DOI:10.3220/LBF1530177613000

Hat die Nutzungsdauer von Zuchtsauen in der Ferkelerzeugung Einfluss auf die Ammoniak- und Treibhausgas-Emissionen?

Ulrich Dämmgen*, Wilfried Brade**, Heinrich Kleine Klausing***, Claus Rösemann*, Hans-Dieter Haenel* und Andreas Berk****

Zusammenfassung

Zur Feststellung und Bewertung emissionsmindernder Maßnahmen (Ammoniak, Treibhausgase) beim Herdenmanagement von Zuchtsauen wurde zunächst ein detailliertes Sauenmodell erstellt, das variable Lebendmassen, Zuwächse, Ferkelzahlen und -massen berücksichtigt. Für wichtige Konstanten (Umrechnung auf Leerkörpermassen, Massen der Konzeptionsprodukte, Ferkelzahlen als Funktion der Wurfnummer, Nutzungsdauer definiert als Zahl realisierter Würfe) wurden aus der Literatur plausible Werte abgeleitet.

Berechnet wurden die emissionsrelevanten Ausscheidungen der Zuchtsauen, der notwendigen Jungsauen und Aufzuchtferkel (Methan aus der Verdauung, organische Masse sowie Stickstoff insgesamt und Stickstoff im Harn).

Die Modellrechnungen ergaben, dass eine Minderung der Verluste bei den Zuchtsauen, d. h. eine größere maximal realisierbare Wurfzahl, nur für Methan zu einer (allerdings insgesamt unerheblichen) Minderung der Emissionen je abgesetztem Ferkel führt. Ein deutlicherer Effekt ist bei den Ausscheidungen der organischen Masse zu beobachten, von denen die Methan-Emissionen aus dem Lager abhängen. Die Ammoniak-Emissionen sind den Mengen an ausgeschiedenem Harn-Stickstoff proportional. Hier sind oberhalb der derzeit bereits üblichen maximalen Wurfzahl nur geringe Änderungen zu erwarten.

Schlüsselwörter: *Zuchtsauen, Ferkelerzeugung, Ausscheidungen, Emissionen, Nutzungsdauer*

Summary

Is the productive life of breeding sows relevant with respect to emissions in piglet production?

The determination and evaluation of the potential effects on methane and ammonia emisions of herd management of breeeding sows required the derivation of a detailed model that is able to reflect the effects of varíable sow weights and weight gains as well as the numbers of piglets born and raised. For some important parameters (i.e. empty body weight, weight of conception products, piglet numbers related to litter number, maximum number of litters per sow) plausible assumptions had to be derived from literature data.

Calculations aimed to determine excretions relevant to emissions (methane from enteric fermentation, volatile solids and total and ammonical nitrogen) from breeding sows as well as the young sows and weaners used for the reproduction of the herd.

Reduced losses of sows, i.e. extended useful lives, resulted in reduced methane excretions per piglet raised (whose overall contribution to emissions is negligible). The respective amounts of volatile solids excreted decreased. For ammonia emissions, which depend on the amounts of renal nitrogen, no significant reduction can be expected above the number of litters per sow commonly achieved by current practice.

Keywords: *breeding sows, piglet production, excretions, emissions, productive life*

** Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Agrarklimaschutz, Bundesallee 65, 38116 Braunschweig

** Tierärztliche Hochschule Hannover und Norddeutsches Tierzucht-Beratungsbüro, Zur Koppenheide 8, 18181 Graal-Müritz

*** EW Nutrition GmbH, Hogenbögen 1, 49439 Visbek

**** Friedrich-Loeffler-Institut, Institut für Tierernährung, Bundesallee 37, 38116 Braunschweig

Kontakt: ulrich.daemmgen@daemmgen.de

1 Einleitung

Die deutsche Schweinefleischproduktion ist, wie die übrigen landwirtschaftlichen Produktionszweige, dringend gefordert, ihre umweltschädigenden Emissionen, vor allem auch das mit der Fleischerzeugung verbundene Stickstoff-Problem (hohe Stickstoff (N)-Überschüsse im gesamten Produktionszyklus, N-Einträge ins Grundwasser und Nitrat-Problematik, z.B. EU, 2017) zu verringern. Ammoniak-Emissionen haben eine Eutrophierung und Versauerung von terrestrischen und aquatischen Ökosystemen zur Folge. Quelle ist hier die Landwirtschaft mit etwa 95 % der deutschen Emissionen. Für Ammoniak sieht die sog. NEC-Richtlinie drastische Emissionsminderungen (Minderung um 29 % in 2030 gegenüber 2005) vor (UBA, 2017). Der Anteil der Landwirtschaft an den Emissionen von Treibhausgasen (THG) ist gering (etwa 7 % des nationalen Aufkommens).

Vor dem Hintergrund einer auch zukünftig zu erwartenden hohen Schweinefleischproduktion in Deutschland (Offermann et al., 2016) sollen an dieser Stelle erstmalig die Emissionsquellen in der Ferkelerzeugung detailliert untersucht werden. Im Rahmen ähnlicher Untersuchungen an Milchkühen (Dämmgen et al., 2016) war bereits sehr deutlich geworden, dass die Verlängerung der Nutzungsdauer Emissionsminderungen bei gleichzeitiger Verbesserung des Tierwohls zur Folge hat.

Alle Stufen der Schweinefleischproduktion sind mit umweltrelevanten Emissionen verbunden. Die der Ferkelproduktion zuzurechnenden Emissionen tragen mit einem erheblichen Anteil zu den Gesamtemissionen aus der Schweinefleischproduktion bei (Dämmgen et al., 2018a,b). Angesichts der wirtschaftlichen Randbedingungen und gesellschaftlichen Ansprüche müssen heute bei der Ferkelerzeugung folgende Aspekte gleichzeitig berücksichtigt werden:

- kostengünstige Erzeugung,
- hohe Ferkelqualität und
- geringe Umweltbelastung.

In dieser Arbeit soll erstmalig untersucht werden, welche Vorzüge oder gegebenenfalls auch Nachteile eine verlängerte Nutzung von Zuchtsauen auf das Emissionsgeschehen aus der Blickrichtung der Ferkelerzeugung zur Folge haben kann. Da die Emissionen bei sonst gleich bleibenden Bedingungen des Wirschaftsdünger-Managements (Stall- und Lagertyp, Ausbringung, Einarbeitung) den Ausscheidungen proportional sind, dienten die Ausscheidungen pro abgesetztes Ferkel nachfolgend als Bewertungskriterium.

Die Modellbetrachtungen stützen sich nicht auf kohärente experimentelle Eingangsdatensätze. Vielmehr müssen aus unterschiedlichen Quellen gewonnene Daten so zusammengeführt werden, dass sich ein plausibles Ganzes ergibt, das – so gut es geht – die im Hinblick auf weitere Arbeiten zur Schweineproduktion in Thüringen die dortigen Verhältnisse widerspiegelt.

2 Tierkategorien, Methoden und Daten

2.1 *Zu betrachtende Tierkategorien*

Werden die Einflüsse des Wirtschaftsdünger-Managements als konstant angesehen, sind die Emissionen von Ammoniak (NH_3), Stickstoffmonoxid (NO), Lachgas (N_2O) und Distickstoff (N_2) sowie von Methan (CH_4) aus Stall und Lager den Ausscheidungen von Stickstoff (N) bzw. organischer Substanz (volatile solids, VS) proportional. Diese hängen ebenso wie die CH_4-Ausscheidungen aus der Verdauung von der Menge und Zusammensetzung des aufgenommenen Futters ab. Die Leistungsfähigkeit der Tiere ist durch hinreichende Futtermengen und eine geeignete Futterzusammensetzung sichergestellt.

Für die Betrachtung der Lebensleistung von Sauen im Hinblick auf mögliche Emissionsminderungen in der Ferkelproduktion ist es *nicht* notwendig, die unter den Bedingungen der Besamungszucht sehr wenigen benötigten Eber einzubeziehen. Auch die Emissionen aus der Basiszucht sind gegenüber denen der Ferkelproduktion vernachlässigbar klein (Dämmgen et al., 2018b).

Die Stoffflüsse und damit die Emissionen aus der Futterbereitstellung sind den aufgenommenen Futtermengen proportional, da die Verdaulichkeiten von organischer Substanz und N nahezu konstant bleiben. Es ist daher sinnvoll, die Untersuchung der Emissionen in der Ferkelproduktion als Funktion der Lebensleistung der Sauen auf die Ermittlung

Tabelle 1
Bei der Ferkelproduktion betrachtete Tierkategorien: Benennungen, Symbole in den Legenden bzw. den Gleichungen, Lebensabschnitte und Fütterung – eine Übersicht

Kategorie	Unterkategorie	Symbol	relevante Lebensspanne	Fütterung
Ferkel	Saugferkel	SFerkel, piglet	28 Tage	Sauenmilch
	Aufzuchtferkel	AFerkel, we	52 Tage	3 Phasen, 3 Futter
Sauen	Jungsauen	JSau, ys	6 Monate	3 Phasen, 3 Futter
	Zuchtsauen (F1-Sauen)			
	1. Wurf	ZSau, bs1	22 Wochen	4 Phasen, 2 Futter
	2. Wurf	ZSau, bs2	22 Wochen	4 Phasen, 2 Futter
	3. Wurf	ZSau, bs3	22 Wochen	4 Phasen, 2 Futter
	usw.			

der Ausscheidungen der Sauen und der unmittelbar für die Erzeugung der Zuchtsauen erforderlichen Jungsauen und Aufzuchtferkel zu beschränken. Tabelle 1 fasst wichtige Informationen hierzu zusammen.

2.2 Modelle

2.2.1 Aufbau der Modelle

Allen Modellen ist gemeinsam, dass in einem ersten Schritt die bei der jeweiligen Leistung der Tiere erforderliche umsetzbare Energie (metabolizable energy, ME) ermittelt wird. Aus ihr wird die Futtermenge berechnet, die zur Deckung des Energiebedarfs erforderlich ist. Über die Futterzusammensetzung wird gleichzeitig sichergestellt, dass der Bedarf an Mengen- und Spurenelementen sowie Aminosäuren und Vitaminen gedeckt ist.

2.2.2 Das Aufzuchtferkel-Modell

Haenel et al. (2011) haben den ME-Bedarf von Aufzuchtferkeln nach den Vorgaben von GfE (2006) modelliert. Die hier vorgestellten Rechnungen gehen von einer Dauer dieses Lebensabschnitts von 52 Tagen bei einer Anfangsmasse von 8 kg AFerkel^{-1} und einer Endmasse von 30 kg AFerkel^{-1} aus. Nach Aussagen einer thüringischen Expertenrunde [1] ist als

Leistung eine mittlere Lebendmassezunahme von 430 g AFerkel^{-1} d^{-1} anzusetzen

Fütterung: 3-phasig mit Wechsel bei 12 bzw. 20 kg AFerkel^{-1}; eingesetzt werden dabei Mischungen, die auf vergleichsweise wenigen Bestandteilen basiert, siehe Kapitel 2.3.3.

Verluste: Die Stallverluste betragen insgesamt 3 %.

2.2.3 Das Jungsauen-Modell

Eingesetzt wird das Jungsauenmodell aus Dämmgen et al. (2017). Die Lebendmasse beim Aufstallen beträgt 30 kg JSau^{-1}, die Endmasse 158 kg JSau^{-1}. Die mittlere tägliche Zunahme beträgt 700 g JSau^{-1} d^{-1} (Heinze et al., 2009).

Fütterung: Die Fütterung erfolgt 3-phasig mit Wechsel bei 70 und 90 kg JSau^{-1}. Eingesetzt werden handelsübliche Mischungen (Zusammensetzung siehe Kapitel 2.3.3).

Verluste: Die Stallverluste betragen 3 % (über alle Phasen). Nur 70 % der Jungsauen werden nach der Eigenleistungsprüfung zur Ferkelproduktion eingesetzt.

