

Abschlussbericht

Modellierung der Emissionen von Treibhausgasen und Ammoniak bei der Schweinefleischerzeugung in Thüringen unter Berücksichtigung der gesamten Produktionskette

Projekt-Nr.: 25.10

Langtitel: **Modellierung der Emissionen von Treibhausgasen und Ammoniak bei der Schweinefleischerzeugung in Thüringen unter Berücksichtigung der gesamten Produktionskette**

Kurztitel: Emissionen bei der Schweinefleischerzeugung

Projektleiter: Dr. Thomas Bauer

Abteilung: Nutztierhaltung

Abteilungsleiter: Jens Hubrich

Laufzeit: 01.06.2017 bis 31.12.2018

Auftraggeber: Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft

Bearbeiter: Ulrich Dämmgen, Johann Heinrich von Thünen-Institut
Prof. Dr. Wilfried Brade, Tierärztliche Hochschule Hannover
Dr. Heinrich Kleine Klausling, EW Nutrition GmbH
Dr. Andreas Berk, Friedrich-Loeffler-Institut
Dr. Hans-Dieter Haenel, Johann Heinrich von Thünen-Institut
Dr. Jürgen Müller, TLL Jena
Dr. Simone Müller, TLL Jena
Dipl. Geogr. Claus Rösemann, Johann Heinrich von Thünen-Institut

November 2018

Dr. Frank Augsten
(komm. Präsident)

(Projektleiter)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	8
Summary	9
Übersicht über Symbole und Einheiten	10
Einheiten (allgemein)	10
Einheiten (speziell)	10
Symbole	10
Kürzel, Indizes	11
1 Einleitung und Zielstellung	15
1.1 Hintergründe/Beweggründe	15
1.2 Vorgehensweise	16
2 Material und Methoden	16
2.1 Übersicht	16
2.2 Tierkategorien – Bezeichnungen und Lebensabschnitte	18
2.3 Bezugszeitspannen	19
2.3.1 Mast	19
2.3.2 Ferkelproduktion	20
2.3.3 Pflanzenproduktion	20
2.4 Tierzahlen	20
2.4.1 Mastbetrieb	22
2.4.2 Ferkelerzeugung (Elternbetrieb)	24
2.4.2.1 Geborene, abgesetzte und zu ernährende Ferkel je Sau	24
2.4.2.2 Würfe zur Bereitstellung von Aufzuchtferkeln als Funktion der Altersstruktur der Sauenherde	26
2.4.2.3 Höhe der Verluste als Funktion der Leistung, Begrenzung der Wurfzahlen	27
2.4.2.4 Mittlere Lebensleistung einer Sauenherde	28
2.4.2.5 Anzahl der benötigten F1-Sauen, Altersstruktur der Sauenherde	29
2.4.2.6 Anzahl der benötigten F1-Jungsaunen	31
2.4.2.7 F1-Mastbörge	31
2.4.3 Basiszucht 1 – Eber zur Erzeugung von Masttieren	32
2.4.3.1 KB-Eber	32
2.4.3.2 Sucheber	32
2.4.3.3 Jungeber	33
2.4.4 Basiszucht 2 – Großeltern zur Bereitstellung der zur Mastferkelerzeugung benötigten Eber und Sauen (Reinzucht)	33
2.4.4.1 Weibliche Tiere zur Reinzucht	33
2.4.4.2 Männliche Tiere zur Reinzucht	34
2.4.4.3 Nutzung von in der Reinzucht nicht verwendeten (überzähligen) Tieren	34
2.5 Energiebedarf und Futteraufnahme	35
2.5.1 Aufzuchtferkel	35

2.5.2	Mastschweine	36
2.5.3	F1-Zuchtsauen	37
2.5.3.1	Lebensabschnitte	38
2.5.3.2	Aufgliederung des Energiebedarfs	39
2.5.3.3	ME-Bedarf für Erhaltung	39
2.5.3.4	ME-Bedarf für Wachstum	40
2.5.3.5	Schätzung von Leerkörpermassen	40
2.5.3.6	ME-Bedarf für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte	41
2.5.3.7	ME-Bedarf für die Entwicklung der Milchdrüse	41
2.5.3.8	Deckung des ME-Bedarfs für die Milchbildung	42
2.5.4	KB-Eber	43
2.5.5	Jungsauen und -eber (F1)	43
2.5.6	Tiere der Basiszucht	43
2.6	Futterbereitstellung	44
2.6.1	Futtermengen	44
2.6.2	Anbau von Futterpflanzen	45
2.6.3	Mineralische Futtermittel	46
2.6.4	Dünger-, Kalk- und Wasserbedarf im Pflanzenbau	46
2.6.4.1	N-Dünger	46
2.6.4.2	Düngekalk	48
2.6.4.3	Kalkammonsalpeter	49
2.6.4.4	Wasserbedarf im Pflanzenbau	50
2.6.5	Maschineneinsatz und Energiebedarf	50
2.6.6	Berechnung der Emissionen aus der Pflanzenproduktion - erweiterter Ansatz	50
2.6.6.1	N ₂ O-Emissionen aus Ernterückständen	50
2.6.6.2	Emissionen aus dem Verbrennen von Kraftstoffen	51
2.6.6.2.1	<i>Kohlenstoffdioxid aus der Verbrennung von Kraftstoffen</i>	51
2.6.6.2.2	Ammoniak und Stickstoffoxide aus der Verbrennung von Kraftstoffen	52
2.6.6.2.3	Lachgas und Methan aus der Verbrennung von Kraftstoffen	52
2.6.7	Herstellung von Mischfuttermitteln	53
2.7	Bereitstellung von Wasser und elektrischer Energie	53
2.7.1	Bereitstellung von Wasser	53
2.7.1.1	Tränkwasser für Schweine	53
2.7.1.2	Prozesswasser	53
2.7.1.3	Wasserbedarf im Pflanzenbau	54
2.7.2	Energiebedarf im Stall	54
2.7.2.1	Aufzuchtferkel	54
2.7.2.2	Mastschweine	54
2.7.2.3	Ferkelproduktion	54

2.7.2.4	KB-Eber und Sucheber	55
2.8	Bereitstellung von Düngekalk, Mineraldüngerherstellung.....	55
2.8.1	Kalk.....	55
2.8.2	Ammoniumnitrat.....	55
2.8.3	Kalkammonsalpeter	55
2.8.4	Harnstoff	55
2.8.5	Phosphat- und Kalidünger.....	56
2.9	Emissionen aus der Bereitstellung von Energieträgern.....	56
2.9.1	Elektrische Energie	56
2.9.2	CO ₂ -Äquivalente für die Bereitstellung von Dieselkraftstoff.....	56
2.9.3	CO ₂ -Äquivalente für die Bereitstellung von Erdgas.....	56
2.10	Emissionen aus der Verdauung und dem Wirtschaftsdünger-Management....	57
2.10.1	Rechenmodelle	57
2.10.1.1	Methan-Emissionen aus der Verdauung	57
2.10.1.2	Kohlenstoffdioxid-Emissionen aus der Verdauung	57
2.10.1.3	Methan-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management	58
2.10.1.4	Emissionen von Stickstoff-Spezies aus dem Wirtschaftsdünger-Management	59
2.11	Emissionen aus der Anwendung von Mineraldüngern.....	62
2.12	Indirekte Lachgas-Emissionen.....	63
2.12.1	Indirekte Emissionen aus der atmosphärischen Deposition	63
2.12.2	Indirekte Emissionen aus N-Einträgen in Oberflächen- und Grundwässer.....	64
2.13	Bauliche Maßnahmen zur Emissionsminderung.....	64
2.13.1	Abluftreinigungsanlagen	64
2.13.2	Biogasanlagen	66
2.13.2.1	Umsetzung von VS-Kohlenstoff.....	66
2.13.2.2	Umsetzung von Stickstoff-Verbindungen	66
3	Betrachtung des Status quo - Emissionen aus der gegenwärtigen Schweinefleischproduktion im Referenzunternehmen (Bezugsjahr 2015).....	66
3.1	Eingangsdaten für detaillierte Rechnungen 2015	67
3.1.1	Tierzahlen, Leistung und Haltung.....	67
3.1.2	Fütterung.....	70
3.2	Ergebnisse	73
3.2.1	Mastschweine im Detail	73
3.2.2	Übrige Tierkategorien	74
3.2.3	Stickstoffbilanz	75
4	Möglichkeiten der Emissionsminderung - systematische Variationen der Eingangs-größen, Szenarien	76
4.1	Ausgangsdaten für Emissionsrechnungen bei der Produktion von Mastschweinen	76
4.2	Schätzung zukünftiger Daten - das Expertengremium	77

4.3	Systematische Variation der Eingangsbedingungen für die Berechnung der Emissionen bei der Haltung von Mastschweinen und dem zugehörigen Wirtschaftsdüngermanagement.....	77
4.3.1	Veränderte Leistung.....	77
4.3.2	Veränderte Tierverluste	79
4.3.3	Einfluss der Futterzusammensetzung.....	80
4.3.4	Veränderte Emissionen aus dem Stall	81
4.3.5	Veränderte Emissionen aus dem Lager	82
4.3.6	Veränderte Emissionen als Folge veränderter Ausbringung und Einarbeitung	84
4.3.7	Kombination der Minderungsmaßnahmen am Beispiel der Schweinemast.....	86
4.4	Szenarienrechnungen für die gesamte Prozesskette im Referenzunternehmen	87
4.4.1	Futtereigenschaften	87
4.4.2	Haltung, Fütterung und Leistung von Mastschweinen.....	87
4.4.3	Haltung, Fütterung und Leistung von Aufzuchtferkeln	87
4.4.4	Haltung, Fütterung und Leistung von Zuchtsauen F1	88
4.4.5	Haltung, Fütterung und Leistung von Jungebern, KB- und Suchebern	89
4.4.6	Haltung, Fütterung und Leistung von Jungsauen zur Zucht (F1).....	89
4.4.7	Haltung, Fütterung und Leistung von Börgen (F1)	89
4.4.8	Wirtschaftsdüngermanagement.....	89
4.4.8.1	Berücksichtigung von erhöhtem Platzbedarf im Stall	89
4.4.8.2	Emissionen aus dem Lager	90
4.5	Ergebnisse der Berechnungen für 2015, 2020 und 2025	90
4.5.1	Tierzahlen.....	90
4.5.2	Emissionen	91
5	Diskussion	96
5.1	Unsicherheiten	96
5.2	Vergleichbarkeit, Vergleichsdaten.....	97
5.2.1	Ammoniak	97
5.2.2	Treibhausgase	97
5.2.3	Fazit	98
Anhang 1	Einfluss der zeitlichen Auflösung von Tierverlusten bei Mastschweinen	99
Anhang 2	Koppel- und Nebenprodukte	101
Anhang 3	Emissionen bei der Herstellung von Stickstoffdüngern.....	103
Anhang 3.1	Kalkammonsalpeter.....	103
Anhang 3.2	Harnstoff.....	104
Anhang 3.3	Zusammenfassung von Emissionsfaktoren bei der Herstellung von N-Düngern.....	104
Anhang 4	Emissionen bei der Herstellung von P- und K-Düngern und P-haltigen Mineralfuttermitteln	106
Anhang 5	Mögliche Diversifizierung der Emissionsfaktoren für Schweineställe (Sauen, Eber, Aufzuchtferkel, Mastschweine)	107

Anhang 5.1	Einführung.....	107
Anhang 5.2	Neuere Ansätze zu Verbesserung und Detaillierung der landwirtschaftlichen Emissionsfaktoren	107
Anhang 5.3	Auswertung vorhandener Literatur.....	108
Anhang 5.4	Neue Emissionsfaktoren – Ergebnisse der Auswertung	114
Anhang 6	Futterzusammensetzungen und -eigenschaften	117
Anhang 6.1	Aufzuchtferkel	117
Anhang 6.2	Mastschweine	119
Anhang 6.2	Sauen F1, Jung-, KB- und Sucheber.....	122
Literatur	127	

Zusammenfassung

Angesichts einer menschlichen Lebensweise, die Umwelt und Klima in einem zum Teil unerwünschten Maß beeinträchtigt, sind nationale und internationale Zielvorgaben formuliert worden, die gewährleisten sollen, dass Belastungen zukünftig auf ein erträgliches Maß zurückgeführt werden. Hierzu zählt auch die Verringerung der Emissionen von Treibhausgasen und luftverschmutzenden Gasen.

Im Gegensatz zu manchen anderen Wirtschaftszweigen ist eine funktionierende Landwirtschaft im Sinne des Wortes lebensnotwendig. Ihre Primärproduktion findet „unter freiem Himmel“ statt. Sie ist deshalb von Klimawandel und Schadgasen betroffen, setzt aber gleichzeitig klima- und umweltschädigende Gase frei, die sie zu einem bedeutenden Luftverschmutzer in Deutschland machen. Hierbei kommt den Ammoniak-Emissionen eine besondere Rolle zu: Etwa 95 % der deutschen Ammoniak-Emissionen stammen aus landwirtschaftlichen Quellen, insbesondere aus der Nutztierhaltung.

Will man Emissionen mindern, ohne die Produktion zurück zu fahren, müssen in den zugehörigen Prozessen einzelne emissionsmindernde Maßnahmen identifiziert, bewertet und eingesetzt werden.

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung derjenigen möglichen Maßnahmen, die in der Schweinefleischproduktion von der Betriebsleitung vorgenommen werden können. Dabei wird nicht nur die Mast als Endglied der Produktionskette untersucht, sondern die gesamten Glieder der Schweineproduktion (einschl. Ferkelerzeugung, Basis- und Reinzucht) ebenso wie der Einfluss der Futter- und Mineraldüngerproduktion sowie die Bereitstellung von Energie und Wasser.

Das Werkzeug ist eine umfassende Stoffflussanalyse eines Modellbetriebes, in dem möglichst viele Produktionsschritte der Thüringer Schweinefleischproduktion abgebildet werden können. Dieses fiktive „Referenzunternehmen“ verfügt über 1000 Mastplätze und die notwendigen Sauen- und Ferkelaufzuchtplätze. Es fördert seinen Bedarf an Erdgas und Erdöl, deckt seinen eigenen Wasserbedarf, erzeugt seine eigene elektrische Energie und den nötigen Mineraldünger, baut sein Futter an, hat sein eigenes Mischfutterwerk und eine kleine Zuckerfabrik. Die Analyse der Stoffflüsse umfasst dagegen nicht die Erstellung der notwendigen Bauten und Maschinen und bildet den Transport von Gütern nur sehr unvollständig ab.

Die Rechnungen folgen den internationalen Regelwerken, die zur Inventarisierung von Emissionen von Klimagasen und luftverschmutzenden Gasen eingesetzt werden.

Für das Jahr 2015, für das viele statistische Daten vorliegen, wird eine detaillierte Berechnung der Stoffströme durchgeführt, aus der ersichtlich wird, aus welchen Quellen wie viel emittiert wird. Erkennbar sind die Schwerpunkte Wirtschaftsdünger-Management und Mineraldüngeranwendung als bestimmende Quellen für Ammoniak und die Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei den Treibhausgasen. Bei letzteren wird jedoch deutlich, dass eine Vielzahl von Quellen gleichzeitig betrachtet werden muss.

In einem weiteren Schritt werden die Wirkungen der Maßnahmen untersucht, die die Betriebsleitung in einem Mastbetrieb beeinflussen kann: tierische Leistung, Tiergesundheit (Tierverluste), Fütterung, Stall, Lager und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern. Große Effekte sind bei der Umstellung von Standardfutter auf N-P-reduziertes Futter, durch Abluftreinigung und durch Biogasanlagen erzielbar. Für Ammoniak sind durch die Kombination verschiedener Maßnahmen merkliche Einsparungen zu erreichen. Die Verringerung der Treibhausgas-Emissionen ist ein willkommener Nebeneffekt.

In einem Expertengremium wurde die Entwicklung der Produktionsbedingungen für die Jahre 2020 und 2025 geschätzt. Als Folge dieser Veränderungen weisen unsere Rechnungen eine deutliche Minderung der Emissionen um 7 % bzw. 20 % bei Ammoniak und um 3 bzw. 5 % bei Treibhausgasen für 2020 und 2025 im Vergleich zu 2015 aus, obwohl eine - wenn auch geringe - Steigerung der Produktion erwartet wird.

Summary

Due to human behaviour which has – at least partly – adverse effects on environment and climate, national and international goals were phrased that are to guarantee a reduction of loads to tolerable degree. This includes reductions of emissions of greenhouse gases and air pollutants.

In contrast to other industrial branches, agriculture is vitally essential (in the sense of the word). Agricultural primary production occurs outdoors. Therefore it is exposed to a changing climate and to air pollutants. However, it also contributes to greenhouse gas and air pollutant emissions; German agriculture is one of the important sources of atmospheric pollution, in particular with ammonia. About 95 % of the national emissions originate from agriculture, in particular from animal husbandry.

If emissions are to be reduced without a reduction in production, reduction measures have to be assessed within each single production process.

This study aims at an investigation into measures in pork production that can be initiated by the farm manager. It is not restricted to the final link of the production chain, the fattening, but takes the entire production chain into account, i.e. piglet production, basic and pure breeding as well as feed and fertilizer production and provision of energy and water.

Our tool is the comprehensive mass flow analysis of a model enterprise in which typical elements of Thuringian pork production can be depicted. The fictitious “reference enterprise” has 1000 fattening places and the respective houses for sows and weaners, etc. It produces the amounts of natural gas, oil, water and mineral fertilizers required, grows its own feed, runs its own compound feed mill and even a small sugar beet factory. However, our mass flow analysis does not comprise the provision of buildings and machinery. Treatment of transport processes is incomplete.

Calculations make use of the international guidance documents for national emission inventories of greenhouse gases and air pollutants.

For 2015 calculations use the available statistics to carry out a detailed analysis of the respective mass flows. It is obvious that manure management and mineral fertilizer application are the dominating sources of ammonia, whereas slurry storage is the most important source of greenhouse gases. There is also a multitude of minor contributions that add up and have to be taken into account.

Subsequently the cause effect relationships are investigated of measures initiated by the farm manager, i.e. changes in animal performance, animal welfare, choice of feed, housing and storage system as well as manure application. Considerable ammonia emission reductions can be achieved by changing from standard feed to N P reduced feed, by air scrubbers attached to animal houses and by fermentation in biogas plants. Reductions of greenhouse gas emissions are of minor importance – a welcome side benefit.

An expert team estimated marginal conditions of future pork production (2020 and 2025). Distinct reductions can be expected for ammonia of 7 and 20 % for 2020 and 2025, respectively, as compared to 2015. Corresponding greenhouse gas emission reductions add up to 3 and 5 %. In addition, a minor increase in pork production can be expected.

Übersicht über Symbole und Einheiten

Der Bericht verwendet, sofern möglich, diejenigen Begriffe und Symbole, die auch im nationalen landwirtschaftlichen Emissionsinventar verwendet werden. Wenn möglich werden SI-Einheiten und Symbole nach IUPAC (1993) bzw. IUPAP (1987) benutzt (PTB, 2007).

Spezielle Einheiten, die in den Landwirtschaftswissenschaften verwendet werden, benutzen wir wie bei Monteith (1984).

Größen werden stets kursiv geschrieben und in Times New Roman gesetzt; Skalare (Zahlen), Einheiten, (erläuternde) Indizes und Operatoren (sin, lg, +, d) steil (PTB, 2007) und in Arial gesetzt.

In den Legenden zu Gleichungen sind stets alle Größen erläutert.

Einheiten (allgemein)

a	Jahr (1 a = 365 d)
d	Tag
h	Stunde
s	Sekunde
m	Meter
ha	Hektar
g	Gramm
kg	Kilogramm
Mg	Megagramm (1 Mg = 1 t)
Gg	Gigagramm (1 Gg = 1 kt)
Tg	Teragramm (1 TG = 1 Mio t)
J	Joule
MJ	Megajoule
GJ	Gigajoule
kWh	Kilowattstunde
MWh	Megawattstunde

Einheiten (speziell)

MDG	Mastdurchgang (Zeitabschnitt zwischen zwei Aufstellungen)
ND	Nutzungsdauer (bei KB-Ebern)
ZWZ	Zwischenwurfzeit (Zeitabschnitt zwischen zwei Geburten)

Die Erläuterungen zu Einheiten werden *nach* den Einheiten angegeben, also

7 kg ha⁻¹ a⁻¹ NH₃-N, **nicht** 7 kg NH₃-N ha⁻¹ a⁻¹

Symbole

<i>A</i>	Fläche (area)
<i>B₀</i>	maximale Methanbildungs-Kapazität
<i>E</i>	Emission
<i>EF</i>	Emissionsfaktor
<i>EX</i>	Ausscheidung (excretion)
<i>f</i>	Faktor
<i>GE</i>	Bruttoenergie (gross energy)
<i>H</i>	Energie
<i>F</i>	Massenfluss

L	Verlust (loss)
M	Molmasse
m	Masse (allgemein)
n	Anzahl
NE	Netto-Energie
P	Leistung (tierische)
R	Bedarf (requirement)
s	Sicherheitsfaktor, Sicherheitszuschlag
t	Zeitspanne
T	absolute Temperatur
w	Tiermasse (weight)
X, x	relativer Anteil
α	Umrechnungsfaktor für Zeiteinheiten
β	Umrechnungsfaktor für Masseneinheiten
γ	stöchiometrischer Umrechnungsfaktor für Massen
η	Gehalte (allgemein)
ρ	Dichte
σ	Standardabweichung
θ	Zeit, Zeitspanne, Lebensabschnitt

Kürzel, Indizes

Diese Arbeit verwendet die Terminologie des nationalen landwirtschaftlichen Emissionsinventars, das in seinen Gleichungen die englische Sprache verwendet. Entsprechend sind die Indizes aus den englischen Begriffen abgeleitet, Ungeachtet dessen sind die Legendentexte in deutscher Sprache abgefasst.

Kürzel	Erläuterung	deutsch
AI	artificial insemination	künstliche Besamung, KB
All	allocation	Allokation
ann	annual	auf Jahre bezogene Größen
AN		Ammoniumnitrat
AFerkel		Aufzuchtferkel
arable	arable land	Ackerland
Ba	barrow	Borg
Bb	breeding boar	Zuchteber
BFS	bacterially fermentable substrate	bakteriell fermentierbare Substanz
bo	boar	Eber
bs	breeding sow	Zuchtsau
CAN	calcium ammonium nitrate	Kalkammonsalpeter, KAS
cl	cleaning	Säubern, Desinfizieren
con	constituent	(Futter-)Bestandteil
CR	crop residues	Ernterückstände
corr	correction	Korrektur
CP	crude protein	Rohprotein
crop	crop, cropped area	Pflanzenbestand
dep	depositions from reactive N stemming from agriculture	Deposition von reaktivem N aus der Landwirtschaft
DF	diesel fuel	Dieseldieselkraftstoff
DM	dry matter	Trockenmasse
Ed	educt	Edukt
EE	ether extract	Rohfett
ent	enteric	Verdauung
ex	excretion	Ausscheidung
fat	fat	Fett
F1		Nachkommen einer F1-Kreuzung
fb	fattening boar	Masteber
fc	fattening castrate	Borg
feed	feed	Futter, im Futter
fed	fed	gefüttert, zu füttern
fin	final	Ende eine Lebensspanne
fp	fattening pigs	Mastschweine
fs	fattening sows	Mastsauen
grass	grass land	Grünland
GE	gross energy	Bruttoenergie
GV	livestock unit	Großvieheinheit
HC	harvested crop	geerntete Menge
JEber		Jungeber
JSau		Jungsau
KAS		Kalkammonsalpeter
KB		künstliche Besamung (KB)
KBEber		Eber für künstliche Besamung

Kürzel	Erläuterung	deutsch
leach	leached and run off N	ausgewaschenes und abgeflossenes N
lime	lime	Kalk (Düngekalk, Futterkalk)
lit	litter	Wurf
loss	loss	Verlust durch Verenden
Man	manure	Wirtschaftsdünger
ME	metabolizable energy	umsetzbare Energie
MEber		Masteber
MDG		Mastdurchgang (Zeitspanne zwischen zwei Mastperioden)
MF	mineral fertilizer	Mineraldünger
MFE	mineral fertilizer equivalent	Mineraldünger-Äquivalent
MM	manure management	Wirtschaftsdüngermanagement
MSau		Mastsau, weibliches Mastschwein
MSchwein		Mastschwein
NF	nitrogen fixation	Stickstoff-Fixierung
p	protein	Protein
pest	pesticides	Pflanzenschutzmittel
piglet	piglet	Saugferkel, Sferkel
PKF	PK fertilizer	PK-Dünger
Pro	product	Produkt
PT	performance test	Eigenleistungsprüfung
round	round	Durchgang (hier: Mastdurchgang)
tb	teaser boar	Sucheber
SFerkel		Saugferkel
sl	slaughtered	geschlachtet, zur Schlachtung
so	sow	Sauen
SS	sewage sludge	Klärschlamm
start	start	Beginn einer Lebensspanne
urea	urea	Harnstoff
VS	volatile solids	organische Substanz
we	weaner	Aufzuchtferkel, Aferkel
XAsche		Rohasche
XFaser		Rohfaser
XFett		Rohfett
XProtein		Rohprotein
ZSau		Zuchtsau
ZWZ		Zwischenwurfzeit (Zeitspanne zwischen zwei Geburten)

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Stoffflüsse und Emissionen - eine Übersicht.....	17
Abb. 2	Behandelte Tierkategorien bei der Berechnung der Emissionen aus der Schweinefleischerzeugung.....	20
Abb. 3	Zahl der lebend geborenen Ferkel als Funktion der Wurfnummer.....	23
Abb. 4	Zahl der lebend geborenen Ferkel als Funktion der Wurfnummer.....	23
Abb. 5	Zahl der abgesetzten Ferkel als Funktion der Wurfnummer.....	24
Abb. 6	Alterstrukturen in thüringischen Sauenherden. Praxisdaten von 22 Betrieben ...	25
Abb. 7	Linearisierte Zusammenhänge zwischen Wurfnummer und Alterstruktur.....	26
Abb. 8	Sauenverluste durch Verenden oder Einschläfern als Funktion der Leistung.....	26
Abb. 9	Leistungsleistung einer F1-Zuchtsau als Funktion der Anzahl der Würfe.....	28
Abb. 10	Beispiel Lebendmasseentwicklung bei Sauen.....	37
Abb. 11	N-Umsätze bei der Fleischerzeugung.....	46
Abb. 12	Flüsse von N-Spezies in einer für Schweineproduktion üblichen Abluftreinigungsanlage.....	64
Abb. 13	N-Bilanz der Schweinefleischproduktion im Referenzunternehmen.....	75
Abb. 14	NH ₃ -Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter täglicher Zunahmen.....	77
Abb. 15	THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter täglicher Zunahmen.....	77
Abb. 16	NH ₃ -Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Tierverluste ..	78
Abb. 17	THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Tierverluste.....	78
Abb. 18	NH ₃ -Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Futterzusammensetzung.....	79
Abb. 19	THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Futterzusammensetzung.....	79
Abb. 20	NH ₃ -Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Stallböden bzw. Abluftreinigung.....	80
Abb. 21	THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Stallböden bzw. Abluftreinigung.....	81
Abb. 22	NH ₃ -Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Lagerbedingungen.....	82
Abb. 23	THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Lagerbedingungen.....	82
Abb. 24	NH ₃ -Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Ausbringungsbedingungen.....	84
Abb. 25	NH ₃ -Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Ausbringungsbedingungen.....	84
Abb. 26	THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Ausbringungsbedingungen.....	85
Abb. 27	THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Ausbringungsbedingungen.....	85
Abb. 28	NH ₃ - und THG-Emissionen bei der Schweinemast bei Kombination aller zuvor genannten Maßnahmen.....	86

1 Einleitung und Zielstellung

Mehr als die Hälfte des Fleischverzehr der deutschen Bevölkerung entfällt auf Schweinefleisch. Es wird nicht nur auf Grund seines Genusswertes und der vielfältigen Verarbeitungsmöglichkeiten als Lebensmittel hoch geschätzt, sondern es ist auch reich an Proteinen bzw. Aminosäuren sowie verschiedenen Fettsäuren, Mengen- und Spurenelementen und Vitaminen. Gegenwärtig produziert die deutsche Landwirtschaft mehr, als für die Deckung des Eigenbedarfs nötig ist. Dabei erfolgt die Schweinefleischerzeugung innerhalb Deutschlands regional mit sehr unterschiedlicher Intensität. So liegt im Freistaat Thüringen der Selbstversorgungsgrad bei Schweinefleisch nur bei ca. 66 %. Der Viehbesatz Thüringens insgesamt liegt mit $0,455 \text{ GV ha}^{-1}$ deutlich unter dem Bundesdurchschnitt von $0,784 \text{ GV ha}^{-1}$ (Angaben für das Jahr 2015) und ist zurzeit weiter sinkend.

Vor dem Hintergrund einer wachsenden Weltbevölkerung und dem stetig steigenden (weltweiten) Pro-Kopf-Verzehr von Schweinefleisch sind erhebliche Konsequenzen für die gesamte Fleischerzeugung zu erwarten.

In der deutschen Schweinehaltung hat sich in den letzten Jahren ein bedeutender Strukturwandel vollzogen: Die Mehrzahl der Tiere wird in großen (1000 bis 2000 Plätze) bis sehr großen Einheiten (über 2000 Plätze) produziert (StatBA, 2017). Der Trend zu weiterem betrieblichen Wachstum hält bundesweit an.

In Deutschland befinden sich gegenwärtig die Tierhaltung und damit auch die Erzeugung von Schweinefleisch in einem Spannungsfeld unterschiedlicher Interessen, zu denen auch Umweltaspekte allgemein und Emissionen aus der Landwirtschaft im Besonderen gehören. Internationale und nationale Übereinkommen zur Minderung der Emissionen von Treibhausgasen und luftverschmutzenden Stoffen, insbesondere von Ammoniak (NH_3) (Klimarahmenabkommen; EU, 2016) betreffen auch die Landwirtschaft. Regional sind zusätzliche Maßnahmen in Kraft getreten, etwa mit dem thüringischen Filtererlass (TMfUEN, 2016). Die Sicherstellung einer standortangepassten Schweinefleischerzeugung setzt daher auch Kenntnisse über entstehende gasförmige Emissionen voraus.

1.1 Hintergründe/Beweggründe

Thüringen besitzt in der Schweinefleischerzeugung und -verarbeitung eine sehr lange Tradition. Das Land ist seit Jahrzehnten für ausgelesene Spezialprodukte (z.B. Original Thüringer Rostbratwurst) weit bekannt.

In 2016 umfasste der Gesamtschweinebestand in Thüringen ca. 740.000 Tiere, davon 89.000 Zuchttiere (StatBA, 2016b). Der Beitrag der Schweinehaltung an den landwirtschaftlichen Erträgen betrug 7 % (Müller et al., 2015a). Die Schweinefleischerzeugung und -verarbeitung ist somit ein wesentlicher Bestandteil der Wirtschaftskraft im ländlichen Raum.

Dieser Wirtschaftszweig sieht sich allerdings erheblichen Änderungen gegenüber, bei denen die Vermeidung oder Verringerung von Emissionen von Gerüchen, luftverschmutzenden Gasen und Stäuben und von Treibhausgasen eine erhebliche Rolle spielen. Der Anteil der Schweinehaltung an den NH_3 -Emissionen der Thüringer Landwirtschaft betrug immerhin 15 % (Rösemann et al., 2017, Tabellen).

Deutschland hat sich innerhalb der EU zu einer erheblichen Minderung der NH_3 -Emissionen (29 % gegenüber 2005) verpflichtet (EU, 2016). Wenn man eine Abstockung der Tierbestände vermeiden will, müssen die Produktionsverfahren auch im Hinblick auf Emissionsminderungen verändert werden.

Im Mittelpunkt der aktuellen gesellschaftspolitischen Diskussion zur Fleischerzeugung steht seit einigen Jahren neben den Umweltauswirkungen der Fleischerzeugung auch eine kritische Diskussion um das Tierwohl. Verbesserung des Tierwohls und Emissionsminderung je Tier gehen nicht immer in die gleiche Richtung. So bedeutet ein verbessertes Flächenangebot im Stall, dass größere Flächen als Emissionsquellen zur Verfügung stehen; der Anteil der NH_3 -Emissionen aus den Ställen steigt (z.B. Pflanz, 2011; Eurich-Menden, 2012).

Das vorliegende Projekt hat das Ziel, den zugehörigen Wissenstand in der thüringischen Schweinefleischerzeugung praxisnah aufzuarbeiten und die Emissionen von Treibhausgasen und Ammo-

niak bei der Schweinefleischerzeugung in Thüringen vollständig, d.h. unter Berücksichtigung der gesamten Prozesskette, zu modellieren.

Das dazu entwickelte Modell dient dann zur Erstellung einer Analyse von Ursache-Folge-Beziehungen von Maßnahmen der Betriebsleitung und Emissionen, als deren Folge mögliche Wege zur Emissionsminderung praxisnah (d.h. mit ihren Nebeneffekten) erkannt und bewertet werden können.

Schließlich werden anhand von Expertenschätzungen zu den Rahmenbedingungen der Schweinefleischproduktion in Thüringen Emissionsszenarien für die Jahre 2015, 2020 und 2025 erarbeitet.

1.2 Vorgehensweise

(1) Ein Referenzunternehmen wird beschrieben, in dem (fiktiv) alle Produktionsschritte durchgeführt werden: Tierproduktion (Vermehrung, Ferkelerzeugung und Mast einschließlich Wirtschaftsdünger-Management), daneben der Futterbau und die Futtermittelverarbeitung einschließlich der Industriebetriebe, die verwertbare Nebenprodukte liefern (z.B. Zuckerfabriken) sowie der Versorgungseinrichtungen zur Bereitstellung von Energieträgern und Wasser.

Die Eingangsgrößen in der Tierproduktion im engeren Sinn sollen der gegenwärtigen Praxis in Thüringen nahe kommen.

Die Beschreibung des Referenzunternehmens enthält eine detaillierte Stickstoffbilanz.

(2) In einer Analyse von Ursache-Wirkungs-Beziehungen werden die im Bereich der Landwirtschaft liegenden Eingangsgrößen (z.B. tierische Leistung und Tierwohl) systematisch variiert, um Möglichkeiten zur Emissionsminderung erkennen und quantifizieren zu können. Dabei werden technische Anlagen (Abluftreinigungsanlagen, Biogasanlagen) einbezogen.

(3) Wirtschaftlich möglich erscheinende Szenarien werden für die nahe Zukunft erarbeitet. Es wird berücksichtigt, dass auf betrieblicher Ebene nicht alles gleichzeitig machbar ist.

2 Material und Methoden

2.1 Übersicht

Die Berechnung der Emissionen erfordert die Betrachtung der möglichst vollständigen Energie- und Stoffflüsse bei der Erzeugung von Schweinefleisch. Betrachtet werden Schweinemast (als maßgeblicher Sektor), die zugehörige Ferkelproduktion, Basis- und Reinzucht, Futterbereitstellung, Mineraldüngerherstellung sowie die Bereitstellung von Energie, Wasser und Rohstoffen im Fließgleichgewicht.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die zu diesem Zweck betrachteten Flüsse. Zur Bereitstellung der Energieträger am linken Rand (blaue und braune Pfeile) sind die (hier nicht dargestellten) Emissionen zu ermitteln. Rote Pfeile am rechten Rand weisen auf Emissionen hin, die berechnet werden. Die CO₂-Mengen aus der Umsetzung von Futterkalk im Tier werden als Emissionen betrachtet. Im Gegensatz hierzu werden die CO₂-Emissionen aus der Atmung der Tiere und aus dem Wirtschaftsdüngermanagement als bilanzneutral angesehen (grüne Pfeile); die gleichen Mengen werden bei der Photosynthese aufgenommen.

Atmosphärische Einträge sind die Depositionen. Sie werden allerdings üblicherweise nicht in die Betrachtungen (z.B. Düngeverordnung) einbezogen. N-Fixierung in größerem Umfang findet bei Leguminosen statt. Dies wird in den Düngeempfehlungen berücksichtigt.

Die im Folgenden beschriebenen Rechenverfahren orientieren sich im Prinzip an den in Dämmgen et al. (2016a, b) aufgeführten Methoden.

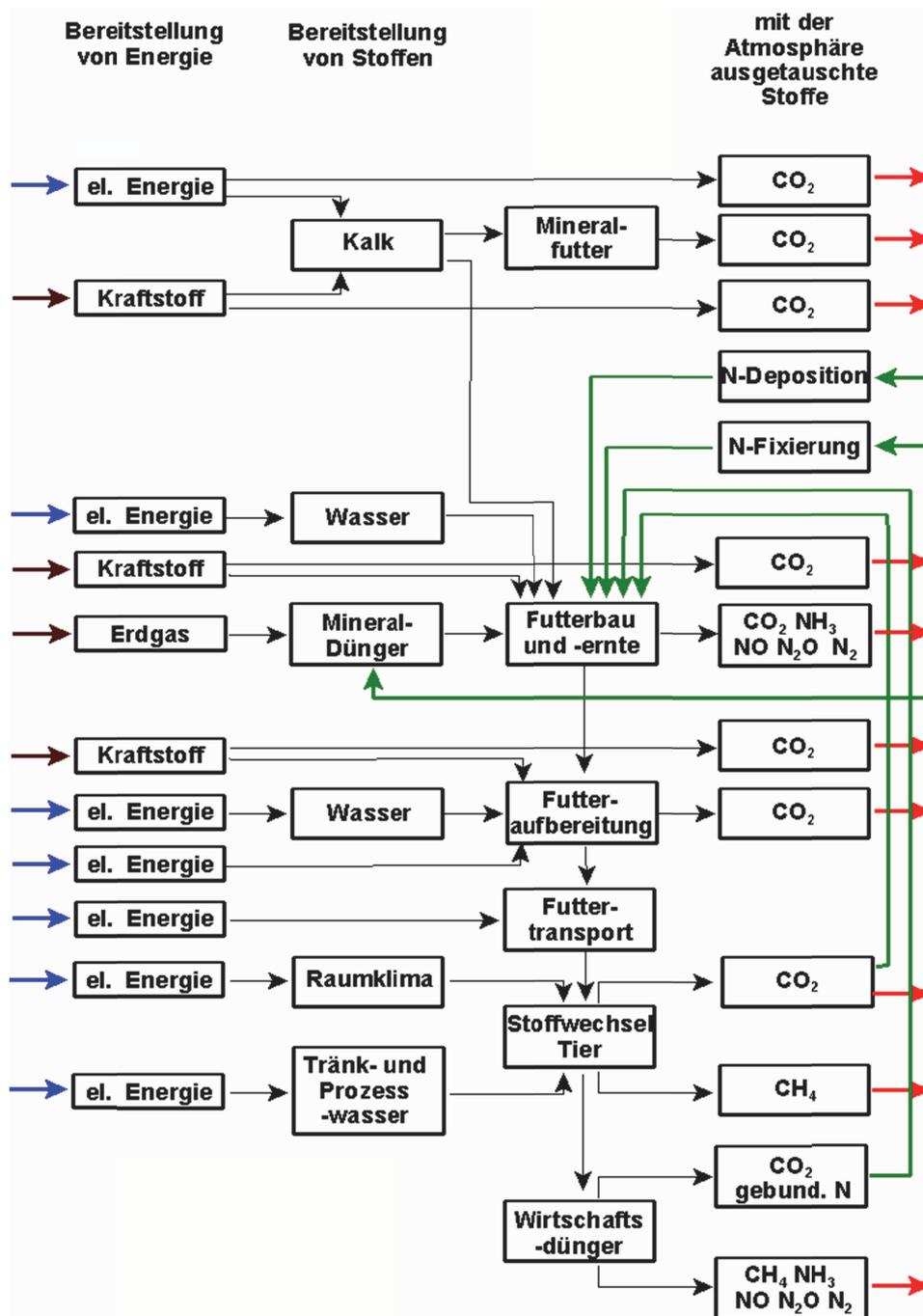


Abbildung 1: Stoffflüsse und Emissionen - eine Übersicht (aus Dämmgen et al., 2016a)

Die Rechnungen berücksichtigen nicht die Emissionen, die bei der Errichtung von Gebäuden und der Herstellung von Maschinen entstehen, ebensowenig die Emissionen, die beim Abbau organischer Substanz (außer den verbliebenen Wurzeln und Ernteabfällen) in den Böden entstehen. Das bei der Fermentierung in Biogasanlagen anfallende und genutzte Methan verringert die Emissionen, die andernorts aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen würden. Diese indirekte Emissionsminderung bleibt ebenfalls unberücksichtigt.

2.2 Tierkategorien – Bezeichnungen und Lebensabschnitte

Die Bezeichnung der Tierkategorien in der Schweineproduktion ist nicht einheitlich. Wir verwenden die in Tabelle 1 verwendeten Begriffe.

Tabelle 1: Übersicht über die behandelten Tierkategorien

Kategorie	Bezeichnung	Symbol *	Dauer des Lebensabschnitts	Fütterung
Aufzuchtferkel	Aufzuchtferkel	we	6 Wochen	3 Phasen
Sauen zur Zucht	Jungsau	ys	6 Monate	3 Phasen
	Zuchtsau (F1-Sau)			
	1. Wurf	bs1	21 Wochen	3 Phasen
	2. Wurf	bs2	21 Wochen	3 Phasen
	3. Wurf	bs3	21 Wochen	3 Phasen
	usw.			
Eber zur Zucht	Jungeber	yb	5,5 Monate	3 Phasen
	Zuchteber	bb	18 Monate	1 Phase
	Sucheber	tb	12 Monate	1 Phase
Mastschweine	nicht differenziert	fp	4 Monate	3 Phasen
	weibliches Mastsschwein	fs	4 Monate	3 Phasen
	Borg	fc	4 Monate	3 Phasen
	Jungmasteber	fb	4 Monate	3 Phasen

* in den Gleichungen verwendete Symbole

2.3 Bezugszeitspannen

2.3.1 Mast

Basis der Berechnung der Tierzahlen ist ein Rein-Raus-Mastverfahren mit 1000 Mastplätzen. Maßgebliche Zeitspanne ist die Zeit für einen Mastdurchgang (MDG), t_{round} :

$$t_{\text{round}} = \frac{m_{\text{fin}} - m_{\text{start}}}{\Delta m} \cdot f_{\text{corr}} + t_{\text{fp, cl}} \quad (1)$$

mit

t_{round} Dauer eines Mastdurchgangs (in d MDG⁻¹)

m_{fin} Masse am Ende der Mast (in kg Tier⁻¹)

m_{start} Masse am Beginn der Mast (in kg Tier⁻¹)

Δm mittlere tägliche Zunahme währenddes Mastdurchgangs (in kg Tier⁻¹ d⁻¹ MDG⁻¹)

f_{corr} Zeitkorrektur (in d d⁻¹)

$t_{\text{fp, cl}}$ Dauer der Reinigung und Desinfektion (Leerzeit) (in d MDG⁻¹)

Der Korrekturfaktor f_{corr} dient der Berücksichtigung des Sachverhaltes, dass das Reinigen und Desinfizieren des gesamten Mastabteils in der Regel erst erfolgt, nachdem die am langsamste wachsende Gruppe ausgestallt wurde. Der zusätzliche Zeitbedarf wird aus der biologisch zu erwartenden Streuung der Zeiten für das Mastende bestimmt. Diese beträgt ca. 4 bis 5 % für die Körpermasse bzw. tägliche Zunahme (Brunken et al., 1997; Clar et al., 2002; Schön et al., 2002). Aus der doppelten Streuung (2σ) und dem Mittelwert der Mastperiode errechnet sich ein oberer Grenzwert. Setzt man zusätzlich weiter eine Normalverteilung der Körpermassen in einem (hinreichend großen) Mastbestand voraus, folgt aus diesem Grenzwert, dass ca. 98 % aller Tiere in diesem Be-

reich zu finden sind. Der zusätzliche Zeitbedarf wird im Referenzunternehmen mit 4 % angesetzt, Damit ist $f_{\text{corr}} = 1,04 \text{ d d}^{-1}$. Aus wirtschaftlichen Gründen ist die Zeitspanne für Reinigung und Desinfektion möglichst kurz zu halten. Moderne Hybridzuchtprogramme, wie sie auch in der vorliegenden Arbeit modelliert werden, setzen generell eine sehr hohe Uniformität der End-Hybriden voraus. Dies ist auch ein gewichtiger Grund für die regelmäßige Nutzung nur einer definierten End-Hybride innerhalb eines Mastdurchganges im verfügbaren Maststall. Einheitliche Wachstumsverläufe sind Bestandteil moderner Hybridzuchtprogrammen (Brade und Flachowsky, 2006).

Mit KTBL (2014), S. 704, geht diese Arbeit von einer Leerzeit $t_{\text{fp, cl}}$ von 14 d MDG^{-1} aus.

2.3.2 Ferkelproduktion

Maßgebliche Zeitspanne ist die Zwischenwurfzeit (ZWZ) der Sau. Sie soll konstant gehalten werden, damit die Berechnung des Futteraufwandes für Saugferkel unterbleiben kann. Saugferkel erreichen nach 28 Tagen Säugezeit ihre Endmasse von $8 \text{ kg SFerkel}^{-1}$.

Die Ferkelproduktion muss so beschaffen sein, dass die 1000 Aufzuchtferkel (AFerkel) je Mastdurchgang (siehe oben) bereitgestellt werden.

2.3.3 Pflanzenproduktion

Zur Berechnung der Emissionen aus dem System Boden/Pflanze wird die Zahl der zu ernährenden Tiere pro Jahr benötigt. Hierzu müssen die Tierzahlen je Herde mit der Zahl der Durchgänge pro Jahr multipliziert werden:

$$n_{\text{MDG}} = \frac{t_a}{t_{\text{MDG}}} \quad (2)$$

mit

n_{MDG} Zahl der Mastdurchgänge pro Jahr (in MDG a^{-1})

t_a Dauer eines Jahres ($t_a = 365 \text{ d a}^{-1}$)

t_{MDG} Dauer eines Mastdurchgangs (in d MDG^{-1})

2.4 Tierzahlen

Ausgehend von der Mast werden die der Produktion vorgelagerten Bereiche der Ferkelerzeugung und der Basis- und Reinzucht beschrieben.

Vorausgesetzt wird zunächst, dass reinrassige Eber (Rasse C, z.B. Pietrain) und F1-Sauen (A x B) zur Mastferkelerzeugung genutzt werden (3-Rassen-Kreuzung). Die Mast und die Vermehrung werden detailliert und mit variablen Kenngrößen beschrieben, die Vermehrung ist hinsichtlich der Emissionen von untergeordneter Bedeutung. Sie wird mit konstanten Leistungsdaten berechnet.

Die Basiszucht wird gesondert in den Abschnitten 2.4.3 und 2.4.4 detailliert beschrieben.

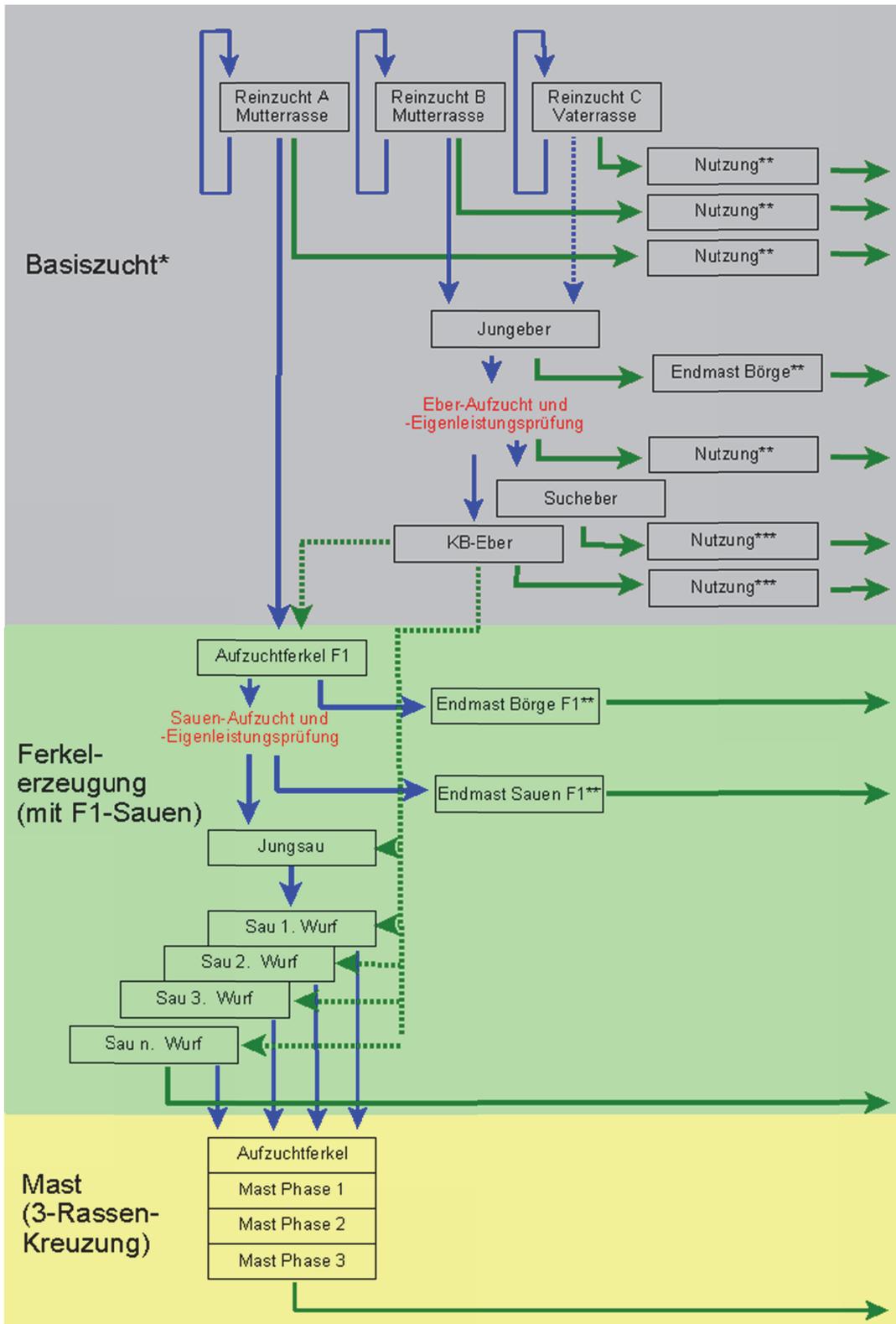


Abbildung 2: Behandelte Tierkategorien bei der Berechnung der Emissionen aus der Schweinefleischherzeugung (Blaue Pfeile: erzeugte Tiere; grüne Pfeile: durch Schlachtung genutzte Tiere, punktierte Pfeile: Samen. * Die Basiszucht ist vereinfacht dargestellt. ** Nutzung der für die Zucht nicht selektierten Tiere durch Mästen und Schlachten. *** Endnutzung nach Kastration durch Schlachten.)

