

# Landbauforschung

*Applied Agricultural  
and Forestry Research*

Vol. 67  
No. 2 · 06.2017



## Landbauforschung

Landbauforschung *Applied Agricultural and Forestry Research* ist eine wissenschaftliche Zeitschrift, in der Forschungsergebnisse zu gesellschaftlich relevanten Themen veröffentlicht werden, die einen Bezug zur Landwirtschaft, zur Forstwirtschaft und zur ländlichen Entwicklung aufweisen. Die Zeitschrift ist damit explizit Disziplinen übergreifend ausgerichtet.

Veröffentlicht werden insbesondere anwendungsorientierte wissenschaftliche Beiträge, die interdisziplinär angelegt sind oder die ausgeprägte Bezugspunkte zu anderen Fachdisziplinen aufweisen. Der geographische Fokus der Zeitschrift liegt auf Deutschland und Europa. Die Sprache der Beiträge ist deutsch oder englisch. Alle Beiträge unterliegen einer doppelt anonymen Begutachtung (double-blind peer review).

Landbauforschung *Applied Agricultural and Forestry Research* wird vom Thünen-Institut in Braunschweig herausgegeben. Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren und Autorinnen verantwortlich. Eine Haftungsübernahme durch die Redaktion erfolgt nicht.

Mit der Einsendung von Manuskripten geben die Verfasser/Verfasserinnen ihre Einwilligung zur Veröffentlichung. Die von den Autoren/Autorinnen zu beachtenden Richtlinien zur Einreichung der Beiträge sind unter [www.thuenen.de/de/infotehek/publikationen/landbauforschung/](http://www.thuenen.de/de/infotehek/publikationen/landbauforschung/) oder bei der Geschäftsführung erhältlich.

Als Printausgabe erscheinen vier Hefte pro Jahr. Beiträge, die noch keinem bestimmten Heft zugeordnet sind, werden als Online First – Version veröffentlicht.

Indexiert in: CAB International, Science Citation Index Expanded, Current Contents – Agriculture, Biology & Environmental Sciences, Scopus, Web of Science.

Herausgeber  
Johann Heinrich von Thünen-Institut

Schriftleitung  
Prof. Dr. Andreas Bolte,  
Prof. Dr. Peter Weingarten

Geschäftsführung  
Dr. Hans-Walter Roering  
Tel. +49 (0) 40 - 73962 239  
Leuschnerstraße 91  
21031 Hamburg, Germany  
[landbauforschung@thuenen.de](mailto:landbauforschung@thuenen.de)  
[www.thuenen.de](http://www.thuenen.de)

Grafikdesign und Satz  
Karin Tamoschat-Depolt, Thünen-Institut

Fotos Umschlagseite  
Katja Seifert, Thünen-Institut (2),  
Michael Welling, Thünen-Institut (1)

ISSN 0458-6859

Alle Rechte vorbehalten.

## Applied Agricultural and Forestry Research

Landbauforschung *Applied Agricultural and Forestry Research* is a scientific journal, concerning the latest research results of socially relevant issues related to agriculture, forestry and rural development. The journal is targeted explicitly to interdisciplinary topics.

Particularly welcome are application-oriented scientific contributions with an interdisciplinary approach or with a close connection to other research areas. The geographical focus of the journal is Germany and Europe. Articles may be written in English or German. All articles are subject to a double-blind peer review.

Landbauforschung *Applied Agricultural and Forestry Research* is published by the Thünen Institute with headquarters in Brunswick, Germany. Authors are responsible for the content of their articles. The publishers are not liable for the content.

With the submission of a manuscript, the authors grant permission for publication. The guidelines for the submission of manuscripts can be found under [www.thuenen.de/en/infotehek/publikationen/landbauforschung/](http://www.thuenen.de/en/infotehek/publikationen/landbauforschung/) or obtained from the publishers.

The print edition is published quarterly. Articles not yet assigned to a specific issue are available online ("Online First")

Indexed in: CAB International, Science Citation Index Expanded, Current Contents – Agriculture, Biology & Environmental Sciences, Scopus, Web of Science.

Publisher  
Johann Heinrich von Thünen Institute

Editor in Chief  
Prof. Dr. Andreas Bolte,  
Prof. Dr. Peter Weingarten

Managing Editor  
Dr. Hans-Walter Roering  
Tel. +49 (0) 40 - 73962 239  
Leuschnerstraße 91  
21031 Hamburg, Germany  
[landbauforschung@thuenen.de](mailto:landbauforschung@thuenen.de)  
[www.thuenen.de](http://www.thuenen.de)

Graphic Design and Typesetting  
Karin Tamoschat-Depolt, Thünen Institute

Photos cover pages  
Katja Seifert, Thünen Institute (2),  
Michael Welling, Thünen Institute (1)

ISSN 0458-6859

All rights reserved.

**Inhalt**  
*Content*

- Ulrich Dämmgen, Hans-Dieter Haenel, Claus Rösemann, Heinrich Kleine Klausing, Jim Webb, Wilfried Brade, and Andreas Berk  
**Energy requirements and excretion rates of pigs used for reproduction (young sows, young boars, breeding sows and boars) – a compilation and assessment of models**  
Energiebedarf und Ausscheidungsraten von Schweinen für die Zucht (Jungsauen und -eber, Zuchtsauen und -eber) – eine Zusammenstellung und Bewertung von Modellen  
53
- Lisa Baldinger, Imke Traulsen, Friedrich Weißmann, Joachim Krieter, Ralf Bussemas  
**Vergleich der Injektions- und Inhalationsnarkose zur Kastration von ökologisch aufgezogenen Ferkeln hinsichtlich Verhalten und Wachstum**  
Comparison of injection and inhalation anesthesia for castration of organic piglets, with regard to behavior and growth  
71
- Regine Koopmann und Stefan Kühne  
**Tierarzneimittel (Antiparasitika) im Kuhfladen – Ein Risiko für Nicht-Ziel-Organismen (Literaturübersicht)**  
Veterinary Pharmaceuticals (Antiparasitics) in Cattle Dung – A Risk for Non-Targeted Organisms (Overview on Literature)  
79
- Rainer Schlepphorst, Holger Hartmann und Dieter Murach  
**Versuchsflächen mit schnellwachsenden Baumarten in Brandenburg – Ertragskundliche Ergebnisse für 2006 bis 2015**  
Yield of fast-growing tree species in northeast Germany: results of research with experimental plots (2006 to 2015)  
93





# Energy requirements and excretion rates of pigs used for reproduction (young sows, young boars, breeding sows and boars) – a compilation and assessment of models

Ulrich Dämmgen\*, Hans-Dieter Haenel\*, Claus Rösemann\*, Heinrich Kleine Klausing\*\*, Jim Webb\*\*\*, Wilfried Brade\*\*\*\*, and Andreas Berk\*\*\*\*\*

## Abstract

In many cases, the assessment of measures to reduce emissions presupposes the screening of the entire production chain, i.e. the fattening of animals, the upstream piglet and feed production including the provision of fertilizer, water and energy carriers.

This paper investigates how energy requirements as well as volatile solids and nitrogen excretions of animals in piglet production (young sows and boars as well as breeding sows and boars) can be described in as much detail as possible. Calculation procedures published in the literature are compared with those used in national emission reporting.

For young sows and boars, the procedures used in German emission reporting can be applied in a modified form, reflecting the animals' gender. The module for breeding sows can be used but has to be applied to each single reproduction cycle.

For breeding boars, their productive lifespan is the determining entity. The module described here allows for the variation of input parameters.

**Keywords:** *piglet production, breeding pigs, energy requirements, excretions*

## Zusammenfassung

### Energiebedarf und Ausscheidungsraten von Schweinen für die Zucht (Jungsauen und -eber, Zuchtsauen und -eber) – eine Zusammenstellung und Bewertung von Modellen

Die Bewertung von Maßnahmen zur Emissionsminderung setzt in vielen Fällen die Untersuchung der gesamten Produktionskette voraus, d. h. die Mast von Tieren, die vorge-lagerte Ferkelproduktion und die Futtererzeugung einschließlich der Bereitstellung von Dünger, Wasser und Energieträgern.

Diese Arbeit untersucht, wie der Bedarf an umsetzbarer Energie und die Ausscheidungen von organischer Substanz und Stickstoff bei in der Ferkelproduktion zu findenden Tieren (Jungsauen und -eber sowie Zuchtsauen und -eber) möglichst detailliert beschrieben werden kann. Dazu werden in der Literatur beschriebene Berechnungsverfahren mit den in der Emissionsberichterstattung eingesetzten verglichen.

Für Jungsauen und -eber werden die in der deutschen Emissionsberichterstattung benutzten Verfahren in modifizierter Form (geschlechtsspezifisch) eingesetzt; das Sauenmodul der Emissionsberichterstattung wird übernommen, muss aber auf jeden einzelnen Reproduktionszyklus angewendet werden. Bei Zuchtebern ist die Nutzungsdauer das entscheidende Kriterium für Energiebedarf und Ausscheidungen. Das hier dargestellte Modul erlaubt es, Eingangsgrößen zu variieren.

**Schlüsselwörter:** *Ferkelproduktion, Zuchtschweine, Energiebedarf, Ausscheidungen*

\* Johann Heinrich von Thünen Institute (Thünen), Institute for Climate-Smart Agriculture, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Germany

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

\*\*\* Faculty of Science and Engineering, MI Building, City Campus - South Wulfruna St, Wolverhampton WV1 LY, United Kingdom

\*\*\*\* University of Veterinary Medicine Hannover (TiHo), Institute for Animal Breeding and Genetics, Bünteweg 17p, 30559 Hannover, Germany

\*\*\*\*\* Friedrich Loeffler Institute (FLI), Federal Research Institute for Animal Health, Institute of Animal Nutrition, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Germany

## 1 Introduction

Pork production is a major branch of German livestock husbandry. The overall production value of German agriculture is 52.6 bln Euro (DBV, 2015) of which about six bln Euro originate directly from pork production (BMEL, 2016). Pork production (in the strict sense: rearing and manure management, excluding the necessary feed production, fertilizer production and application, etc.) is also a major source of air pollution, in particular of ammonia ( $\text{NH}_3$ ). 124 Gg  $\text{a}^{-1}$   $\text{NH}_3$  (data for 2014, Haenel et al., 2016) from pork production form a considerable portion of the 740 Gg  $\text{a}^{-1}$  emitted in Germany (UBA, 2016a). Greenhouse gas (GHG) emissions from enteric fermentation and manure management amount to 4.0 Tg  $\text{a}^{-1}$   $\text{CO}_2\text{-eq}^1$  (data for 2014, Haenel et al., 2016) which is a minor contribution to the overall national emissions of 902 Tg  $\text{a}^{-1}$   $\text{CO}_2\text{-eq}$  (UBA, 2016b).

Efforts to identify approaches to emission reduction which leave production intact have to be preceded by a detailed analysis in order to identify and assess the emission reduction potentials along the entire production chain, i.e., the emissions from livestock husbandry (production of breeding animals, piglet production, fattening) as well as those emissions arising from feed production and the provision of energy and water. In pork production, about one third of the GHG emissions from the entire fattening pig production chain can be attributed to feed production and conditioning, fertilizer production and water and energy provision (Dämmgen et al., 2016).

For the purpose of emission reporting within the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, undated) and the European National Emission Ceilings Directive (EC, 2016), the description of four livestock categories is considered sufficient: weaners, fattening pigs, sows (including piglets up to a weight of 8 kg piglet $^{-1}$ ) and boars used for reproduction (Haenel et al., 2016). German statistics provide animal numbers which can be transformed so that these categories can be described adequately (Haenel et al., 2011a). For a detailed analysis of emission reduction potentials in pork production the descriptions of weaners and fattening pigs as in emission reporting can be used without additional modifications. However, some animal categories are not needed in the emission inventory, such as young sows and young boars used in sow production. The inventory established for emission reporting can adequately deal with "mean breeding sows". The analysis and the calculation of scenarios, however, will have to deal with varying numbers of litters per lifespan and varying live weights. For breeding boars, the inventory uses default data concerning their metabolizable energy (ME) and feed requirements. With respect to the small numbers of animals affected and the constraints of the availability of statistical data, this is sufficiently accurate (see Haenel et al., 2016, for an overview). However, a

detailed analysis of breeding boars' properties and feed requirements remains desirable.

For an in-depth study of emission reduction potentials it is desirable not to use default parameters, but to take the effects of varied animal weights and weight gains or of an extended productive lifespan into account.

This paper includes scenarios of pork production. It has to be able to depict future developments as well as historic trends as pork production is a dynamic business (see Figure 1 as example). For further details on the genetics and breeding of highly fertile sows see e.g. Rothschild and Ruvinsky (2011).

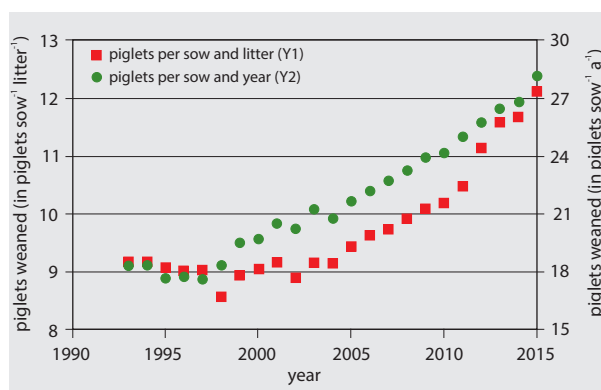


Figure 1

Development of piglet production between 1993 and 2015, example data for Thüringen (Thuringia) (TVL/SKBR, various internal annual reports)

The methodologies describing young sows, young boars, breeding sows and boars should correspond with the existing ones and should, as far as possible, follow the official German recommendations in GfE (2008).

This paper collates the methodologies required to quantify ME requirements as well as emissions from enteric fermentation, volatile solids (VS) and nitrogen (N) excretion in faeces and urine. As the emissions are to be related to the marketable product (pork), an analysis of the carcass composition of slaughtered animals is included.

## 2 Methods

Animals excrete carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), methane ( $\text{CH}_4$ ) as well as VS and N in faeces and urine.

The  $\text{CO}_2$  released from respiration is not considered an emission. Instead, the agricultural carbon cycle is considered closed: all  $\text{CO}_2$  fixed in photosynthesis and fed to animals is finally released with the animals' breath or from decaying organic matter excreted.

The amounts excreted are a function of the feed intake which is itself a function of the energy requirements of the animals. Energy requirements, feed intake and excretions are calculated for each single phase of an animal's lifespan (accumulated amounts for a weaner, each feeding phase in the rearing of a sow or boar, etc., see Section 2.1).

<sup>1</sup> The unit used to quantify GHG emissions is "kg  $\text{CO}_2$  equivalents". This reflects the different global warming potentials of the gases considered. With respect to global warming, the effectiveness of methane ( $\text{CH}_4$ ) or nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ) is 25 and 298 times higher than that of  $\text{CO}_2$ , respectively. (For details see IPCC, 2007.)

**Table 1**  
Terminology used for animals in piglet production

animal category	stage	approx. duration of stage	stage symbol	feeding	
	as in this paper	German equivalent			
weaner	weaner	Aufzuchtferkel	2 months	we	2 phases
sow	young sow *	Jungsau	6 months	ys	3 phases
	breeding sow	Zuchtsau **			
	1st litter	1. Wurf	21 weeks	bs1	3 phases
	2nd litter	2. Wurf	21 weeks	bs2	3 phases
	3rd litter	3. Wurf	21 weeks	bs3	3 phases
	etc	usw.			
boar	young boar	Jungeber	5 months	yb	3 phases
	breeding boar	Zuchteber	2 years	bb	1 phase
* English and German terminologies are not standardized. Young sows are also named “gilts”. This paper restricts the term “gilt” to female fattening pigs. The terms “Jungsau” and “Jungeber” are equivalent to “weibliche Zuchtläufer” and “männliche Zuchtläufer”.					
** Breeding sows after their first insemination may be called “Jungsauen” in German.					

## 2.1 Times and terms

The time between weaning and slaughtering of a sow or boar is treated as its lifespan. For animals used for breeding piglets these lifespans (weaning to slaughtering of an animal) are subdivided in stages and phases defined by their respective activity or feeding regime as follows:

## 2.2 Energy requirements

The requirements of metabolizable energy (ME) are a function of the animal type and are dependent on weight, growth (weight gain), reproduction (numbers of piglets) and the production of milk. The description of each single animal category begins with the derivation of ME requirements.

## 2.3 Excretion rates

The methodology to calculate excretion rates does not change between animal categories. Any matter that passes

the animals' digestive system (VS or N in faeces) or originates from the animal metabolism (N in urine) or transformation within the animal ( $\text{CH}_4$  from enteric fermentation) is called an excretion.

### 2.3.1 Methane excretion

$\text{CH}_4$  from enteric fermentation originates almost entirely from bacterial action in the pigs' hind gut. Various attempts have been made to quantify this  $\text{CH}_4$ . As described in Dämmgen et al. (2012), the method derived by Kirchgeßner et al. (1991) was chosen for the derivation of the methane conversion rate (MCR) to be used in the German agricultural emission inventory. It relates the daily  $\text{CH}_4$  emission rates to the amount of bacterially fermentable substrate (BFS) as in Equation (1):

$$E_{\text{CH}_4, \text{ef}} = a_{\text{ef}} + b_{\text{ef}} \cdot m_{\text{BFS}} = a_{\text{ef}} + b_{\text{ef}} \cdot DM \cdot \eta_{\text{BFS}} \quad (1)$$

where

$E_{\text{CH}_4, \text{ef}}$   $\text{CH}_4$  emission rate from enteric fermentation (in  $\text{kg animal}^{-1} \text{d}^{-1} \text{CH}_4$ )  
 $a_{\text{ef}}$  constant (in  $\text{kg animal}^{-1} \text{d}^{-1}$ )  
 $b_{\text{ef}}$  coefficient (in  $\text{kg kg}^{-1} \text{CH}_4$ )  
 $m_{\text{BFS}}$  rate of BFS available for fermentation (in  $\text{kg animal}^{-1} \text{d}^{-1}$ )  
 $DM$  dry matter intake rate (in  $\text{kg animal}^{-1} \text{d}^{-1}$ )  
 $\eta_{\text{BFS}}$  mean BFS content of feed (dry matter) (in  $\text{kg kg}^{-1}$ )

The rate of BFS supplied in the diet is calculated from the diet composition using Equation (2) (see Kirchgeßner et al., 2008, pg 169).

$$m_{\text{BFS},i} = \eta_{\text{BFS},i} \cdot m_{\text{DM},i} = m_{\text{OM},i} \cdot x_{\text{D},\text{OM},i} - m_{\text{XP},i} \cdot x_{\text{D},\text{XP},i} - m_{\text{XF},i} \cdot x_{\text{D},\text{XF},i} - (m_{\text{st},i} + m_{\text{su},i}) \quad (2)$$

where

$m_{\text{BFS},i}$	rate of BFS available for fermentation in a feed constituent $i$ (in kg animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
$\eta_{\text{BFS},i}$	BFS content of a feed constituent $i$ (in kg kg <sup>-1</sup> )
$m_{\text{DM},i}$	intake rate of dry matter of a feed constituent $i$ (in kg animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
$m_{\text{OM},i}$	intake rate of organic matter of a feed constituent $i$ (in kg animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
$x_{\text{D},\text{OM},i}$	digestibility of organic matter of feed constituent $i$ (in kg kg <sup>-1</sup> )
$m_{\text{XP},i}$	intake rate of crude protein of a feed constituent $i$ (in kg animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
$x_{\text{D},\text{XP},i}$	digestibility of crude protein of feed constituent $i$ (in kg kg <sup>-1</sup> )
$m_{\text{XF},i}$	intake rate of crude fat of a feed constituent $i$ (in kg animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
$x_{\text{D},\text{XF},i}$	digestibility of crude fat of feed constituent $i$ (in kg kg <sup>-1</sup> )
$m_{\text{st},i}$	intake rate of starch of a feed constituent $i$ (in kg animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
$m_{\text{su},i}$	intake rate of sugars of a feed constituent $i$ (in kg animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )

Values for  $m_{\text{BFS},i}$  used in this paper were calculated according to Equation (2) or taken from the literature as listed in Dämmgen et al. (2012).

Both constant and coefficient in Equation (1) vary between growing pigs and sows, for sows also with the mean BFS content  $\eta_{\text{BFS}}$ . Kirchgeßner et al. (1991) propose differentiating between three cases:

- growing pigs:  
in any case  $a_{\text{ef}} = 0.00000 \text{ kg animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ;  
 $b_{\text{ef}} = 0.020 \text{ kg kg}^{-1}$
- sows and boars:  
if  $\eta_{\text{BFS}} < 0.08 \text{ kg kg}^{-1}$  then  
 $a_{\text{ef}} = 0.00000 \text{ kg animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ;  
 $b_{\text{ef}} = 0.020 \text{ kg kg}^{-1}$   
if  $\eta_{\text{BFS}} \geq 0.08 \text{ kg kg}^{-1}$  then  
 $a_{\text{ef}} = 0.00285 \text{ kg animal}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ;  
 $b_{\text{ef}} = 0.013 \text{ kg kg}^{-1}$

A modified Equation (1) can be used to quantify the CH<sub>4</sub> emissions from enteric fermentation for the entire stage, assuming constant DM intake rates:

$$\sum_{\theta_B}^{\theta_E} E_{\text{CH}_4, \text{ef}} = (a_{\text{ef}} + b_{\text{ef}} \cdot DM \cdot \eta_{\text{BFS}}) \cdot t_{\text{stage}} \quad (3)$$

with

$$t_{\text{stage}} = \theta_E - \theta_B \quad (4)$$

where

$\sum_{\theta_B}^{\theta_E} E_{\text{CH}_4, \text{ef}}$	CH <sub>4</sub> emission rate from enteric fermentation from the beginning ( $\theta_B$ ) to the end ( $\theta_E$ ) of a stage (in kg animal <sup>-1</sup> stage <sup>-1</sup> CH <sub>4</sub> )
$a_{\text{ef}}$	constant (in kg animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
$b_{\text{ef}}$	coefficient (in kg kg <sup>-1</sup> CH <sub>4</sub> )
$DM$	dry matter intake rate (in kg animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
$\eta_{\text{BFS}}$	mean BFS content of feed (dry matter) (in kg kg <sup>-1</sup> )
$t_{\text{stage}}$	duration of the respective stage (in d stage <sup>-1</sup> )
$\theta_B$	beginning of the stage (in d)
$\theta_E$	end of the stage (in d)

### 2.3.2 Volatile solids

#### 2.3.2.1 Excretion rates

VS excretion rates are used to quantify CH<sub>4</sub> emissions from excreta. In principle, VS excretions of faeces,  $VS_{\text{faeces}}$ , urine,  $VS_{\text{urine}}$ , and decaying bedding,  $VS_{\text{bcd}}$ , have to be taken into account to quantify CH<sub>4</sub> emissions.

$VS_{\text{faeces}}$  equals the amount of undigested organic matter (OM) and is obtained by subtracting the proportion of digestible organic matter (DOM) from the total OM and the ash content:

$$VS_{\text{faeces}} = DM_{\text{feed}} \cdot (1 - X_{\text{DOM}}) \cdot (1 - X_{\text{ash}}) \quad (5)$$

where

$VS_{\text{faeces}}$	VS excretion of faeces (in kg animal <sup>-1</sup> stage <sup>-1</sup> )
$DM_{\text{feed}}$	DM intake of feed (in kg animal <sup>-1</sup> stage <sup>-1</sup> )
$X_{\text{DOM}}$	apparent digestibility of organic matter (in kg kg <sup>-1</sup> )
$X_{\text{ash}}$	ash content of dry matter (in kg kg <sup>-1</sup> )

VS in urine can be neglected: 90 to 95 % of the OM in urine is urea and allantoin. Both are hydrolyzed within hours after excretion to CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub>. They do not form degradable organic matter as defined and do not account for any CH<sub>4</sub> formation (Monteny and Erisman, 1999).

#### 2.3.2.2 Volatile solids in bedding material

VS in bedding may produce CH<sub>4</sub> under anaerobic conditions. Motte et al. (2013) reported that the amount of VS in wheat straw can be obtained from the dry matter input according to Equation (6).

$$VS_{\text{bedding}} = DM_{\text{bedding}} \cdot x_{\text{VS, bedding}} \quad (6)$$

where

$VS_{\text{bedding}}$	VS in bedding material (in kg animal <sup>-1</sup> stage <sup>-1</sup> )
-----------------------	--



$DM_{\text{bedding}}$  DM input of bedding (in kg animal<sup>-1</sup> stage<sup>-1</sup>)  
 $X_{\text{VS, bedding}}$  VS content of bedding material  
 $(X_{\text{VS, bedding}} = 0.89 \text{ kg kg}^{-1})$

### 2.3.3 Nitrogen excretion rates

The quantification of N excretion rates is a prerequisite for the determination of emissions of N compounds. The emissions of various N species (di-nitrogen, N<sub>2</sub>; ammonia, NH<sub>3</sub>; nitric oxide, NO; nitrous oxide, N<sub>2</sub>O) occur during the decay of excreta. However, only N in urine is responsible for NH<sub>3</sub> emissions (hence its name TAN, total ammoniacal nitrogen).

The amounts of N excreted with faeces and urine during a stage are:

$$m_{\text{excr}} = m_{\text{feed}} - (m_l + m_g + m_p) \quad (7)$$

$$m_{\text{excr, TAN}} = m_{\text{feed}} \cdot X_{\text{DXP}} - (m_l + m_g + m_p) \quad (8)$$

where

$m_{\text{excr}}$  amount of N in excreta (in kg animal<sup>-1</sup> stage<sup>-1</sup>)  
 $m_{\text{feed}}$  amount of N contained in feed (in kg animal<sup>-1</sup> stage<sup>-1</sup>)  
 $m_l$  amount of N contained in milk (in kg animal<sup>-1</sup> stage<sup>-1</sup>)  
 $m_g$  amount of N retained in the animal (in kg animal<sup>-1</sup> stage<sup>-1</sup>)  
 $m_p$  amount of N in piglets produced (in kg animal<sup>-1</sup> stage<sup>-1</sup>)  
 $m_{\text{excr, TAN}}$  amount of N in urine (in kg animal<sup>-1</sup> stage<sup>-1</sup>)  
 $X_{\text{DXP}}$  digestibility of crude protein (in kg kg<sup>-1</sup>)

Retained N is the whole protein deposition of the animal in form of edible protein and physiological vital protein (e.g. the digestible tract, fetuses, milk).

### 2.4 Marketable products

Pork is the commodity sold. As an approximate value we use the carcass weight obtained from the animals' slaughter weights and the respective carcass dressing percentage for each animal category.

### 2.5 Reproduction of sows for piglet production

The sows used in piglet production are generally hybrid sows, i.e. they are cross-breeding products of the two mother breeds / lines of landrace or Edelschwein (Large White, Yorkshire). At the age of about 180 d and a weight of about 100 kg animal<sup>-1</sup>, they are subjected to a so-called self-performance test (external training and performance assessment). On average, one fourth of the animals tested are excluded from breeding and slaughtered (for details see e.g. Müller et al., 2011).

## 3 Young sows

Young sows comprise female pigs between weaning and first (artificial) insemination, normally at the third oestrus. Typical start weights range between 28 and 30 kg animal<sup>-1</sup>, final weights between 130 and 140 kg animal<sup>-1</sup> at an age of 220 to 230 days (GfE, 2008).

### 3.1 Daily and cumulative ME requirements

Two publications (GfE, 1987 and 2008) deal with the requirements of metabolizable energy (ME) of young sows as a function of their weights and weight gains. They differ with respect to the details provided. We assess their *feasibility and applicability*; the results are then compared with those from the (fattening) gilt module used for emission reporting. A data set providing a set of animal weights with a daily resolution (Norsvin ZN70, 2015) was used to examine the use of mean weight gains instead of variable ones.

GfE (1987) gives a detailed data set (Table 11) for the raising of young sows. Daily weight gains range between 470 and 650 g animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, with a maximum between animal weights of 50 and 70 kg animal<sup>-1</sup>, and a mean gain of 562 g animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>.

GfE (2008) provides a recommendation for intake rates of ME. Here, a constant growth rate of 700 g animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> is assumed for weights between 60 and 150 kg animal<sup>-1</sup>, and reduced gains of 650 g animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> between 30 and 60 kg animal<sup>-1</sup>. For a final weight of 120 kg animal<sup>-1</sup>, the mean weight gain amounts to 677 g animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. In comparison with GfE (1987) its supporting information is less detailed.

A third paper, Norsvin ZN70 (2015), informs in tabular form about weekly data for animal weights. Norsvin TN70 (2015) provides net energy input data as a function of the animal development. As feed constituents are not listed, these data cannot be "translated" to ME requirements.

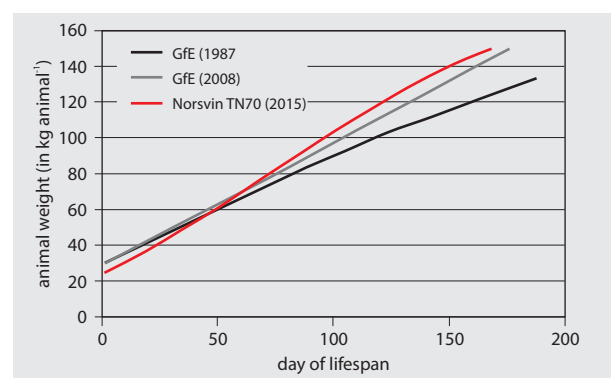
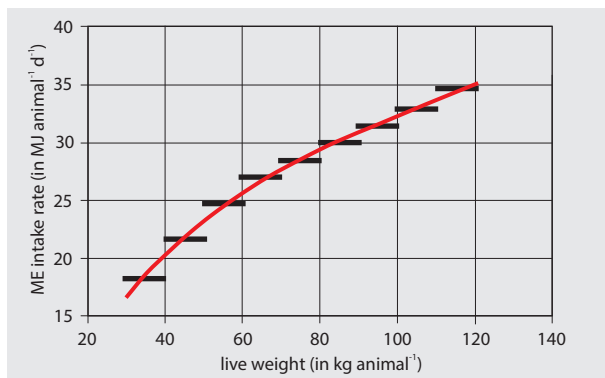


Figure 2

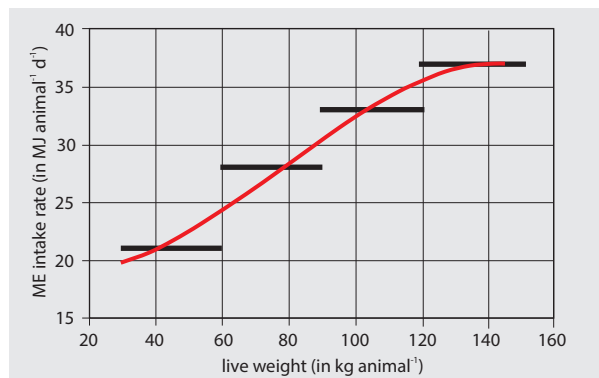
Weight development of young sows according to recommendations in GfE (1987 and 2008) and Norsvin TN70 (2015)

Figure 2 illustrates the principle differences of these three publications regarding the weight development. They suggest that weight gains have increased during the past

decades. Furthermore, the weight gain presented by GfE (2008 is almost linear, whereas the other weight gains are slightly non-linear. For the most modern data set (Norsvin TN70, 2015), details regarding weights and weight gains are shown in Figure 5.



**Figure 3**  
ME intake rate of young sows according to GfE (1987) as a function of animal weights and the derived steady function (Equation (9)) derived ( $R^2 = 0.98$ )



**Figure 4**  
ME intake rate of young sows according to GfE (2008) as a function of animal weights and the derived steady function (Equation (9)) derived ( $R^2 = 0.94$ )

Figures 3 and 4 visualize the different ME data listed in GfE (1987, Table 12), and GfE (2008, Table 4.12) and steady functions deduced from these ME data. The horizontal bars visualize the ME intake rates for a given live weight span. In contrast to Figure 2, the simplified integration procedure (see below) relies on constant weight gains. It has to be proved that the error from simplification is tolerable. Figure 5 shows the weight gains used in this comparison (The final weight of young sows in Figure 5 is set to 140 kg animal<sup>-1</sup>, i.e.

The ME values provided in GfE (1987) and GfE (2008) were transformed to yield the steady functions (polynomials)

$$ME_{ys} = a_{ys} \cdot w_{ys}^3 + b_{ys} \cdot w_{ys}^2 + c_{ys} \cdot w_{ys} + d_{ys} \quad (9)$$

and

$$\sum_{w_B}^{w_E} ME_{ys} = \frac{1}{12} \cdot \left( 3a_{ys} \cdot (w_{ys,E}^4 - w_{ys,B}^4) + 4b_{ys} \cdot (w_{ys,E}^3 - w_{ys,B}^3) + 6c_{ys} \cdot (w_{ys,E}^2 - w_{ys,B}^2) + 12d_{ys} \cdot (w_{ys,E} - w_{ys,B}) \right) \quad (10)$$

where

$ME_{ys}$  ME requirements of a young sow at a given weight (in MJ kg<sup>-1</sup> animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)  
 $w_{ys,B}$  animal weight at the beginning of the respective stage ( $\theta_B$ ) (in kg animal<sup>-1</sup>)  
 $w_{ys,E}$  animal weight at the end of the respective stage ( $\theta_E$ ) (in kg animal<sup>-1</sup>)  
 $\sum_{w_B}^{w_E} ME_{ys}$  cumulative ME requirements of a young sow for the weight gained between the beginning and end of the respective stage ( $\theta_B$ ) to its end ( $\theta_E$ )

Coefficients and constant for GfE (1987):

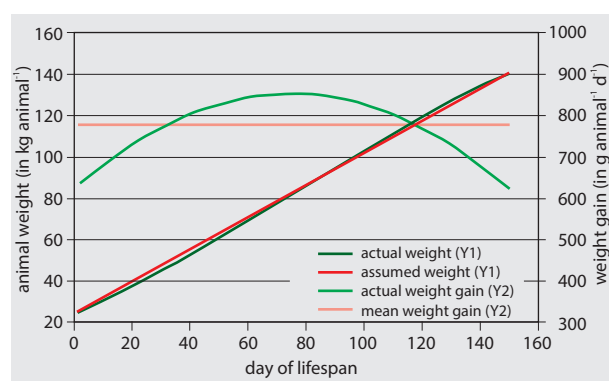
$a_{ys}$  coefficient ( $a_{ys} = 0.00001669$  MJ kg<sup>-4</sup> animal<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>)  
 $b_{ys}$  coefficient ( $b_{ys} = -0.00506095$  MJ kg<sup>-3</sup> animal d<sup>-1</sup>)  
 $c_{ys}$  coefficient ( $c_{ys} = 0.64826297$  MJ kg<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)  
 $d_{ys}$  constant ( $d_{ys} = 1.31122260$  MJ kg<sup>-1</sup> animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)

Coefficients and constant for GfE (2008):

$a_{ys}$  coefficient ( $a_{ys} = -0.00001667$  MJ kg<sup>-4</sup> animal<sup>2</sup> d<sup>-1</sup>)  
 $b_{ys}$  coefficient ( $b_{ys} = 0.00391571$  MJ kg<sup>-3</sup> animal d<sup>-1</sup>)  
 $c_{ys}$  coefficient ( $c_{ys} = -0.09723102$  MJ kg<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)  
 $d_{ys}$  constant ( $d_{ys} = 19.63844878$  MJ kg<sup>-1</sup> animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)

An ME requirement model dealing with variable start and final weights as well as weight gains was developed by Dämmgen et al. (2013) for fattening gilts. This model describes ME requirements as a function of time, and requires information about weight gains. For the calculation (i.e. analytic integration) of the cumulative ME requirements for the entire stage of a young sow, the principal approach described in detail in Haenel et al. (2011b) is used that requires a constant (i. e. mean) weight gain. A comparison of cumulative ME requirements using the actual weight gains supplied in Norsvin TN70 (2015) (see Figure 5) and mean weight gains shows that the latter can be used instead of actual weight gains, as is proved by the application of Equation (9) with coefficients and constant for GfE (2008) to the Norsvin TN70 (2015) data set of weights and weight gains.

The comparison of cumulative ME requirements for constant and non-constant weight gains and a final weight of 140 kg animal<sup>-1</sup> yields 4964 and 4966 MJ animal<sup>-1</sup> for the use of non-constant and constant weight gains, respectively.



**Figure 5**

Animal weights and weight gains as a function of animal development as reported in tabular form in Norsvin TN70 (2015), converted to steady functions

The application of the gilt model of Dämmgen et al. (2013) and the young sow model derived from GfE (2008) with the weight gain data by Norsvin TN70 (2015) to varying final weights reveals that both models calculate very similar ME requirements (Table 2). A comparison with GfE (1987) is inadequate as the weight gains are smaller and hence the cumulative ME requirements higher. For a final weight of gilts of 120 kg animal<sup>-1</sup> as it is assumed for the work at hand the deviation of ME requirements is less than 1 %. As the subsequent calculations aim at establishing relative changes rather than absolute figures, and as the gilt model is reflecting a wider data base than both GfE approaches, the gilt model will be used for the quantification and assessment of excretion rates of young sows even if it is based on the simplifying assumption of mean weight gain.

**Table 2**

Comparison of cumulative ME requirements using the polynomial derived from Table 4.12 in GfE (2008), and the gilt model in Dämmgen et al. (2013) for a mean weight gain of 677 g animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>.

start weight kg animal <sup>-1</sup>	final weight kg animal <sup>-1</sup>	cumulative ME required	
		GfE (2008) MJ animal <sup>-1</sup>	Dämmgen et al. (2013) MJ animal <sup>-1</sup>
30	110	3144	3103
30	120	3634	3608
30	130	4139	4141

### 3.2 Cumulative nitrogen retention

Dämmgen et al. (2013) analyzed literature data with respect to N contents of the weight gain of fattening gilts, and derived a value of 0.0259 kg kg<sup>-1</sup> N. However, feeding young sows aims at considerable backfat and sidefat reserves which reduce the overall N content. Gill (2006) gives 0.0246 kg kg<sup>-1</sup> N for high lysine levels and 0.0222 kg kg<sup>-1</sup> N for low lysine levels in the diet. Gill (2006) also points out the difference between genotypes (0.0244 kg kg<sup>-1</sup> N for Large White x Landrace F<sub>1</sub> hybrids and 0.0224 kg kg<sup>-1</sup> N for Landrace x (Meishan x Large White) gilts. GfE (2008) allows for a determination of N retained from the amounts of fat and protein in weight gain which amounts to 0.0255 kg kg<sup>-1</sup> N. This value is assumed to be valid for young sows. Hence, cumulative N retention is quantified according to Equation (11):

$$m_{g,ys} = \frac{1}{t_{stage}} (w_{E,ys} - w_{B,ys}) \cdot x_{N,ys} \quad (11)$$

where

- $m_{g,ys}$  amount of N retained in the young sow (in kg animal<sup>-1</sup> stage<sup>-1</sup>)
- $t_{stage}$  duration of the stage (in stage)
- $w_{E,ys}$  live weight of the young sow at the end of the stage (in kg animal<sup>-1</sup>)
- $w_{B,ys}$  live weight of the young sow at the beginning of the stage (in kg animal<sup>-1</sup>)
- $x_{N,ys}$  N content of the live animal ( $x_{N,ys} = 0.0255$  kg kg<sup>-1</sup>)

### 3.3 Feeding young sows

Young sows are phase-fed. The phases are characterized by live weight spans (30 to 60 kg sow<sup>-1</sup>, 60 to 100 kg sow<sup>-1</sup>, > 100 kg sow<sup>-1</sup>) with diets with decreasing ME and crude protein (XP) contents. For essentials of a respective diet composition see Kleine Klausing and Riewenherm (2012).

### 3.4 Marketing young sow carcasses

Young sows that do not pass the obligatory performance test (BMELF, 1994) successfully will be slaughtered. A carcass dressing percentage of 79.5 % is used (derived from Adam, undated).

## 4 Young Boars for reproduction

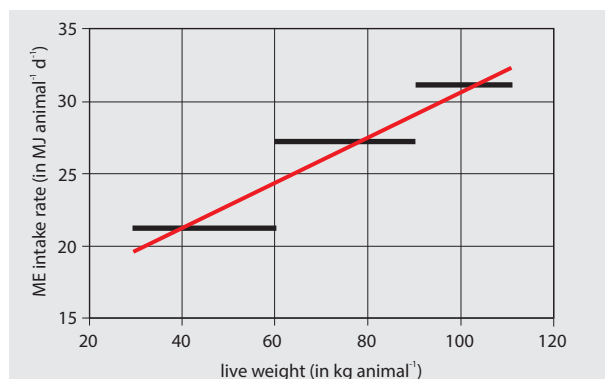
Boars especially produced for the replacement of breeding boars are called young boars. At the beginning of their lifespan they weigh 28 to 30 kg animal<sup>-1</sup>. When they are about 100 kg animal<sup>-1</sup>, they are tested for confirmation, their offspring used to be tested on daily gain, confirmation and body composition (for details see e.g. Müller et al., 2011). However, a genomically assisted selection of young boar piglets has been established in practice (Tribout et al., 2013; Tusell et al., 2016; Xiang et al., 2016; Le et al., 2017).

Those animals that are accepted for the breeding process will continue their life as breeding boars. The rest will be fattened (as boar or castrated as barrow) and slaughtered.