2.2.4 Das detaillierte Zuchtsauenmodell

Für die Erfordernisse des nationalen landwirtschaftlichen Emissionsinventars nutzten Haenel et al. (2011) die Vorgaben von GfE (2006) zur Beschreibung des Bedarfs an umsetzbarer Energie (ME) und zur Berechnung der Ausscheidungen von CH_4, VS und N mit Kot und Harn. Auf Grund der eingeschränkten Verfügbarkeit von Daten, insbesondere von Lebendmassen, berücksichtigen diese Rechnungen lediglich die Zahl der Saugferkel als Variable, beziehen sich jedoch bei den Massen und Zuwächsen auf einen Standardwert, insbesondere eine mittlere Lebendmasse. Die zeitliche Auflösung dieses Modells ist ein Jahr. Für das Erkennen und Bewerten möglicher Minderungsszenarien erscheint dieses Verfahren nicht hinreichend.

Die vorliegende Arbeit folgt konsequent den Empfehlungen von GfE (2006), schätzt zusätzlich die dort nicht angegebenen Größen (Lebendmassen für einzelne Lebensabschnitte, Leerkörpermassen sowie Massenverluste bei der Geburt und während der Laktation) und ermöglicht neben Säuge- und Tragefutter zusätzlich auch die Berücksichtigung eines Geburtsfutters.

Vollständige Datensätze zur Lebendmasseentwicklung oder zum ME-Bedarf von Sauen sind uns nicht bekannt. Das detaillierte Modell ist deshalb in vieler Hinsicht auf die Verwendung geschätzter oder erschlossener Werte aus der Literatur angewiesen.

2.2.4.1 Lebensabschnitte

Die Dauer des Reproduktionszyklus einer Zuchtsau (ZSau) ist die Zwischenwurfzeit (ZWZ) zwischen den Zeitpunkten $\mathbf{A_4}$ und $\mathbf{A_5}$ in Abbildung 1.

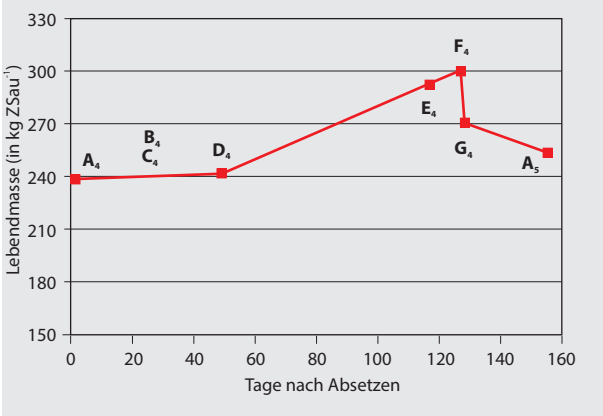

Abbildung 1
Beispiel Lebendmasseentwicklung bei Sauen (nach Messdaten aus Heinze et al., 2008, Tabellen 6 und 7, Wurfnummer 4, vervollständigt).
Zeitpunkte:
$\mathbf{A_4}$: Absetzen, bei Wurfnummer 4 Besamung (KB) (*M*);
$\mathbf{B_4}$: Belegen der Sau (*E*);
$\mathbf{C_4}$: Futterwechsel Säugefutter/Tragefutter (*E*);
$\mathbf{D_4}$: Mitte der 1. Phase der Trächtigkeit (*M*);
$\mathbf{E_4}$: 10 d vor Abferkeln (M);
$\mathbf{F_4}$: Ende der Trächtigkeit (*E*);
$\mathbf{G_4}$: nach dem Abferkeln (*E*):
$\mathbf{A_5}$: Ende der Laktation, Absetzen.
Es bedeuten: (*M*): Messwert; (*E*): errechneter Wert.

[1] Bestehend aus : Dr. Thomas Bauer – Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Dr. Simone Müller – TLL; Dr. Jürgen Müller – TLL; Dr. Michael Mußlick – Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft; Brigitte Neues – Qnetics GmbH, Erfurt; Dr. Gerd Reinhold – TLL; Hubert Schröter – TLL; Dr. Wilfried Zorn – TLL

Nach dem Absetzen (**A** bis **C**) nimmt die Lebendmasse der Sau zu; sie wird auf Kondition gefüttert. Nach etwa einer Woche wird die Sau besamt (**B**). Körperwachstum und maternaler Zuwachs lassen die Masse bis zur Geburt (**F**) ansteigen. Nach der Geburt baut die Sau Körpersubstanz (Fett und Eiweiß, vgl. Noblet et al., 1990) ab, um das durch den Energiebedarf der Milchbildung entstehende Energiedefizit auszugleichen.

Bis etwa zur 6. Laktation wird eine Netto-Lebendmassenzunahme (**A_n** nach **A_{n+1}**) während der ZWZ beobachtet.

Unterschieden werden zwei Trächtigkeitsphasen mit unterschiedlichem ME-Bedarf für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte (Dauer der 1. Phase 80 d, Dauer der 2. Phase 30 d). Zusätzlich wird der ME-Bedarf für die Entwicklung der Milchdrüse berücksichtigt. Säugefutter wird gegebenenfalls vom Zeitpunkt der Geburt bis 14 d nach Absetzen gefüttert.

2.2.4.2 Aufgliederung des ME-Bedarfs

Der Gesamt-ME-Bedarf einer Sau für eine Zwischenwurfzeit der n-ten Wurfnummer berechnet sich wie folgt:

$$\Sigma ME_{\mathrm{bs,\,n}} = \Sigma ME_{\mathrm{bs,\,m,\,n}} + \Sigma ME_{\mathrm{bs,\,g,\,n}} + \Sigma ME_{\mathrm{bs,\,p,\,n}} + \Sigma ME_{\mathrm{bs,\,t,\,n}} + \Sigma ME_{\mathrm{bs,\,l,\,n}} \quad (1)$$

mit

$\Sigma ME_{\mathrm{bs,\,n}}$ kumulativer ME-Bedarf einer Zuchtsau im Verlauf einer Zwischenwurfzeit, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} ME) [2]

$\Sigma ME_{\mathrm{bs,\,m,\,n}}$ kumulativer ME-Bedarf für Erhaltung, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} ME)

$\Sigma ME_{\mathrm{bs,\,g,\,n}}$ kumulativer ME-Bedarf für Wachstum, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} ME)

$\Sigma ME_{\mathrm{bs,\,p,\,n}}$ kumulativer ME-Bedarf für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} ME)

$\Sigma ME_{\mathrm{bs,\,t,\,n}}$ kumulativer ME-Bedarf für die Entwicklung der Milchdrüse, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} ME)

$\Sigma ME_{\mathrm{bs,\,l,\,n}}$ kumulativer ME-Bedarf für die Milchbildung, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} ME)

Die Berechnung der Terme erfolgt für jeden der vier Lebensabschnitte (Abbildung 1: **A** bis **C; C** bis **D, D** bis **F, G** bis **A**) getrennt.

2.2.4.3 ME-Bedarf für Erhaltung der Zuchtsau

Der ME-Bedarf für die Erhaltung ist eine Funktion der Lebendmasse. Nach GfE (2006) berechnet sich der **tägliche Erhaltungsbedarf** zu

$$ME_{\mathrm{bs,\,m}} = a \cdot w_{\mathrm{unit}} \cdot \left(\frac{w_{\mathrm{bs}}}{w_{\mathrm{unit}}}\right)^{0,75} \quad (2)$$

mit

$ME_{\mathrm{bs,\,m}}$ ME-Bedarf bei gegebener Lebendmasse (w_{bs}) (in MJ ZSau^{-1} d^{-1})

a Konstante (a = 0,44 MJ kg^{-1} d^{-1})

w_{unit} Referenzmasse (w_{unit} = 1 kg ZSau^{-1})

w_{bs} Lebendmasse der Sau (in kg ZSau^{-1})

Hieraus wird für die unterschiedlichen Abschnitte der ZWZ der **kumulative ME-Bedarf für Erhaltung** vereinfacht mit der jeweiligen mittleren Lebendmasse gerechnet, da die Massenzunahmen klein sind im Vergleich zur Lebendmasse und die zeitliche Entwicklung der Lebendmasse im Detail (linear, nicht linear) nicht bekannt ist, also

$$\Sigma ME_{\mathrm{bs,\,m,\,i,\,n}} = a_{\mathrm{m}} \cdot w_{\mathrm{unit}} \cdot \left(\frac{w_{\mathrm{bs,\,start,\,i,\,n}} + w_{\mathrm{bs,\,end,\,i,\,n}}}{2\, w_{\mathrm{unit}}}\right)^{0,75} \cdot t_{\mathrm{grav,\,i,\,n}} \quad (3)$$

mit

$\Sigma ME_{\mathrm{bs,\,m,\,i,\,n}}$ kumulativer ME-Bedarf während eines Lebensabschnitts in einem Lebensabschnitt i, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} ME)

a_{m} Konstante (a_{m} = 0,44 MJ kg^{-1}d^{-1})

w_{unit} Referenzmasse (w_{unit} = 1 kg ZSau^{-1})

$w_{\mathrm{ba,\,start,\,i,\,n}}$ Lebendmasse der Sau am Anfang des Lebensabschnitts i, n-te Wurfnummer (in kg ZSau^{-1})

$w_{\mathrm{bs,\,end,\,i,\,n}}$ Lebendmasse der Sau am Ende des Lebensabschnitts i, n-te Wurfnummer (in kg ZSau^{-1})

$t_{\mathrm{bs,\,i,\,n}}$ Dauer des Lebensabschnitts i (in d ZWZ^{-1})

2.2.4.4 ME-Bedarf für Wachstum

Der tägliche ME-Bedarf für Wachstum gliedert sich auf in einen Term für den Proteinansatz und einen für den Fettansatz. Aus ihm berechnet sich nach Haenel et al. (2011) der **kumulative ME-Bedarf für Wachstum** für Zeitabschnitte mit $w_{\mathrm{end}} - w_{\mathrm{start}} > 0$ wie folgt:

$$\begin{aligned}\Sigma ME_{\mathrm{bs,\,g,\,i,\,n}} = {} & \frac{H_{\mathrm{CP}}}{k_{\mathrm{CP}}} \cdot \left(\left(w_{\mathrm{bs,\,i,\,n,\,end}} - w_{\mathrm{bs,\,i,\,n,\,start}}\right) \cdot x_{\mathrm{eb}} \cdot x_{\mathrm{CP}} - a_{\mathrm{g,\,CP}} \cdot \left(\left(w_{\mathrm{bs,\,i,\,n,\,end}} \cdot x_{\mathrm{eb}}\right)^2 - \left(w_{\mathrm{bs,\,i,\,n,\,start}} \cdot x_{\mathrm{eb}}\right)^2\right)\right) \\ & + \frac{H_{\mathrm{CF}}}{k_{\mathrm{CF}}} \cdot \left(\left(w_{\mathrm{bs,\,i,\,n,\,end}} - w_{\mathrm{bs,\,i,\,n,\,start}}\right) \cdot x_{\mathrm{eb}} \cdot x_{\mathrm{CF}} - a_{\mathrm{g,\,CF}} \cdot \left(\left(w_{\mathrm{bs,\,i,\,n,\,end}} \cdot x_{\mathrm{eb}}\right)^2 - \left(w_{\mathrm{bs,\,i,\,n,\,start}} \cdot x_{\mathrm{eb}}\right)^2\right)\right)\end{aligned} \quad (4)$$

[2] bs: breeding sow; m: maintenance; g: growth; p: pregnancy, conception products; l: lactation

$\Sigma ME_{bs,\,g,\,i,\,n}$ kumulativer ME-Bedarf für Wachstum während des Lebensabschnitts i, n-te Wurfnummer, (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} ME)
H_{CP} Brennwert für Protein (H_{CP} = 23,8 MJ kg^{-1})
k_{CP} Teilwirkungsgrad für Proteinansatz (k_{CP} = 0,56 MJ MJ^{-1})
$w_{bs,\,i,\,n,\,end}$ Lebendmasse am Ende des Lebensabschnitts i, n-te Wurfnummer (in kg ZSau^{-1})
$w_{bs,\,i,\,n,\,start}$ Lebendmasse zu Beginn des Lebensabschnitts i, n-te Wurfnummer (in kg ZSau^{-1})
x_{eb} Umrechnungsfaktor von Lebendmasse zu Leerkörpermasse (in kg kg^{-1}, siehe Abschnitt 2.4.2)
x_{CP} Rohproteingehalt der Leerkörpermasse (x_{CP} = 0,168 kg kg^{-1})
$a_{g,\,CP}$ Konstante ($a_{g,\,CP}$ = 0,0000914 kg^{-1} ZSau)
H_{CF} Brennwert für Fett (H_{CF} = 39,7 MJ kg^{-1})
k_{CF} Teilwirkungsgrad für Fettansatz (k_{CF} = 0,74 MJ MJ^{-1})
x_{CF} Fettgehalt der Leerkörpermasse (x_{CP} = 0,170 kg kg^{-1})
$a_{g,\,CF}$ Konstante ($a_{g,\,CF}$ = 0,001389 kg^{-1} ZSau)