2.4.1 Mastbetrieb

Jeweils 1000 Mastschweine werden eingestallt. Sie werden nach der Aufzucht in die Mastabteile umgestallt und dann bis zur Schlachtreife gemästet. Durch Verenden oder Töten nimmt ihre Zahl im Verlauf der Mast ab. Die Verluste in der thüringischen Schweinemast liegen bei 3 % (SKBR, 2014: 2,91 %; Einstallmasse 30,2 kg Tier⁻¹, Endmasse 120 kg Tier⁻¹. TVL, 2016: 3,34 %; Einstallmasse 29,8 kg Tier⁻¹, Endmasse 122 kg Tier⁻¹. TVL, 2017: 3,56 %; Einstallmasse 29,8 kg Tier⁻¹, Endmasse 122 kg Tier⁻¹)

Heinze (2014) lässt den Schluss zu, dass bei Aufzuchtferkeln mit Verlusten von etwa 1 % zu rechnen ist.

Greshake (2017) nennt einen Verlust zwischen 1,8 % bis 2,7% (Mittel: 2,3 %) für verschiedene Herkünfte in der Mastperiode.

Die Zahl der verwertbaren Tiere kann durch zusätzliche Transportverluste weiter abnehmen.

2.4.1.1 Detaillierte Berücksichtigung der Verluste

Wichtig ist die Kenntnis der Anzahl der die Mast überlebenden und zur Schlachtung gelangenden Tiere. Sie berechnet sich für drei Mastphasen im Prinzip zu

$$n_{fp, sl} = n_{we, start} \cdot (1 - x_{L, we}) \cdot (1 - x_{L, fp1}) \cdot (1 - x_{L, fp2}) \cdot (1 - x_{L, fp3}) \cdot (1 - x_{L, tr}) \quad (3)$$

mit

$$x_{L, we} = \frac{L_{we}}{100} \quad (4)$$

etc.

wobei

$n_{fp, sl}$	Anzahl der je Mastdurchgang (MDG) zur Schlachtung gelangenden Mastschweine (in Tier MDG ⁻¹)
$n_{we, start}$	Anzahl der je Mastdurchgang eingestellten Aufzuchtferkel ($n_{we, start} = 1000$ AFerkel MDG ⁻¹)
$x_{L, we}$	Verlustfaktor für Aufzuchtferkel (in AFerkel AFerkel ⁻¹)
$x_{L, fp1}$	Verlustfaktor für Mastschweine in Phase 1 (in MSchwein MSchwein ⁻¹)
$x_{L, fp2}$	Verlustfaktor für Mastschweine in Phase 2 (in MSchwein MSchwein ⁻¹)
$x_{L, fp3}$	Verlustfaktor für Mastschweine in Phase 3 (in MSchwein MSchwein ⁻¹)
$x_{L, tr}$	Verlustfaktor für Mastschweine beim Transport (in MSchwein MSchwein ⁻¹)
L_{we}	Verlust von Aufzuchtferkeln (in % bzw. 100 AFerkel AFerkel ⁻¹ der eingestellten Tiere)

Die Verluste im Lebensabschnitt Aufzuchtferkel werden nicht weiter zeitlich unterteilt.

Zur Berechnung der Futtermengen für den Lebensabschnitt Mast ist die Kenntnis der Verlustfaktoren je Phase erforderlich. Da nur der Gesamtverlust bekannt ist, werden die Verluste gleichmäßig über die Phasen verteilt.

Bei gegebenem Gesamtverlust über die Hauptmastdauer berechnen sich die gleichmäßigen Verluste in den Einzelphasen (dreiphasige Mast; Vormast: Phase 1; Mittelmast: Phase 2; Endmast: Phase 3) gemäß Gleichung (5):

$$L_{fp,1} = L_{fp,2} = L_{fp,3} = \sqrt[3]{1 - \frac{L_{fp}}{100}} \quad (5)$$

mit

$L_{fp,1}$ Verluste von Mastschweinen in Phase 1 (in % bzw. 100 MSchwein MSchwein⁻¹)

etc.

L_{fp} Gesamtverlust während der Mast (in % bzw. 100 MSchwein MSchwein⁻¹)

2.4.1.2 Berücksichtigung der Verluste in dieser Arbeit

Die thüringischen Statistiken geben Gesamtverluste während der Mast an. Eine Aufteilung für die Fütterungsphasen wird nicht gegeben.

Eine höhere Auflösung der Verluste (Berücksichtigung Tierzahlen und Futtereigenschaften der Phasen) auf die Ergebnisse der Berechnung der Ausscheidungen erwies sich in einer Modellrechnung als unerheblich. Tabelle A1 im Anhang 1 zeigt, dass für die in Thüringen beobachteten Verluste die Unterschiede der beiden Rechenverfahren sehr klein sind im Vergleich zu den allgemeinen Unsicherheiten (siehe Kapitel 5.2).

2.4.1.3 Zu fütternde Tiere

Abgänge sind stochastisch über den jeweiligen Lebensabschnitt verteilt. Die Zahl der zu fütternden Tiere wird als Mittelwert von Anfangs- und Endpopulation während des betreffenden Lebensabschnitts angenommen, z.B.:

$$n_{we, fed} = n_{we, start} \cdot \frac{1 - x_{L, we}}{2} \quad (6)$$

mit

$n_{we, fed}$ Anzahl der je Mastdurchgang zu fütternden Aufzuchtferkel (in AFerkel Herde⁻¹ MDG⁻¹)

$n_{we, start}$ Anzahl der je Mastdurchgang eingestellten Aufzuchtferkel
($n_{we, B} = 1000$ AFerkel Herde⁻¹ MDG⁻¹)

$x_{L, we}$ Verlustfaktor für Aufzuchtferkel (in AFerkel AFerkel⁻¹)

Die für die nachfolgenden Berechnungen relevante Anzahl ist die Zahl der zu fütternden Tiere pro Herde und Jahr. Sie ergibt sich aus der Zahl der Plätze im Aufzuchtferkelbereich (1000 Platz Herde⁻¹) und der Zahl der Durchgänge:

$$N_{we, fed} = n_{we, fed} \cdot n_{round} \quad (7)$$

$$N_{fp, fed} = n_{fp, fed} \cdot n_{round} = n_{fp, fed} \cdot n_{MDG} \quad (8)$$

mit

$N_{we, fed}$ Anzahl der je Jahr zu fütternden Aufzuchtferkel (in AFerkel Herde⁻¹ a⁻¹)

$n_{we, fed}$ Anzahl der je Mastdurchgang zu fütternden Aufzuchtferkel (in AFerkel Herde⁻¹ MDG⁻¹)

n_{round} Anzahl der Mastdurchgänge (in MDG a⁻¹)

$N_{fp, fed}$ Anzahl der je Jahr zu fütternden Mastschweine (in MSchwein Herde⁻¹ a⁻¹)

$n_{fp, fed}$ Anzahl der je Mastdurchgang zu fütternden Mastschweine
(in MSchwein Herde⁻¹ MDG⁻¹)

2.4.1.4 Sonderbehandlung von Mastschweinen und Aufzuchtferkeln für die Mast

Bei Mastschweinen und Aufzuchtferkeln zur Mast werden Energie- und Futterbedarf für die zur Schlachtung bzw zum Umsetzen in die Mast gelangenden Tiere und die entsprechenden Größen

für die verendeten Tiere getrennt berechnet. Dabei werden die abgängigen Tiere bis zur Hälfte der „normalen Lebenserwartung“ gefüttert.

2.4.2 Ferkelerzeugung (Elternbetrieb)

Die Zahl der zur Bereitstellung von 1000 abgesetzten Ferkeln benötigten lebend geborenen Ferkel berechnet sich aus der Zahl der Würfe und der Zahl der lebend geborenen Ferkel je Wurf. Dabei ist die Zahl der abgesetzten Ferkel je Wurf eine Funktion der Wurfnummer; die Zahl der Würfe in der Sauenherde eine Funktion der Altersstruktur der Herde.

2.4.2.1 Geborene, abgesetzte und zu ernährende Ferkel je Sau

Kohärente Praxisdaten zur **Anzahl lebend geborener Ferkel** als Funktion der Wurfnummer fehlen weitgehend.

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

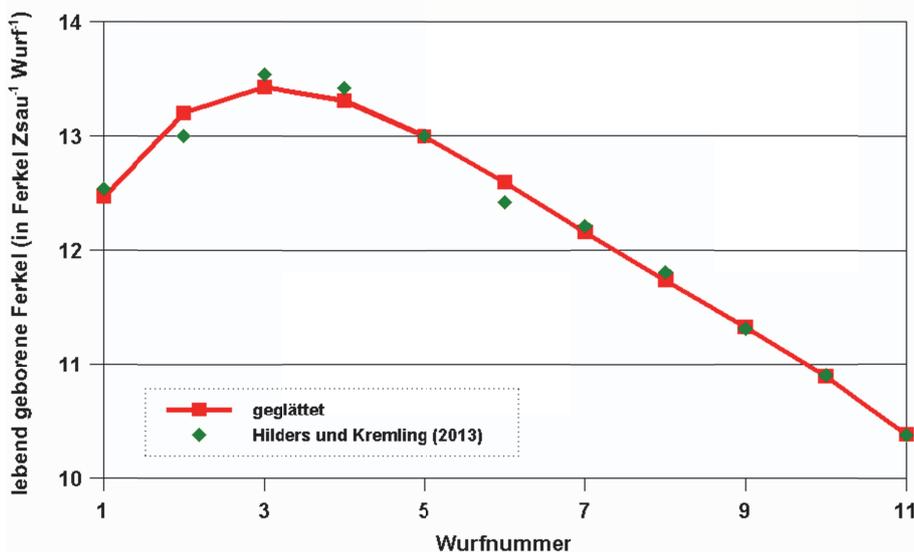


Abbildung 3: Zahl der lebend geborenen Ferkel als Funktion der Wurfnummer (nach Daten aus Hilgers und Kremling, 2013)

Thüringische Daten bis zur Wurfnummer 8 sind in Abbildung 4 zusammengestellt (Daten aus SKBR, 2014, und TVL, 2016, 2017). Darüber hinaus gehende Wurfnummern werden dort summarisch angegeben und sind für die hier vorgestellten Rechnungen nicht verwertbar (vgl. auch Abbildung 6).

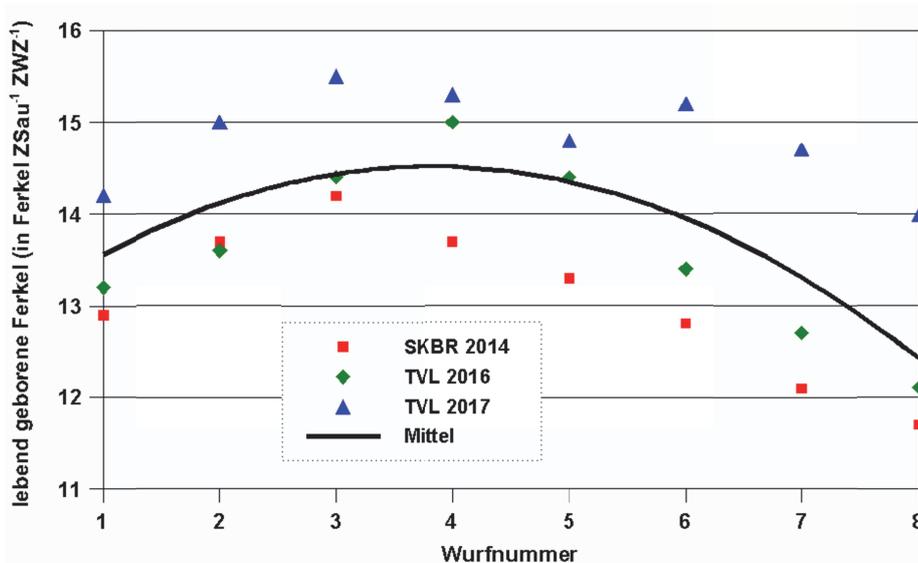


Abbildung 4: Zahl der lebend geborenen Ferkel als Funktion der Wurfnnummer (Daten aus SKBR, 2014, und TVL, 2016, 2017).

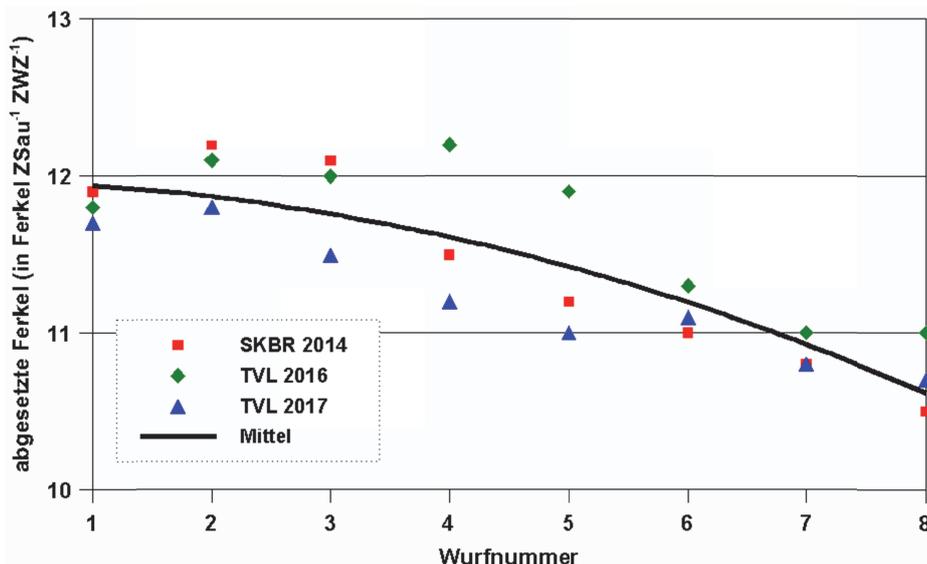


Abbildung 5: Zahl der abgesetzten Ferkel als Funktion der Wurfnnummer (Daten aus SKBR, 2014, und TVL, 2016, 2017).

Der **Anteil der tot geborenen Ferkel** beläuft sich im Mittel auf 5 %. Aus den aus in SKBR (2014) und TVL (2016, 2017) veröffentlichten Datensätzen lassen sich die **Verluste bis zum Absetzen** als Funktion der Wurfnnummer ermitteln. Die Resultate sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Ferkelverluste als Funktion der Wurfnnummer (gerundet)

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

Daraus ergeben sich die in Tabelle 3 angegebenen mittleren Zahlen für Ferkel je Wurf für unterschiedliche Wurfnnummern.

Tabelle 3: Insgesamt geborene, lebend geborene und abgesetzte Saugferkel als Funktion der Wurfnummer

Wurfnummer	1	2	3	4	5	6	7	8
insgesamt geborene Ferkel	14,0	14,7	14,9	14,8	14,5	14,1	13,6	13,1
lebend geborene Ferkel	13,3	14,0	14,2	14,1	13,8	13,4	13,0	12,4
abgesetzte Ferkel	11,5	12,4	12,7	12,6	12,2	11,8	11,3	10,9

2.4.2.2 Würfe zur Bereitstellung von Aufzuchtferkeln als Funktion der Altersstruktur der Sauenherde

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

Alterstrukturen in Sauenherden werden z.B. in Schuster (2009), 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 6 ist eine beispielhafte Auswertung thüringischer Datensätze. Die Ausgleichsgerade schneidet die Wurfnummer-Achse *de facto* bei der Wurffzahl 9. (Die Originaldatensätze enthalten jeweils geringe Anteile von Wurfnummern ≥ 9).

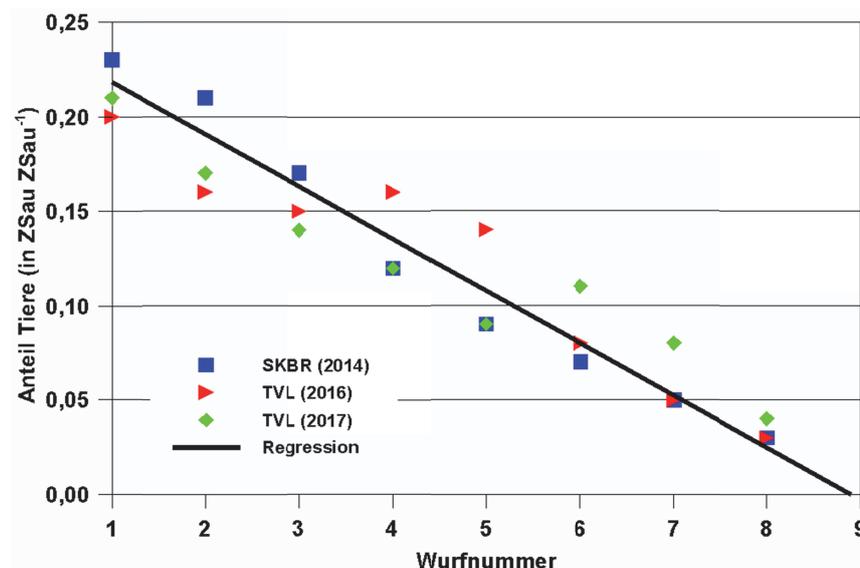


Abbildung 6: Alterstrukturen in thüringischen Sauenherden. Praxisdaten von 22 Betrieben (SKBR, 2014), 28 bzw. 30 Betrieben (TVL, 2016, 2017)

Alterstrukturen 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 6 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 (9) folgt.

$$c_j = \frac{1}{\frac{j}{2} \cdot (j+1)} \quad (9)$$

wobei

c_j Abnahme der Anteile an der Herde (in $\text{ZSau} \text{ZSau}^{-1}$)
 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.

Der Zusammenhang zwischen Wurfnummer, Anteil der Tiere und maximaler Zahl der Würfe geht aus Abbildung 7 hervor.

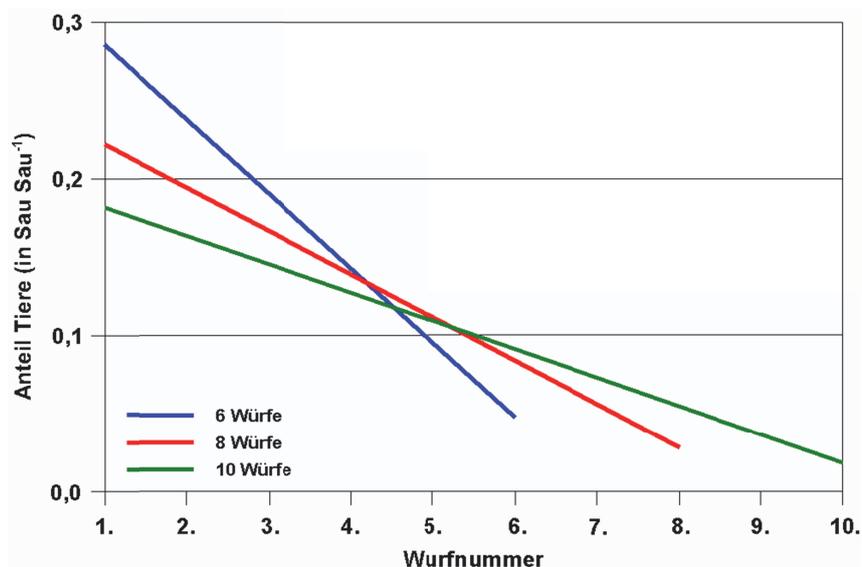


Abbildung 7: Linearisierte Zusammenhänge zwischen Wurfnummer und Alterstruktur einer Sauenherde bei gegebener maximaler Wurfzahl

2.4.2.3 Höhe der Verluste als Funktion der Leistung, Begrenzung der Wurfzahlen

Müller (2014) gibt für Thüringen Verluste bei Zuchtsauen von 6,5 bis 9,5 % an. Sie sind abhängig von der Zahl der abgesetzten Ferkel pro Jahr (Abbildung 8).

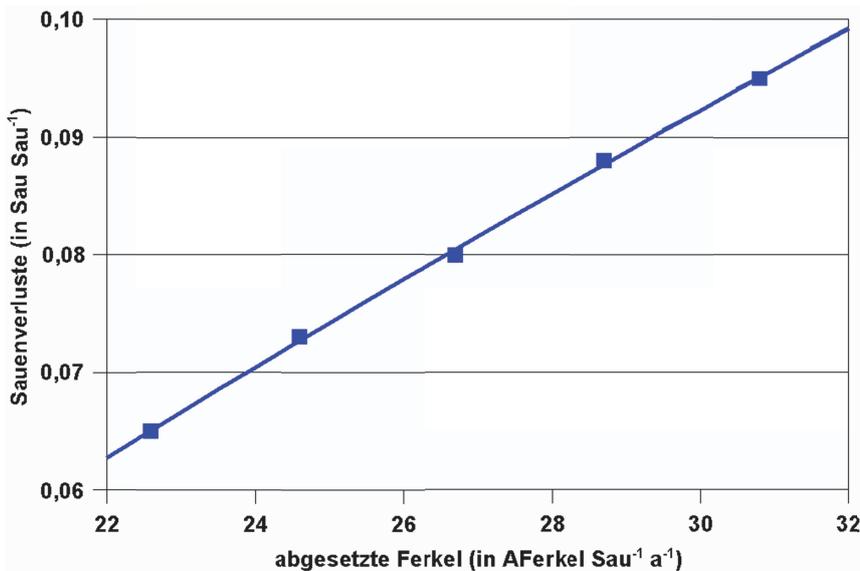


Abbildung 8: Sauenverluste durch Verenden oder Einschläfern als Funktion der Leistung (Daten für Betriebe in Thüringen aus Müller (2014))

Der Zusammenhang ist in Gleichung (10) beschrieben:

$$x_{\text{loss.bs}} = a_{\text{bs}} \cdot n_{\text{we}}^2 + b_{\text{bs}} \cdot n_{\text{we}} + c_{\text{bs}} \quad (10)$$

mit

- $x_{\text{boss, bs}}$ Verluste der Zuchtsauen (in Sau Sau⁻¹)
- a_{bs} Koeffizient ($a_{\text{bs}} = -0,0000232 \text{ AFerkel}^{-1} \text{ Sau a}$)
- n_{we} abgesetzte Ferkel (in AFerkel Sau⁻¹ a⁻¹)
- b_{bs} Koeffizient ($b_{\text{bs}} = 0,00489647 \text{ AFerkel}^{-2} \text{ Sau a}^2$)
- c_{bs} Konstante ($c_{\text{bs}} = -0,03372497 \text{ Sau Sau}^{-1}$)

$$R^2 = 0,999$$

Das Abgangsgeschehen ist bei der Festlegung der Zahl der Würfe zu berücksichtigen. Abgänge durch Schlachten dominieren (etwa 90 % der Abgänge). Sie haben vornehmlich Unfruchtbarkeit zur Ursache, daneben Alter, Leistung, Milchmangel und Fundament (z.B. Freitag und Wittmann, 2009; LKV Bayern, 2015).

2.4.2.4 Mittlere Lebensleistung einer Sauenherde

Die Lebensleistung selbst ist wiederum eine Funktion der Zahl der Würfe (Abbildung 9, Werte aus Tabelle 3). Die hier entwickelte (im Prinzip nichtlineare) Beziehung (Gleichung (11)) lässt auch die Eingabe gebrochener Wurfzahlen zu.

$$P_{\text{bs, weaned}} = a_{\text{pbs}} \cdot n_{\text{lit}}^2 + b_{\text{pbs}} \cdot n_{\text{lit, bs}} + c_{\text{pbs}} \quad (11)$$

mit

- $P_{\text{bs, weaned}}$ Lebensleistung einer Sau (in AFerkel Sau⁻¹)
- a_{pbs} Koeffizient ($a_{\text{pbs}} = -0,033102 \text{ AFerkel Sau Wurf}^2$)
- $n_{\text{lit, bs}}$ Anzahl der Würfe je Sauenleben (in Sau⁻¹ Wurf)
- b_{pbs} Koeffizient ($b_{\text{pbs}} = -0,033102 \text{ AFerkel Wurf}^{-1}$)

c_{Pbs} Konstante ($c_{Pbs} = -0,033102 \text{ AFerkel Sau}^{-1}$)

$R^2 = 1,0000$

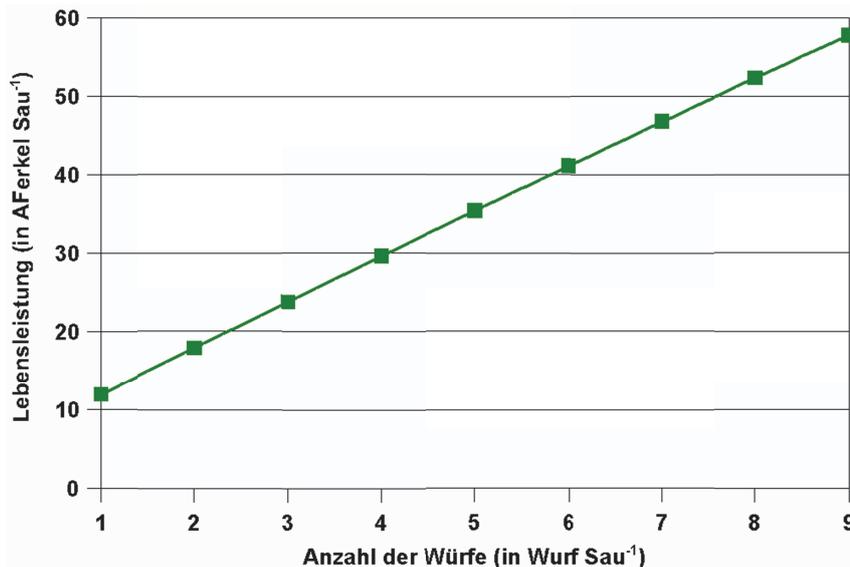


Abbildung 9: Lebensleistung einer F1-Zuchtsau als Funktion der Anzahl der Würfe

Ein linearer Zusammenhang stellt jedoch eine hinreichende Vereinfachung dar:

$$P_{bs, weaned} = d_{Pbs} \cdot n_{lit, bs} + e_{Pbs} \quad (12)$$

mit

$P_{bs, weaned}$ Lebensleistung einer Sau (in AFerkel Sau⁻¹)
 d_{Pbs} Koeffizient ($d_{Pbs} = 5,7447 \text{ AFerkel Wurf}^{-1}$)
 $n_{lit, bs}$ Anzahl der Würfe je Sauenleben (in WurfSau⁻¹)
 e_{Pbs} Konstante ($e_{Pbs} = 6,475 \text{ AFerkel Sau}^{-1}$)

$R^2 = 1,000$

2.4.2.5 Anzahl der benötigten F1-Sauen, Altersstruktur der Sauenherde

Die Zahl der Sauen, die bei gegebener Zahl der Würfe je Sau zur Erhaltung des Mastbestandes erforderlich ist, ergibt sich zu

$$n_{bs, herd} = \frac{n_{we, weaned, herd} \cdot n_{round}}{n_{we, lit, mean} \cdot n_{lit, ann}} \quad (13)$$

mit

$n_{bs, herd}$ Anzahl der F1-Sauen je Herde und Jahr (in Sau Herde⁻¹)
 $n_{we, weaned, herd}$ Anzahl der abgesetzten Aufzuchtferkel (AFerkelplätze)
 ($n_{we, weaned} = 1000 \text{ AFerkel MDG}^{-1} \text{ Herde}^{-1}$)
 n_{round} Anzahl der Mastdurchgänge pro Jahr (in MDG a⁻¹)
 $n_{we, lit, mean}$ mittlere Anzahl der abgesetzten Ferkel je Wurf (AFerkel Wurf⁻¹ Sau⁻¹)
 $n_{lit, ann}$ Anzahl der Würfe pro Jahr (in Wurf a⁻¹)

Die mittlere Anzahl der abgesetzten Ferkel ist eine Funktion der Zahl der Würfe je Sau. Aus Tabelle 3 ergibt sich:

$$n_{\text{we, lit, mean}} = a_{\text{we, lit, mean}} \cdot j^2 + b_{\text{we, lit, mean}} \cdot j + c_{\text{we, lit, mean}} \quad (14)$$

mit

$n_{\text{we, lit, mean}}$ mittlere Anzahl der abgesetzten Ferkel pro Sau und Wurf (in AFerkel Sau⁻¹ Wurf¹)

$a_{\text{we, lit, mean}}$ Koeffizient ($n_{\text{we, lit, mean}} = -0,00663$ AFerkel Sau⁻¹ Wurf¹)

j maximale Wurfnummer

$b_{\text{we, lit, mean}}$ Koeffizient ($b_{\text{we, lit, mean}} = -0,01474$ AFerkel Sau⁻¹ Wurf¹)

$c_{\text{we, lit, mean}}$ Konstante ($c_{\text{we, lit, mean}} = 11,95999$ AFerkel Sau⁻¹ Wurf¹)

$$R^2 = 1,000$$

In der Annahme, dass die Altersverteilung wie im Kontext von Gleichung (9) beschrieben ist, ist der Anzahl der F1-Sauen im ersten, zweiten und j-ten Wurf, $n_{\text{bs, 1}}, n_{\text{bs, 2}}, \dots, n_{\text{bs, j}}$

$$n_{\text{bs, 1, herd}} = n_{\text{bs, herd}} \cdot \frac{j}{\frac{j}{2} \cdot (j+1)} \quad (15a)$$

$$n_{\text{bs, 2, herd}} = n_{\text{bs, herd}} \cdot \frac{j-1}{\frac{j}{2} \cdot (j+1)} \quad (15b)$$

etc.

$$n_{\text{bs, j, herd}} = n_{\text{bs, herd}} \cdot \frac{1}{\frac{j}{2} \cdot (j+1)} \quad (15c)$$

mit

$n_{\text{bs, 1, herd}}$ Anzahl der F1-Sauen je Herde in der 1. Trächtigkeit (in Sau Herde⁻¹)

$n_{\text{bs, herd}}$ Anzahl der F1-Sauen je Herde (in Sau Herde⁻¹)

j maximale Wurfnummer

$n_{\text{bs, 2, herd}}$ Anzahl der F1-Sauen je Herde in der 2. Trächtigkeit (in Sau Herde⁻¹)

etc.

Die Zahl der **zu fütternden Sauen** muss für jede Wurfnummer gesondert berechnet werden, da Lebendmasse und Zahl der Ferkel Funktionen der Wurfnummer sind.

Hier wird angenommen, dass der Verlust der Zuchtsauen innerhalb eines Durchgangs zufallsverteilt ist. Für die Anzahl der zu fütternden Sauen wird daher der Mittelwert der Anzahlen zu Beginn des m-ten und des (m+1)-ten Durchgangs gewählt.

$$n_{\text{bs, m, fed}} = \frac{n_{\text{bs, m, start}} + n_{\text{bs, m+1, start}}}{2} \quad (16)$$

mit

$n_{\text{bs, m, fed}}$ Anzahl der zu fütternden Zuchtsauen im m-ten Durchgang (in Sau ZWZ⁻¹)

$n_{\text{bs, m, start}}$ Anzahl der Zuchtsauen zu Beginn des m-ten Durchgangs (in Sau ZWZ⁻¹)

$n_{\text{bs, m+1, start}}$ Anzahl der Zuchtsauen zu Beginn des (m+1)-ten Durchgangs (in Sau ZWZ⁻¹)

Zahl der durch Schlachtung genutzten Sauen

Auswertungen des LKV Bayern im Jahre 2015 zeigen, dass 7,2 % der gehaltenen Sauen (regionale Spannweite: 3,9 % bis 9,6 %) jährlich verenden. Dazu kommen ca. 2,3 % Verluste durch Tötun-

gen als Folge von Erkrankungen (regionale Spannweite: 1,0 % bis 3,3 %) (LKV Bayern, 2015). Fasst man die übrigen Abgänge (aufgrund von Unfruchtbarkeit, Alter, mangelnder Leistung etc.) zusammen, ist die Schlussfolgerung berechtigt, dass der regulären Schlachtung zur Fleischgewinnung ca. 90 % der abgegangenen Sauen jährlich zugeführt werden.

2.4.2.6 Anzahl der benötigten F1-Jungsauen

Jede F1-Altsau muss nach ihrer Nutzung durch eine F1-Jungsau ersetzt werden. Die Zahl der bereitzustellenden und zu ernährenden Jungsauen je Zwischenwurfzeit berechnet sich aus der Zahl der Sauen insgesamt, der Dauer der Zwischenwurfzeit und der maximalen Wurfzahl zu

$$n_{ys, start} = n_{bs, start} \cdot \frac{1}{x_{pT}} \cdot (1 - x_{loss, ys}) \quad (17)$$

$$n_{ys, fed} = n_{bs, start} \cdot \frac{1}{x_{pT}} \cdot \frac{1 - x_{loss, ys}}{2} \quad (18)$$

mit

- $n_{ys, start}$ Zahl der bereitzustellenden Jungsauen (in JSau MDG⁻¹)
- $n_{bs, start}$ Zahl der zur Bereitstellung der Ferkel benötigten F1-Sauen (in ZSau MDG⁻¹)
- x_{pT} Anteil der bei der Eigenleistungsprüfung zur Remontierung zugelassenen Jungsauen ($x_{pT} = 0,75$ JSau JSau⁻¹)
- $x_{loss, ys}$ Verlustfaktor für Jungsauen (in JSau JSau⁻¹)
- $n_{ys, fed}$ Zahl der zu ernährenden Jungsauen (in JSau MDG⁻¹)

Die Zahl der für den Ersatz vorzusehenden Jungsauen muss die Abgänge durch Leistungsselektion nach der Eigenleistungsprüfung berücksichtigen. Nach der Aufzucht und Eigenleistungsprüfung der Jungsauen wird der größere Anteil zur Ferkelproduktion eingesetzt (F1-Sauen). Die nicht geeigneten Tiere werden geschlachtet. Die Zahl der nicht geeigneten (zu schlachtenden) Tiere ist

$$n_{ys, sl} = n_{ys, start} \cdot \frac{1}{1 - x_{pT}} \cdot (1 - x_{loss, ys}) \quad (19)$$

mit

- $n_{ys, sl}$ Jungsauen zur Schlachtung (in JSau MDG⁻¹)
- $n_{ys, start}$ Zahl der benötigten Jungsauen (in JSau MDG⁻¹)
- x_{pT} Anteil der bei der Eigenleistungsprüfung zur Remontierung zugelassenen Jungsauen (in JSau JSau⁻¹)
- $x_{loss, ys}$ Verlustfaktor für Jungsauen (in JSau JSau⁻¹)

2.4.2.7 F1-Mastbörge

Bei der Erzeugung der F1-Sauen fallen je zur Hälfte Sauen- und Eberferkel an. Die Eberferkel werden bis zum siebenten Tag kastriert und dann gemästet (Mastbörge). Es gilt:

$$n_{yb, start} = n_{ys, start} \quad (20)$$

mit

- $n_{yb, start}$ Anzahl der anfallenden männlichen F1-Ferkel
- $n_{ys, start}$ Anzahl der anfallenden weiblichen F1-Ferkel

Die Anzahl der zu schlachtenden Böрге ist

$$n_{yb,sl} = n_{yb,start} \cdot (1 - x_{loss,yb}) \quad (21)$$

wobei

- $n_{yb,sl}$ Anzahl der zu schlachtenden F1-Böрге
- $n_{yb,start}$ Anzahl der anfallenden männlichen F1-Ferkel
- $x_{loss,yb}$ Verlustfaktor für F1-Böрге (in Borg Borg⁻¹)

Als Anzahl der zu fütternden Böрге wird das Mittel zwischen anfallenden und zu schlachtenden Börgen gewählt. Wie bei den Mastschweinen werden dabei die einzelnen Fütterungsphasen berücksichtigt.

2.4.3 Basiszucht 1 – Eber zur Erzeugung von Masttieren

2.4.3.1 KB-Eber

Pro Trächtigkeit einer Sau müssen etwa 2,4 Spermaportionen eingesetzt werden. Berücksichtigt wird außerdem ein Sicherheitszuschlag von 10 %. Ein Eber produziert im Lauf seiner (angenommenen) 18monatigen Nutzungsdauer etwa 3600 Spermaportionen (M. Wähler, persönliche Mitteilung). Die Zahl der benötigten Eber berechnet sich so zu

$$n_{bb,ai} = n_{lit,ann} \cdot \frac{n_{sp,i}}{n_{sp,tot}} \cdot s_{sp} \cdot \frac{t_{bb}}{t_a} \quad (22)$$

mit

- $n_{bb,ai}$ Zahl der je Zuchtsau benötigten KB-Eber (in KBEber ZSau⁻¹)
- $n_{lit,ann}$ Anzahl der Würfe pro Jahr ($n_{lit,ann} = 2,35$ Wurf ZSau⁻¹ a⁻¹)
- $n_{sp,i}$ benötigte Spermaportionen je Sau und Wurf ($n_{sp,i} = 2,4$ Stück ZSau⁻¹ Wurf⁻¹)
- s_{sp} Sicherheitszuschlag ($s_{sp} = 1,1$)
- $n_{sp,tot}$ pro Eberleben erzeugte Spermaportionen ($n_{sp,tot} = 3600$ Stück KBEber⁻¹)
- t_a Dauer eines Jahres ($t_a = 12$ Monate)
- t_{bb} angenommene Nutzungsdauer eines KB-Ebers ($t_{bb} = 18$ Monate)

Es ergibt sich ein $n_{bb,ai}$ von $2,6 \cdot 10^{-3}$ KB-Eber Sau⁻¹ bzw. ein Verhältnis von Sauen zu KB-Ebern von etwa 400 zu 1.

2.4.3.2 Sucheber

Zur Stimulation werden gleichzeitig Sucheber eingesetzt. Wir rechnen mit 1 Sucheber pro 200 Sauen.

Die Sucheber sind nicht zur Zucht verwendete Eber, die die Eigenleistungsprüfung nicht bestanden haben (Abbildung 2). Unter den Bedingungen der genomischen Selektion (Brade und Distl, 2009, Knap, 2014, Knol et al., 2016) arbeiten wir mit folgenden Annahmen für die Produktion der KB-Eber: 10 % der getesteten Eber-Ferkel werden zur Weiterzucht verwendet, 30 % als Sucheber eingesetzt, 60 % werden gemerzt. Die Sucheber werden nach der Nutzung als Alteber kastriert und geschlachtet. Die Berechnung der Anzahlen der zu fütternden und zu schlachtenden Tiere folgt Kapitel 2.4.2.7.

2.4.3.3 Jungeber

Die Zahl der bis zur Eigenleistungsprüfung zu fütternden Jungeber beträgt dann

$$n_{yb, ai, fed} = a_{yb, bb} \cdot n_{bb, ai} \quad (23)$$

mit

$n_{yb, ai, fed}$ Zahl der in der Basiszucht 1 zu fütternden Jungeber (in JEber ZSau⁻¹)

$a_{yb, bb}$ Konstante ($a_{yb, bb} = 10$ JEber KBEber⁻¹)

$n_{bb, ai}$ Zahl der je Zuchtsau benötigten KB-Eber (in KBEber ZSau⁻¹)

2.4.4 Basiszucht 2 – Großeltern zur Bereitstellung der zur Mastferkelerzeugung benötigten Eber und Sauen (Reinzucht)

Die Aufzucht und die Sauenhaltung in der Reinzucht erfolgen ähnlich der Sauenhaltung in der Stufe der Ferkelerzeugung. Die ausschließlich zur Reproduktion der Reinzucht benötigten KB-Eber werden in gleicher Weise wie die übrigen Eber aufgezogen und gehalten.

In den Rechnungen wird ein vereinfachtes Verfahren zur Schätzung der Tierzahlen eingesetzt.

2.4.4.1 Weibliche Tiere zur Reinzucht

Bei der Festlegung des Bedarfs weiblicher Muttertiere in der Reinzucht sind Tiere für Zucht und Eigenreproduktion zu berücksichtigen. Unsere Annahmen berücksichtigen eine sehr intensive genetisch-züchterische Selektion mittels genomischer Selektion (Knap, 2014, Knol et al., 2016) zwecks Erreichens eines sehr hohen Zuchtfortschrittes und dadurch bedingten kurzen Nutzungsdauern der weiblichen Tiere in der Basiszucht. Die Zuchtstufen dienen dazu, für die Mast einen 3-Rassen-Hybriden zu erzeugen.

Sauen Mutterrasse A

Angenommen wird eine Nutzung der Müttermütter von nur zwei Würfen. Die Zahl der zu fütternden Mütter-Mütter ist ein Zwölftel der Anzahl der benötigten Aufzuchtferkel F1.

Sauen Mutterrasse B

Wir nehmen vereinfachend an, dass die Zahl der Müttermütter in der Reinzucht der Mütter für die Kreuzung mit Ebern der Vaterasse C halb so groß ist wie die der Müttermütter der Mutterrasse A (ein Vierundzwanzigstel der benötigten Aufzuchtferkel).

Sauen Vaterasse C

Wir nehmen an, dass die Zahl der hier benötigten und gefütterten Sauen (Vätermütter) der Zahl der Sauen in Mutterrasse A (im Interesse eines hohen Zuchtfortschrittes speziell auch in der Vaterlinie C, die bei der 3-Rassen-Kreuzung die Väter der Endprodukte in der Mast stellt) entspricht.

Sauenbedarf insgesamt

Die Zahl der zu fütternden Zuchtsauen in der Reinzucht beträgt dann

$$R_{bs, basis} = (x_{bs, A} + x_{bs, B} + x_{bs, C}) \cdot R_{ys, F1} = X_{bs} \cdot R_{ys, F1} \quad (24)$$

mit

$R_{bs, basis}$ Anzahl der in der Reinzucht benötigten Zuchtsauen (in Sau ZWZ⁻¹)

$x_{bs, A}$ pro F1-Sau erforderliche Anzahl an Reinsauen A (in Sau Sau⁻¹)

etc.

$R_{ys, F1}$ Anzahl der benötigten F1-Jungsaunen (in Sau ZWZ⁻¹)

X_{bs} pro F1-Sau erforderliche Anzahl an Reinsauen insgesamt (in Sau Sau⁻¹)

und

$$X_{bs} = \frac{1}{12} + \frac{1}{24} + \frac{1}{12} = \frac{5}{24} \quad (25)$$

Dies spiegelt die Annahme wider, dass je Sau und Wurf etwa 12 Ferkel abgesetzt werden. Bei der Ermittlung des Futterbedarfes für die Zuchtsauen in der Basisstufe ist anzumerken, dass die weiblichen Reinzuchttiere weniger fruchtbar sind als die F1-Sauen in der Stufe der Ferkelerzeugung. Aus aktuellen Bayerischen Daten lässt sich ableiten, dass die Reinzuchttiere (Deutsche Landrasse) zwischen 0,5 bis 2,9 weniger aufgezogene Ferkel je Wurf realisieren (zugekaufte deckfähige Jungsaunen) (LKV Bayern, 2015). Die Berechnung des Energie- und Futterbedarfs der Reinsauen basiert deshalb auf der Annahme, dass 1,5 Ferkel weniger je Wurf abgesetzt werden als in der Sauenhaltung. Angenommen wird ferner, dass die Nutzungsdauer eine Zuchtsau in der Reinzucht nur zwei Würfe umfasst.

Ferner wird angenommen, dass für eine hinreichende Selektion dreimal so viele Jungsaunen erzeugt werden, wie sie für die Ferkelproduktion benötigt werden.

2.4.4.2 Männliche Tiere zur Reinzucht

Setzt man weiter voraus, dass zur Reproduktion der reinrassigen Tiere auch noch KB-Eber der Rassen A und B zusätzlich aufgezogen und gehalten werden (wobei die Reproduktion der reinrassigen Tiere der Rasse C mit den besten ohnehin vorhandenen KB-Ebern gut möglich ist), so ergibt sich für die Eberaufzucht und Haltung der Rassen A und B ein Bedarf von 1 Eber für je 10 Saunen zwecks Selektion und Inzuchtvermeidung (Expertenschätzung Brade).

$$R_{bb, \text{basis}} = \frac{1}{10} R_{bs, \text{basis}} \quad (26)$$

mit

$R_{bb, \text{basis}}$ Bedarf an männlichen Zuchttieren in der Basiszucht (in Eber ZWZ⁻¹)

$R_{bs, \text{basis}}$ Bedarf an weiblichen Zuchttieren in der Basiszucht (in Sau ZWZ⁻¹)

2.4.4.3 Nutzung von in der Reinzucht nicht verwendeten (überzähligen) Tieren

In der Basiszucht fallen neben den Tieren des gewünschten Geschlechts auch Tiere des jeweils anderen Geschlechts an. Die Gesamtzahl der aufzuziehenden Zuchttiere übersteigt den oben genannten Bedarf, da eine Selektion stattfindet. Nur ein Bruchteil der Tiere wird zur Zucht eingesetzt, Die Ferkel des jeweils nicht benötigten Geschlechts werden aufgezogen und gemästet. Unter Berücksichtigung der Verluste berechnen sich die Anzahlen wie folgt:

$$n_{bs, \text{basis}, \text{start}} = 3R_{bs, \text{basis}} \cdot (1 + x_{\text{loss}, bs, \text{basis}}) \quad (27a)$$

$$n_{bb, \text{basis}, \text{start}} = 3R_{bb, \text{basis}} \cdot (1 + x_{\text{loss}, bb, \text{basis}}) \quad (27b)$$

mit

$n_{bs, \text{basis}, \text{start}}$ Anzahl der zu erzeugenden weiblichen Zuchttiere (in Sau ZWZ⁻¹)

$R_{bs, \text{basis}}$ Bedarf an weiblichen Zuchttieren in der Basiszucht (in Sau ZWZ⁻¹)

$x_{\text{loss}, bs, \text{basis}}$ Selektionsrate bei der Aufzucht weiblicher Zuchttiere (in Sau Sau⁻¹)

$n_{bb, \text{basis}, \text{start}}$ Anzahl der zu erzeugenden männlichen Zuchttiere (in Eber ZWZ⁻¹)

$R_{bb, \text{basis}}$ Bedarf an männlichen Zuchttieren in der Basiszucht (in Eber ZWZ⁻¹)

$x_{\text{loss, bb, basis}}$ Selektionsrate bei der Aufzucht männlicher Zuchttiere (in Eber Eber⁻¹)

Die nicht benötigten überlebenden reinrassigen Tiere werden wie üblich gemästet und geschlachtet. Zu berücksichtigen ist, dass ihre Mast- und Schlachtleistung gegenüber den End-Hybriden in der Maststufe (etwas) variiert und dass die Schlachtkörper zum Teil von geringerem Wert sind. Dies wäre beim Bezug der Emissionen auf die Schlachtkörper im Prinzip zu berücksichtigen. Da der quantitative Anteil der Fleischerzeugung in der Basiszucht im Verhältnis zu den übrigen Produktionsstufen jedoch von sehr geringer Bedeutung ist (Anteil $\leq 2\%$ an der Gesamtfleischerzeugung - vgl. auch Tabelle 45), wird auf eine Berücksichtigung einer hier teilweise vorhandenen Variabilität verzichtet.

Die wenigen ausschließlich in der Basiszucht verwendeten reinrassigen Eber (der so genannten Mutterlinien A und B) werden gleichfalls in den KB-Stationen gemeinsam mit der Vaterlinie C gehalten. Der relative Anteil der Eber der Linien A und B errechnet sich aus dem Jungsauenerbedarf wie folgt:

$$R_{\text{bb, basis}} = (x_{\text{bb, A}} + x_{\text{bb, B}}) \cdot R_{\text{ys, F1}} = X_{\text{bb}} \cdot R_{\text{ys, F1}} \quad (28)$$

mit

$R_{\text{bb, basis}}$ Anzahl der in der Basiszucht benötigten Zuchteber (in Eber ZWZ⁻¹)

$x_{\text{bs, A}}$ pro F1-Sau erforderliche Anzahl an Basisebern A (in Eber ZSau⁻¹)

etc.

$R_{\text{ys, F1}}$ Anzahl der benötigten F1-Jungsaunen (in JSau ZWZ⁻¹)

X_{bb} pro F1-Sau erforderliche Anzahl an Basisebern insgesamt (in Eber ZSau⁻¹)

und

$$X_{\text{bb}} = \frac{1}{120} + \frac{1}{240} = \frac{3}{240} = \frac{1}{80} \quad (28a)$$

Die zusätzliche Eberhaltung für die Rassen A und B verursacht dann folglich auch 1/80 der Emissionen der Aufzucht und Haltung der KB-Eber für die Rasse C zur Erzeugung der Ferkel in der Stufe der Ferkelerzeugung.