### 4.1 Daily and cumulative ME requirements

For young boars, the data base is even smaller than for young sows. GfE (1987) present data. GfE (2008) are quite undecided, providing mean weight gains and ME contents of feed, but no recommendation other than *ad libitum* feed intake.

The GfE (1987) data are treated by analogy to those for young sows, yielding Figure 6.



**Figure 6**

ME intake rate of young boars according to GfE (1987) and steady function derived (Equation (9);  $R^2 = 0.88$ )

The data in Figure 6 allow for the derivation of a linear regression. Table 15 in GfE (1987) was converted into a polynomial:

$$ME_{yb} = b_{yb} \cdot w_{yb}^2 + c_{yb} \cdot w_{yb} + d_{yb} \quad (12)$$

and

$$\sum_{w_B}^{w_E} ME_{yb} = \frac{1}{6} \cdot \left( 2b_{yb} \cdot (w_{yb,E}^3 - w_{yb,B}^3) + 3c_{yb} \cdot (w_{yb,E}^2 - w_{yb,B}^2) + 6d_{yb} \cdot (w_{yb,E} - w_{yb,B}) \right) \quad (13)$$

where

$ME_{yb}$	daily ME requirements of a young boar (in MJ kg <sup>-1</sup> animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
$w_{yb}$	animal weight (in kg animal <sup>-1</sup> )
$\sum_{w_B}^{w_E} ME_{yb}$	cumulative ME requirements of a young boar for the weight gained between the beginning of the respective stage (B) to its end (E)
Coefficients and constant for GfE (1987):	
$b_{yb}$	coefficient ( $b_{yb} = 0.0002430$ MJ kg <sup>-3</sup> animal d <sup>-1</sup> )
$c_{yb}$	coefficient ( $c_{yb} = 0.1267103$ MJ kg <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
$d_{yb}$	constant ( $d_{yb} = 15.4514201$ MJ kg <sup>-1</sup> animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )

Both these treatments of the ME requirements of young boars are considered unsatisfactory. GfE (2008) because of its poor data background, and GfE (1987) as outdated.

Dämmgen et al. (2013) also proposed a variant of the Haenel model (Haenel et al., 2011b) to quantify emissions from boars for fattening, again correcting the ME requirements using an improved feed conversion rate. As the treatment of these boars does not deviate in principle from young boars for reproduction, the boar model in Dämmgen et al. (2013) is used in the present paper. Keeping in mind that the number of these animals is small in comparison to the other pig categories, this is suggested as a compromise.

### 4.2 Cumulative nitrogen retention

For German fattening boars, Dämmgen et al. (2013) determined an N content of the weight gained during its lifespan (see Table 1) of 0.0270 kg kg<sup>-1</sup>. This value is also used in the treatment of young boars. For the calculation of the cumulative N retention see Equation (11).

### 4.3 Feeding young boars

Young boars are phase-fed. Phases being weight dependent (30 to 60 kg boar<sup>-1</sup>, 60 to 90 kg boar<sup>-1</sup>, 90 to 120 kg boar<sup>-1</sup>) ME and XP contents decreasing with increasing weights. Example properties are provided in Table 7. For the principles behind the respective diet composition see Kleine Klausung and Riewenherm (2012).

### 4.4 Marketing young boar carcasses

Young boars that are not accepted for breeding (BMELF, 1979) will normally be castrated, fattened and slaughtered. A carcass dressing percentage of 79.5 % is used (as per Adam, undated).

## 5 Breeding sows

Breeding sows comprise female pigs between first insemination and slaughtering. Typical start weight is 130 to 140 kg animal<sup>-1</sup>, final weights depend on the number of pregnancies. It is common practice to regard a sow and her respective litter as a unit that has to be fed and that excretes at the same time and location. Piglets are weaned after 28 days with a weight of 8 kg piglet<sup>-1</sup>.

### 5.1 ME requirements

GfE (2008), Table 4.13, provides information on the ME requirements of breeding sows. The method used in the national emission inventory makes use of a mean weight of sows irrespective of the number of lactations. It considers the number of piglets raised as a variable (Haenel et al., 2011b). GfE (2008) confines its recommendations to four litters.

However, GfE (2008) also provide the basic information which allows us to extend to more litters. Equation (14) names the different terms which can be quantified using the subsequent relations (Equations (15) to (19), derived from the context of Table 4.13 in GfE, 2008). Table 4.13 of GfE (2008) (zero weight losses during lactation<sup>2</sup>) is converted to produce a steady function. This function allows for adjustments of sow weights and weight gains as well as of piglet numbers.

The Equations have to be applied to each single reproduction cycle (stage).

$\Sigma ME_{bs, grav, 2}$	ME required for the development of conception products, gestation phase 2 (in MJ animal <sup>-1</sup> stage <sup>-1</sup> )
$\Sigma ME_{bs, lact}$	ME required for lactation (in MJ animal <sup>-1</sup> stage <sup>-1</sup> )
$\Sigma ME_{bs, empty}$	ME requirements between weaning and insemination (in MJ animal <sup>-1</sup> stage <sup>-1</sup> )
$a_{m, bs}$	coefficient ( $a_{m, bs} = 0.44 \text{ MJ kg}^{-1}$ )
$w_{unit}$	unit weight ( $w_{unit} = 1 \text{ kg animal}^{-1}$ )
$w_{bs, B}$	weight at the time of insemination, see Table 3 (in kg animal <sup>-1</sup> )
$w_{bs, E}$	weight at the beginning of the subsequent insemination, see Table 3 (in kg animal <sup>-1</sup> )
$t_{bs, lac}$	duration of the lactation period ( $t_{bs, lac} = 28 \text{ d stage}^{-1}$ )
$ME_{bs, grav 1}$	daily ME requirements during gravidity phase 1, see Table 3 (in MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
$t_{bs, grav 1}$	duration of gravidity phase 1 ( $t_{bs, grav 1} = 84 \text{ d stage}^{-1}$ )
$ME_{bs, grav 2}$	daily ME requirements during gravidity phase 2, see Table 3 (in MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
$t_{bs, grav 2}$	duration of gravidity phase 1 ( $t_{bs, grav 2} = 30 \text{ d stage}^{-1}$ )
$n_{piglet}$	number of piglets per litter (in piglet stage <sup>-1</sup> )
$c_{milk}$	amount of milk per kg of piglet weight gained ( $c_{milk} = 4.1 \text{ kg kg}^{-1}$ )
$\eta_{ME, milk}$	ME content of pig milk ( $\eta_{ME, milk} = 5.0 \text{ MJ kg}^{-1}$ )
$x_{ME, milk}$	share of ME that is used for milk production ( $x_{ME, milk} = 0.7 \text{ MJ MJ}^{-1}$ )

$$\Sigma ME_{bs} = \Sigma ME_{bs, m} + \Sigma ME_{bs, grav, 1} + \Sigma ME_{bs, grav, 2} + \Sigma ME_{bs, lact} + \Sigma ME_{bs, empty} \quad (14)$$

$$\Sigma ME_{bs, m} = a_{bs, m} \cdot w_{unit} \left( \frac{1}{2} \cdot \frac{w_{start} + w_{fin}}{w_{unit}} \right)^{0.75} \cdot t_{bs, lac} \quad (15)$$

$$\Sigma ME_{bs, grav 1} = ME_{bs, grav 1} \cdot t_{bs, grav 1} \quad (16)$$

$$\Sigma ME_{bs, grav 2} = ME_{bs, grav 2} \cdot t_{bs, grav 2} \quad (17)$$

$$\Sigma ME_{bs, lact} = n_{piglet} \cdot c_{milk} \cdot \frac{\eta_{ME, milk}}{x_{milk}} \cdot (w_{piglet, fin} - w_{piglet, start}) \quad (18)$$

$$\Sigma ME_{bs, empty} = ME_{bs, empty} \cdot t_{bs, empty} \quad (19)$$

where

$\Sigma ME_{bs}$	ME requirements of a breeding sow (in MJ animal <sup>-1</sup> stage <sup>-1</sup> )
$\Sigma ME_{bs, m}$	ME requirements for maintenance (in MJ animal <sup>-1</sup> stage <sup>-1</sup> )
$\Sigma ME_{bs, grav, 1}$	ME required for the development of conception products, gestation phase 1 (in MJ animal <sup>-1</sup> stage <sup>-1</sup> )

$w_{piglet, fin}$	weight of the piglet at the time of weaning ( $w_{piglet, fin} = 8 \text{ kg animal}^{-1}$ )
$w_{piglet, start}$	birth weight of piglets ( $w_{piglet, start} = 1.5 \text{ kg animal}^{-1}$ )
$ME_{bs, empty}$	daily ME requirements between weaning and insemination, see Table 3 (in MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
$t_{bs, empty}$	time span between weaning and insemination, see Table 3 (in d stage <sup>-1</sup> )

<sup>2</sup> If weight losses are taken into account, these have to be compensated between weaning and insemination. The net effect with respect to ME intake is zero.

In Table 3, GfE (2008) provide a set of input data and the consequent ME requirements.

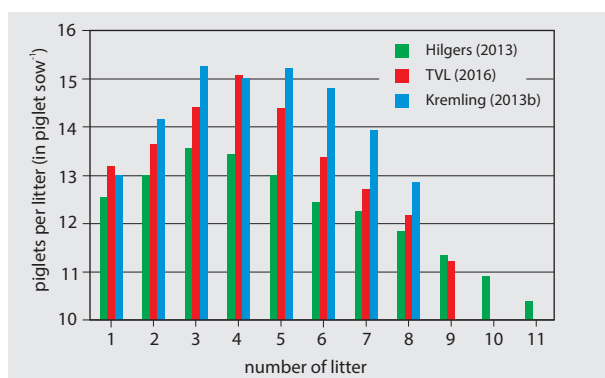


**Table 3**

Recommended ME intake rates for breeding sows for animal weights, weight gains and piglet numbers as listed (GfE, 2008, modified)

	unit	number of litter			
		1	2	3	4
live weight at insemination $w_{bs, B}$	kg animal <sup>-1</sup>	140	185	225	255
maternal weight gain	kg animal <sup>-1</sup>	45	40	30	0
piglets expected per litter	animal animal <sup>-1</sup>	12	13	13	13
time between weaning and insemination	d stage <sup>-1</sup>	11	11	11	0 *
ME intake rate, gravidity phase 1	MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	29	32	34	31
ME intake rate, gravidity phase 2	MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	39	42	43	39
ME intake rate, weaning to insemination	MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	39	42	43	39

\* The final stage before slaughtering ends after weaning.

**Figure 7**

Example numbers of live-born piglets per sow as a function of the number of litters. Hilgers (2013): mean of 106 Rhenish piglet producers; Kremling (2013b): data for a single farm. TVL (2016): 22 farms in Thuringia. Note that the ordinate starts with 10 piglets per litter.

In contrast to GfE (2008), Schnurrbusch (2004) and Wähner (2012) considered more than four litters per sow as standard with more than 50 weaners per sow and life-time. Hilgers (2016, private communication) report that sows have 12.6

weaners per litter and 5.6 litters per productive lifespan, with top farms producing 14 piglets per litter with 6.1 litters before slaughtering (mean values). Hilgers (2013) illustrated that the largest number of piglets is produced between the third and fifth litters (Figure 7). A mean number of litters above six can be obtained in practice (Kremling, 2013a).

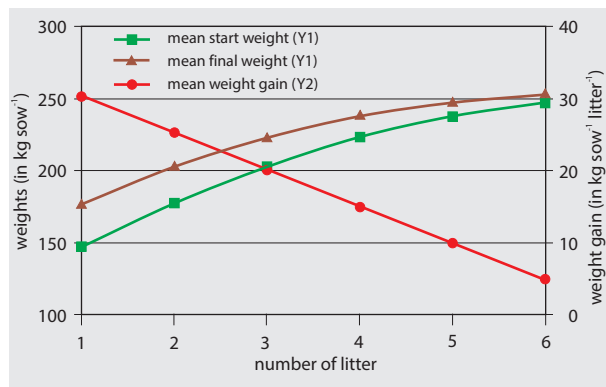
It is obvious from Figure 7 that Table 3 needs to be extended. Equations (14) to (19) can be used, if the respective input data (animal weight, weight gain, number of piglets per litter) can be supplied.

Table 3 also needs updating with respect to heavier animals: From literature data, Heinze et al. (2008) concluded that the GfE (2008) data for animal weights are underestimated. Their own experimental data confirm this. Two experiments with different lactation periods, different breeds and 220 to 287 sows per litter, varying with the number of litters, were performed the results of which are collated in Table 4. If one uses the additional information on weights and weight gains provided in Hühn and Gericke (2000) and Close and Cole (2000), smoothed relations between number of litters and animal weights and weight gains can be derived (Figure 8). The weight gains decrease by 5 kg sow<sup>-1</sup> litter<sup>-1</sup> and become zero after the sixth litter.

**Table 4**

Experimental data for animal weights and weight gains of breeding sows in Heinze et al. (2008). Group A: lactation period 3 weeks; group B: lactation period 4 weeks.

number of litter	group A			group B		
	start (kg animal <sup>-1</sup> )	end (kg animal <sup>-1</sup> )	gain (kg animal <sup>-1</sup> )	start (kg animal <sup>-1</sup> )	end (kg animal <sup>-1</sup> )	gain (kg animal <sup>-1</sup> )
1	153	186	33	165	184	19
2	186	213	37	184	218	34
3	213	225	12	218	243	25
4	225	239	14	243	258	15
5	239	261	22	258	265	7
≥ 6	261	269	7	265	276	11



**Figure 8**

Mean animal weights and weight gains of breeding sows as a function of the number of litters. Smoothed experimental and literature data (arithmetic means of the data sets from Heinze et al., 2008, Hühn and Guericke, 2000, and Close and Cole, 2000; second order polynomial for weights;  $R^2 = 0.999$ ; linear relation for weight gains,  $R^2 = 1.00$ ), see text.

GfE (2008) lists ME requirements for gravidity and weaning to insemination for four lactations. DLG (2008) recommend larger ME intake rates and differentiate between first and subsequent litters only.

An extended and updated data set of ME intake rates for breeding sows for animal weights, weight gains and piglet numbers combining the above mentioned details is given in Table 5.

## 5.2 Cumulative nitrogen retention

Various procedures for quantifying N retention can be found in the literature:

- LfL (2013) lists N contents of fattening pigs and pigs for reproduction of  $0.0256 \text{ kg kg}^{-1}$  irrespective of the animals' gender. This value (whose origin is unknown) may be treated as default value if data for sows cannot be derived.
- Dämmgen et al. (2013) derived different N contents in the weight gain of fattening gilts, boars and barrows. This suggests that N retention for sows should differ from the LfL (2013) mean.
- Everts and Dekker (1995) report a mean N content of  $0.0255 \text{ kg kg}^{-1}$  N, depending on feed protein contents. This value supports the LfL (2013) N content.
- Beyer et al. (1993) measured N contents of sows' empty bodies for various stages in the production cycle. However, these values cannot be extrapolated to entire animals.
- Hansen et al. (2014) presuppose an ME intake model with a resolution in time of one day to calculate N contents. As the ME intake model at hand does not have the required resolution, the model cannot be used in this work.
- Gill (2006) and Dourmad et al. (2008) relate the protein content of a breeding sow to its empty body weight and its back fat thickness where Gill (2006) covers the first litter only. However these data can be used to explain the LfL (2013) N content.

The Equation used in the sow model given by Dourmad et al. (2008) for N retained can be re-written as:

$$m_{g, \text{sow}} = x_N \cdot m_{\text{CP}, g, \text{sow}} = x_N \cdot (a_{\text{BF}} + b_{\text{BF}} \cdot x_{\text{EW}} \cdot w_{\text{sow}} + c_{\text{BF}} \cdot T_{\text{BF}, \text{sow}}) \quad (20)$$

where

$m_{g, \text{sow}}$  N retained in a sow (in  $\text{kg sow}^{-1} \text{ stage}^{-1}$ )  
 $x_N$  N content of crude protein ( $x_N = 1/6.25 \text{ kg kg}^{-1}$ )  
 $m_{\text{CP}, g, \text{sow}}$  CP content of a sow (in  $\text{kg kg}^{-1}$ )  
 $a_{\text{BF}}$  constant ( $a_{\text{BF}} = 2.28 \text{ kg sow}^{-1} \text{ stage}^{-1}$ )  
 $b_{\text{BF}}$  coefficient ( $b_{\text{BF}} = 0.178 \text{ kg kg}^{-1} \text{ stage}^{-1}$ )

$x_{\text{EW}}$  body weight correction factor relating body weight to empty body weight ( $x_{\text{EW}} = 1/0.96 \text{ kg kg}^{-1}$ )  
 $w_{\text{sow}}$  body weight of a sow (in  $\text{kg sow}^{-1}$ )  
 $c_{\text{BF}, \text{sow}}$  coefficient ( $c_{\text{BF}, \text{sow}} = -0.333 \text{ kg mm}^{-1} \text{ sow}^{-1} \text{ stage}^{-1}$ )  
 $T_{\text{BF}, \text{sow}}$  backfat thickness at standard measuring point 2 (in mm)

**Table 5**

Example input parameters and ME intake rates for breeding sows for animal weights, weight gains and piglet numbers using information described in text.

		number of litter						
	unit	1	2	3	4	5	6	7
live weight at insemination $w_{\text{bs}, \text{B}}$	kg animal <sup>-1</sup>	146.7	177.4	202.8	223.0	237.8	247.3	251.6
maternal weight gain	kg animal <sup>-1</sup>	30.3	25.2	20.1	15.0	9.9	4.8	0.0
piglets per litter	animal animal <sup>-1</sup>	13	14	15	14	13	12	11
time between weaning and insemination	d stage <sup>-1</sup>	11	11	11	11	11	11	0
ME intake rate, gravidity phase 1	MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	31	35	35	35	35	35	35
ME intake rate, gravidity phase 2	MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	39	43	43	43	43	43	43
ME intake rate, weaning to insemination	MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	39	43	43	43	43	43	0
maintenance and lactation	MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	108	118	127	121	115	109	103

**Table 6**

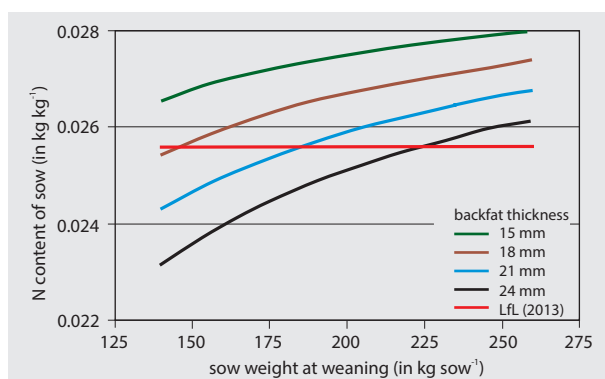
Compilation of backfat thicknesses of breeding sows

time of measurement	backfat thickness (in mm)	remarks, conditions	source
insemination	18 to 20	1st litter	Close and Cole (2000)
	20 to 24	≥ 2nd litter	Close and Cole (2000)
	18		Whittemore (1993)
after birth	13 to 16		Jeroch et al. (1999)
	20 to 24		Close and Cole (2000)
	14 to 25	1st litter	Whittemore (1993)
	18 to 22		Jeroch et al. (1999)
	7.8 to 20	BCS 2*	Spanlang (2011)
	10.2 to 25.8	BCS 3	Spanlang (2011)
at weaning	15.5 to 31.3	BCS 4	Spanlang (2011)
	18.5	1st litter, 159 kg sow <sup>-1</sup>	Kornblum (1997)
	18.5	2nd litter, 170 kg sow <sup>-1</sup>	Kornblum (1997)
	18.1	3rd litter, 173 kg sow <sup>-1</sup>	Kornblum (1997)
	17.5	4th litter, 179 kg sow <sup>-1</sup>	Kornblum (1997)
	17.5	5th litter, 188 kg sow <sup>-1</sup>	Kornblum (1997)
losses during lactation	10.9 to 12.6	1st litter, diet varied	Derking (2014)
	< 1 1.5 to 6.5		Aherne and Williams (1992) Spanlang (2011)

\* BCS: body condition score

Spanlang (2011) collated literature data for backfat thickness and gives results of her own measurements. Together with data from Kornblum (1997) and Derking (2014) these are listed in Table 6.

The N content at respective final weaning relates to the N content at the time of slaughtering. However, the data given in Kornblum (1997) were obtained for lightweight sows and can hardly be transferred.

**Figure 9**

N content of sows as obtained after Dourmad et al. (2008) for various backfat thicknesses and the LfL (2013) default value

If one assumes a relevant backfat thickness of 21 mm, this results in a reduction of crude protein of 7 kg sow<sup>-1</sup> or about 1 kg sow<sup>-1</sup> N. Figure 9 depicts sows' N contents for various

assumed backfat thicknesses and compares them to the weight independent value in LfL (2013).

The model in Dourmad et al. (2008) does not refer to any uncertainties. However, its source (Dourmad et al., 1997) reveals considerable uncertainties, in particular for  $a_{BF}$ , even for a given backfat thickness. It is therefore inappropriate to prefer this procedure to the use of the LfL (2013) constant.

Our model calculations will use the LfL (2013) recommendation. It is obvious from Figure 9 that this value does not contradict the findings in Dourmad et al. (2008).

For the calculation of the cumulative N retention with the LfL (2013) constant see Equation (11).

### 5.3 Feeding breeding sows

The energy and nutrient requirements of breeding sows vary with animal weight, the state of pregnancy and the number of piglets raised. This is reflected by the diet composition which differentiates between empty sows, two gravidity phases and the lactation period. Normally, two diets are supplied where empty and lactation sows are differentiated from gravid sows. Table 7 gives example diet properties that take the recommendations in DLG (2008) into account.

### 5.4 Marketable products

Dressed body weight is considered to be an adequate measure for the marketable product.

A carcass dressing percentage of 79.5 % is used (Adam, undated).

**Table 7**

ME intake recommendations for breeding boars (from Wilson et al., 2004, after Kemp and Soede, 2001)

live weight	kg animal <sup>-1</sup>	150	200	250	300	350
weight gain	g animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	500	400	300	200	100
overall ME intake rate	MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	34.19	35.18	35.92	36.46	36.86
ME for maintenance	MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	17.79	22.07	26.09	29.91	33.58
ME for growth	MJ animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	16.40	13.11	9.83	6.55	3.28

## 6 Breeding boars

Young boars of 8 to 9 months undergo a selection process, after which they are either used for breeding or slaughtered. Breeding boars have an overall life expectancy of about 2 years - about 16 months of which is their productive stage. They will then be slaughtered and replaced by younger ones. At that time they have a live weight of about 300 kg animal<sup>-1</sup>.

This paper deals with breeding boars used for sperm production for artificial insemination.

### 6.1 Daily and cumulative ME requirements

The information on requirements and feeding of breeding boars provided in official recommendations and the Central European literature is sparse. Wilson et al. (2004) reviewed the little literature on ME requirements of breeding boars. The information provided there is collated in Table 7. Here, values include ME required for mating activity and sperm production. They were obtained for a temperature of 20 °C in the animal building. However, no data are available for different temperatures. As a rule, temperature data are not communicated. Due to lack of information, the data obtained at 20 °C are used to quantify ME requirements.

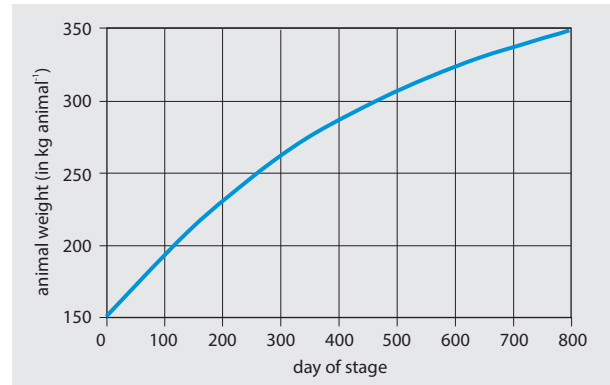
In order to derive a steady function for live weight as a function of time from Table 7, first the weight gain is to be expressed as a function of weight (Equation (21)).

$$\Delta w_{bb} = a_{bb} + b_{bb} \cdot w_{bb} \quad (21)$$

where

$\Delta w_{bb}$  weight gain of a breeding boar (in g animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)  
 $a_{bb}$  constant ( $a_{bb} = 800$  g animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)  
 $b_{bb}$  coefficient ( $b_{bb} = -2$  g kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)  
 $w_{bb}$  live weight of a breeding boar (in kg animal<sup>-1</sup>)

This relation can be used to calculate the weight of a breeding boar at a given time. The result is shown in (Figure 10).



**Figure 10**

Weight of breeding boars as a function of time according to information provided in Table 7

The relation between weight and time can be approximated by a steady function (Equation (22),  $R^2 = 1.000$ ):

$$w_{bb, \theta} = a_{bb, w} \cdot \theta^3 + b_{bb, w} \cdot \theta^2 + c_{bb, w} \cdot \theta + d_{bb, w} \quad (22)$$

where

$w_{bb, \theta}$  weight of a breeding boar at day  $\theta$  of his lifespan as breeding boar, start weight 150 kg animal<sup>-1</sup>  
 $a_{bb, w}$  coefficient ( $a_{bb, w} = 0.00000162$  kg animal<sup>-1</sup> d<sup>-3</sup>)  
 $\theta$  day of life in the lifespan of breeding boar (in d)  
 $b_{bb, w}$  coefficient ( $b_{bb, w} = -0.000430390$  kg animal<sup>-1</sup> d<sup>-2</sup>)  
 $c_{bb, w}$  coefficient ( $c_{bb, w} = 0.491516619$  kg animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)  
 $d_{bb, w}$  constant ( $d_{bb, w} = 149.938556227$  kg animal<sup>-1</sup>)

The quantification of ME for maintenance ( $ME_{m, bb}$ ) of breeding boars makes use of the linear relation between the metabolic body size<sup>3</sup> and  $ME_{m, bb}$  as provided in Table 6:

$$ME_{m, bb} = c_{ME, m, bb} \cdot w_{unit} \cdot \left( \frac{w_{bb}}{w_{unit}} \right)^{0.75} \quad (23)$$

where

$ME_{m, bb}$  daily ME requirements for maintenance of a breeding boar (in MJ animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)  
 $c_{ME, m, bb}$  constant ( $c_{ME, m, bb} = 0.415$  MJ kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)  
 $w_{unit}$  unit weight ( $w_{unit} = 1$  kg animal<sup>-1</sup>)  
 $w_{bb}$  live weight of the breeding boar (in kg animal<sup>-1</sup>)

3 The authors name an exponent of 0.665. However, their calculation obviously uses the standard value of 0.75.

The ME required for growth ( $ME_g$ ) is proportional to the weight gain. Using data from Table 5 results in Equation (24):

$$ME_{g,bb} = d_{MEg,bb} \cdot \Delta w_{bb} \quad (24)$$

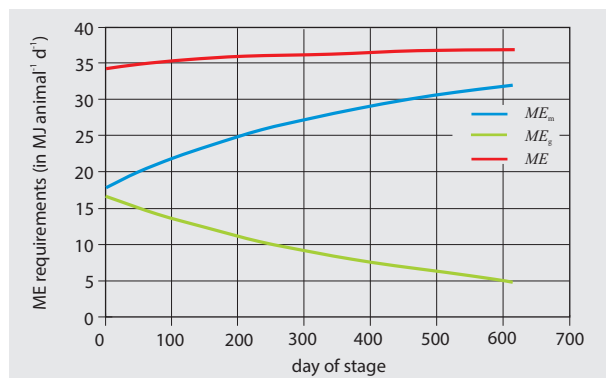
where

$ME_{g,bb}$  ME requirements for growth of a breeding boar (in MJ animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)

$d_{MEg,bb}$  constant ( $d_{MEg,bb} = 32.77$  MJ kg<sup>-1</sup>)

$\Delta w_{bb}$  weight gain (in kg animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)

Using Equations (21) and (22), ME equations (23) and (24) can easily be transformed to time dependent functions the graphs of which are displayed in Figure 11 where also the total daily ME requirements (ME) is shown.



**Figure 11**

ME requirements of breeding boars as function of the day of stage, data from Table 6, using Equations (25) and (26) for  $ME_{m,bb}$  and  $ME_{g,bb}$ , respectively

Total daily ME requirements ( $ME$  in Figure 11) can be expressed as a function of time (day in the productive lifespan) using a third order polynomial which can be integrated (Equation (26a)). As the time of the beginning  $\theta_B$  is 0, the simplified Equation (26b) can be used.

$$ME_{bb} = e_{bb} \cdot \theta_{bb}^3 + f_{bb} \cdot \theta_{bb}^2 + g_{bb} \cdot \theta_{bb} + h_{bb} \quad (25)$$

$$\sum_{\theta_B}^{\theta_E} ME_{bb} = \frac{1}{12} \cdot \left( (3\theta_{bb,E}^4 - 3\theta_{bb,B}^4) \cdot e_{bb} + (4\theta_{bb,E}^3 - 4\theta_{bb,B}^3) \cdot f_{bb} + (6\theta_{bb,E}^2 - 6\theta_{bb,B}^2) \cdot g_{bb} + (12\theta_{bb,E} - 12\theta_{bb,B}) \cdot h_{bb} \right) \quad (26a)$$

$$\sum_{\theta_B=0}^{\theta_E} ME_{bb} = \frac{1}{12} \cdot (3\theta_{bb,E}^4 \cdot e_{bb} + 4\theta_{bb,E}^3 \cdot f_{bb} + 6\theta_{bb,E}^2 \cdot g_{bb} + 12\theta_{bb,E} \cdot h_{bb}) \quad (26b)$$

where

$ME_{bb}$

daily ME requirements of a breeding boar (in MJ animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)

$\sum_{\theta_B}^{\theta_E} ME_{bb}$

cumulative ME requirements of a breeding boar between the beginning ( $\theta_B$ ) and the end ( $\theta_E$ ) of his productive stage (in MJ animal<sup>-1</sup> stage<sup>-1</sup>)

$e_{bb}$

coefficient ( $e_{bb} = 7.5 \cdot 10^{-9}$  MJ animal<sup>-1</sup> d<sup>-4</sup>)

$\theta_{bb}$

day of stage of a breeding boar (in d)

$f_{bb}$

coefficient ( $f_{bb} = -0.0000139576$  MJ animal<sup>-1</sup> d<sup>-3</sup>)

$g_{bb}$

coefficient ( $g_{bb} = 0.00968232$  MJ animal<sup>-1</sup> d<sup>-2</sup>)

$h_{bb}$

constant ( $h_{bb} = 34.2615348$  MJ animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)

The German agricultural emission inventory uses a constant value of 35 MJ animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> deduced from GfE (2008) for a mean live weight of 200 kg animal<sup>-1</sup> (Haenel et al., 2016). This is also in line with PIC (2016). Figure 11 illustrates the compatibility of the results. However, the detailed procedure, Equations (25) and (26), can be used to treat weights and weight gains as variables.

## 6.2 Cumulative nitrogen retention

LfL (2013) lists N contents of fattening pigs and pigs for reproduction of 0.0256 kg kg<sup>-1</sup> irrespective of the animals' gender. Specific literature data are not available. In view of the comparatively small number of animals the LfL (2013) value is used. For the calculation of the cumulative N retention see Equation (11).

## 6.3 Feeding breeding boars

GfE (2008) do not recommend diet properties for breeding boars. It is customary to provide the same feed as for empty and lactating sows (Kirchgeßner et al., 2008). An example diet composition (expert judgement Kleine Klausung) can be found in Table 8.

## 6.4 Marketable products

Due to its boar taint it is assumed that the carcass is used for pet food production.



## 7 Example overall excretions of sows and boars during their lifespan from weaning to slaughtering

In order to depict the entire lifespan of a sow or a boar for reproduction, their stage as weaners has to be included. Excretion by piglets is incorporated in the calculations of N excretion by their mother sow. For example calculations we make use of the performance data listed in Table 8. Note that the number of piglets produced varies with the litter number.

Feeding of young sows and boars takes the energy and nutrient requirements into account. It is customary to feed in

three phases each. For breeding sows, gestation, gravidity and lactation call for different ME and protein contents. In gravidity phase 2, the diet for empty sows is used.

Breeding boars may be fed a special diet. As mentioned above they may also get the same feed as empty and lactating sows.

Diet properties for sows and boars are listed in Table 9.

Figures 12 and 13 show the different “boxes” symbolizing excretions for the two animals. They have different overall lifespans (sows about 41 months, boars about 29 months). They also differ with respect to their main product (pregnancy and energy intensive milk production versus semen production). Whereas sows also produce an edible carcass, that of breeding boars cannot be used for human consumption.

**Table 8**

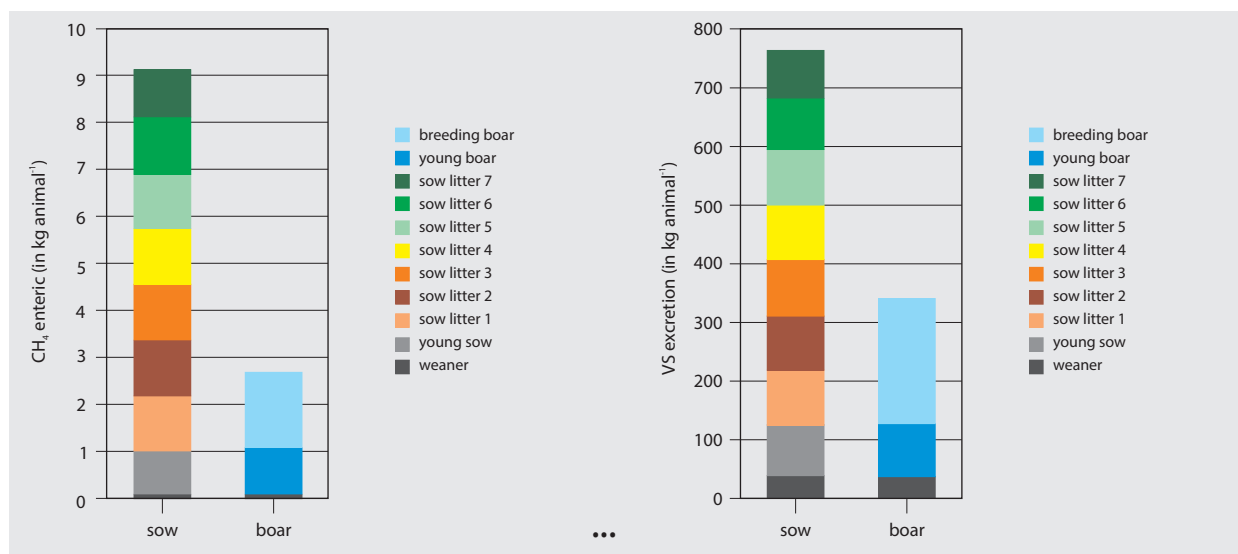
Animal properties and performance data used in example quantifications of excretions

animal category	number of litter	start weight kg animal <sup>-1</sup>	final weight kg animal <sup>-1</sup>	weight gain g animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	numbers of piglets per litter animal animal <sup>-1</sup>
weaners		8	30	525	
young sows		30	140	720	
young boars		30	150	780	
breeding sows	1	146.7	177.4		13
	2	177.4	202.8		14
	3	202.8	223.0		15
	4	223.0	237.8		14
	5	237.8	247.3		13
	6	247.3	251.6		12
	7	251.6	251.6		11
breeding boars		150	308 *		
* duration of lifespan as breeding boar 480 d					

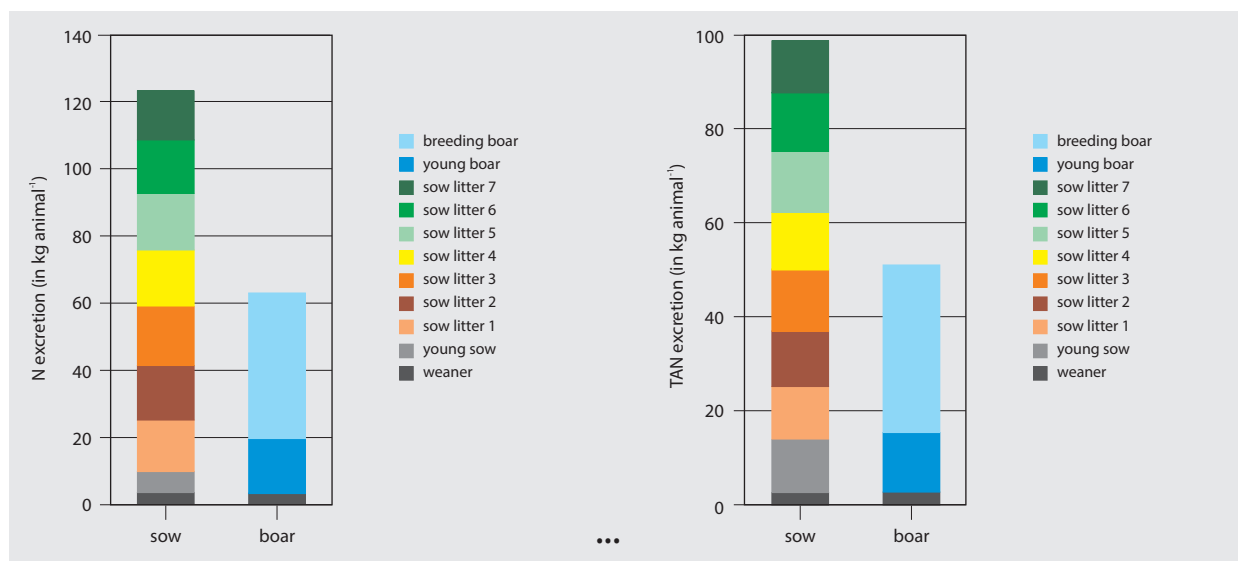
**Table 9**

Diet properties used for the calculation of example excretions of sows and boars (Figures 13 and 14)

live weight / phase feed type	kg animal <sup>-1</sup>	young sows			young boars			breeding sows		boars
		30-60 YS 1	60-100 YS 2	>100 YS 3	30-60 YB 1	60-90 YB 2	90-120 YB 3	gestation BS 1	lactation BS 2	breeding BB
dry matter	kg kg <sup>-1</sup>	0.873	0.8749	0.8763	0.8734	0.8723	0.8727	0.8758	0.8771	0.8699
ME content	MJ kg <sup>-1</sup>	13.24	13.20	13.18	13.00	12.60	12.60	13.17	12.00	12.05
crude protein	kg kg <sup>-1</sup>	0.165	0.145	0.140	0.170	0.165	0.155	0.165	0.140	0.185
crude fibre	kg kg <sup>-1</sup>	0.045	0.050	0.055	0.045	0.050	0.050	0.050	0.070	0.0596
ether extract (crude fat)	kg kg <sup>-1</sup>	0.0426	0.0559	0.0685	0.0409	0.0300	0.0321	0.0575	0.0425	0.0191
crude ash	kg kg <sup>-1</sup>	0.0532	0.0494	0.0496	0.0534	0.0514	0.0511	0.0577	0.0463	0.0570
BFS	kg kg <sup>-1</sup>	0.079	0.082	0.083	0.079	0.085	0.083	0.088	0.187	0.100
digestibility crude protein	kg kg <sup>-1</sup>	0.838	0.815	0.810	0.838	0.826	0.819	0.830	0.748	0.834
digestibility organic matter	kg kg <sup>-1</sup>	0.854	0.830	0.818	0.856	0.838	0.834	0.836	0.815	0.816

**Figure 12**

Enteric  $\text{CH}_4$  and VS excretions during the entire life spans of a sow and a boar used for reproduction (ME requirements as in Table 5, performance data as in Table 8, diet properties as in Table 9) ( $\text{CH}_4$  emissions and VS excretions of sows (sow litter) include those of piglets.)

**Figure 13**

N and TAN excretions during the entire life span of a sow and a boar used for reproduction (ME requirements as in Table 5, performance data as in Table 8, diet properties as in Table 9) (N excretions of sows (sow litter) include those of piglets.)

## 8 Discussion

### 8.1 Applicability to present pig production procedures

At present, piglet production is not flourishing in Germany. This increases economic pressure on the respective enterprises. They strive for increased animal performance to reduce costs. The focus is on sows, in particular the overall number of weaners produced per animal (Kremling, 2012;

Kecman and Wähner, 2016). Hence the model has to be able to calculate up to ten reproduction cycles and the maximum number of piglets fed per litter.

The sow module allows for any number of litters as it just reflects the ME requirements for milk production. Hence it can also deal with a sow with sixteen active teats. Nurse sows are not provided for.

The modules for young sows and boars are derived from those describing the respective fattening animals which cover a wide range of performances.

## 8.2 Compatibility of methods with those used in the German agricultural emission inventory

A basic step in the calculations procedure is the quantification of ME requirements. For young sows and boars, as well as for breeding sows, the methods applied are modifications of the respective inventory methods, using different input data reflecting the lower weight gains and higher final weights.

For breeding sows, the inventory sow model is applied to each single litter using specific piglet numbers and weight gains.

For daily ME requirements, our model for breeding boars takes the productive stage of the boar into account where the inventory model uses a constant ME value (Haenel et al., 2016).

Our calculation procedures follow the guidebook recommendations in IPCC (2006) and EMEP (2013) in principle. Where national input data and procedures are used, they were published and accepted by the scientific community.

## 8.3 Usability for lifecycle analysis or footprint calculations

All models require input of nutritional values which are deduced from diet compositions. Here, the input data use specific feed compositions which can be varied. The amounts of each single feed component can be quantified and are then used as input parameters for feed production calculations, and subsequently for matter and energy flows in the production chain.