2.2.4.5 ME-Bedarf für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte

Für den ME-Bedarf zur die Entwicklung der Konzeptionsprodukte geben GfE (2006) 1 MJ Tier^{-1} d^{-1} für niedertragend (Phase 1, Dauer 84 d) und 2,5 MJ Tier^{-1} d^{-1} für hochtragend (Phase 2,, Dauer 30 d) an.

$$\Sigma ME_{bs,\,p,\,grav,\,1} = a_{p,\,1} \cdot t_{grav,\,1} \qquad (5)$$

mit
$\Sigma ME_{bs,\,p,\,grav\,1}$ kumulativer Bedarf für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte während der 1. Phase der Trächtigkeit (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} ME)
$a_{p,\,1}$ täglicher ME-Bedarf für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte für niedertragende Sauen ($a_{p,\,1}$ = 1 MJ ZSau^{-1} d^{-1} ME)
$t_{grav\,1}$ Dauer dieser Phase der Trächtigkeit ($t_{grav\,1}$ = 84 d ZWZ^{-1})

Entsprechendes gilt für alle unterschiedlichen Phasen der Trächtigkeit, Die Konstante $a_{p,\,2}$ für die Phase 2 der Trächtigkeit (hochtragende Sau) ist
$a_{p,\,2}$ täglicher ME-Bedarf für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte während für niedertragende Sauen ($a_{p,\,2}$ = 2,5 MJ ZSau^{-1} d^{-1} ME)

Das ergibt 159 MJ Tier^{-1} für die gesamte Trächtigkeit. Dieser Wert ist bei GfE (2006) unabhängig von der Zahl der Ferkel und unabhängig von der Lebendmasse der Sau.

Feyera und Theil (2017) geben ein äußerst detailliertes Verfahren zur Berechnung des ME-Bedarfs für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte an. Hier erscheinen Aufwand und Erfolg für die vorliegende Betrachtung jedoch nicht angemessen.

2.2.4.6 ME-Bedarf für die Entwicklung der Milchdrüse

Der ME-Bedarf für die Entwicklung der Milchdrüse ist nach GfE (2006) mit 1 MJ Tier^{-1} d^{-1} die Zeit vom 106. bis zum 115. Trächtigkeitstage anzusetzen

$$\Sigma ME_{bs,\,p,\,grav,\,3} = a_{p,\,3} \cdot t_{grav,\,1} \qquad (6)$$

mit
$\Sigma ME_{bs,\,p,\,grav\,3}$ kumulativer Bedarf für die Entwicklung der Milchdrüse während der 3. Phase der Trächtigkeit (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} ME)
$a_{p,\,3}$ täglicher ME-Bedarf für die Entwicklung der Milchdrüse ($a_{p,\,3}$ = 1 MJ ZSau^{-1} d^{-1} ME)
$t_{grav\,3}$ Dauer dieser Phase ($t_{grav\,3}$ = 10 d ZWZ^{-1})

2.2.4.7 Deckung des ME-Bedarfs für die Milchbildung

ME-Bedarf für die Milchbildung

Der Bedarf für die Milchbildung $\Sigma ME_{bs,\,l,\,lact}$ ist eine Funktion der Zahl und des Zuwachses der zu ernährenden Saugferkel:

$$\Sigma ME_{bs,\,l,\,n,\,lact} = n_{piglet,\,n} \cdot c_{milk} \cdot \frac{\eta_{ME.\,milk}}{x_{milk}} \cdot \left(w_{piglet,\,end} - w_{piglet,\,start}\right) \qquad (7)$$

mit
$\Sigma ME_{bs,\,l,\,n,\,lact}$ kumulativer ME-Bedarf für die Milchbildung während der Laktation, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} ME)
$n_{piglet,\,n}$ Anzahl der zu ernährenden Saugferkel pro Wurf, n-te Wurfnummer (in SFerkel ZSau^{-1} ZWZ^{-1})
c_{milk} Milchmenge je kg Zuwachs bei SFerkeln (c_{milk} = 4.1 kg kg^{-1})
$\eta_{ME,\,milk}$ ME-Gehalt der Sauenmilch ($\eta_{ME,\,milk}$ = 5.0 MJ kg^{-1})
$x_{ME,\,milk}$ Anteil von ME zur Milchproduktion ($x_{ME,\,milk}$ = 0.7 MJ MJ^{-1})
$w_{piglet,\,end}$ Masse der SFerkel beim Absetzen ($w_{piglet,\,fin}$ = 8 kg SFerkel^{-1})
$w_{piglet,\,start}$ Geburtsmasse der SFerkel ($w_{piglet,\,start}$ = 1,5 kg SFerkel^{-1})

Die Anzahl der zu säugenden Ferkel wird anhand der Zahlen der lebend geborenen und der abgesetzten Ferkel geschätzt:

$$n_{piglet,\,n} = \frac{1}{2} \cdot \left(n_{piglet,\,n,\,b} + n_{piglet,\,n,\,w}\right) \qquad (8)$$

mit
n_{piglet} Anzahl der zu säugenden Saugferkel pro Wurf, n-te Wurfnummer (in SFerkel ZSau^{-1} ZWZ^{-1})
$n_{piglet,\,b}$ Anzahl der lebend geborenen Saugferkel pro Wurf, n-te Wurfnummer (in SFerkel ZSau^{-1} ZWZ^{-1}) [3]

[3] b: born; w: weaned

$n_{\text{piglet, w}}$ Anzahl der abgesetzten Saugferkel pro Wurf, n-te Wurfnummer (in SFerkel ZSau^{-1} ZWZ^{-1})

ME aus Abbau der Körpermasse

Während der Säugezeit und bei hohen Wurfnummern treten Lebendmasseverluste auf. In solchen katabolen Phasen wird Körpermasse zur Deckung des Energiebedarfs „eingeschmolzen". Die bei negativem Wachstum freiwerdende ME-Menge errechnet sich aus dem Massenverlust und dem Energiegehalt der eingeschmolzenen Körpermasse. Dieser beträgt nach Noblet et al. (1990) 13 bis 17 MJ kg^{-1}.

Das Modell verwendet einen ME-Gehalt von 15 MJ kg^{-1}.

Für Lebensabschnitte mit Lebendmasseverlusten gilt dann

$$\Sigma ME_{\text{bs, n, loss}} = \left(w_{\text{bs, n, start}} - w_{\text{bs, n, end}}\right) \cdot \eta_{\text{ME, body}} \quad (9)$$

mit

$\Sigma ME_{\text{bs, n, loss}}$ kumulative ME-Freisetzung für Lebensabschnitte (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} ME)

$\Delta w_{\text{bs, n, start}}$ Lebendmasse zu Beginn des Lebensabschnitts (in kg ZSau^{-1} ZWZ^{-1})

$\Delta w_{\text{bs, n, end}}$ Lebendmasse am Ende des Lebensabschnitts (in kg ZSau^{-1} ZWZ^{-1})

$\eta_{\text{ME, body}}$ ME-Gehalt der eingeschmolzenen Körpermasse ($\eta_{\text{ME, body}}$ = 15 MJ kg^{-1})

Für die Berechnung der Futtermengen werden die Teilwirkungsgrade (siehe Gleichung (4)) berücksichtigt. GfE (2006) gibt deshalb für die Einsparung von Futter ein Energieäquivalent von 25 MJ kg^{-1} an.

2.3 Berechnung der Ausscheidungen

2.3.1 Methan aus der Verdauung

Die Bestimmung von Methan (CH_4) aus der Verdauung erfolgt für jedes Futter getrennt nach den Vorgaben von Kirchgeßner et al. (1991) und Kreuzer et al. (1991) für jeden Tag und jedes Futter:

$$E_{\text{CH4, k}} = b_1 \cdot m_{\text{BFS, k}} \quad (10)$$

mit

$E_{\text{CH4, k}}$ CH_4-Emissionsrate bei einem gegebenen Futter k (in kg ZSau^{-1} d^{-1} CH_4)

b Koeffizient (b = 0,020 kg kg^{-1} CH_4)

$m_{\text{BFS, k}}$ zur Verfügung stehende bakteriell fermentierbare Substanz (BFS) in einem Futter k (in kg ZSau^{-1} d^{-1})

Die BFS-Gehalte werden für jedes Futter in Abschnitt 2.5 angegeben.

2.3.2 Ausscheidungen von Stickstoff mit Kot und Harn

Die Stickstoffmengen in Kot und Harn müssen getrennt bestimmt werden, da Harn-N (TAN: total ammoniacal nitrogen) praktisch gänzlich zu NH_3 abgebaut wird. Die Emissionen der anderen Stickstoffspezies (Lachgas, Stickstoffmonoxid, Distickstoff) werden auf die Gesamtmenge von Kot- und Harn-N bezogen. Sie ergeben sich aus den folgenden Massenbilanzen (hier für Zuchtsauen):

$$N_{\text{excr, bs}} = M_{\text{feed, bs}} \cdot x_{\text{N, feed, bs}} - \Delta w_{\text{bs}} \cdot x_{\text{N, ret, bs}} \quad (11a)$$

$$TAN_{\text{excr, bs}} = M_{\text{feed, bs}} \cdot x_{\text{N, feed, bs}} \cdot x_{\text{dig, N, bs}} - \Delta w_{\text{bs}} \cdot x_{\text{N, ret, bs}} \quad (11b)$$

mit

$N_{\text{excr, bs}}$ N-Menge in den Ausscheidungen der Zuchtsau (in kg ZSau^{-1} ZWZ^{-1})

$M_{\text{feed, bs}}$ Masse des aufgenommenen Futters (in kg ZSau^{-1} ZWZ^{-1})

$x_{\text{n, feed, bs}}$ N-Gehalt des Zuchtsauenfutters (in kg kg^{-1})

Δw_{bs} Gesamt-Lebendmassenzuwachs von Zuchtsau und Saugferkeln (in kg ZSau^{-1} ZWZ^{-1})

$x_{\text{N, ret, bs}}$ N-Gehalt im Zuwachs von Zuchtsau und Saugferkeln (jeweils in kg kg^{-1})

$TAN_{\text{excr, bs}}$ TAN-Menge in den Ausscheidungen der Zuchtsau (in kg ZSau^{-1} ZWZ^{-1})

$x_{\text{dig, N, fp}}$ Verdaulichkeit von N im Sauenfutter (in kg kg^{-1})

Der N-Gehalt der Zuchtsau lässt sich aus den Daten in Beyer et al. (1993) zu 0,0251 kg kg^{-1} berechnen. LfL (2013) sowie DLG (2013) setzen für Zuchtschweine, Mastschweine und Ferkel einen einheitlichen Wert von 0,0256 kg kg^{-1} an.

Diese Arbeit verwendet einen Wert von 0,0256 kg kg^{-1} N.

2.3.3 Ausscheidungen an organischer Masse (volatile solids, VS)

Die Ausscheidungen von organischer Masse (VS) werden zur Berechnung der CH_4-Emissionen aus Stall und Lager und ggf. Biogasanlage benötigt. Die Menge an VS wird für alle Tiere wie folgt berechnet (Dämmgen et al., 2011):

$$VS = M_{\text{feed}} \cdot \left(1 - X_{\text{DOM}}\right) \cdot \left(1 - X_{\text{ash, feed}}\right) \quad (12)$$

mit

VS Ausscheidung an organischer Masse (in kg Tier^{1} TM)

M_{feed} Futteraufnahme (in kg Tier^{-1} TM)

X_{DOM} mittlere Verdaulichkeit der organischen Masse (in kg kg^{-1})

$X_{\text{ash, feed}}$ mittlerer Aschegehalt des Futters (in kg kg^{-1})

Beide Futtereigenschaften (Verdaulichkeit und Aschegehalt) sind bekannt und im Abschnitt 2.5 tabelliert. Die Inhaltsstoffe der Sauenmilch sind nahezu vollständig verdaulich. Als Folge sind die VS-Ausscheidungen der Saugferkel klein gegenüber denen der Sauen; sie werden vernachlässigt.