Diese Aussage setzt weiter voraus, dass eine genomische Selektion bereits der Eberferkel der Linien A und B (analog der Linie C) stattfindet.

2.5 Energiebedarf und Futteraufnahme

Die Ausscheidungen der Tiere und damit die Emissionen hängen von der Menge und Zusammensetzung des Futters ab, diese wiederum vom Energie- und Nährstoffbedarf. Beide sind von der Leistung der Tiere abhängig. Die maßgebliche Energie ist die umsetzbare Energie (ME). Die hierfür angegebenen leistungsabhängigen Daten sind in der Regel tabelliert (z.B. in GfE, 2006).

Für diese Arbeit werden stetige und integrierbare Funktionen benötigt, die aus den in den GfE-Tabellen (GfE, 2006) genannten Werten und den zugehörigen Informationen abgeleitet wurden.

2.5.1 Aufzuchtferkel

Die in GfE (2006) für Aufzuchtferkel vorgegebenen Daten lassen sich nach Haenel et al. (2011) zu den folgenden Gleichungen entwickeln. Sie lauten für jede Fütterungsphase:

$$\Sigma ME_{we}(w_{we,0}, w_{we,1}) = \eta_{ME, m, we} \cdot \frac{w_{unit}^2}{1.75 \cdot g} \cdot \left[\left(\frac{w_{we,1}}{w_{unit}} \right)^{1.75} - \left(\frac{w_{we,0}}{w_{unit}} \right)^{1.75} \right] + \eta_{ME, g, we}^* \cdot (w_{we,1} - w_{we,0}) \quad (29)$$

mit

$\Sigma ME_{we}(w_0, w_1)$ ME-Bedarf für die Fütterungsphase zwischen den Lebendmassen w_0 und w_1 (in MJ AFerkel⁻¹ Phase⁻¹)
 $\eta_{ME, m, we}$ spezifischer ME-Bedarf für Erhaltung (in MJ kg⁻¹ d⁻¹)
 w_{unit} Referenzmasse ($w_{unit} = 1$ kg AFerkel⁻¹)
 $w_{we,0}, w_{we,1}$ Lebendmassen zu Beginn und Ende einer Fütterungsphase (mit $w_{we,0} < w_{we,1}$ (in kg AFerkel⁻¹))
 g mittlere tägliche Zunahme in der Fütterungsphase (in kg AFerkel⁻¹ d⁻¹)

und

$$\eta_{ME, g, we}^* = \frac{\alpha_{p, we}}{k_{p, we}} \cdot P_{we} + \frac{\alpha_{fat, we}}{k_{fat, we}} \cdot \left(a_{fat, we} + b_{fat, we} \cdot \frac{w_{we,0} + w_{we,1}}{2} \right) \quad (30)$$

wobei

$\eta_{ME, g, we}^*$ effektiver spezifischer ME-Bedarf für Wachstum zwischen den Lebendmassen w_0 und w_1 (in MJ kg⁻¹)
 $\alpha_{p, we}$ Energiegehalt von Protein ($\alpha_{p, we} = 23,8$ MJ kg⁻¹)
 $k_{p, we}$ Teilwirkungsgrad für Proteinansatz ($k_{p, we} = 0,7$ MJ MJ⁻¹)
 P_{we} Proteinanteil im Zuwachs ($P_{we} = 0,17$ kg kg⁻¹)
 $\alpha_{fat, we}$ Energiegehalt von Fett ($\alpha_{fat, we} = 39,7$ MJ kg⁻¹)
 $k_{fat, we}$ Teilwirkungsgrad für Fettansatz ($k_{fat, we} = 0,7$ MJ MJ⁻¹)
 $a_{fat, we}$ Konstante ($a_{fat, we} = 0,08$ kg kg⁻¹)
 $b_{fat, we}$ Koeffizient ($b_{fat, we} = 0003$ kg⁻¹ AFerkel)
 $w_{we,0}, w_{we,1}$ Lebendmassen zu Beginn und Ende einer Fütterungsphase, mit $w_{we,0} < w_{we,1}$ (in kg AFerkel⁻¹)

2.5.2 Mastschweine

Haenel et al. (2011) leiteten in ähnlicher Weise den kumulativen ME-Bedarf von Mastschweinen aus den Informationen zu den Tabellen in GfE (2006) ab:

$$\Sigma ME_{fp}(w_0, w_1) = \eta_{ME, m, n} \cdot \left[\frac{\varphi_1(w_0, w_1, w_A) + \varphi_2(w_0, w_1, w_A, w_B) + \varphi_3(w_0, w_1, w_B)}{g} \right] + \eta_{ME, g}^* \cdot (w_1 - w_0) \quad (31)$$

mit

$\Sigma ME_{fp}(w_0, w_1)$ kumulativer ME-Bedarf für eine Lebensphase mit Anfangs- und Endmassen w_0 und w_1 (in MJ MSchwein⁻¹ ME)
 $\eta_{ME, m, n}$ spezifischer ME-Bedarf für Erhaltung ($\eta_{ME, m, n} = 0,44$ MJ kg⁻¹ d⁻¹)
 $\varphi_0, \varphi_1, \text{ etc.}$ Funktionen von $w_0, w_1, \text{ etc.}$, siehe unten (in kg² MSchwein⁻²)
 w_0, w_1 Lebendmassen zu Beginn und Ende einer Fütterungsphase, mit $w_0 < w_1$ (in kg MSchwein⁻¹)

w_A, w_B Schwellenwerte für Lebendmassen (in kg MSchwein⁻¹)
 g mittlerer täglicher Zuwachs (in kg MSchwein⁻¹ d⁻¹)

wobei

$$\varphi_1 = \frac{a_m \cdot w_{\text{unit}}^2}{1.75} \cdot \left[\left(\frac{\min(w_1, w_A)}{w_{\text{unit}}} \right)^{1.75} - \left(\frac{\min(w_0, w_A)}{w_{\text{unit}}} \right)^{1.75} \right] \quad (32)$$

$$\varphi_2 = \frac{w_{\text{unit}}^2}{1.75} \cdot \left(a_m + \frac{b_m \cdot w_A}{w_B - w_A} \right) \cdot \left[\left(\frac{\max(w_A, \min(w_1, w_B))}{w_{\text{unit}}} \right)^{1.75} - \left(\frac{\min(w_B, \max(w_0, w_A))}{w_{\text{unit}}} \right)^{1.75} \right] - \frac{b_m \cdot w_{\text{unit}}^3}{2.75 \cdot (w_B - w_A)} \cdot \left[\left(\frac{\max(w_A, \min(w_1, w_B))}{w_{\text{unit}}} \right)^{2.75} - \left(\frac{\min(w_B, \max(w_0, w_A))}{w_{\text{unit}}} \right)^{2.75} \right] \quad (33)$$

$$\varphi_3 = \frac{w_{\text{unit}}^2}{1.75} \cdot \left[\left(\frac{\max(w_1, w_B)}{w_{\text{unit}}} \right)^{1.75} - \left(\frac{\max(w_0, w_B)}{w_{\text{unit}}} \right)^{1.75} \right] \quad (34)$$

$$\eta_{\text{ME},g}^* = \frac{\alpha_p}{k_p} \cdot \left(a_p - b_p \cdot \frac{w_0 + w_1}{2} \right) + \frac{\alpha_f}{k_f} \cdot a_f \cdot \left(b_f + c_f \cdot \frac{w_0 + w_1}{2} \right) \quad (35)$$

mit

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$, etc. Funktionen von w_0, w_1, w_A , und w_B etc. (in kg² MSchwein⁻²)
 w_0, w_1 Lebendmassen zu Beginn und Ende einer Fütterungsphase, mit $w_0 < w_1$ (in kg MSchwein⁻¹)
 w_A, w_B Schwellenwerte für Lebendmassen (in kg MSchwein⁻¹)
 w_{unit} Referenzmasse ($w_{\text{unit}} = 1$ kg MSchwein⁻¹)
 a_m Konstante ($a_m = 1,25$ MJ MJ⁻¹)
 b_m Koeffizient ($b_m = 0,25$ MJ MJ⁻¹)
 $\eta_{\text{ME},g}^*$ spezifischer ME-Bedarf für Wachstum (in MJ kg⁻¹)
 α_p Koeffizient ($\alpha_p = 23,8$ MJ kg⁻¹)
 k_p Koeffizient ($k_p = 0,56$ MJ MJ⁻¹)
 a_p Konstante ($a_p = 0,168$ kg kg⁻¹)
 b_p Konstante ($b_p = 0,0001828$ kg⁻¹ MSchwein)
 α_f Koeffizient ($\alpha_f = 39,7$ MJ kg⁻¹)
 k_f Koeffizient ($k_f = 0,74$ MJ MJ⁻¹)
 a_f Konstante ($a_f = 0,94$ kg kg⁻¹)
 b_f Konstante ($b_f = 0,1162$ kg kg⁻¹)
 c_f Konstante ($c_f = 0,002778$ kg⁻¹ MSchwein)

2.5.3 F1-Zuchtsauen

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 Methan (CH₄), VS sowie N mit Kot und Harn. Angesichts 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 detaillierterer 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.

2.5.3.1 Lebensabschnitte

Die Dauer des Reproduktionszyklus einer Zuchtsau (ZSau) ist die Zwischenwurfzeit (ZWZ) zwischen den Zeitpunkten A_n und A_{n+1} in Abbildung 8 (wobei n die Wurfnummer ist).

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 sowie fetaler Zuwachs lassen die Masse bis zur Geburt (**F**) ansteigen. In dieser Phase ist der ME-Bedarf für die Entwicklung der Milchdrüse zu berücksichtigen. Nach der Geburt baut die Sau Körpersubstanz (Fett und Eiweiß, vgl. Noblet et al., 1989) 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). Säugefutter wird vom Zeitpunkt der Geburt bis 14 d nach Absetzen gefüttert.

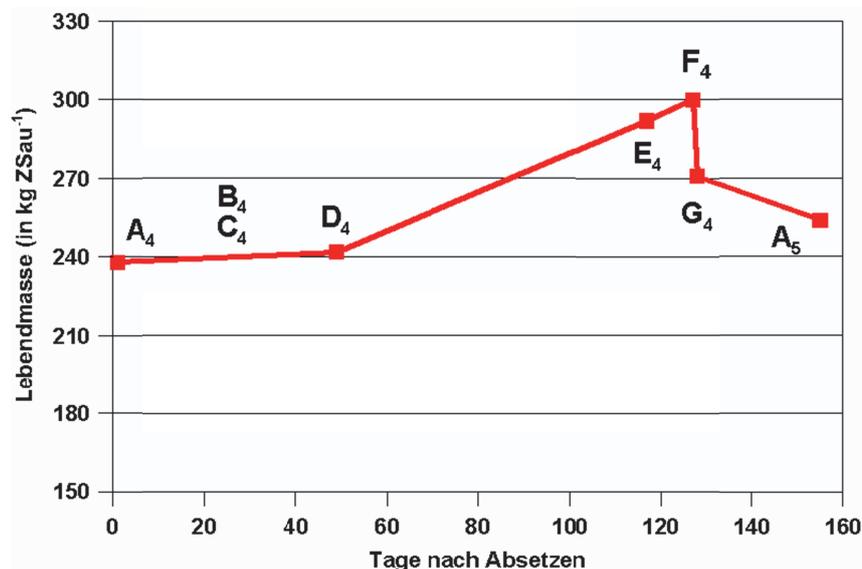


Abbildung 10: Beispiel Lebendmasseentwicklung bei Sauen (nach Messdaten aus Heinze et al., 2008, Tabellen 6 und 7, Wurfnummer 4, vervollständigt).

Zeitpunkte: **A₄**: Absetzen, bei Wurfnummer 4 Besamung (KB) (*M*); **B₄**: Belegen der Sau (*E*); **C₄**: Futterwechsel Säugefutter/Tragefutter (*E*); **D₄**: Mitte der 1. Phase der Trächtigkeit (*M*); **E₄**: 10 d vor Abferkeln (*M*); **F₄**: Ende der Trächtigkeit (*E*); **G₄**: nach dem Abferkeln (*E*); **A₅**: Ende der Laktation, Absetzen (*M*).

Es bedeuten: (*M*): Messwert; (*E*): errechneter Wert.

2.5.3.2 Aufgliederung des Energiebedarfs

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

$$\Sigma ME_{bs, n} = \Sigma ME_{bs, m, n} + \Sigma ME_{bs, g, n} + \Sigma ME_{bs, p, n} + \Sigma ME_{bs, t, n} + \Sigma ME_{bs, l, n} \quad (36)$$

mit

$\Sigma ME_{bs, n}$	kumulativer ME-Bedarf einer Zuchtsau im Verlauf einer Zwischenwurfzeit, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹ ME) ¹
$\Sigma ME_{bs, m, n}$	kumulativer ME-Bedarf für Erhaltung, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹ ME)
$\Sigma ME_{bs, g, n}$	kumulativer ME-Bedarf für Wachstum, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹ ME)
$\Sigma ME_{bs, p, n}$	kumulativer ME-Bedarf für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹ ME)
$\Sigma ME_{bs, t, n}$	kumulativer ME-Bedarf für die Entwicklung der Milchdrüse, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹ ME)
$\Sigma ME_{bs, l, n}$	kumulativer ME-Bedarf für die Milchbildung, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹ ME)

Die Berechnung der Summanden erfolgt für jeden der vier Lebensabschnitte (Abbildung 10: **A** bis **C**; **C** bis **D**, **D** bis **F**, **G** bis **A**) getrennt.

2.5.3.3 ME-Bedarf für Erhaltung

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

$$ME_{bs, m} = a_m \cdot w_{unit} \cdot \left(\frac{w_{bs}}{w_{unit}} \right)^{0,75} \quad (37)$$

mit

$ME_{bs, m}$	ME-Bedarf bei gegebener Lebendmasse (w_{bs}) (in MJ ZSau ⁻¹ d ⁻¹)
a_m	Konstante ($a_m = 0,44 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$)
w_{unit}	Referenzmasse ($w_{unit} = 1 \text{ kg ZSau}^{-1}$)
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, die zeitliche Entwicklung der Lebendmasse im Detail (linear, nicht linear) nicht bekannt ist, also

$$\Sigma ME_{bs, m, i, n} = a_m \cdot w_{unit} \cdot \left(\frac{w_{bs, start, i, n} + w_{bs, end, i, n}}{2 w_{unit}} \right)^{0,75} \cdot t_{grav, i, n} \quad (38)$$

mit

$\Sigma ME_{bs, m, i, n}$	kumulativer ME-Bedarf in einem Lebensabschnitt i, n-te Wurfnummer (in MJ ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹ ME)
a_m	Konstante ($a_m = 0,44 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$)
w_{unit}	Referenzmasse ($w_{unit} = 1 \text{ kg ZSau}^{-1}$)

¹bs: breeding sow; m: maintenance; g: growth; p: pregnancy, conception products; l: lactation

$w_{ba, start, i, n}$	Lebendmasse der Sau am Anfang des Lebensabschnitts i, n-te Wurfnummer (in kg ZSau ⁻¹)
$w_{bs, end, i, n}$	Lebendmasse der Sau am Ende des Lebensabschnitts i, n-te Wurfnummer (in kg ZSau ⁻¹)
$t_{bs, i, n}$	Dauer des Lebensabschnitts i (in d ZWZ ⁻¹)

Vergleichsrechnungen mit einer Berücksichtigung der Anfangs- und Endmassen und einer konstanten täglichen Zunahme anstelle der mittleren Masse ergaben Differenzen von weniger als 1 ‰.

2.5.3.4 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 $w_{end} - w_{start} > 0$ wie folgt:

$$\sum ME_{bs, g, i, n} = \frac{H_{CP}}{k_{CP}} \cdot \left((w_{bs, i, n, end} - w_{bs, i, n, start}) \cdot x_{eb} \cdot x_{CP} - a_{g, CP} \cdot \left((w_{bs, i, n, end} \cdot x_{eb})^2 - (w_{bs, i, n, start} \cdot x_{eb})^2 \right) \right) + \frac{H_{CF}}{k_{CF}} \cdot \left((w_{bs, i, n, end} - w_{bs, i, n, start}) \cdot x_{eb} \cdot x_{CF} - a_{g, CF} \cdot \left((w_{bs, i, n, end} \cdot x_{eb})^2 - (w_{bs, i, n, start} \cdot x_{eb})^2 \right) \right) \quad (39)$$

mit

$\sum ME_{bs, g, i, n}$	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 2.5.3.5)
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 ($x_{CF} = 0,170$ kg kg ⁻¹)
$a_{g, CF}$	Konstante ($a_{g, CF} = 0,001389$ kg ⁻¹ ZSau)

2.5.3.5 Schätzung von Leerkörpermassen

Die Berechnung der Erhaltungsenergie nach Gleichung (39) setzt die Kenntnis von Leerkörpermassen voraus (GfE, 2006; Kapitel 2.3.2.1). GfE nennt aber 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 (13) ab:

$$w_{bs, eb} = a + b \cdot w_{bs, live} \quad (40)$$

mit

$w_{bs, eb}$	Leerkörpermasse (in kg ZSau ⁻¹)
a	Konstante ($a = -2,04$ kg ZSau ⁻¹)

b Koeffizient ($b = 0,935 \text{ kg kg}^{-1}$)
 $w_{\text{bs, live}}$ Lebendmasse (in kg ZSau^{-1})

$$R^2 = 0,98$$

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

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

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

2.5.3.6 ME-Bedarf für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte

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

$$\sum ME_{\text{bs, p, grav, 1}} = a_{\text{p, 1}} \cdot t_{\text{grav, 1}} \quad (41)$$

mit

$\sum ME_{\text{bs, p, grav 1}}$ kumulativer Bedarf für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte während der 1. Phase der Trächtigkeit (in $\text{MJ ZSau}^{-1} \text{ ZWZ}^{-1} \text{ ME}$)

$a_{\text{p, 1}}$ täglicher ME-Bedarf für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte für niedertragende Sauen ($a_{\text{p, 1}} = 1 \text{ MJ ZSau}^{-1} \text{ d}^{-1} \text{ ME}$)

$t_{\text{grav 1}}$ Dauer der 1. Phase der Trächtigkeit ($t_{\text{grav 1}} = 84 \text{ d ZWZ}^{-1}$)

Entsprechendes gilt für alle unterschiedlichen Phasen der Trächtigkeit.

Die Konstante $a_{\text{p, 2}}$ für die Phase 2 der Trächtigkeit (hochtragende Sau) ist

$a_{\text{p, 2}}$ täglicher ME-Bedarf für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte während für niedertragende Sauen ($a_{\text{p, 2}} = 2,5 \text{ MJ ZSau}^{-1} \text{ d}^{-1} \text{ ME}$)

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.

2.5.3.7 ME-Bedarf für die Entwicklung der Milchdrüse

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

$$\sum ME_{\text{bs, p, grav, 3}} = a_{\text{p, 3}} \cdot t_{\text{grav, 1}} \quad (42)$$

mit

$\sum ME_{\text{bs, p, grav 3}}$ kumulativer Bedarf für die Entwicklung der Milchdrüse (in $\text{MJ ZSau}^{-1} \text{ ZWZ}^{-1} \text{ ME}$)

$a_{\text{p, 3}}$ täglicher ME-Bedarf für die Entwicklung der Milchdrüse ($a_{\text{p, 3}} = 1 \text{ MJ ZSau}^{-1} \text{ d}^{-1} \text{ ME}$)

$t_{\text{grav 3}}$ Dauer der dieser Phase der Trächtigkeit ($t_{\text{grav 3}} = 10 \text{ d ZWZ}^{-1}$)

2.5.3.8 Deckung des ME-Bedarfs für die Milchbildung

Der **ME-Bedarf für die Milchbildung** $\Sigma ME_{bs, l, n, lact}$ ist eine Funktion der Zahl der zu ernährenden Saugferkel:

$$\Sigma ME_{bs, l, n, lact} = n_{piglet, n} \cdot c_{milk} \cdot \frac{\eta_{ME, milk}}{x_{milk}} \cdot (w_{piglet, end} - w_{piglet, start}) \quad (43)$$

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 ($c_{milk} = 4,1 \text{ kg kg}^{-1}$)
$\eta_{ME, milk}$	ME-Gehalt der Sauenmilch ($\eta_{ME, milk} = 5,0 \text{ MJ kg}^{-1}$)
$x_{ME, milk}$	Anteil von ME zur Milchproduktion ($x_{ME, milk} = 0,7 \text{ MJ MJ}^{-1}$)
$w_{piglet, end}$	Masse der SFerkel beim Absetzen ($w_{piglet, fin} = 8 \text{ kg SFerkel}^{-1}$)
$w_{piglet, start}$	Geburtsmasse der SFerkel ($w_{piglet, start} = 1,5 \text{ kg SFerkel}^{-1}$)

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

$$n_{piglet, n} = \frac{1}{2} \cdot (n_{piglet, n, b} + n_{piglet, n, w}) \quad (44)$$

mit

$n_{piglet, n}$	Anzahl der zu säugenden Saugferkel pro Wurf, n-te Wurfnummer (in SFerkel ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹)
$n_{piglet, b, n}$	Anzahl der lebend geborenen Saugferkel pro Wurf, n-te Wurfnummer (in SFerkel ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹) ²
$n_{piglet, w, n}$	Anzahl der abgesetzten Saugferkel pro Wurf, n-te Wurfnummer (in SFerkel ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹)

Während der Säugezeit und bei hohen Wurfnummern treten Lebendmasseverluste auf. In solchen katabolen Phasen wird **ME aus dem Abbau der Körpermasse** zur Deckung des Energiebedarfs gewonnen. Die bei negativem Wachstum frei werdende 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

$$\Sigma ME_{bs, n, loss} = (w_{bs, n, start} - w_{bs, n, end}) \cdot \eta_{ME, body} \quad (45)$$

mit

$\Sigma ME_{bs, n, loss}$	kumulative ME-Freisetzung für einen Lebensabschnitt n (in MJ ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹ ME)
$\Delta w_{bs, n, start}$	Lebendmasse zu Beginn des Lebensabschnitts n (in kg ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹)
$\Delta w_{bs, n, end}$	Lebendmasse am Ende des Lebensabschnitts n (in kg ZSau ⁻¹ ZWZ ⁻¹)
$\eta_{ME, body}$	ME-Gehalt der eingeschmolzenen Körpermasse ($\eta_{ME, body} = 15 \text{ MJ kg}^{-1}$)

²b: born; w: weaned

Für die Berechnung der Futtermengen werden die Teilwirkungsgrade (siehe Gleichung (39)) berücksichtigt. Der Körpermassenabbau verringert rechnerisch die erforderliche Futtermenge. GfE (2006) gibt für die Einsparung von Futter ein Energieäquivalent von 25 MJ kg⁻¹ an.

2.5.4 KB-Eber

Dämmgen et al. (2017) beschreiben ein Modell zur Quantifizierung des kumulativen Energiebedarfs von KB-Ebern als Funktion ihrer Nutzungsdauer bei einer gegebenen Anfangsmasse von 150 kg KBEber⁻¹:

$$\sum_{\theta_B=0}^{\theta_E} ME_{bb} = \frac{1}{12} \cdot \left(3\theta_{bb,E}^4 \cdot e_{bb} + 4\theta_{bb,E}^3 \cdot f_{bb} + 6\theta_{bb,E}^2 \cdot g_{bb} + 12\theta_{bb,E} \cdot h_{bb} \right) \quad (46)$$

mit

$\sum_{\theta_B}^{\theta_E} ME_{bb}$	kumulativer ME-Bedarf eines KB-Ebers als Funktion seiner Nutzungsdauer (in MJ KBEber ⁻¹ ND ⁻¹ ME)
e_{bb}	Koeffizient ($e_{bb} = 7,5 \cdot 10^{-9}$ MJ KBEber ⁻¹ d ⁻⁴ ME)
$\theta_{bb,E}$	Tage bis zum Ende der Nutzungsdauer (in d ND ⁻¹)
f_{bb}	Koeffizient ($f_{bb} = -0,0000139576$ MJ KBEber ⁻¹ d ⁻³ ME)
g_{bb}	Koeffizient ($g_{bb} = 0,00968232$ MJ KBEber ⁻¹ d ⁻² ME)
h_{bb}	Konstante ($h_{bb} = 34,2615348$ MJ KBEber ⁻¹ d ⁻¹ ME)

2.5.5 Jungsaunen und -eber (F1)

Dämmgen et al. (2013) diskutierten verschiedene Ansätze zur Beschreibung des ME-Bedarfs von Jungsaunen und -ebern und kamen zu dem Schluss, dass im Prinzip das Mastschweine-Modell angewendet werden kann, wobei den unterschiedlichen Futtermitteln mit Faktoren Rechnung getragen wird. Bei gegebenen Leistungsdaten ergibt sich:

$$\Sigma ME_{ys} = \Sigma ME_{fp} \cdot f_{corr,ys} \quad (47)$$

$$\Sigma ME_{yb} = \Sigma ME_{fp} \cdot f_{corr,yb} \quad (48)$$

mit

ΣME_{ys}	kumulativer ME-Bedarf einer Jungsau (in MJ JSau ⁻¹ ME)
ΣME_{fp}	kumulativer ME-Bedarf eines Mastschweins (in MJ MSchwein ⁻¹ ME)
$f_{corr,ys}$	Korrekturfaktor ($f_{corr,ys} = 0,989$ MJ MJ ⁻¹)
ΣME_{yb}	kumulativer ME-Bedarf eines Jungebers (in MJ JEber ⁻¹ ME)
$f_{corr,yb}$	Korrekturfaktor ($f_{corr,yb} = 0,893$ MJ MJ ⁻¹)

2.5.6 Tiere der Basiszucht

Die Berechnung des ME-Bedarfs und der Ausscheidungen von Tieren der Basiszucht geschieht mit den gleichen Verfahren, die für die entsprechenden Tiere in der Vermehrung eingesetzt werden.

2.6 Futterbereitstellung

2.6.1 Futtermengen

Die je Futtermittel benötigten Mengen errechnen sich aus den Futtermenge und den Futterzusammensetzungen für jede Maststufe nach Gleichungen (49) bis (51):

$$A_j = a_{\text{feed, con, j}} \cdot \sum_i (m_{\text{feed, con, i, j}} \cdot f_{\text{all, i, j}}) \quad (49)$$

$$a_{\text{feed, con, j}} = \frac{1}{Y_{\text{feed, con, j}}^*} \cdot \frac{m_{\text{feed, con, j, prod}}}{m_{\text{feed, von, j, ed}}} \quad (50)$$

$$Y_{\text{feed, con, j}}^* = Y_{\text{feed, con, j}} - S_{\text{feed, con, j}} \quad (51)$$

wobei

A_j	Anbaufläche einer Futterpflanze j je Tier (ha Tier^{-1})
$a_{\text{feed, con, i}}$	ertragsbezogener Flächenbedarf eines Futtermittels i (in ha (Mg FM)^{-1})
$m_{\text{feed, con, i, j}}$	berechneter Bedarf eines Futtermittels i aus der Futterpflanze j (in $\text{ha Tier}^{-1} \text{ FM}$)
$f_{\text{all, i, j}}$	Allokationsfaktor für das Produkt i aus der Futterpflanze j (in ha ha^{-1})
$Y_{\text{feed, con, j}}^*$	um Saatgutmenge reduzierter Ertrag einer Futterpflanze j (in $\text{Mg ha}^{-1} \text{ FM}$)
$m_{\text{feed, con, j, prod}}$	Masse des Produktes (in kg) (aus Massenflussrechnungen)
$m_{\text{feed, con, j, ed}}$	Masse des Eduktes (in kg) (aus Massenflussrechnungen)
$Y_{\text{feed, con, j}}$	Ertrag einer Futterpflanze j (in $\text{Mg ha}^{-1} \text{ FM}$)
$S_{\text{feed, con, j}}$	zur Aussaat benötigter Ertragsanteil einer Futterpflanze j (in $\text{Mg ha}^{-1} \text{ FM}$)

Der Allokationsfaktor berücksichtigt, dass nur Teile des Ertrags der Futterpflanze genutzt werden, etwa das Öl einer Ölfrucht.

Die Saatgutmengen entfallen bei Pflanzen, deren vegetative Teile genutzt werden (Zuckerrüben). Als Erträge Y_j wurden die in KTBL (2014), S. 212 f., angegebenen mittleren Erträge eingesetzt (Tabelle 3).

Die Mengen eines jeden Futterbestandteils werden für jede Tierkategorie und jede Fütterungsphase mit den zugehörigen Tierzahlen bestimmt.

$$m_{\text{feed con i, j, k}} = m_{\text{feed, i}} \cdot x_{\text{feed con, i, j}} \cdot n_{\text{fed, i}} \quad (52)$$

mit

$m_{\text{feed con i, j, k}}$	Masse (FM) eines Futterbestandteils j für ein Futter i einer Teilherde (Tierart) k in der Fütterungsphase i (in kg Herde^{-1})
$m_{\text{feed, i}}$	Gesamtmasse (FM) des Futters einer Teilherde k in der Fütterungsphase i (in kg Herde^{-1})
$x_{\text{feed con, i, j}}$	Anteil eines Futterbestandteils j an der Gesamtmasse des Futters i (in kg kg^{-1})
$n_{\text{fed, i, k}}$	Anzahl der zu fütternden Tiere in der Teilherde k und der Fütterungsphase i (in Tier Herde^{-1})

Die Futtermengen errechnen sich aus dem ME-Bedarf der Tiere und dem ME-Gehalt der Futtermischung. Die Anteile der einzelnen Futterbestandteile sowie deren charakteristische Eigenschaften werden für jede zu betrachtende Teilherde in Kapitel 3 und Anhang 6 tabelliert.

2.6.2 Anbau von Futterpflanzen

Die eingesetzten Futter werden aus den in Tabelle 4 genannten Futterpflanzen bzw. deren Samen und Wurzeln zusammengestellt.

Tabelle 4: Erträge, N-Düngung, Kalk und Wasserbedarf für den Anbau der Futterpflanzen

Futterpflanze	Ertrag Thüringen *	N-Düngung nach DüV (Ertrag)	Kalk ***	Kraftstoff ***	Wasser ***	THG- Emission *****
	Mg ha ⁻¹ FM	kg ha ⁻¹ N (Mg ha ⁻¹)	Mg ha ⁻¹	l ha ⁻¹	l ha ⁻¹	kg kg ⁻¹ CO ₂ -eq
Weizen (Winterweizen)	7,23	230 (8,0)	1,0	83,62	1200	
Gerste (Wintergerste)	7,00	180 (7,0)	1,0	83,62	1200	
Mais	9,42	200 (9,0)	1,0	83,53	600	
Raps	3,87	200 (4,0)	1,0	84,61	900	
Soja **	3,17	0 (2,8) ****		58,77		0,3653
Zuckerrübe	66,24	170 (65)	1,0	92,5	900	

* Erträge außer Soja aus StatBA (2016a)

** Sojaertrag aus Sojaförderring (2013), Kraftstoff für Soja aus BioGrace (2012), Energiegehalt von Diesel 35,73 MJ l⁻¹,

*** Die Mengen für Kalk, Kraftstoff (Diesel) und Wasser werden aus KTBL (2014) entnommen bzw. aus den dort gemachten Angaben errechnet.

**** Als mittlere N-Fixierung werden 100 kg ha⁻¹ a⁻¹ angenommen (z.B. Böhme, 2009).

***** Für Soja lassen sich die THG-Emissionen nicht vollständig aus aufgeschlüsselten Daten errechnen. Genutzt werden die summarischen Angaben aus BioGrace (2012).

Die Kalkgaben sind KTBL (2014), S. 261 ff., entnommen, ebenso der Dieselbedarf für ein wendendes Anbausystem. Für Leinsamen sind nur Ertrag und N-Düngung bekannt. Für Soja sind verlässliche Details nicht verfügbar, dafür aber die Summe der THG-Emissionen beim Anbau (BioGrace, 2012).

Die für die Futtermittel (Koppel- und Nebenprodukte) benötigten Anbauflächen sowie die Allokation der Emissionen sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Zum Zustandekommen der Werte siehe Anhang 2.

Die Allokation der Flächen berücksichtigt die Bruttoenergie (GE) im Produkt gemäß Gleichung (53):

$$f_{\text{all},i,j} = \frac{m_{\text{FM},i,j,\text{Prod}} \cdot x_{\text{TM},i,j,\text{Prod}} \cdot \eta_{\text{GE},i,j,\text{Prod}}}{m_{\text{FM},j,\text{Ed}} \cdot x_{\text{TM},j,\text{Ed}} \cdot \eta_{\text{GE},j,\text{Ed}}} \quad (53)$$

mit

$f_{\text{all},i,j}$	Allokationsfaktor für das Futtermittel (Produkt) i aus der Futterpflanze j (in ha ha ⁻¹)
$m_{\text{FM},i,j,\text{Prod}}$	Frischmasse des Produkts i aus der Futterpflanze j (in Mg)
$x_{\text{TM},i,j,\text{Prod}}$	Trockenmassegehalt des Produkts i aus der Futterpflanze j (in Mg Mg ⁻¹)
$\eta_{\text{GE},i,j,\text{Prod}}$	Bruttoenergiegehalt in der Trockenmasse des Produkts i aus der Futterpflanze j (in MJ Mg ⁻¹ GE)
$m_{\text{FM},j,\text{Ed}}$	Frischmasse des Edukts aus der Futterpflanze j (in Mg)
$x_{\text{TM},j,\text{Prod}}$	Trockenmassegehalt des Edukts aus der Futterpflanze j (in Mg Mg ⁻¹)
$\eta_{\text{GE},j,\text{Prod}}$	Bruttoenergiegehalt in der Trockenmasse des Edukts aus der Futterpflanze j (in MJ Mg ⁻¹ GE)

Für die folgenden Stoffe/Stoffgemische wird kein Flächenbedarf angesetzt: Fettsäuren, Calciumcarbonat (Futterkalk), Natriumchlorid (Viehsalz), Calcium-Natrium-Phosphat, Säurenmix, Lysin HCl, DL-Methionin, L-Threonin und Vitamin-Mineralstoff-Gemisch.

Tabelle 5: Flächenbedarf und Allokationsfaktoren für Futtermittel

	Futterpflanze	Typ *	Flächenbedarf $a_{\text{feed, con. j}}$ ha (Mg FM) ⁻¹	Allokation ha ha ⁻¹
Futtermittel				
Weizen (Winterweizen)		FM	0,138	
Gerste (Wintergerste)		FM	0,157	
Mais		FM	0,106	
Soja		FM	0,357	
Weizenkleie	Weizen (WW)	KP	0,609	0,269
Sojaextraktionsschrot 44 %	Soja	KP	0,458	0,656
Sojaextraktionsschrot 49 %	Soja	KP	0,357	0,656
Sojaöl	Soja	KP	1,880	0,344
Sojaeiweißkonzentrat	Soja	KP		0,3 **
Sojabohnenschalen	Soja		2,767	0,114
Rapsextraktionsschrot	Raps	KP	0,470	0,398
Trockenschnitzel	Zuckerrübe	KP	0,339	0,242

* FM: Futterpflanze bzw. deren Samen direkt als Futtermittel verwertbar; KP: Koppelprodukt

** nach Angaben von Sojaförderring (2013)

2.6.3 Mineralische Futtermittel

Die in der Schweineproduktion eingesetzten Futter enthalten Futterkalk und Phosphate als mineralische Bestandteile, deren Bereitstellung mit Emissionen verbunden ist.

Futterkalk: Die Bereitstellung von Kalk als Futterkalk unterscheidet sich nicht wesentlich von der von Düngekalk. Zu den Rechenverfahren siehe Kapitel 2.8.2.

Phosphate: Calcium-Natrium-Phosphat ist ein gut lösliches Mehrfachphosphat. Bruckert und Jochemzyk (1999) geben beispielhafte Zusammensetzungen mit etwa 45 % P₂O₅ an, aus der sich, wie in Anhang 3 beschrieben, Emissionen während der Produktion ableiten lassen.

Bei der Anwendung als Dünger- oder Futterphosphat entstehen keine gasförmigen Emissionen.

2.6.4 Dünger-, Kalk- und Wasserbedarf im Pflanzenbau

2.6.4.1 N-Dünger

Erste Grundannahme ist, dass die Tierzahlen, Stoff- und Energieflüsse im Referenzunternehmen als Flüsse im Fließgleichgewicht beschrieben werden können.

Zweite Grundannahme ist eine N-Düngung nach den Vorschlägen der Düngeverordnung (DüV), bei der die N-Bilanz (siehe Abbildung 11) allerdings nicht geschlossen ist.

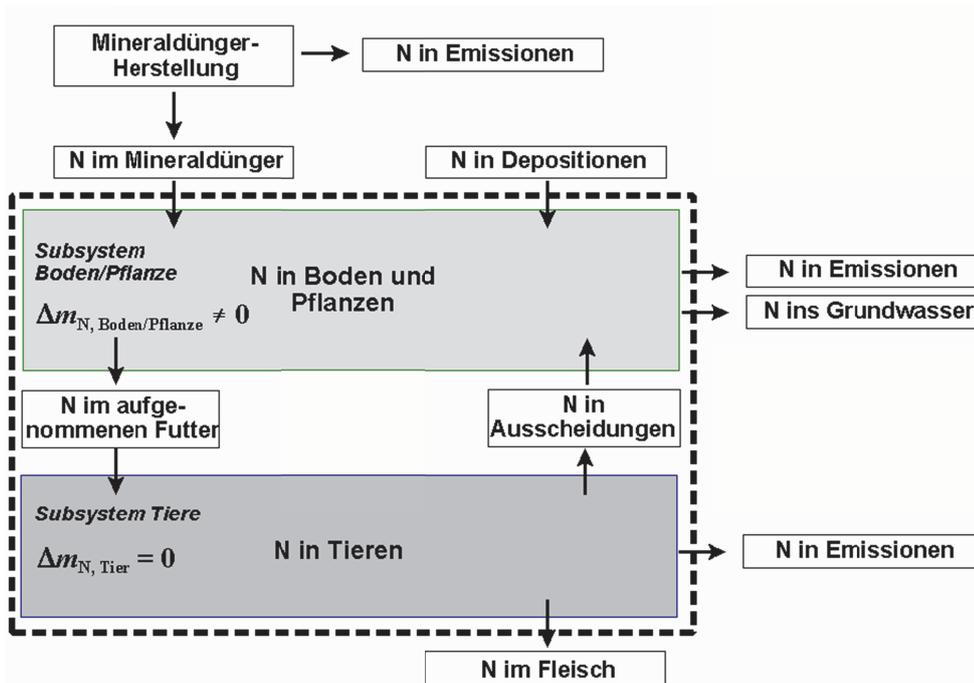


Abbildung 11: N-Umsätze bei der Fleischerzeugung (Im Subsystem Boden/Pflanze ergibt die Summe der Bilanzglieder im Regelfalle nicht Null; die Rechnungen im Subsystem Tier erzeugen stets eine geschlossene Bilanz.)

Für jede Futterpflanze j wird der Flächenbedarf berechnet und mit dem jeweiligen N-Bedarf je Fläche multipliziert. Dieser N-Bedarf ergibt sich aus dem Ertrag nach Tabelle 4 und dem Düngevorschlag der DüV (BMEL, 2017a) unter Berücksichtigung der dort angeführten ertragsbezogenen Korrektur. Die Mengen für alle Futterpflanzen werden addiert und ergeben den Gesamt-N-Bedarf für den Pflanzenbau je Tier.

Im Prinzip muss der N-Bedarf dann durch Wirtschaftsdünger, Mineraldünger und atmosphärische Deposition gedeckt werden. In einer sog. ordnungsgemäßen Landwirtschaft wird die Deposition nicht berücksichtigt (z.B. LWK-Nds, 2017). Außerdem ist es gute Praxis, die unvollständige Wirksamkeit des Wirtschaftsdünger-N in der unmittelbar folgenden Wachstumsperiode mit sogenannten Mineraldüngeräquivalenten zu berücksichtigen.

Berechnung des Mineraldünger-N-Bedarfs: Mit Mineraldünger wird die Bilanz (siehe Abbildung 11) ausgeglichen:

$$R_{N, MF, k} = R_{N, k} - m_{N, Man, k} \cdot f_{MFE} \quad (54)$$

mit

$R_{N, MF, k}$ Mineraldünger-N-Bedarf für ein Tier k (in kg Tier^{-1})

$R_{N, k}$ Gesamt-N-Bedarf beim Anbau der Futterpflanzen (in kg Tier^{-1})

$m_{N, Man, k}$ N-Eintrag mit dem Wirtschaftsdünger eines Tieres k (in kg Tier^{-1})

f_{MFE} Mineraldünger-Äquivalent-Faktor (in kg kg^{-1})

Als Faktor f_{MFE} wird für Schweinegülle ein Wert von $0,80 \text{ kg kg}^{-1}$ angegeben (BMEL, 2017a, Anlage 2).

Bei den hier durchgeführten Rechnungen wird jedoch berücksichtigt, dass im Fließgleichgewicht über mehrere Jahre eine vollständige Aufnahme des N gegeben sein muss, da keine weiteren N-Verluste auftreten, d.h.: $f_{MFE} = 1,00 \text{ kg kg}^{-1}$. Die Menge des mit dem Wirtschaftsdünger ausgeschiedenen und in das Pflanzenbausystem gelangenden N aus der N-Ausscheidung des betrach-

teten Tieres und den Emissionen während des Wirtschaftsdünger-Managements wird wie folgt berechnet.

$$m_{N, \text{Man}, k} = EX_{N, k} - (EX_{\text{TAN}, k} \cdot EF_{\text{NH}_3\text{-N}, k}) \quad (55)$$

mit

$m_{N, \text{Man}, k}$	N-Eintrag mit dem Wirtschaftsdünger eines Tieres k (in kg Tier ⁻¹)
$EX_{N, k}$	N-Ausscheidung eines Tieres k mit Kot und Harn (in kg Tier ⁻¹ N)
$EX_{\text{TAN}, k}$	N-Ausscheidung eines Tieres k mit Harn ³ (in kg Tier ⁻¹ N)
$EF_{\text{NH}_3\text{-N}, k}$	Emissionsfaktor für NH ₃ -N für das gegebene Wirtschaftsdünger-Management

Für jede gewählte Kombination von Lager, Ausbringung und Einarbeitung ist $EF_{\text{NH}_3\text{-N}, k}$ konstant. Werte für $EF_{\text{NH}_3\text{-N}, k}$ werden für das Referenzunternehmen und die Szenarien berechnet (siehe Kapitel 3 und 4).

Da alle Angaben für den Pflanzenbau (Diesel, Wasserbedarf, siehe Kapitel 2.6.2) in KTBL (2014) für Kalkammonsalpeter (KAS) als N-Dünger gemacht werden, wird für die hier durchgeführten Rechnungen zunächst ausschließlich KAS verwendet.

Aus dem Mineraldüngerbedarf der Pflanze berechnet sich die Menge der Mineraldüngergabe unter Berücksichtigung der zu erwartenden Emissionen gemäß

$$m_{N, \text{MF}, k}^* = m_{N, \text{MF}, k} \cdot (1 + EF_{\text{NH}_3\text{-N}} + EF_{\text{NO-N}} + EF_{\text{N}_2\text{O-N}} + EF_{\text{N}_2}) \quad (56)$$

mit

$m_{N, \text{MF}, k}^*$	emissionskorrigierte Mineraldüngergabe (in kg Tier ⁻¹)
$m_{N, \text{MF}, k}$	Mineraldüngerbedarf (in kg Tier ⁻¹)
$EF_{\text{NH}_3\text{-N}}$	Emissionsfaktor für NH ₃ aus KAS-Anwendung ($EF_{\text{NH}_3\text{-N}} = 0,00659 \text{ kg kg}^{-1}$)
$EF_{\text{NO-N}}$	Emissionsfaktor für NO aus Mineraldüngeranwendung ($EF_{\text{NO-N}} = 0,012 \text{ kg kg}^{-1}$)
$EF_{\text{N}_2\text{O-N}}$	Emissionsfaktor für N ₂ O aus Mineraldüngeranwendung ($EF_{\text{N}_2\text{O-N}} = 0,01 \text{ kg kg}^{-1}$)
EF_{N_2}	Emissionsfaktor für N ₂ aus Mineraldüngeranwendung ($EF_{\text{N}_2} = 0,07 \text{ kg kg}^{-1}$)

Die Emissionsfaktoren (außer für N₂) sind EMEP (2016) bzw. IPCC (2006) entnommen. Der Emissionsfaktor für N₂ beruht auf einer nationalen Schätzung, siehe Rösemann et al., 2017)

Die **Emissionen aus der Mineraldüngeranwendung** werden wie in Kapitel 2.11 beschrieben berechnet.

2.6.4.2 Düngekalk

Direkte Kalkung

Nach KTBL (2014) werden ohne Berücksichtigung der einzelnen Futterpflanze in 3 Jahren 3 Mg ha⁻¹ Kalk gegeben. Die Kalkmenge je Tier berechnet sich dann zu

$$R_{\text{lime}, k} = A_k \cdot m_{\text{lime}} \quad (57)$$

mit

$R_{\text{lime}, k}$	benötigte Kalkmenge (in kg Tier ⁻¹)
A_k	Anbaufläche für alle Futterpflanzen je Tier k (ha Tier ⁻¹)
m_{lime}	jährlich aufgebrauchte Kalkmenge ($m_{\text{lime}} = 1 \cdot 10^3 \text{ kg ha}^{-1}$)

³ Als TAN (total ammoniacal nitrogen) wird das mit dem Harn ausgeschiedene N bezeichnet.

Kompensationskalkung bei Düngung mit Harnstoff („Kalkwert“)

Bei Anwendung von Düngern mit erhöhtem Versauerungspotenzial (hier: Harnstoff) wird eine Kompensationskalkung in Höhe von 55 kg CaO je 100 kg Dünger-N empfohlen (LWK-NRW, 2015). Dies entspricht 80 kg CaCO₃ oder 94 kg von handelsüblichem Kalk. Der Mehrbedarf berechnet sich zu:

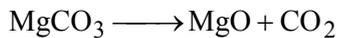
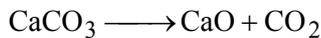
$$M_{\text{Slime, N}} = (M_{\text{MF, UAN}} + M_{\text{MF, U}}) \cdot f_{\text{lime, N}} \quad (58)$$

wobei

$M_{\text{Slime, N}}$	Kalk für Kompensationskalkung (in Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹)
$M_{\text{MF, UAN}}$	aufgebrachte Menge an Harnstoff in AHL (in Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ N)
$M_{\text{MF, U}}$	aufgebrachte Menge an Harnstoff (in Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ N)
$f_{\text{lime, N}}$	Kompensationsfaktor ($f_{\text{lime, N}} = 0.8 \text{ kg (kg N)}^{-1} \text{ CaCO}_3$)

CO₂-Emissionen

Düngerkalk ist normalerweise ein festes Gemisch aus Calcit (CaCO₃) und Magnesit (MgCO₃) mit wechselnden Magnesit-Anteilen. Im Boden setzen beide Stoffe langsam CO₂ frei:



Die Emissionen für jede Futterpflanze *k* werden gemäß Gleichung (59) berechnet.

$$E_{\text{CO}_2, \text{lime}, j} = R_{\text{lime}, j} \cdot EF_{\text{CO}_2, \text{lime}} \quad (59)$$

mit

$E_{\text{CO}_2, \text{lime}, j}$	CO ₂ -Emission aus der Kalkanwendung für eine Futterpflanze <i>j</i> (in kg Tier ⁻¹)
$R_{\text{lime}, j}$	benötigte Kalkmenge für eine Futterpflanze <i>j</i> (in kg Tier ⁻¹)
$EF_{\text{CO}_2, \text{lime}}$	Emissionsfaktor für CO ₂ aus Kalk ($EF_{\text{CO}_2, \text{lime}} = 0,38 \text{ kg (kg Kalk)}^{-1}$)

Den Emissionsfaktor für handelsübliche Qualitäten ermittelten Dämmgen et al. (2016b).

2.6.4.3 Kalkammonsalpeter

Kalkammonsalpeter (KAS, CAN) enthält neben 0,27 kg kg⁻¹ N 0,24 kg kg⁻¹ Kalk, der ebenso abgebaut wird wie Düngerkalk. KAS-Gaben werden in der Regel als N-Gaben deklariert. Die CO₂-Emissionen berechnen sich zu

$$E_{\text{CO}_2, \text{CAN}} = R_{\text{N, CAN}} \cdot \frac{x_{\text{lime, CAN}}}{x_{\text{N, CAN}}} \cdot EF_{\text{CO}_2, \text{lime}} \quad (60)$$

mit

$E_{\text{CO}_2, \text{CAN}}$	CO ₂ -Emission aus KAS (in kg Tier ⁻¹ CO ₂)
$R_{\text{N, CAN}}$	eingesetzte Düngermenge als KAS-N (in kg Tier ⁻¹ N)
$x_{\text{lime, CAN}}$	Kalk-Gehalt von KAS ($x_{\text{lime, CAN}} = 0,24 \text{ kg kg}^{-1}$)
$x_{\text{N, CAN}}$	N-Gehalt von KAS ($x_{\text{N, CAN}} = 0,27 \text{ kg kg}^{-1}$)
$EF_{\text{CO}_2, \text{lime}}$	CO ₂ -Emissionsfaktor für Kalk ($EF_{\text{CO}_2, \text{lime}} = 0,38 \text{ kg kg}^{-1}$)

2.6.4.4 Wasserbedarf im Pflanzenbau

Eine Berechnung von Feldern wird in dieser Untersuchung ausgeschlossen. Der Wasserbedarf im Pflanzenbau geht dann ausschließlich auf die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zurück. Die Daten sind aus KTBL (2014) übernommen und in Tabelle 4 zusammengefasst. Bei der Bereitstellung von Wasser entstehen Emissionen (siehe Kapitel 2.7.1).