## 8.4 Uncertainties

The information provided in data collections such as GfE (2008), DLG (2014) and Beyer et al. (1993) does not state uncertainties. However, these data are widely used in Germany.

N excretion rates obtained on the basis of the calculations described above are in accordance with those in DLG (2014).

## Acknowledgements

Johannes Hilger, Schweinevermarktung Rheinland e. V., provided useful data and background information, which is gratefully acknowledged.

## References

Adam F (undated) Was bringen zusätzliche Ausschlagungsprozente beim Schwein? : Abbildungen [online]. To be found at <<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/pdf/abbildungen-erloes-schlachtschwein.pdf>> [quoted 28.06.2017]  
 Aherne FX, Williams LH (1992) Nutrition for optimising breeding herd performance. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 8:589-608  
 Beyer M, Jentsch W, Hoffmann L, Schiemann R (1993) Untersuchungen zum Energie- und Stickstoffumsatz von graviden und laktierenden Sauen

sowie von Saugferkeln : 2. Mitteilung - Chemische Zusammensetzung und Energiegehalt der Tierkörper von graviden, güsten und laktierenden Sauen. *Arch Anim Nutr* 44:317-338  
 BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2016) Landwirtschaft verstehen : Fakten und Hintergründe [online]. To be found at <[http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen.pdf?__blob=publicationFile)> [quoted 28.06.2017]  
 BMELF - Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1994) Verordnung über die Leistungsprüfungen und die Zuchtwerfeststellung bei Schweinen vom 16. Mai 1991 (BGBl. I S. 1130), Fassung vom 17. August 1994 (BGBl. I S. 2133) [online]. To be found at <<https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/schwzlpv/gesamt.pdf>> [quoted 28.06.2017]  
 BMELF - Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1979) Verordnung über die Körnung von Ebern. *Bundesgesetzbl* I 1979:1483-1489  
 Close WH, Cole DJA (2000) Nutrition of sows and boars. Nottingham : Nottingham Univ Pr, 377 p  
 Dämmgen U, Schulz J, Kleine Klausling H, Hutchings NJ, Haenel H-D, Rösemann C (2012) Enteric methane emissions from German pigs. *Landbauforsch* 62(3):83-96  
 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 to fattening of boars. *Landbauforschung Appl Agric Forestry Res* 63(1):47-60  
 Dämmgen U, Liermann W, Bösch V, Berk A, Dänicke S (2016) Der Einfluss der Futterkonfektionierung bei Mastschweinen und Broilern auf die Emission von Treibhausgasen und Ammoniak : Betrachtung der gesamten Produktionskette. *Landbauforsch Appl Agric Forestry Res* 66(1):45-70  
 DBV - Deutscher Bauernverband (2015) Situationsbericht 2015/2016 : landwirtschaftliche Gesamtrechnung [online]. To be found at <<http://www.bauernverband.de/53-landwirtschaftliche-gesamtrechnung-664078>> [quoted 28.06.2017]  
 Derking S (2014) Feldstudie an hochproduktiven Sauen zu Fütterungseinflüssen auf die Entwicklung der Körpermasse und Rückenspeckdicke in der Laktation sowie auf die Leistung der Ferkel (Wurfzuwachs) [online]. To be found at <[http://elib.tiho-hannover.de/dissertations/derkings\\_ss15.pdf](http://elib.tiho-hannover.de/dissertations/derkings_ss15.pdf)> [quoted 28.06.2017]  
 DLG - Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (2008) Empfehlungen zur Sauen- und Ferkelfütterung. Frankfurt a M : DLG Verl, 56 p, DLG Inform 1/2008  
 DLG - Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (2014) Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Frankfurt a M : DLG Verl, 120 pp  
 Dourmad J-Y, Étienne M, Noblet J, Casseur D (1997) Prédiction de la composition chimique de la truie reproductrice à partir du poids vif et de l'épaisseur de lard dorsal. *Journé Rech Porcine France* 29:255-262  
 Dourmad J-Y, 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  
 EC - European Commission (2016) National Emission Ceilings [online]. To be found at <<http://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/ceilings.htm>> [quoted 28.06.2017]  
 EMEP - EMEP-EEA air pollutant emission inventory guidebook (2013) : Technical Report 12/2013 [online]. To be found at <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>> [quoted 28.06.2017]  
 Everts H, Dekker RA (1995) Effect of protein supply during pregnancy and lactation on body condition of sows during three reproductive cycles. *Livest Prod Sci* 43:137-147  
 GfE - Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Ausschuss für Bedarfsnormen (1987) Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere : 4: Schweine. Frankfurt a M : DLG-Verlag, 153 p  
 GfE - Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology (2008) Recommendations for the supply of energy and nutrients to pigs. Frankfurt a M : DLG-Verl 245 p  
 Gill BP (2006) Body composition of breeding gilts in response to dietary protein and energy balance from thirty kilograms of body weight to completion of first parity. *J Anim Sci* 84:1926-1934

- Haenel H-D, Dämmgen U, Laubach P, Rösemann C (2011a) Update of the calculation of metabolizable energy requirements for pigs in the German agricultural emission inventory. *Landbauforsch* 61(3):217-228
- Haenel H-D, Dämmgen U, Rösemann C (2011b) Estimating numbers of piglets, weaners and fattening pigs for the German agricultural emission inventory. *Landbauforsch* 61(3):229-236
- 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, 409 p, Thünen Rep 39
- Hansen AV, Strathe AB, Theil PK, Kebreab E (2014) Energy and nutrient deposition and excretion in the reproducing sow : model development and evaluation. *J Anim Sci* 92:2458-2472
- Heinze A, Rau K, Ochrimenko W, Gernand E (2008) Untersuchungen zur Lebendmasseentwicklung und zur Konditionsbewertung bei Sauen im Reproduktionszyklus : Abschlussbericht [online]. To be found at <<http://www.tll.de/ainfo/pdf/saur0608.pdf>> [quoted 28.06.2017]
- Hilgers J (2013) Lang lebe die Sau [online]. To be found at <<http://www.topagrar.com/archiv/Lang-lebe-die-Sau-1183590.html>> [quoted 28.06.2017]
- Hühn U, Gericke R (2000) Lebendmasseentwicklung und Fruchtbarkeit bei Sauen. *VeredlungsProduktion* 2000(1):17-18
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : vol: 4 Agriculture, forestry and other land use [online]. To be found at <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>> [quoted 28.06.2017]
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate change 2007: Working Group I: the physical science basis : 2.10.2 Direct global warming potentials [online]. To be found at <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html#table-2-14](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html#table-2-14)> [quoted 05.07.2017]
- Jeroch H, Drochner W, Simon O (1999) Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere : Ernährungsphysiologie, Futtermittelkunde, Fütterung. Stuttgart : Ulmer, 544 p
- Kecman J, Wähner M (2016) Management großer Würfe in der Ferkelerzeugung. *Tierärztl Prax G* 44:318-325
- Kemp B, Soede NM (2001) Feeding of developing and adult boars. In: Lewis AJ, Southern LL (eds) *Swine nutrition*. Boca Raton : CRC Pr, pp 771-782
- Kirchgeßner M, Kreuzer M, Müller HL, Windisch W (1991) Release of methane and carbon dioxide by the pig. *Agribiol Res* 44:103-113
- Kirchgeßner M, Roth FX, Schwarz FJ, Stangl G (2008) *Tierernährung : Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis*. Frankfurt a M : DLG Verl, 635 p
- Kleine Klausung H, Riewenherm G (2012) Fütterung von Zuchtschweinen. In: Hoy S (ed) *Schweinezucht und Ferkelerzeugung*. Stuttgart : Ulmer, pp 153-176
- Kornblum E (1997) PIC Futterecke : Rückenspeck und Leistung. *PIC Spiegel* 1/97
- Kremling R (2012) Große Würfe - Fluch oder Segen? *Top agrar* 11:510-13
- Kremling R (2013a) Frühzeitig Körperfett anfüttern. *Top agrar* 7:58-59
- Kremling R (2013b) Nach dem 8. Wurf ist Schluss. *Top agrar* 7:510
- Le TH, Christensen OF, Nielsen B, Sahana G (2017) Genome-wide association study for conformation traits in three Danish pig breeds. *Genet Sel Evol* 49:12
- LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2013) Basisdaten Stand: 2013 [online]. To be found at <[www.lfl.bayern.de/iab/duengung/031245/](http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/031245/)> [quoted 30.06.2017]
- Monteny GJ, Erisman JW (1999) Ammonia emission from dairy cow buildings : a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. *Neth J Agric Sci* 46:225-247
- Motte J-C, Trably E, Escudie R, Hamelin J, Steyer J-P, Bernet N, Delgenes J-P, Dumas C (2013) Total solids content : a key parameter of metabolic pathways in dry anaerobic digestion. *Biotechnol Biofuels* 6:164
- Müller S, Reimann G, Gottschall U, Braun U, Kallenbach K (2011) Jahresbericht 2010 über die Leistungsprüfung bei Schweinen in Thüringen [online]. To be found at <[www.tll.de/ainfo/pdf/jbls0311.pdf](http://www.tll.de/ainfo/pdf/jbls0311.pdf)> [quoted 28.06.2017]
- Norsvin (2015) TN70 Gilt feeding and management [online]. To be found at <<http://tn70.tint-tn.nl/wp-content/uploads/2016/03/TN70-gilt-manual.pdf>> [quoted 28.06.2017]
- PIC (2016) PIC nutrient specifications manual [online] To be found at <[http://na.picgenus.com/tech\\_support/nutrition/nutrient\\_specifications\\_manual\\_download.aspx](http://na.picgenus.com/tech_support/nutrition/nutrient_specifications_manual_download.aspx)> [quoted 28.06.2017]
- Rothschild MF, Ruvinsky A (2011) *The genetics of the pig*. Wallingford : CAB, 520 p
- Schnurrbusch U (2004) Bedeutung des Körperfetts für die Fruchtbarkeit von Sauen. *Lohmann Informationen* 4/2004:1-6
- Spanlang U (2011) Zusammenhang zwischen BCS (Body Condition Score) und weiteren Körpermerkmalen sowie der Aufzuchtleistung von laktierenden Zuchtsauen. Wien : Univ Bodenkultur, 89 p
- Tribout L, Larzul C, Phocas F (2013) Economic aspects of implementing genomic evaluations in a pig sire line breeding scheme. *Genet Sel Evol* 45:40
- Tusell L, Gilbert H, Riquet J, Mercat M-J, Legarra A, Larzul C (2016) Pedigree and genomic evaluation of pigs using a terminal-cross model. *Genet Sel Evol* 2016 48:32
- TVL/SKBR - Thüringer Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfungen in der Tierzucht (2016) Bericht über Arbeit und Ergebnisse : Prüfungsjahr 2015 [online]. To be found at <[http://www.tvlev.de/cms/sites/default/files/downloads/publikationen/TVL%20Jahresbericht%202015\\_Endfassung\\_01-04-16.pdf](http://www.tvlev.de/cms/sites/default/files/downloads/publikationen/TVL%20Jahresbericht%202015_Endfassung_01-04-16.pdf)> [quoted 28.06.2017]
- UBA - Umweltbundesamt (2016a) Ammoniak [online]. To be found at <<http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/ammoniak>> [quoted 28.06.2017]
- UBA - Umweltbundesamt (2016b) Treibhausgas-Emissionen in Deutschland [online]. To be found at <[www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen](http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen)> [quoted 28.06.2017]
- UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (undated) First steps to a safer future: introducing the United Nations Framework Convention on Climate Change [online] To be found at <[http://unfccc.int/essential\\_background/convention/items/6036.php](http://unfccc.int/essential_background/convention/items/6036.php)> [quoted 28.06.2017]
- Wähner M (2012) Zucht- und Produktionsziele in der Schweinezucht. In: Hoy S (ed) *Schweinezucht und Ferkelerzeugung*. Stuttgart : Ulmer, pp 17-59
- Whittemore CT (1993) *The science and practice of pig production*. Harlow : Longmann, 661 p
- Wilson ME, Rozeboom KJ, Crenshaw TD (2004) Boar nutrition for optimum sperm production. *Adv Pork Prod* 15:295-306
- Xiang T, Nielsen B, Su G, Legarra A, Christensen OF (2016) Application of single-step genomic evaluation for crossbred performance in pig. *J Anim Sci* 94:936-948

# Vergleich der Injektions- und Inhalationsnarkose zur Kastration von ökologisch aufgezogenen Ferkeln hinsichtlich Verhalten und Wachstum

Lisa Baldinger\*, Imke Traulsen\*\*, Friedrich Weißmann\*, Joachim Krieter\*\*\*, Ralf Bussemas\*

## Zusammenfassung

Ziel der Studie war der Vergleich der Injektions(INJEKT)- und Inhalationsnarkose (INHAL) zur Ferkelkastration unter Öko-Bedingungen, wozu das Verhalten von männlichen Ferkeln während (N = 67) und nach der Kastration (N = 101) beobachtet wurde, ebenso wie der weitere Wachstumsverlauf bis zum Absetzen. INJEKT bestand aus 25 mg Ketamin und 2 mg Azaperon kg<sup>-1</sup> Lebendmasse, INHAL aus 90 s langer Zuführung von 5%-igen (Vol%) Isofluran. Zusätzlich erhielten alle Ferkel 2 mg Tier<sup>-1</sup> Meloxicam zur Schmerzausschaltung. Das Wachstum der kastrierten Ferkel wurde nicht von der Narkosemethode beeinflusst und unterschied sich nicht von den weiblichen Wurfgeschwistern. Auch die Häufigkeit medikamentöser Behandlungen und von Tierverlusten unterschied sich nicht und lag auf sehr niedrigem Niveau. Allerdings zeigten sich Unterschiede im Verhalten der Ferkel: Während der Durchtrennung des Samenstrangs kam es in den INHAL-Gruppen zu hochsignifikant weniger Schmerzäußerungen als in den INJEKT-Gruppen. Nach dem Aufwachen aus der Kastrationsnarkose waren Ferkel der INHAL-Gruppen signifikant weniger aktiv und zeigten signifikant weniger motorische Auffälligkeiten, was in Kombination mit einem signifikant selteneren Aufenthalt im Liegebereich der Sau zu signifikant weniger Situationen mit Erdrückungsgefahr führte. Basierend auf diesen Vorteilen der Inhalationsnarkose mit Isofluran plus Meloxicam ist diese der Injektionsnarkose mit Ketamin/Azaperon plus Meloxicam aus Gründen des Tierwohls vorzuziehen, und eine baldige Zulassung von Isofluran zur Anwendung an Schweinen in Deutschland ist zu befürworten.

**Schlüsselwörter:** *Narkose, Isofluran, ökologischer Landbau*

## Abstract

### Comparison of injection and inhalation anesthesia for castration of organic piglets, with regard to behavior and growth

The aim of the study was to compare anesthesia via injection with inhalation when castrating piglets under the conditions of organic agriculture. Therefore, the behavior of male piglets during (N = 67) and after castration (N = 101) was documented, as well as their subsequent growth until weaning. Injection anesthesia consisted of 25 mg ketamine und 2 mg azaperone kg<sup>-1</sup> body weight, inhalation anesthesia of 90 s exposure to 5vol% isoflurane. All piglets received an additional 2 mg animal<sup>-1</sup> of the analgesic meloxicam. Body weight development until weaning was not affected by the method of anesthesia and did not differ from the female litter mates. Also, the frequency of treatments and animal losses did not differ and was very low. However, behavior of the castrated piglets was affected as follows: While cutting through the spermatic cord under inhalation anesthesia, piglets voiced significantly less pain than under injection anesthesia. During the first hours after waking up from the anesthesia, piglets anesthetized with inhalation showed a significantly lower level of activity and significantly less motoric anomalies, which in combination with significantly infrequent use of the resting area of the sow led to significantly less situations with danger of being crushed. Based on these results, inhalation anesthesia with isoflurane plus meloxicam seems better suited for the anesthesia of organically reared piglets, and we support the early approval of isoflurane for use in pigs in Germany.

**Keywords:** *anesthesia, isoflurane, organic agriculture*

\* Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau

\*\* Georg-August-Universität, Abteilung Systeme der Nutztierhaltung, Department für Nutztierwissenschaften, Albrecht Thaer Weg 3, 37075 Göttingen

\*\*\* Christian-Albrechts-Universität, Institut für Tierzucht und Tierhaltung, 24098 Kiel



## 1 Einleitung

Die überwiegende Mehrheit der männlichen Ferkel in Europa wird innerhalb der ersten sieben Lebenstage kastriert, vor allem um der Entwicklung von Ebergeruch im späteren Verlauf der Mast vorzubeugen. Zur Verminderung der Belastung der Tiere ist nach EU-Öko-VO 889/2008 (Europäische Kommission, 2008) der Einsatz von Betäubungs- und/oder Schmerzmitteln vorgeschrieben. Da postoperative Schmerzen nur durch die Kombination aus beiden wesentlich gelindert werden (Schulz, 2007), schreiben die Produktionsrichtlinien der deutschen Verbände Bioland und Demeter den Einsatz in Kombination vor (Bioland, 2014; Demeter, 2015). Für den gesamten deutschen Schweinesektor (ökologisch und konventionell) wird die betäubungslose Kastration ab dem 1. Januar 2019 verboten (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung, 2013). Dieser Entscheidung ging eine langjährige Diskussion voraus, im Zuge der sich bereits 2008 in der sogenannten „Düsseldorfer Erklärung“ (2008) der Deutsche Bauernverband, der Verband der deutschen Fleischindustrie und der Hauptverband des deutschen Einzelhandels für einen Verzicht auf die betäubungslose Kastration ausgesprochen hatten. Da die Ebermast und die Impfung gegen Ebergeruch bisher (noch) keine umfassend genutzten Alternativen für die Mehrheit der Betriebe darstellen, ist die Kastration unter Betäubung zumindest vorerst nach wie vor die Methode der Wahl, sowohl für ökologische als auch konventionelle Betriebe. Zur Allgemeinanästhesie zugelassen sind hierzulande einzig die als kombinierte Injektion verabreichten Wirkstoffe Ketamin und Azaperon (Europäische Kommission, 2010), welche von Lahrmann et al. (2008) als praxistauglich und tierschutzkonform eingestuft wurden. Allerdings stellen die lange Nachschlafphase (bis zu vier Stunden, Kmiec, 2005) und die Trennung von der Sau Risiken für die Ferkel dar, besonders in den in der Öko-Schweinehaltung weit verbreiteten Kaltställen. Eine Alternative zur Injektionsnarkose ist die Inhalationsnarkose mit Isofluran, welche deutlich schneller zur Bewusstlosigkeit führt (Löscher, 2010) und eine sehr kurze Aufwachphase aufweist (Kupper und Spring, 2008: 216 sec). Da sich die Schmerzausschaltung unter Isofluran auf die Zeit der Anästhesie beschränkt, wird die zusätzliche Verabreichung eines Schmerzmittels empfohlen (Heid et al., 2011; SWISSMEDIC, 2008). In der Schweiz ist der Isofluran-Einsatz zur Ferkelkastration weitverbreitet, während er in Deutschland nicht für Schweine zugelassen ist und nur betriebsindividuell nach einer Umwidmung verwendet werden kann (Regierungspräsidium Tübingen, 2010).

Das Ziel unserer Studie war die Bewertung der Injektions- (INJEKT) und Inhalationsnarkose (INHAL) zur Kastration von männlichen Ferkeln unter den Haltungsbedingungen des ökologischen Landbaus. Zu diesem Zweck wurde das Verhalten der Ferkel während der ersten acht Stunden nach dem Aufwachen aus der Narkose und der weitere Wachstumsverlauf bis zum Absetzen beobachtet.

## 2 Tiere, Material und Methoden

Die Studie wurde zwischen 2011 und 2013 am Versuchsbetrieb des Thünen-Instituts für Ökologischen Landbau durchgeführt. Die Muttersauen (Deutsche Landrasse x Deutsches Edelschwein) und ihre Ferkel wurden in Kaltställen gehalten, wobei sie die ersten 2 Wochen nach dem Abferkeln bzw. der Geburt in Einzelbuchten verbrachten und danach in Gruppen von 3 bis 6 Sauen plus Ferkel gruppiert und in den Gruppensäugestall übersiedelt wurden. Der Vergleich der Narkosemethoden erfolgte in drei Durchgängen: In Durchgang 1 (Februar 2011) wurden 26 Ferkel aus vier Würfen mittels Injektionsnarkose betäubt, in Durchgang 2 (März 2012) wurden 30 Ferkel aus sechs Würfen mittels Inhalationsnarkose betäubt, und in Durchgang 3 (Dezember 2012) wurden 21 Ferkel aus fünf Würfen mit Injektions- und 24 Ferkel aus fünf Würfen mit Inhalationsnarkose betäubt. Die zufällige Zuteilung zu einer Narkosemethode (Münzwurf) erfolgte jeweils für den ganzen Wurf. Die Kastration wurde am 7. Lebenstag ( $6,5 \pm 1,5$ ) durchgeführt, abgesetzt wurden die Ferkel mit 48 Tagen ( $48,3 \pm 1,5$ ). Unabhängig von der Narkosemethode erhielten alle zu kastrierenden Ferkel 2 mg Tier<sup>-1</sup> Meloxicam (Metacam®, 5 mg ml<sup>-1</sup>, Boehringer Ingelheim Vetmedica, Ingelheim/Rhein) zur Schmerzausschaltung.

Die Injektionsnarkose (INJEKT) erfolgte mittels Ketamin (Ursotamin®, 100 mg ml<sup>-1</sup>, Serumwerk Bernburg AG, Bernburg) und Azaperon (Stresnil®, 40 mg ml<sup>-1</sup>, Lilly Deutschland GmbH, Bad Homburg), welche gemäß Kmiec (2005) in einer Dosierung von 25 mg Ketamin und 2 mg Azaperon kg<sup>-1</sup> Lebendmasse (LM) von einem Schweinefachtierarzt in die seitliche Halsmuskulatur injiziert wurden. Die Dosierung erfolgte tierindividuell auf Basis der vor der Betäubung erhobenen Lebendmasse jedes Ferkels. Bis zur vollständigen Wirkung der Narkose und während der etwa 2,5 h dauernden Nachschlafphase waren die Ferkel in mit Stroh eingestreuten Kisten in einem separaten, beheizten Raum untergebracht. Zur Inhalationsnarkose (INHAL) wurde das Narkosegerät „Porc Anest 1000“ (Promatec Automation AG, Derendingen, Schweiz) benutzt. Den Angaben der Herstellerfirma folgend, wurde jedem Ferkel 90 s lang 5 vol%iges Isofluran (Isothesia®, 1000 mg g<sup>-1</sup>, Henry Schein Vet, Hamburg) über eine Narkosemaske zugeführt. Die Ferkel erwachten etwa 90 s nach der Kastration wieder und wurden unmittelbar zurück in die Abferkelbucht gesetzt.

Die Datenerhebung umfasste die Verhaltensbeobachtung der kastrierten Ferkel während der acht Stunden nach dem Aufwachen aus der Narkose, die wiederholte Wiegung der Tiere bis zum Absetzen und die kontinuierliche Dokumentation von Behandlungen und Tierverlusten. Während sich die Verhaltensbeobachtung und die Behandlungsdokumentation auf die 101 männlichen, kastrierten Ferkel beschränkte, wurde die Lebendmasseentwicklung auch für die 94 weiblichen Wurfgeschwister dokumentiert, wobei die Wiegen nach der Geburt, vor der Kastration, am Tag nach der Kastration, fünf Tage nach der Kastration (in sieben Würfen: sieben Tage) und danach wöchentlich bis zum Absetzen stattfanden. Die Verhaltensbeobachtung der dafür einzeln

markierten Ferkel umfasste die (i) viertelstündliche Dokumentation (scan sampling) (ia) der allgemeinen Verhaltensweisen Saugen, sonstige Aktivität (z. B. laufen, spielen, erkunden), Ruhen und (ib) der Aufenthaltsorte Ferkelnest, Liegereich der Sau, Kotgang, Auslauf sowie (ii) die kontinuierliche Beobachtung (continuous sampling) der nachfolgend beschriebenen Verhaltensweisen, die Rückschlüsse auf eine Beeinträchtigung durch die Kastration und die Narkose zulassen:

- (iia) motorische Auffälligkeiten: Torkeln, robben, gehen auf den Karpalgelenken statt auf den Klauen
- (iib) Situationen mit Erdrückungsgefahr: Beim Abliegen, bei Positionswechseln oder Fortbewegung der Sau
- (iic) ausgelassene Saugakte: Sau in Seitenlage, Gesäuge frei, Wurfgeschwister saugen
- (iid) Schmerzäußerungen: Scheuern des Hinterteils oder darauf herumrutschen, zucken und schlagen mit den Hinterbeinen

Die Verhaltensbeobachtung wurde von mehreren BeobachterInnen durchgeführt, welche während der Beobachtung alle zwei Stunden gewechselt wurden. Es wurde kein BeobachterInnenabgleich im eigentlichen Sinn durchgeführt, allerdings wurden die BeobachterInnen zur Verbesserung der Übereinstimmung vorab ausführlich in den Versuchsablauf und die Definition des zu beobachtenden Verhaltens eingewiesen.

Zusätzlich zu den beschriebenen Datenerhebungen wurde nur im 2. und 3. Durchgang eine Schmerzbonitur während der Durchtrennung des Samenstrangs durchgeführt. Die Schmerzäußerungen der Ferkel wurden in Anlehnung an die Bonitur des Abwehrverhaltens von Ferkeln in Wenger et al. (2002) mit einer Note von 0 bis 3 bewertet, wobei

- 0 = keine Reaktion,
- 1 = leichte Abwehrreaktion,
- 2 = heftige Abwehrreaktion ohne Lautäußerung, und
- 3 = heftige Abwehrreaktion mit Lautäußerung bedeutete.

Die Häufigkeit der allgemeinen Verhaltensweisen und Aufenthaltsorte (für die 1. und 2. bis 8. Stunde), der speziellen Verhaltensweisen (nur über die 1. bis 8. Stunde), der Schmerzäußerungen während der Kastration sowie der Behandlungen und Verluste wurde mithilfe des Statistikprogramms SAS 9.4 proc glimmix (SAS, 2013; Chi<sup>2</sup>-Test) unter Zugrundelegung einer multinomialen Verteilung verglichen, wobei das Modell den fixen Effekt der Narkose und den zufälligen Effekt des Wurf enthielt:

$$Y = \mu + \text{Narkose}_k + \text{Wurf}_n + \varepsilon$$

Für die Auswertung der Lebendmasse und der Tageszunahmen wurde SAS 9.4 proc mixed verwendet, unter Einbeziehung der fixen Effekte Narkose ( $k$  = Injektionsnarkose, Inhalationsnarkose), Lebenstag ( $l$  = 1,2, ..., 51,52) und Durchgang ( $m$  = 1,2,3), der Kovariablen Geburtslebendmasse ( $b1$  = Regressionskoeffizient der Geburtslebendmasse) und

Alter bei der Kastration ( $b2$  = Regressionskoeffizient des Kastrationsalter) sowie der zufälligen Effekte Wurf ( $n$  = Identifikationsnummer des einzelnen Wurfs) und Einzelferkel ( $o$  = Identifikationsnummer des Einzelferkels; nur für Lebendmasse):

$$Y = \mu + \text{Narkose}_k + \text{Lebenstag}_l + \text{Durchgang}_m + b1 \times \text{Geburtslebendmasse} + b2 \times \text{Kastrationsalter} + \text{Wurf}_n + \text{Ferkel}_o + \varepsilon$$

Zusätzlich wurden für die Parameter „motorische Auffälligkeiten“ und „Schmerzäußerungen während der Durchtrennung des Samenstrangs“ mithilfe von SAS proc glimmix odds ratios berechnet, wobei sich diese auf den Vergleich Auffälligkeiten bzw. Schmerzäußerungen JA oder NEIN beziehen. Ein p-Wert < 0,05 wurde als signifikanter Unterschied interpretiert und zusätzlich zur Erwähnung im Text in Form eines Asterisk in den Tabellen dargestellt (\*p < 0,05).

Diese Studie wurde mit Schreiben vom 19.9.2012 dem Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein angezeigt und mit Antwortschreiben vom 12.10.2012 (V 312 72241.123-7) bestätigt.

**Tabelle 1**

Anteil [%] der unterschiedlich häufigen Beobachtungen (alle 15 min., scan sampling) allgemeiner Verhaltensweisen männlicher Ferkel während der ersten, und während der 2. bis 8. Stunde nach dem Aufwachen aus der Kastrationsnarkose mittels Injektion (INJEKT) oder Inhalation (INHAL)

Häufigkeit <sup>a</sup>	INJEKT	INHAL	INJEKT	INHAL
<b>Saugen</b>	1. Stunde		2. bis 8. Stunde*	
0	12,8	5,6	0,0	13,0
1	76,6	46,3	0,0	1,8
2 bis 4	10,6	48,2	46,8	70,4
>= 5	.	.	53,2	14,8
<b>Sonstige Aktivität</b>	1. Stunde*		2. bis 8. Stunde*	
0	53,2	88,9	0,0	0,0
1	23,4	11,1	0,0	3,7
2 bis 4	23,4	0,0	27,7	31,5
>= 5	.	.	72,3	64,8
<b>Ruhen</b>	1. Stunde*		2. bis 8. Stunde*	
0 bis 1	27,7	1,9	0,0	0,0
2 bis 4	72,3	98,1	0,0	0,0
5 bis 8	.	.	0,0	0,0
9 bis 12	.	.	6,4	0,0
13 bis 18	.	.	59,6	37,0
>= 19	.	.	34,0	63,0

<sup>a</sup> Anzahl der Beobachtungen innerhalb der angegebenen Zeiteinheit (1. Stunde bzw. 2. bis 8. Stunde)

\*p-Wert des Vergleichs INJEKT versus INHAL < 0,05

**Tabelle 2**

Anteil [%] der unterschiedlich häufigen Beobachtungen (alle 15 min., scan sampling) des Aufenthalts männlicher Ferkel in den Bereichen der Abferkelbucht während der ersten, und während der 2. bis 8. Stunde nach dem Aufwachen aus der Kastrationsnarkose mittels Injektion (INJEKT) oder Inhalation (INHAL)

Häufigkeit*	INJEKT	INHAL	INJEKT	INHAL
<b>Ferkelnest</b>	1. Stunde*		2. bis 8. Stunde*	
0 bis 1	61,7	22,2	0,0	0,0
2 bis 4	38,3	77,8	0,0	0,0
5 bis 8	.	.	4,3	0,0
9 bis 12	.	.	34,0	7,4
13 bis 18	.	.	53,2	42,6
>=19	.	.	8,5	50,0
<b>Liegebereich der Sau</b>	1. Stunde		2. bis 8. Stunde*	
0 bis 1	29,8	33,3	0,0	0,0
2 bis 4	70,2	66,7	0,0	13,0
5 bis 8	.	.	8,5	57,4
9 bis 12	.	.	34,0	22,2
13 bis 18	.	.	53,2	7,4
>= 19	.	.	4,3	0,0
<b>Kotgang</b>	1. Stunde		2. bis 8. Stunde*	
0	97,9	100,0	70,2	53,7
1	2,1	0,0	19,2	35,2
2 bis 4	0,0	0,0	10,6	11,1
>= 5	.	.	0,0	0,0
<b>Auslauf</b>	1. Stunde		2. bis 8. Stunde*	
0	100,0	100,0	87,2	55,5
1	0,0	0,0	4,3	13,0
2 bis 4	0,0	0,0	8,5	22,2
>= 5	.	.	0,0	9,3

\* Anzahl der Beobachtungen innerhalb der angegebenen Zeiteinheit (1. Stunde bzw. 2 bis 8. Stunde)

\*p-Wert des Vergleichs INJEKT versus INHAL < 0,05

### 3 Ergebnisse

Tabelle 1 stellt die Häufigkeit der Beobachtung von Saugen, sonstiger Aktivität und Ruhen bei männlichen Ferkeln nach dem Aufwachen aus der Kastrationsnarkose dar.

Während der ersten Stunde nach dem Aufwachen hatte die Narkosemethode zwar keinen Einfluss auf den Anteil saugender Ferkel ( $p = 0,076$ ), der Anteil anderweitig aktiver Ferkel ( $p = 0,017$ ) und ruhender Ferkel ( $p = 0,046$ ) unterschied sich hingegen signifikant. So konnte beispielsweise für 88,9 % der Ferkel der INHAL-Gruppen keine Aktivität während der ersten Stunde beobachtet werden, während dieser Anteil in den INJEKT-Gruppen nur 53,2 % betrug. Zwei bis viermaliges Ruheverhalten wurde mit 92,6 % der

Beobachtungen häufiger bei INHAL-Ferkeln als bei INJEKT-Ferkeln (68,0 %) beobachtet, wobei vier aufgrund der viertelstündlichen Erhebung der Verhaltensweisen die maximal mögliche Anzahl an Beobachtungen innerhalb der ersten Stunde darstellte. In den restlichen sieben Stunden des achtstündigen Beobachtungszeitraums zeigte sich zwar kein Unterschied in der sonstigen Aktivität der Ferkel ( $p = 0,412$ ), aber der Anteil saugender und ruhender Ferkel unterschied sich signifikant (Saugen:  $p = 0,018$ ; Ruhen:  $p = 0,041$ ). Häufiges Saugen ( $\geq 5$  mal) wurde für 53,2 % der INJEKT-Ferkel, aber nur für 14,8 % der INHAL-Ferkel dokumentiert. Häufiges Ruheverhalten ( $\geq 19$  mal) hingegen zeigten nur 34,0 % der INJEKT-Ferkel, aber 63,0 % der INHAL-Ferkel.

Die Aufenthaltsorte der Ferkel nach dem Aufwachen aus der Kastrationsnarkose sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Unabhängig von der Narkosemethode hielten sich die Tiere häufiger im Ferkelnest und im Liegebereich der Sau als im Kotgang und im Auslauf auf. Auf die Aufenthaltshäufigkeit im Kotgang (1. Stunde:  $p = 0,281$ ; 2. bis 8. Stunde:  $p = 0,665$ ) und im Auslauf (2. bis 8. Stunde:  $p = 0,081$ ) hatte die Narkosemethode dabei keinen Einfluss. Der einzige signifikante Unterschied während der ersten Stunde nach dem Aufwachen betraf den Aufenthaltsort Ferkelnest ( $p = 0,030$ ), die Nutzung des Liegebereichs der Sau unterschied sich nicht ( $p = 0,848$ ). Eine häufige Benutzung des Ferkelnests (2 bis 4 mal) wurde während der ersten Stunde nur für 38,3 % der INJEKT-Ferkel, aber 77,8 % der INHAL-Ferkel beobachtet. In den restlichen sieben Stunden des Beobachtungszeitraums hatte die Narkosemethode signifikanten Einfluss auf den Aufenthalt im Ferkelnest ( $p = 0,006$ ) und im Liegebereich der Sau ( $p < 0,001$ ). Während nur 61,7 % der INJEKT-Ferkel das Ferkelnest häufig bis sehr häufig ( $\geq 13$  mal) nutzten, betrug dieser Anteil bei den INHAL-Ferkeln 92,6 %. Im Gegenzug nutzten 57,5 % der INJEKT-Ferkel den Liegebereich der Sau häufig bis sehr häufig, aber nur 7,4 % der INHAL-Ferkel.

Tabelle 3 zeigt die Häufigkeiten von Verhaltensweisen, deren gehäuftes Auftreten auf eine Beeinträchtigung durch die Kastration rückschließen lässt. Es zeigten sich signifikante Unterschiede hinsichtlich der motorischen Auffälligkeiten ( $p = 0,002$ ) und der Situationen mit Erdrückungsgefahr ( $p = 0,032$ ). Während 44,7 % der Ferkel aus den INJEKT-Gruppen innerhalb der ersten acht Stunden nach dem Aufwachen aus der Narkose mindestens einmal motorisch auffällig waren, wurde dies in den INHAL-Gruppen nur einmal an einem Tier beobachtet. Dabei war die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von mindestens einer motorischen Auffälligkeit nach der Injektionsnarkose 42-fach höher als nach der Inhalationsnarkose [95 % KI = 3,7 bis 478]. Ein ähnliches Bild zeigte sich für die Situationen mit Erdrückungsgefahr, von denen nach der Inhalationsnarkose keine einzige beobachtet werden konnte, während 23,4 % der INJEKT-Ferkel mindestens einer gefährlichen Situation ausgesetzt waren. Die Häufigkeit der ausgelassenen Saugakte ( $p = 0,082$ ) und der Schmerzáußerungen nach dem Aufwachen aus der Narkose ( $p = 0,733$ ) wurde hingegen nicht von der Narkosemethode beeinflusst.

**Tabelle 3**

Anteil [%] der männlichen Ferkel (N = 101), die ausgewählte Verhaltensweisen bzw. Auffälligkeiten (continuous sampling) während der ersten acht Stunden nach dem Aufwachen aus der Kastrationsnarkose mittels Injektion (INJEKT) oder Inhalation (INHAL) zeigten

Häufigkeit <sup>a</sup>	INJEKT	INHAL
<b>motorische Auffälligkeiten*</b>		
0	55,3	98,1
1	25,5	1,9
2	12,8	0,0
>= 3	6,4	0,0
<b>Situationen mit Erdrückungsgefahr*</b>		
0	76,6	100,0
1	17,0	0,0
2	4,3	0,0
>= 3	2,1	0,0
<b>ausgelassene Saugakte</b>		
0	63,8	85,2
1	21,3	13,0
2	6,4	0,0
>= 3	8,5	1,8
<b>Schmerzäußerungen</b>		
0	68,1	70,4
1	19,2	27,8
2	10,6	0,0
>= 3	2,1	1,8

<sup>a</sup> Anzahl der Beobachtungen innerhalb der acht Stunden  
<sup>\*</sup>p-Wert des Vergleichs INJEKT versus INHAL < 0,05

**Tabelle 4**

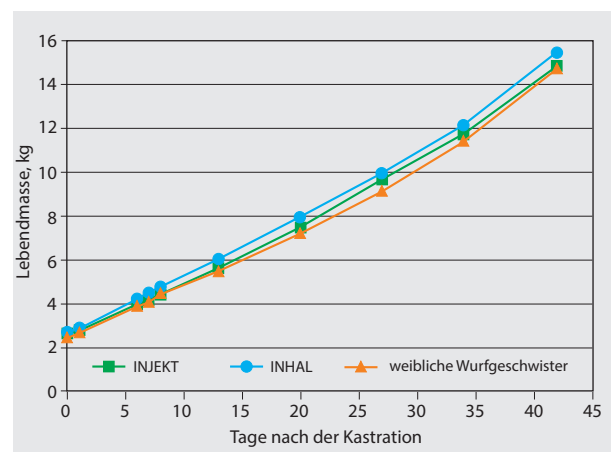
Anteil [%] der männlichen Ferkel die während der Durchtrennung des Samenstrangs bei der Kastration unter Injektions- (INJEKT) oder Inhalationsnarkose (INHAL) unterschiedlich ausgeprägte Schmerzäußerungen (0 = keine, 1 = leichte, 2 = heftige Abwehrreaktion ohne, 3 = heftige Abwehrreaktion mit Lautäußerung) zeigten (nur im 2. und 3. Durchgang durchgeführt, N = 67)

Note	Schmerzäußerungen*	
	INJEKT	INHAL
0	4,8	73,9
1	9,5	23,9
2	19,0	2,2
3	66,7	0,0

<sup>\*</sup>p-Wert des Vergleichs INJEKT versus INHAL < 0,05

Tabelle 4 zeigt den signifikanten Effekt der Narkosemethode auf die Häufigkeit von Schmerzäußerungen während der Durchtrennung des Samenstrangs im zweiten und dritten Durchgang der Studie ( $p < 0,001$ ; N = 67). Während nur 4,8 %

aller INJEKT-Ferkel keinen Schmerz äußerten, war dieser Anteil bei den INHAL-Ferkeln mit 79,2 % massiv höher. Dementsprechend war die Wahrscheinlichkeit von mindestens einer Schmerzäußerungen unter Injektionsnarkose 62 mal höher als unter Inhalationsnarkose [95 % KI = 5,8 bis 671]. Sämtliche in den INHAL-Gruppen dokumentierten Schmerzäußerungen entfielen dabei auf Note 1 (leichte Abwehrreaktion), während in der INJEKT-Gruppe überwiegend (66,7 %) Note 3 (heftige Abwehrreaktion mit Lautäußerung) vergeben wurde.

**Abbildung 1**

LS-Means der Lebendmasse von unter Injektions(INJEKT)- oder Inhalationsnarkose (INHAL) kastrierten männlichen Ferkeln und ihrer weiblichen Wurfgeschwister, kg

Das Wachstum der kastrierten Ferkel und ihrer weiblichen Wurfgeschwister vom Tag der Kastration bis zum Absetzen ist in Abbildung 1 anhand der LS-Means der Lebendmasse zu den Wiegeterminen dargestellt. Weder die Lebendmasse ( $p = 0,472$ ) noch die Tageszunahmen ( $p = 0,527$ ) wurden von der Kastration und der Narkosemethode beeinflusst: Im Durchschnitt (LS-Means) über die Säugezeit wuchsen die INJEKT-Ferkel 288 g, die INHAL-Ferkel 284 g, und ihre weiblichen Wurfgeschwister 281 g Tag<sup>-1</sup>.