2.4 Formulierung kohärenter Eingangsdatensätze

2.4.1 Lebendmassen der Zuchtsauen im Verlauf einer Zwischenwurfzeit

Experimentelle Daten und ihre Bearbeitung

Vollständige Zeitreihen der Lebendmassen von Zuchtsauen wurden in der Literatur nicht gefunden. Vier Datenpunkte je Wurfnummer lassen sich aus Heinze et al. (2008) ableiten, indem man die dort in den Tabellen 6 und 7 angegebenen Lebendmassen mittelt und aus den Mittelwerten über ein Polynom 2. Ordnung einen geglätteten Datensatz erzeugt. Für die Tage **A, D** und **E** in Abbildung 1 sind diese Datensätze in den Abbildungen 2 bis 4 zusammengestellt.

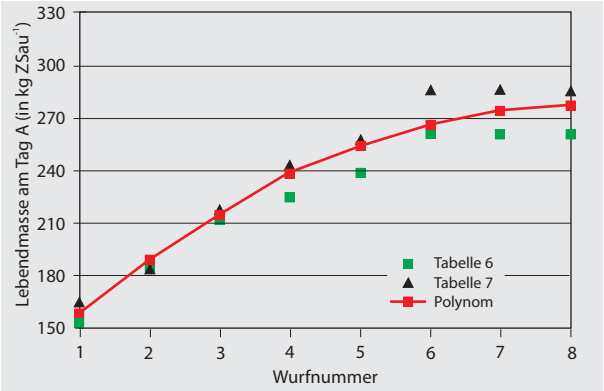

Abbildung 2
Lebendmassen am Tag **A.** Daten aus Heinze et al. (2008)

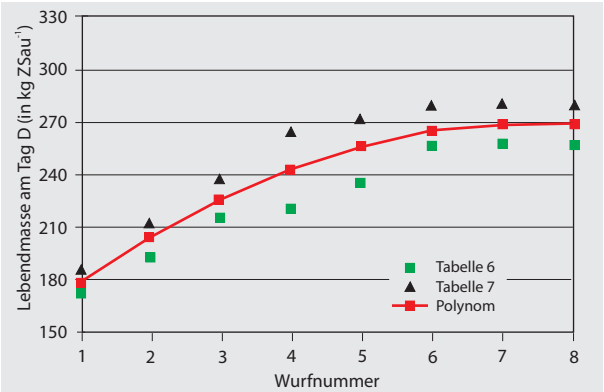

Abbildung 3
Lebendmassen am Tag **D.** Daten aus Heinze et al. (2008)

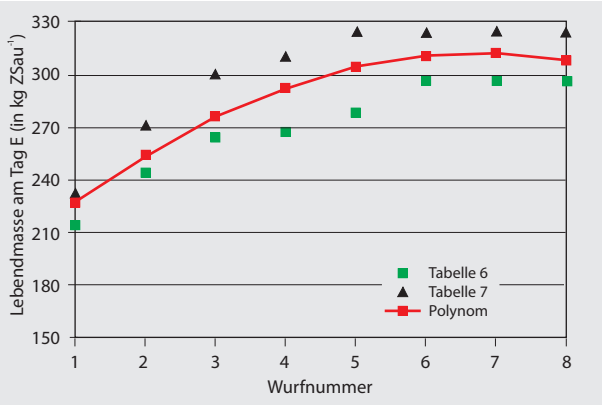

Abbildung 4
Lebendmassen am Tag **E.** Daten aus Heinze et al. (2008)

Die Lebendmasse an Punkt **F** (vor der Geburt) wird durch lineare Extrapolation der Strecke von **D** nach **E** über **E** hinaus erhalten.

Die Masse am Punkt **G** ergibt sich aus der Lebendmasse am Punkt **F** durch Abzug der Konzeptionsprodukte wie folgt:

$$w_G = w_F - \left(w_{pla} + n_{piglet,\,b} \cdot w_{piglet,\,b}\right) \tag{13}$$

mit

w_G	Lebendmasse der Zuchtsau nach der Geburt (Punkt **G**) (in kg ZSau^{-1})
w_F	Lebendmasse der Zuchtsau vor der Geburt (Punkt **F**) (in kg ZSau^{-1})
w_{pla}	Masse der ausgeschiedenen Konzeptionsprodukte ohne Ferkel (Plazenta und Flüssigkeiten) (w_{pla} = 7,5 kg ZSau^{-1})
$n_{piglet,\,b}$	Zahl der geborenen Ferkel pro Wurf (in Ferkel)
$w_{piglet,\,b}$	Masse eines geborenen Ferkels ($w_{piglet,\,b}$ = 1,5 kg Ferkel^{-1})

Massen der Trächtigkeitsprodukte

Aus Tabelle 4.13 in GfE (2006) lässt sich ableiten, dass die Masse der Trächtigkeitsprodukte unabhängig von der Wurfnummer und der Zahl der Ferkel mit 25 kg ZSau^{-1} angesetzt wird. Beyer et al. (1993) sowie Heinze et al. (2008) bestätigen und begründen diesen Wert (entspricht bei 12 Ferkeln und etwa 7 kg für Plazenta und Flüssigkeiten einer Lebendmasse der Ferkel von 1,5 kg SFerkel^{-1}).

Beyer et al. (1993) geben für Ferkel Geburtsmassen von 1,1 bis 1,6 kg SFerkel^{-1} an.

McPherson et al. (2004) modellieren die Massen der Föten. Eine rasche Massenzunahme setzt nach etwa 60 Tagen ein, deutlich erkennbar an der Masse von Protein in den Föten. Die Endmasse liegt bei 1,5 kg Fötus^{-1}.

Unsere Rechnungen gehen von einer Lebendmasse der geborenen Ferkel von 1,5 kg SFerkel^{-1} aus.

Noblet et al. (1990) geben für 12 Föten für Plazenta und Flüssigkeiten eine Masse von 7,4 kg ZSau^{-1} an. Die Angaben lassen keine weitere Skalierung zu. Beyer et al. (1994)

berichten über Mengen an Fruchthäuten und -wasser bei der Geburt (Summe im Mittel 0,36 kg Fötus^{-1}). Ihre Angaben stützen den Wert von Noblet et al. (1990). Werte für die Masse der Nachgeburt wurden bisher nicht gefunden. Die Rechnung in Hansen et al. (2014) ist nicht nachvollziehbar.

In dieser Arbeit wird mit einem Wert von 7,5 kg ZSau^{-1} gerechnet.

Massenverlust beim Säugen

Der Massenverlust beim Säugen für eine Wurfnummer n ergibt sich als Differenz zwischen den Lebenmassen, d an Punkt $\mathbf{G_n}$ und dem darauf folgenden Punkt $\mathbf{A_{n+1}}$. Die Werte (siehe Tabelle 2) erscheinen plausibel (siehe Anhang 1).

Lebendmassen beim Belegen (Zeitpunkt B) und beim Futterwechsel (Zeitpunkt D)

Die Lebendmassen werden durch lineare Interpolation aus den Massen für die Punkte **A** (Absetzen) und **D** (Mitte niederragend) und den Dauern der Lebensabschnitte gewonnen.

Relevante Massen – der resultierende Datensatz

Aus den Angaben für die Zeitpunkte **A, D** und **E** (siehe Abbildungen 2 bis 4) werden „geglättete" Werte abgeleitet (über Polynome). Extrapoliert wurde der Wert für **F**, interpoliert die Werte für **B** und **C.** Sie sind mit den berechneten Lebendmassenverlusten bei der Geburt (Konzeptionsprodukte) sowie die Massenverluste während der Laktation in Tabelle 2 angeführt.

2.4.2 Schätzung von Leerkörpermassen

Die Berechnung der Erhaltungsenergie setzt die Kenntnis von Leerkörpermassen voraus. GfE (2006) nennt keine Daten, die die Ableitung von Leerkörpermassen aus Lebendmassen bei Sauen erlauben.

Eine Auswertung der in Beyer et al. (1993) veröffentlichten Datensätze ergab für das Verhältnis von Leerkörpermasse zu Lebendmasse, x_{eb}, einen Wert von 0,95 kg kg^{-1}.

Everts und Dekker (1995) leiten aus ihren Datensätzen die Beziehung (14) ab:

$$w_{\mathrm{bs,\,eb}} = a + b \cdot w_{\mathrm{bs,\,live}} \qquad (14)$$

mit

$w_{\mathrm{bs,\,eb}}$	Leerkörpermasse (in kg ZSau^{-1})
a	Konstante (a = -2,04 kg ZSau^{-1})
b	Koeffizient (b = 0,935 kg kg^{-1})
$w_{\mathrm{bs,\,live}}$	Lebendmasse (in kg ZSau^{-1})

$R^2 = 0{,}98$

Die daraus erhaltenen Verhältnisse von Lehrkörpermasse zu Lebendmasse, x_{eb}, ändern sich geringfügig mit der Lebendmasse, d und nehmen Werte von 0,922 kg kg^{-1} bei einer Lebendmasse von 160 kg ZSau^{-1} und von einen Wert von 0,928 kg kg^{-1} für eine solche von 300 kg ZSau^{-1} an.

Dourmad et al. (2008) und Hansen et al. (2014) verwenden einen Wert von 0,96 kg kg^{-1} in ihren Sauenmodellen.

Diese Arbeit verwendet einen Wert für x_{eb} von 0,95 kg kg^{-1}.

2.4.3 Ferkelzahlen als Funktion der Wurfnummer

Für die Rechnungen werden benötigt:

- die Anzahl der geborenen Ferkel (einschl. Totgeburten) zur Berechnung des Lebendmassenverlustes während der Geburt,
- die Anzahl der lebend geborenen Ferkel, um in Kombination mit der Zahl der abgesetzten Ferkeln die Zahl der zu ernährenden Ferkel zu berechnen,
- die Anzahl der zu ernährenden Ferkel zur Berechnung der Milchmenge und
- die Anzahl der abgesetzten Ferkel als Bezugsgröße für die leistungsabhängigen Emissionen.

Tabelle 2

Relevante Lebendmassen zur Berechnung des ME-Bedarfs von Zuchtsauen (in kg ZSau^{-1}) als Funktion der Wurfnummer (gerundete Werte).

Tag	0	14	49	117	127	128	LM-Verluste	
Zeitpunkt	A	B, C	D	E	F	G	Geburt	Laktation
Wurf Nr.								
1		158	177	227	235	207	27,1	18,7
2	189	191	203	254	261	233	28,3	17,9
3	215	217	225	276	283	254	28,6	17,4
4	238	239	242	292	300	271	28,5	17,0
5	254	254	255	304	311	283	28,0	16,4
6	266	266	264	310	317	290	27,3	15,5
7	274	273	268	312	318	291	26,7	14,2
≥ 8	277	276	268	308	314	288	26,0	10,6

Lebend geborene Ferkel

Kohärente Praxisdaten zu Ferkelzahlen als Funktion der Wurfnummer fehlen weitgehend. Hilgers und Kremling (2013) geben experimentelle Werte für lebend geborene Ferkel als Funktion der Wurfzahl an. Aus diesen Werten wurde die in Abbildung 5 dargestellte (stetig gekrümmte) Beziehung (Polynom 4. Ordnung, $R^2 = 0{,}99$) abgeleitet.