2.6.5 Maschineneinsatz und Energiebedarf

Die benötigten Daten wurden KTBL (2014) entnommen, für Soja BioGrace (2012). Sie sind in Tabelle 4 enthalten.

Emissionen entstehen beim Betrieb der Maschinen und bei der Bereitstellung der benötigten Energie.

2.6.6 Berechnung der Emissionen aus der Pflanzenproduktion - erweiterter Ansatz

Als Emissionen aus dem Pflanzenbau gelten in dieser Arbeit die beim Anbau entstehenden Gase N_2O und CO_2 . Berücksichtigt werden die Emissionen als Folge des Einsatzes von N-haltigen Düngemitteln und von Kalk (einschließlich KAS). Für die Berechnung der Emissionen der Treibhausgase N_2O und CO_2 werden die Regelwerke von IPCC (2006) herangezogen.

Abweichend von der Praxis der Emissionsberichterstattung werden die Emissionen aus der Verbrennung von Kraftstoffen auf dem Acker oder aus der Bereitstellung von Wasser in eine möglichst vollständige Stoffflussanalyse einbezogen und auf das Produkt „Tier“ bzw. „Schlachtkörper“ bezogen.

2.6.6.1 N_2O -Emissionen aus Ernterückständen

Nach Vorgaben von IPCC (2006) werden für jede Pflanze aus ober- und unterirdischen Ernterückständen die Emissionen je ha berechnet.

$$E_{N_2O, CR} = EF_{N_2O, CR} \cdot m_{N, CR} \cdot \gamma_{N_2O} \quad (61)$$

mit

$E_{N_2O, CR}$	N_2O -Emissionen aus Ernterückständen (in $kg \text{ Tier}^{-1} N_2O$)
$EF_{N_2O, CR}$	N_2O -Emissionsfaktor für Mineraldünger ($EF_{N_2O, CR} = 0,01 \text{ kg kg}^{-1} N_2O$)
$m_{N, CR}$	N-Menge in Ernterückständen (in $kg \text{ Tier}^{-1} N$)
γ_{N_2O}	stöchiometrischer Umrechnungsfaktor ($\gamma_{N_2O} = 44/28 \text{ kg kg}^{-1} \text{ kmol kmol}^{-1}$)

$$m_{N, CR} = m_{N, ABR} + m_{N, BGR} \quad (62)$$

wobei

$m_{N, CR}$	N-Menge in Ernterückständen (in $kg \text{ Tier}^{-1} N$)
$m_{N, AGR}$	N-Menge in oberirdischen Ernterückständen (in $kg \text{ Tier}^{-1} N$)
$m_{N, BGR}$	N-Menge in unterirdischen Ernterückständen (in $kg \text{ Tier}^{-1} N$)

Für Ackerfrüchte außer Zuckerrüben gilt

$$M_{CR} = \sum_j A_j \cdot Y_j \cdot (x_{Y, DM, j} + a_{above, j} \cdot x_{DM, above, j}) \cdot a_{below} \cdot x_{N, below} \quad (63)$$

entsprechend für Zuckerrüben

$$M_{CR} = \sum_j A_j \cdot Y_j \cdot (a_{above, j} \cdot x_{DM, above, j}) \cdot a_{below} \cdot x_{N, below} \quad (64)$$

mit

M_{CR}	N-Menge in Ernterückständen (in kg Tier ⁻¹ N)
A_j	Anbaufläche einer Futterpflanze j (in ha Tier ⁻¹)
j	laufender Index für Futterpflanzen
Y_j	Ertrag einer Futterpflanze j (Frischmasse) (in kg ha ⁻¹)
$x_{Y, DM, j}$	Trockenmassegehalt der Futterpflanze j (in kg kg ⁻¹)
$a_{above, j}$	oberirdischer Anteil der Ernterückstände einer Pflanze j bezogen auf den Ertrag (in kg kg ⁻¹)
$x_{DM, above, j}$	Trockenmassegehalt der oberirdischen Teile der Futterpflanze j (in kg kg ⁻¹)
$a_{below, j}$	unterirdischer Anteil der Ernterückstände einer Pflanze j bezogen auf den Ertrag (in kg kg ⁻¹)
$x_{N, below, j}$	N-Gehalt der unterirdischen Ernterückstände von j, bezogen auf Trockenmasse (in kg kg ⁻¹ N)

Die Werte der Variablen sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Zu den Erträgen siehe Tabelle 4.

Tabelle 6: Variablen zur Berechnung von N₂O-Emissionen aus Ernterückständen (Rösemann et al., 2017)

Einheit	x_{renew} ha ha ⁻¹	x_{mow}	$x_{Y, DM, j}$ kg kg ⁻¹	$x_{AGR, DM, j}^*$ kg kg ⁻¹	a_{above} kg kg ⁻¹	$x_{N, above}$ kg kg ⁻¹ N	a_{below} kg kg ⁻¹	$x_{N, below}$ kg kg ⁻¹ N
Gerste	1	1	0,86	0,86	0,7	0,0050	0,22	0,014
Mais (Körner)	1	1	0,86	0,86	1,0	0,0090	0,22	0,007
Weizen	1	1	0,86	0,86	0,8	0,0050	0,23	0,009
Soja	1	1	0,91	0,86	1,1	0,008	0,19	0,008
Raps	1	1	0,91	0,86	1,7	0,0070	0,22	0,010
Zuckerrüben	1	1	0,23	0,18	0,7	0,0040	0,20	0,014

2.6.6.2 Emissionen aus dem Verbrennen von Kraftstoffen

Der Produktion einzelner Futterpflanzen sind Verbrauchszahlen für Dieselkraftstoff (DF) in Wärmekraftmaschinen zugeordnet (Tabelle 4). Dieselkraftstoff (Heizöl) wird darüber hinaus bei der bergmännischen Förderung von Kalk und der Trocknung von Ölsaaten eingesetzt. Für den Dieserverbrauch werden nach IPCC (2006) die Emissionen von CO₂, CH₄ und N₂O berechnet. EMEP (2016) beschreibt darüber hinaus die Verfahren zu Berechnung der Emissionen von NH₃ und NO_x.

2.6.6.2.1 Kohlenstoffdioxid aus der Verbrennung von Kraftstoffen

Die Emissionen werden mit Hilfe der Beziehungen (65) und (66) bestimmt:

$$E_{CO_2, DF} = \sum E_{CO_2, DF, j} \quad (65)$$

$$E_{\text{CO}_2, \text{DF}, j} = EF_{\text{CO}_2, \text{DF}} \cdot A_j \cdot V_{\text{DF}, j} \cdot \eta_{\text{E, DF}} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{DF}}} \cdot \beta \quad (66)$$

mit

$E_{\text{CO}_2, \text{DF}}$	CO ₂ -Emissionen aus Kraftstoffverbrennung (in kg Tier ⁻¹ CO ₂)
$E_{\text{CO}_2, \text{DF}, j}$	CO ₂ -Emissionen aus Kraftstoffverbrennung bei der Produktion einer Futterpflanze j (in kg Tier ⁻¹ CO ₂)
$EF_{\text{CO}_2, \text{DF}}$	CO ₂ -Emissionsfaktor für die Dieselmotorkraftstoff-Verbrennung ($EF_{\text{CO}_2, \text{DF}} = 74,1 \text{ kg GJ}^{-1}$; IPCC, 2006, mobile combustion)
A_j	Anbaufläche einer Futterpflanze j (in ha Tier ⁻¹)
$V_{\text{DF}, j}$	flächenbezogener Kraftstoffverbrauch beim Anbau einer Futterpflanze j (in l ha ⁻¹)
$\eta_{\text{E, DF}}$	Energiegehalt des Dieselmotorkraftstoffs („Heizwert“) ($\eta_{\text{E, DF}} = 35,73 \text{ MJ l}^{-1}$)
ρ_{DF}	Dichte des Dieselmotorkraftstoffs ($\rho_{\text{DF}} = 0,83 \text{ kg l}^{-1}$)
β	Umrechnungsfaktor für Energieeinheiten ($\beta = 0,001 \text{ GJ MJ}^{-1}$)

2.6.6.2.2 Ammoniak und Stickstoffoxide aus der Verbrennung von Kraftstoffen

Die Emissionsfaktoren werden in EMEP (2016) in Abhängigkeit vom Stand der Technik angegeben. Diese Arbeit verwendet Emissionsfaktoren für Stage IIIA entsprechend den Vorgaben der EU (EU, 2004).

$$E_{\text{NH}_3\text{-N}, \text{DF}} = \sum M_{\text{DF}, j} \cdot EF_{\text{NH}_3, \text{DF}} \cdot \gamma_{\text{NH}_3} \quad (67)$$

$$E_{\text{NO}_x\text{-N}, \text{DF}} = \sum M_{\text{DF}, j} \cdot EF_{\text{NO}_x\text{-N}, \text{DF}} \cdot \gamma_{\text{NO}_2} \quad (68)$$

mit

$E_{\text{NH}_3\text{-N}, \text{DF}}$	NH ₃ -N-Emission aus der Verbrennung von Dieselmotorkraftstoff (in kg Tier ⁻¹)
$M_{\text{DF}, j}$	Masse des für die Produktion des Futtermittels j benötigten Dieselmotorkraftstoffs (in kg ha ⁻¹)
$EF_{\text{NH}_3, \text{DF}}$	NH ₃ -Emissionsfaktor für die Kraftstoffverbrennung ($EF_{\text{NH}_3, \text{DF}} = 8 \text{ g Mg}^{-1}$)
γ_{NH_3}	stöchiometrischer Faktor für die Berechnung von NH ₃ -N-Emissionen ($\gamma_{\text{NH}_3} = 14/17 \text{ kg kg}^{-1} \text{ kmol kmol}^{-1}$)
$E_{\text{NO}_x\text{-N}, \text{DF}}$	NO _x -N-Emission aus der Verbrennung von Dieselmotorkraftstoff (in kg Tier ⁻¹)
$EF_{\text{NO}_x, \text{DF}}$	NO _x -Emissionsfaktor für die Verbrennung von Dieselmotorkraftstoff ($EF_{\text{NO}_x, \text{DF}} = 13594 \text{ g Mg}^{-1}$)
γ_{NO_2}	stöchiometrischer Faktor für die Berechnung von NO ₂ -N-Emissionen ($\gamma_{\text{NO}_2} = 46/14 \text{ kg kg}^{-1} \text{ kmol kmol}^{-1}$)

2.6.6.2.3 Lachgas und Methan aus der Verbrennung von Kraftstoffen

Die CH₄- und N₂O-Emissionen bei der Verbrennung von Dieselmotorkraftstoff werden in Analogie zu Gleichung (68) mit folgenden Emissionsfaktoren (EMEP, 2016) berechnet:

$EF_{\text{CH}_4, \text{DF}}$	CH ₄ -Emissionsfaktor für Verbrennung von Diesel ($EF_{\text{CH}_4, \text{DF}} = 0,00415 \text{ kg GJ}^{-1}$)
$EF_{\text{N}_2\text{O}, \text{DF}}$	N ₂ O-Emissionsfaktor für Verbrennung von Diesel ($EF_{\text{N}_2\text{O}, \text{DF}} = 0,0286 \text{ kg GJ}^{-1}$)

2.6.7 Herstellung von Mischfuttermitteln

Für die erste Verarbeitungsstufe, das Grob-Schroten, werden einheitlich 5 kWh Mg^{-1} angesetzt (Expertenurteil Kleine Klausung). Die für das Referenzunternehmen formulierten gewählten Futterzusammensetzungen (siehe Anlage 6) erfordern keine weiteren Verarbeitungsstufen.

2.7 Bereitstellung von Wasser und elektrischer Energie

2.7.1 Bereitstellung von Wasser

Der Wasserbedarf setzt sich aus Tränkwasser, Prozesswasser und Wasser in der Pflanzenproduktion zusammen. Dem Mischfutterwerk wird in diesen Rechnungen kein zusätzlicher Wasserverbrauch zugeordnet.

Die Berechnungen gehen davon aus, dass jeweils Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz eingesetzt wird. Nach ATT et al. (2011) sind für die Bereitstellung von 1 m^3 Trinkwasser in Deutschland durchschnittlich $0,51 \text{ kWh}$ erforderlich.

2.7.1.1 Tränkwasser für Schweine

Die Menge an Tränkwasser berechnet sich nach KTBL (2014), S. 707, zu:

$$M_{\text{Wt, pig}} = M_{\text{FM, pig}} \cdot f_{\text{Wt, pig}} \quad (69)$$

mit

$M_{\text{Wt, pig}}$ Tränkwassermenge für Schweine (in l Tier^{-1})

$M_{\text{FM, pig}}$ Futtermenge für Schweine (in kg Tier^{-1})

$f_{\text{WT, pig}}$ Tränkwassermenge je Einheit der Futtermenge (Schweine) ($f_{\text{WT, pig}} = 3,0 \text{ l (kg Futter)}^{-1}$)

Dieses Rechenverfahren wird für Absetzferkel, Mastschweine, Jungsauen und -eber eingesetzt.

Der Bedarf von Zuchtsauen beträgt nach DLG (2008)

Sau, güst und niedertragend	$10 \text{ l ZSau}^{-1} \text{ d}^{-1}$
Sau, hochtragend	$12,5 \text{ l ZSau}^{-1} \text{ d}^{-1}$
Sau, säugend	$15 \text{ l ZSau}^{-1} \text{ d}^{-1}$ zuzgl. $1,5 \text{ l SFerkel}^{-1} \text{ d}^{-1}$

Vorgezogen und in dieser Arbeit verwendet werden die futterbezogenen Werte aus KTBL (2014), S. 675:

Sau, güst und tragend	$3 \text{ l (kg Futter)}^{-1}$
Sau, säugend	$6,5 \text{ l (kg Futter)}^{-1}$

Für Eber gibt KTBL (2014, S. 675) folgende futterbezogene Wassermengen an:

KB-Eber	$3,5 \text{ l (kg Futter)}^{-1}$
---------	----------------------------------

2.7.1.2 Prozesswasser

Als Prozesswasserbedarf für Mastschweine gibt KTBL (2014), S. 709, $140 \text{ l Platz}^{-1} \text{ a}^{-1}$ an, für Sauen $500 \text{ l Platz}^{-1} \text{ a}^{-1}$, für Aufzuchtferkel $68 \text{ l Platz}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Der Prozesswasserbedarf der KB-Eber dem wird dem von Mastschweinen gleichgesetzt.

2.7.1.3 Wasserbedarf im Pflanzenbau

Die im Pflanzenbau in Pflanzenschutzmaßnahmen eingesetzten Wassermengen (nach KTBL, 2014) sind in Tabelle 4 aufgeführt.

2.7.2 Energiebedarf im Stall

2.7.2.1 Aufzuchtferkel

KTBL (2014) empfiehlt für geschlossene Ställe mit voll perforierten Böden folgende Kalkulationswerte:

Beleuchtung	2	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Lüftung	7	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Heizung	60	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Fütterung	0,3	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Reinigung, Entmistung	0,64	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹

2.7.2.2 Mastschweine

KTBL (2014) gibt für geschlossene Ställe mit voll perforierten Böden folgende Werte vor:

Beleuchtung	4	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Lüftung	20	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Heizung	45	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Fütterung Brei	1	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Fütterung flüssig	2,4	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Reinigung, Entmistung	0,4	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹

Zum Futtertransport fester Gemische innerhalb der Ställe werden Rohrförderer mit Förderketten eingesetzt. Der Energiebedarf berechnet sich nach Big Dutchman (2010) zu:

$$W_{Ff, pig} = M_{FM, pig} \cdot f_{Ff, pig} \quad (70)$$

mit

$W_{Ff, pig}$ Energiebedarf zur Futterförderung für Schweine (in kWh Tier⁻¹)

$M_{FM, pig}$ Futtermenge für Schweine (in kg Tier⁻¹)

$f_{Ff, pig}$ Energiebedarf je Einheit der Futtermenge (Schweine) ($f_{Ff, pig} = 1,00 \cdot 10^{-3}$ kWh kg⁻¹)

Nach dieser Schätzung berechnet sich der Energieverbrauch bei einem Futtereinsatz von 500 kg Herde⁻¹ a⁻¹ zu 0,5 MWh Herde⁻¹ a⁻¹. Angesichts der Unsicherheiten widersprechen die Schätzungen einander nicht. Die KTBL-Schätzung wird übernommen.

Die Werte für Mastschweine werden auch für Jungsauen und -eber verwendet.

2.7.2.3 Ferkelproduktion

KTBL (2014) gibt für konventionelle Produktion die nachstehenden Kalkulationswerte an:

Beleuchtung	23	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Lüftung	60	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Heizung	340	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Fütterung	1,5	kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹

Reinigung und Entmistung	7,2 kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
IR-Strahler Ferkelnest	24 kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹
Summe	456 kWh Platz ⁻¹ a ⁻¹

2.7.2.4 KB-Eber und Sucheber

Die Werte für Mastschweine werden übernommen (siehe oben).

2.8 Bereitstellung von Düngekalk, Mineraldüngerherstellung

2.8.1 Kalk

Das bergmännische Gewinnen von Kalk im Steinbruch, das Brechen, Mahlen und Klassieren erfordert einen erheblichen Energieaufwand, der mit THG-Emissionen verbunden ist. Scholz et al. (1994) bilanzieren, dass im Mittel 0,032 GJ Mg⁻¹ als Dieselkraftstoff, 0,007 GJ Mg⁻¹ im Sprengstoff und 192 MJ Mg⁻¹ als elektrische Energie für Brechen, Grobklassieren und Mahltrocknen benötigt werden.⁴

2.8.2 Ammoniumnitrat

Ammoniumnitrat (NH₄NO₃) ist das Neutralisationsprodukt von NH₃ und Salpetersäure (HNO₃). Bei der NH₃-Synthese fallen geringe NH₃-Emissionen an, bei der HNO₃-Synthese Stickstoffoxide. Die Syntheseschritte sind in Anhang 3 beschrieben. Die zusammengefassten Emissionsfaktoren sind:

$$f_{\text{NH}_3, \text{AN}} = 0,065 \text{ kg kg}^{-1} \text{ NH}_3 \text{ bezogen auf die AN-Gabe in kg Herde}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$$

$$f_{\text{GHG}, \text{AN}} = 1,00 \text{ kg kg}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq, bezogen auf die AN-Gabe in kg Herde}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$$

2.8.3 Kalkammonsalpeter

Kalkammonsalpeter (KAS) wird aus fein vermahlenem Kalkstein gewonnen, der in eine NH₄NO₃-Schmelze eingetragen wird. Das Produkt enthält etwa 27 % N und 24 % Kalk. Angaben zu Emissionen beim Produktionsprozess fehlen in den Regelwerken. Die Berechnung der Emissionen von Gasen und Staubinhaltsstoffen aus der KAS-Herstellung erfordert viele Schritte, deren Einzelheiten in Anhang 3 dargestellt sind.

Die dort ermittelten Emissionsfaktoren für NH₄NO₃ gelten auch für den N-Anteil in KAS.

2.8.4 Harnstoff

Die energieintensive Harnstoffsynthese äußert sich in erheblichen (nicht weiter aufgeschlüsselten) THG-Emissionen. Harnstoff zersetzt sich in Gegenwart von Wasser unter dem Einfluss der ubiquitären Urease.

$$f_{\text{NH}_3, \text{UR}} = 0,0025 \text{ kg kg}^{-1} \text{ NH}_3 \text{ bezogen auf die Harnstoff-Gabe in kg Herde}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$$

$$f_{\text{GHG}, \text{UR}} = 5,15 \text{ kg kg}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq, bezogen auf die Harnstoff-Gabe in kg Herde}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ N}$$

⁴Scholz et al. (1994) machen keine Angabe zur Körnung, sondern sprechen lediglich von Steinmehl/-grieß.

2.8.5 Phosphat- und Kalidünger

Phosphatrohstoffe sind überwiegend unlösliche Ca-Phosphate, die vor ihrer Verwendung als Dünger aufwändig aufgeschlossen werden müssen. Brentrup und Pallière (2008) geben THG-Emissionsfaktoren für Triple Superphosphate (deutsch: Doppelsuperphosphat) an.

Es erscheint gerechtfertigt, den THG-Emissionsfaktor für P_2O_5 von $0,56 \text{ kg kg}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq}$ auch für Futterphosphate zu verwenden.

Die Emissionen berechnen sich zu

$$E_{\text{GHG, P2O}_5, j} = A_j \cdot M_{\text{PKF}} \cdot x_{\text{P2O}_5} \cdot EF_{\text{P2O}_5} \quad (71)$$

$$E_{\text{GHG, K}_2\text{O}, j} = A_j \cdot M_{\text{PKF}} \cdot x_{\text{K}_2\text{O}} \cdot EF_{\text{K}_2\text{O}} \quad (72)$$

mit

$E_{\text{GHG, P2O}_5, j}$ anfallende THG-Emissionen bei der Produktion des für den Anbau einer Futterpflanze j benötigten P-Düngers (in $\text{kg Herde}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq}$)

A_j Anbaufläche der Futterpflanze j (in $\text{ha Herde}^{-1} \text{ a}^{-1}$)

M_{PKF} Menge des eingesetzten PK-Düngers, Futterpflanze j (aus KTBL, 2014) (in kg ha^{-1})

x_{P2O_5} P_2O_5 -Gehalt des PK-Düngers (in kg kg^{-1})

EF_{P2O_5} THG-Emissionsfaktor für die P_2O_5 -Produktion ($EF_{\text{P2O}_5} = 0,56 \text{ kg kg}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq}$)

$E_{\text{GHG, K}_2\text{O}, j}$ anfallende THG-Emissionen bei der Produktion des für den Anbau einer Futterpflanze j benötigten K-Düngers (in $\text{kg Herde}^{-1} \text{ a}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq}$)

$x_{\text{K}_2\text{O}}$ K_2O -Gehalt des PK-Düngers (in kg kg^{-1})

$EF_{\text{K}_2\text{O}}$ THG-Emissionsfaktor für die K_2O -Produktion ($EF_{\text{K}_2\text{O}} = 0,43 \text{ kg kg}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq}$)

Für Kalidünger (KCl) geben Brentrup und Pallière (2008) einen THG-Emissionsfaktor von $0,43 \text{ kg kg}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq}$ an.

2.9 Emissionen aus der Bereitstellung von Energieträgern

2.9.1 Elektrische Energie

Icha (2014) hat für das Umweltbundesamt die CO_2 -Äquivalente für die Bereitstellung elektrischer Energie im bundesdeutschen Energiemix berechnet. Für den Inlandsverbrauch wurde dabei ein Wert von $0,595 \text{ kg kWh}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq}$ ermittelt.

2.9.2 CO_2 -Äquivalente für die Bereitstellung von Dieselkraftstoff

IFEU (2012) gibt für die energetische Vorkette von Dieselkraftstoff eine THG-Emission von $9944 \text{ kg TJ}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq}$ an. Bei einem Heizwert von $42,96 \text{ MJ (kg DF)}^{-1}$ ergibt sich ein Wert von $0,427 \text{ kg (kg DF)}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq}$ bzw. von $0,355 \text{ kg (l DF)}^{-1} \text{ CO}_2\text{-eq}$ bei einer Dichte von $0,832 \text{ kg l}^{-1}$.

2.9.3 CO_2 -Äquivalente für die Bereitstellung von Erdgas

Fritsche (2003) errechnete für die Erdgaslieferungen für den deutschen Markt im Jahre 2000 eine THG-Emission von $35,2 \text{ g kWh}^{-1}$.

2.10 Emissionen aus der Verdauung und dem Wirtschaftsdünger-Management

2.10.1 Rechenmodelle

2.10.1.1 Methan-Emissionen aus der Verdauung

Aus Futterzusammensetzung und Futtermenge werden die CH₄-Emissionen aus der Verdauung wie in Kirchgeßner et al. (1991) und Kreuzer et al. (1991) berechnet (zur Begründung siehe Dämmgen et al., 2012a).

$$E_{CH_4, f} = b \cdot m_{BFS, f} \quad (73)$$

mit

$E_{CH_4, f}$ CH₄-Emissionsrate für ein Futter f (in kg Tier⁻¹ d⁻¹ CH₄)

b Koeffizient ($b = 0,020 \text{ kg kg}^{-1} \text{ CH}_4$)

$m_{BFS, f}$ zur Verfügung stehende bakteriologisch fermentierbare Substanz (BFS) in einem Futter f (in kg Tier⁻¹ d⁻¹)

Sofern nicht gegeben, wird m_{BFS} mit Gleichung (74) berechnet (siehe Kirchgeßner et al., 2008, S. 169).

$$m_{BFS, f} = m_{OM, f} \cdot x_{D, OM, f} - m_{CP, f} \cdot x_{D, CP, f} - m_{EE, f} \cdot x_{D, EE, f} - (m_{st, f} + m_{su, f}) \quad (74)$$

mit

$m_{BFS, f}$ im Darm zur Verfügung stehende BFS-Menge im Futter f (in kg Tier⁻¹ d⁻¹)

$m_{OM, f}$ Aufnahme von organischer Masse mit dem Futter f (in kg Tier⁻¹ d⁻¹)

$x_{D, OM, f}$ Verdaulichkeit für organische Substanz im Futter f (in kg kg⁻¹)

$m_{CP, f}$ Aufnahme von Rohprotein mit dem Futter f (in kg Tier⁻¹ d⁻¹)

$x_{D, CP, f}$ Verdaulichkeit von Rohprotein im Futter f (in kg kg⁻¹)

$m_{EE, f}$ Aufnahme von Rohfett mit dem Futter f (in kg Tier⁻¹ d⁻¹)

$x_{D, EE, f}$ Verdaulichkeit von Rohfett im Futter f (in kg kg⁻¹)

$m_{st, f}$ Aufnahme von Stärke mit dem Futter f (in kg Tier⁻¹ d⁻¹)

$m_{su, f}$ Aufnahme von Zuckerstoffen mit dem Futter f (in kg Tier⁻¹ d⁻¹)

2.10.1.2 Kohlenstoffdioxid-Emissionen aus der Verdauung

Futterkalk setzt CO₂ frei (im oder nach dem Verdauungsprozess).

$$E_{CO_2, feed} = EF_{CO_2, lime} \cdot m_{lime, feed} \quad (75)$$

mit

$E_{CO_2, feed}$ CO₂-Emission aus Futterkalk (in kg Herde⁻¹ a⁻¹)

$EF_{CO_2, lime}$ Emissionsfaktor für CO₂ aus Kalk ($EF_{CO_2, lime} = 0,38 \text{ kg kg}^{-1}$)

$m_{lime, feed}$ Menge Futterkalk (in kg Herde⁻¹ a⁻¹)

Die Menge an Futterkalk ist in den Tierfutterzusammensetzungen (Anlage 6) jeweils angegeben.

2.10.1.3 Methan-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Die teilweise Umwandlung von organischer Substanz (volatile solide, VS) in Stall und Lager führt zu CH₄-Emissionen.⁵ Zu deren Berechnung wurden deutsche und internationale experimentelle Datensätze in Dämmgen et al. (2012b) zusammengestellt und bewertet.

Die Berechnung der CH₄-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger-Management setzt die Kenntnis der Ausscheidungen an organischer Masse voraus. Das von IPCC (2006) vorgeschlagene Verfahren ist fehlerhaft. Verwendet wird das in Dämmgen et al. (2011a) erläuterte Verfahren.

$$E_{\text{CH}_4, \text{MM}} = VS \cdot B_0 \cdot \rho_{\text{CH}_4} \cdot MCF \quad (76)$$

mit

$E_{\text{CH}_4, \text{MM}}$	CH ₄ -Emission aus dem Wirtschaftsdünger-Management (in kg Tier ⁻¹)
VS	Ausscheidung an organischer Masse (in kg Tier ⁻¹ TM)
B_0	maximale CH ₄ -Freisetzung (in m ³ kg ⁻¹ CH ₄)
ρ_{CH_4}	Dichte von Methan (Normalbedingungen) ($\rho_{\text{CH}_4} = 0,67 \text{ kg m}^{-3}$)
MCF	systemabhängiger Methan-Umwandlungsfaktor (in kg kg ⁻¹ , entspricht m ³ m ⁻³)

wobei

$$VS = m_{\text{feed}} \cdot (1 - X_{\text{DOM}}) \cdot (1 - X_{\text{ash, feed}}) \quad (77)$$

mit

VS	Ausscheidung an organischer Masse (in kg Tier ⁻¹ TM)
m_{feed}	Futteraufnahme (in kg Tier ⁻¹ TM)
X_{DOM}	mittlere Verdauulichkeit der organischen Masse (in kg kg ⁻¹)
$X_{\text{ash, feed}}$	mittlerer Aschegehalt des Futters (in kg kg ⁻¹)

Tabelle 7: Kenngrößen zur Berechnung der CH₄-Emissionen aus Wirtschaftsdüngern

Kenngröße	Einheit	Betrag
maximale CH ₄ -Freisetzungskapazität B_0	m ³ (kg VS) ⁻¹ CH ₄	0,30
Methan-Umwandlungsfaktoren MCF		
Güllelager	m ³ m ⁻³	
offen (ohne Schwimmdecke)	m ³ m ⁻³	0,25
feste Abdeckung (einschl. Zelt)	m ³ m ⁻³	0,25
natürliche Schwimmdecke	m ³ m ⁻³	0,15
Abdeckung mit Strohhäcksel	m ³ m ⁻³	0,25
Abdeckung mit Folie	m ³ m ⁻³	0,25
Lager unter Spaltenboden > 1 Monat	m ³ m ⁻³	0,25
Festmist/Misthaufen (Tiefstreumist)		
Festmist (übrige Systeme)	m ³ m ⁻³	0,03

⁵ Im Kohlenstofffluss durch das System werden nur die CH₄-Emissionen – zusammengefasst aus Stall und Lager – betrachtet. Eine Quantifizierung der CO₂-Emissionen entfällt, da die Mengen an CO₂ zuvor durch Photosynthese gebunden wurden. Insgesamt werden die Produktionsprozesse in der Landwirtschaft (vereinfacht) als CO₂-neutral angesehen.

2.10.1.4 Emissionen von Stickstoff-Spezies aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Die Berechnung der NH₃-, NO- und N₂O-Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement setzt die Kenntnis der N- und TAN-Ausscheidungen ⁶ voraus. Diese ergeben sich bei Schweinen (hier am Beispiel Mastschwein) aus den folgenden Massenbilanzen (alle Werte beziehen sich auf Frischmassen):

$$N_{\text{excr, fp}} = M_{\text{feed, fp}} \cdot x_{\text{N, feed, fp}} - \Delta w_{\text{fp}} \cdot x_{\text{N, ret, fp}} \quad (78)$$

$$\text{TAN}_{\text{excr, fp}} = M_{\text{feed, fp}} \cdot x_{\text{N, feed, fp}} \cdot x_{\text{dig, N, fp}} - \Delta w_{\text{fp}} \cdot x_{\text{N, ret, fp}} \quad (79)$$

mit

$N_{\text{excr, fp}}$ N-Menge in den Ausscheidungen des Mastschweins (in kg Tier⁻¹)

$M_{\text{feed, fp}}$ Masse des aufgenommenen Futters (in kg Tier⁻¹)

$x_{\text{n, feed, fp}}$ N-Gehalt des Mastschweinfutters (in kg kg⁻¹)

Δw_{fp} Massenzuwachs (in kg Tier⁻¹)

$x_{\text{N, ret, fp}}$ N-Gehalt im Zuwachs des Mastschweins (in kg kg⁻¹)

$x_{\text{dig, N, fp}}$ Verdaulichkeit von N im Mastschweinfutter (in kg kg⁻¹)

Die Berechnung der Emissionen der N-Spezies folgt den Stoffflüssen von N bzw. TAN durch Stall, Lager und Ausbringung in den Boden nach der in Dämmgen und Hutchings (2008) beschriebenen Methode. Hier ist die Auflistung der unterschiedlichen Emissionsfaktoren wichtig (Tabellen 8 bis 13).

Als Rechenverfahren wurde für alle Spezies aus dem Wirtschaftsdünger-Management das für die Emissionsberichterstattung genutzten Module PFP_V16 der Modellfamilie GAS-EM verwendet. Die aktuelle Zusammenfassung findet sich in Rösemann et al. (2017).

Im Gegensatz dazu werden hier jedoch bei den Emissionsfaktoren für Ställe werden Vollspaltenböden und Teilspaltenböden unterschiedlich bewertet (siehe Anhang 5).

Tabelle 8: Emissionsfaktoren zur Berechnung der NH₃-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager

Haltungssystem	Sauen und Saugferkel in kg (kg TAN) ⁻¹ NH ₃ -N	Mastschweine und Aufzuchtferkel in kg (kg TAN) ⁻¹ NH ₃ -N
güllebasiert	0,34	
wärmegeämmter Stall		
Vollspaltenboden		0,33
Teilspaltenboden		0,27
Außenklimastall		
Kistenstall		0,2
Strohbasier	0,34	
wärmegeämmter Stall		
Tiefstreu		0,4
planbefestigt mit Einstreu		0,4
Außenklimastall		
Kistenstall		0,2
Tiefstreu		0,35

⁶ Die N-Ausscheidungen insgesamt werden für die Berechnung der N₂O-, NO- und N₂-Emissionen aus Stall und Lager und der N-Einträge in die Böden benötigt. Die TAN-Ausscheidungen dienen zur Quantifizierung der NH₃-Emissionen aus Stall, Lager und Ausbringung. (TAN: total ammoniacal nitrogen)

Tabelle 9: Emissionsfaktoren zur Berechnung der NH₃-Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngerlager

Lagertyp	Emissionsfaktor in kg (kg TAN) ⁻¹ NH ₃ -N
Gülle (unbehandelt)	
Güllelager	
offen (ohne Schwimmdecke)	0,150
feste Abdeckung (einschl. Zelt)	0,015
natürliche Schwimmdecke	0,105
Abdeckung mit Strohhäcksel	0,030
Abdeckung mit Folie oder Granulat	0,023
Lager unter Spaltenboden > 1 Monat	0,105
Festmist	
Festmist/Misthaufen (Tiefstreumist)	0,600
Festmist (übrige Systeme)	0,600
Jauche	0,030

Tabelle 10: Emissionsfaktoren zur Berechnung der NH₃-Emissionen aus der Ausbringung von Schweinegülle

Ausbringungstechnik, Einarbeitung	Emissionsfaktor in kg (kg TAN) ⁻¹ NH ₃ -N
breitverteilt, ohne Einarbeitung	0,25
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 1 h	0,04
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 4 h	0,09
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 6 h	0,11
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 8 h	0,13
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 12 h	0,16
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 24 h	0,21
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 48 h	0,25
breitverteilt, auf Vegetation	0,25
breitverteilt, auf Grünland	0,30
Schleppschlauch, ohne Einarbeitung	0,175
Schleppschlauch, Einarbeitung nach ≤ 1 h	0,02
Schleppschlauch, Einarbeitung nach ≤ 4 h	0,06
Schleppschlauch, Einarbeitung nach ≤ 6 h	0,08
Schleppschlauch, Einarbeitung nach ≤ 8 h	0,0925
Schleppschlauch, Einarbeitung nach ≤ 12 h	0,11
Schleppschlauch, Einarbeitung nach ≤ 24 h	0,14
Schleppschlauch, Einarbeitung nach ≤ 48 h	0,17
Schleppschlauch, kurze Vegetation	0,25
Schleppschlauch, unter Vegetation	0,125
Schleppschlauch, Grünland	0,21
Schleppschuh	0,12
Schlitzverfahren	0,06
Güllegrubber und Injektionsverfahren	0,025

Tabelle 11: Emissionsfaktoren zur Berechnung der NH₃-Emissionen aus der Ausbringung von Jauche

Ausbringungstechnik, Einarbeitung	Emissionsfaktor in kg (kg TAN) ⁻¹ NH ₃ -N
breitverteilt, ohne Einarbeitung	0,20
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 1 h	0,02
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 4 h	0,07
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 8 h	0,116
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 12 h	0,144
breitverteilt, Vegetation	0,20
breitverteilt, Grünland	0,20
Schleppschlauch, ohne Einarbeitung	0,18
Schleppschlauch, Einarbeitung nach ≤ 1 h	0,01
Schleppschlauch, Einarbeitung nach ≤ 4 h	0,05
Schleppschlauch, Einarbeitung nach ≤ 8 h	0,09
Schleppschlauch, Einarbeitung nach ≤ 12 h	0,12
Schleppschlauch, Vegetation	0,20
Schleppschuh	0,08
Schlitzverfahren	0,04
Güllegrubber und Injektionsverfahren	0,02

Tabelle 12: Emissionsfaktoren zur Berechnung der NH₃-Emissionen aus der Ausbringung von Festmist

Ausbringungstechnik, Einarbeitung	Emissionsfaktor in kg (kg TAN) ⁻¹ NH ₃ -N
breitverteilt, ohne Einarbeitung	0,90
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 1 h	0,09
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 4 h	0,45
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 8 h	0,72
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 12 h	0,81
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 24 h	0,90
breitverteilt, Einarbeitung nach ≤ 48 h	0,90

Tabelle 13: Emissionsfaktoren zur Berechnung der N₂O-Emissionen im Wirtschaftsdünger-Management

Substrat, Lager	Emissionsfaktor in kg (kg N) ⁻¹ N ₂ O-N
Gülle (unbehandelt)	
Güllelager	
offen (ohne Schwimmdecke)	0,000
feste Abdeckung (einschl. Zelt)	0,005
natürliche Schwimmdecke	0,005
Abdeckung mit Strohhäcksel	0,005
Abdeckung mit Folie oder Granulat	0,000
Lager unter Spaltenboden > 1 Monat	0,002
Jauche	
feste Abdeckung (einschl. Zelt)	0,005
Festmist	
Festmist/Misthaufen (Tiefstreumist)	0,013
Festmist (übrige Systeme)	0,010

Die Emissionsfaktoren für NO-N und N₂ ($EF_{NO-N, MM}$ und $EF_{N_2, MM}$) aus dem Wirtschaftsdünger-Management werden aus denen für N₂O abgeleitet. Wie in Rösemann et al. (2017) beschrieben, gilt:

$$EF_{NO-N, MM} = \frac{1}{10} EF_{N_2O-N, MM} \quad (80)$$

$$EF_{N_2, MM} = 3 EF_{N_2O-N, MM} \quad (81)$$

2.11 Emissionen aus der Anwendung von Mineraldüngern

Die Emissionen aus der Mineraldünger-Anwendung werden nach EMEP (2016) und IPCC (2006) mit den Gleichungen (82) bis (85) berechnet:

$$E_{NH_3, MF, i} = m_{MF, i} \cdot EF_{NH_3-N, MF, i} \cdot \frac{M_{NH_3}}{M_N} \quad (82)$$

$$E_{NO, MF} = m_{MF} \cdot EF_{NO-N, MF} \cdot \frac{M_{NO}}{M_N} \quad (83)$$

$$E_{N_2O, MF} = m_{MF} \cdot EF_{N_2O-N, MF} \cdot \frac{M_{N_2O}}{M_{N_2}} \quad (84)$$

$$E_{N_2, MF} = m_{MF} \cdot EF_{N_2, MF} \quad (85)$$

mit

$E_{NH_3, MF}$	NH ₃ -Emissionen aus der Anwendung eines Mineraldüngers i (in kg Herde ⁻¹ a ⁻¹ NH ₃)
$m_{MF, i}$	Mineraldüngergabe mit Dünger i (in kg Herde ⁻¹ a ⁻¹ N)
EF_{NH_3-N}	Emissionsfaktor für NH ₃ bei Anwendung des Dünger i (in kg kg ⁻¹ , siehe Tabelle 14)
M_{NH_3}	Molmasse von NH ₃ ($M_{NH_3} = 17$ kg kmol ⁻¹)
M_N	Molmasse von N ($M_N = 14$ kg kmol ⁻¹)
$E_{NO, MF}$	NO-Emissionen aus der Mineraldünger-Anwendung (in kg Herde ⁻¹ a ⁻¹ NO)
EF_{NO-N}	Emissionsfaktor für NO aus Mineraldünger-Anwendung (in kg kg ⁻¹ , siehe Tabelle 14)
M_{NO}	Molmasse von N ($M_{NO} = 30$ kg kmol ⁻¹)
$E_{N_2O, MF}$	N ₂ O-Emissionen aus der Mineraldünger-Anwendung (in kg Herde ⁻¹ a ⁻¹ N ₂ O)
EF_{N_2O-N}	Emissionsfaktor für N ₂ O-N aus Mineraldünger-Anwendung (in kg kg ⁻¹ , siehe Tabelle 14)
M_{N_2O}	Molmasse von N ₂ O ($M_{N_2O} = 44$ kg kmol ⁻¹)
M_{N_2}	Molmasse von N ₂ ($M_{N_2} = 28$ kg kmol ⁻¹)
EF_{N_2}	Emissionsfaktor für N ₂ aus Mineraldünger-Anwendung (in kg kg ⁻¹ , siehe Tabelle 14)

Die Emissionsfaktoren für NH₃ und NO sind EMEP (2016) entnommen, der für N₂O entspricht IPCC (2006). Zur Ableitung des Emissionsfaktors für N₂ siehe Rösemann et al. (2017). Nicht berücksichtigt bleibt, dass insbesondere der Emissionsfaktor für Harnstoff umstritten ist (vgl. Pacholski et al., 2017).

Die mittlere Frühjahrstemperatur (1961-1990; März, April, Mai) in Thüringen beträgt 6,9 °C (Thüringer Klimaagentur, o.J.). Es wird davon ausgegangen, dass mit „kühles Klima“ nach EMEP (2016) anzunehmen ist.

EMEP (2016) gibt für kühles Klima die in Tabelle 14 aufgeführten NH₃-N-Emissionsfaktoren für unterschiedliche Mineraldünger an (vollständige Liste, ggf. für Szenarien zu verwendender N-Mineraldünger).

Tabelle 14: Emissionsfaktoren für N-Spezies aus der Anwendung von Mineraldüngern für kühles Klima und Boden-pH < 7 (aus EMEP, 2016, und IPCC, 2006)

Mineraldünger	Emissionsfaktoren in kg kg ⁻¹ bezogen auf aus- gebrachtes N		Quelle
	NH ₃	NH ₃ -N	
Kalkammonsalpeter (KAS)	0,008	0,00659	EMEP (2016), 3D, Tabelle 3.2
Ammoniumnitrat (AN)	0,015	0,01235	
Harnstoff (HS)	0,155	0,12765	
andere Einkomponenten-N-Dünger	0,010	0,00824	
NP-Dünger	0,050	0,04118	
NK- und NPK-Dünger	0,050	0,04118	
Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL)	0,098	0,08071	
	NO	NO-N	
alle	0,028	0,012	nach Stehfest und Bouwman (2006)
	N ₂ O	N ₂ O-N	
alle	0,016	0,010	IPCC (2006), Chapter 11 Table 11.1
		N ₂	
alle		0,07	Rösemann et al (2017), S. 329

Emissionen aus der Harnstoff-Anwendung bei gleichzeitigem Einsatz von Urease-Hemmern

Ab dem Jahr 2020 dürfen in Deutschland harnstoffhaltige Mineraldünger eingesetzt werden, denen ein Urease-Hemmstoff beigemischt ist, sofern sie nicht unverzüglich bzw. innerhalb von 4 Stunden eingearbeitet werden (BMEL, 2017a). Dadurch werden die Emissionen deutlich gesenkt.

Diese Entwicklung hat noch keinen Eingang in die Regelwerke zur Berechnung der Emissionen gefunden. Pan et al. (2016) stellten die bisher erhaltenen Messergebnisse zusammen. Die Auswertung lässt eine Emissionsminderung in der Größenordnung von 50 % gegenüber dem Einsatz ohne Hemmer erwarten.

2.12 Indirekte Lachgas-Emissionen

Als indirekte N₂O-Emissionen werden diejenigen Emissionen aus Böden und Gewässern bezeichnet, die auf die atmosphärische Deposition von NH₃, NH₄⁺, NO bzw. NO₂ und NO₃⁻ und auf die N-Einträge aus Wirtschafts- und Mineraldüngern in Grund- und Oberflächenwässer zurückzuführen sind. „Klassisch“, d.h. nach IPCC (2006), werden diese Emissionen nur für landwirtschaftliche Quellen im engeren Sinne (Pflanzen- und Tierproduktion) berechnet. Die vorliegende Arbeit bezieht alle mit der Landwirtschaft in Zusammenhang stehenden relevanten Emissionen mit ein.

2.12.1 Indirekte Emissionen aus der atmosphärischen Deposition

Die atmosphärischen Einträge von (anorganischen) N-Spezies aus trockener und nasser Deposition (vgl. VDI-KRdL, 2010) werden wie Mineraldünger-N-Einträge behandelt. Gleichung (84) gilt sinngemäß.

2.12.2 Indirekte Emissionen aus N-Einträgen in Oberflächen- und Grundwässer

N-Einträge in Böden sind möglicherweise auswaschungsgefährdet. Sofern nähere Erkenntnisse nicht vorliegen, wird ein Schätzverfahren eingesetzt (IPCC, 2006): Die zur Bildung von N₂O zur Verfügung stehende N-Menge wird aus dem N-Eintrag und einem Auswaschungsfaktor geschätzt. Hier werden Thüringer Daten verwendet: Die Messungen von Roth et al. (2005) legen nahe, als Auswaschungsfaktor für Thüringen 0,05 kg kg⁻¹ anzusetzen.

$$E_{\text{N}_2\text{O}, \text{leach}} = m_{\text{N}} \cdot x_{\text{leach}} \cdot EF_{\text{N}_2\text{O}-\text{N}, \text{leach}} \cdot \frac{M_{\text{N}_2\text{O}}}{M_{\text{N}_2}} \quad (86)$$

mit

$E_{\text{N}_2\text{O}, \text{feach}}$	N ₂ O-Emissionen aus der Auswaschung von eingetragenen N (in kg Herde ⁻¹ a ⁻¹ N ₂ O)
m_{N}	Menge des aufgegebenen N (in kg Herde ⁻¹ a ⁻¹ N)
x_{leach}	Auswaschungsfaktor ($x_{\text{leach}} = 0,05 \text{ kg kg}^{-1}$)
$EF_{\text{N}_2\text{O}, \text{leach}}$	Emissionsfaktor für N ₂ O-N aus N-Auswaschung ($EF_{\text{N}_2\text{O}, \text{leach}} = 0,0075 \text{ kg kg}^{-1}$)
M_{N_2}	Molmasse von N ₂ ($M_{\text{N}_2} = 28 \text{ kg kmol}^{-1}$)
$M_{\text{N}_2\text{O}}$	Molmasse von N ₂ O ($M_{\text{N}_2\text{O}} = 44 \text{ kg kmol}^{-1}$)

2.13 Bauliche Maßnahmen zur Emissionsminderung

2.13.1 Abluftreinigungsanlagen

Nach TMfUEN (2016) sind in Thüringen Abluftreinigungsanlagen bei größeren Stallanlagen zur Schweinemast und Ferkelerzeugung zukünftig obligatorisch. Dabei wird für die Abscheideleistung sowohl bei Stäuben als auch bei NH₃ ein Wirkungsgrad von mindestens 70 % vorausgesetzt. Solche Abscheidungsgrade sind bei Rieselbetтанlagen sowie zwei- und dreistufigen Anlagen (mit Chemostufe und Wasserstufe bzw. Wasserstufe, Chemostufe und Biofilter) erreichbar. In Dämmgen et al. (2010) sind Einzelheiten ausführlich dargelegt. Danach lassen sich die N-Flüsse in solchen Anlagen grundsätzlich wie in Abbildung 12 dargestellt verfolgen.