In den INJEKT-Gruppen wurden insgesamt sechs behandelte und zwei tote Ferkel verzeichnet, in den INHAL-Gruppen drei behandelte und sieben tote (Ergebnisse nicht dargestellt). Abgesehen von einem Tierversuch während der Kastrationsnarkose (INJEKT) ereigneten sich sämtliche Verluste im späteren Verlauf der Säugezeit. Die Narkosemethode hatte dabei weder Einfluss auf die Behandlungen ( $p = 0,220$ ) noch auf die Verluste ( $p = 0,178$ ).

## 4 Diskussion

Die vorliegende Studie wurde durchgeführt, um die Auswirkungen einer Injektions- (INJEKT) oder Inhalationsnarkose (INHAL) zur Kastration auf das Verhalten und das Wachstum von männlichen Ferkeln unter den Rahmenbedingungen des ökologischen Landbaus zu vergleichen.

Das Ausbleiben der Nahrungsaufnahme kann besonders beim wachsenden Tier als Zeichen von Unwohlsein gedeutet werden, weswegen der Beobachtung der Nahrungsaufnahme besondere Bedeutung zukommt (Plonait, 2004). In der vorliegenden Studie hatte die Narkosemethode keinen Einfluss auf die Häufigkeit des Saugens während der ersten Stunde nach dem Aufwachen aus der Kastrationsnarkose (Tabelle 1). Diese Beobachtung deckt sich mit Berichten von Schatzmann (2004), der ebenfalls ein normales Saugverhalten nach der Isoflurannarkose dokumentierte. Auch die Anzahl der ausgelassenen Saugakte unterschied sich nicht zwischen den Gruppen, wobei hier allerdings zu berücksichtigen ist, dass die Ferkel der INJEKT-Gruppen schon aufgrund ihrer deutlich längeren Nachschlafphase mehr Milchmahlzeiten versäumten als die Ferkel der INHAL-Gruppen. Die Anzahl der versäumten Milchmahlzeiten nach der Kastration unter Injektionsnarkose kann laut Lahrman (2006) bis zu fünf betragen. Die Beobachtung, dass die Ferkel der INJEKT-Gruppen während der 2. bis 8. Stunde nach dem Aufwachen häufiger beim Saugen beobachtet wurden als die Ferkel der INHAL-Gruppen, könnte daher als Kompensation der während der Narkose versäumten Milchmahlzeiten gedeutet werden.

Die mittels Inhalationsnarkose kastrierten Ferkel hielten sich sowohl während der ersten Stunde als auch während der 2. bis 8. Stunde nach dem Aufwachen signifikant häufiger im Ferkelnest auf als die unter Injektionsnarkose kastrierten Ferkel (Tabelle 2), was sich in einem ebenfalls signifikant häufiger beobachteten Ruheverhalten niederschlug (Tabelle 1). Im Gegensatz dazu zeigten die Ferkel der INJEKT-Gruppen während der ersten Stunde nach dem Aufwachen signifikant mehr aktives Verhalten (Tabelle 1), und hielten sich während der 2. bis 8. Stunde des Beobachtungszeitraums signifikant häufiger im Liegebereich auf (Tabelle 2). Ihre erhöhte Aktivität ging einher mit signifikant mehr motorischen Auffälligkeiten, und mündete in Kombination mit dem verstärkten Aufenthalt im Liegebereich der Sau in einer signifikant höheren Anzahl von Situationen mit Erdrückungsgefahr (Tabelle 3). Während in den INHAL-Gruppen keine einzige gefährliche Situation beobachtet werden konnte, gerieten 23,4 % der INJEKT-Ferkel mindestens einmal in Gefahr. Zu einem tatsächlichen Erdrückungsverlust kam es allerdings in keiner der beobachteten Situationen, was sich mit Beobachtungen von Leeb et al. (2008) zur Injektionsnarkose unter Schmerzausschaltung mit Meloxicam deckt. Die signifikant niedrigere Häufigkeit von motorischen Auffälligkeiten und gefährlichen Situation in den INHAL-Gruppen spricht für eine geringere Beeinträchtigung der Ferkel nach der Inhalationsnarkose. Es steht zu vermuten dass diese im Zusammenhang mit der sehr unterschiedlich langen Nachschlafphase nach der Kastration in Zusammenhang steht. Da es nach einer Injektionsnarkose bis zu vier Stunden dauern kann bis die volle Mobilität der Ferkel wiederhergestellt ist (Kmiec, 2005), stellt die nach Inhalationsnarkose deutlich kürzere Nachschlafphase den wesentlichsten Vorteil dieser Narkosemethode dar. In der vorliegenden Studie waren die Ferkel der INJEKT-Gruppen nach durchschnittlich 2,5 h mobil und wurden zurück in die Bucht gesetzt, während die

INHAL-Ferkel unmittelbar nach der Kastration wieder zurückgesetzt werden konnten. Die stark verkürzte Nachschlafphase ist besonders in den in der Öko-Schweinehaltung weitverbreiteten Kaltställen von großer Bedeutung, da dadurch das Risiko von Unterkühlung und Energieverlust durch eine längere Trennung von der Muttersau mit dem damit verbundenen Milchentzug verringert wird. Nicht unerwähnt bleiben soll auch der arbeitswirtschaftliche Vorteil, der durch den Wegfall des späteren Zurücksetzens der Ferkel in die Bucht bzw. der Versorgung während der Nachschlafphase nach einer Injektionsnarkose entsteht.

Von allen Bereichen der Abferkelbucht wurde der Auslauf am wenigsten genutzt, und in der ersten Stunde nach dem Aufwachen aus der Kastrationsnarkose überhaupt nicht (Tabelle 2). Diese Beobachtung erklärt sich aus den Kalendermonaten zu denen die Studie durchgeführt wurde: Durchgang 1 fand im Februar, Durchgang 2 im März und Durchgang 3 im Dezember statt. Folglich liegt der Schluss nahe, dass der Auslauf für die jungen Ferkel aufgrund der winterlich kalten Temperaturen einen unattraktiven Aufenthaltsbereich darstellte.

Die unter Injektionsnarkose kastrierten Ferkel des 2. und 3. Durchgangs äußerten signifikant mehr Schmerz während der Durchtrennung des Samenstrangs als dies unter Inhalationsnarkose dokumentiert wurde (Tabelle 4). Zur Dosierung der intramuskulär verabreichten Narkosemittel Ketamin ( $25 \text{ mg kg}^{-1} \text{ LM}$ ) und Azaperon ( $2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ LM}$ ) ist zu bemerken, dass diese nach den Empfehlungen von Kmiec (2005), ermittelt in konventionellen Haltungssystemen, erfolgte. Bei ebendieser Dosierung beobachteten Lahrman et al. (2006) nur bei 1 % der kastrierten Ferkel heftige Abwehrreaktionen mit Vokalisation, während diese in der vorliegenden Studie für 66,7 % der kastrierten Ferkel dokumentiert wurden. Zwar könnte dieser große Unterschied in der Häufigkeit von Schmerzäußerungen zum Teil darauf zurückzuführen sein, dass in unserem Boniturschlüssel eine Vokalisation immer zur Boniturnote 3 führte, während bei Lahrman et al. (2006) eine Differenzierung der Vokalisation erfolgte. Allerdings kommt als weitere mögliche Erklärung auch der Unterschied in den Haltungssystemen infrage: Die Arbeiten von Kmiec (2005) und Lahrman et al. (2006) wurden unter konventionellen Bedingungen im Warmstall durchgeführt. Die vorliegende Studie hingegen fand unter ökologischen Haltungsbedingungen im Kaltstall statt, und es wäre denkbar, dass die Wirksamkeit der Narkosemittel von der Umgebungstemperatur beeinflusst wird. Ein Vergleich von unterschiedlichen Dosierungen der Narkosemittel unter Öko-Bedingungen ist uns nicht bekannt, scheint aber angezeigt zu sein. Einen Hinweis auf mögliche Unterschiede gibt auch unsere Beobachtung, dass zur Sicherstellung einer tiefen Narkose, wie sie z. B. zur Kastration von Binnenebern notwendig ist, auf unserem Versuchsbetrieb eine deutlich höhere Dosierung zur Anwendung kommt. Eine Studie von Leeb et al. (2008) mit 18 Tage alten Ferkeln im Kaltstall zeigte, ähnlich wie die eigenen Ergebnisse, eine unzureichende Narkosewirkung der Injektionsnarkose, allerdings bei deutlich älteren Tieren. Von den Ferkeln der INHAL-Gruppen zeigten nur 20,8 % leichte Abwehrreaktionen, was mit Berichten von Schatzmann



(2004) und Walker et al. (2004) zur Isofluran-Narkose übereinstimmt. Im Widerspruch dazu fanden Schwennen et al. (2016) beim Einsatz der Isoflurannarkose auf konventionellen Betrieben nur bei 77 % der Ferkel (1 bis 8 Tage alt) eine zufriedenstellend tiefe Narkose, wobei die Narkosetiefe mit zunehmendem Alter und zunehmender Lebendmasse der Ferkel abnahm. Die entsprechend den Herstellerangaben Lebendmasse-unabhängige Dosierung von Isofluran erschwert somit den Vergleich von Arbeiten mit unterschiedlich alten und schweren Ferkeln.

Grundsätzlich ist zur Injektionsnarkose noch zu bemerken, dass diese in der Praxis zwar intramuskulär erfolgt, eine intravenöse Injektion allerdings vorteilhafter wäre, da sich die Einschlaf- und Nachschlafdauer dadurch deutlich verkürzen (Minihuber und Hagmüller, 2013; Lahrmann, 2006). Die im Vergleich zur Inhalationsnarkose beobachteten Nachteile der Injektionsnarkose wären bei intravenöser Injektion also deutlich geringer, allerdings ist diese bei so jungen Ferkeln wie im vorliegenden Versuch aufwändig und daher für die Anwendung beim älteren Ferkel besser geeignet.

Der unter Injektionsnarkose offenbar stärker empfundene Kastrationsschmerz wirkte in der vorliegenden Studie nicht nach, da sich die Häufigkeit von Schmerzäußerungen während der acht Stunden nach dem Aufwachen aus der Narkose auf niedrigem Niveau bewegte und nicht von der Narkosemethode beeinflusst wurde (Tabelle 3). Das allgemein geringe Niveau war vielmehr die Folge der präoperativen Meloxicam-Gabe in beiden Versuchsgruppen, welche postoperative Schmerzen nach der Kastration wirksam reduzierte, wie bereits von Keita et al. (2010) berichtet. Das Ausbleiben eines Effekts der Narkosemethode wiederum stimmt überein mit Berichten von Schulz (2007), die keine Reduktion der postoperativen Schmerzen durch eine Isofluran-Narkose beobachten konnte.

Unabhängig von der Narkosemethode verlief die weitere Lebendmasseentwicklung der kastrierten Ferkel ebenso gut wie die ihrer weiblichen Wurfgeschwister (Abbildung 1). Die fehlende Auswirkung sowohl der Kastration als auch der Narkosemethode auf das Wachstum der Ferkel deckt sich mit Berichten von Keita et al. (2010) und Schmidt et al. (2012), welche ebenfalls keinen Effekt einer Narkose und/oder Schmerzmittelgabe auf die Lebendmasseentwicklung fanden. Auch die Anzahl der Behandlungen und Tierverluste unterschied sich nicht zwischen den Narkosemethoden und lag insgesamt auf sehr niedrigem Niveau.

## 5 Schlussfolgerungen

Die Narkosemethode zur Ferkelkastration führte in der vorliegenden Studie zu keiner langfristigen Beeinträchtigung des Wachstums von männlichen Ferkeln. Allerdings zeigten sich nachteilige Effekte auf das Verhalten der Ferkel während und in den ersten acht Stunden nach der Kastration, unter anderem eine höhere Anzahl von Situationen mit Erdrückungsgefahr. Daher ist die Inhalationsnarkose mit Isofluran plus Schmerzmittel Meloxicam der Injektionsnarkose mit Ketamin/Azaperon plus Meloxicam aus Gründen des

Tierwohls vorzuziehen und eine baldige Zulassung von Isofluran zur Anwendung an Schweinen ist zu befürworten.

## Literatur

- Bioland (2014) Bioland-Richtlinien. Mainz: Bioland, 54 p
- Demeter e. V. D (2015) Erzeugung und Verarbeitung: Richtlinien für die Zertifizierung „Demeter“ und „Bioynamisch“ – Stand: Oktober 2015 [online]. Zu finden in <[https://issuu.com/demeter.de/docs/erz\\_verarbeitung\\_2015\\_gesamt](https://issuu.com/demeter.de/docs/erz_verarbeitung_2015_gesamt)> [zitiert am 31.05.2017]
- Düsseldorfer Erklärung (2008) Gemeinsame Erklärung zur Ferkelkastration des Deutschen Bauernverbandes (DBV), des Verbands der Fleischwirtschaft (VDF) und des Hauptverbandes des deutschen Einzelhandels (HDE) [online]. Zu finden in <<http://animal-health-online.de/kastrat/doc/duesseldorf.pdf>> [zitiert am 29.05.2017]
- Europäische Kommission (2008) Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen [online]. Zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/889/oj>> [zitiert am 29.05.2017]
- Europäische Kommission (2010) Verordnung (EU) Nr. 37/2010 der Kommission vom 22. Dezember 2009 über pharmakologisch wirksame Stoffe und ihre Einstufung hinsichtlich der Rückstandshöchstmengen in Lebensmitteln tierischen Ursprungs [online]. Zu finden in <[http://ec.europa.eu/health/sites/health/files/eudralex/vol-5/reg\\_2010\\_37/reg\\_2010\\_37\\_de.pdf](http://ec.europa.eu/health/sites/health/files/eudralex/vol-5/reg_2010_37/reg_2010_37_de.pdf)> [zitiert am 29.05.2017]
- Heid A, Brennkmeier C, Knierim U, Hamm U (2011) Alternativen zur betäubungslosen Ferkelkastration im ökologischen Landbau: Analyse der Auswirkungen alternativer Verfahren auf die Akzeptanz bei Verbrauchern und Produzenten; Abschlussbericht; Berichtszeitraum: 15. Dezember 2008 bis 31. März 2001. Witzenhausen, 136 p
- Keita A, Pagot E, Prunier A, Guidarini C (2010) Pre-emptive meloxicam for postoperative analgesia in piglets undergoing surgical castration. *Vet Anaesth Analg* 37(4):367-374
- Kmiec M (2005) Die Kastration von Saugferkeln ohne und mit Allgemein-anästhesie (Azaperon-Ketamin): Praktikabilität, Wohlbefinden und Wirtschaftlichkeit. Berlin: Freie Univ, 121 p
- Kupper T, Spring P (2008) Alternative Methoden zur konventionellen Ferkelkastration ohne Schmerzausschaltung: Projekt ProSchwein; Synthesebericht [online]. Zu finden in <[https://www.hafl.bfh.ch/fileadmin/docs/Forschung\\_Dienstleistungen/Agrarwissenschaften/Nutztiere/ProSchwein/Synthesebericht\\_ProSchwein.pdf](https://www.hafl.bfh.ch/fileadmin/docs/Forschung_Dienstleistungen/Agrarwissenschaften/Nutztiere/ProSchwein/Synthesebericht_ProSchwein.pdf)> [zitiert am 29.05.2017]
- Lahrmann K (2006) Klinisch-experimentelle Untersuchungen zur Ketamin/Azaperon-Allgemeinanästhesie bei Schweinen. *Prakt Tierarzt* 87:713-725
- Lahrmann K, Kmiec M, Stecher S (2006) Die Saugferkelkastration mit der Ketamin/Azaperon-Allgemeinanästhesie: tierschutzkonform, praktikabel, aber wirtschaftlich? *Prakt Tierarzt* 8(10):802-809
- Lahrmann K, Fink H, Luy J (2008) Die Ketamin- Azaperon- Allgemein-anästhesie: eine tierschutzkonforme und praxistaugliche Betäubung für die Saugferkelkastration. *Dtsch Tierärzteblatt* 8:1028-1031
- Leeb C, Gößler C, Czech B, Baumgartner (2008) Experiences with intravenous general anesthesia for surgical castration of piglets. In: Book of Abstracts of the 59th Annual Meeting of the European Association for Animal Production: Vilnius, Lithuania, 24-27 August 2008, Wageningen: Wageningen Acad Publ, pp 24-27
- Löscher W (2010) Pharmaka mit Wirkung auf das Zentralsystem. In: Löscher W, Ungemach FR, Kroker R (eds) *Pharmakotherapie bei Haus- und Nutztieren*. Stuttgart: Enke, pp 64-134
- Minihuber U, Hagmüller W (2013) Erfahrungen mit der intravenösen Allgemein-anästhesie mittels Ketamin/Azaperon bei der chirurgischen Ferkelkastration. In: Neuhoß D, Stumm C, Ziegler S, Rahmann G, Hamm U, Köpke U (eds) *Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau: Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landwirtschaft*. Berlin: Köster, pp 594-597

- Plonait H (2004) Einfluss der Haltungsbedingungen auf das Krankheitsgeschehen. In: Waldmann K-H, Wendt M (eds) Lehrbuch der Schweinekrankheiten. Stuttgart : Parey, pp 11-37
- Regierungspräsidium Tübingen (2010) Merkblatt zur Schmerzbehandlung bei der Ferkelkastration [online]. Zu finden in <<https://rp.baden-wuerttemberg.de/Themen/Verbraucher/SES/rpt-ses-merkbl-ferkelkastration.pdf>> [zitiert am 29.05.2017]
- SAS Institute (2013) Software Release 9.4. Cary, NC : SAS Institute
- Schatzmann U (2004) Ferkel müssten nicht leiden [online]. Zu finden in <<https://www.yumpu.com/de/document/view/51564318/ferkel-mussten-nicht-leiden-von-urs-schatzmann-pdf-uniaktuell/3>> [zitiert am 29.05.2017]
- Schmidt T, König A, Von Borell E (2012) Impact of general injection anaesthesia and analgesia on post-castration behaviour and teat order of piglets. *Animal* 6(12):1998-2002
- Schulz C (2007) Auswirkung einer Isofluran-Inhalationsnarkose auf den Kastrationsstress und die postoperativen Kastrationsschmerzen von Ferkeln. München : Verl Dr. Hut, 128 p
- Schwennen C, Kolbaum N, Waldmann K-H, Hoeltig D (2016) Evaluation of the anaesthetic depth during piglet castration under an automated isoflurane-anaesthesia at farm level. *Berl Muench Tieraerztl Wochenschr* 129(1-2):40-47
- SWISSMEDIC (2008) Risiken und Konsequenzen eines grossflächigen Isofluran-Einsatzes bei der Ferkel-Kastration [online]. Zu finden in <<https://www.swissmedic.ch/aktuell/00673/00688/01755/index.html?lang=de>> [zitiert am 30.05.2017]
- Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (2013) Drittes Gesetz zur Änderung des Tierschutzgesetzes vom 4. Juli 2013. *Bundesgesetzbl* 1 2013(36):2182-2196
- Walker B, Jäggin N, Doherr M, Schatzmann U (2004) Inhalation anaesthesia for castration of newborn piglets : experiences with isoflurane and iso-flurane/N2O. *J Vet Med A* 51(3):150-154
- Wenger S, Jäggin N, Doherr M, Schatzmann U (2002) Die Halothananästhesie zur Kastration des Saugferkels : Machbarkeitsstudie und Kosten-Nutzen-Analyse. *Tierärztl Prax* 30:164-170

# Tierarzneimittel (Antiparasitika) im Kuhfladen – Ein Risiko für Nicht-Ziel-Organismen (Literaturübersicht)

Regine Koopmann\* und Stefan Kühne\*\*

## Zusammenfassung

Abgesehen vom Wirkstoff Ivermectin ist über das Umweltverhalten von antiparasitisch wirksamen Arzneimitteln im Dung von Wiederkäuern wenig bekannt. Um das Umweltisiko der anderen makrozyklischen Laktone bewerten zu können, sollten neue Testverfahren auf verschiedenen Ebenen (Labor-, Semi-Feld-, Feldstudien) entwickelt und in entsprechende Richtlinien implementiert werden. Dazu gehören sowohl Testverfahren für die Dungfaunagemeinschaften und deren Nahrungsketten als auch Langzeitmodelle, die sowohl die Nachteile als auch den Nutzen der Wirkstoffe über größere Zeiträume abbilden können. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass Antiparasitika die verschiedenen Dungarthropoden unterschiedlich stark schädigen und dass dies z. B. von der Wirkstoffkonzentration im Kot, von der Ontogenese und der Jahreszeit abhängig ist. Der Einfluss auf Artenreichtum und Abundanz hängt auch von der Verfügbarkeit wirkstofffreien Dungs als Ausweichhabitat ab. Anthelminthika haben bislang unberechnete Kosten für die Umwelt. Zu den Risikominimierungsmaßnahmen gehören: unnötige Behandlungen das ganze Jahr über zu vermeiden, während der Vermehrungszeit der Insekten ökologisch sichere Wirkstoffe anzuwenden und Avermectin- und Pyrethroid-behandelte Tiere zeitweise aufzustellen.

**Schlüsselwörter:** Tierarzneimittel, Antiparasitika, Biodiversität, Dungfauna, Weidehaltung

## Abstract

### Veterinary Pharmaceuticals (Antiparasitics) in Cattle Dung – A Risk for Non-Targeted Organisms (Overview on Literature)

Apart from the active substance Ivermectin, little is known regarding the ecotoxicology of antiparasitic drugs in the dung of ruminants. In order to assess the environmental risk of other macrocyclic lactones, new test methods should be developed at different levels (laboratory, semi-field, field studies) and implemented in appropriate guidelines. This includes both test methods for the communities of the dung fauna and their food chains, as well as long-term models which can represent the harm and the benefit of the active substance over longer periods of time. Studies so far have shown that antiparasitic agents cause different damage to the different dungarthropods and that this is dependent, for example, on the concentration of active substances in feces, ontogenesis and season. The influence on species richness and abundance also depends on the availability of drug-free dung as evasiveness. Anthelminthics have hitherto undeclared costs for the environment. The risk minimization measures include: to avoid unnecessary treatments throughout the year, to use ecologically safe substances during the reproduction period of insects and animals treated with Avermectines and Pyrethroids should stay indoors temporarily.

**Keywords:** Veterinary pharmaceuticals, parasiticide, biodiversity, dung fauna, pasture

\* Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau

\*\* Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow

Kontakt: regine.koopmann@thuenen.de

## 1 Einleitung

Wie vielfältig das Zusammenspiel der Arten einer Lebensgemeinschaft auf einer Weide sein kann, zeigt eine aktuelle Studie von Soliveres et al. (2016): Insgesamt 4600 Tier- und Pflanzenarten aus neun Gruppen der Nahrungskette wurden gemeinschaftlich betrachtet. Nur einzelne Gruppen zu überprüfen, führt zu Fehleinschätzungen ihrer Bedeutung für die Biodiversität. Arten, die für uns oder unsere Haustiere schädlich sind, dürfen dabei nicht niedriger eingeschätzt werden als Nützlinge – es gibt keine stabilen, produktiven Ökosysteme, ohne dass die biologische Vielfalt erhalten wird (Blüthgen et al., 2016; Grace et al., 2016).

Die Ausscheidungen der großen Pflanzenfresser sind Grundlage für vielfältiges Leben. Tierarzneimittel, insbesondere die Antiparasitika, werden seit langem verdächtigt, die Dungfauna und die darauf folgenden Nahrungsketten zu beeinträchtigen und damit die Biodiversität negativ zu beeinflussen. Die Wirkstoffe beeinträchtigen den Stoffwechsel der Endo- und Ektoparasiten, sodass sie gelähmt werden bzw. absterben (Löscher und Bäumer, 2014). Die zugrunde liegenden Wirkmechanismen der Antiparasitika schädigen auch den Stoffwechsel vieler Nicht-Ziel-Organismen, da diese häufig der gleichen taxonomischen Gruppe – teils sogar der gleichen Gattung wie die Parasiten angehören. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Hinweise zur ökotoxikologischen Beurteilung der einzelnen Wirkstoffe zu geben und Vorschläge zur Minimierung des Risikos für Nicht-Ziel-Organismen bei der Anwendung von Antiparasitika für landwirtschaftlich genutzte Wiederkäuer aufzuzeigen.

## 2 Risiken für die Dunggemeinschaft

Der Dung unserer pflanzenfressenden Haustiere wie Pferd, Rind, Schaf und Ziege ist Lebens- und Entwicklungsraum sowie Nahrungsquelle für eine Vielzahl von niederen und höheren Organismen. Die Bedeutung des Kuhdungs als Lebensgrundlage für Mikroorganismen und koprophage Insekten sowie weitere Tiere der Nahrungskette ist unbestritten. Kiebitz, Rotschenkel und Bachstelze, Dachs, Igel und Spitzmaus ernähren sich u. a. von Insekten direkt aus dem Dunghaufen. Schwalben und Fledermäuse fangen die daran fliegenden Insekten. Der Kuhfladen auf der Weide erbringt damit eine Leistung für den Artenschutz und für die Ökosystem-Struktur (Lumaret und Errouissi, 2002).

Zunehmend werden die Auswirkungen von Tierarzneimitteln, insbesondere der antiparasitisch wirksamen Makrozyklischen Laktone, auf die Dungfauna kontrovers diskutiert. Bei Avermectinen gab es lange einen deutlichen Mangel an Informationen über deren Auswirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen (Strong, 1993).

Die Komplexität der Einflüsse von Wetter, Besatzdichte, Dauer der Beweidung und anderen Faktoren bietet weiten Interpretationsspielraum, um die Wirkung von Medikamentenmetaboliten im Dung zu beurteilen. Auch die Intensivierung der Beweidung mit großen Pflanzenfressern birgt Risiken für die Insektenvielfalt. So ändert sich die

Zusammensetzung der Vegetation z. B. durch Abfressen und Trittbelastung, und damit ändert sich auch die Nahrungsgrundlage der Insekten und das Mikroklima. Die Prädation erhöht sich, weil Verstecke in kurzem Gras fehlen (van Klink et al., 2015). In einer Feldstudie konnte kein Einfluss von Ivermectin auf die Dungkäfer-Gemeinschaft gefunden werden, weil vermutlich das Wetter, die räumliche Verteilung der behandelten Herden und der Anteil behandelter Tiere in der Herde wichtigere Faktoren waren (Kryger et al., 2007).

Seit einigen Jahren werden die Risiken für Nicht-Ziel-Organismen, die von Entwurmungsmitteln ausgehen, im Labor und im Freiland intensiver untersucht. Reste von Wirkstoffen, die gegen Parasiten bei Wiederkäuern angewendet wurden, und deren Metaboliten haben nachweislich einen negativen Einfluss auf die Dungfauna, insbesondere auf koprophage Insekten (Beynon, 2012a; Beynon, 2012b; Iwasa et al., 2005; Jacobs und Scholtz, 2015; Jochmann und Blanckenhorn, 2016; Lumaret und Errouissi, 2002; McCracken, 1993; McKellar, 1997). Basto-Estrella et al. (2014) konnten in einem Vergleich von Weideflächen zwischen vier Betrieben, zwei mit und zwei ohne Anwendung von Makrozyklischen Laktone gegen Rinderparasiten, einen negativen Effekt auf Diversität und Abundanz von Dungkäfern nachweisen.

Indirekt beeinflussen diese Arzneimittelreste auch Wirbeltiere. Speziell in der Brutzeit und in der Aufzuchtzeit, wenn Jungtiere selber Nahrung finden müssen, sind viele Vögel, Fledermäuse, Spitzmäuse, Igel und Dachse auf Insektenlarven angewiesen (McCracken, 1993).

Die lange Persistenz der Wirkstoffe bzw. ihrer Metaboliten in der Umwelt spielt ebenfalls eine Rolle. Litskas et al. (2013) stellten fest, dass bei aeroben Verhältnissen der Wirkstoff Eprinomectin im Boden mittelgradig persistent war. Unter anaeroben Bedingungen erhöhte sich die Stabilität drastisch, so dass 4 Monate nach der Therapie noch 80 bis 86 % des Wirkstoffes im Rinderdung nachweisbar waren.

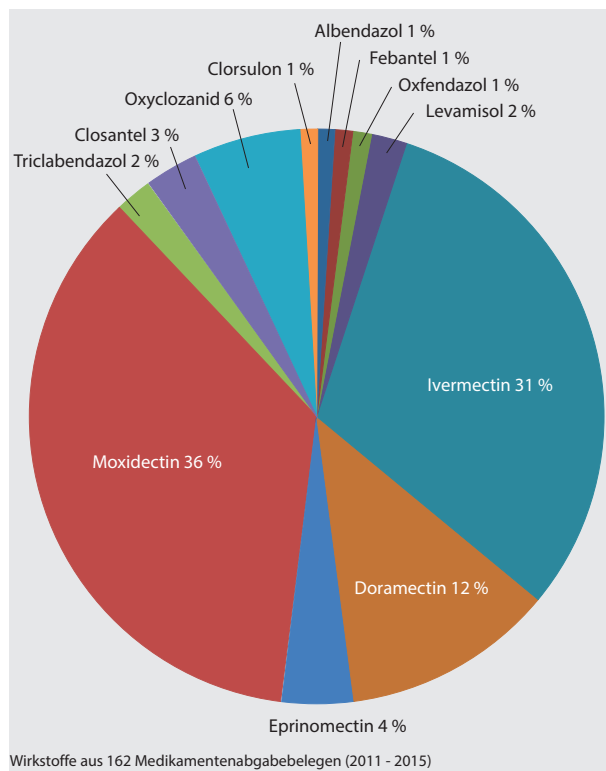
Der Umwelteinfluss einer antiparasitisch wirksamen Substanz hängt von mehreren Faktoren ab, wie:

- a) von der Art und Menge des angewandten Wirkstoffes, von der Art der Verabreichung (topical, oral oder parenteral) und der Metabolisierung im Tier.
- b) von der Konzentration des Wirkstoffes, der Dauer der Ausscheidung nach Behandlung und der Abbaugeschwindigkeit im Kot.
- c) von externen Bedingungen wie z. B. Jahreszeit, Wetter, Besatzdichte und Anteil unbehandelter Tiere in räumlicher Nähe.
- d) von den sehr unterschiedlichen Empfindlichkeiten der Spezies und auch von der Wirkung auf die Zusammensetzung der gesamten Gemeinschaft (z. B. ist ungeklärt, ob nicht betroffene Arten die Funktionen der betroffenen Arten ausgleichen könnten oder nicht).

Diese Zusammenhänge haben Eingang in die Ausbildungsordnung der Tierärzte gefunden. Die Umweltwirkungen von Medikamenten sind Lehrinhalt im Curriculum des Studiengangs geworden (Schwabenbauer, 2016).

### 3 Die Wirkstoffe

Zur Behandlung von Endo- und Ektoparasiten der landwirtschaftlichen Nutztiere kommen in der Europäischen Union nur Medikamente zum Einsatz, die für diese lebensmittelliefernden Tiere zugelassen sind (EU, 2009). In Deutschland sind fast alle Antiparasitika für Nutztiere verschreibungspflichtig. Man unterscheidet die wichtigsten Wirkstoffgruppen mit den Oberbegriffen: Benzimidazole, Levamisole und die Makrozyklischen Laktone, die in die beiden Untergruppen Avermectine und Milbemycine (Moxidectin) aufgeteilt werden. Am häufigsten werden Avermectine (z.B. Ivermectin, Doramectin und Eprinomectin) und Moxidectin eingesetzt (Beispiel siehe Abbildung 1. Die Daten stammen aus eigenen, bisher unveröffentlichten Untersuchungen).



**Abbildung 1**

Anteil der Wirkstoffe bei Routineentwürmungen in 30 deutschen Rinderbetrieben.

Größtenteils werden die Entwurmungsmittel, entweder unverändert oder abgebaut zu potentiell ebenfalls toxischen Metaboliten, über den Kot ausgeschieden. Relevante Wirkstoffmengen erscheinen im Kot je nach Medikament ab dem 2. Tag nach der Behandlung (p.t.) und können bis zu 47 Tage p.t. bestehen bleiben (Iwasa und Sugitani, 2014; Iwasa et al., 2008; Suárez et al., 2009; Sutton et al., 2014). Das Wirkprinzip, das die parasitischen Magen-Darm-Würmer im Nutztier zum Absterben bringt, schädigt auch die nützliche Dungfauna. Adulte Arthropoden sind betroffen, ganz besonders stark jedoch die Larvenstadien. Für viele Spezies von Insekten und Würmern sind die Grenzwerte der toxischen Konzentrationen

LC 50 (Konzentration bei der 50 % der Test-Tiere sterben) bei den diversen Wirkstoffen im Kuhfladen unklar. Unterschiedliche Spezies sind unterschiedlich empfindlich und auch die Entwicklungsstadien (Larven, Adulte) unterscheiden sich in ihrer Anfälligkeit (Römbke et al., 2010).

Weiterhin kann die Dauer der Ausscheidung des pharmazeutischen Wirkstoffs in toxischer Konzentration darüber entscheiden, ob beispielsweise die Reproduktion der Dungbewohner bedroht ist. Dies wäre der Fall, wenn die Behandlung des Weidetieres zur populationsdynamisch wichtigsten Jahreszeit für die Insekten stattfindet und lang anhaltend einen toxischen Wirkstoffspiegel im Dung aufrechterhält.

Die unterschiedlichen, pharmazeutischen Wirkstoffe müssen differenziert betrachtet werden.

**Benzimidazole (BDZ)** (z. B. Febantel, Oxfendazol, Triclabendazol) haben neben der Wirkung gegen Nematoden auch eine fungizide Wirkung und stören damit den Abbau der Kuhfladen (Sommer und Bibby, 2002), sind aber für koprophage Insekten weniger toxisch und bauen sich schneller ab als Makrozyklische Laktone (Floate et al., 2005; McKellar, 1997). Reste von den Wirkstoffen der Benzimidazolgruppe und den Levamisolen und deren Metaboliten sollen relativ harmlos für die Dungfauna sein, fanden auch Lumaret und Errouissi (2002).

Bei den Benzimidazolen nennt McKellar (1997) folgende Reihung nach den Tagen p.t., an denen noch schädliche Konzentrationen im Kot nachweisbar waren: Fenbendazol, Oxfendazol (bis 7 Tage p.t.) > Albendazol (bis 4 Tage p.t.) > Thiabendazol (bis 1,5 Tage p.t.).

Die kurze Schadwirkung der Benzimidazole wird allerdings konterkariert, wenn ein sogenannter Bolus eingegeben wird, der kontinuierlich über die Weideperiode Wirkstoff abgibt. In Deutschland zugelassen ist ein so anhaltend freisetzender, Sustained-Release (SR)-Bolus mit dem Wirkstoff Fenbendazol (Panacur SR Bolus 12 g<sup>®</sup>). Er soll Jungrinder für 140 Tage prophylaktisch vor Magen-Darm-Strongyloiden (MDS) schützen. Ein anderer Typ ist der Pulse-Release (PR)-Bolus (Systamex Intervall Bolus forte 7,5g<sup>®</sup>), der an 6 Terminen eine therapeutische Dosis Oxfendazol abgibt. Dies dürfte die Dungfauna eher schonen.

Über den BDZ-Wirkstoff Triclabendazol, der speziell zur Bekämpfung juveniler Leberegel dient, gibt es kaum Daten. Die Metaboliten sollen innerhalb vom 7 bis 10 Tagen p.t. vollständig über den Kot ausgeschieden sein. Die sehr lange Wartezeit von 66 Tagen lässt auf eine lange Präsenz im Fleisch schließen, sodass eventuell auch längerfristig Metaboliten ausgeschieden werden könnten – allerdings findet diese Leberegelbekämpfung in der Regel bei der Aufstallung statt, sodass sich Rückstände im (Stall-) Mist ansammeln.

Weitere Wirkstoffe sollen gegen adulte Leberegel wirken. Closantel, ein Salicylsäureanilid wird überwiegend unverändert via Galle mit dem Kot ausgeschieden. Der Wirkstoff Oxyclozanid, ebenfalls ein Salicylsäureanilid, ist nur im europäischen Ausland zugelassen, kann aber bei Therapiebedarf (laktierende Kühe) auch in Deutschland angewandt werden. 5 Tage p.t. sollen 84 % der Dosis über den Kot ausgeschieden sein (EMA, 1998). Ein weiterer Wirkstoff gegen Leberegel ist Clorsulon, ein Sulfonamid. Es wird zu 50 % über die Niere ausgeschieden (Sundlof und Whitlock, 1992).



Der zuletzt eingeführte Wirkstoff gegen Rundwürmer **Monepantel** (Zolvix® für Schafe) ist erst in 10-facher Überdosierung nachweisbar schädlich (Skripsky und Hoffmann, 2010). Beim Pferd sind **Morantel/Pyrantel**-Präparate zugelassen, deren Toxizität auf Dung-Arthropoden mit der von Benzimidazolen vergleichbar sein soll (Floate et al., 2005).

Das Bandwurmmittel **Praziquantel** hat sich als unschädlich für Dungbewohner erwiesen (Hempel et al., 2006; Römbke et al., 2007b) und wird deshalb hier nicht weiter aufgeführt. Der Wirkstoff **Levamisol (LEV)** wird zu einem großen Teil über den Urin sehr zügig ausgeschieden. Der Einfluss auf Dungbewohner ist wenig untersucht worden (McKellar, 1997). Der Abbau organischen Materials wird jedoch verzögert (Sommer und Bibby, 2002).

Sehr gefährlich sind hingegen Ektoparasitika, wenn deren Wirkstoffe oder Metaboliten in den Kot gelangen, wie es bei den heute üblichen Aufgussverfahren der Fall ist. In erster Linie haben die synthetischen **Pyrethroide**, z. B. Deltamethrin, die größte Bedeutung. Stärker als Ivermectin sind die Pyrethroide toxisch für Nicht-Ziel-Organismen (McKellar, 1997; Virlouvet et al., 2006; Wardhaugh et al., 1998). Die Fachinformationen der Herstellerfirmen zu diesen Medikamenten enthalten zunehmend entsprechende Warnhinweise. Die pyrethroidhaltigen Ohrclips setzen für 4 bis 5 Monate Wirkstoff frei, der sich über das Haarkleid des Rindes und die oberen Hautschichten verteilt. Bei Weideaustrieb angebracht kann die Arthropodenpopulation auf der Weide gering gehalten werden (Löscher und Bäumer, 2014). Organophosphate sollen über den Urin ausgeschieden werden (Floate et al., 2005). Sie sind für Rinder inzwischen nicht mehr zugelassen. Für Schafe ist aber Phoxim erlaubt (Sebacil®).

Die **Makrozyklischen Laktone (ML)** (z. B. Ivermectin, Doramectin und Eprinomectin, Moxidectin) sind die wichtigste Wirkstoffgruppe. Sie bekämpfen auch Ektoparasiten (Insekten und Milben), was die unerwünschten Nebenwirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen potentiell verschlimmert (McKellar, 1997). Von diesen ML geht der wirklich entscheidende Einfluss auf die Dungfauna aus (Jochmann und Blanckenhorn 2016; Lumaret et al., 2012; Wardhaugh et al., 2001a).

Bereits 1981, also 6 Jahre nach Einführung des ersten **Ivermectins (IVM)** (Ivomec® für Rinder), berichteten Farmer über Dungfladen, die nur stark verzögert zerfielen. Ein Zusammenhang wurde vermutet. Die Pharmaindustrie hatte warnende Stimmen aus der Wissenschaft zunächst negiert (Wall und Strong, 1987; Wall und Strong, 1988) und auch später beklagte Strong (1993) den Mangel an öffentlich zugänglichen Informationen. Inzwischen erhärten sehr viele Untersuchungen zur schädigenden Wirkung von ML auf Nicht-Ziel-Organismen den Verdacht. IVM ist inzwischen die

am häufigsten untersuchte Substanz bei Rindern (Hempel et al., 2006; Lumaret et al., 2012) und Schafen (Beynon, 2012a). Die schädlichen Auswirkungen von verwandten Wirkstoffen wie Doramectin, Eprinomectin und weiteren Wirkstoffklassen sind bisher weniger untersucht worden (Lumaret et al., 2012).

Die früher verwendeten IVM-haltigen SR-Boli waren extrem schädlich und haben für Monate die Insektenlarven im Dung negativ beeinflusst (Errouissi et al., 2001). Es sollte 2 Jahre gewartet werden, bevor erneut ein solcher Bolus zum Einsatz kommt (Wardhaugh et al., 2001a). Diese Boli sind in der EU inzwischen nicht mehr zugelassen.

Die weit verbreitete Ansicht, dass **Moxidectin (MOX)** unschädlich sei, ist nur zum Teil richtig. Neuere Untersuchungen belegen, dass die LC50 von Dungkäfern nur 5-fach höher liegt als bei Ivermectin. Bei Anwendungsfehlern (z. B. Ablecken) kann durchaus eine schädliche Konzentration erreicht werden (Hempel et al., 2006). Der europäische Ausschuss für Arzneimittel (EMA) startete im November 2015 ein Verfahren gemäß Artikel 35 der Richtlinie 2001/82/EG für alle Tierarzneimittel, die Moxidectin enthalten und an Rinder, Schafe und Pferde verabreicht werden. Die Angelegenheit wurde von Deutschland an den Ausschuss gerichtet, da Bedenken bestehen, dass Moxidectin persistente bioakkumulative und toxische (PBT) Eigenschaften aufweisen kann und folglich eine mögliche ernsthafte Gefahr für die Umwelt aus der Verwendung entstehen kann (EMA, 2015). Zum Beispiel weisen Eichberg et al. (2016) auf die schädigende Wirkung von MOX für die Keimung von drei Weidepflanzen hin.