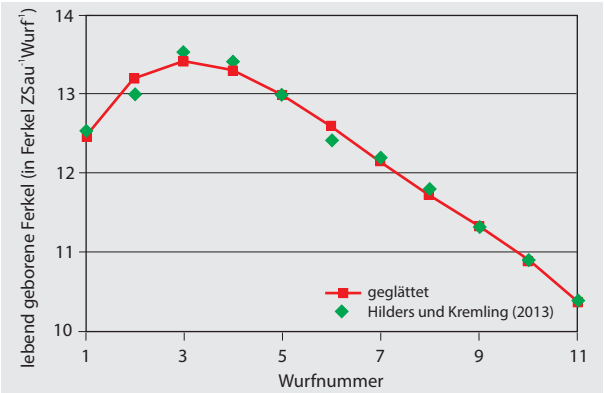

Abbildung 5
Zahl der lebend geborenen Ferkel als Funktion der Wurfnummer (nach Daten aus Hilgers und Kremling, 2013, grüne Rhomben)

Ferkelverluste bis zum Absetzen

Aus thüringischen Quellen sind die Zahlen für lebend geborene und abgesetzte Ferkel für bis zu 8 Würfen bekannt (SKBR, 2014). Abbildung 6 gibt die daraus erhaltenen Verluste, die berechneten Mittelwerte sowie eine daraus gewonnene stetige Funktion bis zu 8 Würfen wieder (Polynom 3. Ordnung; R^2 in Bezug auf die Mittelwerte 0,90). Eine solche Funktion wird in den wenigen anderen vorliegenden Arbeiten gestützt:

Hoy (o. J.) referiert: „In Jungsauenwürfen treten zumeist höhere Gesamtverluste je Wurf (ca. 1,3 Ferkel) als bei Altsauen im zweiten bis vierten Wurf (etwa 1,2 Ferkel) auf. Bei älteren Sauen steigen die Verluste allerdings wieder an. Die geringste Verlustrate haben die Sauen im 2. Wurf." Konkrete Werte werden nicht angegeben.

Welp (2014) formuliert: „In der Regel ist bei Altsauen (> 5. Wurf) ein höheres Verlustniveau als bei Jungsauen zu beobachten (English und Smith, 1975; Meyer, 2009). Damit einhergehend nimmt die Überlebensrate der Ferkel bei Sauen mit mehr als 5 Würfen ab (Kunz und Ernst, 1987; Hellbrügge, 2007)".

Hellbrügge et al. (2008) sowie Bonow (2016) belegen erhöhte Verluste mit zunehmender Wurfzahl (Abbildung 7). Diese Werte lassen sich nicht mehr in stetige Funktionen umwandeln. Die Höhe der Verluste liegt deutlich über den für Thüringen berichteten Daten.

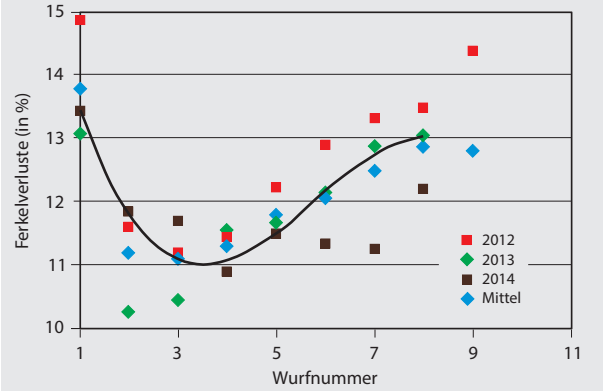

Abbildung 6
Ferkelverluste als Funktion der Wurfnummer (Thüringer Daten aus SKBR, 2014). Zu Einzelheiten siehe Text.

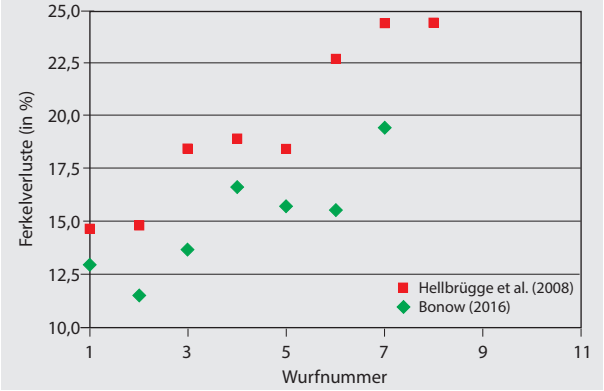

Abbildung 7
Ferkelverluste als Funktion der Wurfnummer. (Daten aus Hellbrügge et al., 2008, sowie Bonow, 2016). Zu Einzelheiten siehe Text.

Wir rechnen mit den anhand von Abbildung 6 geschätzten Verlusten, wie sie in Tabelle 3 zusammen gestellt sind. Der Anteil der Totgeburten liegt bei 5 %.

Tabelle 3
Ferkelverluste als Funktion der Wurfnummer (gerundet)

Wurfnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Verluste (in %)	13,5	11,8	11,1	11,1	11,5	12,2	12,7	13,0	13,0	13,0	13,0

Tabelle 4
Anzahl der insgesamt geborenen, lebend geborenen, zu fütternden und abgesetzten Saugferkel als Funktion der Wurfnummer (gerundet)

Wurfnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
geboren	13,1	13,9	14,1	14,0	13,7	13,2	12,8	12,3	11,9	11,4	10,9
lebend geboren	12,5	13,2	13,4	13,3	13,0	12,6	12,2	11,7	11,3	10,9	10,4
zu füttern	11,6	12,4	12,7	12,6	12,3	11,8	11,4	11,0	10,6	10,2	9,7
abgesetzt	10,8	11,6	11,9	11,8	11,5	11,1	10,6	10,2	9,9	9,5	9,0

Es ergeben sich die in Tabelle 4 angegebenen Ferkelzahlen: Die Zahl der lebend geborenen Ferkel orientiert sich an Hilgers und Kremling (2013) (rote Punkte in Abbildung 5): Die Zahl der insgesamt geborenen Ferkel berücksichtig den Totgeburtenanteil von 5 %. Mit Hilfe von Tabelle 3 werden die Zahlen der abgesetzten Ferkel ermittelt. Als Zahl der zu ernährenden Ferkel wird der Mittelwert von lebend geborenen und abgesetzten Ferkel gewählt.

2.4.4 Sauenzahlen innerhalb einer Herde als Funktion der Verluste - Alterstruktur der Herde

Die Zahl der Ferkel ist eine Funktion der Wurfnummer. In einer Sauenherde ist daher die Altersstruktur, d. h. der Anteil der Sauen in den jeweiligen Wurfnummern, von Bedeutung.

Alterstrukturen in Sauenherden werden z. B. in Müller (2011), SKBR (2014) und TVL (2016, 2017) angegeben. Alle deuten (in guter Näherung) auf einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen Wurfnummer und Tierzahlen hin. Abbildung 8 ist eine beispielhafte Auswertung thüringischer Datensätze. Die Ausgleichsgerade schneidet die Wurf-nummer-Achse *de facto* bei der Wurfzahl 9. (Die Original-datensätze enthalten jeweils geringe Anteile von Wurfnummern ≥ 9).

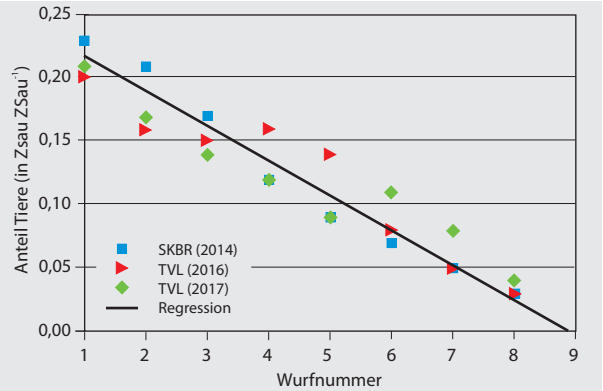

Abbildung 8
Altersstrukturen in thüringischen Sauenherden. Praxisdaten von 22 Betrieben (SKBR, 2014), 28 bzw. 30 Betrieben (TVL, 2016, 2017).

Altersstrukturen von Sauenherden mit geringeren und höheren maximalen Wurfnummern wurden in der Literatur bisher nicht gefunden.

Unter der Annahme, dass ein linearer Zusammenhang zwischen den Anteilen von Sauen in einer Herde als Funktion der Wurfnummer wie in Abbildung 8 verallgemeinerbar ist, lässt sich für Verteilung bei einer gegebenen maximalen Anzahl von Würfen j ein Dekrement c_j von Wurf zu Wurf ableiten, das der Gleichung (15) folgt.

$$c_j = \frac{1}{\frac{j}{2} \cdot (j+1)} \qquad (15)$$

mit

c_j Abnahme der Anteile an der Herde (in ZSau ZSau^{-1})
j maximale Wurfnummer

Der Anteil der Tiere einer Herde mit einer gegebenen maximalen Anzahl von Würfen berechnet sich dann zu

letzte Wurfnummer c_j
vorletzte Wurfnummer $2\,c_j$
drittletzte Wurfnummer $3\,c_j$
etc.

Das Ergebnis, d. h. der Zusammenhang zwischen Wurfnummer, Anteil der Tiere und maximaler Zahl der Würfe geht aus Abbildung 9 hervor.

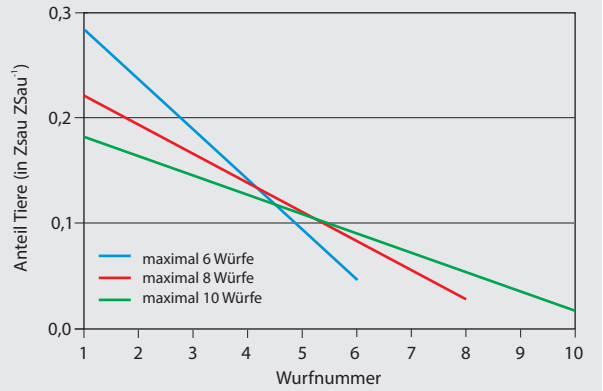

Abbildung 9
Linearisierte Zusammenhänge zwischen Wurfnummer und Altersstruktur einer Sauenherde bei gegebener maximaler Wurfzahl

Tabelle 5
Futtereigenschaften für Absatz- und Aufzuchtferkel (Standardfutter)

Tier Lebendmasse Quelle	kg Tier^{-1}	Absatzferkel 8-12 HKK	Aufzuchtferkel 12-20 HKK	Aufzuchtferkel 20-30 HKK
Trockenmasse	%	88,61	87,95	87,97
ME-Gehalt	MJ kg^{-1}	14,00	13,60	13,40
GE-Gehalt	MJ kg^{-1}	16,70	16,77	16,77
XProtein	%	17,00	17,00	17,00
XFaser	%	2,86	3,50	4,00
XFett	%	5,22	5,12	5,24
XAsche	%	5,33	5,61	5,68
BFS	kg kg^{-1}	0,064	0,075	0,079
Verdaulichkeit Protein	kg kg^{-1}	0,758	0,752	0,747
Verdaulichkeit OM	kg kg^{-1}	0,852	0,838	0,828

Tabelle 6
Futtereigenschaften für Jungsauen zur Zucht (Standardfutter)

Tier Lebendmasse Quelle	kg JSau^{-1}	Jungsau 30-60 HKK	Jungsau 60-100 HKK	Jungsau > 100 HKK
Trockenmasse	%	87,30	87,49	87,63
ME-Gehalt	MJ kg^{-1}	13,00	13,00	13,00
GE-Gehalt	MJ kg^{-1}	17,84	17,65	17,41
XProtein	%	16,50	14,50	14,00
XFaser	%	4,50	5,00	5,50
XFett	%	4,25	5,59	6,85
XAsche	%	5,32	4,94	4,96
BFS	kg kg^{-1}	0,086	0,091	0,095
Verdaulichkeit Protein	kg kg^{-1}	0,807	0,791	0,779
Verdaulichkeit OM	kg kg^{-1}	0,852	0,831	0,819

Tabelle 7
Futtereigenschaften für Zuchtsauen (Standardfutter)

Tier Quelle		Säugefutter HKK	Tragefutter HKK	Geburtsfutter HKK
Trockenmasse	%	87,98	88,32	88,13
ME-Gehalt	MJ kg^{-1}	13,00	12,00	12,40
GE-Gehalt	MJ kg^{-1}	16,96	17,44	17,17
XProtein	%	16,00	13,50	14,12
XFaser	%	4,74	7,00	6,00
XFett	%	5,16	4,66	5,11
XAsche	%	5,62	4,96	5,65
BFS	kg kg^{-1}	0,087	0,149	0,096
Verdaulichkeit Protein	kg kg^{-1}	0,746	0,715	0,782
Verdaulichkeit OM	kg kg^{-1}	0,816	0,811	0,769

Tabelle 8
Mit Futter zu deckender ME-Bedarf einer Zuchtsau in einem Produktionszyklus. Wurfnummer 4, Lebensabschnitte wie in Abbildung 1. Alle Angaben in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1} (Werte gerundet)

Lebensabschnitt	Dauer (in d)	Erhaltung	Zuwachs	Konzeptions-produkte	Milchbildung	Summe
A bis **C**	14	374	10	1	0	385
C bis **D**	35	940	49	35	0	1024
D bis **F**	68	1977	721	98	0	2795
F bis **G**	10	314	106	25	0	445
G bis **A**	28	855	-425	0	2394	2824
Summe	155	4460	461	159	2394	7474

2.5 Futtereigenschaften

Die Futtereigenschaften für die verschiedenen Tierkategorien einschließlich zugehöriger Alters- bzw. Trächtigkeitsmodifikationen sind den Tabellen 5 bis 7 zu entnehmen. Alle Futter kommen im Prinzip mit den gleichen Bestandteilen aus. Die Zusammensetzungen entsprechen modernen Industriefuttern und wurden von H. Kleine Klausing (HKK) erarbeitet. (Zur Zusammensetzung der Futter siehe Anhang 2.)