Die Stickstoffflüsse lassen sich wie in Gleichung (87) bilanzieren, wenn die Anlage im Fließgleichgewicht ist.

$$F_{\text{NH}_3} - (D_{\text{NH}_4, \text{SA}} + D_{\text{NH}_4, \text{SW}} + D_{\text{NO}_2, \text{SW}} + D_{\text{NO}_3, \text{SW}} + D_{\text{N}, \text{fb}, \text{S}} + E_{\text{NH}_3, \text{S}} + E_{\text{NO}, \text{S}} + E_{\text{N}_2\text{O}, \text{S}} + E_{\text{N}_2, \text{S}}) = 0 \quad (87)$$

mit

F_{NH_3}	Fluss von NH ₃ -N aus dem Stall in die Abluftreinigungsanlage (in kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹ N)
$D_{\text{NH}_4, \text{SA}}$	Abfluss von Ammonium-N aus der Säurestufe der Abluftreinigungsanlage in den Ammoniumsulfatbehälter (in kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹ N)
$D_{\text{NH}_4, \text{SW}}$	Abfluss von Ammonium-N aus der Wasserstufe der Abluftreinigungsanlage in den Güllebehälter (in kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹ N)
$D_{\text{NO}_2, \text{SW}}$	Abfluss von Nitrit-N aus der Abluftreinigungsanlage in den Güllebehälter (in kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹ N)
$D_{\text{NO}_3, \text{SW}}$	Abfluss von Nitrat-N aus der Abluftreinigungsanlage in den Güllebehälter (in kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹ N)
$D_{\text{N}, \text{fb}, \text{S}}$	Abfluss von im Filterbettmaterial gebundenem N aus der Abluftreinigungsanlage (in kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹ N)
$E_{\text{NH}_3, \text{S}}$	Emission von NH ₃ -N aus der Abluftreinigungsanlage (in kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹ N)
$E_{\text{NO}, \text{S}}$	Emission von NO-N aus der Abluftreinigungsanlage (in kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹ N)
$E_{\text{N}_2\text{O}, \text{S}}$	Emission von N ₂ O-N aus der Abluftreinigungsanlage (in kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹ N)
$E_{\text{N}_2, \text{S}}$	Emission von N ₂ aus der Abluftreinigungsanlage (in kg Tierplatz ⁻¹ a ⁻¹ N)

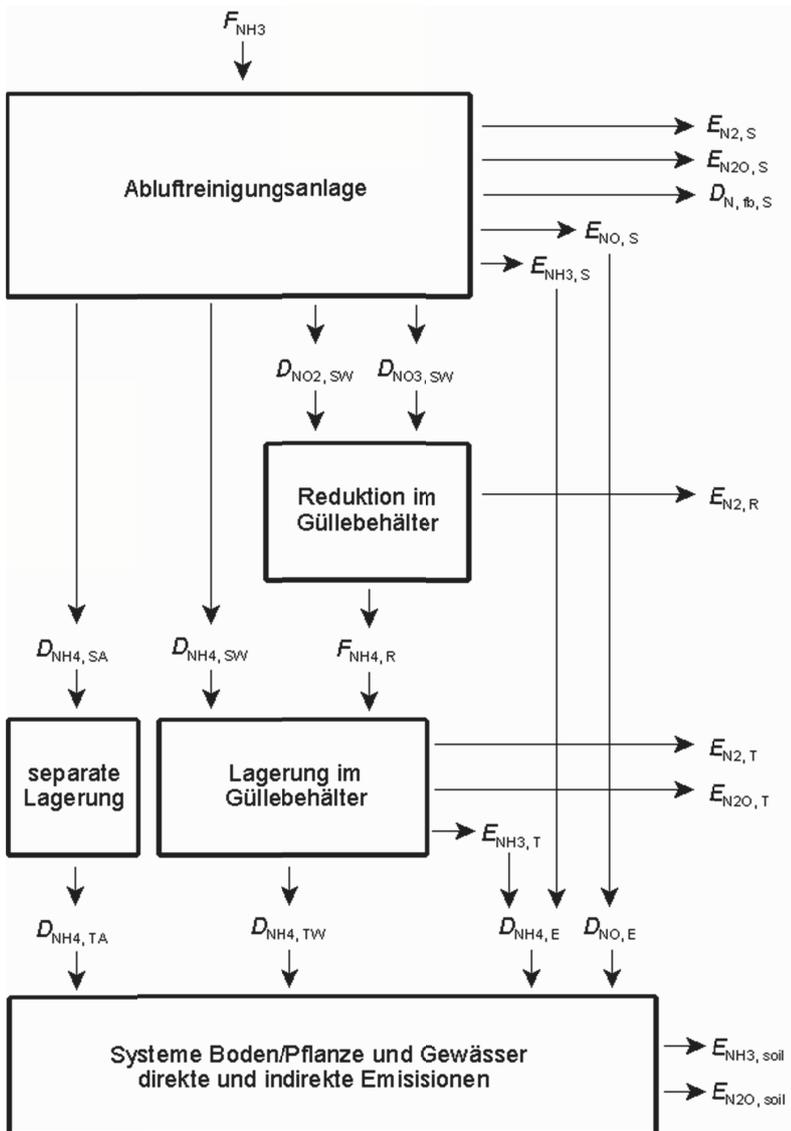


Abbildung 12: Flüsse von N-Spezies in einer für Schweineproduktion üblichen Abluftreinigungsanlage (aus Dämmgen et al., 2010). Zu den Symbolen siehe Legende zu Gleichung (87).

Das nationale Emissionsinventar arbeitet für diese drei Systeme vereinfachend mit einem einheitlichen Wirkungsgrad für NH_3 von 80 % (Expertenurteil Hahne). Für die Emissionsberechnung von NH_3 aus Ställen gilt dann:

$$E_{NH_3, house, eff} = E_{house} \cdot (1 - \varphi_{scrubber}) \quad (88)$$

mit

$E_{NH_3, house, eff}$ NH_3 -Emission aus Schweinestall *mit* Abluftreinigungsanlage (effektiv) (in $kg \text{ Tierplatz}^{-1} a^{-1}$)

$E_{NH_3, house}$ NH_3 -Emission aus Schweinestall *ohne* Abluftreinigungsanlage (in $kg \text{ Tierplatz}^{-1} a^{-1}$)

$\varphi_{scrubber}$ Wirkungsgrad der Abluftreinigungsanlage (hier: $\varphi_{scrubber} = 0,8 \text{ kg kg}^{-1}$)

Bei Rieselbettreaktoren kommt es zu einer geringfügigen Oxidation von $NH_4\text{-N}$ zu $N_2O\text{-N}$ (etwa 3 %, Dämmgen et al., 2010). Diese Emissionen werden nicht erfasst und verfolgt, solange nicht detaillierte Angaben für Thüringen vorliegen.

Die in die Waschwässer gelangenden $NH_4\text{-N}$ -Mengen können im Prinzip wie Mineraldünger behandelt werden. Hier werden sie der Gülle zugeführt und wie diese ausgebracht, wobei für die La-

gerung der Waschwässer aus der Säurestufe und der Wasserstufe keine Emissionen veranschlagt werden. Die indirekten Emissionen aus den so in den Boden eingebrachten N-Mengen werden berechnet.

2.13.2 Biogasanlagen

Für die vorliegende Arbeit wird ausschließlich die Fermentierung von Schweinegülle beschrieben. Eine mögliche Vergärung von Festmist aus der Schweinehaltung wird nicht berücksichtigt, da in Deutschland hierzu keine verlässlichen Daten vorliegen. Eine Kofermentierung mit anderen Substraten ist nicht Gegenstand der Untersuchungen.

2.13.2.1 Umsetzung von VS-Kohlenstoff

Die nachfolgende Beschreibung ist eine stark vereinfachte Fassung der ausführlichen Betrachtungen in Rösemann et al. (2017), Kap. 3.3.4.4.1 und 3.4.4.3,

Im Prinzip werden die CH_4 -Emissionen aus dem sogenannten gasführenden System (Vorlagerung, Fermenter und Nachgäreinheiten) insgesamt bestimmt. Allerdings wird der Wert für *MCF* für Biogasanlagen in komplexer Weise (in Anlehnung an IPCC, 2000) unter Berücksichtigung der Anlagendaten (z.B. Leckagerate) aus dem Restgaspotenzial berechnet.

Für (praktisch) gasdichte Anlagen beträgt er für vergorene Schweinegülle $0,037 \text{ kg kg}^{-1}$ (Rösemann et al, 2017, S. 88) – deutlich weniger als die $0,25 \text{ kg kg}^{-1}$ für die Lagerung ohne Biogasanlage. Bestimmt wird außerdem die CH_4 -Menge, die nicht emittiert, sondern der Nutzung (in der Regel im Blockheizkraftwerk) zugeführt wurde.

Alle Rechnungen folgen Rösemann et al. (2017).

2.13.2.2 Umsetzung von Stickstoff-Verbindungen

Bei der Lagerung der Gülle finden gleichzeitig Mineralisierung (überwiegend) und Immobilisierung von N statt ($\text{N}_{\text{org}} \leftrightarrow \text{TAN}$). Der Abbau der organischen Substanz im Fermenter erhöht den TAN-Anteil von Gülle-N von etwa 50 bis 70 % (unvergoren) auf etwa 70 % (vergoren) (TLL, 2012). Aus dem gasdichten Lager finden keine Emissionen statt, so dass deutlich erhöhte Emissionen bei der Ausbringung zu beobachten sind.

NH_3 findet sich nicht in merklichen Mengen im Biogas.

Die N_2O -Emissionsfaktoren für die Lagerung von unvergorener oder vergorener Gülle sind Null (IPCC (2006), Tabelle 10.21. Die NO - und N_2 -Emissionen werden aus denen von N_2O abgeleitet. Sie sind deshalb ebenfalls Null.

3 Betrachtung des Status quo - Emissionen aus der gegenwärtigen Schweinefleischproduktion im Referenzunternehmen (Bezugsjahr 2015)

Wie Abbildung 2 zu entnehmen ist, gliedert sich die moderne Schweinefleischerzeugung hierarchisch. Oft sind den verschiedenen Stufen selbständige Unternehmen mit geregelten vertraglichen Bindungen zuzuordnen. Da aus der Zielstellung der vorliegenden Arbeit jedoch die gesamte Produktionskette bewertet werden soll, verwenden wir nachfolgend den Begriff ‚Referenzunternehmen‘ für ein fiktives konventionelles, in Teilbereiche gegliedertes Gesamtunternehmen, das alle Schritte der Schweinefleischproduktion zusammenfasst (Energie- und Wasserbereitstellung, Mineraldüngerproduktion, Futterproduktion, Züchtung, Remontierung der KB-Eber und der Sauenherde, Mast, Wirtschaftsdüngermanagement einschließlich der Exkrementenbehandlung).

Um zunächst einen Überblick über die Emissionen aus der thüringischen Schweinefleischproduktion zu erhalten, werden die Emissionen für einen der thüringischen Praxis entsprechendes Referenzunternehmen

renzunternehmen errechnet. Dabei greifen wir so weit wie möglich auf thüringische Datensätze zurück, insbesondere bei der

- der Ermittlung der Leistungsparameter und
- der Ermittlung der das Wirtschaftsdünger-Management beschreibenden Parameter

Alle weiteren Schritte (z.B. Menge der Mineraldüngergaben) werden einheitlich mit Standarddatensätzen gerechnet.

3.1 Eingangsdaten für detaillierte Rechnungen 2015

Die Emissionen in der Tierproduktion im engeren Sinne sind zunächst abhängig von den Ausscheidungen, diese wiederum von der Futteraufnahme. Die Futteraufnahme ist abhängig von der Leistung und der Zusammensetzung des Futters. Diese Parameter sind im Folgenden für alle die Tierkategorien beschrieben, die in der umfassenden Analyse zu berücksichtigen sind.

3.1.1 Tierzahlen, Leistung und Haltung

In den Tabellen 15 bis 20 sind die für 2015 angenommenen Tierzahlen, die Kenngrößen der tierischen Leistung und die Form des Wirtschaftsdünger-Managements (fest, flüssig, gemischt) wiedergegeben.

Tabelle 15: Kenngrößen der Mast (Mastschweine und Aufzuchtferkel)

Tierkategorie	Futter	Mastschweine				Aufzuchtferkel	
		Standard	Standard	N-P-reduziert	N-P-reduziert	Standard	Standard
		verwertete Tiere	abgängige Tiere	verwertete Tiere	abgängige Tiere	verwertete Tiere	abgängige Tiere
Anfangsmasse	kg Tier ⁻¹	30	30	30	30	8	8
Endmasse	kg Tier ⁻¹	122	76	122	76	30	19
tägliche Zunahme	g Tier ⁻¹ d ⁻¹	845	845	845	845	428	428
ME-Bedarf	MJ Tier ⁻¹	3340	1428	3340	1428	548	236
Futteraufnahme FM	kg Tier ⁻¹	257	110	257	108	40	20
Futteraufnahme DM	kg Tier ⁻¹	225	96	225	94	33	16
Ausscheidungen							
CH ₄ (Verdauung)	kg Tier ⁻¹	0,32	0,14	0,31	0,13	0,06	0,03
VS	kg Tier ⁻¹	33,8	14,4	34,5	12,6	4,6	2,9
N	kg Tier ⁻¹	5,45	2,17	4,91	2,23	0,54	0,23
TAN	kg Tier ⁻¹	4,29	1,68	3,79	1,81	0,34	0,15
gefütterte Tiere	Tiere Herde ⁻¹ a ⁻¹	2340,9	97,5	415,3	15,1	2868,8	57,4
Wirtschaftsdünger	Typ	gemischt *	gemischt	gemischt	gemischt	flüssig	flüssig

* Weitere Angaben zum Wirtschaftsdünger-Management finden sich in den Angaben zu den Szenarien in Kapitel 4.3.6.

Tabelle 16: Kenngrößen der Ferkelproduktion

Sauen in Wurfnummer		1	2	3	4	5	6	7	8
Lebendmassen									
Tag 1 pp	kg Sau ⁻¹		188,8	215,3	238,0	254,1	266,4	274,1	277,1
Tag 14 pp	kg Sau ⁻¹		190,8	216,6	238,6	254,2	266,0	273,3	275,8
Tag 49 pp	kg Sau ⁻¹	157,7	191,2	216,8	238,7	254,2	266,0	273,1	275,6
Tag 117 pp	kg Sau ⁻¹	176,8	202,9	224,7	242,1	255,1	263,8	268,1	268,1
Tag 127 pp	kg Sau ⁻¹	227,2	253,9	275,6	292,1	303,7	310,1	311,5	307,9
Tag 128 pp	kg Sau ⁻¹	234,6	261,4	283,0	299,5	310,8	316,9	317,9	313,7
geborene Ferkel *	Ferkel Wurf ¹	13,8	14,5	14,7	14,6	14,3	13,9	13,5	12,9
gefütterte Ferkel **	Ferkel Wurf ¹	12,2	13,0	13,3	13,2	12,9	12,4	12,0	11,5
ME-Bedarf	MJ Platz ⁻¹ ZWZ ⁻¹	6464	7239	7533	7665	7709	7660	7551	7436
Futtermittelaufnahme FM	kg Platz ⁻¹ ZWZ ⁻¹	522	583	606	617	621	617	608	599
Futtermittelaufnahme DM	kg Platz ⁻¹ ZWZ ⁻¹	460	%14	535	544	541	544	536	528
Ausscheidungen									
CH ₄ (Verdauung)	kg Platz ⁻¹ ZWZ ⁻¹	1,19	1,36	1,40	1,42	1,43	1,42	1,41	1,39
VS	kg Platz ⁻¹ ZWZ ⁻¹	92,0	102,2	106,4	108,3	109,0	108,4	106,9	105,1
N	kg Platz ⁻¹ ZWZ ⁻¹	7,21	8,49	9,05	9,44	9,68	9,81	9,86	9,84
TAN	kg Platz ⁻¹ ZWZ ⁻¹	4,97	6,00	6,46	6,80	7,02	7,17	7,25	7,28
Sauen gefüttert	Sau Herde ⁻¹ a ⁻¹	23,1	20,2	17,4	14,5	11,6	8,7	5,8	2,9
Tierverluste	% der geborenen Ferkel	16	13	12	12	13	14	15	15
Wirtschaftsdünger	Typ	flüssig							

* insgesamt geborene Ferkel (zur Berechnung des ME-Bedarfs für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte)

** Mittelwert aus lebend geborenen und abgesetzten Ferkeln (zur Berechnung des ME-Bedarfs für die Milchbildung)

Tabelle 17: Kenngrößen der übrigen F1-Tiere

Tierkategorie		Jungsauen F1 zur Zucht	Jungsauen F1 zur Mast	Jungeber Börgen F1	Aufzuchtferkel F1
Anfangsmasse	kg Tier ⁻¹	30	30	30	8
Endmasse	kg Tier ⁻¹	148	110	120	30
tägliche Zunahme	g Tier ⁻¹ d ⁻¹	720	720	840	428
ME-Bedarf	MJ Tier ⁻¹	5607	3022	3377	548
Futtermittelaufnahme FM	kg Tier ⁻¹	431	232	260	40
Futtermittelaufnahme DM	kg Tier ⁻¹	378	203	227	33
Ausscheidungen					
CH ₄ (Verdauung)	kg Tier ⁻¹	0,60	0,32	0,32	0,06
VS	kg Tier ⁻¹	72,5	37,7	34,1	4,6
N	kg Tier ⁻¹	8,21	4,35	5,40	0,54
TAN	kg Tier ⁻¹	5,91	3,14	4,23	0,34
Tiere gefüttert	Tier Herde ⁻¹ a ⁻¹	55,0	13,8	68,8	139,7
Tierverluste	%	3	3	1,5	1
Wirtschaftsdünger	Typ	fest	fest	gemischt *	fest

* Häufigkeitsverteilung wie bei Mastschweinen

Tabelle18: Kenngrößen der KB- und Sucheber und weiterer in diesem Zusammenhang benötigter Tierkategorien

Tierkategorie		KB-Eber	Sucheber	Jungeber	Mast-Sauen *	Aufzuchtferkel
Anfangsmasse	kg Tier ⁻¹	150	150	30	30	8
Endmasse	kg Tier ⁻¹	308	282	150	120	30
tägliche Zunahme	g Tier ⁻¹ d ⁻¹	328	362	700	840	428
ME-Bedarf	MJ Tier ⁻¹	17293	13063	4948	3317	548
Futtermateriale FM	kg Tier ⁻¹	1441	1089	391	255	40
Futtermateriale DM	kg Tier ⁻¹ a ⁻¹	1254	947	341	223	33
Ausscheidungen						
CH ₄ (Verdauung)	kg Tier ⁻¹	1,86	1,40	0,54	0,35	0,06
VS	kg Tier ⁻¹	210	158	63	28	4,6
N	kg Tier ⁻¹	32,8	24,5	5,8	4,32	0,54
TAN	kg Tier ⁻¹	25,0	18,6	4,2	3,11	0,34
Tiere gefüttert	Tier Herde ⁻¹ a ⁻¹	0,17	0,52	1,8	1,8	3,5
Tierverluste	%	2	2	2	2	2
Wirtschaftsdünger	Typ	fest	fest	fest	flüssig	fest

*weibliche Tiere zur Mast

Tabelle 19: Kenngrößen für Tiere in der Reinzucht (ohne Zuchtsauen)

Tierkategorie		Aufzuchtferkel	Jung-sauen	Jungeber	Mast-sauen	Mast-börge
Anfangsmasse	kg Tier ⁻¹	8	30	30	30	30
Endmasse	kg Tier ⁻¹	30	158	150	120	120
tägliche Zunahme	g Tier ⁻¹ d ⁻¹	428	720	700	840	840
ME-Bedarf	MJ Tier ⁻¹	548	5607	4948	3317	3317
Futtermateriale FM	kg Tier ⁻¹	40	431	391	255	255
Futtermateriale DM	kg Tier ⁻¹	33	378	341	223	223
Ausscheidungen						
CH ₄ (Verdauung)	kg Tier ⁻¹	0,06	0,60	0,54	0,35	0,35
VS	kg Tier ⁻¹	4,6	72,5	63	28	28
N	kg Tier ⁻¹	0,54	8,2	5,8	4,32	4,32
TAN	kg Tier ⁻¹	0,34	5,9	4,2	3,11	3,11
Tiere gefüttert	Tier Herde ⁻¹ a ⁻¹	97,4	44,3	4,4	4,4	44,3
Tierverluste	%	nicht berücksichtigt	2	2	2	2
Wirtschaftsdünger	Typ	fest	fest	fest	gemischt **	gemischt

* weibliche Tiere zur Mast

** Häufigkeitsverteilung wie bei Mastschweinen

Tabelle 20: Kenngrößen für Sauen in der Reinzucht

Sauen in Wurfnummer		1	2
	Einheit		
Anfangsmasse	kg Sau ⁻¹	158	189
Endmasse	kg Sau ⁻¹	189	215
Leistung	Ferkel Sau ⁻¹ Wurf ⁻¹	12,3	13,2
ME-Bedarf	MJ Sau ⁻¹ ZWZ ⁻¹	6464	7239
Futteraufnahme FM	kg Sau ⁻¹ ZWZ ⁻¹	522	583
Futteraufnahme DM	kg Sau ⁻¹ ZWZ ⁻¹	460	518
Ausscheidungen			
CH ₄ (Verdauung)	kg Sau ⁻¹ ZWZ ⁻¹	1,19	1,36
VS	kg Sau ⁻¹ ZWZ ⁻¹	92	102
N	kg Sau ⁻¹ ZWZ ⁻¹	7,21	8,49
TAN	kg Sau ⁻¹ ZWZ ⁻¹	4,97	6,00
Tiere gefüttert	Tier Herde ⁻¹ a ⁻¹	7,2	7,2
Tierverluste	%	nicht berücksichtigt	nicht berücksichtigt
Wirtschaftsdünger	Typ	flüssig	flüssig

3.1.2 Fütterung

Aufgeführt sind die Eigenschaften aller für die jeweilige Tierkategorie eingesetzten Futter. Sie werden teilweise erst in der systematischen Analyse der Einflussgrößen oder den Szenarien für 2020 und 2025 benötigt.

Tabelle 21: Futtereigenschaften für Absatz- und Aufzuchtferkel (Standardfutter)

Tier		Absatzferkel	Aufzuchtferkel	Aufzuchtferkel
Lebendmasse	kg Tier ⁻¹	8 - 12	12 - 20	20 - 30
	Quelle	HKK *	HKK	HKK
Trockenmasse	%	88,61	87,95	87,97
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹	14,00	13,60	13,40
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

* Heinrich Kleine Klausing

Tabelle 22: Futtereigenschaften für Mastschweinefutter (Standardfutter)

Tier Lebendmasse	kg Tier ⁻¹	Vormast 30 - 60	Mittelmast 60 - 80	Endmast 80 - 120
Quelle		HKK	HKK	HKK
Trockenmasse	%	87,52	87,30	87,36
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹	13,20	13,00	12,80
XProtein	%	17,50	16,50	15,50
XFaser	%	3,79	3,73	4,27
XFett	%	3,05	1,83	1,79
XAsche	%	5,10	4,76	4,41
BFS	kg kg ⁻¹	0,071	0,069	0,072
Verdaulichkeit Protein	kg kg ⁻¹	0,866	0,861	0,829
Verdaulichkeit OM	kg kg ⁻¹	0,851	0,850	0,830

Tabelle 23: Futtereigenschaften für Mastschweinefutter (N-P-reduziertes Futter)

Tier Lebendmasse	kg Tier ⁻¹	Vormast 30 - 60	Mittelmast 60 - 80	Endmast 80 - 120
Quelle		HKK	HKK	HKK
Trockenmasse	%	87,52	87,34	87,41
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹	13,20	13,00	12,80
XProtein	%	17,00	15,00	14,00
XFaser	%	3,73	3,60	4,19
XFett	%	2,98	1,76	1,83
XAsche	%	5,05	4,61	4,27
BFS	kg kg ⁻¹	0,069	0,065	0,069
Verdaulichkeit Protein	kg kg ⁻¹	0,865	0,852	0,817
Verdaulichkeit OM	kg kg ⁻¹	0,850	0,846	0,825

Tabelle 24: Futtereigenschaften für Mastschweinefutter (Gesundfutter)

Tier Lebendmasse	kg Tier ⁻¹	Vormast 30 - 60	Mittelmast 60 - 80	Endmast 80 - 120
Quelle		HKK	HKK	HKK
Trockenmasse	%	87,30	87,49	87,63
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹	13,00	13,00	13,00
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	0,076	0,079	0,080
Verdaulichkeit Protein	kg kg ⁻¹	0,835	0,802	0,785
Verdaulichkeit OM	kg kg ⁻¹	0,821	0,799	0,790

Tabelle 25: Futtereigenschaften für Sauenfutter (Standardfutter)

Größe	Einheit	Zuchtsau laktierend	Zuchtsau tragend	Zuchtsau Geburtsfutter
Quelle		HKK	HKK	HKK
Trockenmasse	%	87,98	88,32	88,19
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹	13,00	12,00	12,40
XProtein	%	16,00	13,50	14,13
XFaser	%	4,74	7,00	6,00
XFett	%	5,16	4,66	5,22
XAsche	%	5,62	4,96	5,73
BFS	kg kg ⁻¹	0,083	0,138	0,098
Verdaulichkeit Protein	kg kg ⁻¹	0,826	0,762	0,779
Verdaulichkeit OM	kg kg ⁻¹	0,803	0,781	0,766

Tabelle 26: Futtereigenschaften für Sauenfutter (Gesundfutter)

Größe	Einheit	Zuchtsau laktierend	Zuchtsau tragend	Zuchtsau Geburtsfutter
Quelle		HKK	HKK	HKK
Trockenmasse	%	87,98	87,93	88,13
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹	13,00	12,00	12,40
XProtein	%	16,00	13,50	14,12
XFaser	%	4,74	7,00	6,00
XFett	%	5,16	4,51	5,11
XAsche	%	5,62	4,92	5,65
BFS	kg kg ⁻¹	0,082	0,103	0,096
Verdaulichkeit Protein	kg kg ⁻¹	0,827	0,769	0,782
Verdaulichkeit OM	kg kg ⁻¹	0,808	0,771	0,769

Tabelle 27: Eigenschaften von Eberfutter (Standardfutter für Jungeber, KB- und Sucheber)

Größe	Einheit	Jungeber 30 - 60	Jungeber 60 - 90	Jungeber 90 - 120	KB-Eber > 120
Quelle		HKK	HKK	HKK	HKK
Trockenmasse	%	87,34	87,23	87,27	86,99
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹	13,00	12,60	12,60	12,00
XProtein	%	17,00	16,50	15,50	18,50
XFaser	%	4,50	5,00	5,00	5,96
XFett	%	4,09	3,00	3,21	1,91
XAsche	%	5,34	5,17	5,11	5,70
BFS	kg kg ⁻¹	0,076	0,081	0,080	0,091
Verdaulichkeit Protein	kg kg ⁻¹	0,840	0,823	0,814	0,824
Verdaulichkeit OM	kg kg ⁻¹	0,822	0,803	0,799	0,790

Tabelle 28: Eigenschaften von Jungsauenfutter (Standardfutter)

Größe	Einheit	Absatzferkel	Abschnitt II	Abschnitt III
Lebendmasse	kg Tier ⁻¹	30 - 60	60 - 100	100 - 150
Quelle		HKK	HKK	HKK
Trockenmasse	%	87,30	87,49	87,63
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹	13,00	13,00	13,00
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	0,076	0,079	0,080
Verdaulichkeit Protein	kg kg ⁻¹	0,835	0,802	0,785
Verdaulichkeit OM	kg kg ⁻¹	0,821	0,799	0,790

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Mastschweine im Detail

Für jede Tierkategorie werden die Emissionen der gesamten Kette berechnet und dann in Tabellen wie Tabelle 29 zusammengefasst; Tabelle 30 fasst die Summe zusammen.

Die Einzelheiten der Bedingungen (Stall, Lager, Ausbringung) sind den entsprechenden Zahlen für 2015 in den Tabellen in Kapitel 4.3 zu entnehmen.

Die Angabe der Zahlenstellen suggeriert eine Genauigkeit, die nicht gegeben ist.⁷ Sie soll vielmehr die unterschiedlichen Größenordnungen der Emissionen der einzelnen Teilquellen verdeutlichen. Die Angabe „0“ oder „0,0“ bedeutet, dass der Wert berechnet wurde, aber bei der Rundung kleiner als 0,5 bzw. 0,05 war.

In den meisten Fällen werden die Emissionen der THG N₂O, CH₄ und CO₂ gesondert ausgewiesen und dann mit Hilfe der Global Warming Factors (GWP) in der „Summe THG“ zusammengefasst. In einigen Fällen sind für die Prozesse nur unaufgeschlüsselte Angaben verfügbar, die in der Spalte „THG“ aufgeführt sind. (GWP für CO₂: 1 kg kg⁻¹, CH₄: 25 kg kg⁻¹, N₂O: 298 kg kg⁻¹)

⁷ Die Unsicherheiten liegen im Bereich von 40 bis 400 % für Einzelwerte, die der Summen bei etwa 38 % für THG und 18 % für NH₃. Zu Einzelheiten siehe die Diskussion, Kapitel 5.1.

Tabelle 29: Aufgliederung der Emissionen aus der Mastschweinehaltung 2015

Emission von	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	THG	Summe THG
Einheit	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq			
Verdauung			911	2259		25,0
Wirtschaftsdüngermanagement						
Stall	3977					
Lager	231	15	2895			76,8
Ausbringung	1146					
<i>Management insgesamt</i>	<i>5353</i>					
Pflanzenbau						
N-Dünger	446	124				36,8
Kalk- und KAS-Anwendung				12860		12,9
verrottende Pflanzenreste		118				35,1
Diesel im Pflanzenbau		7	7	19091		21,4
Düngemittelherstellung						
N-Dünger	358				18,0	18,0
P-Dünger und Futterphosphat					6,4	6,4
Kalk insgesamt		0	0	108		0,1
Bereitstellung elektrische Energie						
Stallklima und -beleuchtung					14,6	14,6
Mischfutterwerk					1,8	1,8
Kalkbruch					1,3	1,3
Bereitstellung Wasser					0,9	0,9
Bereitstellung Diesel					2,6	2,6
Bereitstellung Erdgas					0,0	0,0
indirekte Emissionen						0,0
aus Landwirtschaft		69				20,7
aus Düngemittelherstellung		5				0,9
Summen	6157	338	3813	34317	45,5	275,4

Die bei weitem bedeutendste NH₃-Quelle ist der Stall, gefolgt von Ausbringung und Lager. Vor der Ausbringung ist von der ursprünglichen TAN-Menge nur noch ein Drittel vorhanden. Insgesamt wird fast die Hälfte des ausgeschiedenen N emittiert.

Etwa je ein Drittel der THG entfällt auf N₂O, CH₄ und CO₂. Bei Festmist fällt N₂O (sowie NO und N₂) aus dem Lager an. Die Mengen sind gering im Vergleich zu den Emissionen, die nach der Düngung und beim Verrotten von Pflanzenresten auftreten.

3.2.2 Übrige Tierkategorien

Tabellen wie Tabelle 29 wurden für alle Tierkategorien berechnet. Die Summen sind in Tabelle 30 zusammengestellt. Mast und Ferkelproduktion sind die bestimmenden Quellen.

Tabelle 30: Zusammenstellung der Emissionen 2015 (gerundete Werte)

Emissionen von	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	THG *	Summe THG
Einheit	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq			
Mast						
Mastschweine	6157	338	3813	34317	45,5	275,4
Aufzuchtferkel	656	52	794	5930	17,9	59,1
Ferkelproduktion						
Zuchtsauen	977	141	680	3668	32,9	95,5
Jungsauen zur Zucht	141	12	33	930	3,1	8,6
Jungsauen zur Mast	31	2	4	126	0,7	1,6
Börge zur Mast	131	6	77	681	3,3	7,6
Aufzuchtferkel	32	4	8	212	6,0	7,6
Bereitstellung von KB-Ebern						
KB-Eber	3	0	0	16	0,0	0,1
Sucheber	5	0	1	26	0,0	0,2
Jungeber	6	1	1	48	0,1	0,3
Sauen zur Mast	3	0	2	26	0,1	0,2
Aufzuchtferkel	1	0	0	5	0,0	0,1
Reinzucht						
Aufzuchtferkel	42	10	7	179	4,2	7,5
Jungeber	14	2	2	129	0,1	0,7
Zuchteber	20	1	2	92	0,1	0,7
Börge zur Mast	84	4	58	516	0,3	3,4
Jungsauen	187	16	26	818	2,4	8,6
Zuchtsauen	64	10	148	816	5,8	13,2
Sauen zur Mast	24	1	6	53	0,0	0,6

* Diese Spalte enthält diejenigen Emissionen, die als THG *berichtet* werden, wohingegen die folgende Spalte die gewichteten Summen der THG-Emissionen (aus CO₂, CH₄, N₂O) enthält. Siehe oben Kap. 3.2.1.

3.2.3 Stickstoffbilanz

Abbildung 13 fasst die Glieder der N-Bilanz zusammen. Neben dem mit Hilfe der Haber-Bosch-Synthese gebundenen Luftstickstoff geht eine erhebliche N-Menge aus der N-Fixierung in Sojabohnen in das System Boden/Pflanze ein. Von den eingesetzten 30,9 Mg Herde⁻¹ a⁻¹ N (N im Futter) verbleiben nur 7,6 Mg Herde⁻¹ a⁻¹ N im gewünschten Produkt „Fleisch“(24 %).

In Tierkörpern insgesamt verbleiben 31 % des im Futter eingesetzten N. Jarvis et al. (2011) kommen zu ähnlichen Ergebnissen für die typische Schweinefleischproduktion in Europa (36 %).

Die hier angegebenen Werte für Deposition sind die N-Fixierungen durch Leguminosen. Die atmosphärische Deposition von gasförmigem NH₃ und NO₂ bzw. partikelgebundenem NH₄ und NO₃ (etwa 1,8 Mg Herde⁻¹ a⁻¹) ist nicht berücksichtigt. Für die Verluste von N in Grund- und Oberflächenwässer wurden 5 % der verfügbaren N-Mengen angenommen.

In den Rechnungen ergibt sich eine nicht ausgeglichene N-Bilanz von 0,5 Mg Herde⁻¹ a⁻¹ N im Subsystem Boden/Pflanze/Stall. Angesichts der Nichtberücksichtigung der atmosphärischen Deposition, der Unsicherheiten der Emissionsfaktoren und der Austräge ins Grundwasser ist dies nicht unerwartet.

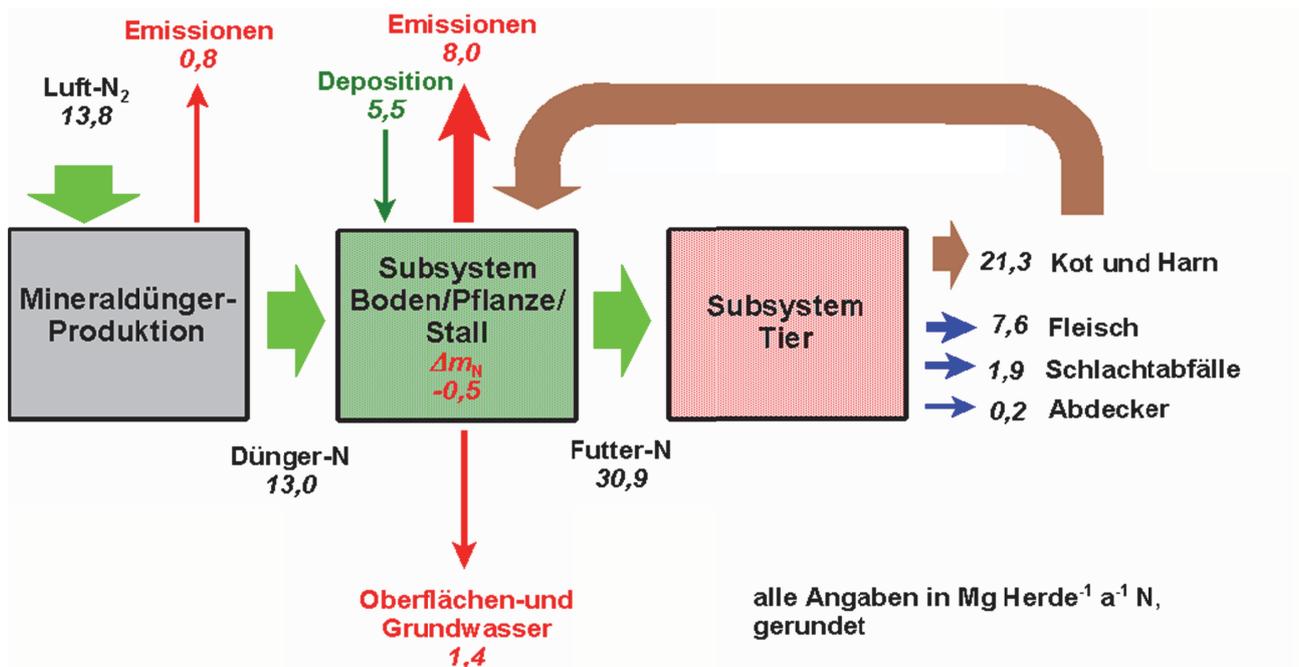


Abbildung 13: N-Bilanz der Schweinefleischproduktion im Referenzunternehmen

4 Möglichkeiten der Emissionsminderung - systematische Variationen der Eingangsgrößen, Szenarien

4.1 Ausgangsdaten für Emissionsrechnungen bei der Produktion von Mastschweinen

Die Annahmen für die Ausgangssituation spiegeln nur für die Leistung die Situation der Schweinefleischproduktion in Thüringen im Jahr 2015 wider. Sie verwenden für die anderen Eingangsgrößen Standardbedingungen (Futter, Stall) oder einfache nicht wirklichkeitsfremde Bedingungen (Lager, Ausbringung). Den Varianten sind dann jeweils die Rechnungen für die Szenarien gegenübergestellt, die der Situation in 2015 und Expertenschätzungen 2020 und 2025 für die jeweilige Variante entsprechen.

Die Untersuchungen beschränken sich auf Mastschweine als die hinsichtlich der Emissionen bedeutendste Tierkategorie.

Leistung: tägliche Zunahme 845 g Schweine⁻¹ d⁻¹, Lebendendmasse 122 kg Schwein⁻¹, Ausschachtung 79 %

Tierverluste: 4 % der aufgestellten Tiere

Futter: Standardfutter

Stall: Vollspaltenböden, keine Abluftreinigung

Lager: konventionelle Rundbehälter mit Abdeckung (Granulat), keine Vergärung in Biogasanlagen

Flüssigmistausbringung und -einarbeitung: ausschließlich Schleppllauch, 50 % auf Brache, Einarbeitung innerhalb von 4 h; 50 % in kurze Vegetation

Festmistausbringung und -einarbeitung: breitverteilt; 60 % ohne Einarbeitung, 10 % mit Einarbeitung innerhalb 4 h, Rest Einarbeitung innerhalb von 8 h

N-Verluste durch Einträge

in Oberflächen- und

Grundwässer: 5 % der jeweils verfügbaren Mengen (Emission im Vorfeld berücksichtigt)

Die Analyse variiert die Ausgangssituation für jede Einflussgröße einzeln und stellt sie den vom Expertengremium erwarteten Werten für 2020 und 2025 gegenüber.

4.2 Schätzung zukünftiger Daten - das Expertengremium

Als Eingangsdaten für das Referenzunternehmen dienen vorzugsweise Datensätze, die von folgendem thüringischen Expertengremium erarbeitet bzw. bestätigt wurden:

Dr. Thomas Bauer – TLL
 Dr. Simone Müller – TLL
 Dr. Jürgen Müller – TLL
 Dr. Michael Mußlick – Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft
 Brigitte Neues – Qnetics GmbH
 Dr. Gerd Reinhold – TLL
 Hubert Schröter – TLL
 Dr. Wilfried Zorn – TLL

4.3 Systematische Variation der Eingangsbedingungen für die Berechnung der Emissionen bei der Haltung von Mastschweinen und dem zugehörigen Wirtschaftsdüngermanagement

Berechnet werden jeweils die absoluten jährlichen NH₃- und THG-Emissionen für die Teilherde der Mastschweine sowie die auf aus den Mastschweinen herrührenden Schlachtkörpern bezogenen relativen Emissionen.

4.3.1 Veränderte Leistung

Normalerweise führt erhöhte Leistung je Tier zu erhöhten Emissionen je Herde, aber zu verringerten produktbezogenen Emissionen. Das Expertengremium sah eine nur geringe Leistungssteigerung bei den täglichen Zunahmen vor. Es gab keine Veranlassung, eine Änderung der Lebensendmasse anzunehmen.

Tabelle 31: Annahmen des Expertengremiums zur tierischen Leistung

Leistungsparameter	Einheit	Jahr		
		2015	2020	2025
tägliche Zunahme	g Schwein ⁻¹ d ⁻¹	845	845	850
Lebendendmasse	kg Schwein ⁻¹	122	122	122

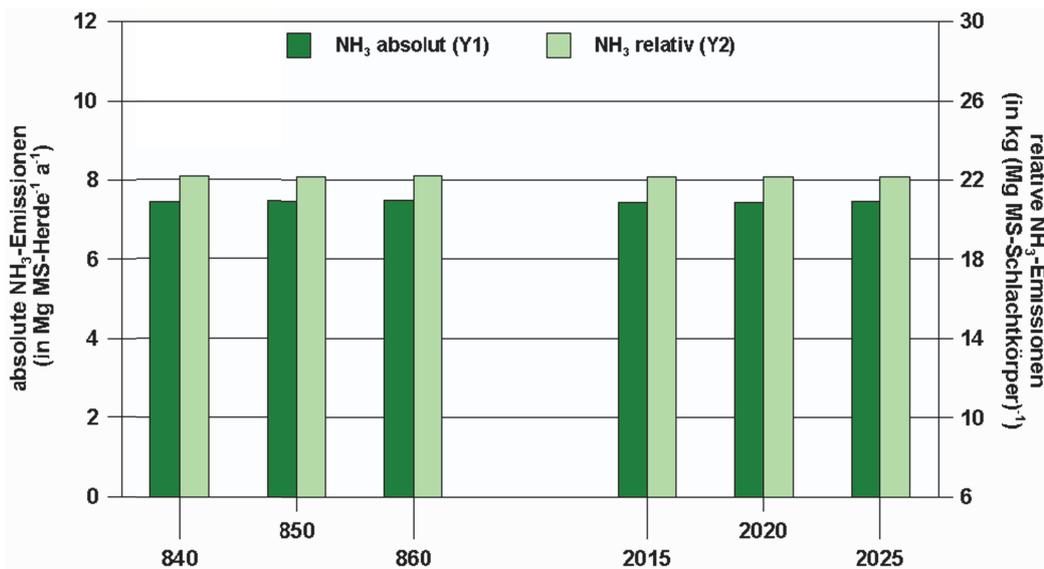


Abbildung 14: NH₃-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter täglicher Zunahmen (Linke Säulen: Zunahmen in g Schwein⁻¹ d⁻¹, rechte Säulen Annahmen für 2015, 2020 und 2025 wie in Tabelle 31. Angaben für die Teilherde der Mastschweine.)

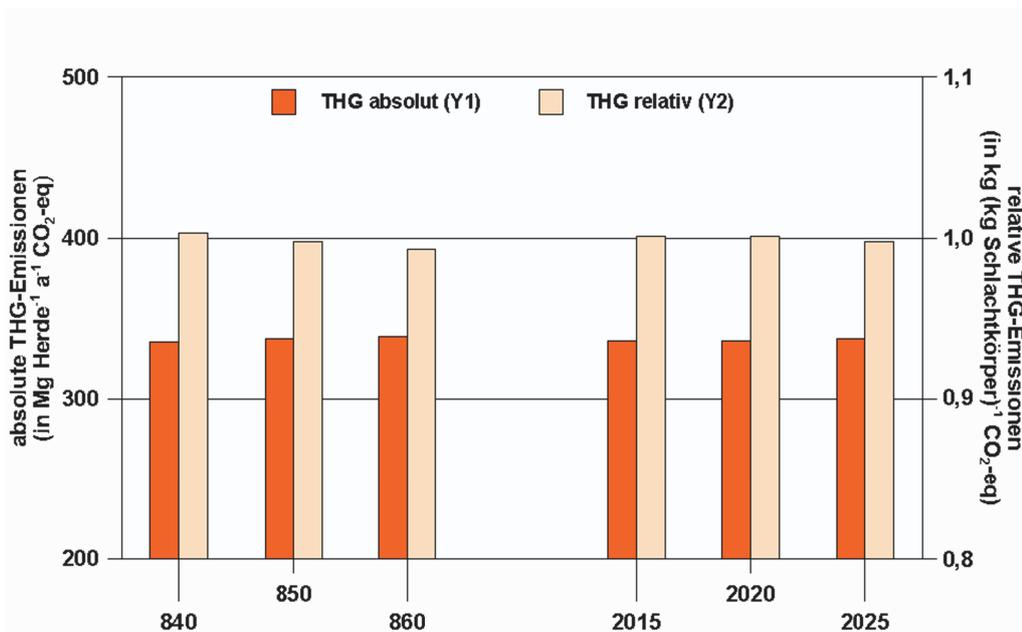


Abbildung 15: THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter täglicher Zunahmen (Linke Säulen: Zunahmen in g Schwein⁻¹ d⁻¹, rechte Säulen Annahmen für 2015, 2020 und 2025 wie in Tabelle 31. Angaben für die Teilherde der Mastschweine.)

Die geringen Änderungen der täglichen Zunahmen haben kaum einen Effekt auf die absoluten NH₃- oder THG-Emissionen. Verringerte Emissionen je Schwein durch einen verringerten ME-Bedarf für Erhaltung werden teilweise kompensiert durch die erhöhte Zahl der Durchgänge. Die relativen Emissionen nehmen dagegen geringfügig ab.

4.3.2 Veränderte Tierverluste

Verbesserte Tiergesundheit führt zu verringerten Verlusten. Dadurch steigt zwar der Energiebedarf der Herde, weil mehr Tiere länger gefüttert werden müssen. Gleichzeitig nimmt die Masse der erzeugten Schlachtkörper zu. Die Abbildung 16 und 17 veranschaulichen die geringen Effekte.

Tabelle 32: Annahmen des Expertengremiums zu Tierverlusten

Parameter	Einheit	Jahr		
		2015	2020	2025
Verluste bei Mastschweinen	% der aufgestellten Tiere	4,0	3,5	3,5

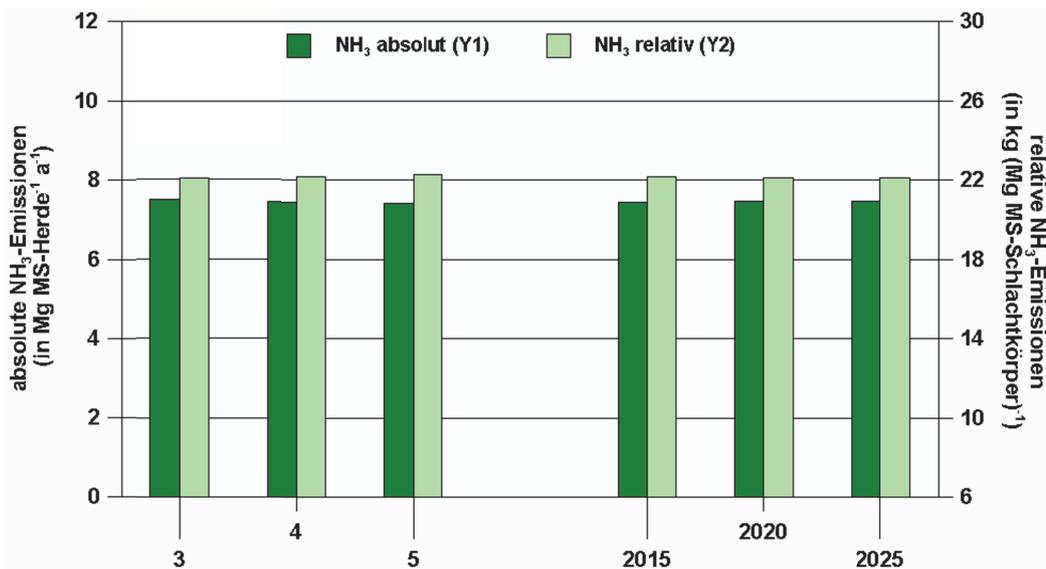


Abbildung 16: NH₃-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Tierverluste (Linke Säulen: Tierverluste%; rechte Säulen Annahmen für 2015, 2020 und 2025 wie in Tabelle 32. Angaben für die Teilherde der Mastschweine)

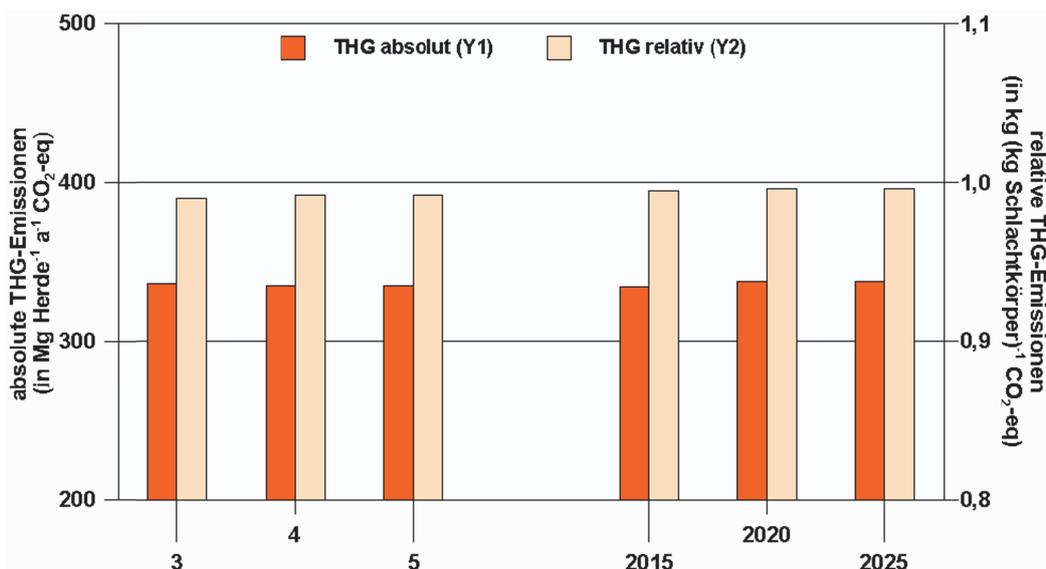


Abbildung 17: THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Tierverluste (Linke Säulen: Tierverluste %; rechte Säulen Annahmen für 2015, 2020 und 2025 wie in Tabelle 32. Angaben für die Teilherde der Mastschweine)

4.3.3 Einfluss der Futterzusammensetzung

Gegenwärtig werden Standardfutter und N-P-reduzierte Futter eingesetzt. Im Hinblick auf verbesserte Tiergesundheit wird zukünftig auch Gesundfutter eingesetzt werden. Hierfür ist eine Schätzung der Häufigkeit nicht möglich, Die Annahmen zu Häufigkeitsverteilungen gehen aus Tabelle 39 hervor. Zur Zusammensetzung der Futter siehe Tabellen 22 bis 24.

