http://www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/tierproduktion/gefluegelhaltung/management/broilermast.htm>> [date of quotation 2008-03-15]
- Pingel H (1996) Faustzahlen über Schlachtgeflügel. *Jahrbuch Geflügelwirtsch* 1997:163-166
- Poteracki P (1991) Jungmasthühner im Test: Ergebnisse aus der LVA Haus Düsse. DGS Magazin 43(13):365-367
- Poteracki P (1994) LVA Haus Düsse : Broiler-Herkunftsprüfung 1994. DGS Magazin 46(39):6-7
- Poteracki P (1995) 60. Futterwertleistungsprüfung für Masthühnerküken-Alleinfutter : große Unterschiede in Bezug auf Wirtschaftlichkeit. DGS Intern 47(27):6-8
- Poteracki P (1996) Haus Düsse : Broiler-Herkunftsprüfung 1995. DGS Intern 48(16):4-5
- Poteracki P, Adam F (1993a) LVA Haus Düsse : 56. Futterwertleistungsprüfung für Broilermastfutter. DGS Magazin 45(1):7-9
- Poteracki P, Adam F (1993b) LVA Haus Düsse : 57. Futterwertleistungsprüfung für Broilermastfutter. DGS Magazin 45(5):10-12
- Poteracki P, Sommer W, Stalljohann G (1994) LVA Haus Düsse : 59. Futterwertleistungsprüfung für Broilermastfutter. DGS Magazin 46(21):6-8
- Richter G, Fischer A (2005) Fischmehl muss nicht sein. DGS Magazin 57(43):23-27
- Simon I (2001) Herkunftsprüfung 2000 für Masthühner auf Haus Düsse : sehr gute Mastendgewichte. DGS Magazin 53(14):10-13
- Simon I, Stegemann J (2005) Erste Erfahrungen mit der neuen Cobb [online]. <http://www.duesse.de/tierhaltung/gefluegel/versuche/mast-haehnchen/2005_cobb_iii.pdf> [date of quotation 2007-01-17]
- Soliman MAH, Tawfik ES, Hebler W, Klein W, Galal AG (1990) Schlachtkörperwert von Broilern : gibt es Unterschiede zwischen den Herkünften? DGS Magazin 42(16):454-457
- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan C (2006) Livestock's long shadow : environmental issues and options [online]. Rome : FAO. <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.htm> [date of quotation 2008-10-30]
- Sudhop R (2008) Vom Ei zum Brathähnchen : II. *Biothemen* [online]. <<http://www.biothemen.de/Tier/gefluegel/broiler2.html>> [date of quotation 2008-03-15]
- Tiller H (1990) Läßt sich die Schlachtkörperqualität des Broilers durch Fütterung beeinflussen? DGS Magazin 42(19):307-310
- Tüller R, Velten HJ (1991) Bringt eine Futterrestriktion bei Masthähnchen weniger Fett? DGS Magazin 43(10):275-276
- Tüller R, Velten HJ, Poteracki P (1990) Schlachtkörperqualität von Hähnchen : Einfluß verschiedener Futterfabrikate. DGS Magazin 42(19):311-313
- Webb J, Misselbrook TH, Sutton MA (2005) Ammonia emission inventories, uncertainty and sensitivity analysis. In: Kuczyński T, Dämmgen U, Webb J, Myczko (eds) Emissions from European Agriculture. *Wageningen : Wageningen Academic Publishers*, pp 113-124