3 Ergebnisse

3.1 ME-Bedarf von Sauen

3.1.1 ME-Bedarf einzelner Lebensabschnitte

Das detaillierte Sauenmodell gliedert den ME-Bedarf in fünf Abschnitte auf, für die jeweils der Bedarf für Erhaltung, Zuwachs, Entwicklung der Konzeptionsprodukte und Milchbildung errechnet wird. Tabelle 8 fasst diese Daten beispielhaft zusammen.

3.1.2 ME-Bedarf als Funktion der Wurfnummer

Die einzelnen Reproduktionszyklen unterscheiden sich hinsichtlich aller vier genannten Teilbeträge des ME-Bedarfs. Aus Tabelle 9 geht hervor, dass der ME-Bedarf ein Maximum bei dem fünften Wurf durchläuft.

3.2 Anzahl der abgesetzten Ferkel als Funktion der Nutzungsdauer

Die Produkte der Sauenhaltung sind in erster Linie absetzbare Ferkel. Für eine Herde von 100 Zuchtsauen wurden die Ferkelzahlen als Funktion der maximalen Wurfnummer errechnet. Abbildung 10 macht deutlich, dass deren Zahl bei 6 Würfen ein Maximum durchläuft. Hohe maximale Wurfzahlen sind also mit Einkommenseinbußen beim Verkauf verbunden. Dem stehen ein verringerter Futteraufwand und auch verringerte Kosten der Bestandesergänzung entgegen.

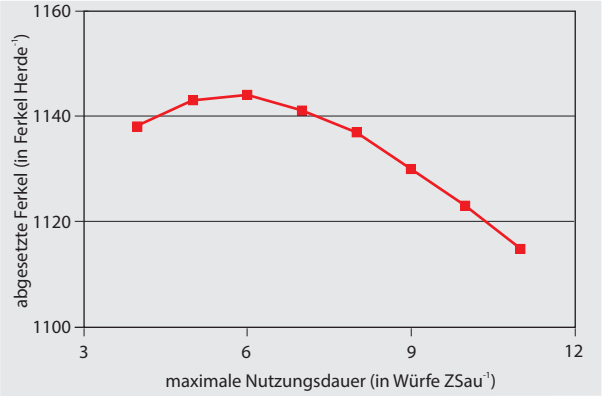

Abbildung 10
Zahl absetzbarer Ferkel pro ZWZ in einer Herde mit 100 Zuchtsauen als Funktion der Nutzungsdauer (d. h. der maximalen Wurfzahl)

3.3 Ausscheidungen der Herde

Betrachtet wird eine Herde von 100 Sauen mit den dazugehörigen Aufzuchtferkeln und Jungsauen mit unterschiedlichen Verlusten bei den Sauen und damit unterschiedlicher Herdenzusammensetzung. Die in den Abbildungen 11 und 12 dargestellten Ergebnisse der Modellbetrachtungen unterscheiden sich für die VS und CH_4 einerseits und N und TAN andererseits. Es muss aber berücksichtigt werden, dass die Zahl der absetzbaren Ferkel (siehe Abbildung 10) die eigentliche Bezugsgröße darstellt.

Tabelle 9
ME-Bedarf einer Zuchtsau als Funktion der Wurfnummer (in MJ ZSau^{-1} ZWZ^{-1})

Wurfnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ME-Bedarf	6568	7050	7340	7474	7522	7479	7377	7268	7195	7118	7027

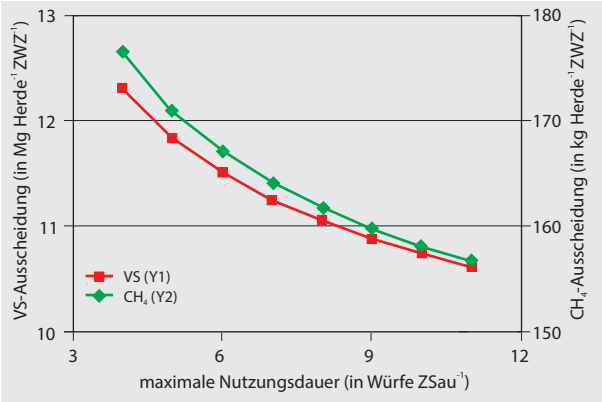

Abbildung 11
VS- und CH_4-Ausscheidungen einer Herde mit 100 Zuchtsauen (Sauen einschließlich zugehörigen Aufzuchtferkeln und Jungsauen) als Funktion der in der Herde erreichten maximalen Nutzungsdauer der Sauen

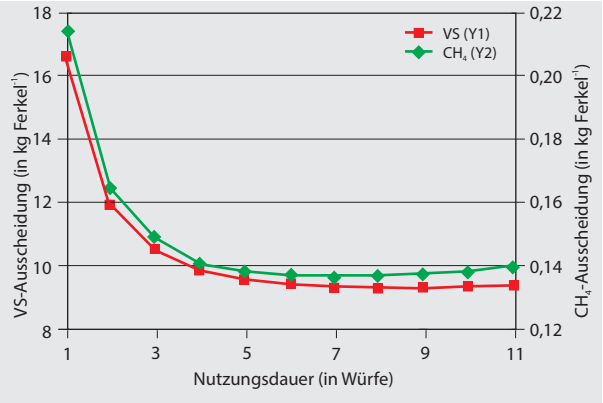

Abbildung 13
VS- und CH_4-Ausscheidungen je abgesetztes Ferkel **einer Sau** als Funktion der realisierten Würfe

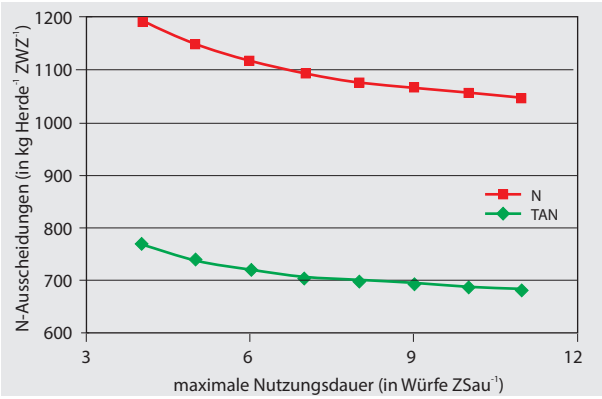

Abbildung 12
N- und TAN-Ausscheidungen einer Herde mit 100 Zuchtsauen (Sauen einschließlich zugehörigen Aufzuchtferkeln und Jungsauen) als Funktion der in der Herde erreichten maximalen Nutzungsdauer der Sauen

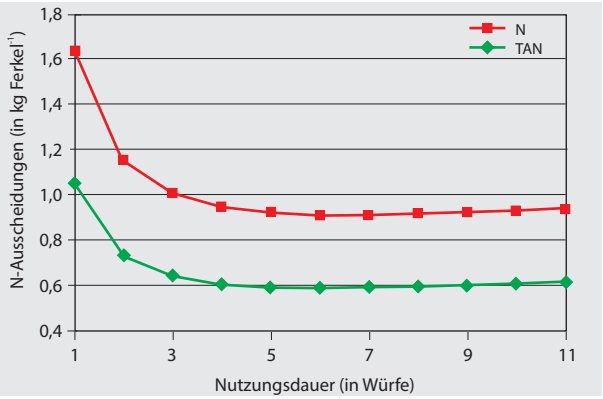

Abbildung 14
N- und TAN-Ausscheidungen je abgesetztes Ferkel **einer Sau** als Funktion der realisierten Würfe

3.4 Ausscheidungen je abgesetztes Ferkel

3.4.1 Ausscheidungen als Funktion der Lebensleistung

Die moderne Schweinefleischerzeugung ist mehrstufig organisiert. In der Vermehrungsstufe (Ferkelproduktion) werden die in der nachfolgenden Maststufe genutzten Mast-Hybriden erzeugt.

Für die Wirtschaftlichkeit der Ferkelproduktion ist neben der Zahl und der Lebendmasse der verkauften Ferkel pro Sau und Wurf und den zugehörigen Ferkelpreisen auch die Nutzungsdauer einer Sau, messbar an der Lebensleistung, d.h. der Zahl realisierter Würfe und der Zahl abgesetzter Ferkel je Wurf, wichtig.

Auch die „unproduktiven" Lebensabschnitte der Sau, d.h. ihre Lebensspannen als Aufzuchtferkel und als Jungsau müssen in die Betrachtung einbezogen werden. Dagegen sind die Futtermengen und Ausscheidungen des Basiszucht vernachlässigbar (Dämmgen et al., 2018a).

Die Abbildungen 13 und 14 veranschaulichen, welche Emissionen pro abgesetztem Ferkel auftreten, wenn man **eine Zuchtsau** betrachtet, deren Nutzungsdauer systematisch variiert wird.

Für das Emissionsgeschehen ergibt sich, dass auch die berechneten VS-, CH_4-, TAN und N-Ausscheidungen je abgesetztem Ferkel deutlich von der Nutzungsdauer der Sau abhängig sind. Unverkennbar ist: Erst ab dem 5. Wurf werden keine nennenswerten weiteren Abnahmen bei den Ausscheidungen je erzeugtes Ferkel beobachtet. Die Kurven in den Abbildungen 13 und 14 durchlaufen vielmehr bei Nutzungsdauern um 7 Würfe (VS und CH_4) bzw. 4 (N und TAN) ein flaches Minimum. Dies stellt somit gleichzeitig ein Optimum bezüglich der zu erwartenden Emissionen je erzeugtem Ferkel dar.

3.4.2 Ausscheidungen einer Herde als Funktion der Verluste bei den Zuchtsauen

Letztlich interessant sind die Ausscheidungen einer Zuchtsauenherde als Funktion der Verluste. Diese drücken

sich aus in der maximalen Wurfzahl, die in einer Herde erreicht wird, sofern – wie oben beschrieben – von einer konstanten Zahl von Verlusten je Wurf ausgegangen wird.

Die Abbildungen 15 und 16 zeigen die Emissionen je abgesetztem Ferkel, die in einer **Herde von 100 Zuchtsauen** als Funktion der maximalen Anzahl der realisierten Würfe auftreten. Die in der Herde erzielte Anzahl absetzbarer Ferkel (Abbildung 10) wird berücksichtigt; verringerte Emissionen je Tier und verringerte Tierzahlen je Herde können einander kompensieren oder gegenläufige Effekte bewirken. Eine Verbesserung der Tiergesundheit ist bei VS und CH_4 mit verringerten Ausscheidungen der Zuchtsauenherde verbunden (Abbildung 15). Entsprechende Effekte können bei N und TAN nur abgeschwächt beobachtet werden (Abbildung 16). Die Ausscheidungen bleiben ab einer Maximalen Nutzungsdauer von 8 Würfen praktisch unverändert.