Die Arbeit von Floate et al. (2002) schätzt die Toxizität der ML unabhängig von Spezies-spezifischer Sensibilität grob ein: Die Schädlichkeit von Doramectin ist größer als die von IVM, diese ist größer als die von Eprinomectin und diese ist deutlich größer als die von MOX. Doramectin ist chemisch nah verwandt mit Ivermectin, hat sich aber in der Wirkung auf Dunginsekten als deutlich schädlicher als andere ML erwiesen (Suárez et al., 2009).

Seit einigen Jahren gibt es MOX in einer langwirkenden Formulierung, die als Depot am Ohr gespritzt wird. Wie sich dies auf die Dungfauna auswirkt, sollte noch unabhängig untersucht werden. Eine vom Hersteller angegebene andauernde Schutzwirkung von 4 Monaten gegen den Labmagenwurm lässt auch eine andauernde Schädigung der Dungfauna vermuten. In der öffentlich zugänglichen Fachinformation gibt der Hersteller dazu keine Hinweise, abgesehen vom Warnhinweisen für die Entsorgung von Medikamentenresten ([www.pharmnet-bund.de](http://www.pharmnet-bund.de), 2017).

Tabelle 1 zeigt eine Auswahl an Veröffentlichungen, die sich mit den unterschiedlichen Auswirkungen auf verschiedene Nicht-Ziel-Organismen beschäftigen.

**Tabelle 1**

Literaturübersicht über anthelminthische Wirkstoffe und deren Einfluss auf die verschiedenen Nicht-Ziel-Tierarten (AVM = Avermectine, BDZ = Benzimidazole, DOR = Doramectin, EPR = Eprinomectin, IVM = Ivermectin, MOX = Moxidectin, ML = Makrozyklische Laktone)

Wirkstoff	Tiergruppe	Species, Subspecies u. ä.	Stadium	Beschreibung der Ergebnisse	Quelle
alle	diverse			manche Metaboliten sind giftiger als die Ursprungssubstanz (z. B. Mebendazol). Beklagt schlechte Datenlage.	Horvat et al., 2012
alle	Dungfauna	diverse		negative Effekte: BDZ < AVM/MOX < Bolus mit AVM/MOX	McKellar, 1997
AVM	Dungfauna	diverse	Adulte und Larven	letale und subletale Einflüsse auf die Körpergröße der Adulten oder verlängerte Entwicklungszeit (Verpuppungszeit), schlechtere Reproduktion	Strong, 1993
AVM	Dungkäfer	diverse	Larven	Larven sind hochgradig empfindlich gegen AVM, sehr hohe Mortalität, verzögerte Entwicklung, Kleinwuchs, Missbildungen	Steel, 1998 (zit.n. Luma-ret und Errouissi, 2002)
AVM	Regenwürmer	diverse		werden nicht beeinträchtigt	Halley et al., 1993 (zit.n. McKellar, 1997)
BDZ	Dungfauna	diverse		ca. Zeitraum der Wirkstoffpräsenz im Kot p.t.: Thiabendazol (1,5 Tage) < Albendazol (4 Tage) < Oxfendazol, Fenbendazol (7 Tage).	McKellar, 1997
BDZ	Mikro Pilze	diverse		einige BDZ sind fungizid	McKellar, 1997; Sommer und Bibby, 2002
BDZ (Albendazol)	Dungfauna	Fliege: <i>Musca vetustissima</i> , Dungkäfer: <i>Ontophagus taurus</i> , <i>Euonito cellus</i>	Larven	SR-Bolus mit Albendazol bei Schafen: Kein Effekt auf Larven und Bruterfolg	Wardhaugh et al., 2001a
BDZ (Oxfendazol)	Regenwürmer	diverse		kein Effekt, Zersetzung der Kuhfladen unverändert	Wratten, 1993 (zit.n. McKellar, 1997)
Cypermethrin	Dungkäfer	diverse		1 bis 5 Tage p.t. sehr hohe Konzentration im Kot, Reste sind bis zu 3 Monate nachweisbar => lange Exposition für Dungkäfer	Virlouv et al., 2006
Deltamethrin	Dungfauna	Fliege: <i>Musca vetustissima</i> , Dungkäfer: <i>Ontophagus binodis</i> , <i>Euonito fulvus</i>		Modell: reduziert die Aktivität der nächsten Generation um mehr als 70 %, wenn ungünstige Jahreszeit.	Wardhaugh et al., 1998
DOR	Dunginsekten	diverse, werden differenziert	Larven	Anzahl reduziert bis 21 Tage p.t., damit deutlich schädlicher als MOX. Artenspezifische Unterschiede.	Suárez et al., 2009
DOR	Fliegen	3 Arten <i>Haematobia irritans</i> , <i>Musca domestica</i> , <i>Stomoxys calcitrans</i>	Larven	reduziert einige Arten bis zu 16 Wochen p.t.	Floate et al., 2001
DOR	Fliegen	<i>Scatophaga stercoraria</i>	Adulte	Feldversuch, Menge/Anzahl der Gelben Dungfliegen auf der Weide bleiben unbeeinflusst. Die meisten Einflüsse haben Wetter und Jahreszeit.	Webb et al., 2007
DOR, IVM	Dungkäfer	<i>Aphodius spp.</i>	Adulte	Feldversuch, Repellenseffekt: Dungkäfer meiden DOR/IVM-Kot, wenn unbehandelter Kot zur Verfügung steht	Webb et al., 2010
DOR, IVM	Fliegen	<i>Musca domestica</i>	Larven	larvizider Effekt IVM und DOR = 3 bis 4 Wochen p.t.	Farkas et al., 2003
EPR	Dungkäfer	2 Arten <i>Caccobius jessoensis</i> , <i>Liatongus minutus</i>	Larven	keine sig Unterschiede bei der Anzahl Brutballen, Schlupfrate für 1 bis 3 Tage reduziert, aber nach 7 Tagen wieder normal.	Iwasa und Sugitani, 2014
EPR	Dungkäfer	<i>Liatongus minutus</i>	Adulte	Lockstoffeffekt: Behandelte Kot scheint Käfer anzuziehen.	Iwasa und Sugitani, 2014
EPR	Fliegen	2 Arten <i>Haematobia irritans</i> , <i>Neomyia cornicina</i>	Larven	Peak der EPR Ausscheidung an Tag 3 p.t., dann schneller Abfall der Konzentration bis Tag 7. Verpuppung und Schlupf der Fliegen wurden bis zu 14 Tage p.t. gestört.	Iwasa und Sugitani, 2014
IVM	Bodenfauna	Springschwänze (Collembolen), Milben (Acari), Arten werden differenziert	Adulte	keinen Einfluss auf die Anzahl pro m <sup>2</sup>	Römbke et al., 2010

Wirkstoff	Tiergruppe	Species, Subspecies u. ä.	Stadium	Beschreibung der Ergebnisse	Quelle
IVM	Bodenfauna	Regenwürmer, Springschwänze		Regenwürmer nicht beeinflusst, Springschwänze nur temporär und nicht sig.	Scheffczyk et al., 2016
IVM	Dungfauna	diverse Invertebraten, nach Ordnungen differenziert	Adulte	Lockstoffeffekt: Alle untersuchten Invertebraten (außer Fliegen) finden IVM besonders lecker und werden vermehrt angezogen.	Sutton et al., 2014
IVM	Dunginsekten	diverse Arten werden differenziert	Adulte	Erfolgreiche Evaluation von Testverfahren. LC50 für IVM ist immer > 1 mg/kg Trockenkot. Nach Arten differenziert ca. 1,5 bis 3,5 mg/kg. Artenreichtum und Abundanz und Diversität nehmen ab mit zunehmender IVM-Konzentration. Sepsiden sind extrem empfindlich.	Floate et al., 2016
IVM	Dunginsekten	diverse Arten werden differenziert	Adulte	bei niedriger Konzentration IVM (6.6 µg/kg Frischdung) Reduktionen der Populationen von insgesamt 32 Fliegen- und Wespentaxa. Bei etwa einem Drittel der Arten erhöhte sich die Mortalität signifikant.	Jochmann und Blanckenhorn, 2016
IVM	Dunginsekten	diverse Arten werden differenziert	Adulte	Trotz großer Einflüsse auf die Dungfauna ist der Zerfall von Kuhfladen nicht sig. verlangsamt bei steigender IVM-Konzentration	Tixier et al., 2016
IVM	Dunginsekten	29 koprophage Arten	Adulte	Artenreichtum ist sig. reduziert bei steigender IVM-Konzentration. Abundanz und Biodiversität (ausgedrückt als Hill-Number) nicht sig., nennt empfindliche Arten.	Jochmann et al., 2016
IVM	Dungkäfer	<i>Ontophagus gazella</i>	Larven	Missbildungen und erhöhte Mortalität	Sommer und Nielsen, 1992
IVM	Dungkäfer	<i>Aphodius constans</i>	Larven	SR-Bolus: Peak der IVM-Ausscheidung 63. Tag p.t., Nachweis bis 147. Tag, 100 % Larven-Sterblichkeit bis 105. Tag (128. Tag) p.t. => hochgradig letal	Errouissi et al., 2001
IVM	Dungkäfer	<i>Liatongus minutus</i>		Anzahl Brutballen und Schlupferfolg waren schlechter bis Tag 14 p.t., Brutballen nicht sig.	Iwasa et al., 2005
IVM	Dungkäfer	diverse Arten werden differenziert		Vergleichende Feldversuche in Südafrika: kein Einfluss auf Artenreichtum oder Diversität.	Kryger et al., 2005
IVM	Dungkäfer	<i>Aphodius constans</i>		pour-on: Überleben ist signifikant beeinflusst bis 12. Tag p.t.	Lumaret et al., 2007
IVM	Dungkäfer	<i>Aphodius constans</i>	Larven	LC50 liegt bei 0,5 mg aktive Substanz pro kg Trockenkot	Römbke et al., 2007a
IVM	Dungkäfer	diverse, 24 Arten	Adulte	Lockstoffeffekt sig. bei <i>A. constans</i> und <i>Ontophagus lemur</i>	Errouissi und Lumaret, 2010
IVM	Dungkäfer	5 Arten Aphodiidae, 2 Arten Scarabaeidae	Adulte	sind je nach Art unterschiedlich empfindlich	Römbke et al., 2010
IVM	Fliegen	<i>Musca domestica</i>		Störungen: bis zu 2 Monate lang p.t.	Madsen et al., 1990 (zit.n. McKellar, 1997)
IVM	Fliegen	beim in vitro-Versuch: <i>Musca bezzii</i> , <i>Scatophaga stercoraria</i> ; beim Feldversuch: 18 Arten oder Familien werden differenziert	Adulte	Feldversuche mit normaler Dosierung (0,5 mg/kg KGW pour-on). Bis 35. Tag p.t. reduzierter Schlupferfolg = 79 % weniger „Fliegenmasse“. Bei 10 Fliegen-Arten im Feldversuch (!) sig. Unterschiede. In vitro: <i>M. bezzii</i> hatte keine Puppen bis Tag 14 p.t., sig Unterschiede bis Tag 21 p.t. Besonders empfindlich sind Sepsidae und Sphaeroceridae.	Iwasa et al., 2005
IVM	Fliegen	Dungfliegen Scathophagidae	Larven	sind die sensibelste Tiergruppe	Römbke et al., 2010
IVM	Fliegen	21 Sepsiden-Arten werden differenziert		Nicht alle Sepsiden sind gleich stark betroffen. Ort der Eiablage wird von der Höhe der IVM-Konzentration nicht beeinflusst bzw. sogar Lockstoffeffekt.	Blanckenhorn et al., 2013a
IVM	Fliegen	Dungfliegen Scathophagidae	Larven	Hochsignifikante Unterschiede. IVM ist sehr lange (bis 47.Tag p.t.) in toxischer Konzentration vorhanden.	Sutton et al., 2014
Levamisol	Dungkäfer	diverse		geringer Effekt	Ridsdill-Smith, 1988 (zit.n. McKellar, 1997)
Levamisol	Fliegen	<i>Musca vetustissima</i>		geringer Effekt	Ridsdill-Smith, 1988 (zit.n. McKellar, 1997)
ML	Dunginsekten	diverse Arten werden differenziert	Larven	Toxizität des Kuhdungs in der natürlichen Umgebung: DOR > IVM > EPR >> MOX. DOR reduzierte mehrere Arten mindestens über 4 Wochen p.t.; bei MOX war es nur eine Art über 2 Wochen p.t.	Floate et al., 2002

Wirkstoff	Tiergruppe	Species, Subspecies u. ä.	Stadium	Beschreibung der Ergebnisse	Quelle
ML	Dungkäfer	17 Arten werden differenziert	Adulte	Feldversuch: negativer Effekt auf die Abundanz und Diversität	Basto-Estrella et al., 2014
ML	Fliegen	<i>Haematobia irritans</i> , <i>Musca domestica</i> , <i>Stomoxys calcitrans</i>	Larven	Toxizität in einer Laborstudie: DOR > IVM ≈ EPR >> MOX	Floate et al., 2001
ML	Fliegen	<i>Musca domestica</i>	Larven	bis Tag 28 p.t. zeigt die Schlupfrate deutliche Unterschiede zur Kontrolle. Schädlichkeit: DOR>IVM>>MOX	Farkas et al., 2003
ML	Insekten	diverse		In mehreren Studien war die insektenschädigende Wirkung von Abamectin, DOR, EPR, IVM größer als bei MOX	Lumaret et al., 2012
Monepantel	Dungfauna	Fliege: <i>Scatophaga stercoraria</i> , Käfer: <i>Aphodius constans</i>	Larven	Kein Einfluss festgestellt (Untersuchung der Firma Novartis)	Skripsky und Hoffmann, 2010
Morantel	Fliegen	<i>Scatophaga stercoraria</i>	Larven	kein Effekt bei Kuhfladen	McKellar et al., 1993 (zit.n. McKellar, 1997)
MOX	Dunginsekten	Coleoptera, Diptera, Collembola; Familien werden differenziert	Adulte und Larven	keine sig. Unterschiede ob s.c. oder pour-on appliziert, Anzahl der Insekten reduziert bis 14 Tage p.t.	Suárez et al., 2009
MOX	Dungkäfer	<i>Ontophagus taurus</i>	Larven	Kein nachteiliger Effekt für Anzahl der Brutballen und Schlupf	Fincher und Wang, 1992
MOX	Dungkäfer	<i>Aphodius constans</i>	Larven	hat bei normaler Anwendung wahrscheinlich keinen (oder nur bis Tag 2 p.t. beim Schaf) schädigenden Einfluss	Hempel et al., 2006
MOX, EPR	Dungkäfer	<i>Ontophagus taurus</i>		MOX ist besser als EPR (Tag 14 p.t. kein Effekt mehr). Von Fort Dodge gesponsert.	Wardhaugh et al., 2001b
MOX, IVM	Dungkäfer	diverse		MOX hat keinen Effekt, bei IVM kein Schlupf bis 7 Tage p.t.	Strong und Wall, 1994 (zit.n. Lumaret et al., 2012); Strong, 1993
MOX, IVM	Dungkäfer	<i>Aphodius constans</i>	Larven	IVM ist die am stärksten toxische Substanz mit LC50 unter 1 mg/kg Trockenkot. Ist 5-fach toxischer als MOX.	Hempel et al., 2006
MOX, IVM	Fliegen	<i>Musca vetustissima</i> , <i>Musca domestica</i>	Larven	MOX beeinflusst die Larven kaum, IVM ist schädlicher 7 bis 14 Tage lang p.t.	Wardhaugh et al., 1996
MOX, IVM, DOR	Fliegen	<i>Musca domestica</i>	Larven	Schädlichkeit von DOR und IVM ist größer als MOX. MOX hat keinen sig. Effekt	Farkas et al., 2003
MOX, IVM	Fliegen	11 Arten werden differenziert (Sepsidae, Scatophagidae, Muscoidea)	Larven	LC50 bei verschiedenen Fliegenarten in frischem Kot und Trockenkot. Die LC50 der einzelnen Spezies korrelieren zwischen MOX und IVM linear ( $r = 0,96$ ), aber IVM ist (pro mg/kg Trockenkot) ungefähr 10-fach toxischer. Die Arten reagieren sehr unterschiedlich.	Blanckenhorn et al., 2013b

Im Folgenden wird versucht, aus der Literatur Antworten auf Fragen zu den Auswirkungen der Medikamentenreste zu finden.

### 3.1 Wird der Abbau des Dunghaufens verzögert?

Wie bereits erwähnt, fiel Landwirten nach Einführung von Ivomec® auf, dass Dunghaufen wesentlich länger unverändert auf der Weide lagen als früher (Wall und Strong, 1987). Der zügige Zerfall und Abbau des Kuhfladens ist ein wichtiger Aspekt für die Weide als Futterfläche. Bleibt der Kot unverändert längere Zeit liegen, entstehen darunter abgestorbene, faulende Pflanzenteile und Schimmel. Tiere, die in und vom Dung leben, fördern auf unterschiedliche Weise dessen Abbau und Zerfall. Sie haben damit eine wichtige Ökosystemfunktion. Wetterereignisse und das Zertrampeln

durch Weidetiere beeinflussen den Zerfall; ebenso das Zerpfen durch Vögel, die dort besonders gern stochern und kratzen, wenn es Nahrung gibt. Der im Dung enthaltene Stickstoff kann für den Pflanzenaufwuchs deutlich besser genutzt werden, wenn z. B. Käfer den Dung „vergraben“. Es gehen dann nur 5 bis 15 % des pflanzenverfügbaren Stickstoffs verloren; im Gegensatz zu 80 % Verlust, wenn keine Käfer da sind (Davis et al., 2004; Errouissi et al., 2001; Jacobs und Scholtz, 2015; Lumaret und Errouissi, 2002; Tixier et al., 2015).

Regenwürmer fressen den Dung besonders gerne, wenn Dungkäfer Vorarbeit geleistet haben. Dazu gehören z. B. das Tunnelgraben und das Transportieren von Mikroorganismen bis in die Mitte des Dunghaufens. Auch die Sauerstoffversorgung verbessert sich und Dungfliegen werden angezogen (Lumaret und Errouissi, 2002). Die erste Woche der

Kolonisierung des Dunghaufens ist für dessen Zerfall am wichtigsten. In der zweiten Woche kommen Prädatoren und fressen die Erstbesiedler (Tixier et al., 2015). Manche Dungkäferarten können (z. B. bei der Anlage von Brutkammern) Dung im Boden regelrecht vergraben; die Weide wird so frei von Dung und Gras kann an diesen Stellen wieder wachsen. Diese Insekten könnten als Indikator für den Artenreichtum von „natürlichem“ Farmland in Südafrika gelten (Davis et al., 2004). Sommer und Bibby (2002) haben gezeigt, dass der Abbau der organischen Masse von Rinderkot nach einer Therapie mit Cypermethrin, Fenbendazol, Ivermectin oder Levamisol signifikant verzögert ist.

Unter kontrollierten Bedingungen konnte allerdings gezeigt werden, dass die Insektenaktivität nur ein Faktor von vielen ist. Der Dungabbau ist ein derartig komplexer Vorgang, dass je nach den lokalen Bedingungen sehr starke bis keine Unterschiede zwischen IVM-kontaminiertem Kot und der Kontrolle nachgewiesen wurden (Tixier et al., 2016).

### 3.2 Werden weibliche Dungarthropoden zur Eiablage besonders von Kot angezogen, der toxische Medikamentenreste enthält (Lockstoffwirkung)?

Dies könnte ja einen erheblichen Einfluss auf den Reproduktionserfolg einer Population nehmen. Zu dieser Frage gibt es widersprüchliche Antworten.

Avermectine (AVM), wie IVM und andere, werden dieser Lockstoffwirkung verdächtigt. Die weiblichen Schwingfliegen (Sepsidae) unterscheiden nicht, ob der Kothaufen kontaminiert ist bzw. wählen eher den IVM-kontaminierten Kot (Blanckenhorn et al., 2013a; Errouissi und Lumaret, 2010; Iwasa und Sugitani, 2014; Sutton et al., 2014). Im Feldversuch wurden signifikant mehr Dungkäfer auf der Weide mit AVM-haltigem Kot gefunden; die Fallen waren mit unbehandeltem Kot bestückt und es wird argumentiert, dass sie deshalb besonders attraktiv für Dungkäfer waren. In nah an den Dunghaufen gelegenen Fallen fielen mehr kotfressende Käfer, wenn der Dung nicht mit Doramectin behandelt war; alle Käfer wollten zu unbehandelten Kothaufen gelangen (Webb et al., 2010). Andere Wirkstoffe sind bezüglich einer Lockstoffwirkung nicht auffällig geworden.

Neben den tierartlichen Unterschieden müssen auch die Verzerrungen durch die unterschiedlichen Versuchsanstellungen (Kot nachträglich mit Antiparasitika gemischt oder natürlich ausgeschieden, Art der Fallen, Wetter, Jahreszeit etc.) beachtet werden, weshalb diese Frage nicht allgemein zu beantworten ist.

### 3.3 Gibt es letale Effekte für adulte Insekten?

AVM im Kot kann Adulte und Larven koprophager Insekten absterben lassen und hat subletale Einflüsse auf andere Merkmale wie z. B. die Körpergröße der Adulten oder verlängerte Entwicklungszeit (Verpuppungszeit) und schlechtere Reproduktion (Strong, 1993; Strong und Wall, 1994).

Umfängliche Tabellen mit diversen Werten für die Toxizität (z. B. LC50-Werte) für viele terrestrische und aquatische Organismen haben Lumaret et al., 2012 zusammengestellt.

Auf Collembolen (Springschwänze) und Milben hat IVM offenbar keinen Einfluss (Römbke et al., 2010). Ebenso sind Regenwürmer unempfindlich gegen IVM (Scheffczyk et al., 2016).

Blanckenhorn et al. (2013b) haben die LC50 bei verschiedenen Fliegenarten in frischem und Trockenkot bestimmt. Die Werte der einzelnen Spezies korrelieren zwischen MOX und IVM linear, aber IVM ist (pro mg/kg Trockenkot) für Fliegen ungefähr 10-fach toxischer. Besonders empfindlich (mit < 1 µg/kg Frisch-Kot) auf IVM reagiert u. a. *Sepsis cynipsea*, die am häufigsten in Zentraleuropa vorkommende Schwingfliegenart. Auch häufig vorkommende Arten können also durchaus sehr sensibel auf Wirkstoffreste reagieren. Sepsiden sind als Testspezies sehr zu empfehlen. Allerdings sind nicht alle Sepsiden-Arten gleich stark betroffen (Blanckenhorn et al., 2013a).

Dungkäfer sind unterschiedlich stark empfindlich (Römbke et al., 2010). Bezogen auf die Wirkstoffmenge pro kg Trockenkot ist IVM für Dungkäfer (Scarabaeidae) 5-fach toxischer als MOX (Hempel et al., 2006).

In einem aufwendigen Feldversuch führte IVM zu unterschiedlicher Reduktionen bei 32 untersuchten Fliegen- und Wespenarten. Bei etwa einem Drittel der Arten erhöhte sich die Mortalität signifikant, im Frühling und Sommer stärker als im Herbst. Kleine Dungorganismen ... „wurden am stärksten reduziert (62 %), große räuberische Fliegen zu 38 %, die Dungkonsumenten jedoch nur zu 23 %. ... Insgesamt erhöhte Ivermectin die Sterblichkeit eines beträchtlichen Anteils der koprophagen Dunginsekten, sodass ihre Ökosystemdienstleistung empfindlich gestört werden kann.“ Zitiert nach Jochmann und Blanckenhorn, 2016.

### 3.4 Sind letale Effekte für die Larven nachweisbar und ist somit die Schlupfrate reduziert? Ist die gesamte „Fliegenmasse“ reduziert? Gibt es weniger Eier oder ist die Anzahl der Brutballen reduziert?

Im Gegensatz zu den Adulten sind Dungkäfer-Larven hochgradig empfindlich gegen AVM. Lumaret und Errouissi (2002) berichten über erhöhte Mortalität, verzögerte Entwicklung, Kleinwuchs und Missbildungen. Die Menge und Diversität von Dungkäfern werden durch Makrozyklische Laktone negativ beeinflusst (Basto-Estrella et al., 2014).

Doramectin wirkt 3 bis 4 Wochen lang larvizid und reduziert Fliegen bis zu 16 Wochen p.t. (Floate et al., 2001). Im Gegensatz dazu fanden Webb et al. (2007) die Abundanz der Gelben Dungfliege (*Scatophaga stercoraria*) auf Rinderweiden unverändert unter IVM- oder Doramectin-Einfluss.

Knapp 80 % weniger Fliegenmasse (Trockensubstanz) konnten von IVM-behandeltem Dung gewonnen werden (Iwasa et al., 2005).

Errouissi et al. (2001) berichten, dass IVM in einem Bolus, der über die gesamte Weideperiode ständig Wirkstoff abgab, mehr als 100 Tage lang hochgradig letal war für Dung-



käferlarven. Ähnliches fanden Wardhaugh et al. (2001a) auch bei Fliegenlarven für fast 6 Wochen nach der Behandlung (p.t.). Sowohl Doramectin als auch IVM hatten 3 bis 4 Wochen p.t. einen larviziden Effekt (Farkas et al., 2003). Auch der Artenreichtum wird von IVM reduziert (Jochmann und Blanckenhorn, 2016). Die Rückstände von Benzimidazol und Levamisol sind für die Dungfauna relativ harmlos. Albendazol hatte keinen nachweisbaren Effekt auf die Fliege *M. vetustissima* und die Dungkäfer *O. taurus* und *E. fulvus* (Wardhaugh et al., 2001a). Moxidectin hatte im Gegensatz zu Eprinomectin (gehört zu den AVM) keinen letalen Einfluss auf Dungkäferlarven (Wardhaugh et al., 2001b).

Das Pyrethroid Deltamethrin, Grundlage vieler Ektoparasitika bei Schaf und Rind, kann die nächste Generation von Dungkäfern um 70 % reduzieren (Wardhaugh et al., 1998).

### 3.5 Sind subletale Effekte wie verzögerte Entwicklung, Kleinwuchs, Missbildungen nachweisbar?

Hierzu gibt es einige Hinweise, die meistens aus Laboruntersuchungen stammen. Zweifellos beeinflussen auch diese Effekte den Reproduktionserfolg und die Konkurrenzstärke im Habitat (Blanckenhorn et al., 2013b).

Bereits Lumaret und Errouissi (2002) dokumentierten Arbeiten, die eine verzögerte Entwicklung, reduzierte Körpergröße und Missbildungen bei den geschlüpften Insekten beschreiben. Subletale Effekte werden mehrmals beschrieben (z. B. für IVM bei Wardhaugh et al. (2001a); für Eprinomectin bei Wardhaugh et al. (2001b); für Doramectin bei Webb et al. (2007)). Nach Verdu et al. (2015) schädigt IVM die motorischen und olfaktorischen Fähigkeiten von Dungkäfern bereits in wesentlich niedrigeren Konzentrationen (0,033mg/kg Frischkot), als sie im Kot von behandelten Tieren üblicherweise gemessen werden (0,1 bis 0,5 mg/kg Frischkot). Jegliche Aktivitäten wie Futtersuche oder Paarung wären dadurch gestört.

### 3.6 Ist die Populationsstärke / Artenreichtum / Diversität betroffen?

Inwieweit ein nachhaltiger Schaden an bestimmten Dungkäfer-Populationen im Feld entsteht, ist bisher nicht nachgewiesen. Einen Einfluss auf die Diversität konnten die Feldversuche von Kryger et al. (2005; 2007) nicht nachweisen; vermutlich, weil das Wetter und der Anteil der unbehandelten Tiere in der Herde die wichtigeren Faktoren darstellten.

Gemäß Blanckenhorn et al. (2013b) reagieren die Arten sehr unterschiedlich auf die Herausforderung. Die Antiparasitika schädigen unterschiedliche Dungarthropoden unterschiedlich stark und dies in Abhängigkeit z. B. von der Wirkstoffkonzentration im Kot, von der Ontogenese und der Jahreszeit. Der Einfluss auf den Artenreichtum und die Abundanz hängt noch dazu von der Verfügbarkeit unbehandelten Dungs als Ausweichhabitat ab. Laut der Untersuchungen von Jochmann und Blanckenhorn (2016) ging der Artenreichtum während des Sommers unter IVM-Einfluss

bedeutsam zurück. Nicht signifikant unterschiedlich zur Kontrolle waren jedoch die Abundanz der untersuchten 29 Arten und der errechnete Faktor für Biodiversität.

## 4 Sind die ökotoxikologischen Risiken der Entwurmungsmittel erkennbar für die Anwender?

Besonders die „Beipackzettel“ (Fachinformationen in der Arzneimittelverpackung) für die schon vor langer Zeit zugelassenen Arzneimittel sind in diese Richtung überarbeitungsbedürftig. Die Pharmaunternehmen haben allerdings die Relevanz des Themas erkannt und zum Teil in ihre Fachinformationen bereits Warnhinweise und Anwendungsbeschränkungen aufgenommen. Dort heißt es z. B. „nichts verschütten“, „leere Behälter sind als Sondermüll zu entsorgen“ und bei Formulierungen zum Aufgießen auf die Haut z. B.: „Wash-off aus dem Haarkleid und gegenseitiges Belecken vermeiden“. Zwei weitere Beispiele folgen:

- Zitat aus der Fachinformation zu den Wirkstoffen Ivermectin plus Closantel (Closamectin®): „Dieses Tierarzneimittel ist sehr toxisch für Fische und andere im Wasser lebende Organismen sowie für Dunginsekten. Behandelte Rinder sollten für 14 Tage nach der Anwendung keinen direkten Zugang zu Teichen, Wasserläufen oder Gräben haben. Da sich durch dauerhafte oder wiederholte Anwendung langfristige schädliche Auswirkungen auf Dunginsekten nicht ausschließen lassen, sollten wiederholte Anwendungen innerhalb einer Weidesaison nur auf Rat eines Tierarztes erfolgen.“
- Oder Zitat aus der Fachinformation zum Wirkstoff Deltamethrin (Spotinor®): „Deltamethrin ist sehr toxisch für Dunginsekten, aquatische Organismen und Honigbienen, ist persistent im Boden und kann in Sedimenten akkumulieren. Die Gefahr für Dunginsekten kann reduziert werden, indem eine zu häufige und wiederholte Anwendung von Deltamethrin (und anderen synthetischen Pyrethroiden) bei Rindern und Schafen vermieden wird, z. B. nur eine Behandlung pro Jahr auf derselben Weide. Das Risiko für aquatische Ökosysteme kann zusätzlich reduziert werden, in dem behandelte Rinder über einen Zeitraum von vier Wochen nach der Behandlung von Gewässern ferngehalten werden. Deltamethrin kann Organismen, die nicht Ziel der Behandlung sind, nachteilig beeinflussen, sowohl im Wasser als auch im Dung. Nach einer Behandlung werden potentiell toxische Dosen von Deltamethrin über einen Zeitraum von bis zu vier Wochen über die Fäzes ausgeschieden. Deltamethrin-haltige Fäzes, die von behandelten Tieren auf einer Weide ausgeschieden werden, können die Anzahl von Dungorganismen reduzieren. Sehr gefährlich für Fische und im Wasser lebende Organismen. Deshalb dürfen Oberflächengewässer oder Gräben nicht mit dem Tierarzneimittel oder leeren Behältern verunreinigt werden. Nicht aufgebrauchte Tierarzneimittel sind vorzugsweise bei Schadstoffsammelstellen abzugeben. Bei gemeinsamer Entsorgung mit dem

*Hausmüll ist sicherzustellen, dass kein missbräuchlicher Zugriff auf diese Abfälle erfolgen kann. Tierarzneimittel dürfen nicht mit dem Abwasser bzw. über die Kanalisation entsorgt werden.“* (zitiert nach www.vetidata.de)

Diese Hinweise sind sehr sinnvoll, weil sie dem Anwender die ökotoxikologischen Risiken aufzeigen. Weitere Ratschläge zur Risikominimierung (z. B. genaue Angaben zu riskanten Zeitspannen p.t. und Vorgehensweisen in diesem Zeitraum; Hinweise zur Teilherdenbehandlung und andere Maßnahmen zur Einsparung von Arzneimitteln) sollten sinnvollerweise ergänzt werden. Weiterhin sollten die Hinweise zur Umweltgefährdung und zu den Risikominimierungsmaßnahmen zusammengefasst und gebündelt an einer besonders markanten Stelle des Beipackzettels aufgeführt werden. Der sorgfältige Umgang mit Medikamentenresten gehört zur Guten Veterinärmedizinischen Praxis. Der das Medikament abgebende Tierarzt sollte den Landwirt regelmäßig entsprechend beraten.

#### 4.1 Offene Forschungsfragen

Ein einheitliches Verfahren für die Beurteilung der Auswirkungen auf diverse Nicht-Ziel-Organismen ist für die Zulassung von antiparasitisch wirksamen Tiermedikamenten anzustreben (Adler et al., 2016; Davis et al., 2004; Floate et al., 2016; Larsen und Forsyth, 2005).

Dabei sollten empfindliche **Testorganismen** aus verschiedenen Arthropodengruppen berücksichtigt werden. Die Frage, ob und wie ein Wirkstoff langfristig und nachhaltig die gesamte Dungfaunagemeinschaft beeinflusst, ist nicht geklärt. Da die Arten sehr unterschiedlich reagieren, muss hierfür ein standardisiertes Testsystem entwickelt werden (Blanckenhorn et al., 2013b).

Als Testspezies bieten sich an: eine in Europa weit verbreitete Dungkäferart *Aphodius constans* (Römbke et al., 2007a) oder eine Schwingfliegenart (*Sepsis cynipsea*) (Blanckenhorn et al., 2013a), deren hohe Sensibilität bekannt ist. Dazu müssen Laborstandardverfahren festgelegt bzw. ergänzt werden, welche z. B. Konzentrationen, Dauer, Temperatur etc. berücksichtigen. Zusätzlich sind standardisierte Freilanduntersuchungen notwendig (Jochmann und Blanckenhorn, 2016). Für einige Arten (*Scathophaga stercoraria*, *Musca domestica*, *Aphodius constans*, Regenwürmer und Collembolen) sind bereits in den OECD-Richtlinien Testverfahren beschrieben (OECD, 2004; 2009; 2010; 2016).

Floate et al. (2005) empfehlen für weitere Arbeiten, auch die Auswirkungen auf Nematoden, Milben, Fungi etc. zu untersuchen. Besonders Studien zu den subletalen Einflüssen, artenspezifische Reaktionen und die Interaktionen zwischen verschiedenen Dunggemeinschaften sind notwendig (Wall und Beynon, 2012).

Das breite Spektrum an Methoden in den Studien zeigt, dass einheitliche **Testverfahren** eingerichtet werden müssen. Dazu gehört, dass eine verbindliche Einigung auf Laborverfahren und auf langfristige Feldversuchsanstellungen zu treffen ist. Die Fangsysteme spielen auch eine Rolle. Es sollten mindestens 50 m Abstand zwischen den einzelnen Dungkäferfallen eingehalten werden, damit

Geruchseinflüsse vermieden und so die Ergebnisse nicht verzerrt werden (Larsen und Forsyth, 2005). Die europäischen Zulassungsregeln verlangen zwar höhergestufte Methoden bei Toxizität im Dunghaufen, es gibt jedoch bisher keine eindeutigen Verfahren (Adler et al., 2016).

Bisher sind in den Forschungsstudien häufig sehr unterschiedliche **Wirkstoff-Konzentrationen** verwendet worden oder es wurden z. B. nur die Tage p.t. angegeben. Dadurch wird die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erschwert, da individuelle Stoffwechsellagen den Gehalt an Wirkstoffen und Metaboliten im Kot beeinflussen können (Vercruysse et al., 2008).

Weitere Ergebnisse zu den Wirkstoffen EPR, DOR und MOX wären auch für die Empfehlungen zur Risikominimierung hilfreich. Es gibt Hinweise darauf, dass der Reinwirkstoff anders schädigt als das fertig formulierte Präparat (Eichberg et al., 2016).

Ein Vergleich zwischen dem BDZ-haltigen Pulse Release Bolus und dem Sustained Release Bolus, der ca. 140 Tage lang ständig Wirkstoff absondert, sollte durchgeführt werden. Ebenso sollte das MOX mit Depotwirkung untersucht werden. Außerdem sind mehr Studien erforderlich zu den Auswirkungen von Organophosphaten, synthetischen Pyrethroiden und Insekten-Wachstumshemmern (Floate et al., 2005).

Die allgemein und weit verbreitete Anthelminthikaresistenz in vielen Parasitenstämmen führt dazu, dass der Landwirt immer neue Kombinationen von bekannten Wirkstoffen nachfragt. **Wirkstoff-Kombinationen** könnten neue umweltrelevante Auswirkungen haben, die abgeschätzt werden müssen. Die medikamentöse Leberegelbekämpfung während der Weideperiode müsste auf ihre ökologischen Auswirkungen hin untersucht werden.

Der **Verbleib von Wirkstoffen und Metaboliten in Gülle und Mist** fragt nach standardisierten Untersuchungsmethoden. Der Einfluss auf Bodenorganismen nach Ausbringung von kontaminiertem Wirtschaftsdünger auf das Feld ist eine weitere Fragestellung, deren Beantwortung auch Empfehlungen zu Lagerung und Ausbringung beinhalten sollte.

Die **Wissensvermittlung** an Landwirte bezüglich des Einflusses von Zeitpunkt und Wirkstoff der Entwurmung auf Nicht-Ziel-Organismen muss optimiert werden mit dem Ziel einer möglichst nachhaltigen Weidenutzung (Floate et al., 2005). Ebenso sollten Risikominimierungsmaßnahmen weiterhin entwickelt und im Hinblick auf Wirksamkeit und Praktikabilität evaluiert werden.

#### 4.2 Empfehlungen zur Risikominimierung

Zu einer nachhaltigen, modernen Landwirtschaft gehört auch die Beachtung der Auswirkungen von betrieblichen Maßnahmen auf Nicht-Ziel-Organismen. Aus den bisher vorliegenden Ergebnissen zur Schädigung der Dungfauna durch Antiparasitika ergeben sich mehrere Risikominimierungsstrategien.

Neben der **Vermeidung** von unnötigen antiparasitären Behandlungen z. B. durch geschicktes Management bei Austriebszeitpunkt, Weidewechsel und Mahd (Wall und Beynon,

2012; [www.weide-parasiten.de](http://www.weide-parasiten.de)), bieten sich weitere Möglichkeiten zur Risikovermeidung an:

Prinzipiell sollte nur die **Tiergruppe** behandelt werden, deren Wurmbefall so hoch ist, dass tiergesundheitliche Schäden drohen. Gezielt eine Gruppe zu entwurmen bzw. gezielt und selektiv Einzeltiere zu therapieren spart erhebliche Arzneimittelmengen gegenüber dem Standardverfahren ein (Fahrenkrog, 2013; Kenyon et al., 2009). Die geeigneten Tiere herauszufinden, ist hierbei die große Herausforderung. Eine geringe **Besatzdichte** wäre zweifellos hilfreich, um den Parasitendruck und damit die Behandlungsfrequenz zu senken. Meistens jedoch ist in der intensiven Milchviehhaltung die Weidefläche derartig beschränkt, dass eine solche Strategie unrealistisch ist. In der warmen Jahreszeit befallen die Dungkäfer alle 2 bis 4 Tage einen neuen Kothaufen – es ist also besser, eine Einzeltierbehandlung oder Teilherdenbehandlung durchzuführen und somit ein mögliches Refugium zu erhalten (Lumaret und Errouissi, 2002). Auf der Weide sollte Dung von unbehandelten Tieren in räumlicher Nähe zur Verfügung stehen, wenn Tiere mit AVM behandelt wurden. Frisch behandeltes Jungvieh stellt der Landwirt am besten benachbart zu unbehandelten Kühen auf. Dorthin könnten die Dungarthropoden dann ausweichen.

Der **Zeitpunkt** der Behandlung ist wichtig. Es gibt gute Zeitpunkte, um epidemiologisch optimal in den Entwicklungszyklus der Parasiten einzugreifen (Hinweise z. B. bei [www.weide-parasiten.de](http://www.weide-parasiten.de)). Möchte man außerhalb der Hauptvermehrungsperioden der Dungarthropoden entwurmen, ist nur der Spätsommer und Winter für eine Behandlung angezeigt (Adler et al., 2016). Da es allerdings nur selten gelingen wird, bis Mitte August mit der ersten Entwurmung von Weiderindern zu warten, entsteht diesbezüglich immer ein Zielkonflikt. Ideal wäre es, wenigstens die ML in der Brutzeit der Dungkäfer zu vermeiden (Ridsdill-Smith, 1993). Bei Trockenheit, wenn weniger Insekten auftreten, wäre die Entwurmung auch ungünstig (McKellar, 1997).

Auch bei der Wahl der **Wirkstoffe** kann der Landwirt Einfluss nehmen. Die erste Wahl sollten aus Naturschutzgründen Benzimidazole und Levamisol als Einmalgabe sein, wenn die eingeschränkte Wirksamkeit (z. B. bei Schafen) und damit ggfs. Tierschutzgründe nicht dagegen sprechen. Nach Abstufung der Wirkstoffausscheidung p.t. kämen zunächst Albendazol (4 Tage) in Frage, dann Oxfendazol, Fenbendazol (7 Tage) ebenso Levamisol, Monepantel und Morantel/Pyrantel. Erst wenn diese Wirkstoffe nicht in Frage kommen, sollte man Präparate aus der ML-Klasse wählen. Das MOX ohne Depot-Wirkung, als vermutlich unschädlichstes Mittel aus der ML-Klasse (Zusammenstellung bei Lumaret et al., 2012), wäre zunächst angezeigt. Dann kämen Eprinomectin, dann IVM und als letztes Doramectin, das mehrfach bestätigt die größte Toxizität hat (Farkas et al., 2003; Floate et al., 2001; Floate et al., 2002; Suárez et al., 2009). Die Verabreichung eines BDZ- Pulse Release Bolus liefert alle 3 Wochen eine therapeutische Dosis und hat vermutlich eine geringere Schadwirkung als ein Sustained Release Bolus, der ca. 140 Tage lang ständig Wirkstoff absondert und damit ähnlich arbeitet wie das MOX mit Depotwirkung.