Tabelle 33: Annahmen des Expertengremiums zur Fütterung von Mastschweinen

Futter	Einheit	Jahr		
		2015	2020	2025
Standard	% der gefütterten Tiere	85	65	30
N-P-reduziert	% der gefütterten Tiere	15	35	70

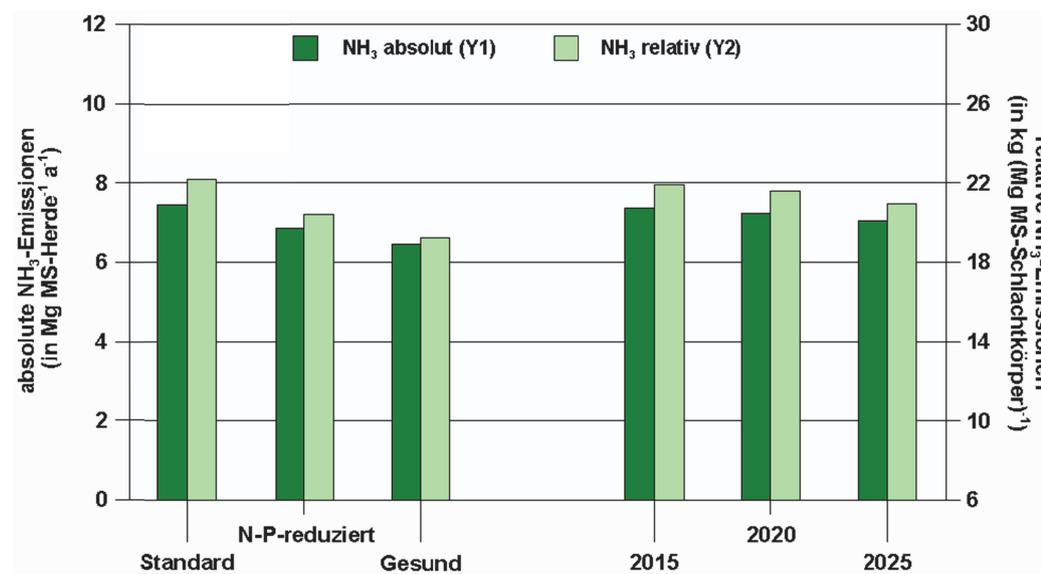


Abbildung 18: NH₃-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Futterzusammensetzung (Linke Säulen: Futter, jeweils 100 %; rechte Säulen Annahmen für 2015, 2020 und 2025 wie in Tabelle 33. Angaben für die Teilherde der Mastschweine)

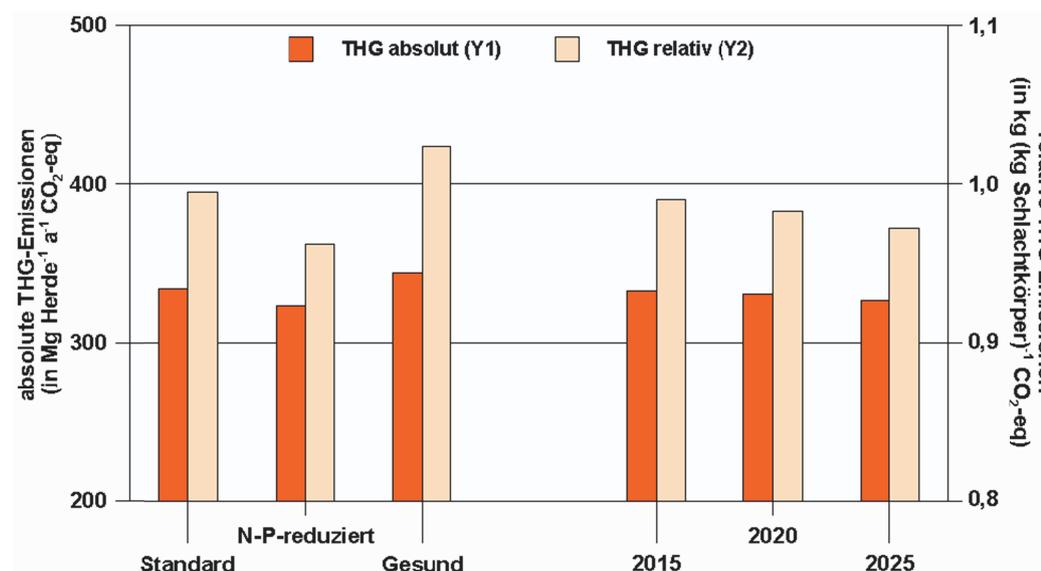


Abbildung 19: THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Futterzusammensetzung (Linke Säulen: Futter, jeweils 100 %; rechte Säulen Annahmen für 2015, 2020 und 2025 wie in Tabelle 33. Angaben für die Teilherde der Mastschweine)

Gesundfutter und vor allem N-P-reduziertes Futter enthalten weniger Rohprotein als das Standardfutter. Verringerte N-Einträge in das Verdauungssystem bei gleichbleibender Retention führen zu verringerten N- und TAN-Ausscheidungen. Sie führen aber auch zu einer Futterproduktion, die weniger N einsetzt, und damit zu verringerten Emissionen von N-Verbindungen im Futterbau und der Mineraldünger-Herstellung. Der angenommene zukünftig vermehrte Einsatz von N-P-reduziertem Futter wird (bei alleiniger Betrachtung) bei NH₃ zu merklichen, bei den THG aber zu nur geringen Emissionsminderungen führen.

4.3.4 Veränderte Emissionen aus dem Stall

Im Stall sind die emittierenden Flächen eine wichtige Einflussgröße auf NH₃-Emissionen. Es liegt daher nahe, zwischen Voll- und Teilspaltenböden zu unterscheiden. Aus dem gleichen Grund ist es auch sinnvoll, die zukünftig zu erwartenden Einflüsse vermehrter Flächen je Tier zu bedenken. Systeme mit Einstreu (hier planbefestigte Flächen) erhöhen die emittierenden Oberflächen erheblich. Auch sie müssen einbezogen werden. Schließlich ist der Einsatz von Abluftreinigungsanlagen für Schweineställe in Thüringen zu berücksichtigen.

In Anhang 5 wird die Ableitung von Emissionsfaktoren für Voll- und Teilspaltenböden sowie für Teilspalten bei vermehrtem Flächenbedarf beschrieben. Für Ställe mit Teilspaltenböden und vermehrter Fläche je Tier wird eine Steigerung der NH₃-Emissionen von 25 % angenommen. Während für Voll- und Teilspalten sowie für Haltung mit Einstreu Schätzungen der Häufigkeit gemacht wurden, unterblieben Vorhersagen für veränderte Stallflächen pro Tier.

Abluftreinigungsanlagen sind gemäß TMfUEN (2016) zu betreiben. Wir rechnen mit einem mittleren Abscheidegrad für NH₃ von 80 %.

Tabelle 34: Annahmen des Expertengremiums zur Aufstallung von Mastschweinen

Stall	Einheit	Jahr		
		2015	2020	2025
Vollspaltenböden	% der Tierplätze	65	64	63
Teilspaltenböden	% der Tierplätze	30	30	30
planbefestigte Böden mit Einstreu	% der Tierplätze	5	6	7
Abluftreinigungsanlagen	% der Tierplätze	18	30	60

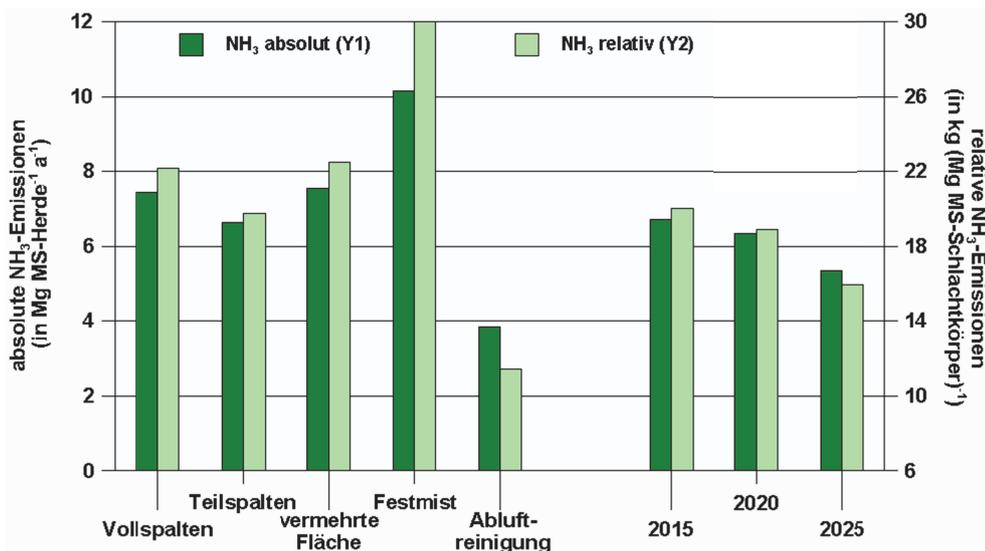


Abbildung 20: NH₃-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Stallböden bzw. Abluftreinigung (Linke Säulen: Böden und Abluftreinigung, jeweils 100 %; rechte Säulen Annahmen für 2015, 2020 und 2025 wie in Tabelle 34. Angaben für die Teilherde der Mastschweine)

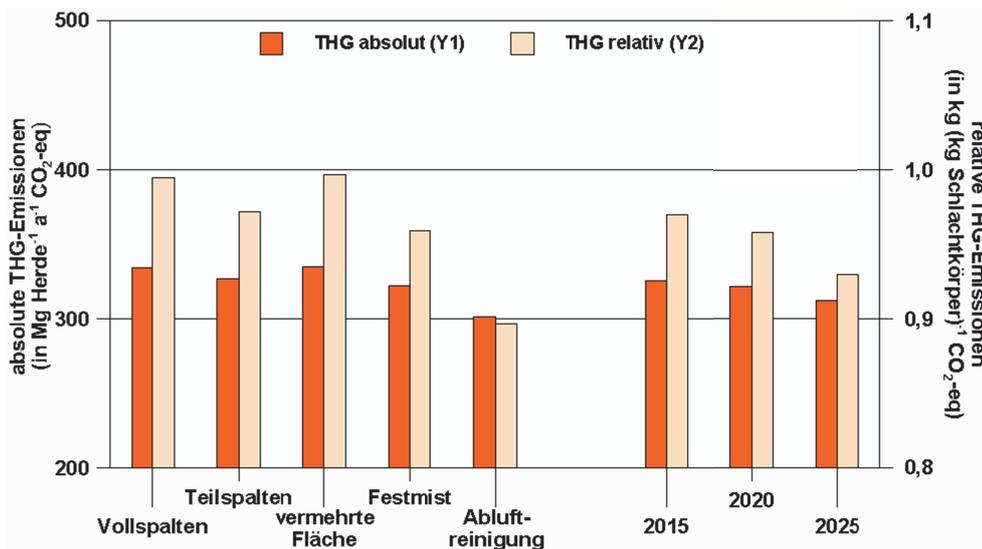


Abbildung21: THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Stallböden bzw. Abluftreinigung (Linke Säulen: Böden und Abluftreinigung, jeweils 100 %; rechte Säulen Annahmen für 2015, 2020 und 2025 wie in Tabelle 34. Angaben für die Teilherde der Mastschweine)

Sowohl bei NH_3 als bei THG lässt sich ein kleiner mindernder Einfluss auf die Emissionen feststellen. Geringere Emissionen im Stall haben aber bei sonst konstanten Bedingungen höhere Emissionen in den nachfolgenden Gliedern der Wirtschaftsdünger-Kette zur Folge.

Festmistssysteme (planbefestigt mit Einstreu) sind bei THG vorteilhaft, bei NH_3 jedoch sehr nachteilig.

Abluftreinigung entfernt NH_3 aus der Stallabluft und hat keinen Einfluss auf die Emissionen aus den TAN-Mengen im Lager. Das gebundene NH_3 wird flüssig als $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ mit den Waschlösungen unmittelbar vor dem Ausbringen dem Wirtschaftsdünger beigemischt und erhöht dessen TAN-Gehalt.

4.3.5 Veränderte Emissionen aus dem Lager

Vorherrschend sind in Thüringen Lager, deren Oberflächen mit Granulat bedeckt sind, sofern die Unternehmen keine Biogasanlagen betreiben. Auch hier ist die emittierende Oberfläche eine entscheidende Einflussgröße für die NH_3 -Emissionen. Die zweite wesentliche Einflussgröße ist der Transportwiderstand der Atmosphäre unmittelbar oberhalb der Gülleoberfläche. Verhindert man die direkte Überströmung des Lagers, so verringern sich die Emissionen. Die Abdeckung mit Plastikfolie bringt gegenüber einer Abdeckung mit Granulat weder Vor- noch Nachteile. Erhebliche Minderungen sind hier nur durch vermehrten Anteil an vergorener Gülle möglich (Abbildungen 22 und 23).

Das Expertengremium sah sich außerstande, für die absehbare Zeit Änderungen bei der Lagerung von Gülle anzunehmen (siehe Tabelle 35). Auch für die Menge der zukünftig in Biogasanlagen vergorenen Gülle wurden keine Schätzungen vorgenommen. Bei den Rechnungen wurde der Wert für 2015 beibehalten.

Festmist wird ausschließlich im Misthaufen gelagert.

Tabelle 35: Annahmen des Expertengremiums zur Lagerung von Schweinegülle

Lager	Einheit	Jahr		
		2015	2020	2025
Rundbehälter ohne Abdeckung	% des Gülle-N *	0	0	0
Rundbehälter, Abdeckung mit Granulat	% des Gülle-N *	100	100	100
Rundbehälter, Plastikfolie	% des Gülle-N *	0	0	0
Biogas-Anlage (gasdicht)	% des Gülle-N	38	keine Schätzung	

* % des nicht in die Biogasanlage gelangenden Gülle-N

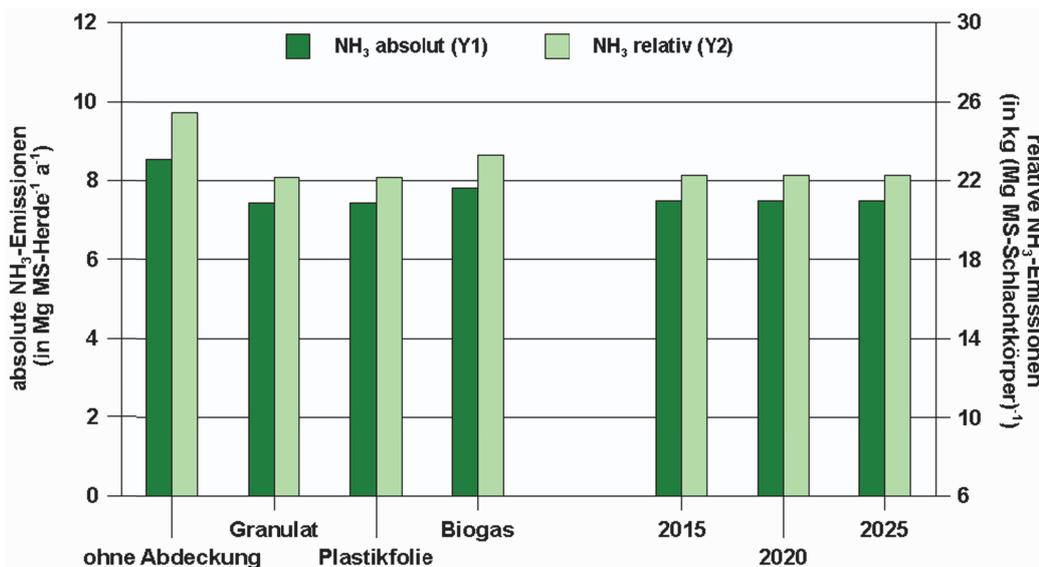


Abbildung 22: NH₃-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Lagerbedingungen (Linke Säulen: Lagertypen und Biogasanlagen, jeweils 100 %; rechte Säulen Annahmen für 2015, 2020 und 2025 wie in Tabelle 35. Angaben für die Teilherde der Mastschweine)

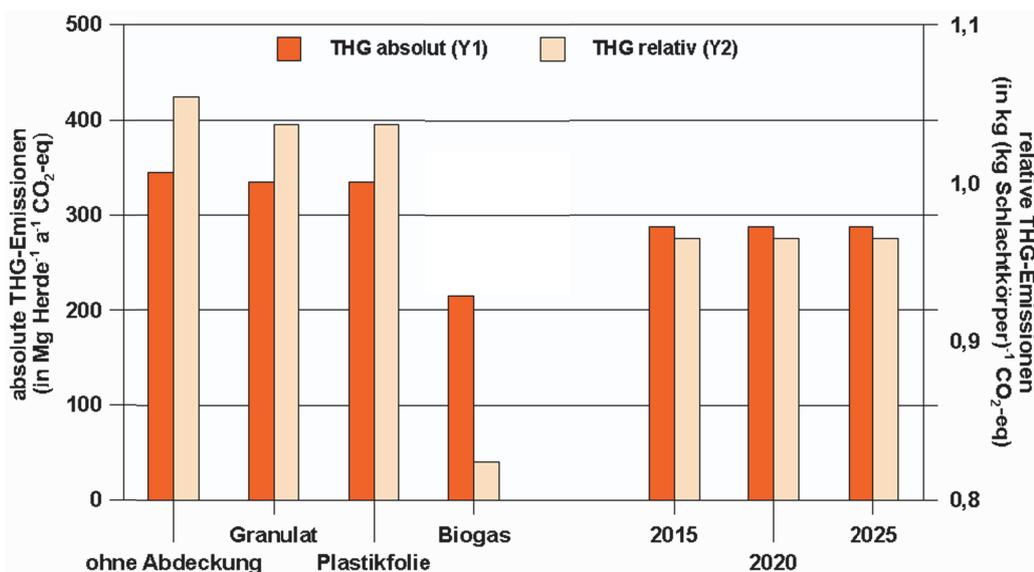


Abbildung 23: THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Lagerbedingungen (Linke Säulen: Lagertypen und Biogasanlagen, jeweils 100 %; rechte Säulen Annahmen für 2015, 2020 und 2025 wie in Tabelle 35. Angaben für die Teilherde der Mastschweine)

Offenkundig ist der Einfluss der Abdeckung auf die NH₃-Emissionen. Die Prozesse, die im Lager CH₄ bilden, sind aber praktisch unabhängig von der Oberfläche des Lagers - Schwimmdecke ausgenommen.

Die Vorteile der Biogasanlagen für die Reduktion der THG-Emissionen sind ebenfalls offenkundig. Ihr Effekt auf die NH₃-Emissionen ist gering: Da die Anlagen gasdicht sind, werden Emissionen aus dem Lager selbst vermieden. Durch die Mineralisierung bei der Vergärung wird der TAN-Anteil an den N-Verbindungen erhöht. Außerdem steigt der pH-Wert der Gärreste. Beides führt zu einem erhöhten NH₃-Dampfdruck. Dies führt zu erhöhten Emissionen bei der Ausbringung.

4.3.6 Veränderte Emissionen als Folge veränderter Ausbringung und Einarbeitung

Bei NH₃ sind auch hier die Emissionen von der Größe der emittierenden Oberfläche abhängig, darüber hinaus von der Dauer der Exposition. Ausbringungstechnik und die Zeit vor der Einarbeitung bestimmen die Möglichkeiten der Emissionsminderung.

Als einziges THG wird hier N₂O betrachtet. Je geringer die NH₃-Emissionen in Stall und Lager sind, desto größer sind die N-Mengen, deren Umsetzung mit der Freisetzung von N₂O verbunden ist. Die Art der Ausbringung und Einarbeitung hat keinen Einfluss auf die N₂O-Freisetzung.

Tabelle 36: Annahmen des Expertengremiums zur Gülleausbringung. 1. breitverteilt

Ausbringungsort und Einarbeitung	Einheit	Jahr		
		2015	2020	2025
Brache oder Stoppeln, ohne Einarbeitung	% des Gülle N	0,0	0,0	0,0
Brache oder Stoppeln, Zeit vor Einarbeitung ≤ 1 h	% des Gülle N	2,5	0,0	0,0
Brache oder Stoppeln, Zeit vor Einarbeitung ≤ 4 h	% des Gülle N	1,9	0,0	0,0
kurze Vegetation	% des Gülle N	2,6	0,0	0,0
Zwischensumme	% des Gülle N	7,0	0,0	0,0

Tabelle 37: Annahmen des Expertengremiums zur Gülleausbringung. 2. Ausbringung mit emissionsarmen Verfahren

Ausbringungstechnik und -ort, Einarbeitung	Einheit	Jahr		
		2015	2020	2025
Schleppschlauch				
Brache oder Stoppeln, ohne Einarbeitung	% des Gülle N	0	0	0
dto, Einarbeitung ≤ 1 h	% des Gülle N	9	10	10
dto, Einarbeitung ≤ 4 h	% des Gülle N	6	5	4
kurze Vegetation	% des Gülle N	24	30	30
Schleppschuh	% des Gülle N	1	2	2
Schlitz	% des Gülle N	10	10	10
Injektion	% des Gülle N	43	43	44
Zwischensumme	% des Gülle N	93	100	100

Tabelle 38: Annahmen des Expertengremiums zur Festmistausbringung

Ausbringungsort und Einarbeitung	Einheit	2015	Jahr 2020	2025
ohne Einarbeitung	% des Festmist-N	60	50	40
Brache oder Stoppeln, Einarbeitung ≤ 4 h	% des Festmist	10	10	10
Brache oder Stoppeln, Einarbeitung ≤ 8 h	% des Festmist	30	40	50

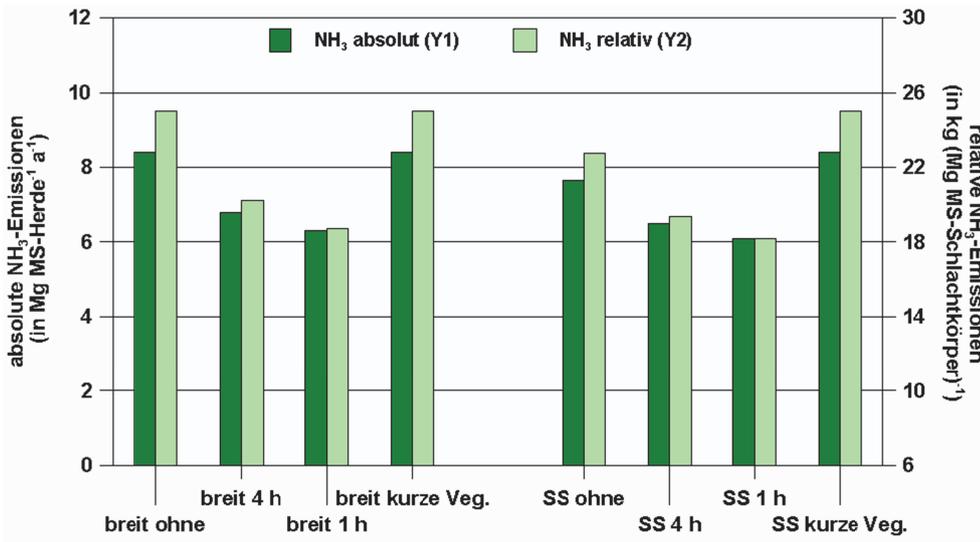


Abbildung 24: NH₃-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Ausbringungsbedingungen (Linke und rechte Säulen: Ausbringung und Einarbeitungen, jeweils 100 %. breit: breitverteilt mit Angabe der Einarbeitungszeit; SS: Schleppschlauch mit Angabe der Einarbeitungszeit. Angaben für die Teilherde der Mastschweine)

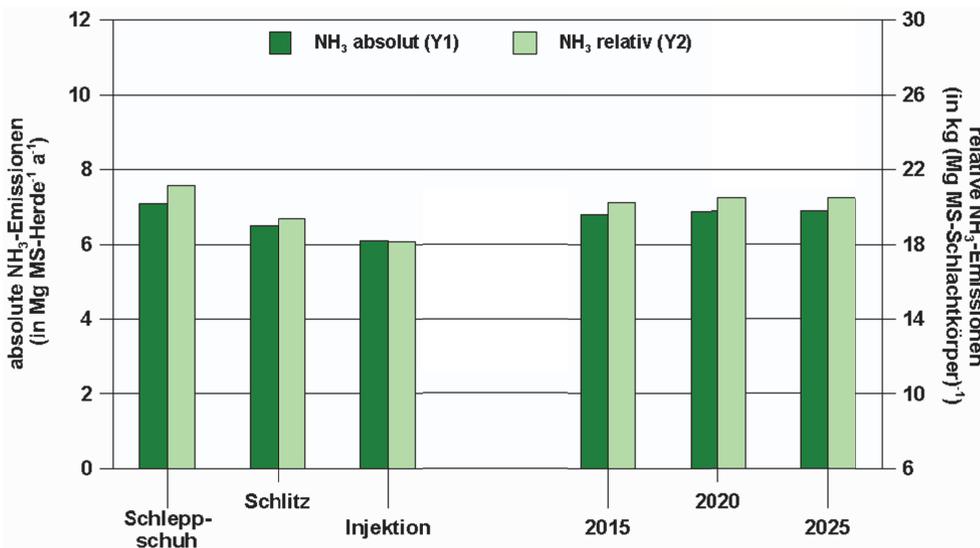


Abbildung 25: NH₃-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Ausbringungsbedingungen (Linke Säulen: Ausbringungsarten, jeweils 100 %; rechte Säulen Annahmen für 2015, 2020 und 2025 wie in Tabellen 36 bis 38. Angaben für die Teilherde der Mastschweine)

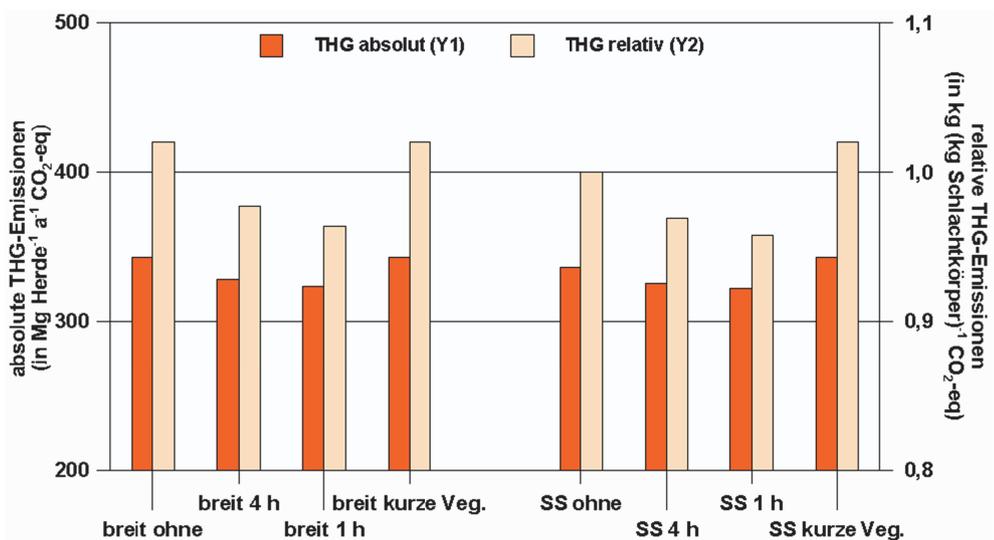


Abbildung 26: THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Ausbringungsbedingungen (Linke und rechte Säulen: Ausbringung und Einarbeitungen, jeweils 100 %. breit: breitverteilt mit Angabe der Einarbeitungszeit; SS: Schleppeislauch mit Angabe der Einarbeitungszeit. Angaben für die Teilherde der Mastschweine)

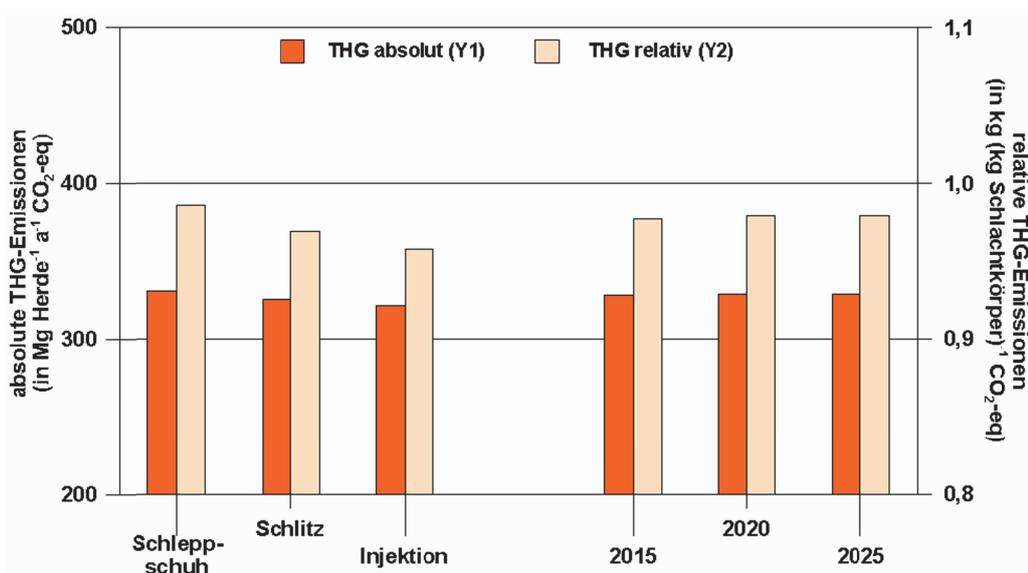


Abbildung 27: THG-Emissionen bei der Schweinemast als Funktion veränderter Ausbringungsbedingungen (Linke Säulen: Ausbringungsarten, jeweils 100 %; rechte Säulen Annahmen für 2015, 2020 und 2025 wie in Tabellen 36 bis 38. Angaben für die Teilherde der Mastschweine)

Die bei der Ausbringung zu erzielenden Emissionsminderungen (vgl. Tabelle 10) sind erheblich. Aus den Abbildungen 24 und 26 geht die Bedeutung einer raschen Einarbeitung hervor. Der Vorteil der Anwendung von Schleppeisläuchen ist eher gering.

4.3.7 Kombination der Minderungsmaßnahmen am Beispiel der Schweinemast

Kombiniert man die bisher beschriebenen einzelnen Möglichkeiten zur Emissionsminderung, so ergeben sich aus den zahlreichen kleinen Beiträgen für NH₃ und THG ansehnliche Gesamt-minderungen von etwa 26 % (relativ). Verminderter Protein-Einsatz im Futter und zunehmende Abluftreinigung sind die wesentlichen Faktoren. Die entsprechenden Minderungen bei THG betragen etwa 6 %. Die Ergebnisse sind in Abbildung 28 zusammengefasst.

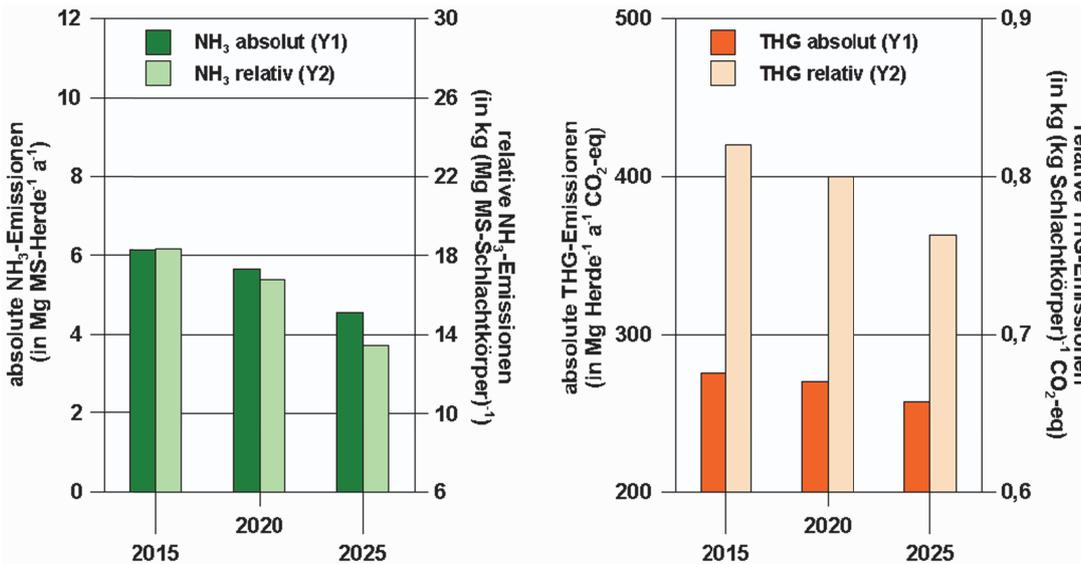


Abbildung 28: NH₃- und THG-Emissionen bei der Schweinemast bei Kombination aller zuvor genannten Maßnahmen

4.4 Szenarienrechnungen für die gesamte Prozesskette im Referenzunternehmen

Die folgenden Betrachtungen quantifizieren die Emissionen unter gleichzeitiger Berücksichtigung aller vom Expertengremium vorgeschlagenen Daten.

4.4.1 Futtereigenschaften

Dämmgen et al. (2011b) zeigten, in welchem Umfang die Zusammensetzung von Schweinefutter variieren kann. Die Anteile von Standard- und N-P-reduiziertem Futter werden nur für Mastschweine im Mastbetrieb verändert (siehe Kapitel 4.3.3). Masttiere in der Ferkelproduktion, der Basis- und der Reinzucht erhalten ausschließlich Standardfutter.

4.4.2 Haltung, Fütterung und Leistung von Mastschweinen

Über die Einzelheiten bei der Haltung von Mastschweinen wurde in den Kapiteln 4.1 und 4.3 berichtet.

4.4.3 Haltung, Fütterung und Leistung von Aufzuchtferkeln

Haltung von Aufzuchtferkeln für die Mast: Aufzuchtferkel (AFerkel) werden nach dem Absetzen mit 8 kg AFerkel⁻¹ bis zu einer Masse von 30 kg AFerkel⁻¹ in Gruppen auf Flatdecks gehalten.

Haltung von Aufzuchtferkeln im Bereich der Zucht (Ferkelproduktion, Basiszucht, Reinzucht): Aufzuchtferkel (AFerkel) werden nach dem Absetzen mit 8 kg AFerkel⁻¹ bis zu einer Masse von 30 kg AFerkel⁻¹ in Gruppen auf planbefestigten Böden mit Einstreu gehalten..

Fütterung: 3-phasig mit Wechsel bei 12 bzw. 20 kg AFerkel⁻¹; eingesetzt werden industriefutterähnliche Mischungen, die mit vergleichsweise wenigen Bestandteilen auskommen (Expertenurteil Heinrich Kleine Klausing (HKK)) (Tabelle 21). Es wird ausschließlich Standardfutter gegeben. Die Zusammensetzung ist im Anhang 6.1. aufgeführt.

Leistung: Ausgehend vom derzeitigen Stand werden die in Tabelle 39 aufgeführten zukünftigen Leistungssteigerungen angenommen:

Tabelle 39: Angenommene Lebendmassezunahmen und Verluste bei Aufzuchtferkeln

Größe	Einheit	Jahr		
		2015	2020	2025
tägliche Zunahme	g AFerkel ⁻¹ d ⁻¹	428	440	455
Verluste	% der AFerkel	2	2	2

Tabelle 40: Annahmen zur Fütterung von Aufzuchtferkeln

Größe	Einheit	Jahr		
		2015	2020	2025
Standardfutter	% der gefütterten Tiere	100	100	100

4.4.4 Haltung, Fütterung und Leistung von Zuchtsauen F1

Haltung: Zuchtsauen werden innerhalb einer Zwischenwurfzeit in unterschiedlichen Stallbereichen gehalten; die Verfahren variieren derart, dass eine Festlegung für einzelne Verfahren nicht sinnvoll erscheint. Das Emissionsinventar kennt nur jeweils einen Wert für die Emissionen aus dem Stall. Die Häufigkeit der Abluftreinigungsanlagen entspricht der der Mast (18 % der Plätze).

Fütterung: Die übliche Fütterung von Zuchtsauen unterschied bisher nur zwischen Tragefutter und Säugefutter. In jüngerer Zeit wird um den Geburtstermin außerdem ein Geburtsfutter gegeben. Zusätzlich zu diesem Satz von Standardfuttern (Tabelle 27) wird mit einer Zunahme von Gesundheitsfuttermischungen (Tabelle 28) auszugehen sein. Das Expertengremium sah sich außerstande, Häufigkeiten für die einzelnen Fütterungen zu schätzen. Gerechnet wurde daher mit Standardfutter und 2 Phasen.

Leistung: Es wird davon ausgegangen, dass sich die aus experimentell ermittelten Werten erhaltenen Lebendmassen der Zuchtsauen nicht wesentlich ändern (Tabelle 41, zu Einzelheiten siehe Dämmgen et al., 2018). Dagegen wird bei der Zahl der jährlich abgesetzten Ferkel eine geringfügige Steigerung erwartet (Tabelle 42). Gleichzeitig werden sich die Ferkelverluste verringern (Tabelle 49).

Tabelle 41: Annahmen zur Leistung von Zuchtsauen - Lebendmassen zu Beginn und am Ende eines Reproduktionszyklus

Größe	Einheit	Wurfnummer							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Masse zu Beginn des Zyklus	kg ZSau ⁻¹	158	189	215	238	254	266	274	277
Masse am Ende des Zyklus	kg ZSau ⁻¹	189	215	238	254	266	274	277	277

Tabelle 42: Annahmen zur Leistung von Zuchtsauen - Zahlen der abgesetzten Ferkel pro Sau und Jahr

Größe	Einheit	Jahr		
		2015	2020	2025
abgesetzte Ferkel (Mittel)	AFerkel ZSau ⁻¹ a ⁻¹	28,1	29,9	29,9

Tabelle 43: Annahmen zu Ferkelverlusten als Funktion der Wurfnummer

Jahr	Einheit	Wurfnummer							
		1	2	3	4	5	6	7	8
2015	% der lebend geborenen Ferkel	16	13	12	12	13	14	15	15
2020	% der lebend geborenen Ferkel	16	13	12	12	13	14	15	15
2025	% der lebend geborenen Ferkel	15	12	11	11	12	13	14	14

4.4.5 Haltung, Fütterung und Leistung von Jungebern, KB- und Suchebern

Haltung: Jungeber, KB- und Sucheber werden auf planbefestigten Böden mit Einstreu gehalten.

Fütterung: Es sind eigene Futtermischungen vorgesehen. Jungeber werden in drei Phasen gefüttert, KB- und Sucheber erhalten durchgängig eine Futtermischung (Tabelle 27).

Leistung: Bei Jungebern wird eine tägliche Zunahme von 700 g JEber⁻¹ d⁻¹ angesetzt. Bei KB- und Suchebern werden Nutzungsdauern von 16 Monaten bzw. 12 Monaten angenommen. In dieser Zeit haben sie einen nichtlinearen Zuwachs. Zu Einzelheiten siehe Dämmgen et al., (2017).

4.4.6 Haltung, Fütterung und Leistung von Jungsauen zur Zucht (F1)

Haltung: Jungsauen zur Zucht werden auf planbefestigten Böden mit Einstreu gehalten.

Fütterung: Für Jungsauen zur Zucht sind eigene Futtermischungen als Standardfutter (3 Phasen, Tabelle 28).

Leistung: Bei Jungsauen wird eine tägliche Zunahme von 700 g JSau⁻¹ d⁻¹ angesetzt. Sie ändert sich nicht mit der Zeit.

Verluste: Zeitunabhängig werden bei den Aufzuchtferkeln in der Jungsauenproduktion Verluste von 1 %, bei den Jungsauen von 2 % angenommen.

Merzung: Bei der Eigenleistungsprüfung bei einer Lebendmasse von 110 kg JSau⁻¹(Lfl, 2006) werden 25 % der Tiere nicht für die Zucht übernommen und geschlachtet.

4.4.7 Haltung, Fütterung und Leistung von Börgen (F1)

Haltung und Fütterung: Die Börge werden wie Mastschweine gehalten und gefüttert (siehe Kapitel 4.4.2).

Leistung: Wie bei Mastschweinen wird eine tägliche Zunahme von 845 g Borg⁻¹ d⁻¹ angesetzt (vgl. Brandt et al., 2010). Sie ändert sich nicht mit der Zeit.

Verluste: Zeitunabhängig werden bei den Börgen Verluste von 4 % angenommen.

4.4.8 Wirtschaftsdüngermanagement

4.4.8.1 Berücksichtigung von erhöhtem Platzbedarf im Stall

Sowohl das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft als auch Tierschutzorganisationen fordern mehr Platz pro Tier in der Schweinehaltung (BMEL, 2017b; Deutscher Tierschutzbund,

2017). In Thüringen werden Fördermittel nur noch bereitgestellt, wenn Mindestanforderungen beim Platzbedarf in der Schweinehaltung eingehalten werden (Thüringer Aufbaubank, o.J.).

Größere Flächen sind sicher mit erhöhten NH₃-Emissionen verbunden. Die in Anhang 5.2 vorgenommene Literaturdurchsicht erlaubt hierzu keine quantitativen Aussagen. In einem Szenario für 2015 sollen die NH₃-Emissionen aus dem Stall deshalb zusätzlich mit um 25 % erhöhten Emissionsfaktoren berechnet werden.

4.4.8.2 Emissionen aus dem Lager

Anteil der Güllemengen, der in Biogasanlagen vergoren wird

Der Anteil der (flüssigen) Wirtschaftsdünger, die in Biogasanlagen vergoren werden, wird anhand der Ausscheidungen aus den Angaben in Tabelle 44 wie folgt bestimmt:

Tabelle 44: N-Ausscheidungen von thüringischen Aufzuchtferkeln, Mastschweinen und Zuchtsauen bei der Berechnung der in Biogasanlagen vergorenen Mengen (Angaben des landwirtschaftlichen Emissionsinventars, Rösemann et al., 2017)

Tierkategorie	Anzahl Plätze in 1000	N-Ausscheidungen in kg Platz ⁻¹ a ⁻¹
Aufzuchtferkel	204	3,7
Mastschweine	287	14,5
Sauen	93,2	28,5

Die Summe der N-Ausscheidungen beläuft sich auf 11.582 Mg a⁻¹ N. Angerechnet werden NH₃-Emissionen aus dem Stall in Höhe von 0,3 kg kg⁻¹. Eine Menge von 8.038 Mg a⁻¹ N gelangt ins Lager.

Im Jahre 2016 gelangten 1937 m³ d⁻¹ Schweinegülle in Biogasanlagen. Der N-Gehalt betrug 0,0043 kg kg⁻¹. Damit gelangten 3.040 Mg a⁻¹ N ins Lager.

38 % der Gülle gelangen zurzeit in Biogasanlagen. In Tabelle 35 sind keine Annahmen für die zukünftigen Anteile aufgeführt.

Güllelager

Eine die Wirklichkeit der Güllelagerung in Thüringen beschreibende Zusammenfassung existiert nicht. Tabelle 35 stellt die Annahmen zusammen:

Ausbringung und Einarbeitung von Schweinegülle und -festmist

Die Angaben der Landwirtschaftszählung von 2010 (TLS, 2011) werden (gerundet) für 2015 zugrunde gelegt. Breitverteilte Ausbringung von Gülle ist inzwischen verboten.

Gärreste werden wie Flüssigmist ausgebracht.

Für die Häufigkeiten der einzelnen Verfahren wird auf die Tabellen 36 bis 38 verwiesen.

4.5 Ergebnisse der Berechnungen für 2015, 2020 und 2025

4.5.1 Tierzahlen

Die Tierzahlen in der Herde leiten sich von der Zahl der bereitgestellten Mastplätze ab: Jeweils 1000 Mastplätze werden im Rein-Raus-Verfahren genutzt. Die Zahl der aufgestellten Tiere je Jahr ergibt sich aus den Zahlen der Mastplätze und der Mastdurchgänge (Gleichung (1)). Unterschieden werden die mit Standardfutter und N-P-reduziertem Futter gefütterten Tiere. Die Zahl der verwerteten Mastschweine ist von der Höhe der Verluste und der täglichen Zunahme abhängig (mehr Mastdurchgänge).

Die Schlachtkörpermassen ergeben sich aus der Zahl der verwerteten Tiere und ihren Lebendendmassen.

Die Zahl der Aufzuchtferkel ergibt sich aus der Zahl der Mastplätze und der Zahl der Durchgänge im Mastbetrieb. Die Zahl der aufzustallenden Aufzuchtferkel hängt von den Tierverlusten während dieser Lebensphase ab.

Die Zahl der Sauen errechnet sich aus der Zahl der Ferkel je Sau und Jahr und den bei gegebenen Verlusten der Aufzuchtferkel bereitzustellenden abgesetzten Ferkel. Berücksichtigt werden die Leistungssteigerung der Sauen und die veränderten Verluste bei den Saugferkeln.

Im Fließgleichgewicht müssen die ausgesonderten Sauen ersetzt werden. Hieraus ergibt sich die Zahl der pro Jahr bereitzustellenden Jungsau (als Funktion der Zahl der lebenden Zuchtsauen).

4.5.2 Emissionen

In den Tabellen 46 bis 48 sind die für die Jahre 2015, 2020 und 2025 errechneten Emissionen aufgeführt. Tabelle 49 fasst die Ergebnisse in einer Übersicht zusammen, Tabelle 50 gibt die für Vergleiche wichtigen produktbezogenen Emissionen wieder. Als Produkt wird hier die Summe der Schlachtkörpermassen (Produkt aus Summe der Lebendendmassen und der Ausschachtung von $0,79 \text{ kg kg}^{-1}$) angesehen.