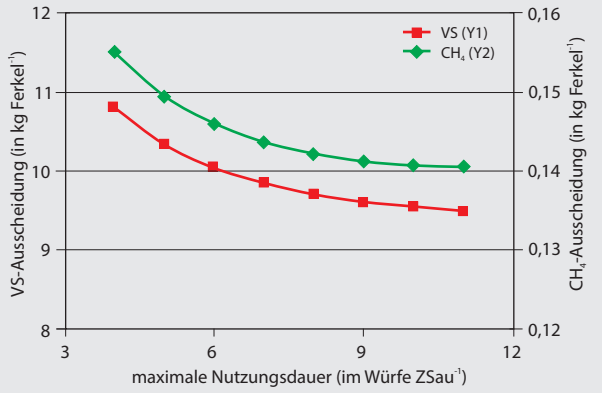

Abbildung 15
VS- und CH_4-Ausscheidungen je **abgesetztes Ferkel der Herde** als Funktion der in einer Herde erreichten maximalen Nutzungsdauer der Sauen

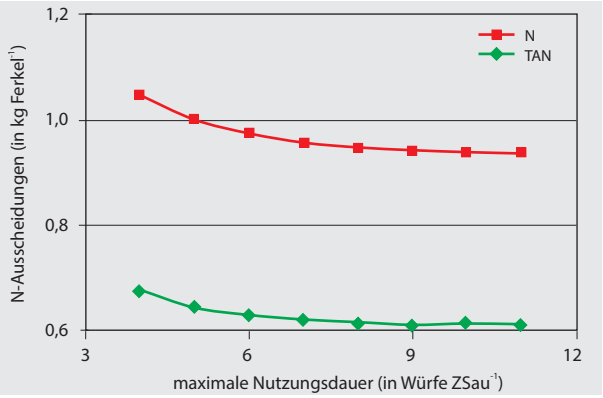

Abbildung 16
N- und TAN-Ausscheidungen je **abgesetztes Ferkel der Herde** als Funktion der in einer Herde erreichten maximalen Nutzungsdauer der Sauen

3.5 Fazit

Die Sauenhaltung trägt zu den CH_4-Emissionen der Landwirtschaft mit etwa 1,4 % bei (Rösemann et al., 2017). Der größere Anteil entfällt auf die Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management. Bedenkt man, dass die Zahl der maximal erreichten Würfe im Regelfall ≥ 5 bereits gängige Praxis ist (z. B. Hilgers und Kremling, 2013; TVL, 2016), so bleibt das mögliche Einsparpotenzial nur gering.

NH_3-Emissionen sind bei sonst gleichbleibenden Bedingungen (Stall, Lager, Ausbringung) den TAN-Ausscheidungen proportional. Ein nennenswertes Einsparpotenzial ist zurzeit nicht erkennbar: Eine Verlängerung der Nutzungsdauer von Zuchtsauen über die derzeit üblichen Wurfzahlen hinaus ist nicht emissionsrelevant.

4 Diskussion

4.1 Zusammenfassende Bewertung

Die Bundesrepublik Deutschland ist einer der attraktivsten Absatzmärkte für Schweinefleisch. Neben dem großen und kaufkräftigen Binnenmarkt tragen die stabilen Wirtschaftsverhältnisse sowie die zentrale Lage Deutschlands innerhalb der EU dazu bei. Die nationale Ferkelerzeugung, notwendiger Bestandteil jeder Schweinefleischerzeugung, wird trotz der hohen Zahl importierter Ferkel auch zukünftig eine bedeutende Rolle spielen (Bonow, 2016; Offermann et al., 2016).

Die vorliegenden Modellrechnungen konzentrieren sich auf die zu erwartenden Emissionen je abgesetztes Ferkel in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer der Muttertiere. Sie zeigen die Auswirkung einer verbesserten Tiergesundheit auf die Verringerung produktbezogener Ausscheidungen (und damit auch auf Futter und Futterkosten) und somit gleichzeitig auf die produktbezogene Umweltbelastung durch Ausscheidungen und Emissionen.

Den Autoren ist keine Arbeit bekannt, die sich bisher einer solchen Fragestellung gewidmet hat.

4.2 Wert der methodischen Arbeit

Die Erarbeitung eines eigenen methodischen Ansatzes war notwendig, der sowohl die differenzierte Fütterung und Haltung der Muttertiere in Abhängigkeit vom Alter sowie Trächtigkeits- und Laktationsstadium einschließlich dem Alter der Ferkel als auch die Tierverluste bzw. die Nutzungsdauer detailliert umfasst. Die Berücksichtigung neuerer Ansätze in der Sauenfütterung mit Einsatz eines spezifischen Geburtsfutters erhöht die zugehörige Komplexität des verwendeten Zuchtsauenmodells zusätzlich. Nur mit Hilfe des neuen Ansatzes lassen sich die nichtlinearen Zusammenhänge zwischen Alter der Zuchtsauen, Produktivität einer Herde und Ausscheidungen errechnen und bewerten.

4.3 Unsicherheit und Repräsentativität

Die eingesetzten *Methoden* zur Berechnung des ME-Bedarfs und der Ausscheidungen von VS, N und TAN sind Standardverfahren in der Tierernährung. Das Verfahren zur Bestimmung der CH_4-Emissionen aus der Verdauung erlaubt es, Futtereigenschaften spezifisch abzubilden.
Die Verfahren werden hier eingesetzt, um Vergleichswerte zu erzeugen, d. h., überall wird mit denselben Unsicher-

heiten gearbeitet. Trends werden jedoch zutreffend wiedergegeben.

Aussagekräftige experimentelle *Datensätze* zu den Lebendmassen von Zuchtsauen als Funktion der Zeit im Reproduktionszyklus und für unterschiedliche Trächtigkeiten sind offenbar nicht verfügbar. Hier besteht ein erheblicher Forschungsbedarf.

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgenommenen Schätzungen sind durch Vervollständigungen experimenteller Werte entstanden. Sie bilden die Wirklichkeit hinreichend gut ab. Weitere Annahmen zu wichtigen Parametern wurden aus der verfügbaren Literatur abgeleitet.

Repräsentativ sind die Aussagen dieser Modellrechnungen nur hinsichtlich der zu beobachtenden Trends.

Wünschenswert wäre eine Validierung der vorliegenden Ergebnisse mit Hilfe weiterer experimenteller Datensätze.

4.4 Ausblick

Vor dem Hintergrund der aktuell in der deutschen Ferkelerzeugung zu beobachtenden weiteren Zunahme hyperfruchtbarer Jungsauen vor allem auf dänischer Zuchtbasis (Bonow, 2016; TVL, 2016, 2017), wäre zusätzlich eine mehrjährige versuchsbegleitende Datenerhebung mit diesen neueren Sauen-Genetiken (DanSau) *in praxi* wünschenswert.

Dänische Schweinezüchter berichteten bereits vor geraumer Zeit, dass es möglich ist, mehr als 30 abgesetzte Ferkel pro Sau und Jahr zu erzeugen (Pedersen, 2010). Es darf an dieser Stelle daran erinnert werden, dass noch vor ca. 15 Jahren als Produktionsziel 25 abgesetzte Ferkeln pro Sau und Jahr genannt wurde (Brade und Flachowsky, 2006).

Eine weiter zunehmende Wurfgröße dürfte viele Nebenwirkungen haben, etwa auf die Körpermasseveränderungen während der Laktation einer Sau, auf die Gesundheit und realisierbare Nutzungsdauer sowie auf die Haltung solcher hyperfruchtbaren Sauen und das zugehörige Management der Abferkeleinheiten. Vor diesem Hintergrund und wegen der in unserer Gesellschaft zunehmend lauter werdenden Kritik an Höchstleistungen in der tierischen Produktion bleibt eine Fortführung der begonnenen Arbeiten zu umweltrelevanten Emissionen in der Erzeugung von Schweinefleisch auch zukünftig angezeigt.

Anhang 1

Zur Plausibilität der Lebendmasseverluste während der Laktation

In Tabelle 2 werden Lebendmasseverluste während der Laktation von 18,7 kg ZSau^{-1} bis 10,6 kg ZSau^{-1} errechnet. Die folgende Zusammenstellung von Literaturdaten lässt erkennen, dass diese Daten plausibel sind.

Noblet et al. (1990) lassen den Schluss zu, dass bei primiparen Sauen beim Säugen Lebendmasseverluste von im Mittel 15 kg ZSau^{-1} anzusetzen sind. Unabhängig von der Wurfnummer erwähnt GfE (2006) Verluste zwischen 5 und 20 kg ZSau^{-1}, wobei Verluste von „mehr als 10 bis 20 kg zu vermeiden sind."

Die in Beyer et al. (1993) angegebenen Datensätze enthalten verwertbare Informationen über Verluste (Messwerte) für die Wurfnummern 1 bis 8 in Höhe von 14 bis 16 kg ZSau^{-1}.

Aherne (2001) fand einen Massenverlust von (umgerechnet) 10 kg ZSau^{-1} bei einer 150 kg schweren Sau mit 10 Ferkeln.

Pedersen et al. (2016) beobachteten Massenverluste vom 2ten bis zum 28ten Tag in der Höhe von 12 und 15 kg ZSau^{-1} bei unterschiedlicher Fütterung.

Eine Auswertung von Daten für 1677 deutschen und slowakischen Sauen ergab die in Abbildung 2 dargestellte Häufigkeitsverteilung. Diese war praktisch unabhängig von der Wurfnummer (Thaker und Bilkei, 2005).

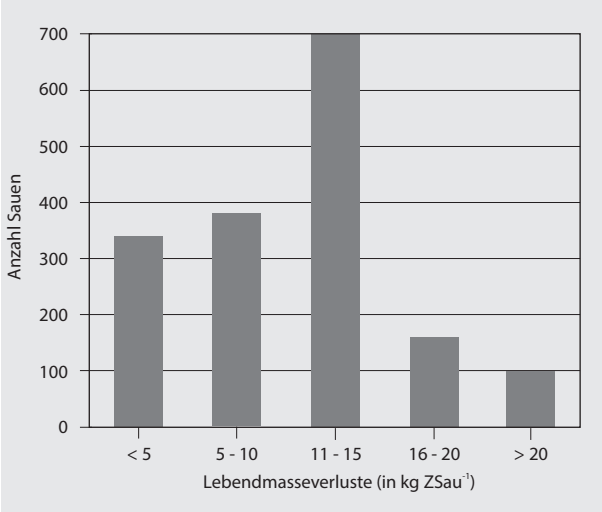

Abbildung 17
Häufigkeitsverteilung der Lebendmasseverluste bei säugenden Sauen (Daten aus Thaker und Bilkei, 2005)

Die Durchsicht der Literaturdaten ergibt, dass die Lebendmasseverluste bei gegebener Rasse und Wurfnummer auch tierindividuell sehr stark variieren (siehe auch Diskussion in Heinze et al., 2008 sowie in Thaker und Bilkei, 2005).