Besondere **Vorsichtsmaßnahmen** sind bei der pour-on Anwendung von AVM und Pyrethroiden zu beachten. Zunächst sollte das gegenseitige Ablecken verhindert werden, indem die Tiere im Fressgatter bleiben, bis das Mittel vollständig eingezogen ist (Laffont et al., 2001). Weiterhin ist das Abtropfen und Abregnen von Medikamentenresten in die Natur zu unterbinden, weshalb die Tiere vor der Behandlung fixiert werden sollten. Behälter müssen sicher entsorgt werden. Frisch behandelte Tiere sind auch von Gewässern fernzuhalten.

Eine einfache und vermutlich sehr wirksame, für den Landwirt allerdings sehr aufwendige Maßnahme ist das Aufstallen für ca. 14 Tage nach AVM- oder Pyrethroidgabe.

Frisch behandelte Tiere sollten nicht jedes Jahr auf dieselbe Weide gestellt werden, damit sich die Dungfauna zumindest im zweiten Jahr reproduzieren kann. Es wird auch vorgeschlagen, den Dung länger zu lagern, weniger auf Weiden auszubringen oder sogar unterzupflügen, weil damit die Konzentration abnehmen würde (Liebig et al., 2014).

Die Praktikabilität vieler dieser Maßnahmen ist allerdings wegen des erhöhten Arbeitsaufwands eingeschränkt. Bei der Pflege von Naturschutzflächen (Vertragsnaturschutz) könnten Auflagen zur Durchführung von Entwurmungen gemacht werden, wobei dem Landwirt der erhöhte Aufwand erstattet werden sollte.

## Literatur

- Adler N, Bachmann J, Blanckenhorn WU, Floate KD, Jensen J, Römbke J (2016) Effects of ivermectin application on the diversity and function of dung and soil fauna : regulatory and scientific background information. *Environ Toxicol Chem* 35(8):1914-1923
- Basto-Estrella GS, Rodríguez-Vivas RI, Delfin-González H, Reyes-Novelo E (2014) Dung beetle (Coleoptera: Scarabaeinae) diversity and seasonality in response to use of macrocyclic lactones at cattle ranches in the Mexican neotropics. *Insect Conserv Divers* 7(1):73
- Beynon SA (2012a) Potential environmental consequences of administration of anthelmintics to sheep. *Vet Parasitol* 189(1):113-124
- Beynon SA (2012b) Potential environmental consequences of administration of ectoparasiticides to sheep. *Vet Parasitol* 189(1):125-135
- Blanckenhorn WU, Puniamoorthy N, Schafer MA, Scheffczyk A, Rombke J (2013a) Standardized laboratory tests with 21 species of temperate and tropical sepsid flies confirm their suitability as bioassays of pharmaceutical residues (ivermectin) in cattle dung. *Ecotoxicol Environ Safety* 89:21-28
- Blanckenhorn WU, Puniamoorthy N, Scheffczyk A, Römbke J (2013b) Evaluation of eco-toxicological effects of the parasiticide moxidectin in comparison to ivermectin in 11 species of dung flies. *Ecotoxicol Environ Safety* 89:15-20
- Blüthgen N, Simons NK, Jung K, Prati D, Renner SC, Boch S, Fischer M, Holzel N, Klaus VH, Kleinebecker T, Tschapka M, Weisser WW, Gossner MM (2016) Land use imperils plant and animal community stability through changes in asynchrony rather than diversity. *Nat Commun* 7:10697
- Davis ALV, Scholtz CH, Dooley PW, Bham N, Kryger U (2004) Scarabaeine dung beetles as indicators of biodiversity, habitat transformation and pest control chemicals in agro-ecosystems. *S Afr J Sci* 100(9/10):415
- Eichberg C, Wohde M, Müller K, Rausch A, Scherrmann C, Scheuren T, Düring R-A, Donath TW (2016) The anthelmintic ingredient Moxidectin negatively affects seed germination of three temperate grassland species. *PLoS ONE* 11(11):e0166366. doi:10.1371/journal.pone.0166366
- EMA (1998) Oxyclozanide : summary Report [online]. Zu finden in <[http://www.ema.europa.eu/docs/en\\_GB/document\\_library/Maximum\\_Residue\\_Limits\\_-\\_Report/2009/11/WC500015368.pdf](http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Maximum_Residue_Limits_-_Report/2009/11/WC500015368.pdf)> [zitiert am 22.06.2017]

- EMA (2015) Pressemitteilung zur Sitzung vom 4.-6. November 2015 [online]. Zu finden in <[http://www.ema.europa.eu:80/ema/index.jsp?curl=pages/news\\_and\\_events/news/2015/11/news\\_detail\\_002431.jsp&mid=WC-0b01ac058004d5c1](http://www.ema.europa.eu:80/ema/index.jsp?curl=pages/news_and_events/news/2015/11/news_detail_002431.jsp&mid=WC-0b01ac058004d5c1)> [zitiert am 17.07.2017]
- Errouissi F, Alvinerie M, Galtier P, Kerboeuf D, Lumaret JP (2001) The negative effects of the residues of ivermectin in cattle dung using a sustained-release bolus on *Aphodius constans* (Duft.) (Coleoptera: Aphodiidae). *Vet Res* 32(5):421-427
- Errouissi F, Lumaret JP (2010) Field effects of faecal residues from ivermectin slow-release boluses on the attractiveness of cattle dung to dung beetles. *Med Vet Entomol* 24(4):433-440
- EU (2009) Verordnung (EU) Nr. 37/2010 der Kommission vom 22. Dezember 2009 über pharmakologisch wirksame Stoffe und ihre Einstufung hinsichtlich der Rückstandshöchstmengen in Lebensmitteln tierischen Ursprungs [online]. Zu finden in <[http://ec.europa.eu/health/sites/health/files/files/eudralex/vol-5/reg\\_2010\\_37/reg\\_2010\\_37\\_de.pdf](http://ec.europa.eu/health/sites/health/files/files/eudralex/vol-5/reg_2010_37/reg_2010_37_de.pdf)> [zitiert am 20.06.2017]
- Fahrenkrog J (2013) Optimierung der Parasitenbekämpfung bei Weidewaltung von Rindern [online]. Zu finden in <[http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS\\_derivate\\_000000014005/Fahrenkrog\\_online.pdf](http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_000000014005/Fahrenkrog_online.pdf)> [zitiert am 17.07.2017]
- Farkas R, Gyurcsó A, Borzsonyi L (2003) Fly larvicidal activity in the faeces of cattle and pigs treated with endectocide products. *Med Vet Entomol* 17(3):301-306
- Fincher GT, Wang GT (1992) Injectable moxidectin for cattle : effects on two species of dung-burying beetles. *Southwest Entomol* 4(4):303
- Floate KD, Colwell DD, Fox AS (2002) Reductions of non-pest insects in dung of cattle treated with endectocides : a comparison of four products. *Bull Entomol Res* 92(6):471-481
- Floate KD, Düring RA, Hanafi J, Jud P, Lahr J, Lumaret JP, Scheffczyk A, Tixier T, Wohde M, Rombke J, Sautot L, Blanckenhorn WU (2016) Validation of a standard field test method in four countries to assess the toxicity of residues in dung of cattle treated with veterinary medical products. *Environ Toxicol Chem* 35(8):1934-1946
- Floate KD, Spooner RW, Colwell DD (2001) Larvicidal activity of endectocides against pest flies in the dung of treated cattle. *Med Vet Entomol* 15(1):117-120
- Floate KD, Wardhaugh KG, Boxall AB, Sherratt TN (2005) Faecal residues of veterinary parasiticides : nontarget effects in the pasture environment. *Annu Rev Entomol* 50:153-179
- Grace JB, Anderson TM, Seabloom EW, Borer ET, Adler PB, Harpole WS, Hautier Y, Hillebrand H, Lind EM, Partel M, Bakker JD, Buckley YM, Crawley MJ, Damschen EI, Davies KF, Fay PA, Firn J, Gruner DS, Hector A, Knops JM, MacDougall AS, Melbourne BA, Morgan JW, Orrock JL, Prober SM, Smith MD (2016) Integrative modelling reveals mechanisms linking productivity and plant species richness. *Nature* 529(7586):390-393
- Halley BA, Van den Heuvel WJA, Wislocki PG (1993) Environmental effects of the usage of avermectin in livestock. *Vet Parasitol* 48:109-125
- Hempel H, Scheffczyk A, Schallnass HJ, Lumaret JP, Alvinerie M, Rombke J (2006) Toxicity of four veterinary parasiticides on larvae of the dung beetle *Aphodius constans* in the laboratory. *Environ Toxicol Chem* 25(12):3155-3163
- Horvat AJM, Babić S, Pavlović DM, Ašperger D, Pelko S, Kaštelan-Macan M, Petrović M, Mance AD (2012) Analysis, occurrence and fate of anthelmintics and their transformation products in the environment. *Trends Anal Chem* 31:61-84
- Iwasa M, Nakamura T, Fukaki K, Yamashita N (2005) Nontarget effects of Ivermectin on coprophagous insects in Japan. *Environ Entomol* 34(6):1485
- Iwasa M, Sugitani M (2014) Effects of the veterinary antiparasitic drug eprinomectin on dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae), the non-pest fly *Neomyia cornicina* and pest fly *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) in Japan. *Appl Entomol Zool* 49(4):591
- Iwasa M, Suzuki N, Maruyama M (2008) Effects of moxidectin on coprophagous insects in cattle dung pats in Japan. *Appl Entomol Zool* 43(2):271-280
- Jacobs CT, Scholtz CH (2015) A review on the effect of macrocyclic lactones on dung-dwelling insects : toxicity of macrocyclic lactones to dung beetles. *Onderstepoort J Vet Res* 82(1):858
- Jochmann R, Blanckenhorn WU (2016) Non-target effects of ivermectin on trophic groups of the cow dung insect community replicated across the agricultural landscape. *Basic Appl Ecol* 17(4):291-299
- Jochmann R, Lipkow E, Blanckenhorn WU (2016) A field test of the effect of spiked ivermectin concentrations on the biodiversity of coprophagous dung insects in Switzerland. *Environ Toxicol Chem* 35(8):1947-1952
- Kenyon F, Greer AW, Coles GC, Cringoli G, Papadopoulos E, Cabaret J, Berrag B, Varady M, van Wyk JA, Thomas E, Vercruysse J, Jackson F (2009) The role of targeted selective treatments in the development of refugia-based approaches to the control of gastrointestinal nematodes of small ruminants. *Vet Parasitol* 164(1):3-11
- Kryger U, Deschodt C, Davis AL, Scholtz CH (2007) Effects of cattle treatment with a fluzaron pour-on on survival and reproduction of the dung beetle species *Onthophagus gazella* (Fabricius). *Vet Parasitol* 143(3-4):380-384
- Kryger U, Deschodt C, Scholtz CH (2005) Effects of fluzaron and ivermectin treatment of cattle on the structure of dung beetle communities. *Agric Ecosyst Environ* 105:649-656
- Laffont CM, Alvinerie M, Bousquet-Melou A, Toutain PL (2001) Licking behaviour and environmental contamination arising from pour-on ivermectin for cattle. *Int J Parasitol* 31(14):1687-1692
- Larsen TH, Forsyth A (2005) Trap spacing and transect design for dung beetle biodiversity studies. *Biotropica* 37(2):322-325
- Liebig M, Floeter C, Hahn T, Koch W, Wenzel A, Roembke J (2014) Risk mitigation measures : an important aspect of the environmental risk assessment of pharmaceuticals. *Toxics* (2):35-49
- Litskas VD, Karamanlis XN, Batzias GC, Tsiouris SE (2013) Are the parasiticide avermectins resistant to dissipation in the environment? The case of eprinomectin. *Environ Int* 60:48-55
- Löscher W, Bäumer W (eds) (2014) *Pharmakotherapie bei Haus- und Nutztieren*. Stuttgart : Enke, 741 p
- Lumaret JP, Alvinerie M, Hempel H, Schallnass HJ, Claret D, Rombke J (2007) New screening test to predict the potential impact of ivermectin-contaminated cattle dung on dung beetles. *Vet Res* 38(1):15-24
- Lumaret JP, Errouissi F (2002) Use of anthelmintics in herbivores and evaluation of risks for the non target fauna of pastures. *Vet Res* 33(5):547-562
- Lumaret JP, Errouissi F, Floate K, Rombke J, Wardhaugh K (2012) A review on the toxicity and non-target effects of macrocyclic lactones in terrestrial and aquatic environments. *Curr Pharm Biotechnol* 13(6):1004-1060
- Madsen M, Overgaard Nielsen B, Holten P (1990) Treating cattle with ivermectin : effects on the fauna and decomposition of dungpats. *J Appl Ecol* 27:1-15
- McCracken DI (1993) The potential for avermectins to affect wildlife. *Vet Parasitol* 48(1-4):273-280
- McKellar QA, Scott EW, Baxter P, Anderson LA, Bairden K (1993) Pharmacodynamics, pharmacokinetics and faecal persistence of morantel in cattle and goats. *J Vet Pharmacol Ther* 16:87-92
- McKellar QA (1997) Ecotoxicology and residues of anthelmintic compounds. *Vet Parasitol* 72:413-435
- Organisation for economic Co-Operation and Development (2004) Test No. 222: OECD guidelines for testing of chemicals : earthworm reproduction test (*Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*) [online]. Zu finden in <[http://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-222-earthworm-reproduction-test-eisenia-fetida-eisenia-andrei\\_9789264264496-en;jsessionid=g96vbomjqs4.x-oecd-live-02](http://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-222-earthworm-reproduction-test-eisenia-fetida-eisenia-andrei_9789264264496-en;jsessionid=g96vbomjqs4.x-oecd-live-02)> [zitiert am 17.07.2017]
- Organisation for economic Co-Operation and Development (2009) Test No. 232: OECD guidelines for testing of chemicals : Collembolan reproduction test in soil [online]. Zu finden in <[http://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-232-collembolan-reproduction-test-in-soil\\_9789264264601-en;jsessionid=2ishp9nh4wpgr.x-oecd-live-02](http://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-232-collembolan-reproduction-test-in-soil_9789264264601-en;jsessionid=2ishp9nh4wpgr.x-oecd-live-02)> [zitiert am 17.07.2017]
- Organisation for economic Co-Operation and Development (2010) Test No. 122: OECD guidelines for testing of chemicals : Guidance document on the determination of the toxicity of a test chemical to the dung beetle *Aphodius constans* [online]. Zu finden in <[http://www.oecd.org/official-documents/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2010\)13&doclanguage=en](http://www.oecd.org/official-documents/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2010)13&doclanguage=en)> [zitiert am 22.06.2017]



- Organisation for economic Co-Operation and Development (2016) Test No. 228: OECD guidelines for testing of chemicals : determination of developmental toxicity to dipteran dung flies (*Scathophaga stercoraria* L. (Scathophagidae), *Musca autumnalis* De Geer (Muscidae) [online]. Zu finden in <[http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/environment/test-no-228-determination-of-developmental-toxicity-to-dipteran-dung-flies-scathophaga-stercoraria-l-scathophagidae-musca-autumnalis-de-geer-muscidae\\_9789264264571-en#\\_WUpfYrPZYiU#page1](http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/environment/test-no-228-determination-of-developmental-toxicity-to-dipteran-dung-flies-scathophaga-stercoraria-l-scathophagidae-musca-autumnalis-de-geer-muscidae_9789264264571-en#_WUpfYrPZYiU#page1)> [zitiert am 21.06.2017]
- Ridsdill-Smith J (1988) Survival and reproduction of *Musca vetustissima* Walker and scarabaeine dung beetle in dung of cattle treated with avermectin B1. *J Aust Entomol Soc* 27:175-178
- Ridsdill-Smith TJ (1993) Effects of avermectin residues in cattle dung on dung beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) reproduction and survival. *Vet Parasitol* 48(1-4):127-137
- Römbke J, Coors A, Fernández AA, Förster B, Fernández C, Jensen J, Lumaret J-P, Cots MÁ, Liebig M (2010) Effects of the parasiticide ivermectin on the structure and function of dung and soil invertebrate communities in the field (Madrid, Spain). *Appl Soil Ecol* 45:284-292
- Römbke J, Hempel H, Scheffczyk A, Schallnass H, Alvinerie M, Lumaret J, Koschorrek J (2007a) Entwicklung und Einsatz eines standardisierten Labortests für Dungkäfer (*Aphodius constans*) zur Prüfung der Ökotoxizität von Veterinärpharmaka. *UWSF-Z Umweltchem Ökotox* 19(3):197-205
- Römbke J, Hempel H, Scheffczyk A, Schallnass HJ, Alvinerie M, Lumaret JP (2007b) Environmental risk assessment of veterinary pharmaceuticals : development of a standard laboratory test with the dung beetle *Aphodius constans*. *Chemosphere* 70(1):57-64
- Scheffczyk A, Floate KD, Blanckenhorn WU, Düring R-A, Klockner A, Lahr J, Lumaret J-P, Salamon J-A, Tixier T, Wohde M, Römbke J (2016) Nontarget effects of ivermectin residues on earthworms and springtails dwelling beneath dung of treated cattle in four countries. *Environ Toxicol Chem* 35(8):1959-1969
- Schwabenbauer K (2016). Berichte aus dem BMEL. *Dtsch Tierärztebl* 64(2):184
- Skripsky T, Hoffmann S (2010) Assessment of risk of monepantel faecal residues to dung fauna. *Aust Vet J* 88(12):490-496
- Soliveres S, van der Plas F, Manning P, Prati D, Gossner MM, Renner SC, Alt F, Arndt H, Baumgartner V, Binkenstein J, Birkhofer K, Blaser S, Blüthgen N, Boch S, Böhm S, Börschig C, Buscot F, Diekötter T, Heinze J, Hölzel N, Jung K, Klaus VH, Kleinebecker T, Klemmer S, Krauss J, Lange M, Morris EK, Müller J, Oelmann Y, Overmann J, Pašalić E, Rillig MC, Schaefer HM, Schlöter M, Schmitt B, Schöning I, Schrumpf M, Sikorski J, Socher SA, Solly EF, Sonnemann I, Sorkau E, Steckel J, Steffan-Dewenter I, Stempfhuber B, Tschapka M, Türke M, Venter PC, Weiner CN, Weisser WW, Werner M, Westphal C, Wilcke W, Wolters V, Wubet T, Wurst S, Fischer M, Allan E (2016) Biodiversity at multiple trophic levels is needed for ecosystem multifunctionality. *Nature* 536(7617):456-459
- Sommer C, Bibby BM (2002) The influence of veterinary medicines on the decomposition of dung organic matter in soil. *Eur J Soil Biol* 38(2): 155-159
- Sommer C, Nielson BO (1992) Larvae of the dung beetle *Onthophagus gazella* F. (Col., Scarabaeidae) exposed to lethal and sublethal ivermectin concentrations. *Journal of Applied Entomology*, 114: 502-509
- Steel JW (1998) Assessment of the effects of the macrocyclic lactone class of chemicals on dung beetles and dung degradation in Australia. In: National Registration Authority for Agricultural and Veterinary Chemicals (NRA) (ed) NRA special review of macrocyclic lactones. Canberra : NRA, 79 p
- Strong L (1993) Overview: the impact of avermectins on pastureland ecology. *Vet Parasitol* 48(1-4):3-17
- Strong L, Wall R (1994) Effects of ivermectin and moxidectin on the insects of cattle dung. *Bull Entomol Res* 3:403
- Suárez VH, Lifschitz AL, Sallovitz JM, Lanusse CE (2009) Effects of faecal residues of moxidectin and doramectin on the activity of arthropods in cattle dung. *Ecotoxicol Environ Safety* 72:1551-1558
- Sundlof SF, Whitlock TW (1992) Clorsulon pharmacokinetics in sheep and goats following oral and intravenous administration. *J Vet Pharmacol Ther* 15(3):282-291
- Sutton G, Bennett J, Bateman M (2014) Effects of ivermectin residues on dung invertebrate communities in a UK farmland habitat. *Insect Conserv Divers* 7(1):64
- Tixier T, Blanckenhorn WU, Lahr J, Floate K, Scheffczyk A, During RA, Wohde M, Roembke J, Lumaret JP (2016) A four-country ring test of non-target effects of ivermectin residues on the function of coprophilous communities of arthropods in breaking down livestock dung. *Environ Toxicol Chem* 35(8):1953-1958
- Tixier T, Lumaret JP, Sullivan GT (2015) Contribution of the timing of the successive waves of insect colonisation to dung removal in a grazed agro-ecosystem. *Eur J Soil Biol* 69:88-93
- van Klink R, van der Plas F, van Noordwijk CG, Wallis De Vries MF, Olff H (2015) Effects of large herbivores on grassland arthropod diversity. *Biol Rev Camb Philos Soc* 90(2):347-366
- Vercruysse J, Deprez P, Everaert D, Bassissi F, Alvinerie M (2008) Breed differences in the pharmacokinetics of ivermectin administered subcutaneously to Holstein and Belgian Blue calves. *Vet Parasitol* 152(1-2):136-140
- Verdu JR, Cortez V, Ortiz AJ, Gonzalez-Rodriguez E, Martinez-Pinna J, Lumaret JP, Lobo JM, Numa C, Sanchez-Pinero F (2015) Low doses of ivermectin cause sensory and locomotor disorders in dung beetles. *Sci Rep* 5:13912
- Virlouvet G, Bichon E, André F, Bizet BL (2006) Faecal elimination of cypermethrin by cows after pour-on administration : determining concentrations and measuring the impact on dung beetles. *Toxicol Environ Chem* 88(3):489
- Wall R, Beynon S (2012) Area-wide impact of macrocyclic lactone parasiticides in cattle dung. *Med Vet Entomol* 26(1):1-8
- Wall R, Strong L (1987) Environmental consequences of treating cattle with the antiparasitic drug ivermectin. *Nature* 327(6121):418-421
- Wall R, Strong L (1988) Ivermectin and cattle dung : a case for concern. *Parasitol Today* 4(4):107-108
- Wardhaugh KG, Holter P, Whitby WA, Shelley K (1996) Effects of drug residues in the faeces of cattle treated with injectable formulations of ivermectin and moxidectin on larvae of the bush fly, *Musca vetustissima* and the house fly, *Musca domestica*. *Aust Vet J* 74(5):370-374
- Wardhaugh KG, Longstaff BC, Lacey MJ (1998) Effects of residues of deltamethrin in cattle faeces on the development and survival of three species of dung-breeding insect. *Aust Vet J* 76(4):273-280
- Wardhaugh KG, Holter P, Longstaff B (2001a) The development and survival of three species of coprophagous insect after feeding on the faeces of sheep treated with controlled-release formulations of ivermectin or albendazole. *Aust Vet J* 79(2):125-132
- Wardhaugh KG, Longstaff BC, Morton R (2001b) A comparison of the development and survival of the dung beetle, *Onthophagus taurus* (Schreb.) when fed on the faeces of cattle treated with pour-on formulations of eprinomectin or moxidectin. *Vet Parasitol* 99(2):155-168
- Webb L, Beaumont DJ, Nager RG, McCracken DI (2007) Effects of avermectin residues in cattle dung on yellow dung fly *Scathophaga stercoraria* (Diptera: Scathophagidae) populations in grazed pastures. *Bull Entomol Res* 97(2):129-138
- Webb L, Beaumont DJ, Nager RG, McCracken DI (2010) Field-scale dispersal of *Aphodius* dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) in response to avermectin treatments on pastured cattle. *Bull Entomol Res* 100(2):175-183
- Wratten SD, Mead-Briggs M, Gettinby G, Ericsson G, Baggot DG (1993) An evaluation of the potential effects of ivermectin on the decomposition of cattle dung pats. *Vet Rec* 133:365-371
- [www.vetidata.de](http://www.vetidata.de) (kostenpflichtige Tierarzneimitteldatenbank) Abruf vom 24.4.2017
- [www.pharmnet-bund.de/dynamic/de/am-info-system/index.html](http://www.pharmnet-bund.de/dynamic/de/am-info-system/index.html) (kostenfreie Arzneimittelinformationen vom Bundesministerium für Gesundheit) Cydectin LA ®, Abruf vom 24.4.2017
- [www.weide-parasiten.de](http://www.weide-parasiten.de) (Online-Entscheidungshilfe für Landwirte, Berater und Tierärzte zur Optimierung der Entwurmungen bei Rindern, Schafen und Ziegen) Abruf vom 28.11.2016





# Versuchsflächen mit schnellwachsenden Baumarten in Brandenburg – Ertragskundliche Ergebnisse für 2006 bis 2015

Rainer Schlepphorst\*, Holger Hartmann\* und Dieter Murach\*

## Zusammenfassung

Es werden ertragskundliche Ergebnisse von schnellwachsenden Baumarten vorgestellt, die im Kurzumtrieb auf acht Versuchsflächen der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde von 2006 bis 2015 im Land Brandenburg bewirtschaftet wurden. In den randomisierten Sortenversuchen wurden neun Pappelklone (*Populus spec.*), 19 Weidenklone (*Salix spec.*), zwei Herkünfte von Robinie (*Robinia pseudoacacia*) sowie Grau-Erle (*Alnus incana*) und Eschenblättriger Ahorn (*Acer negundo*) bis zum Ende der zweiten Umtriebszeit untersucht. Die Rotationslänge beträgt drei Jahre, der Pflanzverband ist eine Doppelreihe mit ca. 14.815 Pflanzen pro ha. Die Versuchsflächen repräsentieren ein breites Standardspektrum, mit sandigen bis lehmigen Böden, mit und ohne Grundwasseranschluss. Zur zweiten Ernte weisen bei den Weiden die schwedischen Klone Tora und Tordis mit im Mittel von knapp  $10 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  die höchsten Erträge auf. Bei den Pappeln sind es die Klone Hybride 275 mit  $11 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und Max 3, Max 4 und AF 2 mit knapp über  $9 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , die die höchsten durchschnittlichen Erträge aufweisen. Die Überlebensraten aller Weidensorten am Ende der 1. Rotation liegen bei extensiver Pflege über 80 %. Bei den Pappeln konnten nur die drei Max-Klone sowie Hybride 275 solch hohe Werte erreichen. Eine gründliche Flächenvorbereitung zur Pflanzung und eine intensive Pflege in der Etablierungsphase haben einen erheblichen Einfluss auf den Ertrag und die Überlebensrate der Gehölze.

**Stichwörter:** Sortenversuche, schnellwachsende Baumarten, Pappel, Weiden, Robinien, Kurzumtrieb, Erträge, Statistik

## Abstract

### Yield of fast-growing tree species in northeast Germany: results of research with experimental plots (2006 to 2015)

We are presenting results from 10 years of research from a network of short-rotation plantations with fast-growing tree species in the federal state of Brandenburg, in the North-eastern Lowlands of Germany, from 2006 to 2015. At eight experimental sites, randomized variety trials including 19 willow clones (*Salix spec.*), nine poplar clones (*Populus spec.*), two provenances of black locust (*Robinia pseudoacacia*) and grey alder (*Alnus incana*), as well as ash-leaved maple (*Acer negundo*) were used to determine yield potentials during the first and second rotation, each lasting three years. Trials greatly differed in their site characteristics, ranging from sandy to loamy soils, sites with groundwater availability to very dry sites. All trials were planted in double rows with a plant density of 14.815 plants per ha. Our results showed that among willows biomass production at the end of the second rotation was highest in the two Swedish clones Tora and Tordis, averaging 9,9 and 9,7 t DM  $\text{ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  over all plots. Among poplar clones the Hybrid 275 (11,1 t DM  $\text{ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ), Max 3 (9,3 t DM  $\text{ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ), Max 4 and AF 2 (9,2 t DM  $\text{ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) performed best. Survival rates during the first three years exceeded 80 % in willows but only the poplar clones Max 1, Max 3, Max 4 and Hybrid 275 showed similar success with establishment. Proper management techniques, including thorough soil preparation before planting as well as maintenance during the establishment phase, proved to have a significant impact on yield and survival rates.

**Keywords:** Variety trials, fast-growing trees, poplar, willow, black locust, short rotation coppice, yield, growth rates, survival rates

\* Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE), Alfred-Möller-Str. 1, 16225 Eberswalde

## 1 Einleitung

Im Projekt BIODER hat die Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde am Fachbereich für Wald und Umwelt von 2006 bis 2015 Versuchs- und Demonstrationsflächen zum Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen in Brandenburg betrieben. Die Flächen sollten klären helfen, welche schnellwachsenden Baumarten und Klone sich als besonders geeignet für einen Anbau unter brandenburgischen Standortverhältnissen erweisen. Dazu wurden kleinparzellierte Sortenversuche mit schnellwachsenden Baumarten angelegt und die Zuwächse sowie die Vitalität der einzelnen Prüfglieder jeweils am Ende der 1. und 2. Rotationsperiode ausgewertet.

Der Energieholzanbau in Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf landwirtschaftlichen Flächen stellt eine Möglichkeit dar, holzartige Biomasse in kurzen Zeiträumen zu produzieren. Es werden dabei ausschließlich Baumarten mit einer raschen Jugendentwicklung verwendet, also vor allem züchterisch bearbeitete Pappel- oder Weidensorten, Robinien oder Erlen. Bei der Anlage von KUP werden die Bäume in einem an maschinentechnischen Erfordernissen orientiertem Pflanzverband angebaut. Bereits bei der Konzeption einer Plantage müssen sowohl die gewünschten Baum-Zieldimensionen als auch die Umtriebszeit und die Pflanzendichte sowie die geeignete und zur Verfügung stehende Erntetechnik berücksichtigt werden. Je nach gewählter Umtriebszeit und Baumart können von weniger als 1.000 bis über 20.000 Bäume pro ha angepflanzt werden. KUP können dazu beitragen, eine prognostizierte Bedarfslücke für Dendromasse in der EU zu verringern (Mantau et al., 2010). Vom Deutschen Biomasseforschungszentrum (Thrän et al., 2010) wurde geschätzt, dass zur Deckung der vorgenannten „Holzlücke“ zwischen

einem deutlich steigenden Holzverbrauch und der bei weiterhin nachhaltiger Nutzung der Waldressourcen nur mäßig ansteigenden Holzbereitstellung bis zum Jahr 2020 der Anbau von KUP auf ca. 1,3 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche in Deutschland notwendig wäre. Dies entspräche 10 % der Ackerfläche von etwa 12 Mio. ha. Der Flächenumfang für Kurzumtriebsplantagen beläuft sich in der EU allerdings bisher nur auf etwa 30.000 ha (Mantau et al., 2010). Deutschlandweit wurden in 2015 nur etwa 6.700 ha Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen bewirtschaftet (INVEKOS, 2015), von denen sich etwa ein Drittel in Brandenburg und Berlin befinden (ETI, 2013). Im Projekt DENDROM wurden vor diesem Hintergrund bereits von 2005 bis 2008 systemische Analysen, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwendung von Dendromasse aus Wald- und Agrargehölzen für Brandenburg entwickelt (Murach et al., 2008). Die ertragskundlichen Daten, die in DENDROM für die Szenarien verwendet wurden, stammten in Ermangelung an Daten weitgehend von Versuchsflächen außerhalb Brandenburgs. Mit BIODER sollte diese Lücke geschlossen und ertragskundliche Daten für KUP unter Brandenburger Verhältnissen erhoben werden.

## 2 Material und Methodik

### 2.1 Anlage der Sortenversuche

Seit dem Frühjahr 2006 sind in BIODER insgesamt acht kleinparzellierte Sortenversuche als randomisierte Parzellenversuche etabliert worden (vgl. Tabelle 1). Die Versuche wurden als eigenständige Versuchsflächen von 0,5 bis 0,7 ha auf zuvor landwirtschaftlich genutzten Flächen oder Stilllegungsflächen angelegt und mit Wildschutzzäun geschützt.

**Tabelle 1**

Daten zur Anlage und standortkundliche Parameter der Sortenversuche

Standort	Cahnsdorf	Drieschnitz	Groß Radden	Kummerow 1
Landkreis	Dahme-Spreewald	Spreewald-Neiße	Oberspreewald-Lausitz	Uckermark
Etablierungsjahr	2007	2008	2008	2008
langjähriges Niederschlagsmittel 1981 - 2010	553 mm (DWD-Station Giessmannsdorf)	609 mm (DWD-Station Komptendorf)	553 mm (DWD-Station Giessmannsdorf)	563 mm (DWD-Station Passow)
Höhe über NN	61 m	90 m	55 m	7 - 8 m
Ackerzahl	27 bis 30	28 bis 29	36	12
MMK	D2b	D1a	D2b	D1
Bodenart (nach Ad-hoc AG Boden, 2005)	Sl4, Sl2, Su2	Ss, Su2	St2	Ss, St2
Humusgehalt bis 30 cm Bodentiefe	0,86 bis 1,16 %	2,05 bis 3,74 %	5,38 bis 6,51 %	1,21 - 2,87 %
pH – Wert	H <sub>2</sub> O 6,37 bis 6,92 KCl 5,94 bis 6,48	H <sub>2</sub> O 5,73 KCl 5,39	H <sub>2</sub> O 5,51 bis 5,91 KCl 4,54 bis 4,57	H <sub>2</sub> O 5,13 - 6,46 KCl 3,83 - 5,55
Grundwassertiefe	> 2 m u. Flur	1,5 - 2,0 m u. Flur	1 - 1,5 m u. Flur	1,5 - 1,8 m u. Flur
Vornutzung	Acker	Stilllegung	Stilllegung	Stilllegung
Bodenvorbereitung:	Pflugfurche	Grubber	Pflugfurche	Grubber
Unkrautbekämpfung in der Etablierungsphase:	mechanisch, intensiv	PSM-Applikation ('Flexidor', 'Fusilade Max'), mechanisch, extensiv	PSM-Applikation ('Flexidor'), mechanisch, extensiv	mechanisch, extensiv

Fortsetzung Tabelle 1

Standort	Kummerow 2	Kummerow 3	Lindhorst	Zeischa
Landkreis:	Uckermark	Uckermark	Uckermark	Elbe-Elster
Etablierungsjahr:	2007	2008	2006	2007
langjähriges Niederschlagsmittel 1981 - 2010	563 mm (DWD-Station Passow)	563 mm (DWD-Station Passow)	544 mm (DWD-Station Uckerland-Karlstein)	593 mm (DWD-Station Elsterwerda)
Höhe über NN	5 bis 6 m	6 bis 7 m	85 m	88 m
Ackerzahl	37	20 bis 25	39 bis 45	20 bis 23
MMK	D2b	D1 bis D2b	D5b	D2b
Bodenart (nach Ad-hoc AG Boden, 2005)	St2, Sl2	Ss, St2	Sl3, Sl4, Ls4	Ss, St2, Sl2
Humusgehalt bis 30 cm Bodentiefe	3,00 bis 3,74 %	1,39 bis 3,09 %	0,48 bis 1,71 %	1,74 bis 3,09 %
pH - Wert	H <sub>2</sub> O 7,11 bis 7,67 KCl 6,76 bis 6,77	H <sub>2</sub> O 6,77 bis 7,23 KCl 4,23 bis 5,47	H <sub>2</sub> O 5,8 bis 6,51 KCl 4,6 bis 4,92	H <sub>2</sub> O 5,93 bis 6,7 KCl 4,97 bis 6,11
Grundwassertiefe	1,5 bis 1,8 m u. Flur	1,5 bis 1,8 m u. Flur	> 2 m u. Flur	1,5 bis 1,8 m u. Flur
Vornutzung	Stilllegung	Stilllegung	Stilllegung	Baumschule
Bodenvorbereitung	Grubber	Grubber	Pflugfurche	Pflugfurche
Unkrautbekämpfung in der Etablierungsphase	mechanisch, intensiv	mechanisch, extensiv	mechanisch, extensiv	PSM-Applikation ('Flexidor'), mechanisch, extensiv
MMK = Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung, hierunter D1 = Geringe Sandböden, grundwasserfern; D1a = Sickerwasserbestimmte Sande; D2b = Grundwasserbestimmte Sande; D5b = Staunässe- und/oder grundwasserbestimmte Lehme und Tieflerme				
Bodenart (nach Ad-hoc AG Boden, 2005): Ss = sandiger Sand, Sl2 = schwach lehmiger Sand, Sl3 = mittel lehmiger Sand, Sl4 = stark lehmiger Sand, St2 = schwach toniger Sand, Ls4 = stark sandiger Lehm, Su2 = schwach schluffiger Sand				

Die Flächenvorbereitung war aufgrund der unterschiedlichen Ausgangssituationen nicht auf allen Flächen einheitlich. Die Bodenvorbereitung vor der Pflanzung erfolgte überwiegend per Pflugfurche, alternativ aber auch mit Hilfe eines Schwergrubbers. In den Jahren 2007 und 2008 erfolgte in den Wochen nach der Pflanzung der Versuche eine Bewässerung der jungen Pflanzen, um Trockenheitsschäden auf-

grund der vorherrschenden ausgeprägten Frühjahrstrockenheit zu vermeiden. Pflegemaßnahmen mussten im Etablierungsjahr aufgrund der Einzäunung der Flächen mit Hilfe von Gartentechnik (Einachsschlepper mit angebaute Fräse oder Mulchgerät, Freischneider) oder per Hand erfolgen. In 2008 wurde darüber hinaus eine speziell für die Doppelreihe entwickelte Reihenfräse eingesetzt.

Tabelle 2

Eingesetztes Arten- und Sortenspektrum

Gattung	Art	Sorte, Klon, Herkunft	Land der Züchtung oder Selektion
<i>Populus spec.</i>	<i>P. x euramericana</i>	AF 2, Monviso	Italien
	<i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i>	Androscoggin, Hybride 275 (Syn. NE 42)	USA
	<i>P. trichocarpa</i>	Muhle-Larsen	Belgien
	<i>P. trichocarpa</i>	Weser 6	Deutschland
	<i>P. nigra</i> x <i>P. maximowiczii</i>	Max 1, Max 3, Max 4	Japan
<i>Salix spec.</i>	<i>S. purpurea</i>	1013	Polen
	<i>S. viminalis</i>	1023, 1033, 1047, 1053, 1054, 1056, 1156	Polen
	<i>S. viminalis</i>	Sprint, Start, Turbo	Polen
	<i>S. viminalis</i>	S 178, S 182, S 183, S 184	Deutschland
	<i>S. triandra</i> x <i>S. viminalis</i>	Inger	Schweden
	<i>S. viminalis</i> x ( <i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i> )	Sven	Schweden
	<i>S. schwerinii</i> x <i>S. viminalis</i>	Tora	Schweden
	( <i>S. viminalis</i> x <i>S. schwerinii</i> ) x <i>S. viminalis</i>	Tordis	Schweden
<i>Acer spec.</i>	<i>Acer negundo</i>		
<i>Alnus spec.</i>	<i>Alnus incana</i>		
<i>Robinia spec.</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Nyriségi (Ungarn), Müncheberg	

Bewässerung und Unkrautbekämpfung wurden allerdings nicht auf allen Flächen mit der gleichen Intensität und Häufigkeit durchgeführt. Pflanzenschutzmittel wurden nach der Pflanzung in den Versuchen bei Drieschnitz, Groß Rad den und Zeischa verwendet.

## 2.2 Prüfglieder

Insgesamt wurden 33 verschiedene Prüfglieder in den Sortenversuchen eingesetzt (vgl. Tabelle 2). Die Auswahl der einzelnen Baumarten und Klone wurde vor der Anlage der ersten Versuche im Jahr 2006 mit Experten abgestimmt. Dabei waren die nachhaltigen Ertragsleistungen der Baumarten und Klone und die standörtlichen Voraussetzungen auf den Versuchsflächen die bestimmenden Selektionskriterien. Dabei kamen auch Pappelklone zum Einsatz, die für den kommerziellen Anbau in Deutschland nach dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) noch nicht zugelassen sind. Der Klon Weser 6 ist beispielsweise nicht für einen kommerziellen Anbau zugelassen, für den Versuchsanbau jedoch verwendbar. Der Anbau von Weidenklonen wird von dem Forstvermehrungsgutgesetz nicht eingeschränkt.