Tabelle 45: Anzahlen der gefütterten Tiere und Massen der jeweiligen Lebendendmassen
(gerundete Werte)

Tierkategorie	Zahl der gefütterten Tiere in Tier Herde ⁻¹ a ⁻¹			Lebendendmassen in Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹		
	2015	2020	2025	2015	2020	2025
Mast						
Mastschweine						
Standard, geschlachtet	2340,9	1799,5	834,9	286	220	102
Standard, abgängig	97,5	65,3	30,3			
N-P-reduziert, geschlachtet	413,1	968,4	1948,1	50	118	238
N-P-reduziert, abgängig	17,2	35,1	70,7			
<i>Zwischensumme</i>	2868,8	2868,8	2883,9	336	338	340
Aufzuchtferkel						
genutzt	2868,8	2868,8	2883,9			
abgängig	57,4	57,4	57,7			
<i>Zwischensumme</i>	2926,2	2926,2	2941,6			
Ferkelproduktion						
Zuchtsauen	104,1	97,9	98,4	10,7	10,1	10,1
Jungsaunen zur Mast	68,7	64,5	64,9	1,2	1,1	1,1
Börge zur Mast	68,8	65,0	65,0	6,5	6,1	6,1
Aufzuchtferkel	139,7	131,2	131,9			
<i>Zwischensumme</i>				18,4	17,3	17,3
Bereitstellung von KB-Ebern						
KB-Eber	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
Sucheber	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0
Jungeber	1,8	1,6	1,7	0,1	0,1	0,1
Sauen zur Mast	1,8	1,6	1,7	0,2	0,2	0,2
Aufzuchtferkel	3,5	3,3	3,3			
<i>Zwischensumme</i>				0,4	0,4	0,4
Reinzucht						
Zuchtsauen	14,5	13,6	13,7	1,2	1,2	1,2
Jungsaunen	44,3	41,6	41,8			
Sauen zur Mast	4,4	4,2	4,2	0,4	0,4	0,4
Zuchteber	1,4	1,4	1,4	0,4	0,3	0,3
Jungeber	4,4	4,2	4,2			
Börge zur Mast	44,3	41,6	41,8	4,2	3,9	4,0
Aufzuchtferkel	97,4	91,6	92,1			
<i>Zwischensumme</i>				6,2	5,9	6,0
Summe				361	362	364

Tabelle 46: Zusammenstellung der Emissionen 2015 (gerundete Werte)

Emissionen von	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	THG *	Summe THG
Einheit	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq			
Mast						
Mastschweine	6157	338	3813	34317	45,5	275,4
Aufzuchtferkel	656	52	794	5930	17,9	59,1
<i>Zwischensumme</i>	<i>6812</i>	<i>390</i>	<i>4608</i>	<i>40247</i>	<i>63,4</i>	<i>334,4</i>
Ferkelproduktion						
Zuchtsauen	977	141	680	3668	32,9	95,6
Jungsauen zur Zucht	141	12	33	930	3,1	8,6
Jungsauen zur Mast	31	2	4	126	0,7	1,6
Börge zur Mast	131	6	77	681	3,3	7,6
Aufzuchtferkel	32	4	8	212	6,0	7,6
<i>Zwischensumme</i>	<i>1312</i>	<i>166</i>	<i>802</i>	<i>5618</i>	<i>45,9</i>	<i>120,9</i>
Bereitstellung von KB-Ebern						
KB-Eber	3	0	0	16	0,0	0,1
Sucheber	5	0	1	26	0,0	0,2
Jungeber	6	1	1	48	0,1	0,3
Sauen zur Mast	5	0	2	27	0,1	0,2
Aufzuchtferkel	1	0	0	5	0,0	0,1
<i>Zwischensumme</i>	<i>19</i>	<i>1</i>	<i>4</i>	<i>121</i>	<i>0,2</i>	<i>0,9</i>
Reinzucht						
Aufzuchtferkel	42	10	7	179	4,2	7,5
Jungeber	14	2	2	129	0,1	0,7
Zuchteber	20	1	2	92	0,1	0,7
Börge zur Mast	84	4	58	516	0,3	3,4
Jungsauen	187	16	26	818	2,4	8,6
Zuchtsauen	64	10	148	816	5,8	13,2
Sauen zur Mast	24	1	6	53	0,0	0,6
<i>Zwischensumme</i>	<i>434</i>	<i>43</i>	<i>250</i>	<i>2603</i>	<i>12,9</i>	<i>34,7</i>

* Diese Spalte enthält diejenigen Emissionen, die als THG *berichtet* werden, wohingegen die folgende Spalte die gewichteten Summen der THG-Emissionen (aus CO₂, CH₄, N₂O) enthält. Verwendet wurden die Wichtungsfaktoren (Global warming potentials, GWP) für CO₂: GWP 1 kg kg⁻¹), CH₄: 25 kg kg⁻¹), N₂O: 298 kg kg⁻¹) and THG: 1 kg kg⁻¹)

Tabelle 47: Zusammenstellung der für 2020 geschätzten Emissionen (gerundete Werte)

Emissionen von	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	THG	Summe THG
Einheit	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq			
Mast						
Mastschweine	5673	333	3797	31205	45,3	270,3
Aufzuchtferkel	640	51	786	5865	17,6	58,3
<i>Zwischensumme</i>	6313	385	4583	37070	62,9	328,6
Ferkelproduktion						
Zuchtsauen	934	140	639	3668	31,2	92,7
Jungsauen zur Zucht	140	12	33	875	3,1	8,4
Jungsauen zur Mast	31	2	4	118	0,6	1,5
Börge zur Mast	120	5	76	639	3,3	7,4
Aufzuchtferkel	32	4	8	200	6,0	7,6
<i>Zwischensumme</i>	1258	164	761	5500	44,1	117,5
Bereitstellung von KB-Ebern						
KB-Eber	3	0	0	16	0,0	0,1
Sucheber	5	0	1	26	0,0	0,2
Jungeber	6	1	1	48	0,1	0,4
Sauen zur Mast	4	0	2	25	0,1	0,2
Aufzuchtferkel	1	0	0	5	0,0	0,1
<i>Zwischensumme</i>	18	2	4	119	0,2	1,0
Reinzucht						
Aufzuchtferkel	34	3	6	167	3,9	5,2
Jungeber	13	1	2	121	0,1	0,7
Zuchteber	20	1	2	87	0,1	0,7
Börge zur Mast	86	4	57	485	0,3	3,3
Jungsauen	177	15	25	769	2,3	8,1
Zuchtsauen	63	9	144	801	5,7	12,9
Sauen zur Mast	24	1	6	50	0,0	0,6
<i>Zwischensumme</i>	417	35	242	248	12,4	31,4

Tabelle 48: Zusammenstellung der für 2025 geschätzten Emissionen (gerundete Werte)

Emissionen von	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	THG	Summe THG
Einheit	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq			
Mast						
Mastschweine	4559	317	3783	25719	44,3	258,5
Aufzuchtferkel	629	50	780	5811	17,2	57,4
<i>Zwischensumme</i>	<i>5188</i>	<i>367</i>	<i>4564</i>	<i>31530</i>	<i>61,5</i>	<i>315,9</i>
Ferkelproduktion						
Zuchtsauen	917	140	643	3643	31,3	92,8
Jungsauen zur Zucht	140	12	33	879	3,1	8,4
Jungsauen zur Mast	32	2	4	119	0,6	1,6
Börge zur Mast	95	5	76	638	3,2	7,2
Aufzuchtferkel	33	4	8	201	6,0	7,6
<i>Zwischensumme</i>	<i>1216</i>	<i>164</i>	<i>764</i>	<i>5480</i>	<i>44,2</i>	<i>117,5</i>
Bereitstellung von KB-Ebern						
KB-Eber	3	0	0	16	0,0	0,1
Sucheber	5	0	1	26	0,0	0,2
Jungeber	6	1	1	48	0,1	0,4
Sauen zur Mast	3	0	2	25	0,1	0,2
Aufzuchtferkel	1	0	0	5	0,0	0,1
<i>Zwischensumme</i>	<i>18</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>120</i>	<i>0,2</i>	<i>1,0</i>
Reinzucht						
Aufzuchtferkel	34	3	6	168	3,9	5,2
Jungeber	14	1	2	121	0,1	0,7
Zuchteber	20	1	2	87	0,1	0,7
Börge zur Mast	72	3	56	485	0,3	3,2
Jungsauen	179	15	25	773	2,3	8,1
Zuchtsauen	56	9	145	804	5,7	12,9
Sauen zur Mast	23	1	6	50	0,0	0,5
<i>Zwischensumme</i>	<i>397</i>	<i>35</i>	<i>242</i>	<i>2489</i>	<i>12,4</i>	<i>31,3</i>

Tabelle 49: Zusammenstellung der Zwischensummen und Summen der Emissionen für 2015, 2020 und 2025

Emissionen von Einheit	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	THG	SummeTHG
	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq			
2015						
Mast	6812	390	4608	40247	63	334
Ferkelproduktion	1312	166	802	5618	46	121
Bereitstellung KB-Eber	19	1	4	121	0	1
Reinzucht	434	43	250	2603	13	35
Summe	8577	600	5664	48588	122	491
2020						
Mast	6313	385	4583	37070	63	329
Ferkelproduktion	1258	164	761	5500	44	118
Bereitstellung KB-Eber	18	2	4	119	0	1
Reinzucht	417	35	242	2479	12	31
Summe	8006	586	5590	45168	120	478
% of 2015	93	98	99	93	98	97
2025						
Mast	5188	367	4564	31530	62	316
Ferkelproduktion	1216	164	764	5480	44	118
Bereitstellung KB-Eber	18	2	4	120	0	1
Reinzucht	397	35	242	2489	12	31
Summe	6819	567	5574	39619	118	466
% of 2015	80	94	98	82	97	95

Tabelle 50: Produktbezogene NH₃- und THG-Emissionen

Gas	Einheit	Jahr		
		2015	2020	2025
NH ₃	kg (Mg Schlachtkörper) ⁻¹ NH ₃	30,1	28,0	23,7
THG	kg (kg Schlachtkörper) ⁻¹ CO ₂ -eq	1,72	1,67	1,62

Die Tabellen 49 und 50 zeigen, dass unter den gegebenen Annahmen für NH₃ erhebliche Emissionsminderungen erwartet werden können – etwa 20 % –, also etwa bereits zwei Drittel des für 2030 angestrebten Wertes von 29 % (EU, 2016). Die Maßnahmen zielten auf Verbesserungen bei NH₃. Die – wenn auch geringen – Minderungen bei den Treibhausgasen sind ein willkommenes „Nebenprodukt“.

5 Diskussion

5.1 Unsicherheiten

Unsicherheiten umfassen die Rechenverfahren, die betrieblichen Eingangsdaten (sog. Aktivitätsdaten: Tierzahlen, Häufigkeitsverteilung Haltungsformen, etc.) und die in den Rechnungen verwendeten Konstanten (z.B. Emissionsfaktoren).

Die hier eingesetzten Rechenverfahren sind im Prinzip die der nationalen landwirtschaftlichen und industriellen Emissionsberichterstattung. Soweit diese nationalen Besonderheiten widerspiegeln oder prinzipiell abweichen (z.B. CH₄ aus der Verdauung), sind sie von den internationalen Gremien anerkannt. Ähnliches gilt auch für die nationalen Emissionsfaktoren.

Für die Kombination von Rechenverfahren und Emissionsfaktoren werden im nationalen landwirtschaftlichen Emissionsverfahren die Unsicherheiten nach Vorgaben der internationalen Regelwerke geschätzt. Sie belaufen sich auf 38 % für THG und 19 % für NH₃ (Rösemann et al., 2017). Diese Unsicherheiten setzen sich aus den Unsicherheiten der Eingangsgrößen und denen der Emissionsfaktoren zusammen.

In dieser Arbeit sind die für die Schätzung zukünftiger Emissionen verwendeten Eingangsgrößen nicht mit Unsicherheiten versehen. Dies darf nicht darüber hinweg täuschen, dass sie Schätzgrößen sind, denen im Prinzip ebenfalls Unsicherheiten zuzuordnen sind.

Die in den Tabellen 46 bis 49 aus Gründen der Vergleichbarkeit angegebenen Zahlenstellen müssten eigentlich auf höchstens zwei begrenzt sein.

5.2 Vergleichbarkeit, Vergleichsdaten

5.2.1 Ammoniak

Für das thüringische Referenzunternehmen errechnete sich eine auf die Schlachtkörper bezogene Emission von 30,1 kg (Mg Schlachtkörper)⁻¹ NH₃. Unter den Produktionsbedingungen von 2025 betragen sie nur noch 23,7 kg (Mg Schlachtkörper)⁻¹ NH₃.

Vergleichsdaten finden sich bei Reckmann (2013); dort werden 20,7 kg (Mg Schlachtkörper)⁻¹ NH₃ genannt. Allerdings fehlt dort eine detaillierte Beschreibung, welche Quellen im Einzelnen berücksichtigt wurden und wie die Schlachtkörpermengen berechnet wurden.

Aus den Angaben für das Versauerungspotenzial der NH₃-Emissionen aus der Schweinehaltung lassen sich bei Dalgaard et al. (2007) 24 kg (Mg Schlachtkörper)⁻¹ NH₃ sowie bei Nyugen et al. (2011) produktbezogene Emissionen von 30 kg (Mg Schlachtkörper)⁻¹ NH₃ errechnen. (Bei Dalgaard et al. (2007) beträgt das Schlachtgewicht 105 kg Tier⁻¹; das Schlachthaus und der Schiffstransport von Dänemark nach Großbritannien sind mit einbezogen, nicht dagegen KB-Eber und Reinzucht und die Schlachtkörper von Zuchtsauen.)

Für 2008 bzw. 2012 geben britische Quellen Versauerungspotenziale an, die sich zu 76 bzw. 69 kg (Mg Schlachtkörper)⁻¹ NH₃ umrechnen lassen (BPEX, 2014).

Die umfangreiche Studie von McAuliffe et al. (2017) gibt Werte von 20 bis 26 kg (Mg Schlachtkörper)⁻¹ NH₃ an.

Mit Ausnahme der Angaben von BPEX (2014) liegen die in dieser Arbeit für Thüringen ermittelten Werte in dem Bereich, den auch die wenigen Vergleichsarbeiten beschreiben.

5.2.2 Treibhausgase

Die in dieser Arbeit ermittelten THG-Emissionen von 1,72 bis 1,62 kg (kg Schlachtkörper)⁻¹ CO₂-eq schließen die Produktionskette bis zum Hofter ein. Betrachtet man ausschließlich die Schlachtkörper der Mastschweine, so ergeben sich etwa 1,0 kg kg⁻¹.

Die Vergleichswerte der Literatur streuen erheblich. So geben Dalgaard et al. (2007) 3,6 kg (kg Schlachtkörper)⁻¹ CO₂-eq an, andere dänische Autoren 2,0 bis 2,4 kg kg⁻¹ (Nguyen et al., 2011). Eine schwedische Quelle bezieht sich auf knochenfreie Schlachtkörper (Sonesson et al., 2009). Die dort angegebenen Werte lassen sich auf 2,6 kg (Schlachtkörper)⁻¹ CO₂-eq umrechnen.

Die britische Studie gibt für 2008 eine typische Emission von 4,3 kg (kg Schlachtkörper)⁻¹ CO₂-eq, nach 4 Jahren eine solche von 3,2 kg kg⁻¹. Für das Jahr 2020 rechnet man mit 2,9 kg kg⁻¹ (BPEX, 2014).

Reckmann (2013) errechnete 3,2 kg (kg Schlachtkörper)⁻¹ CO₂-eq, einschließlich Straßentransport und Schlachthaus, wobei die letzte Position mit 0,2 kg kg⁻¹ angesetzt wird. Die Rechnungen setzen deutlich geringere tägliche Zunahmen voraus (788 g MSchwein d⁻¹).

Für die irische Schweineproduktion geben McAuliffe et al. (2017) Emissionen zwischen 2,4 und 3,5 kg (kg Schlachtkörper)⁻¹ CO₂-eq an. Dabei variieren Futterzusammensetzung, tierische Leistung, Verluste und Ausschachtung, usw. Für das Schlachthaus werden dort die Werte von Reckmann (2013) herangezogen.

Die in dieser Arbeit für Thüringen errechneten Werte liegen unter den nationalen und internationalen Vergleichswerten. Zu berücksichtigen ist der bereits hohe Anteil an Biogasanlagen. Eine weitere wichtige Einflussgröße ist die Ausschachtung. In dieser Arbeit werden 0,79 kg kg⁻¹ angenommen, andere Arbeiten verwenden 0,70 kg kg⁻¹. Auch das führt zu Unterschieden von 0,2 kg (kg Schlachtkörper)⁻¹ CO₂-eq.

Der Vergleich der in dieser Arbeit verwendeten CH₄-Emissionsfaktoren für Verdauung mit den Standard-Faktoren nach IPCC (2006) ergibt deutliche Unterschiede:

IPCC (2006)	Schweine (nicht differenziert)	1,5 kg Platz ¹ a ⁻¹ CH ₄
-------------	--------------------------------	---

Eine Überschlagsrechnung ergibt für diese Arbeit

Mastschweine	0,94 kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄	etwa 1000 Plätze
--------------	---	------------------

Aufzuchtferkel	0,31 kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄	etwa 556 Plätze
----------------	---	-----------------

Zuchtsauen	3,3 kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ CH ₄	etwa 100 Plätze
------------	--	-----------------

ein gewichtetes Mittel von 1,15 kg Platz⁻¹ a⁻¹ CH₄.

Jørgensen et al. (2011) bestätigen dieses Ergebnis; Philippe und Nicks (2014) stützen die hier verwendeten Daten.

5.2.3 Fazit

Ein erstes Ziel dieser Arbeit war die Feststellung des *status quo* der Thüringer Schweinefleischproduktion im Hinblick auf die mit ihr verbundenen Emissionen – nicht im Sinne eines Emissionsinventars, sondern im Hinblick auf die stattfindenden Prozesse. Als Methode wurde eine Stoffflussanalyse genutzt, die dem Produkt „Schlachtkörper“ die typischen Emissionen zuordnet, wie sie unter Thüringer Produktionsbedingungen entstehen.

Hiervon ausgehend wurde in einem zweiten Teil untersucht, wie sich in der Mastschweinehaltung Emissionen ändern, wenn einzelne Produktionsbedingungen verändert werden.

Es lag nahe, Szenarien zu entwickeln, die solche Maßnahmen mit dem Ziel der Emissionsminderung kombinieren (gegebenenfalls zur Feststellung des Machbaren). Es wurde angestrebt, die in der näheren Zukunft zu erwartenden Emissionen realitätsnah abzubilden. Die Experten waren dabei nicht Entscheidungsträger in Ministerien oder Behörden, sondern in erster Linie Kenner der Praxis. Sie bildeten somit nicht Wünsche ab, sondern Fakten und ihre wahrscheinliche Entwicklung angesichts der Zwänge, denen Landwirtschaft in einem dicht besiedelten Land ausgesetzt ist. Eine Randbedingung für eine zukünftige Schweinefleischproduktion ist die anerkannte Notwendigkeit der Emissionsminderung in der deutschen Landwirtschaft insgesamt, insbesondere der Ammoniak-Emissionen, um 29 % im kommenden Jahrzehnt. In Thüringen könnte dieses Ziel im Bereich der Schweineproduktion möglicherweise erreicht werden. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass der Beitrag der Thüringer Schweineproduktion (im engeren Sinne, d.h. ohne Vorkette) zur Emissionsminderung in Deutschland gesamt unter 1 % liegt (Müller, 2016).

Es bleibt aber zu bedenken, dass die mit der Milchproduktion verbundenen Emissionen ungleich größer und wahrscheinlich auch schwieriger zu mindern sind.

Anhänge

Anhang 1 Einfluss der zeitlichen Auflösung von Tierverlusten bei Mastschweinen

Für einen beispielhaften Gesamtverlust in Höhe von 3 % wurden die Verluste

- verteilt auf die Phasen Vor-, Mittel- und Endmast mit jeweils unterschiedlichen Futterzusammensetzungen und
- als Verlust über die Mastdauer

berechnet. Angenommen wurde, dass die Verluste für jede Mastphase gleich groß sind. Die Futterzusammensetzungen wurden Tabelle A6.1 (Anhang 6) entnommen.

$$n_{\text{fp, fed, A}} = n_{\text{fp, start}} \cdot \frac{1 - x_{\text{L, fp, A}}}{2} \quad (\text{A1.1})$$

$$n_{\text{fp, fed, B}} = n_{\text{fp, start}} \cdot (1 - x_{\text{L, fp, A}}) \cdot \frac{1 - x_{\text{L, fp, B}}}{2} \quad (\text{A1.2})$$

$$n_{\text{fp, fed, C}} = n_{\text{fp, start}} \cdot (1 - x_{\text{L, fp, A}}) \cdot (1 - x_{\text{L, fp, B}}) \cdot \frac{1 - x_{\text{L, fp, C}}}{2} \quad (\text{A1.4})$$

und

$$n_{\text{fp, fed}} = n_{\text{fp, start}} \cdot \frac{1 - X_{\text{L, fp}}}{2} \quad (\text{A1.5})$$

mit

$n_{\text{fp, fed, A}}$ Anzahl der zu fütternden Mastschweine in der Vormast (Phase A)
(in MSchwein Herde⁻¹)

$n_{\text{fp, start}}$ Anzahl der Mastschweine zu Mastbeginn (in MSchwein Herde⁻¹)

$x_{\text{L, fp, A}}$ Verlustrate in der Anfangsmast (Phase A) (in MSchwein MSchwein⁻¹)

$n_{\text{fp, fed, B}}$ Anzahl der zu fütternden Mastschweine in der Mittelmast (Phase B)
(in MSchwein Herde⁻¹)

etc.

$n_{\text{fp, fed}}$ Anzahl der zu fütternden Mastschweine während der Mast (in MSchwein Herde⁻¹)

$X_{\text{L, fp}}$ Verlustrate je Mast (in MSchwein MSchwein⁻¹)

Der Mehraufwand, der durch eine Berechnung der Verluste je Fütterungsphase erforderlich wird, erscheint angesichts der geringen Abweichungen als nicht angemessen.

Tabelle A1.1: Vergleich von Ergebnissen aus detaillierter und vereinfachter Berechnung von Ausscheidungen und Emissionen (Werte gerundet)

	Einheit	A	B	C	A+B+C	alle	Abweichung in %
3 % Verluste							
Tiere zu füttern	Tiere Herde ⁻¹	985	975	965		975	
CH ₄ enteric	kg Herde ⁻¹	113,4	78,1	146,0	337,5	337,8	0,11
Ausscheidungen							
N	kg Herde ⁻¹	1666	1206	2627	5498	5508	0,19
TAN	kg Herde ⁻¹	1251	948	2164	4363	4372	0,22
VS	kg Herde ⁻¹	8198	5752	10843	24793	24822	0,12
Emissionen							
NH ₃ WDM*	kg Herde ⁻¹	701	529	1202	2432	2438	0,22
THG WDM	kg Herde ⁻¹	11,1	7,7	14,5	33,4	33,4	0,11
5 % Verluste							
Tiere zu füttern	Tiere Herde ⁻¹	982	965	949		965	
CH ₄ enteric	kg Herde ⁻¹	113,1	77,3	143,5	333,8	334,4	0,18
Ausscheidungen							
N	kg Herde ⁻¹	1660	1193	2582	5435	5452	0,32
TAN	kg Herde ⁻¹	1246	938	2127	4311	4328	0,38
VS	kg Herde ⁻¹	8170	5692	10656	24518	24567	0,20
Emissionen							
NH ₃ WDM	kg Herde ⁻¹	699	524	1182	2404	2413	0,37
THG WDM	kg Herde ⁻¹	11,0	7,7	14,3	33,0	33,0	0,19

* aus dem Wirtschaftsdünger-Management

Anhang 2 Koppel- und Nebenprodukte

Bei Koppel- und Nebenprodukten werden die Emissionen anteilig (nach GE-Gehalten) auf die im Produktionsprozess zu berücksichtigenden verkäuflichen Produkte aufgeteilt (siehe Gleichung (53)). Die GE-Gehalte sind Beyer et al. (2004) entnommen.

Weizenkleie ist ein Koppelprodukt der Weizenmehlgewinnung. Für Brotmehle wird eine Ausmahlung von etwa 75 % angenommen. Der Rest ist Kleie. Das Weizenkorn besteht zu etwa 80 % aus dem Mehlkörper. In dieser Arbeit wird mit 74 % Ausmahlung gerechnet; es bleiben 0,26 kg kg⁻¹ Kleie. Für 1,0 Mg Kleie müssen also 3,85 Mg Weizen geerntet werden. Bei einem TM-Gehalt der Körner von 13 % und einem Ertragsniveau von 7,6 Mg ha⁻¹ ergibt sich eine Anbaufläche von 0,58 ha Mg⁻¹.

Bei den Emissionen werden jeweils 0,269 ha ha⁻¹ der Kleie zugeschlagen, der Rest, 0,731 ha ha⁻¹, dem Mehl.

Trockenschnitzel sind ein Nebenprodukt der Zuckerproduktion aus Zuckerrüben. Dabei fallen bei der Verarbeitung von 100 kg Rüben (FM) 4,8 kg Trockenschnitzel (TM) an (Expertenurteil Brinker). Es resultiert ein Flächenbedarf von 0,34 ha (Mg Trockenschnitzel)⁻¹.

Bei den Emissionen entfallen 0,242 ha ha⁻¹ auf die Schnitzel, der Rest auf Zucker und Melasse.

Das Toasten von **Sojabohnen** führt nicht zu einem nennenswerten Massenverlust gegenüber getrockneten Sojabohnen. Der Flächenbedarf bleibt unverändert bei 0,357 ha (Mg Sojabohnen)⁻¹.

Sojaextraktionsschrot (SES) ist ein Koppelprodukt der Sojaölherstellung. Aus 1,0 Mg Sojabohnen werden 0,78 Mg SES gewonnen (van Zeist et al., 2012). Es ergibt sich ein Flächenbedarf von 0,458 ha (Mg SES)⁻¹.

Die Allokation der Emissionen folgt BioGrace (2012): Dem Produkt SES werden 0,656 MJ MJ⁻¹ zugeschrieben.

Sojaproteinkonzentrat

Sojaproteinkonzentrat ist aus reiner Soja gewonnen. Es ist das Öl extrahiert mit Hexan und dann die Zuckerverbindungen mit Alkohol extrahiert. Dann wird das Produkt schonend thermisch behandelt, um antinutritive Faktoren wie die Enzyme Urease und andere Trypsin-Inhibitoren zu eliminieren. Eine Allokation konnte wegen fehlender Daten nicht vorgenommen werden. Verwendet wird eine Schätzung.

Sojabohnenöl gilt als Hauptprodukt der Sojabohnenverarbeitung. Aus 1,0 Mg Sojabohnen werden 0,19 Mg Öl gewonnen (van Zeist et al., 2012). Es errechnet sich ein Flächenbedarf von 1,88 ha (Mg Sojaöl)⁻¹.

Die Allokation der Emissionen folgt ebenfalls BioGrace (2012): Dem Produkt Sojaöl werden 0,344 MJ MJ⁻¹ zugeschrieben.

Sojabohnenschalen werden teilweise vor der Extraktion entfernt. Es fallen 74 kg je Mg Bohnen an (van Zeist et al., 2012). Diese Autoren geben als Allokationsfaktor (bezogen auf GE) 0,114 MJ MJ⁻¹ an.

Rapsextraktionsschrot (RES) ist ein Koppelprodukt der Rapsölgewinnung. Rapssamen enthält 40 bis 50 % Rapsöl. Gerechnet wird mit 45 %. Das Extraktionsverfahren belassen nach Toasten etwa 2,5 % Restöl im Schrot. Für 1,0 Mg Rapsextraktionsschrot müssen daher 1,74 Mg Rapssamen geerntet werden. Das entspricht einem Flächenbedarf von 0,47 ha (Mg RES)⁻¹.

BioGrace (2012) schreibt dem RES einen Anteil an den Emissionen von 0,3878 MJ MJ⁻¹ zu.

Saatgutmengen. Tausendkornmassen und Saatkichten werden aus KTBL (2014) übernommen, wobei die Rechnungen sich der Mittel der jeweils angegebenen Werte bedienen (Tabelle A2.1).

Tabelle A2.1: Saatgutmengen

Futterpflanze	Tausendkornmasse kg (1000 Körner) ⁻¹			Saatdichte Körner m ⁻²			Saatmenge Mg ha ⁻¹ a ⁻¹
	von	bis	Mittel	von	bis	Mittel	
Wintergerste	0,043	0,054	0,0485	220	350	285	0,138
Körnermais	0,200	0,450	0,3250	7	10	8,5	0,028
Winterweizen	0,040	0,055	0,0475	200	400	300	0,143

mit

$m_{\text{HNO}_3\text{-N}}$	N-Menge in der für die AN-Synthese benötigten HNO_3 (in kg Tier^{-1})
$m_{\text{AN-N}}$	Menge des zu produzierenden $\text{NH}_4\text{NO}_3\text{-N}$ (in kg Tier^{-1})
$EF_{\text{NO}_2, \text{HNO}_3}$	Emissionsfaktor für NO_2 in der HNO_3 -Produktion ($EF_{\text{NO}_2, \text{HNO}_3} = 0,010 \text{ kg kg}^{-1}$ bezogen auf HNO_3)

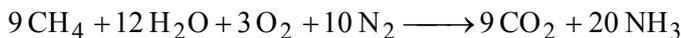
$$EF_{\text{NO}_2\text{-N}, \text{HNO}_3} = EF_{\text{NO}_2, \text{HNO}_3} \cdot \frac{\gamma_{\text{HNO}_3}}{\gamma_{\text{NO}_2}} \quad (\text{A3.7})$$

mit

$EF_{\text{NO}_2\text{-N}, \text{HNO}_3}$	Emissionsfaktor für $\text{NO}_2\text{-N}$ in der HNO_3 -Produktion (in kg kg^{-1} , bezogen auf N)
$EF_{\text{NO}_2, \text{HNO}_3}$	Emissionsfaktor für NO_2 in der HNO_3 -Produktion ($EF_{\text{NO}_2, \text{HNO}_3} = 0,010 \text{ kg kg}^{-1}$ bezogen auf HNO_3)
γ_{HNO_3}	stöchiometrischer Umrechnungsfaktor ($\gamma_{\text{HNO}_3} = 63/14 \text{ kg kg}^{-1} \text{ kmol kmol}^{-1}$)
γ_{NO_2}	stöchiometrischer Umrechnungsfaktor ($\gamma_{\text{NO}_2} = 46/14 \text{ kg kg}^{-1} \text{ kmol kmol}^{-1}$)

Anhang 3.2 Harnstoff

In Deutschland wird Harnstoff als Kombination von NH_3 -Synthese hergestellt (Synthesegas-Prozess, z.B. Kellogg-Prozess) und einer Hochdruck-Harnstoffsynthese (z.B. Stamicarbon-Prozess). Erdgas, Luft und Wasser sind die Edukte der NH_3 -Synthese:



Die anschließende Reaktion von NH_3 zu Harnstoff verbraucht mehr CO_2 , als die NH_3 -Synthese freisetzt. Die Harnstoff-Produktion ist eine Senke für CO_2 .



NH_3 -Emissionen entstehen durch die allgegenwärtige Hydrolyse von Harnstoff. Der Prozess ist energieaufwändig.

Anhang 3.3 Zusammenfassung von Emissionsfaktoren bei der Herstellung von N-Düngern

Die bei der Herstellung der gängigen N-Dünger und ihrer Edukte entstehenden Emissionen sind in Tabelle A3.2 zusammengefasst

Tabelle A3.2: Emissionsfaktoren für Spezies, die bei der Herstellung von Stickstoffdüngern freigesetzt werden (N-Spezies aus EMEP, 2013; HHG aus Brentrup und Pallière, 2008)

	NH ₃	NO ₂	NH ₄ -N in Stäuben*	NO ₃ -N in Stäuben	THG **	Bemer- kungen
Einheit	kg kg ⁻¹	kg kg ⁻¹	kg kg ⁻¹	kg kg ⁻¹	kg kg ⁻¹ CO ₂ -eq	
Ammoniak	0,00001	0,001	---	---		
Salpetersäure	---	0,010	---	---		***
Ammoniumnitrat	0,030		0,035	0,035	1,18	****
Kalkammonsalpeter	---	---	---	---	1,00	
Harnstoff	0,0025				5,15	

* berechnet aus TSP-Emissionen (total suspended particles);

** bezogen auf das Endprodukt unter Einschluss von Vorläuferprodukten.

*** NO₂-Emissionen bezogen auf produzierte HNO₃.

**** Der Emissionsfaktor für TSP beträgt 0,2 kg kg⁻¹; NH₄NO₃-TSP enthält 0,35 kg kg⁻¹ N. Folglich ist der Emissionsfaktor für N in TSP 0,070 kg kg⁻¹.

Anhang 4 Emissionen bei der Herstellung von P- und K-Düngern und P-haltigen Mineralfuttermitteln

Die von KTBL (2014) für den **Pflanzenbau** empfohlene Grunddüngung sieht den Einsatz von PK-Dünger vor. Er ist durch seine P- und K-Gehalte (als K_2O und P_2O_5) charakterisiert. Brentrup und Pallière (2008) geben THG-Emissionsfaktoren für Triplesuperphosphat ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$) and Kali (KCl) an, von denen die Emissionsfaktoren für PK-Dünger abgeleitet werden können:

$$E_{GHG, P_2O_5} = (m_{PKF} \cdot x_{P_2O_5, PKF} + m_{P_{feed}} \cdot x_{P_2O_5, feed}) \cdot EF_{P_2O_5} \quad (A4.1)$$

$$E_{GHG, K_2O} = m_{PKF} \cdot x_{K_2O, PKF} \cdot x_{K_2O} \cdot EF_{K_2O} \quad (A4.2)$$

wobei

$E_{GHG, P_2O_5, j}$ aus der Anwendung von P-Düngern und P im Futter herrührende THG-Emissionen bei der Phosphatherstellung (in $kg\ Herde^{-1}\ a^{-1}\ CO_2\ eq$)

m_{PKF} Menge an PK-Dünger (nach KTBL, 2014) (in $kg\ Herde^{-1}\ a^{-1}$)

$x_{P_2O_5, PKF}$ P_2O_5 -Gehalt des-PK-Düngers ($x_{P_2O_5, PKF} = 0,18\ kg\ kg^{-1}$)

$m_{P_{feed}}$ Menge an P_2O_5 im Mineralfutter (in $kg\ Herde^{-1}\ a^{-1}$)

$x_{P_2O_5, PKF}$ P_2O_5 -Gehalt des-PK-Düngers (nach Bruckert und Jochemzyk, 1999) ($x_{P_2O_5, PKF} = 0,49\ kg\ kg^{-1}$)

$EF_{P_2O_5}$ THG-Emissionsfaktor für die P_2O_5 -Herstellung ($EF_{P_2O_5} = 0,56\ kg\ kg^{-1}\ CO_2\ eq$)

und

x_{K_2O} K_2O -Gehalt des PK-Düngers ($x_{K_2O} = 0,10\ kg\ kg^{-1}$)

EF_{K_2O} THG-Emissionsfaktor für die K_2O -Herstellung ($EF_{K_2O} = 0,43\ kg\ kg^{-1}\ CO_2\ eq$)

Anhang 5 Mögliche Diversifizierung der Emissionsfaktoren für Schweineställe (Sauen, Eber, Aufzuchtferkel, Mastschweine)

Anhang 5.1 Einführung

Die Berechnung der Emissionen folgt denen des nationalen landwirtschaftlichen Emissionsinventars. Dieses verwendet Emissionsfaktoren, die letztlich auf einem Konsens nationaler Experten bei der Auswertung von (wenigen) experimentellen Daten beruhen (Döhler et al., 2002). Diese Daten wurde für die Verwendung in den Inventaren zu leistungsabhängigen Werten umgerechnet, die gleichzeitig den TAN-Anteil der Ausscheidungen berücksichtigten (Dämmgen et al., 2010). Die so entstandenen und im nationalen Inventar eingesetzten Emissionsfaktoren sind in Tabelle 5,1 zusammengefasst.

Tabelle A5.1: Emissionsfaktoren zur Berechnung der NH₃-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngelager

Haltungssystem	Sauen und Saugferkel in kg (kg TAN) ⁻¹ NH ₃ -N	Mastschweine und Aufzuchtferkel in kg (kg TAN) ⁻¹ NH ₃ -N
güllebasiert	0,34	
wärmegeämmter Stall		
Vollspaltenboden		0,3
Teilspaltenboden		0,3
Außenklimastall		
Kistenstall		0,2
strohbasieret	0,34	
wärmegeämmter Stall		
Tiefstreu		0,4
planbefestigt mit Einstreu		0,4
Außenklimastall		
Kistenstall		0,2
Tiefstreu		0,35

Es fällt auf, dass für Sauen (mit Saugferkeln) nur ein einziger Wert angegeben ist. Bei Mastschweinen wird bei Flüssigmistsystemen zwischen Vollspalten und Teilspaltenböden nicht unterschieden, bei eingestreuten wärmegeämmten Systemen findet man ebenfalls nur einen Wert. In Szenarien, die der Emissionsminderung dienen sollen, bleibt hier als Minderungsmöglichkeit eigentlich nur die Verringerung der Tierzahlen.

Eurich-Menden et al. (2004) sowie Webb et al. (2009) untersuchten in der in deutscher Sprache erhältlichen Literatur ohne Erfolg nach neuen verwertbaren Erkenntnissen. Eurich-Menden et al. (2011) befanden in einer letzten Überprüfung der Datensituation, dass Änderungen (noch) nicht gerechtfertigt waren.

Das Europäische Regelwerk (EMEP, 2016) macht ebenfalls keine detaillierten Aussagen zu Emissionen aus dem Stall.

Anhang 5.2 Neuere Ansätze zu Verbesserung und Detaillierung der landwirtschaftlichen Emissionsfaktoren

Eine Umfrage bei den Einrichtungen, die sich um eine Aktualisierung von Emissionsfaktoren bemühen könnten, erbrachte die folgenden Ergebnisse:

auf internationaler Ebene:

- EMEP – European Monitoring and Evaluation Programme, Task Force on Emission Inventories and Projections, Agriculture and Nature Panel: keine Aktivitäten hinsichtlich Emissionsfaktoren für Schweineställe
- EAGER - European Agricultural Gaseous Emissions Inventory Researchers Network: keine Aktivitäten hinsichtlich Emissionsfaktoren für Schweineställe

auf nationaler Ebene

- UBA - Umweltbundesamt: keine eigenen Aktivitäten
- KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: noch keine Ergebnisse

Unter Federführung des KTBL läuft vom 1.10.14 bis zum 30.9.2018 das Projekt EmiDaT mit dem Ziel, nationale Emissionsfaktoren für Rinder- und Schweineställe zu ermitteln (siehe Eurich-Menden et al., 2017).

Anhang 5.3 Auswertung vorhandener Literatur

Emissionsmessungen in der Landwirtschaft sind schwierig und teuer. Die Übertragbarkeit von Ergebnissen, die an einem Betrieb gewonnen wurden, auf einen anderen sind schwierig, weil stets mit anderen Randbedingungen zu rechnen ist. Es ist deshalb bei der Erstellung von Emissionsinventaren üblich, Literaturdaten zu sammeln, zu bündeln und zu bewerten.

Diese Arbeit verfolgt ähnliche Wege: Zunächst werden die für die Erstellung der Emissionsinventare in Ländern mit einer vergleichbaren Schweineproduktion verwendeten Emissionsfaktoren zusammengestellt. Dann werden neuere und noch nicht berücksichtigte Arbeiten ausgewertet.

Es wird in der Auswertung nicht darum gehen, neue Emissionsfaktoren zu entwickeln. Vielmehr soll versucht werden, typische Unterschiede etwa zwischen Teilspalten- und Vollspaltenböden zu identifizieren und zu quantifizieren, um sie dann mit den bisher verwendeten Emissionsfaktoren zu kombinieren.

Anhang 5.3.1 Nationales landwirtschaftliches Emissionsinventar des Vereinigten Königreiches

Misselbrook et al. (2015) haben dem Inventar eine ausführliche Liste der verwendeten Emissionsfaktoren und das Material zu deren Ableitung beigefügt.

Das britische Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt (DEFRA) hat umfangreiche Forschungsprojekte aufgelegt, um den Wissensstand zu verbessern (Tabellen A5.2 bis A5.5).

Tabelle A5.2: Emissionsfaktoren im Inventar des Vereinigten Königreiches. Emissionen in der Mastschweinehaltung zur Berechnung der NH₃-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager, Flüssigmist

Quelle	Emissionen g lu ⁻¹ d ⁻¹ N *	Anzahl Studien	Emissionsfaktor % TAN	Bemerkung
Mastschweine auf Spaltenböden (Finishers on slats)				
Peirson (1995)	71,7	3	26,9	LM wahrscheinlich 20-80 kg, N Aussch. 139 kg (Wert für 1995)
Demmers (1999)	105,8	1	25,3	mittl. LM 25,7 kg, N Aussch. 11,2kg (Wert für 1995)
Groot Koerkamp et al. (1998)	51,2	1	16,7	LM etwa 35 kg, angenommene N-Aussch. 11,2 kg (Wert für 1995)
WA0632	79,2	4	40,4	aus N-Bilanz
WA0720 (zwangsbelüftet)	103,5	1	41,5	LM etwa 20-80 kg, N-Aussch. 13 kg (Mittel für 2 Gewichtsklassen für 2002)
WA0720 (Vollspalten)	77,2	3	31,0	LM etwa 20-80 kg, N-Aussch. 13 kg (Mittel für 2 Gewichtsklassen für 2002)
WA0720 (Teilspaltenböden)	51,5	2	20,7	LM etwa 20-80 kg, N-Aussch. 13 kg (Mittel für 2 Gewichtsklassen für 2002)
WA0720 (zwangsbelüftet) (Vollspalten)	47,7	1	21,6	LM 40-95 kg angenommene N-Aussch. 15,5 kg pro Jahr
WA0720 (Teilspaltenböden)	38,7	1	17,6	LM 40-95 kg angenommene N-Aussch. 15,5 kg pro Jahr
Mittel (arithmetisch)	69,6	17	26,8	
Mittel (gewichtet)	71,4		29,4	(SE 2.27, n=17)

* lu: livestock unit

Tabelle A5.3: Emissionsfaktoren im Inventar des Vereinigten Königreiches. Emissionen in der Mastschweinehaltung zur Berechnung der NH₃-Emissionen aus Stall und Wirtschaftsdüngerlager, Festmist

Quelle	Emissionen g lu ⁻¹ d ⁻¹ N *	Anzahl Studien	Emissionsfaktor % TAN	Bemerkung
Mastschweine auf Stroh (finishers on straw)				
Peirson (1995)	54,2	2	20,3	Annahme Mastschweine 20-80 kg, N-Aussch. 13,9 kg (Wert für 1995)
Groot Koerkamp et al. (1998)	28,2	1	9,2	LW etwa 35 kg, N-Aussch. 11,2 kg (Wert für 1995)
WA0632	122,2	4	53,7	aus N-Bilanz
AM0102	24,0	1	9,6	Annahme Mastschweine 20-80 kg, N-Aussch. 13 kg (Mittel für 2 Gewichtsklassen für 2002)
AM0103 Terrington	47,0	2	23,6	direkt aus Bericht übernommen
AM0103 Commercial	34,1	1	10,9	LW 20-60 kg, N-Aussch. 13 kg (Mittel für 2 Gewichtsklassen für 2002)
AC0102	42,0	4	16,6	LW 30-60 kg, N-Aussch. 11,9 kg (Mittel für 2 Gewichtsklassen für 2002)
Mittel (arithmetisch)	50,2	15	20,6	
Mittel (gewichtet)	63,0		26,6	(SE 5,11, n=15)

Tabelle A5.4: Emissionsfaktoren im Inventar des Vereinigten Königreiches. Emissionen in der Haltung von Aufzuchtferkeln

Quelle	Emissionen g lu ⁻¹ d ⁻¹ N *	Anzahl Studien	Emissionsfaktor % TAN	Bemerkung
Aufzuchtferkel auf Spaltenböden (weaners on slats)				
Peirson (1995)	34,8	1	9,9	N-Aussch. 4,4 kg (Wert für 1995)
Groot Koerkamp et al. (1998)	20,7	1	5,9	N-Aussch. 4,4 kg (Wert für 1995)
Mittel (arithmetisch)				
Mittel (gewichtet)	27,7		7,9	(SE 2,01, n=2)
Aufzuchtferkel auf Stroh (Weaners on straw)				
			7,2	Anwendung des Verhältnisses von Gülle und Stroh bei Mastschweinen

Tabelle A5.5: Emissionsfaktoren im Inventar des Vereinigten Königreiches. Emissionen in der Sauenhaltung, Ställe

Quelle	Emissionen g lu ⁻¹ d ⁻¹ N *	Anzahl Studien	Emissionsfaktor % TAN	Bemerkung
Trächtige Sauen auf Spaltenböden (dry sows on slats)				
Peirson, 1995	17,0	2	22,9	Annahme N-Ausscheidung 15,5 kg
Mittel			22,9	(SE 14,9, n = 2)
Trächtige Sauen auf Stroh (dry sows on straw)				
Peirson (1995)	9,4	2	12,6	Annahme N-Ausscheidung 15,5 kg
Groot Koerkamp et al. (1998)	14,7	1	19,8	Annahme N-Ausscheidung 15,5 kg
OC9523	26,2	4	35,3	Annahme N-Ausscheidung 15,5 kg
AM0102	50,6	5	68,1	Annahme N-Ausscheidung 15,5 kg
Mittel (arithmetisch)	252		34,0	
Mittel (gewichtet)	15,7		43,9	(SE 9,62, n = 12)
Hochtragende Sauen auf Spaltenböden (farrowing sows on slats)				
Peirson, 1995	32,4	3	33,8	Annahme N-Ausscheidung 22,5 kg (Wert aus 1995)
Groot Koerkamp et al., 1998	20,7	1	23,1	Annahme N-Ausscheidung 15,5 kg (Wert aus 1995), Lebendmasse 240 kg
AM0102	27,0	3	30,4	Annahme N-Ausscheidung 15,5 kg (Wert aus 2002/03)
Mittel (arithmetisch)	26,7	7	29,1	
Mittel (gewichtet)	20,7		30,8	(SE 2,96, n = 7)

Anhang 5.3.2 Nationales Emissionsinventar der Niederlande

Der offizielle Bericht über Emissionen von NH₃ und Stäuben im Rahmen (Informative Inventory Report 2017, Jimmink et al., 2017) nennt lediglich die resultierenden Emissionsfaktoren (Summe aus Stall, Lager und Ausbringung) für Schweine insgesamt. In Vonk et al. (2016) wird die Methode der Berechnung der NH₃-Emissionsfaktoren erläutert, nicht jedoch die Datengrundlage. Werte für Emissionsfaktoren finden sich in Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu (2012) und MVRM (2017). Sie sind im dortigen Anhang 2 zusammengestellt. Mit Hilfe der Angaben in Rijkswaterstaat (o.J.) lassen sich die Stalltypen deutschen Verhältnissen zuordnen. DEFRA (2015) hat niederländische Daten erfragt. Sie sind in Tabelle A5.6 wiedergegeben.

Tabelle A5.6: Emissionsfaktoren für Schweineställe in den Niederlanden, Abfrage durch DEFRA (2015)

Tierkategorie	NH ₃ -Emissionsfaktor ^{1,2} in kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ NH ₃
Aufzuchtferkel	
Stallfläche bis 0,35 m ² pro Ferkel	0,60
Stallfläche > 0,35 m ² pro Ferkel	0,75
Mastschweine	
Vollspaltenböden ³	
Stallfläche bis 0,8 m ² pro Schwein	3,0
Stallfläche > 0,8 m ² pro Schwein	4,0
Teilspaltenböden	
Stallfläche bis 0,8 m ² pro Schwein	2,5
Stallfläche > 0,8 m ² pro Schwein	3,5
Freilandhaltung	3,0
Eber > 7 Monate	5,5
Sauen, laktierend	8,3
güste und trächtige Sauen	
Einzelhaltung ⁴	4,2
Gruppenhaltung	4,2

⁽¹⁾ Staatscourant 18726 (18 Oktober 2011)

⁽²⁾ Die Emissionsfaktoren sind im Hinblick darauf korrigiert, dass die Tierplätze nicht ganzjährig belegt sind

⁽³⁾ In den Niederlanden nicht mehr erlaubt

⁽⁴⁾ In den Niederlanden seit 2013 nicht mehr erlaubt

Anhang 5.3.3 Nationales Emissionsinventar für Dänemark

Mikkelsen et al. (2014) verwenden im nationalen Inventar die in Tabelle A5.7 zusammen gestellten Emissionsfaktoren für Schweineställe.

Tabelle A5.7: Emissionen in der Schweinehaltung, Ställe, Angaben für Dänemark in % des ausgeschiedenen TAN oder Gesamt-N

Unterkategorie, Stallsystem bezogen auf	Boden	Harn TAN	Gülle TAN	Festmist Gesamt-N	Tiefstreu Gesamt-N
Sauen					
Einzelhaltung, Deckstall und Trächtigkeit	Teilspalten		13		
	Vollspalten		19		
	planbefestigt	21			15
Gruppenhaltung, Deckstall und Trächtigkeit	Tiefstreu				15
	Tiefstreu mit Spalten		16		
	Tiefstreu und planbefestigt		19		
	Teilspalten		16		
Kastenstand (Farrowing crate)	Vollspalten		13		
	Teilspalten		26		
Abferkelbucht (Farrowing pen)	planbefestigter Boden	20		15	
	Teilspalten		22	15	
Aufzuchtferkel	Vollspalten		24		
	dräniert mit Teilspalten		21		
	Tiefstreu (2-Klimastall)		10		15
	planbefestigt	37		25	
	Tiefstreu				15
Mastschweine	Teilspalten (50-75 % plan)		13		
	Teilspalten (25-49 % plan)		17		
	dräniert und Teilspalten		21		
	Vollspalten		24		
	planbefestigt	27		18	
	Tiefstreu, geteilt		18		15
	Tiefstreu				15

Anhang 5.3.4 Literaturlauswertung von Rzeźnik und Mielcarek

Rzeźnik und Mielcarek (2016) stellten europäische Veröffentlichungen zu Emissionen aus Schweineställen aus den Jahren 1997 bis 2015 zusammen. Sie unterscheiden zwischen Mastschweinen und Sauen und für diese Kategorien jeweils zwischen nicht eingestreuten und eingestreuten Haltungssystemen. Zusätzlich wird darüber informiert, ob es sich um Teilspalten- oder Vollspaltenböden handelt. Wertepaare, die für die hier gewünschte Detaillierung nutzbar wären, sind nicht vorhanden.

Anhang 5.3.5 Literaturlauswertung von Phillipe und Nicks

Eine Zusammenstellung von Literaturdaten, aus denen Verhältnisse abgeleitet werden können, findet sich bei Philippe und Nicks (2013). Sie umfasst sowohl NH₃- als auch N₂O- und CH₄-Emissionen. Den Stallssystemen kommt hier eine besondere Bedeutung zu.

Anhang 5.3.6 Auswertung von einzelnen Originalarbeiten

Anhang 5.3.6.1 Sauen und Stallbodentyp

Philippe et al. (2011) berichten über Emissionen aus der Haltung tragender Sauen auf Spaltenböden (die ungenaue Beschreibung deutet auf Teilspalten) und Tiefstreu (straw based deep litter). Die gemessenen Emissionen werden auf das Jahr hochgerechnet und in einer N-Bilanz ausgewertet. Dort werden 10,5 bzw. 7,5 g Sau⁻¹ d⁻¹ NH₃-N für den Spaltenboden bzw. die Tiefstreu angegeben.

Anhang 5.3.6.2 Einzelhaltung/Gruppenhaltung bei Sauen

Groenestein et al. (2001) untersuchten Unterschied zwischen Sauen (dry sows) in Einzel- und Gruppenhaltung auf Teilspaltenböden mit Fütterungsvarianten. Dabei hatten die Sauen in Einzelhaltung eine Fläche von je 2,8 m² zur Verfügung, die in Gruppen gehaltenen je 3,2 m². Bei gleicher Fütterung beliefen sich die mittleren NH₃-Emissionen in der Einzelhaltung auf 0,72 g Sau⁻¹ h⁻¹ NH₃, in der Gruppenhaltung auf 0,62 g Sau⁻¹ h⁻¹ NH₃.

Anhang 5.4 Neue Emissionsfaktoren – Ergebnisse der Auswertung

Anhang 5.4.1 Vorgehensweise

Aus den in den Tabellen zusammengestellten detaillierten Emissionen und Emissionsfaktoren werden Verhältnisse gebildet, mit denen die in Tabelle A5.1 aufgeführten deutschen Emissionsfaktoren wie folgt verknüpft werden:

$$EF_{\text{neu},1} = EF_{\text{alt}} \cdot \left(1 + \frac{f_x - 1}{2}\right)$$

$$EF_{\text{neu},2} = EF_{\text{alt}} \cdot \left(1 - \frac{f_x - 1}{2}\right)$$

mit

- $EF_{\text{neu},1}$ neuer höherer Emissionsfaktor
- $EF_{\text{alt}1}$ alter Emissionsfaktor (aus Tabelle 1)
- f_x Korrekturfaktor, Expertenurteil (aus Tabelle 2)
- $EF_{\text{neu},2}$ neuer niedrigerer Emissionsfaktor

Anhang 5.4.2 Mastschweine

Anhang 5.4.2.1 Vollspalten- und Teilspaltenböden

Aus den oben angeführten Daten werden Verhältniszahlen zur Ableitung von f_x gebildet (Tabelle A5.8).