Anhang 2

Futterzusammensetzungen

Tabelle A1
Aufzuchtferkel, Standardfutter

Tier Masse Quelle	kg Tier⁻¹	Absatzferkel 8-12 HKK	Aufzuchtferkel 12-20 HKK	Aufzuchtferkel 20-30 HKK
Gerste erhitzt	% FM	10,00	10,00	
Gerste vierzeilig	% FM	10,00	17,38	28,16
Mais	% FM	13,91	6,10	1,71
Sojaextraktionsschrot getoastet 49	% FM	7,53	14,90	14,68
Sojaöl	% FM	3,33	3,26	3,39
Weizen	% FM	40,00	40,00	40,00
Weizen-Kleie	% FM		3,00	7,00
Sojaproteinkonzentrat	% FM	5,00		
Ca-Phosphat	% FM	0,81	0,73	0,55
Kohlensaurer Kalk	% FM	0,95	1,32	1,39
Viehsalz	% FM	0,51	0,59	0,57
Methionin	% FM	0,28	0,21	0,18
Lysin HCl	% FM	0,77	0,64	0,57
Threonin	% FM	0,31	0,29	0,25
Tryptophan	% FM	0,11	0,08	0,06
Premix Ferkel	% FM	1,00	1,00	1,00
Ameisensäure	% FM	0,50	0,50	0,50
Summe	% FM	100	100	100

Tabelle A2
Jungsauen F1, Standardfutter

Tier Masse Quelle	kg Tier⁻¹	Jungsau 30-60 HKK	Jungsau 60-100 HKK	Jungsau 100-150 HKK
Gerste vierzeilig	% FM	20,00	20,00	39,88
Rapsextraktionsschrot	% FM	8,00	10,00	12,00
Sojaextraktionsschrot getoastet 44	% FM	10,14	2,67	1,75
Sojaöl	% FM	2,48	3,67	4,98
Weizen	% FM	53,75	51,43	32,92
Weizen-Kleie	% FM	2,77	9,95	6,40
Ca-Phosphat	% FM	0,31		
Kohlensaurer Kalk	% FM	1,22	1,08	1,07
Viehsalz	% FM	0,45	0,45	0,42
Methionin	% FM	0,01		
Lysin HCl	% FM	0,29	0,22	0,07
Threonin	% FM	0,08	0,03	
Premix Sau	% FM	0,50	0,50	0,50
Summe	% FM	100	100	100

Tabelle A3
Zuchtsauen F1, Standardfutter

Tier Status Quelle		Sau laktierend HKK	Sau tragend HKK
Gerste vierzeilig	% FM	20,00	20,00
Rapsextraktionsschrot	% FM	8,00	12,00
Sojaextraktionsschrot getoastet 44	% FM	10,18	0,58
Sojaöl	% FM	3,89	2,45
Trockenschnitzel	% FM		12,20
Weizen	% FM	45,45	42,10
Weizen-Kleie	% FM	9,38	9,26
Ca-Phosphat	% FM	0,28	
Kohlensaurer Kalk	% FM	1,35	0,80
Viehsalz	% FM	0,58	
Methionin	% FM	0,01	
Lysin HCl	% FM	0,30	0,10
Threonin	% FM	0,08	
Tryptophan	% FM	0,01	
Premix Sau	% FM	0,50	0,50
Summe	% FM	100	100

Literatur

Aherne F (2001) Feeding the lactating sow [online]. Zu finden in <http://porkgateway.org/wp-content/uploads/2015/07/feeding-the-lactating-sow1.pdf> [zitiert am 10.04.2018]

Beyer M, Jentsch W, Hoffmann L, Schiemann R (1993) Untersuchungen zum Energie- und Stickstoffumsatz von graviden und laktierenden Sauen sowie von Saugferkeln. : 1. Mitt. Versuchsplan und Ergebnisse zur Lebendmasse-entwicklung von graviden, güsten und laktierenden Sauen sowie zu Reproduktionsleistungen in Gravidität und Laktation. Arch Anim Nutr 44:293-315

Beyer M, Jentsch W, Hoffmann L, Schiemann R, Klein M (1994) Untersuchungen zum Energie- und Stickstoffumsatz von graviden und laktierenden Sauen sowie von Saugferkeln. : 4. Mitt. Chemische Zusammensetzung und Energiegehalt der Konzeptionsprodukte, der reproduktiven Organe und der Lebendmassezunahmen und -abnahmen bei graviden und lakierenden Sauen. Arch Anim Nutr 45:7-36

Bonow J (2016) Fruchtbarkeitsanalyse verschiedener Schweinegenotypen [online]. Zu finden in <https://edoc.ub.uni-muenchen.de/19811/1/Bonow_Juliane.pdf> [zitiert am 10.04.2018]

Brade W, Flachowsky G (eds) (2006) Schweinezucht und Schweinefleischerzeugung : Empfehlungen für die Praxis. Braunschweig : FAL, 247p, Landbauforsch Völkenrode SH 296

Dämmgen U, Amon B, Gyldenkærne S, Hutchings NJ, Kleine Klausing H, Haenel H-D, Rösemann C (2011) Reassessment of the calculation procedure for the volatile solids excretion rates of cattle and pigs in the Austrian, Danish and German agricultural emission inventories. Landbauforsch 61(2):115-126

Dämmgen U, Brade W, Meyer U, Haenel H-D, Rösemann C, Flessa H, Webb J, Strogies M, Schwerin M (2016) Gaseous emissions arising from protein production with German Holsteins : an analysis of the energy and mass flows of the entire production chain ; 2. Emissions and reduction potentials. Landbauforsch Appl Agric Forestry Res 66(3):193-214, DOI:10.3220/LBF1480076929000

Dämmgen U, Haenel H-D, Rösemann C, Kleine Klausing H, Webb J, Brade W, Berk A (2017) Energy requirements and excretion rates of pigs used for reproduction (young sows, young boars, breeding sows and boars) - a compilation and assessment of models. Landbauforsch Appl Agric Forestry Res 67(2):53-70, DOI:10.3220/LBF1501498873000

Dämmgen U, Brade W,Haenel H-D, Rösemann C, KleineKlausing H, Webb J, Berk A (2018a) Pork production in Thuringia - management effects on ammonia and greenhouse gas emissions. 1. Depiction of the state in 2015. Landbauforsch Appl Agric Forestry Res, eingereicht

Dämmgen U, Brade W, Haenel H-D, Rösemann C, KleineKlausing H, Webb J, Berk A (2018b) Pork production in Thuringia - management effects on ammonia and greenhouse gas emissions.2. Reduction potentials and projections In Vorbereitung für Landbauforsch Appl Agric Forestry Res

DLG - Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2013) Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Frankfurt a M : DLG-Verl, 119 p, Arb DLG 199

Dourmad JY, Étienne M, Valancogne A, Dubois S, van Milgen J, Noblet J (2008) InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of sows. Anim Feed Sci Technol 143:372-386

English PR, Smith WJ (1975) Some causes of death in neonatal piglets. Vet Annu 15:95-104

EU – Europäische Kommission (2017) Luftverschmutzung durch Stickstoffdioxid : Kommission droht Deutschland mit Klage [online]. Zu finden in <https://ec.europa.eu/germany/news/luftverschmutzung-durch-stickstoffdioxid-kommission-droht-deutschland-mit-klage_de> [zitiert am 11.04.2018]

Everts H, Dekker RA (1995) Effect of protein supply during pregnancy and lactation on body composition of sows during three reproductive cycles. Livest Prod Sci 43:137-147

Feyera T, Theil PK (2017) Energy and lysine requirements and balances of sows during transition and lactation : a factorial approach. Livest Sci 201:50-57

GfE - Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2006) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. Frankfurt a M, DLG-Verlag, 247 p

Haenel H-D, Dämmgen U, Laubach P, Rösemann C (2011) Update of the calculation of metabolizable energy requirements for pigs in the German agricultural emission inventory. Landbauforsch 61(3):217-228

Hansen AV, Strathe AB, Theil PK, Kebreab E (2014) Energy and nutrient deposition in the reproduc-ing sow : model development and evaluation. J Anim Sci 92:2458-2472

Heinze A, Rau K, Ochrimenko W, Gernand E (2008) Untersuchungen zur Lebendmasseentwicklung und zur Konditionsbewertung bei Sauen im Reproduktionszyklus : Abschlussbericht [online]. Zu finden in <http://www.tll.de/ainfo/pdf/saur0608.pdf> [zitiert am 11.04.2018]

Heinze A, Mußlick M, Müller J (2009) Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Jungsauenaufzucht [online]. Zu finden in < https://www.tll.de/ainfo/pdf/ll_jsau.pdf> [zitiert am 11.04.2018]

Hellbrügge B (2007) Genetic aspects of piglet losses and the maternal behaviour of sows. Kiel : Univ, 119 p

Hellbrügge B, Tölle K-H, Bennewitz J, Henze C, Presuhn U, Krieter J (2008) Genetic aspects regarding piglet losses and the maternal behaviour of sows. : Part 1. Genetic analysis of piglet mortality and fertility traits in pigs. Animal 2:1273–1280

Hilgers J, Kremling R (2013) Lang lebe die Sau. top agrar 2013(7):S6-S8

Hoy S (o.J.) Saugferkelverluste reduzieren und Ferkelqualität verbessern : Häufigkeit, Ursachen und wirtschaftliche Bedeutung von Ferkelverlusten [online]. Zu finden in <http://www.schweinebesamung.de/pdf/saugferkelverluste.pdf> [zitiert am 11.04.2018]

Kirchgeßner M, Kreuzer M, Müller HL, Windisch W (1991) Release of methane and carbon dioxide by the pig. Agribiol Res 44:103-113

Kreuzer M, Kirchgeßner M, Roth FX (1991) Experimental evaluation of the capacity of the hindgut of sows to ferment purified dietary ingredients and of consequences in nitrogen metabolism. Adv Animal Physiol Anim Nutr 22:62-66

Kunz HJ, Ernst E (1987) Abgangsursachen bei Ferkeln. Züchtungskunde 59:135-145

LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2013) Basisdaten für die Ermittlung des Düngebedarfs für die Umsetzung der Düngeverordung, zur Berechnung des KULAP-Nährstoff-Saldos, zur Berechnung der Nährstoffbilanz nach Hoftor-Ansatz : Stand 2013 [online]. Zu finden in <http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/basisdaten_2013.pdf> [zitiert am 12.04.2018]

McPherson RL, Ji F, Wu G, Blanton JR, Kim SW (2004) Growth and compositional changes of fetal tissues in pigs. J Anim Sci 82:2534-2540

Meyer E (2009) Steigende Fruchtbarkeit erhöht die Anforderungen an das Management. Nutztierpraxis aktuell 29:34-38

Müller J (2011) Wie teuer wird das 30. Ferkel? : Grenzkostenentwicklung in der Ferkelerzeugung bei hoher Produktionsintensität. [online]. Zu finden in <https://scholar.google.com/scholar?client=firefox-b&biw=1920&bih=1035&um=1&ie=UTF-8&lr&q=related:n7xVkenPxrPkUM:scholar.google.com/> [zitiert am 27.06.2018]

Noblet J, Dourmad JY, Etienne M (1990) Energy utilization by pregnant and lactating sows : modeling of energy requirements. J Anim Sci 68:562-572

Offermann F, Banse M, Deblitz C, Gocht A, González-Mellado AA, Kreins P, Marquardt S, Osterburg B, Pelikan J, Rösemann C, Salamon P, Sanders J (2016) Thünen-Baseline 2015 - 2025: agri-economic projections for Germany. Landbauforsch Appl Agric Forestry Res 66(4):240-257

Pedersen BK (2010) New target : 35 pigs per sow per year [online]. Zu finden in <https://www.wattagnet.com/articles/4724-new-target-35-pigs-per-sow-per-year> [zitiert am 11.04.2018]

Pedersen TF, Sønderby Bruun T, Feyera T, Larsen UK, Theil PK (2016) A two-diet feeding regime for lactating sows reduced nutrient deficiency in early lactation and improved milk yield. Livest Sci 191:165-173

Rösemann C, Haenel H-D, Dämmgen U, Freibauer A, Döring U, Wulf S, Eurich-Menden B, Döhler H, Schreiner C, Osterburg B (2017) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2015 : Report on methods and data (RMD) Submission 2017. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 424 p, Thünen Rep 46 DOI:10.3220/REP1490877117000

SKBR - Schweinekontrolle und Beratungsring (2014) Jahresbericht 2014 [online]. Zu finden in <http://www.tvlev.de/cms/sites/default/files/downloads/publikationen/SKBR%20Jahresbericht%202014_0.pdf> [zitiert am 11.04.2018]

Thaker MYC, Bilkei G (2005) Lactation weight loss influences subsequent reproductive performance of sows. Anim Reprod Sci 88:309-318

TVL - Thüringer Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfung (2016) Bericht über Arbeit und Ergebnisse : Prüfungsjahr 2015 [online]. Zu finden in <http://www.tvlev.de/cms/sites/default/files/downloads/publikationen/TVL%20Jahresbericht%202015_Endfassung_01-04-16.pdf> [zitiert am 11.04.2018]

TVL - Thüringer Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfung (2017) Jahresbericht 2016 [online]. Zu finden in <http://www.tvlev.de/cms/sites/default/files/downloads/publikationen/TVL%20Jahresbericht%202016.pdf> [zitiert am 11.04.2018]

UBA – Umweltbundesamt (2017) Ammoniak-Emissionen [online]. Zu finden in <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/ammoniak-emissionen#textpart-1> [zitiert am 11.04.2018]

Welp S (2014) Untersuchungen zur Reduzierung der Ferkelverluste und zur Verbesserung der täglichen Zunahmen der Ferkel bei hochfruchtbaren Sauen [online]. Zu finden in <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2014/10855/pdf/WelpStephan_2014_02_28.pdf> [zitiert am 11.04.2018]