## 2.3 Versuchslayout, Pflanzverband, Rotationslänge und Pflanzgut

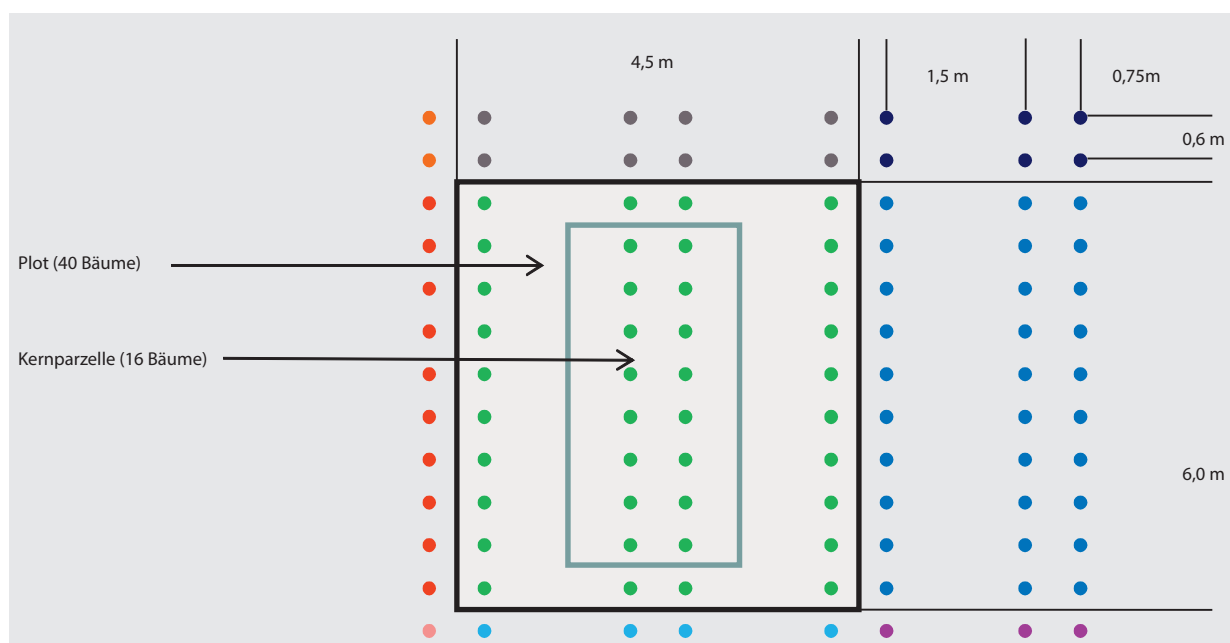
Alle Versuchsanlagen wurden als randomisierte Parzellenversuche mit fünf Wiederholungen pro Prüfglied konzipiert. In 2006 wurden pro Parzelle 28 Bäume in vier Reihen mit jeweils sieben Bäumen gepflanzt, in 2007 und 2008 wurden 40 Bäume pro Parzelle in vier Reihen zu je 10 Bäumen gepflanzt (Tabelle 3 und Abbildung 1). Die Pflanzung der Bäume erfolgte immer in einer Doppelreihe. Zwei Baumreihen wurden dabei im Abstand von 75 cm nebeneinander gepflanzt. Der Abstand von einer Doppelreihe zur nächsten Doppelreihe betrug 150 cm. Der Abstand zwischen den einzelnen Bäumen in der Reihe war immer 60 cm (vgl. Tabelle 3). Daraus resultierte eine Pflanzdichte von 14.815 Bäumen pro ha. Es existieren Unterschiede in der Anzahl der Prüfglieder, die auf den verschiedenen Versuchsflächen angebaut wurden.

Ertragskundliche Messungen (vgl. Kapitel 2.5) fanden nur an den Bäumen in der sogenannten Kernparzelle eines Plots statt, also in dem inneren Bereich, der von Randeffekten der benachbarten Prüfglieder weitgehend abgeschirmt ist (vgl. Abbildung 1 und 2). Die Kernparzellen in den Versuchen aus dem Jahr 2006 umfassten zehn Bäume, bei den Versuchen

**Tabelle 3**

Übersicht über Parameter der Sortenversuche

Jahr der Etablierung	Bäume pro Plot	Abstand zwischen den Doppelreihen	Abstand in der Baumreihe	Anzahl Bäume pro ha	Anzahl Wiederholungen
2006	28	150 cm	60 cm	14.815	5
2007, 2008	40	150 cm	60 cm	14.815	5



**Abbildung 1**

Layout der Sortenversuche im Kurzumtrieb von 2007 bis 2008



aus den Jahren 2007 und 2008 dagegen 16 Bäume. Als Pflanzgut kamen bei Pappeln und Weiden in der Regel 20 cm lange Steckhölzer zum Einsatz, übrige Baumarten wurden als einjährige Sämlinge gepflanzt. Lediglich der Versuch Kummerow 1 wurde in 2008 mit 80 cm langen Setzruten begründet, die mit Hilfe eines Erdbohrers 60 cm tief gepflanzt wurden. Auf diesem sehr armen Standort waren Anpflanzungen mit 20 cm langen Stecklingen in den trockenen Frühjahren 2006 und 2007 nahezu vollständig vertrocknet. Die Pflanzung der Bäume erfolgte per Hand, meist unter Zuhilfenahme von Spaten oder ähnlichen Pflanzhilfen. Zeitpunkt der Pflanzung war in der Regel das zeitige Frühjahr, also die Zeit von Mitte März bis Ende April. Alle Versuche wurden durch einen Zaun gegen Wildverbiss geschützt. Die Versuche wurden in einer dreijährigen Umtriebszeit bewirtschaftet.

## 2.4 Bodenuntersuchungen

Auf allen Versuchsflächen erfolgten Bodenuntersuchungen zur grundlegenden Charakterisierung des Standortes (vgl. Tabelle 4)

**Tabelle 4**

Durchgeführte Bodenanalysen zur Charakterisierung der Versuchsstandorte

Parameter	Methodik
pH H <sub>2</sub> O und 1 M KCl	Aufschlännen und Potentiometrie (Gutachterausschuss Forstliche Analytik, 2005; A3.1.1.2 u. -4 in Anlehnung DIN ISO 10390; HBU 11.11a u. b, 3.5.1a)
C <sub>org</sub>	Glühen, Gravimetrie (Gutachterausschuss Forstliche Analytik, 2005; A3.4.1 in Anlehnung DIN EN 12879)
Humusgehalt	Berechnung nach der Formel $C_{org} \cdot 1,72$ , nach Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005)
Schluff- und Tonanteil	Dispergierung, Siebung, Gravimetrie (Schnellmethode, Hausmethode)

## 2.5 Biomassebestimmung mit Hilfe der Regressionsmethode

Am Ende jeder Rotationsperiode, also nach jeweils drei Vegetationsperioden, erfolgte in allen Sortenversuchen eine Bonitur des Wachstums auf allen Plots. Dazu wurden die Durchmesser aller Triebe mit einem Mindestdurchmesser von 8 mm in 100 cm Höhe über dem Erdboden mit Hilfe von Messschiebern an den Bäumen in der Kernparzelle bestimmt. Die maximale Triebhöhe dieser Bäume wurde mit Hilfe einer Höhenmesslatte erfasst. Die Bonitur erfolgte nur auf Plots, mit einer Anwuchsrate von mindestens 75 % in der Kernparzelle und 75 % im Randbereich. Darüber hinaus wurde auf allen Parzellen die Überlebensrate aufgenommen, also auch auf den Parzellen, die nicht bonitiert wurden.

Die aufstockende Biomasse von Kurzumtriebsplantagen lässt sich mithilfe der Regressionsmethode weitgehend

zerstörungsfrei ermitteln (z. B. Verwijst und Telenius, 1999; Röhle, 2009 und 2013). Dabei werden Dimensionsvariablen der aufstockenden Bäume, wie beispielsweise der Triebdurchmesser, in Beziehung zu ihrem Gewicht gesetzt. Auf Basis dieser allometrischen Beziehungen werden klonspezifische Biomassefunktionen entwickelt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese zusätzlich auch abhängig von der Bestandeshöhe und -dichte sein können, was Röhle (2013) für die Pappel zeigen konnte.

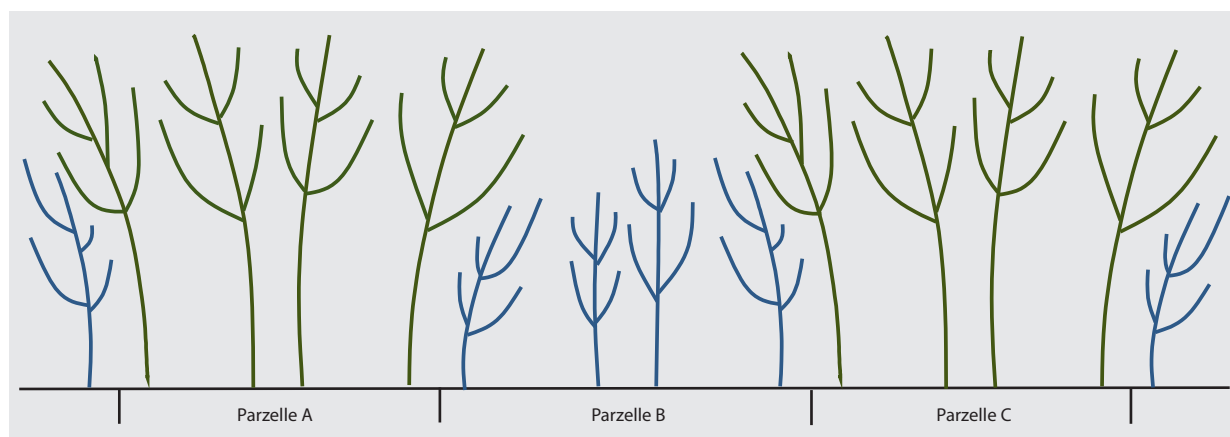
Zur Herleitung dieser Funktionen erfolgte in BIODEM jeweils am Ende einer Umtriebszeit klonbezogen eine selektive Entnahme von einzelnen Trieben, welche das gesamte vorkommende Durchmesserspektrum repräsentierten.

Je nach Prüfglied und Rotation wurden zwischen 16 und 130 Triebe beprobt, mit Ausnahme der Robinie (Herkunft Müncheberg). Die unterschiedliche Anzahl ist darauf zurückzuführen, dass einzelne Prüfglieder (z. B. Weide S 178) nur auf wenigen Versuchsflächen angepflanzt worden sind, während andere Prüfglieder (z. B. Pappel Max 1), auf allen Versuchsflächen angepflanzt wurden.

Diese Triebe wurden frisch gewogen und vermessen. Es wurde der Durchmesser in 100 cm Höhe über dem Erdboden erfasst und die Grundfläche berechnet.

Anschließend wurde das Trockengewicht (atro-Gewichte) durch Trocknung von Teilproben bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz und anschließender Wägung berechnet. Die Herleitung der Erträge der einzelnen Prüfglieder erfolgte über die Durchmesser-Vollaufnahmen jedes bonitierten Plots unter Verwendung der Biomassefunktionen. Die errechneten Baumgewichte konnten anschließend unter Berücksichtigung der Größe der Kernparzelle als Flächenbezug auf Hektarwerte hochgerechnet werden. Anhand dieser Trockenmassewerte kann der durchschnittliche Gesamtzuwachs ( $dGZ$  in  $t_{atro} \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$ ) für die Rotationsperiode berechnet werden.

Bei der Bonitur am Ende der zweiten Umtriebszeit wurde eine Wuchsraumkorrektur durchgeführt. Aufgrund der unterschiedlichen Wuchsdynamik der einzelnen Baumarten und Sorten konnten, trotz der Beschränkung der Datenaufnahme auf die Kernparzelle, Randeffekte in dem kleinparzellierten Versuchsaufbau nicht vollkommen ausgeschlossen werden. Bei starkem Konkurrenzdruck mit zunehmendem Bestandesschluss, ist der Wuchsraum nicht immer identisch mit dem vorgegebenen Standraum der Bäume auf den Parzellen. So konnte insbesondere bei benachbarten Parzellen mit deutlich unterschiedlichem Wuchs der Prüfglieder eine Verschiebung des Wuchsraumes durch Konkurrenzverhältnisse beobachtet werden (vgl. Abbildung 2). Die mittlere Abweichung des Wuchsraumes vom vorgegebenen Standraum konnte jeweils vor der Ernte durch eine Ablotung der Kronenspitze der Randbäume an allen vier Seiten der Plots ermittelt werden. Daraus wurde der zur Verfügung stehende Wuchsraum für jeden Baum auf dem Plot abgeleitet. Je nach Wuchs der aufstockenden Bäume erfolgte anschließend ein Flächenzu- oder -abschlag zur Kernparzellenfläche bei der Hochrechnung der Biomasserträge.



**Abbildung 2**

Schematische Darstellung der Wuchsräumverschiebung durch die unterschiedliche Wuchsdynamik der Prüfglieder. In den Plots A und C ist der Wuchsraum größer als der Standraum, also die Parzellenfläche. Bei Parzelle B ist der Wuchsraum entsprechend kleiner als die Parzellenfläche.

## 2.6 Statistische Auswertung

Die Auswertung und grafische Darstellung der erhobenen Ertragsdaten erfolgte mit Hilfe von Microsoft Excel 2010 und IBM SPSS Statistics 19. Dabei erfolgte zunächst eine Berechnung der mittleren Erträge ( $dGZ$  in  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) eines jeden Prüfgliedes auf den einzelnen Versuchsflächen. Um die Wuchsleistungen der Klone miteinander vergleichen zu können, wurden daraufhin für jede Versuchsfläche paarweise Vergleiche der  $dGZ$ -Mittelwerte der einzelnen Prüfglieder durchgeführt. Es wurde die Hypothese geprüft, ob im Pärchenvergleich ein Prüfglied einen signifikant größeren durchschnittlichen Gesamtzuwachs aufweist. Dabei wurden alle auf der jeweiligen Versuchsfläche angebaute Klone miteinander verglichen. Im Idealfall, wenn beide Prüfglieder des jeweiligen Paarvergleiches auf allen acht Versuchsflächen angepflanzt waren, resultierte daraus eine Zahlenreihe mit acht Wertepaaren. Da einige Prüfglieder aber nicht auf allen Flächen angepflanzt wurden (z. B. Weidenklone S 178, S 182, S 183, S 184) oder aufgrund zu hoher Ausfälle in allen Plots eines Prüfgliedes von einzelnen Versuchsflächen keine Daten vorlagen (z. B. Robinie, Pappelklon Weser 6), standen nicht immer acht Wertepaare zur Verfügung. Um für eine statistische Überprüfung der Daten eine vertretbare Mindeststichprobenanzahl verfügbar zu halten, wurden nur Prüfglieder in die Auswertung einbezogen, von denen mindestens sechs  $dGZ$ -Vergleiche vorlagen. Dieser paarweise Auswertungsansatz eliminiert den Einfluss des Standortes bei dem Vergleich der Ertragsleistungen der Klone. Eine Überprüfung der Ertragsunterschiede von Klonen mit Hilfe eines Mittelwerts- oder Varianzvergleichs über alle Standorte hinweg kann aufgrund des dominierenden Einflusses des Standortes auf die Ertragsleistung nicht zielführend sein. Daher erfolgte im vorliegenden Fall eine Überprüfung von Ertragsunterschieden zwischen zwei Klonen mit einem Test auf Binomialverteilung, mit dessen Hilfe beobachtete Häufigkeiten von beiden Kategorien einer dichotomen Variablen mit den Häufigkeiten verglichen werden, die unter einer Binomialverteilung mit einem angegebenen Wahrscheinlichkeitsparameter

zu erwarten sind. Zu diesem Zweck wurden die errechneten Ertragsunterschiede zwischen den Prüfgliedern zunächst in dichotome Variablen überführt (hier: 1 = Prüfglied 1 hat höheren Ertrag, als Prüfglied 2; 0 = Prüfglied 1 hat niedrigeren Ertrag, als Prüfglied 2). Mit Hilfe eines Binomialtests wurde für jeden Klon untersucht, ob die beobachteten Zuwächse sich systematisch von einer Binomialverteilung mit  $p = 0,5 = 50 \%$  unterscheiden, d. h. ob der betrachtete Klon systematisch besser ist, als der Vergleichspartner. Als Signifikanzniveau wurde  $10 \%$  ( $\alpha = 0,1$ ) gewählt, um den heterogenen Versuchsbedingungen (Standort, Unkrautbekämpfung, Witterungssituation in den jeweiligen Etablierungsjahren) gerecht zu werden.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Überlebensraten der Prüfglieder

Eine hohe Überlebensrate ist die Voraussetzung für gute Erträge. In Abhängigkeit vom Pflanzenwachstum und der Ausgangspflanzenzahl können Ausfälle bis zu einem gewissen Anteil auch durch benachbarte Bäume kompensiert werden. Wichtig ist jedoch eine gleichmäßige Verteilung der Bäume um den Wuchsraum optimal ausnutzen zu können. In der Etablierungsphase nach der Pflanzung verfügen die schnellwachsenden Gehölze über eine geringe Konkurrenz- und Begleitwuchsregulierung sollte deshalb eine hohe Priorität eingeräumt werden.

In Tabelle 5 sind die mittleren Überlebensraten der einzelnen Baumarten am Ende der ersten Umtriebszeit unter den Anwuchs- und Pflegebedingungen von BIODERM dargestellt.

Mäßige Überlebensraten von weniger als  $70 \%$  wurden auf den Versuchsflächen Lindhorst, Cahnisdorf, Groß Radden und Drieschnitz erreicht und zwar insbesondere bei den Baumarten Grau-Erle und Robinie. Auf diesen Flächen beschränkten sich die Ausfälle auf abgegrenzte Flächenbereiche, die in der Folge nicht für die Ertragsberechnung verwendet

Tabelle 5

Überlebensraten (% vitale dreijährige Pflanzen) am Ende der 1. Rotation auf den Versuchsflächen

Prüfglied	Cahnsdorf	Drieschnitz	Groß Radden 2	Kummerow 1	Kummerow 2	Kummerow 3	Lindhorst	Zeischa	Mittelwert [%]
<i>A. negundo</i>	98,0	87,5	90,0	-	99,0	84,0	52,9	98,0	87,1
<i>A. incana</i>	75,3	23,5	37,0	-	94,0	9,0	48,6	86,0	53,3
<i>R. pseudoacacia</i> (Deutschland)	50,3	77,5	90,5	-	80,5	90,5	44,3	87,0	74,4
<i>R. pseudoacacia</i> (Ungarn)	67,8	49,5	65,5	-	90,0	92,5	56,4	77,0	71,2
1013	81,3	72,0	79,0	99,4	91,5	84,0	97,1	98,5	87,8
1023	79,5	63,5	84,5	98,8	98,0	93,0	94,3	96,0	88,4
1033	89,3	80,0	85,5	98,8	94,2	94,0	91,4	98,0	91,4
1047	84,0	66,0	83,0	100,0	98,0	94,5	86,4	92,5	88,1
1053	94,5	83,0	82,0	100,0	98,0	96,5	74,3	96,5	90,6
1054	89,8	67,5	92,5	99,4	83,5	95,5	80,7	99,5	88,5
1056	87,8	70,0	82,5	100,0	98,0	93,5	58,6	93,0	85,4
1156	90,5	73,5	92,5	99,4	90,5	97,5	82,9	100,0	90,8
Inger	78,5	65,5	91,0	100,0	93,0	92,5	71,4	96,0	86,0
S 178	79,3	-	-	-	98,5	-	-	-	88,9
S 182	78,5	-	-	-	97,5	93,5	-	-	89,8
S 183	93,8	-	-	-	95,0	-	-	-	94,4
S 184	79,5	-	-	-	85,5	-	-	-	82,5
Sprint	90,3	78,5	90,0	99,4	89,5	98,0	90,0	99,5	91,9
Start	88,3	79,5	64,5	100,0	98,0	96,5	87,1	96,5	88,8
Sven	78,8	80,0	89,0	100,0	96,9	97,5		94,0	90,9
Tora	79,0	73,5	98,5	99,4	93,5	96,0	80,6	95,5	89,5
Tordis	88,0	66,0	80,5	100,0	97,5	99,5	78,6	98,5	88,6
Turbo	76,5	71,0	78,0	100,0	99,0	98,0	70,0	93,5	85,8
Mittelwert Weide [%]	84,6	72,6	84,9	99,6	94,5	95,0	81,7	96,5	88,8
AF 2	70,3	53,5	75,5	91,9	90,0	55,5	67,1	89,0	74,1
Androscoggin	46,3	41,0	67,0	96,3	73,5	77,0	63,6	76,0	67,6
Hybride 275	76,0	72,0	71,0	99,4	96,0	80,0	69,3	94,5	82,3
Max 1	54,3	94,5	84,0	98,8	89,0	96,5	87,1	87,5	86,5
Max 3	60,5	86,5	87,5	100,0	81,5	90,0	80,7	94,5	85,2
Max 4	62,8	89,0	79,0	100,0	91,5	97,0	81,4	92,5	86,6
Monviso	73,5	52,0	78,0	90,6	83,5	83,5	57,1	95,0	76,7
Muhle-Larsen	53,5	55,5	61,5	96,9	67,5	59,0	67,1	73,0	66,8
Weser 6	32,3	37,5	42,5	69,4	50,0	54,0	77,9	81,0	55,6
Mittelwert Pappel [%]	58,8	64,6	71,8	93,7	80,3	76,9	72,4	87,0	75,7

wurden. Relativ hohe Überlebensraten wurden dagegen auf den Flächen Kummerow 1, 2 und 3 (mit Ausnahme der Grau-Erle) sowie in Zeischa erreicht. Im Versuch Kummerow 2 hat eine intensivere Pflege stattgefunden und im Versuch Kummerow 1 wurden tiefgesetzte Ruten bei der Pflanzung verwendet. Höchste Überlebensraten wurden im Mittel über alle Flächen mit der Weide (89 %) und mit dem Eschenblättrigen Ahorn (87 %) erreicht. Auffällig ist die niedrige

Überlebensrate von im Mittel 53 % bei der Grau-Erle. Dies geht vor allem auf die drei Versuchsflächen Drieschnitz, Groß Radden 2 und Kummerow 3 zurück. Da alle drei Flächen im Jahr 2008 gepflanzt wurden, ist zu vermuten, dass das Pflanzmaterial in diesem Jahr nicht optimal war.

Die mittleren Überlebensraten der Weidenklone lagen am Ende der 1. Rotation auf allen untersuchten Flächen auf einem hohen Niveau (> 80 %) mit relativ geringen

Unterschieden zwischen den einzelnen Prüfgliedern. Lediglich am Standort Drieschnitz konnten nur 72,6 % der Weiden überleben. Hervorzuheben sind die Klone 1033, 1156, S 183 und Sprint mit über 90 % vitaler Pflanzen im Mittel über alle Versuchsflächen.

Bei den Pappeln hatten nur die vier Klone Max 1, Max 3, Max 4 und Hybride 275 Überlebensraten über 80 % im Mittel erreicht. Die italienischen Schwarzpappelhybriden Monviso und AF 2 lagen im Mittel zwischen 70 und 80 %. Die Balsampappeln Androscoggin, Muhle-Larsen und Weser 6 blieben mit der Überlebensrate im Versuchsflächenmittel unter 70 %, wobei Weser 6 mit 53 % am schlechtesten abschnitt.

### 3.2 Biomassefunktionen

Zur Herleitung der Erträge der einzelnen Prüfglieder am Ende der 1. und 2. Rotation wurden allometrische Biomassefunktionen erstellt. In Tabelle 6 sind die einzelnen Funktionen für die 2. Rotation mit ihren statistischen Kennwerten dargestellt.

### 3.3 Ertragsspannen der Prüfglieder

Alle Weidenklone wiesen am Ende der 1. Rotation durchschnittliche Gesamtzuwächse von unter  $5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  auf. Am Ende der 2. Rotation reichten die Erträge von  $0,4 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Turbo, Versuchsfläche Drieschnitz) bis zu  $23,1 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Tordis, Fläche Groß Radden 2; vgl. Tabelle 7).

**Tabelle 6**

Allometrische Biomassefunktionen und das zugehörige Bestimmtheitsmaß zur Herleitung der Erträge am Ende der 2. Rotation

Baumart	Prüfglied	Funktion	N (x)	R <sup>2</sup>
<i>A. negundo</i>	A. negundo	$y = 99,723x^{1,1979}$	85	0,9586
<i>A. incana</i>	A. incana	$y = 156,18x^{0,9459}$	35	0,988
<i>R. pseudoacacia</i>	Herkunft Müncheberg	$y = 87,45x^{1,2481}$	5	0,9862
	Herkunft Ungarn	$y = 152,82x^{1,0827}$	15	0,9815
<i>Salix spec.</i>	1013	$y = 111,05x^{1,2582}$	77	0,9623
	1023	$y = 105,47x^{1,2816}$	79	0,9845
	1033	$y = 101,56x^{1,321}$	78	0,9683
	1047	$y = 95,708x^{1,2906}$	64	0,963
	1053	$y = 104,56x^{1,3024}$	100	0,9658
	1054	$y = 106,35x^{1,3368}$	84	0,9791
	1056	$y = 104,26x^{1,2484}$	74	0,9756
	1156	$y = 105,13x^{1,3034}$	79	0,9728
	Inger	$y = 92,486x^{1,2463}$	75	0,9784
	S 178	$y = 119,09x^{1,2059}$	48	0,9465
	S 182	$y = 121,92x^{1,1563}$	40	0,9658
	S 183	$y = 91,565x^{1,3924}$	67	0,9571
	S 184	$y = 113,34x^{1,2262}$	44	0,9864
	Sprint	$y = 105,69x^{1,2888}$	84	0,9715
	Start	$y = 105,65x^{1,2859}$	79	0,9762
	Sven	$y = 95,146x^{1,2911}$	79	0,984
	Tora	$y = 90,979x^{1,2613}$	63	0,9869
	Tordis	$y = 91,205x^{1,2972}$	79	0,9827
	Turbo	$y = 110,45x^{1,2785}$	65	0,9862
<i>Populus spec.</i>	AF 2	$y = 80,962x^{1,1683}$	58	0,9766
	Androscoggin	$y = 101,86x^{1,1886}$	30	0,9911
	Hybride 275	$y = 105,59x^{1,1382}$	74	0,9863
	Max 1	$y = 95,516x^{1,1752}$	55	0,9927
	Max 3	$y = 97,115x^{1,1838}$	48	0,9865
	Max 4	$y = 96,624x^{1,1662}$	60	0,9856
	Monviso	$y = 78,335x^{1,2381}$	32	0,9714
	Muhle-Larsen	$y = 112,69x^{1,1001}$	30	0,9679
	Weser 6	$y = 116,47x^{1,1594}$	35	0,9926

x = Triebgrundfläche (cm<sup>2</sup>) in 1 m Höhe; y = Triebgewicht

Tabelle 7

Durchschnittliche Erträge ( $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) der Weidenklone der 2. Rotation

Klon	Cahnsdorf	Drieschnitz	Groß Radden 2	Kummerow 1	Kummerow 2	Kummerow 3	Lindhorst	Zeischa	Mittelwert
1013	12,1	7,3	10,0	1,9	8,2	6,3	11,6	4,7	7,8
1023	9,6	4,2	9,6	2,6	10,1	5,4	11,4	3,9	7,1
1033	6,4	2,2	9,1	2,2	5,8	4,8	12,4	1,0	5,5
1047	10,0	n.v.	8,7	1,5	10,1	4,4	7,6	3,2	6,5
1053	10,4	2,5	11,0	2,5	11,2	4,9	8,9	1,6	6,6
1054	10,3	3,8	8,9	2,5	10,7	5,1	11,5	3,8	7,1
1056	9,3	2,1	7,9	3,0	9,5	3,8	6,1	4,7	5,8
1156	10,1	4,4	13,5	2,6	9,4	4,4	10,0	4,1	7,3
Inger	11,1	2,9	14,8	2,3	8,8	4,0	12,0	4,6	7,6
Sven	12,1	7,3	18,1	2,5	13,1	4,4	-	5,2	9,0
Tora	13,4	5,6	13,2	3,8	13,0	8,9	12,4	8,9	9,9
Tordis	9,6	3,8	23,1	3,4	10,8	5,6	15,8	5,5	9,7
Sprint	10,4	4,7	12,9	4,3	9,9	4,6	9,0	4,8	7,6
Start	8,8	2,1	12,7	2,3	8,8	5,3	10,4	3,6	6,8
Turbo	7,3	0,4	7,5	1,8	6,4	3,1	9,8	4,9	5,1
S 178	7,9	-	-	-	8,2	5,7	-	-	7,3
S 182	9,8	-	-	-	9,7	-	-	-	9,7
S 183	6,5	-	-	-	5,1	-	-	-	5,8
S 184	9,4	-	-	-	8,3	-	-	-	8,9

Über alle Versuchsflächen hinweg betrachtet, wiesen Tora und Tordis mit 9,9 bzw. 9,7  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bei den Weiden die höchsten mittleren Erträge auf. Die restlichen Klone konnten im zweiten Umtrieb durchschnittliche Erträge zwischen 5,1 und 9,0  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  erzielen, was etwa eine Verdoppelung gegenüber dem ersten Umtrieb darstellt. Die geringsten Erträge wurden für Turbo (5,1  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), 1033 (5,5  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) und 1056 (5,8  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) gefunden.

Auch bei den Pappelklonen lagen die mittleren Erträge aller Prüfglieder am Ende der 1. Rotation deutlich unter 5  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Die höchsten mittleren Erträge von 3 bis 4  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  konnten dabei für die italienischen Schwarzpappelhybriden AF 2 und Monviso nachgewiesen werden.

Im zweiten Umtrieb fand bei fast allen Sorten eine deutliche Ertragssteigerung statt. Wie auch bei den Weiden wiesen die Erträge der Pappelklone auf den verschiedenen Versuchsflächen aufgrund der Standortsunterschiede eine breite Streuung auf. In Tabelle 8 sind dazu die Mittelwerte der einzelnen Versuchsflächen dargestellt. Die durchschnittlichen Gesamtschwämme reichten von 1,7  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Monviso und Muhle-Larsen, Versuch Kummerow 1) bis zu 21,7  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Hybride 275, Versuch Lindhorst).

Für Hybride 275 (11,1  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), Max 3 (9,3  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), Max 4 (9,2  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) und AF 2 (9,2  $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) konnten am Ende der 2. Rotation im Mittel über alle Versuchsflächen die höchsten Erträge nachgewiesen werden. Der Klon Monviso, der am

Tabelle 8

Durchschnittliche Erträge ( $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) der Pappelklone der 2. Rotation

Klon	Cahnsdorf	Drieschnitz	Groß Radden 2	Kummerow 1	Kummerow 2	Kummerow 3	Lindhorst	Zeischa	Mittelwert
AF 2	13,3	12,1	-	5,1	7,4	-	13,6	4,0	9,2
Monviso	13,8	-	7,5	1,7	5,2	3,4	-	3,0	5,8
Max 1	-	8,9	6,2	2,3	9,4	6,9	18,3	7,7	8,5
Max 3	11,0	9,4	12,2	2,7	9,6	5,2	17,1	7,1	9,3
Max 4	10,6	10,3	9,4	2,7	11,4	7,1	16,6	5,6	9,2
Hybride 275	17,8	11,8	-	3,4	9,1	6,0	21,7	7,6	11,1
Androscoggin	-	-	14,5	2,8	6,6	8,3	13,8	2,1	8,0
M.-Larsen	8,9	-	-	1,7	6,9	2,3	12,1	2,8	5,8
Weser 6	-	-	-	3,1	-	5,9	13,6	10,9	8,4



**Tabelle 9**Durchschnittliche Erträge ( $t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) der sonstigen Baumarten nach der 2. Rotation

Art, Herkunft	Cahnsdorf	Drieschnitz	Groß Radden 2	Kummerow 1	Kummerow 2	Kummerow 3	Lindhorst	Zeischa	Mittelwert
<i>A. negundo</i>	4,6	0,7	5,1	5,1	6,6	1,0	0,7	1,8	3,2
<i>A. incana</i>	6,0	-	-	-	4,3	n.v.	8,8	3,4	5,6
<i>R. pseudoacacia</i> (Deutschland)	-	7,7	4,9	-	4,3	3,2	-	4,4	4,9
<i>R. pseudoacacia</i> (Ungarn)	-	-	-	-	5,6	2,7	-	7,0	5,1

Ende der 1. Rotation zu den wüchsigsten Klonen gehörte, wies zum Ende der 2. Rotation dagegen nur einen vergleichsweise geringen Ertragsanstieg auf durchschnittlich  $5,8 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  auf. In dieser Größenordnung lagen auch die Werte für Muhle-Larsen, womit diese beiden Klone die geringsten Erträge bei den Pappeln aufwiesen.

Bei den sonstigen Baumarten außer Pappel und Weide lagen die durchschnittlichen Erträge der beiden Robinienherkünfte und der Grau-Erle nach der 1. Rotation zwischen 2 und  $3 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und am Ende der 2. Rotation bei 4,9 bzw.  $5,1 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  für die Robinienherkünfte 'Müncheberg' und 'Ungarn' und  $5,6 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  für die Grau-Erle. Tabelle 9 zeigt die Spannweite der mittleren Erträge auf den einzelnen Versuchsflächen. Der Eschenblättrige Ahorn erzielte mit durchschnittlich  $1 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  am Ende des ersten Umtriebs und  $3,2 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  nach dem zweiten Umtrieb relativ niedrige Erträge.

### 3.4 Ertragsentwicklung auf den einzelnen Versuchsflächen

#### Cahnsdorf

Der Standort der Versuchsfläche Cahnsdorf weist schluffige, lehmige Sande auf und bietet somit günstige Bodenvoraussetzungen für den Agrarholzanbau. Das Grundwasser ist allerdings nicht erreichbar für die Baumwurzeln. Das Ertragsniveau lag bei der ersten Ernte im Mittel bei 1 bis  $3 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  für alle Prüfglieder. Die zweite Ernte brachte besonders bei der Pappel einen deutlichen Ertragsanstieg auf mittlere Erträge von  $15 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ; beste Erträge lieferte hier die Sorte Hybride 275 mit  $18 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (vgl. Tabelle 8). Bei der Weide lagen die Erträge der zweiten Ernte im Mittel bei  $10 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , höchste Erträge erzielte die Weidensorte Tora mit  $13 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (vgl. Tabelle 7). Bei der Grau-Erle waren die mittleren Erträge nach der zweiten Ernte auf  $6 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und beim Eschenblättrigen Ahorn auf  $5 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  gestiegen (vgl. Tabelle 9). Die Robinie wurde wegen erhöhter Ausfälle in der 2. Rotation nicht mehr für die Ertragsberechnung berücksichtigt.

#### Drieschnitz

Die Versuchsfläche Drieschnitz ist charakterisiert durch sandige Böden mit mittleren Humusgehalten (nach Ad-hoc AG Boden, 2005) und Grundwasser in 1 bis 2 m Tiefe unter Flur.

Auf einigen Teilbereichen der Fläche wurde keine ausreichende Anwuchsrate erzielt, sodass die entsprechenden Parzellen nicht in die Ertragsberechnung einbezogen wurden. Auf den vollständigen Parzellen blieben die mittleren Erträge der ersten Ernte nach drei Vegetationsperioden bei Weide und dem Eschenblättrigen Ahorn unter  $1 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , bei der Pappel und der Robinie konnten mittlere Erträge von 2 bis  $3 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  erreicht werden. Mit der zweiten Ernte wurde ein starker Ertragsanstieg bei der Pappel auf  $10 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und der Robinie auf  $8 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im Mittel erreicht. Die Weide blieb mit  $4 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  in der 2. Rotation unter den Erwartungen und auch der Eschenblättrige Ahorn blieb unter  $1 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Höchste Erträge wurden bei der Pappel durch die Sorten AF 2 und Hybride 275 mit  $12 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und bei der Weide mit den Sorten 1013 und Sven mit  $7 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  erreicht (vgl. Tabelle 7, 8 und 9).

#### Groß Radden

Die Versuchsfläche Groß Radden befand sich auf einem anmoorigen Standort mit relativ hohen Humusgehalten und hohem Grundwasserstand von 0,5 bis 1 m unter Flur. Entsprechend gut sind die Wuchsbedingungen für schnellwachsende Baumarten. Bei der ersten Ernte nach drei Vegetationsperioden konnten hier bei Pappel und Weide mittlere Erträge von  $5 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und bei Robinie und Eschenblättrigem Ahorn von  $3 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  erreicht werden. Deutliche Ertragszuwächse sind mit der zweiten Ernte vor allem bei der Weide mit im Mittel  $12 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  erreicht worden, bester Klon war Tordis mit  $23 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (vgl. Tabelle 7). Bei der Pappel waren die mittleren Erträge mit  $9 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (beste Sorten Androscoggin und Max 3 mit  $14 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bzw.  $12 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) nicht ganz so hoch, vor allem sind in der 2. Rotation auch höhere Ausfälle zu verzeichnen. Die Ursache hierfür lag wahrscheinlich in der starken Konkurrenz durch eine massive Begleitvegetation auf der Fläche. Die Robinie und der Eschenblättrige Ahorn konnten den mittleren Ertrag bei der zweiten Ernte auf  $5 t_{atro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  steigern (vgl. Tabelle 9).

#### Kummerow 1

Die Versuchsfläche Kummerow 1 befand sich in der Welse-Niederung und war durch arme Sande und relativ hoch anstehendes Grundwasser (1,5 bis 1,8 m unter Flur) gekennzeichnet. Auf dieser Versuchsfläche wurden Pappeln und Weiden abweichend von der Methodik bei den übrigen

Standorten als Ruten gepflanzt, um einen guten Anwuchserfolg zu erreichen, da der sandige Boden nur über eine geringe Wasserspeicherkapazität verfügt. Dabei wurden mit Hilfe eines Erdbohrers 80 cm lange, einjährige Pflanzruten 60 cm tief gepflanzt. Auf dieser Fläche konnten nur relativ geringe Erträge realisiert werden (vgl. Tabelle 7 und 8). Die Unterschiede zwischen den Weiden und Pappelsorten sind nur marginal. So wurden in der 1. Rotation mittlere Erträge von 1 bis  $2 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und in der 2. Rotation mittlere Erträge von 2 bis  $3 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  erreicht. Höchste Erträge wurden auf dieser Fläche bei den Pappeln durch die Sorte AF 2 mit  $5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und bei der Weide durch die Sorte Sprint mit  $4 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  erreicht. Obwohl bereits vor der ersten Ernte einzelne Bäume ein deutlich besseres Wachstum zeigten und gefolgert werden konnte, dass diese bereits das Grundwasser erreicht haben und somit in ihrem Wachstum nicht mehr durch die geringe Wasserspeicherkapazität des Bodens limitiert sind, blieb dieser Effekt auch in der 2. Rotation auf einzelne Bäume beschränkt und schlug sich nicht in den Flächenerträgen nieder. Durch das Auftreten von Trockenheitsschäden während anhaltender Dürrephasen muss davon ausgegangen werden, dass der Großteil der Bäume auch mit 6-jährigem Wurzelsystem noch keinen Zugang zum Grundwasser erreicht hatte.

### Kummerow 2

Kummerow 2 bietet im Vergleich zu Kummerow 1 durch erhöhte Humusgehalte ( $\text{h}_3$  – mittel humos), höhere Schluffgehalte und erreichbares Grundwasser in ca. 1,5 m Tiefe gute Voraussetzungen für den Anbau von schnellwachsenden Gehölzen im Kurzumtrieb. Durch die intensive mechanische Pflege während der Etablierungsphase sind mit der ersten Ernte bei Pappel und Weide mittlere Erträge von  $5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , mit der zweiten Ernte von  $9 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  erzielt worden. Bei der zweiten Ernte waren die besten Pappelsorten Max 1, Max 3, Max 4 und Hybride 275 mit 9 bis  $11 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , die ertragsstärksten Weidensorten Sven und Tora mit  $13 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (vgl. Tabelle 7 und 8). Robinie, Grau-Erle und Eschenblättriger Ahorn blieben mit mittleren Erträgen von 2 bis  $3 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bei der ersten Ernte und 4 bis  $7 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bei der zweiten Ernte deutlich unter den Erträgen von Weide und Pappel, wobei beim Eschenblättrigen Ahorn eine deutliche Ertragssteigerung von 2 auf  $7 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  beobachtet werden konnte (vgl. Tabelle 9).

### Kummerow 3

Kummerow 3 lag zwischen den beiden Versuchsflächen Kummerow 1 und Kummerow 2. Der Standort kann als Übergangsbereich zwischen diesen beiden Flächen angesehen werden. Dieser Übergang ließ sich am Wachstum der Gehölze nachvollziehen. So war das Wachstum in der südlichen Hälfte des Versuches, die an Kummerow 2 angrenzt, deutlich besser als in der nördlichen Hälfte. Die Bekämpfung der Konkurrenzvegetation im Etablierungsjahr erfolgte rein mechanisch. Sie war allerdings nicht ausreichend intensiv, sodass ein konstanter Bewuchs mit Bodenvegetation vorhanden war. Die Erträge auf dieser Fläche lagen bei Pappel, Weide und Robinie bei der ersten Ernte im Mittel bei 1 bis

$2 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , beim Eschenblättrigen Ahorn unter  $1 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Mit der zweiten Ernte wurden bei der Pappel mittlere Erträge von  $6 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , bei der Weide  $5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , bei der Robinie  $3 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und beim Eschenblättrigen Ahorn  $1 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  erzielt (vgl. Tabelle 7, 8 und 9). Auf dieser Fläche konnten höchste Erträge bei der Pappel durch die Sorte Androcoggin ( $8 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) und bei der Weide durch die Sorte Tora ( $9 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) erreicht werden.