Tabelle A5.8: Ermittlung möglicher Korrekturfaktoren f_x für Voll- und Teilspaltenböden

Tierkategorie				f_x
Mastschweine				
<i>Spaltenböden</i>	<i>Einheit</i>	<i>Vollspalten</i>	<i>Teilspalten</i>	<i>Verhältnis</i>
DEFRA (2015)	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ NH ₃	3	2,5	1,20
DEFRA (2015)	kg Platz ⁻¹ a ⁻¹ NH ₃	4	3,5	1,14
WA0720	% TAN	21,6	17,6	1,23
Sun et al. (2016) (in Phillipe und Nicks, 2013)*				1,4
Mikkelsen et al. (2014)	% TAN	24	15	1,6
Mittel (Expertenurteil)				1,2
<i>Ausweitung der Fläche mit Spalten</i>				
		Teilspalten 50 % der Fläche	Teilspalten 25 % der Fläche	
Aarnink et al. (1996) (in Phillipe und Nicks, 2013)	g Tier ⁻¹ ??	6,4	5,7	1,12
Philippe et al. (2012) (in Phillipe und Nicks, 2013)				etwa 1
Mittel (Expertenurteil)				1,1

Die **Expertenrunde bei TLL** beschließt vor diesem Hintergrund, in der vorliegenden Arbeit die folgenden Emissionsfaktoren für Voll- und Teilspaltenböden zu verwenden:

Vollspaltenböden (fully slatted floor): $EF_{\text{NH}_3, \text{house, fsf}} = 0,33 \text{ kg (kg TAN)}^{-1}$
 Teilspaltenböden (partially slatted floor) $EF_{\text{NH}_3, \text{house, psf}} = 0,27 \text{ kg (kg TAN)}^{-1}$

Anhang 5.4.2.2 Veränderte Stallfläche pro Tier

Im Rahmen der in Kapitel 4.4.8.1 beschriebenen Planungen ist zukünftig mit erhöhtem Platzbedarf je Mastplatz in der gesamten Schweinehaltung zu rechnen.

Die Angaben in Tabelle A5.6 lassen eine Abhängigkeit erkennen, die jedoch nicht zu einer Quantifizierung eines flächenabhängigen Emissionsfaktors herangezogen werden kann.

Die **Expertenrunde bei TLL** beschließt, ein Szenario mit um 20 bis 30 % erhöhten Emissionsfaktoren zu rechnen. Die Berechnungen verwenden 25 %.

Anhang 5.4.3 Sauen, Differenzierung der Haltung

Die Auswertung der Literatur ergibt Unterschiede zwischen Einzel- und Gruppenhaltung-. Da jedoch die Häufigkeitsverteilungen der Verfahren der Sauenhaltung in Thüringen nicht bekannt sind, ist eine Differenzierung unnötig.

Anhang 6 Futterzusammensetzungen und -eigenschaften

Anhang 6.1 Aufzuchtferkel

Tabelle 6.1: Aufzuchtferkel, Standardfutter

Tier	Masse	kg Tier ⁻¹	Absatzferkel 8 - 12	Aufzuchtferkel 12 - 20	Aufzuchtferkel 20 - 30
	Quelle		HKK *	HKK	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
Molke, Süß-, getrocknet	% FM				
Rapsextraktionsschrot	% FM				
Sojaextraktionsschrot getoastet 49	% FM		7,53	14,90	14,68
Sojaextraktionsschrot getoastet 44	% FM				
Sojaöl	% FM		3,33	3,26	3,39
Trockenschnitzel	% FM				
Weizen	% FM		40,00	40,00	40,00
Weizen-Kleie	% FM			3,00	7,00
Sojaproteinkonzentrat	% FM		5,00		
Sojabohnenschalen	% FM				
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
Premix Sau	% FM				
Premix Mastschwein	% FM				
Ameisensäure	% FM		0,50	0,50	0,50
Molkenpulver	% FM		5,00		
Summe	% FM		100	100	100
Trockenmasse	%		88,61	87,95	87,87
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹		14,00	13,60	13,40
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		0,073	0,080	0,087
Verdaulichkeit Protein	kg kg ⁻¹		0,846	0,849	0,843
Verdaulichkeit OM	kg kg ⁻¹		0,888	0,875	0,863

* Heinrich Kleine Klausung

Tabelle 6.2: Aufzuchtferkel, Gesundheitsfütterung

Tier	Masse	Absatzferkel	Aufzuchtferkel	Aufzuchtferkel
	kg Tier ⁻¹			
	Quelle	HKK	HKK	HKK
Gerste erhitzt	% FM	10,00	10,00	
Gerste vierzeilig	% FM	10,00	24,78	36,57
Mais	% FM	13,91		
Molke, Süß-, getrocknet	% FM			
Rapsextraktionsschrot	% FM			
Sojaextraktionsschrot getoastet 49	% FM	7,53	11,73	11,95
Sojaextraktionsschrot getoastet 44	% FM			
Sojaöl	% FM	3,33	4,39	4,02
Trockenschnitzel	% FM		3,58	
Weizen	% FM	40,00	40,00	40,00
Weizen-Kleie	% FM		0,01	0,01
Sojaproteinkonzentrat	% FM	5,00		
Sojabohnenschalen	% FM			1,97
Ca-Phosphat	% FM	0,81	0,71	0,67
Kohlensaurer Kalk	% FM	0,95	1,02	1,22
Viehsalz	% FM	0,51	0,56	0,56
Methionin	% FM	0,28	0,31	0,26
Lysin HCl	% FM	0,77	0,95	0,82
Threonin	% FM	0,31	0,45	0,38
Tryptophan	% FM	0,11	0,10	0,07
Premix Ferkel	% FM	1,00	1,00	1,00
Premix Sau	% FM			
Premix Mastschwein	% FM			
Ameisensäure	% FM	0,50	0,50	0,50
Molkenpulver	% FM	5,00		
Summe	% FM	100	100	100
Trockenmasse	%	88,61	88,23	87,87
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹	14,00	13,60	13,40
XProtein	%	17,00	16,00	16,00
XFaser	%	2,86	4,00	4,30
XFett	%	5,22	6,01	5,70
XAsche	%	5,33	5,20	5,36
BFS	kg kg ⁻¹	0,073	0,071	0,080
Verdaulichkeit Protein	kg kg ⁻¹	0,846	0,844	0,843
Verdaulichkeit OM	kg kg ⁻¹	0,888	0,872	0,872

Anhang 6.2 Mastschweine

Tabelle 6.3: Mastschweine, Standardfutter

Tier	Masse	kg Tier ⁻¹	Vormast	Mittelmast	Endmast
	Quelle		30 - 60	60 - 80	> 80
			HKK	HKK	HKK
Gerste erhitzt	% FM		20,00	20,00	20,00
Gerste vierzeilig	% FM				
Mais	% FM				
Molke, Süß-, getrocknet	% FM				8,00
Rapsextraktionsschrot	% FM				
Sojaextraktionsschrot getoastet 49	% FM				
Sojaextraktionsschrot getoastet 44	% FM		17,95	14,87	6,08
Sojaöl	% FM		1,35	0,08	
Trockenschnitzel	% FM				
Weizen	% FM		57,73	62,53	63,15
Weizen-Kleie	% FM				0,77
Sojaproteinkonzentrat	% FM				
Sojabohnenschalen	% FM				
Ca-Phosphat	% FM		0,57	0,36	
Kohlensaurer Kalk	% FM		0,93	0,90	0,86
Viehsalz	% FM		0,32	0,32	0,27
Methionin	% FM		0,07	0,02	
Lysin HCl	% FM		0,46	0,30	0,29
Threonin	% FM		0,09	0,10	0,09
Tryptophan	% FM		0,03	0,01	
Premix Ferkel	% FM				
Premix Sau	% FM				
Premix Mastschwein	% FM		0,50	0,50	0,50
Ameisensäure	% FM				
Molkenpulver	% FM				
Summe	% FM		100	100	100
Trockenmasse	%		87,52	87,30	87,36
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹		13,20	13,00	12,80
XProtein	%		17,00	16,50	15,50
XFaser	%		3,79	3,73	4,27
XFett	%		3,05	1,83	1,79
XAsche	%		5,10	4,67	4,41
BFS	kg kg ⁻¹		0,079	0,075	0,077
Verdaulichkeit Protein	kg kg ⁻¹		0,823	0,824	0,810
Verdaulichkeit OM	kg kg ⁻¹		0,875	0,876	0,860

Tabelle 6.4: Mastschweine, N-P-reduziertes Futter

Tier	Masse	kg Tier ⁻¹	Vormast 30 - 60	Mittelmast 60 - 80	Endmast > 80
	Quelle		HKK	HKK	HKK
Gerste erhitzt		% FM			
Gerste vierzeilig		% FM	20,00	20,00	20,00
Mais		% FM			
Molke, Süß-, getrocknet		% FM			
Rapsextraktionsschrot		% FM		0,94	8,00
Sojaextraktionsschrot getoastet 49		% FM			
Sojaextraktionsschrot getoastet 44		% FM	16,20	9,06	0,88
Sojaöl		% FM	1,27		
Trockenschnitzel		% FM			
Weizen		% FM	59,43	67,18	66,80
Weizen-Kleie		% FM			2,05
Sojaproteinkonzentrat		% FM			
Sojabohnenschalen		% FM			
Ca-Phosphat		% FM	0,59	0,41	
Kohlensaurer Kalk		% FM	0,93	0,90	0,87
Viehsalz		% FM	0,32	0,32	0,27
Methionin		% FM	0,08	0,04	0,01
Lysin HCl		% FM	0,52	0,47	0,46
Threonin		% FM	0,11	0,17	0,15
Tryptophan		% FM	0,04	0,03	0,01
Premix Ferkel		% FM			
Premix Sau		% FM			
Premix Mastschwein		% FM	0,50	0,50	0,50
Ameisensäure		% FM			
Molkenpulver		% FM			
Summe		% FM	100	100	100
Trockenmasse		%	87,52	87,34	87,41
ME-Gehalt		MJ kg ⁻¹	13,20	13,00	12,80
XProtein		%	17,00	15,00	14,00
XFaser		%	3,73	3,60	4,18
XFett		%	1,79	1,76	1,83
XAsche		%	4,41	4,61	4,27
BFS		kg kg ⁻¹	0,069	0,065	0,069
Verdaulichkeit Protein		kg kg ⁻¹	0,865	0,852	0,817
Verdaulichkeit OM		kg kg ⁻¹	0,850	0,846	0,825

Tabelle 6.5: Mastschweine, Gesundheitsfütterung

Tier	Masse	kg Tier ⁻¹	Vormast	Mittelmast	Endmast
	Quelle		30 - 60	60 - 80	> 80
			HKK	HKK	HKK
Gerste erhitzt		% FM			
Gerste vierzeilig		% FM	20,00	20,00	20,09
Mais		% FM			
Molke, Süß-, getrocknet		% FM			
Rapsextraktionsschrot		% FM	6,38	8,00	8,00
Sojaextraktionsschrot getoastet 49		% FM			
Sojaextraktionsschrot getoastet 44		% FM	7,01	2,34	1,20
Sojaöl		% FM	2,33	0,02	0,10
Trockenschnitzel		% FM			
Weizen		% FM	61,33	64,63	65,36
Weizen-Kleie		% FM		2,81	3,23
Sojaproteinkonzentrat		% FM			
Sojabohnenschalen		% FM			
Ca-Phosphat		% FM	0,29	0,05	
Kohlensaurer Kalk		% FM	0,88	0,71	0,74
Viehsalz		% FM	0,32	0,32	0,32
Methionin		% FM	0,07		
Lysin HCl		% FM	0,60	0,45	0,35
Threonin		% FM	0,24	0,15	0,10
Tryptophan		% FM	0,04	0,02	
Premix Ferkel		% FM			
Premix Sau		% FM			
Premix Mastschwein		% FM	0,50	0,50	0,50
Ameisensäure		% FM			
Molkenpulver		% FM			
Summe		% FM	100	100	100
Trockenmasse		%	87,30	87,49	87,63
ME-Gehalt		MJ kg ⁻¹	13,00	13,00	13,00
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	0,076	0,079	0,080
Verdaulichkeit Protein		kg kg ⁻¹	0,835	0,802	0,785
Verdaulichkeit OM		kg kg ⁻¹	0,821	0,799	0,790

Anhang 6.2 Sauen F1, Jung-, KB- und Sucheber

Tabelle 6.6: Jungsauen F1, Standardfutter

Tier	Masse	kg Tier ⁻¹	Jungsau 30 - 60	Jungsau 60 - 100	Jungsau 100 - 150
	Quelle		HKK	HKK	HKK
Gerste erhitzt		% FM			
Gerste vierzeilig		% FM	20,00	20,00	39,88
Mais		% FM			
Molke, Süß-, getrocknet		% FM			
Rapsextraktionsschrot		% FM	8,00	10,00	12,00
Sojaextraktionsschrot getoastet 49		% FM			
Sojaextraktionsschrot getoastet 44		% FM	10,14	2,67	1,75
Sojaöl		% FM	2,48	3,67	4,98
Trockenschnitzel		% FM			
Weizen		% FM	53,75	51,43	32,92
Weizen-Kleie		% FM	2,77	9,95	6,40
Sojaproteinkonzentrat		% FM			
Sojabohnenschalen		% FM			
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	
Tryptophan		% FM			
Premix Ferkel		% FM			
Premix Sau		% FM	0,50	0,50	0,50
Premix Mastschwein		% FM			
Ameisensäure		% FM			
Summe		% FM	100	100	100
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 6.7: Jungsauen F1, Gesundheitsfütterung

Tier	Masse	kg Tier ⁻¹	Jungsau 30 - 60	Jungsau 60 - 100	Jungsau 100 - 150
	Quelle		HKK	HKK	HKK
Gerste erhitzt		% FM			
Gerste vierzeilig		% FM	20,00	20,00	39,88
Mais		% FM			
Molke, Süß-, getrocknet		% FM			
Rapsextraktionsschrot		% FM	8,00	10,00	12,00
Sojaextraktionsschrot getoastet 49		% FM			
Sojaextraktionsschrot getoastet 44		% FM	10,14	2,67	1,75
Sojaöl		% FM	2,48	3,67	4,98
Trockenschnitzel		% FM			
Weizen		% FM	53,75	51,43	32,92
Weizen-Kleie		% FM	2,77	9,95	6,40
Sojaproteinkonzentrat		% FM			
Sojabohnenschalen		% FM			
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	
Tryptophan		% FM			
Premix Ferkel		% FM			
Premix Sau		% FM	0,50	0,50	0,50
Premix Mastschwein		% FM			
Ameisensäure		% FM			
Summe		% FM	100	100	100
Trockenmasse		%	87,30	87,49	87,63
ME-Gehalt		MJ kg ⁻¹	13,00	13,00	13,00
GE-Gehalt		MJ kg ⁻¹	16,33	14,40	14,16
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	0,068	0,070	0,058
Verdaulichkeit Protein		kg kg ⁻¹	0,727	0,694	0,675
Verdaulichkeit OM		kg kg ⁻¹	0,786	0,741	0,718

Tabelle 6.8: Zuchtsauen F1 und Eber, Standardfutter

Tier	Status / Masse	Sau laktierend	Sau tragend	KB-Eber > 120 kg Tier ⁻¹
	Quelle	HKK	HKK	HKK
Gerste erhitzt	% FM			
Gerste vierzeilig	% FM	20,00	20,00	44,07
Mais	% FM			
Molke, Süß-, getrocknet	% FM			
Rapsextraktionsschrot	% FM	8,00	12,00	10,00
Sojaextraktionsschrot getoastet 49	% FM			
Sojaextraktionsschrot getoastet 44	% FM	10,18	0,58	14,94
Sojaöl	% FM	3,89	2,45	
Trockenschnitzel	% FM		12,20	
Weizen	% FM	45,45	42,10	23,10
Weizen-Kleie	% FM	9,38	9,26	5,45
Sojaproteinkonzentrat	% FM			
Ca-Phosphat	% FM	0,28		
Kohlensaurer Kalk	% FM	1,35	0,80	1,15
Viehsalz	% FM	0,58		0,54
Methionin	% FM	0,01		0,02
Lysin HCl	% FM	0,30	0,10	0,19
Threonin	% FM	0,08		0,04
Tryptophan	% FM	0,01		
Premix Ferkel	% FM			
Premix Sau	% FM	0,50	0,50	0,50
Premix Mastschwein	% FM			
Ameisensäure	% FM			
Molkenpulver	% FM			
Summe	% FM	100	100	100
Trockenmasse	%	87,58	87,71	86,99
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹	13,00	12,00	12,00
GE-Gehalt	MJ kg ⁻¹	17,56	15,75	18,46
XProtein	%	16,50	14,00	18,50
XFaser	%	5,00	7,00	5,96
XFett	%	5,76	4,25	1,91
XAsche	%	5,77	4,63	5,70
BFS	kg kg ⁻¹	0,098	0,086	0,114
Verdaulichkeit Protein	kg kg ⁻¹	0,798	0,783	0,790
Verdaulichkeit OM	kg kg ⁻¹	0,834	0,820	0,823

Tabelle 6.8: Zuchtsauen F1, Gesundheitsfütter

Tier	Status / Masse	Sau laktierend	Sau tragend	Geburtsfutter
	Quelle	HKK	HKK	HKK
Gerste erhitzt	% FM			
Gerste vierzeilig	% FM	20,00	20,00	20,00
Mais	% FM			
Molke, Süß-, getrocknet	% FM			
Rapsextraktionsschrot	% FM	8,00	8,67	10,00
Sojaextraktionsschrot getoastet 49	% FM			
Sojaextraktionsschrot getoastet 44	% FM	8,48		
Sojaöl	% FM	3,32	2,53	3,05
Trockenschnitzel	% FM			
Weizen	% FM			
Weizen-Kleie	% FM			
Sojaproteinkonzentrat	% FM			
Sojabohnenschalen	% FM		6,23	1,27
Ca-Phosphat	% FM	0,27		0,04
Kohlensaurer Kalk	% FM	1,37	1,01	1,42
Viehsalz	% FM	0,58	0,44	0,57
Methionin	% FM			0,02
Lysin HCl	% FM	0,35	0,27	0,50
Threonin	% FM	0,12	0,06	0,18
Tryptophan	% FM	0,01		0,02
Premix Ferkel	% FM			
Premix Sau	% FM	0,50	0,50	0,50
Premix Mastschwein	% FM			
Ameisensäure	% FM			
Molkenpulver	% FM			
Summe	% FM	100	100	100
Trockenmasse	%	87,98	87,93	88,13
ME-Gehalt	MJ kg ⁻¹	13,00	12,00	12,40
GE-Gehalt	MJ kg ⁻¹	15,30	13,33	12,55
XProtein	%	16,00	13,50	14,12
XFaser	%	4,74	7,00	6,00
XFett	%	5,16	4,51	5,11
XAsche	%	5,62	4,92	5,65
BFS	kg kg ⁻¹	0,082	0,103	0,096
Verdaulichkeit Protein	kg kg ⁻¹	0,713	0,654	0,667
Verdaulichkeit OM	kg kg ⁻¹	0,765	0,696	0,701

Tabelle 6.9: Jungeber zur Zucht, Standardfutter

Tier	Masse	kg Tier ⁻¹	Jungeber	Jungeber	Jungeber
	Quelle		30 - 60	60 - 90	90 - 120
			HKK	HKK	HKK
Gerste erhitzt		% FM			
Gerste vierzeilig		% FM	20,00	20,00	20,00
Mais		% FM			
Molke, Süß-, getrocknet		% FM			
Rapsextraktionsschrot		% FM	8,00	10,00	10,00
Sojaextraktionsschrot getoastet 49		% FM			
Sojaextraktionsschrot getoastet 44		% FM	10,74	6,61	3,66
Sojaöl		% FM	2,33	1,10	1,28
Trockenschnitzel		% FM			
Weizen		% FM	53,02	51,54	53,02
Weizen-Kleie		% FM	2,60	7,66	9,00
Sojaproteinkonzentrat		% FM			
Ca-Phosphat		% FM	0,31		
Kohlensaurer Kalk		% FM	1,21	1,19	1,20
Viehsalz		% FM	0,45	0,45	0,45
Methionin		% FM	0,18	0,19	0,18
Lysin HCl		% FM	0,45	0,53	0,51
Threonin		% FM	0,16	0,19	0,17
Tryptophan		% FM	0,03	0,04	0,04
Premix Ferkel		% FM			
Premix Sau		% FM	0,50	0,50	0,50
Premix Mastschwein		% FM			
Ameisensäure		% FM			
Molkenpulver		% FM			
Summe		% FM	100	100	100
Trockenmasse		%	87,34	87,23	87,27
ME-Gehalt		MJ kg ⁻¹	13,00	12,60	12,60
GE		MJ kg ⁻¹	17,79	18,03	17,97
XProtein		%	17,00	16,50	15,50
XFaser		%	4,50	5,00	5,00
XFett		%	4,09	3,00	3,21
XAsche		%	5,34	5,17	5,11
BFS		kg kg ⁻¹	0,086	0,094	0,092
Verdaulichkeit Protein		kg kg ⁻¹	0,807	0,797	0,794
Verdaulichkeit OM		kg kg ⁻¹	0,852	0,837	0,834

Literatur

Adam F (ohne Jahr) Was bringen zusätzliche Ausschlachtungsprozente beim Schwein? Abbildungen [online]. Zu finden unter <<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/pdf/abbildungen-erloes-schlachtschwein.pdf>>

ATT - Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), Deutscher Bund der verbandlichen Wasserwirtschaft (DBVW), Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA), Verband kommunaler Unternehmen (VKU) (2011) Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft [online]. Zu finden unter <[http://www.bdew.de/internet.nsf/id/40873B16E2024175C125785A00350058/\\$file/110321_Branchenbild_dt_WaWi_2011_Langfassung_Internetdatei.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/40873B16E2024175C125785A00350058/$file/110321_Branchenbild_dt_WaWi_2011_Langfassung_Internetdatei.pdf)>

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 Lebendmasseentwicklung von graviden, güsten und laktierenden Sauen sowie zu Reproduktionsleistungen in Gravidität und Laktation. Arch Anim Nutr 44:293-315

BVDF - Bundesverband der Deutschen Fleischwarenindustrie e.V. (2016) Fleischverzehr je Kopf der Bevölkerung [online]. Zu finden unter <http://www.bvdf.de/in_zahlen/tab_05/>

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

Big Dutchman (2010): DryRapid - Das vielseitig einsetzbare Fördersystem für Trockenfutter [online]. Zu finden unter <<https://cdn.bigdutchman.de/fileadmin/content/pig/products/de/Schweinehaltung-Trockenfuetterung-DryRapid-Big-Dutchman-de.pdf>>

BIOGRACE Harmonized Calculations of Biofuel Greenhouse Gas Emissions for Europe (2012): The BioGrace GHG calculation tool [online]. Zu finden unter <<http://biograce.net/content/ghgcalculationtool/recognisedtool>>

BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2017a) Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV). BgBl 1, 1305, vom 26.5.2017

BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2017b) Schritte zu mehr Tierwohl [online]. Zu finden unter <http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Tierwohl.pdf?__blob=publicationFile>

Böhm H. (2009) Körnerleguminosen – Stand des Wissens sowie zukünftiger Forschungsbedarf aus Sicht des Ökologischen Landbaus. J Kulturpflanzen 61:324–331

BPEX - British Pig Executive (2014) Life Cycle Assessment of British Pork. Environmental impacts of pig production 2008-2012 and forecast to 2020 [online]. Zu finden unter <https://pork.ahdb.org.uk/media/2681/life_cacle_assessment_of_british_pork_-_executive_summary.pdf>

Brade W, Flachowsky G (2006) Schweinezucht und Schweinefleischerzeugung. Landbauforschung Völkenrode SH 296, 247 S.

Brade W, Distl O (2009) Genombasierte Selektion (Teile 1 u 2). dlz agrarmagazin 60/3:136-139 sowie 60/4:120 -122

Brandt H, Werner D, Baulain U, Brade W, Weißmann F (2010) Genotype-environment interactions for growth and carcass traits in different pig breeds kept under conventional and organic production systems. Animal 4:535–544

- Brentrup F, Pallière Ch (2008) Energy efficiency and greenhouse gas emissions in European nitrogen fertilizer production and use. Proc. Intern. Fertilizer Soc. Dec. 11, York (UK)
- Bruckert A, Jochemzyk B (1999) Einzelfuttermittel zur Verwendung als Futtermittelkomponente sowie Verfahren zu dessen Herstellung. Deutsches Patent DE19800149A1 [online]. Zu finden unter <<http://www.patent-de.com/19990708/DE19800149A1.html>>
- Brunken H-G, Brade W, Röver H F (1997) Sieben Zuchtorganisationen im Vergleich. 2. Stichprobentest für Kreuzungsherkünfte beim Schwein in Niedersachsen. Hann Land Forst 42/1997:20-22
- Clar U, Brade W, Schön A (2002) Schweinehaltung: Mehr Power in der Mast. Hann Land Forst 30/2002:26-29
- Dalgaard R, Halberg N, Hermansen J E (2007) Danish pork production – an environmental assessment [online]. Zu finden unter <<http://www.lcafood.dk/djfh82ny.pdf>>
- Dämmgen U, Amon B, Gyldenkærne S, Hutchings NJ, Kleine Klausung H, Haenel H-D, Rösemann C (2011a) 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 61:115-126
- Dämmgen U, Amon B, Hutchings NJ, Haenel H-D, Rösemann C (2012b) Data sets to assess methane emissions from untreated cattle and pig slurry and solid manure storage systems in the German and Austrian emission inventories. Landbauforsch 62:1-19
- Dämmgen U, Berk A, Otten C, Brade W, Hutchings NJ, Haenel H-D, Rösemann C, Dänicke S, Schwerin M (2013) Anticipated changes in the emissions of greenhouse gases and ammonia from pork production due to shifts from fattening of barrows towards fattening of boars. Landbauforschung Appl Agric Forestry Res 63:47-60
- Dämmgen U, Brade W, Kleine Klausung H, Rösemann C, Haenel H-D, Berk A (2018) Ist die Nutzungsdauer von Zuchtsauen emissionsrelevant? Landbauforschung Appl Agric Forestry Res DOI:10.3220/LBF1530177613000
- Dämmgen U, Brade W, Meyer U, Haenel H-D, Rösemann C, Flessa H, Strogies M, Schwerin M (2016b) Gaseous emissions arising from protein production with German Holsteins – an analysis of the energy and mass flows of the entire production chain. 1. Goals, methods and input data. Landbauforschung Appl Agric Forestry Res 66:161-192
- Dämmgen U, Brade W, Schulz J, Kleine Klausung H, Hutchings NJ, Haenel H-D, Rösemann C (2011b) The effect of feed composition and feeding strategies on excretion rates in German pig production. Landbauforschung 61:327-342
- Dämmgen U, Haenel H-D, Rösemann, Eurich-Menden B, Döhler H (2010) Derivation of TAN related ammonia emission factor in pig production. Landbauforschung 60:241-248
- Dämmgen U, Haenel H-D, Rösemann C, Kleine Klausung 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. Landbauforschung Appl Agric Forestry Res, 67:52-70
- Dämmgen U, Hahne J, Haenel H-D, Rösemann C (2010) Die Modellierung der Emissionen von Stickstoffspezies, NMVOC und Staub aus Abluftreinigungsanlagen in der Schweinehaltung im deutschen landwirtschaftlichen Emissionsinventar. Gefahrstoffe - Reinhaltung Luft 70:437-443
- Dämmgen U, Hutchings NJ (2008) Emissions of gaseous nitrogen species from manure management - a new approach. Environ Pollut 154:488-497
- Dämmgen U, Liermann W, Bösch V, Berk A, Dänicke S (2016a) Der Einfluss der Futterkonfektionierung bei Mastschweinen und Broilern auf die Emission von Treibhausgasen und Ammoniak – Betrachtung der gesamten Produktionskette. Landbauforschung Appl Agric Forestry Res 66:45-69

Dämmgen U, Schulz J, Kleine Klausung H, Hutchings NJ, Haenel H-D, Rösemann C (2012a) Enteric methane emissions from German pigs. *Landbauforschung* 62:83-96

DEFRA (2015) DEFRA project AC0123. Appendix 2. Ammonia emission from livestock houses: case of The Netherlands [online]. Zu finden unter <<http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=17811>>

Deutscher Tierschutzbund (2017) Richtlinie für die Mastschweinehaltung im Rahmen des Tierschutzlabels „Für Mehr Tierschutz“ [online]. Zu finden unter <https://www.tierschutzlabel.info/fileadmin/user_upload/Dokumente/Mastschweine/RL_Mastschweine_2017.pdf>

DLG - Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (Hrsg.) (2008) DLG-Merblatt 315. Tränketchnik für Schweine [online]. Zu finden unter <http://2015.dlg.org/fileadmin/downloads/merblaetter/dlg-merblatt_315.pdf>

Döhler H, Eurich-Menden B, Dämmgen U, Osterburg B, Lüttich M, Bergschmidt A, Berg W, Brunsch R (2002) BMVEL/UBA Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungs-szenarien bis zum Jahr 2010. Forschungsbericht 299 42 256/02. Texte 05/02. Berlin : Umweltbundesamt

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

Eckert H, Breitschuh Th, Gernand U (2004) Bericht Umwelt-Testbetriebsnetz Thüringen. 2. Auswertejahr. Ergebnisse und Schlussfolgerungen [online]. Zu finden unter <<http://www.tll.de/ainfo/pdf/umtb0205.pdf>>

EMEP (2016) EMEP-EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2016. EEA Report 21/2016 [Online]. Verfügbar unter <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>>, mit den Kapiteln

- 1.A Combustion
- 2.A Mineral products
- 2.B Chemical industry
- 3.B Manure management
- 3.D Crop production and agricultural soils

EU - Europäische Union (2004) Directive 2004/26/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 amending Directive 97/68/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to measures against the emission of gaseous and particulate pollutants from internal combustion engines to be installed in non-road mobile machinery [online]. Zu finden unter < <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32004L0026>>

EU - Europäische Union (2016) Richtlinie (EU) 2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG [online]. Zu finden unter <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L2284&from=EN>>

Eurich-Menden B (2012) Ammoniak-Emissionsfaktoren und Minderungsmaßnahmen - Milchkuh-, Mastschweine- und Legehennenhaltung [online]. Zu finden unter <https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/artikel/Tierhaltung/Allgemeines/Ammoniak-Emissionsfaktoren/Ammoniak-Emissionsfaktoren.pdf>

Eurich Menden B, Dämmgen U, Döhler H (2004) A collation and analysis of current ammonia research data available in German. A contribution to DEFRA project AM0123. Schlussbericht für das UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), London, Projekt Nr. AM 0123. Darmstadt und Braunschweig, 35 S.

- Eurich-Menden B, Döhler H, Van den Weghe H (2011) Ammoniakemissionsfaktoren im landwirtschaftlichen Emissionsinventar. Teil 2. Geflügel und Mastschweine. Landtechnik 66:60-63
- Eurich-Menden B, Wolf U, Gallmann E (2017) Ermittlung von Emissionsdaten für die Beurteilung der Umweltwirkungen der Nutztierhaltung - Projekt EmiDaT. In: KTBL (Hrsg.) 13. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 18.-20. September 2017, Stuttgart-Hohenheim, S. 394-399
- Everts H, Dekker RA (1995) Effect of protein supply during pregnancy and lactation on body composition of sows during three reproductive cycles. Livestock Prod Sci 43:137-147
- Fritsche UR (2003) Energiebilanzen und Treibhausgas-Emissionen für fossile Brennstoffketten und Stromerzeugungsprozesse in Deutschland für die Jahre 2000 und 2020 - Bericht für den Rat für Nachhaltige Entwicklung. Freiburg: Öko-Institut [online]. Zu finden unter <http://www.nachhaltigkeitsrat.de/uploads/media/Energiebilanzen_fossil_und_Strom_08-03_01.pdf>
- Freitag M, Wittmann M (2009) Abgangsursachen von Zuchtsauen. Nutztierpraxis aktuell Sonderheft AVA Tagung 2009, 185-189
- Gehring K (2014) Unkrautkontrolle in Sojabohnen [online]. Zu finden unter <www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ips/dateien/unkrautkontrolle_in_sojabohnen_pr_sentation_.pdf>
- GfE - Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2006) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. Frankfurt a M, DLG-Verlag, 247 S.
- Greshake F (2017) Wie fit sind unsere Tiere? Bauernzeitung 58/8:42-53
- Groenestein CM, Hol JMG, Vermeer HM, Den Hartog LA, Metz JHM (2001) Ammonia Emission from an Individual- and two Group-housing Systems for Sows. Netherlands J Agricultural Sci 49:313-322
- 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. Landbauforschung 61:217-228
- Haenel H-D, Rösemann C, Dämmgen U, Freibauer A, Döring U, Wulf S, Eurich-Menden B, Döhler H, Schreiner C, Osterburg B (2016) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2014. Report on methods and data (RMD) Submission 2016. Braunschweig : Johann Heinrich von Thünen Inst, Thünen Rep 39. 408 S.
- Hansen AV, Strathe AB, Theil PK, Kebreab E (2014) Energy and nutrient deposition in the reproducing sow : Model development and evaluation. J Anim Sci 92:2458-2472
- Heinze A (2014) Ferkelverluste durch Management und Fütterung im Griff [online]. Zu finden unter <www.ltl.de/ainfo/pdf/fver0214.pdf>
- Hilgers J, Kremling R (2013) Lang lebe die Sau. top agrar 7/2013, S6-S8
- Icha P (2014) Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2013. Climate Change 23/2014 [online]. Zu finden unter <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/climate_change_23_2014_komplett.pdf>
- IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung (2012) Aktualisierung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030" (TREMOM, Version 5.3) für die Emissionsberichterstattung 2013 (Berichtsperiode 1990-2011). Endbericht für das Umweltbundesamt [online]. Zu finden unter <[https://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/IFEU\(2012\)_Bericht_TREMOM_FKZ_360_16037_121113.pdf](https://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/IFEU(2012)_Bericht_TREMOM_FKZ_360_16037_121113.pdf)>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2000) IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 4. Agriculture [online]. Zu finden unter <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/English/4_Agriculture.pdf>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,

Volume 2 Energy [online]. Zu finden unter <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>>

Volume 3 Industrial Processes and Product Use [online]. Zu finden unter <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>>

Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use [online]. Zu finden unter <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate Change 2007 : Working Group I: The physical science base: 2.10.2: Direct global warming potentials [online]. Zu finden unter <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html>

IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry (1993) Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry. 2nd ed., London : Blackwell, 160 S.

IUPAP – International Union of Pure and Applied Physics (1987) Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics. Physica 146A:1-68

Jarvis S, Hutchings N, Brentrup F, Olesen FE, van de Hoek KW (2011) Nitrogen flows in farming systems across Europe. In: Sutton M, Howard CM, Erisman JW, Billen G, Bleeker A, Grennfelt P, van Grinsven H, Grizzetti B (Hrsg.) The European nitrogen assessment. Cambridge : Cambridge University Press. S. 211-228

Jenssen TK, Kongshaug G (2003) Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertiliser production. International Fertiliser Society, Paris, Proceedings No. 509

Jimmink BA, Coenen PWHG, Dellaert SNC, Dröge R, Geilenkirchen GP, Hammingh P, Leekstr AJ, van der Maas CWM, te Molder RAB, Oude Voshaar SV, Peek CJ, van der Sluis SD, Smeets WLM, Wever D (2017) Informative Inventory Report 2017. Emissions of transboundary air pollutants in the Netherlands 1990-2015. RIVM Report 2017-0002 [online]. Zu finden unter <<http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=76b3bdb6-0602-4e35-8e42-9762a234bc30&type=pdf&disposition=inline>>

Jørgensen H, Theil PK, Knudsen KEB (2011) Enteric Methane Emission from Pigs. Planet Earth 2011 – Global Warming Challenges and Opportunities for Policy and Practice London : IntechOpen. S. 605-622.

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

Kirchgeßner M, Roth FX, Schwarz FJ, Stangl G (2008) Tierernährung. Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. Frankfurt/M. : DLG-Verlag

Knap PW (2014) Pig breeding goals in competitive markets. Proceedings, 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production [online]. Zu finden unter <https://asas.org/docs/default-source/wcgalp-proceedings-oral/007_paper_8901_manuscript_518_0.pdf?sfvrsn=2>

Knol EF, Nielsen B, Knap PW (2016) Genomic selection in commercial pig breeding. Animal Frontiers 6:15-22

Kremling R (2013) Nach dem 8. Wurf ist Schluss. top agrar 7/2013, S10

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

- KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.) (2014) Betriebsplanung Landwirtschaft 2014/15. 24. Aufl., Darmstadt : KTBL
- Li K (2014) Modelling genomic selection schemes in Bavarian pig breeding programs using ZPLAN+. Diss TU München, 92 S [online]. Zu finden unter <<http://mediatum.ub.tum.de/doc/1222216/1222216.pdf>>
- LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2006) Schweinezucht und Schweineproduktion [online]. Zu finden unter <https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_19786.pdf>
- LWK-Nds – Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2017) Leitfaden der ordnungsgemäßen Landwirtschaft [online]. Zu finden unter <<https://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/flie/28592.htm>>
- LWK-NRW - Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2014) Nährstoffbericht NRW 2014 [online]. Zu finden unter <[https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft.ackerbau\(pdf/naehrstoffbericht-nrw-2014.pdf](https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft.ackerbau(pdf/naehrstoffbericht-nrw-2014.pdf)>
- LKV Bayern (2015) Zuchtsauenhaltung [online]. Zu finden unter <http://www.lkv.bayern.de/lkv/medien/Jahresberichte/flp_15_fe.pdf>
- Mikkelsen MH, Albrektsen R, Gyldenkærne S (2014) Danish Emission Inventories for Agriculture. Inventories 1985 – 2011. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No 108 [online]. Zu finden unter <<http://dce2.au.dk/pub/SR108.pdf>>
- Misselbrook TH, Gilhespy SL, Cardenas LM, Williams J, Dragosits U (2015) Inventory of Ammonia Emissions from UK Agriculture 2014 [online]. Zu finden unter <https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat07/1605231002_nh3inv2014_Final_20112015.pdf>
- Monteith JL (1984) Consistency and convenience in the choice of units for agricultural science. *Expl Agric* 20:105-117
- Müller J (2012) Wie teuer wird das 30. Ferkel? Grenzkostenentwicklung in der Ferkelerzeugung bei hoher Produktionsintensität. Vortrag Hessischer Schweinetag. Alsfeld, 30. November 2011. 8 S. [online]. Zu finden unter <<https://www.schweine.net/services/.../Mueller%20Grenzkosten%20Ferkelerzeugung.pdf>>
- Müller J (2014) Betriebswirtschaftliche Richtwerte Systemferkelproduktion und Ferkelaufzucht. Jena : Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft [online]. Zu finden unter <http://www.tll.de/ainfo/pdf/rw_sferk.pdf>
- Müller J (2016): Kostenwirkungen erhöhter Tierwohl- und Umweltschutzanforderungen. Vortrag Sächsischer Schweinetag, Klipphausen, OT Groitzsch, 25.10.2016
- Müller S, Müller J, Bauer Th, Maier U (2015a) Schweinehaltung in Thüringen. Situationsanalyse [online]. Zu finden unter <www.tll.de/www/daten/publikationen/schriftenreihe/bh2_15_state_sp.pdf>
- Müller S, Roesner P, Eger S, Neues B, Sassmann U, Giering H, Lorenz M, Hebert P (2015b) Statuserhebung schweinehaltender Betriebe in Thüringen. Ergebnisse. Foliensatz, unveröffentlicht
- MVROM - Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (2017) Regeling ammoniak en veehouderij. Geldend van 12-04-2017 t/m heden [online]. Zu finden unter <<http://wetten.overheid.nl/BWBR0013629/2017-04-12>>
- Nguyen TLT, Hermansen JE, Mogensen L (2011) Environmental assessment of Danish pork. Report No. 103. Aarhus : Aarhus University. 38 S.
- Pacholski A, Doehler J, Schmidhalter U, Kreuter T (2017) Scenario modeling of ammonia emissions from surface applied urea under temperate conditions: application effects and model comparison. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 110:177-193

- Pan B, Lam SK, Mosier A, Luo Y, Chen D (2016) Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: A global synthesis. *Agric Ecosystems Environment* 232:283-289
- Pflanz W (2011) Emissionsminderungsmaßnahmen in der Schweinehaltung. In: KTBL (Hrsg.) Emissionen der Tierhaltung. Treibhausgase, Umweltbewertung, Stand der Technik. KTBL-Tagung 6. bis 8. Dezember 2011, Kloster Banz. KTBL-Schrift 491, S. 270-278.
- Philippe FX, Laitat M, Wavreille J, Bartiaux-Thill N, Nicks B, Cabaraux JF (2011) Ammonia and greenhouse gas emission from group-housed gestating sows depends on floor type. *Agri Ecosystems Environ* 140:498–505
- Philippe FX, Nicks B (2013) Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. Proc European Workshop: Reconciling the environment with livestock management, Rennes, March 19 to 20 [online]. Zu finden unter <<http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/146949>>
- Philippe FX, Nicks B (2014) Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. *Agric Ecosystems Environ* 199:10-25
- PTB – Physikalische-Technische Bundesanstalt (2007) Themenschwerpunkt: Das Internationale Einheitensystem (SI). PTB-Mitteilungen, Fachorgan für Wirtschaft und Wissenschaft, Amts- und Mitteilungsblatt der PTB Braunschweig und Berlin. Sonderdruck aus 117. Jahrgang, Heft 2, Juni 2007 [online]. Zu finden unter <<http://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/publikationen/DasInternationaleEinheitensystem.pdf>>
- Reckmann K (2013) Life Cycle Assessment of pork especially emphasising feed and pig production. Diss. Kiel : Christian-Albrechts-Universität, 134 S.
- Reinhold, G. (2015): Biogas in Thüringen- Stand und Perspektiven -TLL Jena [online]. Zu finden unter <http://www.tll.de/ainfo/ai_idx.htm>
- Rijkswaterstaat (o.J.) Bijlage 1: Stalbeschrijvingen (leaflets) en emissiefactoren [online]. Zu finden unter <<https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/ammoniak/rav/stalbeschrijvingen/>>
- Roth D, Günther R, Knoblauch S, Michel H (2005) Wasserhaushaltsgrößen von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen Ergebnisse der TLL-Lysimeterstation. Schriftenreihe Heft 1 / 2005 [online]. Zu finden unter <<http://www.tll.de/ainfo/pdf/lysi0505.pdf>>
- 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. *Thünen Rep* 46, 395 S.
- Rzeźnik W, Mielcarek P (2016) Greenhouse Gases and Ammonia Emission Factors from Livestock Buildings for Pigs and Dairy Cows. *Polish J Environ Stud* 25:1-9
- Schön A, Reichenbach H-W, Brade W (2002) Schweinemast: Weniger Futter für höhere Zunahmen. *Land Forst* 4/2002:48-49
- Scholz R, Jeschar R, Jennes R, Fuchs W (1994) Umweltgesichtspunkte bei der Herstellung und Anwendung von Kalkprodukten. Teil 1. *Zement-Kalk-Gips* 47:571-581
- Schuster, A. (2009) Der Einfluss der Paritäten in der Sauenherde [online]. Zu finden unter <<http://www.hypor.fr/~media/Files/Hypor/Weaning%20Capacity%20Articles/German/WC%2010%20Einfluss%20der%20Parit%C3%A4ten%20in%20der%20Sauenherde.pdf>>
- SKBR - Schweinekontroll und Beratungsring (2014) Jahresbericht 2013 [online]. Zu finden unter <<http://tvlev.de/cms/sites/default/files/downloads/publikationen/SKBR%20Jahresbericht%202013.pdf>>

SKBR - Schweinekontroll und Beratungsring (2015) Jahresbericht 2014 [online]. Zu finden unter <http://www.tvlev.de/cms/sites/default/files/downloads/publikationen/SKBR%20Jahresbericht%202014_0.pdf>

Sojaförderring (2013) Sojabohnen [online]. Zu finden unter <<https://www.sojafoerderring.de/wp-content/uploads/2013/12/Sojabohnen-Sortenratgeber-20164.pdf>>

Sonesson U, Christel Cederberg C, Berglund M (2009) Greenhouse gas emissions in pig meat production. Decision report for climate certification [online]. Zu finden unter <www.klimatmartningen.se/wp-content/uploads/2009/12/2009-5-pig.pdf>

Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu (2012) Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu van 1 oktober 2012, nr. IENM/BSK-2012/192060 tot wijziging van de Regeling ammoniak en veehouderij [online]. Zu finden unter <<https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2012-21301.odt>>

StatBA - Statistisches Bundesamt (2016a), Fachserie 3, Reihe 3.2.1. Wachstum und Ernte - Feldfrüchte 2015 [online]. Zu finden unter <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ErnteFeldfruechte/Juni2030321152034.pdf?__blob=publikationFile>

StatBA - Statistisches Bundesamt (2016b), Fachserie 3, Reihe 4.1, Viehbestand [online]. Zu finden unter <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ViehbestandTierischeErzeugung/Viehbestand2030410165324.pdf;jsessionid=3051C0C6F564EDCE783EB296B72893DF.cae3?__blob=publicationFile>

StatBA - Statistisches Bundesamt (2016c), Fachserie 4, Reihe 8.2, Produzierendes Gewerbe, Düngemittelversorgung [online]. Zu finden unter <https://www.destatis.de/Publikationen/Thematisch/IndustrieVerarbeitendesGewerbe/Fachstatistik/DuengemittelversorgungJ2040820167004.pdf?__blob=publicationFile>

Stehfest E, Bouwman L (2006) N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation.: summarizing available measurement data and modeling of global emissions. Nutr Cycl Agroecosyst 74:207-228

Thüringer Aufbaubank (ohneJahr) ILU - Teil A - Agrarinvestitionsförderungsprogramm Thüringen (AFP) Anlagen 7 und 8 [online]. Zu finden unter <<https://www.aufbaubank.de/Foerderprogramme/ILU-Teil-A#download>>

Thüringer Klimaagentur (ohneJahr) Temperatur [online]. Zu finden unter <www.thueringen.de/th8/klimaagentur/impakt/regionale_auswirkungen/ergebnisse/hauptklimaparameter/temperatur>

TLL - Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2012) Merkblatt „Eigenschaften von Biogasgülle“ [online]. Zu finden unter <<http://www.db-thueringen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-26323/bwx21012.pdf>>

TLS - Thüringer Landesanstalt für Statistik (2011) Landwirtschaftszählung in Thüringen 2010, Wirtschaftsdünger, Stallhaltung, Weidehaltung [online]. Zu finden unter <https://statistik.thueringen.de/webshop/pdf/2010/03006_2010_01.pdf>

TLS - Thüringer Landesanstalt für Statistik (2017) Agrarstrukturerhebung in Thüringen 2016. Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft der landwirtschaftlichen Betriebe [online]. Zu finden unter <https://statistik.thueringen.de/webshop/pdf/2016/03413_2016_01.pdf>

TMfUEN - Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (2016) Immissionsschutzrechtliche Anforderungen an Tierhaltungsanlagen und Einführung der Geruchs-Immissionsrichtlinie (GIRL) [online]. Zu finden unter <https://www.thueringen.de/mam/th8/imlfun/umwelt/immissionsschutz/filtererlass_thueringen_2016.pdf>

TVL - Thüringer Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfung e.V. (2016) Jahresbericht 2015 [online]. Zu finden unter
<http://www.tvlev.de/cms/sites/default/files/downloads/publikationen/TVL%20Jahresbericht%202015_Endfassung_01-04-16.pdf>

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

van Zeist WJ, Marinussen M, Broekema R, Groen E, Kool A, Dolman M, Blonk H (2012): LCI data for the calculation tool Feedprint for greenhouse gas emissions of feed production and utilization. Other products [online], Zu finden unter <blonkconsultants.nl/upload/pdf/PDV_rapporten/Crushing_industry.pdf>

Vdi-KRdL- Verein Deutscher Ingenieure, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (2010): Messung atmosphärischer Deposition; Probenahme mit Bulk- und Wet-only-Sammlern; Grundlagen. VDI 4320, Blatt 1. Berlin : Beuth.

Vonk J, Bannink A, van Bruggen C, Groenestein CM, J.F.M. Huijsmans JFM, van der Kolk JWH, Luesink HH, Oude Voshaar SV, van der Sluis SM, Velthof GL (2016) Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations of CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ with the National Emission Model for Agriculture (NEMA). WOt-rechnical report 53. [online] Zu finden unter <<http://edepot.wur.nl/383679>>

Webb J, Eurich-Menden B, Dämmgen U, Agostini F (2009) Review of published studies estimating the abatement efficacy of reduced-emission slurry spreading techniques. In: Sutton MA, Reis S, Baker SMH (Hrsg.) Atmospheric Ammonia. Detecting emission changes and environmental impacts. Results of an Expert Workshop under the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. Heidelberg : Springer. S. 195-202