### Lindhorst

Lindhorst weist aufgrund hoher Anteile an Lehm und stark lehmigen Sand für Brandenburger Verhältnisse vergleichsweise hohe Ackerzahlen auf. Dies spiegelte sich allerdings nicht in den relativ niedrigen Erträgen der ersten Ernte ( $1$  bis  $2 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im Mittel bei Pappel, Weide und Grau-Erle) wider. Dies ist wohl insbesondere auf das extensive Pflegemanagement während der Etablierungsphase im Jahr 2006 zurückzuführen. Umso deutlicher fiel der Ertragsanstieg in der 2. Rotation aus. Hier konnten bei der Pappel mittlere Erträge von  $16 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  und bei der Weide von  $11 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  erreicht werden (vgl. Tabelle 7 und 8). Höchste Erträge konnten bei Pappel durch die Sorten Hybride 275 ( $22 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) und Max 1 ( $18 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) sowie bei Weide durch die Sorte Tordis ( $16 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) erzielt werden. Bei der Grau-Erle traten relativ starke Pflanzenausfälle auf. Auf einer vollständigen Parzelle konnte allerdings ein dGZ von  $9 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  berechnet werden. Die Robinie konnte aufgrund stärkerer Ausfälle in der 2. Rotation nicht mehr für die Ertragsberechnung berücksichtigt werden. Bei dem Eschenblättrigen Ahorn war in der 2. Rotation nur ein geringer Ertragsanstieg möglich. Der Ertrag dieser Art blieb somit im Mittel bei  $1 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (vgl. Tabelle 9).

### Zeischa

Der Standort bei Zeischa ist charakterisiert durch arme Sande und Grundwassernähe, in einem Teilbereich sind auch erhöhte Humusgehalte von bis zu 3,1 % und zeitweilig höher anstehendes Grundwasser bis etwa 50 cm unter Flur zu verzeichnen. Bei der ersten Ernte lagen die mittleren Erträge aller Prüfglieder bei  $1$  bis  $3 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , wobei Pappel, Robinie und Grau-Erle im Schnitt bessere Ergebnisse lieferte als Weide und Eschenblättriger Ahorn. Mit der zweiten Ernte konnten sich zwar die Erträge etwa verdoppeln bis verdreifachen, blieben aber trotzdem aufgrund der geringen Standortgüte auf einem relativ geringem Niveau von im Mittel  $4 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bei der Weide,  $6 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bei der Pappel,  $5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bei der Robinie,  $3 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bei der Grau-Erle und  $2 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  beim Eschenblättrigen Ahorn (vgl. Tabelle 7, 8 und 9). Beste Pappel- und Weidenklone auf diesem Standort waren Weser 6 und Tora mit  $11 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bzw.  $9 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

### 3.5 Ertragsstärkste Pappel- und Weidenklone auf den einzelnen Versuchsflächen

In den Tabellen 10 und 11 sind die jeweils vier ertragsstärksten Pappel- und Weidenklone pro Versuchsfläche aufgelistet. Zudem wurde der durchschnittliche Gesamtzuwachs dieser vier Klone auf der jeweiligen Fläche berechnet. Einer der

ertragsstärksten Pappelklone auf allen Versuchsflächen – bis auf Groß Radden, hier ausgefallen – war Hybride 275 (vgl. Tabelle 10). Bis auf den Standort Kummerow 1 können zur Gruppe der ertragsstarken Klone auch die Max-Klone gezählt werden. Die Balsampappelhybride Weser 6 hat auf einigen Versuchsflächen relativ hohe Erträge aufgewiesen, ist aber auch durch relativ hohe Pflanzenausfälle im Pflanzjahr auf allen Versuchsflächen aufgefallen. Die Schwarzpappelhybriden AF 2 und Monviso sind zwar auch als ertragsstarke Klone in der Tabelle aufgeführt, können aber aufgrund ihrer verbreitet beobachteten Anfälligkeit gegenüber dem Rindenbrandpilz (*Dothichiza populea* Sacc. et Briard) ausdrücklich nicht für einen Anbau auf Standorten in Brandenburg empfohlen werden, da hier das Anbaurisiko zu hoch ist.

Tabelle 10

Pappelklone mit überdurchschnittlichem Wachstum

Versuchsfläche	Pappelklone mit überdurchschnittlichem Wachstum	mittlerer dGZ ( $t_{stro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ )
Cahnsdorf	Hybride 275, Monviso, AF 2, Max 3	14,0
Drieschnitz	AF 2, Hybride 275, Max 4, Max 3	10,9
Groß Radden 2	Androscoggin, Max 3, Max 4, Monviso	10,9
Kummerow 1	AF 2, Hybride 275, Weser 6, Androscoggin	3,6
Kummerow 2	Max 4, Max 3, Max 1, Hybride 275	9,9
Kummerow 3	Androscoggin, Max 4, Max 1, Hybride 275	7,1
Lindhorst	Hybride 275, Max 1, Max 3, Max 4	18,4
Zeischa	Weser 6, Max 1, Hybride 275, Max 3	8,3

Bei den Weidensorten ragen insbesondere die schwedischen Züchtungen Tora, Tordis, Inger und Sven heraus. Die polnische Züchtung 1013 kann das Spektrum durchaus erweitern (vgl. Tabelle 11), da auch dieser Klon noch relativ hohe Zuwächse erzielt, es wurde jedoch auf nicht eingezäunten Flächen beobachtet, dass diese Sorte selektiv stärker vom Wild verbissen wird.

Tabelle 11

Weidenklone mit überdurchschnittlichem Wachstum

Versuchsfläche	Weiden mit überdurchschnittlichem Wachstum	mittlerer dGZ ( $t_{stro} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ )
Cahnsdorf	Tora, Sven, 1013, Inger	12,2
Drieschnitz	Sven, 1013, Tora, Sprint	6,2
Groß Radden 2	Tordis, Sven, Inger, 1156	17,4
Kummerow 1	Sprint, Tora, Tordis, 1056	3,6
Kummerow 2	Sven, Tora, 1053, Tordis	12,0
Kummerow 3	Tora, 1013, S 182, Tordis	6,6
Lindhorst	Tordis, 1033, Tora, Inger	13,2
Zeischa	Tora, Tordis, Sven, Turbo	6,1

### 3.5.1 Vergleich der Wuchsleistung aller Prüfglieder

Die zweiseitigen Signifikanzen des Tests auf Binomialverteilung schwanken von 0,01 bis 1.

Abbildung 3 zeigt den Anteil der als signifikant eingestuften Ergebnisse des Tests auf Binomialverteilung der

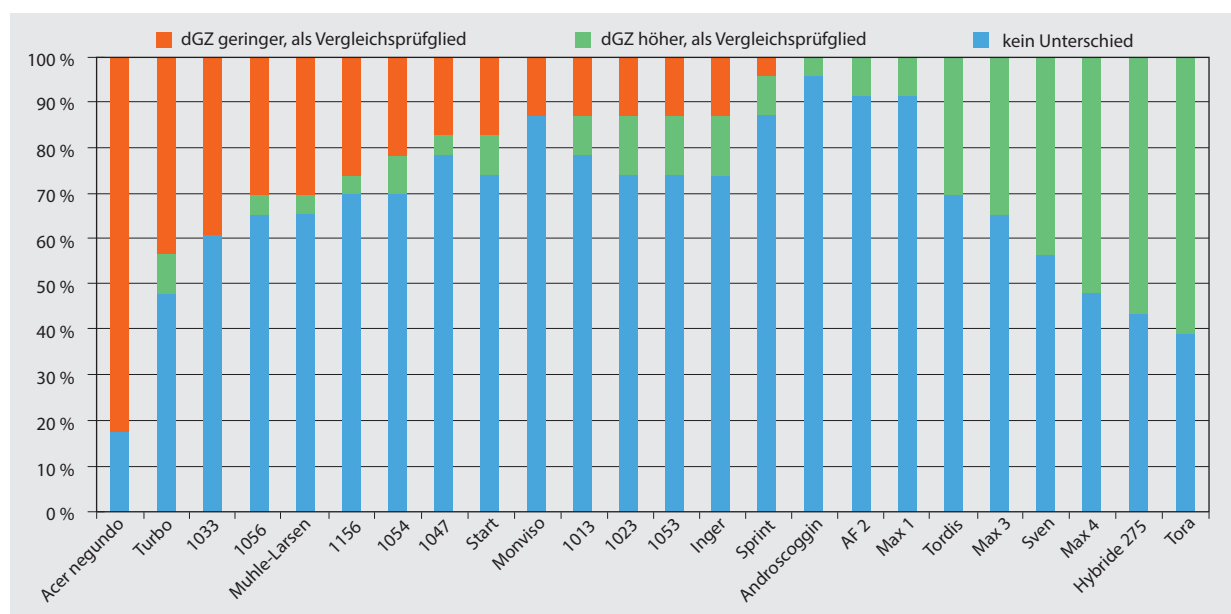


Abbildung 3

Anteile der als signifikant eingestuften Ergebnisse des Tests auf Binomialverteilung der einzelnen getesteten Prüfglieder an der Gesamtzahl der Paarvergleiche mit dem jeweiligen Prüfglied

einzelnen getesteten Prüfglieder an der Gesamtzahl der Vergleiche mit dem jeweiligen Prüfglied. 100 % der Fälle entsprechen 23 Paarvergleichen. Demnach konnten z. B. für den Pappelklon Hybride 275 in 57 % der Paarvergleiche signifikant höhere Erträge belegt werden als für die jeweiligen Vergleichspartner. Der Weidenklon Tora hatte beispielsweise in 61 % der Vergleiche signifikant höhere Erträge. *Acer negundo* war dem Vergleichs-Prüfglied dagegen in 83 % der Fälle signifikant unterlegen. Tora, Hybride 275, Max 4, Sven, Max 3 und Tordis sind demzufolge als die ertragsstärksten schnellwachsenden Baumarten unter den in BIODER erfassten Brandenburger Standortverhältnissen und angewandten pflanzenbaulichen Maßnahmen einzustufen.

## 4 Diskussion

Auffällig bei den dargestellten Versuchsergebnissen sind die hohen Ertragsunterschiede zwischen der ersten und zweiten Ernte, vor allem bei den relativ ertragsstarken Standorten wie Lindhorst oder Cahnisdorf. Durch die anfangs meist extensiv betriebene Unkrautbekämpfung (rein mechanisch, keine Herbizide) in BIODER wurde das Standortspotenzial mit den Versuchen dieser 1. Phase wahrscheinlich nicht voll ausgeschöpft und die Etablierung der Pflanzen am Standort benötigte längere Zeit. Zwar werden die Überlebensraten von BIODER in der Höhe und den Unterschieden zwischen Pappeln und Weiden auch durch die Untersuchungen von Amthauer Gallardo (2014) bestätigt, nachfolgende Sortenversuche der HNEE, die unter Praxisbedingungen ausgeführt wurden (ohne Zäunung), konnten aber zeigen, dass die Überlebensraten bei Weiden und Pappeln auch unter den ungünstigen Niederschlagsverhältnissen in Brandenburg mit zum Teil ausgeprägten Frühjahrstrockenheiten bei

gelungener Pflege deutlich über 90 % liegen. Berücksichtigt man, dass in die ertragskundlichen Auswertungen von BIODER alle Parzellen mit einer Anwuchsrates von mindestens 75 % einbezogen wurden, so kann davon ausgegangen werden, dass bei einer optimalen Bestandesbegründung und somit höheren Anwuchsrates eine bessere Flächenausnutzung (Bestandesschluss) zum Zeitpunkt der Ernte erreicht wird und somit gerade für schwächere Standorte höhere Erträge als im Projekt erzielt möglich sein sollten. Die mittleren Werte der jeweils vier besten Klone bei den Weiden und Pappeln, die in den Tabellen 10 und 11 aufgelistet sind, dürften auch vor dem Hintergrund der Ertragsoptimierung durch neue Klone aus aktuellen Züchtungsprogrammen daher eher konservative Schätzwerte für die möglichen Dendromasseerträge bei Weide und Pappel auf Brandenburger landwirtschaftlichen Standorten sein. Für Böden mit einer Ackerzahl von über 20 kann unter Brandenburger Standortverhältnissen bei Weiden mit einem Ertrag von etwa 6 bis 17  $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$  für die Sorten Tora, Tordis und Sven in Mischung und bei Pappeln mit einem Ertrag von etwa 7 bis 18  $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$  für die Sorten Hybride 275 und Max in Mischung gerechnet werden. Diese Pappel- und Weidenarten haben sich unter Brandenburger Verhältnissen für das gesamte untersuchte Standortpektrum als die ertragsstärksten Sorten erwiesen. Bei der Weide kann ggf. Inger und bei der Pappel ggf. Androscoggin das Sortenspektrum bei vergleichbaren Erträgen erweitern.

Da die Niederschläge im Land Brandenburg nur geringen regionalen Schwankungen unterliegen, liegt die Eignung des Standorts für den Agrarholzanbau hauptsächlich in den Bodenkennwerten und der Verfügbarkeit von Grundwasser begründet. Höchste Erträge von 14 bis 18  $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$  wurden bei der zweiten Ernte für die vier ertragsstärksten Sorten auf den Flächen Lindhorst und



Abbildung 4

Links: im Herbst 2015 ausgegrabener Wurzelstock von einer Pappel (Klon Max 3) von der Versuchsfläche Kummerow 1. Die Pflanzung dieser Pappel erfolgt in 2008, als Steckrute bis in 60 cm Bodentiefe. Der Baum hat tiefgehende Wurzeln mit Anschluss an das Grundwasser ausgebildet und hat sich demzufolge relativ gut entwickelt.

Rechts: Gleichaltriger Wurzelstock vom Pappelklon Hybride 275 von Kummerow 1. Dieser Baum hat keine tiefgehenden Wurzelstränge ausgebildet, hatte keinen Anschluss ans Grundwasser und hat sich demzufolge relativ schlecht entwickelt.





**Abbildung 5**

Einjähriger Austrieb von Bäumen auf der Versuchsfläche Kummerow 1. Das Wurzelsystem ist vierjährig. Der vergleichsweise kräftige Wuchs des einzelnen Baumes (Max-Klon) ist sehr wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass dieser Baum Anschluss an das relativ hoch anstehende Grundwasser gefunden hat. Die übrigen, schlecht wüchsigen Bäume sind dagegen wahrscheinlich nicht ans Grundwasser angeschlossen.

Cahnsdorf mit der Pappel erreicht. Diese Flächen verfügen nicht über Grundwasseranschluss in Wurzeltiefe der Bäume, dafür aber über bessere Böden mit Lehmantennen. Gute Erträge von durchschnittlich 10 bis 11  $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  für die vier ertragsstärksten Sorten konnten bei der zweiten Ernte auf den Flächen Kummerow 2, Groß Radden 2 und Drieschnitz erreicht werden. Diese Flächen sind gekennzeichnet durch leicht erhöhte Humusgehalte und Grundwassereinfluss. Mittlere Dendromassen um 7 bis 8  $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  im Mittel für die ertragsstärksten Pappeln wurden in der 2. Rotation auf den Flächen Zeischa und Kummerow 3 geerntet. Diese Flächen sind gekennzeichnet durch sandige Böden mit geringem bis mittlerem Humusgehalt. Das Grundwasser steht zwar schon in nur 1,5 bis 2 m Tiefe an, es konnte diese ungünstigen Standortsvoraussetzungen im Oberboden aber bisher nicht kompensieren. Diese Flächen sind mit den bisherigen Ergebnissen als grenzwertig bis ungeeignet für den Agrarholzanbau anzusehen. Evtl. lässt sich eine Steigerung der Erträge durch optimierte Anbauverfahren (z. B. Bodenverbesserung, Sortenzüchtung) oder durch eine längere Etablierung am Standort erreichen. Ein solches Anbauverfahren wurde auf der Fläche Kummerow 1 mit der Verwendung von Setzruten getestet, führte aber nicht zum Erfolg. Trotz der Etablierung mit Setzruten konnte das Grundwasser auch hier nur vereinzelt von den Pappeln erreicht werden, die ein Pfahlwurzelsystem ausgebildet hatten (vgl. Abbildung 4). Der

überwiegende Teil der Bäume hat lediglich ein weitgehend laterales Wurzelsystem angelegt, obwohl das Grundwasser in nur ca. 1,5 m Tiefe erreichbar war. Oberirdisch konnte dies durch deutliche Wuchsunterschiede zwischen den Bäumen mit bzw. ohne Anschluss an das Grundwasser wahrgenommen werden (vgl. Abbildung 5).

#### 4.1 Weidenenerträge im Vergleich

Wie im bundesweiten Vergleich, weisen die Weiden- und Pappelklone auch in BIODER eine hohe Spannweite der dGZ auf. Wenn man Behandlungseinflüsse außer Acht lässt, muss dies auf Standortunterschiede zurückgeführt werden, da es sich beim Pflanzgut um Klonmaterial handelt. Im Vergleich zu anderen Ergebnissen in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Thüringen sind die Erträge der BIODER-Versuche als mittel bis hoch einzuordnen. Ein direkter Vergleich ist aber schwierig, da Unterschiede bei den zur Untersuchung stehenden Klonen, den gewählten Pflanzverbänden und der Umtriebszeit bestehen.

In Tabelle 12 sind die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen mit Weiden in Kurzumtrieb aufgeführt. Weitere Publikationen finden sich bei Amthauer Gallardo (2014).

Die Erträge der Weiden weisen auf den verschiedenen Standorten in Deutschland eine hohe Spannweite auf. Für Standorte mit einer Ackerzahl ab etwa 30 schwanken die



**Tabelle 12**

Erträge von Weidenklonen im Kurzumtrieb in vergleichbaren Untersuchungen von Dritten

Autor	Standort	Weidenklone	Ertrag (dGZ)	Bemerkungen
Biertümpfel et al. (2009)	Dornburg (Thüringen), Löss, Ackerzahl ca. 60	722/51	3,6 t <sub>atro</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> , für die zweite Rotation	dreijährige Rotation
Biertümpfel et al. (2012)	Dornburg (Thüringen), Löss, Ackerzahl ca. 60	verschiedene	7,3 bis 8 t <sub>atro</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	13.000 Pflanzen ha <sup>-1</sup> , dreijährige Rotation
Biertümpfel und Rudel (2014)	Bad Salzung, Ackerzahl 32	Tora	16,2 t <sub>atro</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> , für die zweite Rotation	13.000 Pflanzen ha <sup>-1</sup> , dreijährige Rotation, relativ hoher Grundwasserstand
Boelcke (2006, 2007)	Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern), lehmiger Sand, Ackerzahl 36	verschiedene	4,7 bis 13,2 t <sub>atro</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> , für die zweite Rotation	13.333 Pflanzen ha <sup>-1</sup> , dreijährige Rotation
Grunert und Hirsch (2011)	Krummenhennersdorf (Sachsen), sandig-lehmiger Lössstandort, Ackerzahl 45	Sven, Tora, Tordis	18,4 und 15,1 sowie 19,2 t <sub>atro</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> , für die zweite Rotation	
Hofmann (1999)	Canstein (Hessen), sandiger Lehm	verschiedene	3,9 bis 6,8 t <sub>atro</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	8.334 Pflanzen ha <sup>-1</sup> , dreijährige Rotation
Scholz et al. (2004)	Potsdam-Bornim (Brandenburg), schwach-lehmiger Sand, Ackerzahl 28 bis 34	83/21/12	dGZ von etwa 5 bis 7,5 t <sub>atro</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> , für die zweite Rotation	12.000 Pflanzen ha <sup>-1</sup> , Gras-Untersaat zweijährige Rotation, vier Stufen von N-Düngung
Schwarze und Röhrich (2006)	Kalkreuth (Sachsen), stark sandiger Lehm, Ackerzahl 49	Zieverich	17,4 t <sub>atro</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> , für die zweite Rotation	17.778 Bäume ha <sup>-1</sup>
Stiehm et al. (2015)	BIODEM-Standort Kummerow (Brandenburg), Sand, Ackerzahl 12	Inger, Tordis	2 bzw. 3 t <sub>atro</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> , für die zweite Rotation	11.000 Pflanzen ha <sup>-1</sup>
Stiehm et al. (2015)	Potsdam-Bornim, schwach-lehmiger Sand, Ackerzahl 35	Inger, Tordis	16 bzw. 17 t <sub>atro</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> , für die zweite Rotation	11.000 Pflanzen ha <sup>-1</sup>
Stiehm et al. (2015)	Gülzow, lehmiger Sand, Ackerzahl 36	Tordis, Inger	6 bzw. 7 t <sub>atro</sub> ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> , für die zweite Rotation	11.000 Pflanzen ha <sup>-1</sup>

Erträge zwischen 6 bis 19 t<sub>atro</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ab der 2. Rotationsperiode. Sie liegen damit in der gleichen Größenordnung wie die Pappelerträge auf deutschen Standorten. Auch Amthauer Gallardo (2014) kommt bei der Auswertung der Literatur und der eigenen Versuche zu dem Ergebnis, dass die dGZ Werte der Weiden und Pappeln keinen signifikanten Unterschied zeigen.

Die höchsten Erträge werden im Allgemeinen von den schwedischen Sorten und der Sorte Zieverich erreicht (Bärwolf et al., 2012). Eine direkte Abhängigkeit von der Ackerzahl lässt sich nicht erkennen. Die Erträge der jeweils vier wüchsigsten Weidenarten in BIODER liegen mit Werten von ca. 6 bis 17 t<sub>atro</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> innerhalb der Spannbreite der Daten der Tabelle 12 für Standorte ab Ackerzahl von ca. 30. Die höchsten Erträge mit im Mittel 17,4 t<sub>atro</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> wurden in BIODER mit den Sorten Tordis, Sven, Inger, 1156 auf dem humosen und grundwassernahen Standort Groß Radde erzielt.

Bereich von etwa 6 bis 18 t<sub>atro</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> für Verbände über 10.000 Pflanzen. Bärwolf et al. (2012) empfehlen die zugelassenen Sorten Hybride 275 (Syn. NE 42), Max (Mehrklonsorte), Matrix 11, 24 und 49, Trichobel und Muhle Larsen für die Praxis. Zu den nachhaltig ertragstärksten Sorten zählen in BIODER die Max-Klone, Hybride 275, Androscoggin und Weser 6, wobei für die Praxis zu bedenken ist, dass Weser 6 noch nicht zu den zugelassenen Sorten nach Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) gehört. Die Schwarzpappelklone AF2 und Monviso, die in BIODER eingesetzt wurden, gehörten auf einigen Standorten in Brandenburg ebenfalls zu den ertragstärksten Sorten (s. Tabelle 10), können aber aufgrund ihrer beobachteten Anfälligkeit gegenüber dem Rindenbrandpilz (*Dothichiza populea* Sacc. et Briard) ausdrücklich nicht für einen Anbau auf Standorten in Brandenburg empfohlen werden. Die höchsten Erträge mit im Mittel 18,4 t<sub>atro</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> wurden in BIODER mit den Sorten Hybride 275, Max 1, Max 3, Max 4 auf dem lehmigen aber grundwasserfernen Standort Lindhorst erzielt.

## 4.2 Pappelerträge im Vergleich

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen mit Pappeln im Kurzumtrieb aufgeführt. Weitere Publikationen finden sich bei Amthauer Gallardo (2014).

Wie bei den Weiden liegen auch die dGZ für die Pappeln auf Standorten in der Bundesrepublik überwiegend in einem

## 4.3 Sonstige Baumarten

Grünwald (2005) konnte an Robinien, die auf einem Kippenstandort im Tagebau Jänschwalde bei Cottbus in einer dreijährigen Rotation bewirtschaftet wurden, zum Ende der 2. Rotation einen dGZ von etwa 6 t<sub>atro</sub> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> nachweisen.

**Tabelle 13**

Erträge von Pappelklonen im Kurzumtrieb in vergleichbaren Untersuchungen von Dritten

Autor	Standort	Pappelklone	Ertrag (dGZ)	Bemerkungen
Biertümpfel et al. (2012)	Dornburg (Thüringen), Löss, Ackerzahl ca. 60	verschiedene	6,3 bis 16 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$	11.111 Pflanzen $ha^{-1}$ dreijährige Rotation
Boelcke (2006, 2007)	Gülzow (Mecklenburg-Vor- pommern), lehmiger Sand, Ackerzahl 36	Max-Klone, Hybride 275	15 bis 18 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ bzw. 25 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ für die zweite Rotation	13.333 Pflanzen $ha^{-1}$ , dreijährige Rotation
Stiehm et al. (2015)	Kummerow (Brandenburg), Sand, Ackerzahl 12	AF 2, Max 1, Hybride 275	1,5, 3 bzw. 3,4 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ , für die zweite Rotation	11.000 Pflanzen $ha^{-1}$
Stiehm et al. (2015)	Potsdam-Bornim, schwach-lehmiger Sand, Ackerzahl 35	Max 1, Hybride 275, AF 2	11,5, 12,6 bzw. 13,5 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ , für die zweite Rotation	11.000 Pflanzen $ha^{-1}$
Scholz et al. (2004)	Potsdam-Bornim (Brandenburg), schwach-lehmiger Sand, Ackerzahl 28 bis 34	Hybride 275, Japan 105 (syn. Max)	ca. 4,8 bis ca. 7,6 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ bzw. ca. 10,4 bis 11,2 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ für die zweite Rotation	12.000 Pflanzen $ha^{-1}$ , Gras- Untersaat zweijährige Rotation, vier Stufen von N-Düngung
Stiehm et al. (2015)	Gülzow, lehmiger Sand, Ackerzahl 36	AF 2, Hybride 275, Max 1	5,4, 5,8 bzw. 9,0 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ , für die zweite Rotation	11.000 Pflanzen $ha^{-1}$
Grunert und Hirsch (2011)	Krummenhennersdorf (Sachsen), sandig-lehmiger Lössstandort, Ackerzahl 45	Weser 6, Max 3, Hybride 275	13,3, 17,0 bzw. 18,4 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ , für die zweite Rotation	11.800 Pflanzen $ha^{-1}$
Hofmann (1999)	Canstein	verschiedene	3,1 bis 7,5 $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$	8.334 Pflanzen $ha^{-1}$ dreijährige Rotation

Die Anlage wurde mit 10.929 Bäumen  $ha^{-1}$  in einer Doppelreihe angepflanzt. Biertümpfel et al. (2009) berichten für den Lössstandort Dornburg, mit einer Ackerzahl von durchschnittlich 60, für die Robinie von bis zu 14  $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$  im 5-jährigen Umtrieb mit 6.900 Bäumen pro ha nach der 3. Rotation. Dabei trat aber bereits nach der 2. Rotation verstärkt Wurzelbrut auf, wodurch mechanische Erntearbeiten stark erschwert werden. Von Wurzelbrut und geringen Ertragsleistungen von durchschnittlich 4  $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$  (Stockausschlag und Wurzelbrut) berichten auch Engel und Knoche (2011) für Brandenburger Waldstandorte. Wurzelbrut und die im Allgemeinen schwachen Ertragsleistungen lassen die Robinie bis auf Extremstandorte, wie Bergbaufolgelandschaften (Kanzler et al., 2014), als wenig geeignet für die Dendromasseproduktion auf Brandenburger landwirtschaftlichen Standorten erscheinen.

Auch im Rahmen von BIODER konnte die Robinie nicht überzeugen. Als bewurzelte Pflanzen verlangen sie bei der Pflanzung größere Sorgfalt als die Steckhölzer der Pappeln und Weiden, damit es nicht zu größeren Ausfällen kommt. Die Erträge der Robinie konnten lediglich in Zeischa und Drieschnitz die mittleren Werte aller Weiden, also auch der schwachwüchsigen Sorten, erreichen. Robinie, Grau-Erle und Eschenblättriger Ahorn können daher für die Dendromasseproduktion auf landwirtschaftlichen Standorten in Brandenburg ab einer Ackerzahl von 20 nicht empfohlen werden.

## 5 Schlussfolgerungen für die Praxis

Mit Kurzumtriebsplantagen sind auf Brandenburger Standorten nach der Etablierungsphase (ab dem zweiten Umtrieb) mit den bisher zur Verfügung stehenden Pappel- und Weidensorten Erträge deutlich über 10  $t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$  möglich. Die Beseitigung der Begleitvegetation in der Etablierungsphase von Kurzumtriebsplantagen hat großen Einfluss auf die Überlebensrate und den Ertrag der Gehölze, insbesondere in der 1. Rotation. Die Erfahrungen in BIODER haben gezeigt, dass bei optimaler Pflege 6-wöchige Frühjahrstrockenheiten nach der Pflanzung auch ohne Bewässerung überstanden werden können, während schlechte Pflege auch bei normalem Witterungsverlauf zu einem Totalausfall der Pflanzung bzw. zu dauerhaften Ertragseinbußen führen kann. Extensiv gepflegte Plantagen auf Standorten mit hoher Bodengüte können das Ertragspotenzial meist erst in den Folgerotationen erschließen.

Die Weide überzeugt bei den Versuchen durch hohe Überlebensraten auch bei mäßiger Pflege und insbesondere die schwedischen Züchtungen Tora, Tordis, Inger und Sven auch durch hohe Erträge. Wuchsvorteile gegenüber der Pappel hat die Weide auf humusreichen Standorten mit hoch anstehendem Grundwasser (Versuchsfläche Groß Radde).

Die Pappel konnte auf den Standorten mit höheren Schluff- und Tonanteilen und somit besserer Bodengüte

(Lindhorst und Cahnisdorf) im zweiten Umtrieb höchste Erträge liefern. Insbesondere die Klone Hybride 275, Max 3 und Max 4 konnten durch hohe Zuwachsleistungen überzeugen. Zudem konnten Hybride 275 und die drei Max-Klone ihre Eignung für den Anbau im Kurzumtrieb auch durch hohe Überlebensraten beweisen. Hingegen wurden im Vergleich dazu bei dem Klon Weser 6 starke Ausfälle festgestellt.

Robinien und Grau-Erle liegen mit den Erträgen deutlich unter den Erträgen von Weide und Pappel. Für die Eignung dieser Baumarten kommen aufgrund der Verwendung von ein- oder zweijährigen Sämlingen als Pflanzgut, deutlich höhere Preise für Pflanzen und Pflanzung als bei der Verwendung von Steckhölzern einschränkend hinzu. Somit können diese Baumarten nur für den Anbau auf Sonderstandorten (trocken oder nass) empfohlen werden, oder – im Falle der Grau-Erle – zu einer weiteren Diversifizierung der Bestände unter eher naturschutzfachlichen Aspekten genutzt werden. Möglich wäre darüber hinaus ein Anbau mit geringen Stückzahlen im Langumtrieb, um die Kosten zu reduzieren. Weiterhin war sowohl bei der Robinie als auch bei der Grau-Erle auffällig, dass die Überlebensrate zwischen den Pflanzjahren deutlich schwankt, wofür Unterschiede bei der Qualität der Pflanzware in Frage kommen könnten. Der Eschenblättrige Ahorn kann selbst mit den Erträgen von Robinie und Grau-Erle nicht konkurrieren, erweist sich aber sehr robust in der Anpflanzung, da er auch auf den aufgegebenen Versuchsfeldern hohe Anwuchsraten erreicht hat. Da Saatversuche im Projekt gezeigt haben, dass Ahorn sehr gut über Saatgut vermehrt werden kann, wird das Potenzial dieser Baumart in der Reduzierung der Begründungskosten über alternative Etablierungsverfahren gesehen. Allerdings ist ein großflächiger Anbau dieser invasiven und nicht heimischen Baumart kritisch zu sehen.

## Danksagung

Das Projekt wurde von der PCK Raffinerie GmbH Schwedt, der Volkswagen AG, der Vattenfall Wärme AG und dem Land Brandenburg (EFRE) finanziert. Großer Dank muss allen beteiligten Landwirtschaftsbetrieben und Flächeneigentümern entgegengebracht werden, denn sie stellten ihr Flächeneigentum der HNEE unentgeltlich zur Nutzung als Versuchsfläche zur Verfügung. Dank gilt auch Prof. Dr. Alfred Schulz, dessen fachliche Unterstützung bei der Konzeption und Umsetzung des statistischen Auswertungsansatzes sehr hilfreich war.

## Literatur

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005) Bodenkundliche Kartieranleitung. Stuttgart : Schweizerbart, 438 p
- Amthauer Gallardo D (2014) Standortbasierte Ertragsmodellierung von Pappel- und Weidenklonen in Kurzumtriebsplantagen [online]. Zu finden in <[http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/14467/AmthauerGallardo\\_ges.pdf](http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/14467/AmthauerGallardo_ges.pdf)> [zitiert am 15.08.2017]
- Bärwolff M, Hansen H, Hofmann M, Setzer F (2012) Energieholz aus der Landwirtschaft [online]. Zu finden in <[https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/e/n/energieholz\\_dina5\\_web\\_4.pdf](https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/e/n/energieholz_dina5_web_4.pdf)> [zitiert am 14.08.2017]
- Biertümpfel A, Rudel H, Werner A, Vetter A (2009) 15 Jahre Energieholzversuche in Thüringen [online]. Zu finden in <<http://www.tll.de/ainfo/pdf/ehol1009.pdf>> [zitiert am 14.08.2017]
- Biertümpfel A, Graf T, Vetter A (2012) Ölfrüchte und Nachwachsende Rohstoffe : Feldversuchsbericht 2010 und 2011 [online]. Zu finden in <[http://www.tll.de/ainfo/archiv/fvb\\_0312.pdf](http://www.tll.de/ainfo/archiv/fvb_0312.pdf)> [zitiert am 14.08.2017]
- Biertümpfel A, Rudel H (2014) Etablierung von Energieholzplantagen : Standort- und Sortenwahl, Pflege sowie Versuchsergebnisse unter Thüringer Standortbedingungen [online]. Zu finden in <[http://www.eva-verbund.de/fileadmin/user\\_upload/PDFs/Aktuelles/biot0214.pdf](http://www.eva-verbund.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Aktuelles/biot0214.pdf)> [zitiert am 14.08.2017]
- Boelcke B (2006) Ertragspotenzial und Ertragsaufbau von Weiden spec. in Kurzumtriebsplantagen [online]. Zu finden in <[http://www.agrowood.de/download/06\\_Boelcke\\_Weide\\_in\\_KUP.pdf](http://www.agrowood.de/download/06_Boelcke_Weide_in_KUP.pdf)> [zitiert am 14.08.2017]
- Boelcke B (2007) Zur Sortenfrage im Anbauverfahren schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb unter besonderer Beachtung der Pappeln [online]. Zu finden in <<http://www.landwirtschaft-mv.de/Fachinformationen/Nawaro/?id=62&processor=processor.sa.lfaforenbeitrag>> [zitiert am 14.08.2017]
- Engel J, Knoche D (2011) Energie aus dem Stock : zur Bewirtschaftung der Robinie im Schnellumtrieb [online]. Zu finden in <[http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/holz/energie/lfe\\_robinie\\_energieholz/lfe\\_robinie\\_energieholz\\_originalartikel.pdf](http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/holz/energie/lfe_robinie_energieholz/lfe_robinie_energieholz_originalartikel.pdf)> [zitiert am 14.08.2017]
- ETI - Brandenburgische Energie Technologie Initiative (2013) Energieholz aus Kurzumtriebsplantagen : Leitfaden für Produzenten und Nutzer im Land Brandenburg [online]. Zu finden in <[http://www.eti-brandenburg.de/fileadmin/user\\_upload/downloads\\_2013/KUP\\_Leitfaden\\_2013\\_lowres.pdf](http://www.eti-brandenburg.de/fileadmin/user_upload/downloads_2013/KUP_Leitfaden_2013_lowres.pdf)> [zitiert am 14.08.2017]
- Grünwald H (2005) Anbau schnellwachsender Gehölze für die energetische Verwertung in einem Alley-Cropping-System auf Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlereviere. Cottbus : Brandenburg Techn Univ, 124 p, Cottbuser Schr Bodenschutz Rekultivierung 28
- Grunert M, Hirsch M (2011) Kurzumtriebsplantagen : Stand in Sachsen und Erfahrungen im LfULG [online]. Zu finden in <[http://www.energieholz-portal.de/files/03\\_-\\_grunert\\_-\\_kup\\_in\\_sachsen.pdf](http://www.energieholz-portal.de/files/03_-_grunert_-_kup_in_sachsen.pdf)> [zitiert am 14.08.2017]
- Gutachterausschuss Forstliche Analytik (ed) (2005) Handbuch Forstliche Analytik : eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich ; Grundwerk 2005 und spätere Ergänzungen. Berlin : BMELV
- Hofmann M (1999) Bereitstellung von genetisch hochwertigem Vermehrungsgut für Kurzumtriebsbestände. Schr Nachwachs Rohstoffe 13:151-239
- INVEKOS (2015) Zentrale InVeKoS Datenbank (ZID) [online]. Zu finden in <<https://www.zi-daten.de/>> [zitiert am 23.08.2017]
- Kanzler M, Böhm C, Quinkenstein A, Steinke C, Landgraf D (2014) Wuchseleistung der Robinie auf Lausitzer Rekultivierungsflächen. AFZ Wald 5:35-37
- Mantau U, Saal U, Prins K, Steierer F, Lindner M, Verkerk H, Eggers J, Leek N, Oldenburger J, Asikainen A, Anttila P (2010) EUwood : real potential for changes in growth and use of EU forests [online]. Zu finden in <[http://www.egger.com/downloads/bildarchiv/187000/1\\_187099\\_DV\\_Real-potential-changes-growth\\_EN.pdf](http://www.egger.com/downloads/bildarchiv/187000/1_187099_DV_Real-potential-changes-growth_EN.pdf)> [zitiert am 14.08.2017]
- MMK - Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung : 1:100000 ; 1976 bis 1980. Münchenberg : Forschungszentrum Bodenfruchtbarkeit
- Murach D, Knur L, Schultze M (2008) DENDROM : zukunftsrohstoff Dendromasse ; systemische Analyse, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwertung von Dendromasse aus Wald- und Agrarholz ; Endbericht. Remagen : Kessel, 504 p
- Röhle H (2009) Arbeitskreis Biomasse: Verfahrensempfehlungen zur Methodik der Biomasseermittlung in Kurzumtriebsbeständen [online]. Zu finden in <[http://sektionertragskunde.fvabw.de/band2009/Tag2009\\_25.pdf](http://sektionertragskunde.fvabw.de/band2009/Tag2009_25.pdf)> [zitiert am 14.08.2017]

- Röhle H (2013) Standortleistungsschätzung und Biomasseermittlung in Kurzumtriebsplantagen. *Allg Forst Jagdzeitg* 184 (11/12):237-246
- Scholz V, Hellebrand HJ, Höhn A (2004) Energetische und ökologische Aspekte der Feldholzproduktion. *Bornimer Agrartechn Ber* 35:15-32
- Schwarze H, Röhrich C (2006) Untersuchungen zum Pappel- und Weidenanbau im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen [online]. Zu finden in <[https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/2006\\_11\\_07\\_Fachtagung\\_Anbau\\_u\\_Nutzung\\_vBaeumen\\_auf\\_lw\\_Flaechen\\_Vortrag.pdf](https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/2006_11_07_Fachtagung_Anbau_u_Nutzung_vBaeumen_auf_lw_Flaechen_Vortrag.pdf)> [zitiert am 14.08.2017]
- Stiehm C, Hofmann M, Janßen A (2015) Verbundvorhaben ProLoc und Fast-Wood: Forschungsprojekte zum Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb [online]. Zu finden in <<http://proloc-verbund.com/wp-content/uploads/2015/09/2015-05-12-Pr%C3%A4sentation-Ligna.pdf>> [zitiert am 23.08.2017]
- Thrän D, Edel M, Pfeiffer J, Ponitka J, Rode M, Knispel S (2010) Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der Biomassenutzung [online]. Zu finden in <[https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Berichte/identifizierung-hemmnisse-loesungsansaetze-reduzierung-nutzungskonkurrenzen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Berichte/identifizierung-hemmnisse-loesungsansaetze-reduzierung-nutzungskonkurrenzen.pdf?__blob=publicationFile&v=2)> [zitiert am 23.08.2017]
- Verwijst T, Telenius B (1999) Biomass estimation procedures in short rotation forestry. *For Ecol Manage* 121(1-2):137-146

## Inhalt

### Content

- Ulrich Dämmgen, Hans-Dieter Haenel, Claus Rösemann, Heinrich Kleine Klausing, Jim Webb, Wilfried Brade, and Andreas Berk  
**Energy requirements and excretion rates of pigs used for reproduction (young sows, young boars, breeding sows and boars) – a compilation and assessment of models**  
Energiebedarf und Ausscheidungsdaten von Schweinen für die Zucht (Jungsauen und -eber, Zuchtsauen und -eber) – eine Zusammenstellung und Bewertung von Modellen  
53
- Lisa Baldinger, Imke Traulsen, Friedrich Weißmann, Joachim Krieter, Ralf Bussemas  
**Vergleich der Injektions- und Inhalationsnarkose zur Kastration von ökologisch aufgezogenen Ferkeln hinsichtlich Verhalten und Wachstum**  
Comparison of injection and inhalation anesthesia for castration of organic piglets, with regard to behavior and growth  
71
- Regine Koopmann und Stefan Kühne  
**Tierarzneimittel (Antiparasitika) im Kuhfladen – Ein Risiko für Nicht-Ziel-Organismen (Literaturübersicht)**  
Veterinary Pharmaceuticals (Antiparasitics) in Cattle Dung – A Risk for Non-Targeted Organisms (Overview on Literature)  
79
- Rainer Schlepphorst, Holger Hartmann und Dieter Murach  
**Versuchsflächen mit schnellwachsenden Baumarten in Brandenburg – Ertragskundliche Ergebnisse für 2006 bis 2015**  
Yield of fast-growing tree species in northeast Germany: results of research with experimental plots (2006 to 2015)  
93

**Landbauforschung**  
*Applied Agricultural  
and Forestry Research*

Vol. 67

No. 2 · 06.2017

**Herausgeber · Editor**  
Johann Heinrich von Thünen-Institut  
Bundesallee 50  
38116 Braunschweig  
Germany

Preis · Price 8 €

ISSN 0458-6859