

Stephanie Gronow-Schubert und Eva Gallmann

Flüssigmistmanagement: Effekte auf die Ammoniak- und Methanemissionen im Mastschweinegestall

In der Mastschweinehaltung beeinflusst das Flüssigmistmanagement im Stall die Emissionen von Ammoniak und Methan, wobei die Reduktionspotenziale noch nicht hinreichend geklärt sind. Im diesem Projekt wurde jeweils über einen Mastdurchgang eine wöchentliche Entleerung des Flüssigmistkanals und eine Abdeckung des unterflur gelagerten Flüssigmists mit Schwimmkörpern untersucht und mit dem Staumistverfahren als Referenz verglichen. Dieser Beitrag beschreibt die Vorgehensweise und zeigt anhand eigener Ergebnisse die Vor- und Nachteile der beiden ausgewählten Emissionsminderungsstrategien auf.

eingereicht 11. August 2014

akzeptiert 10. November 2014

Schlüsselwörter

Flüssigmistmanagement, Ammoniak, Methan, Minderungsstrategien, Emissionen, Mastschweine

Keywords

manure management, ammonia, methane, mitigation strategies, emissions, fattening pigs

Abstract

Gronow-Schubert, Stephanie and Gallmann, Eva

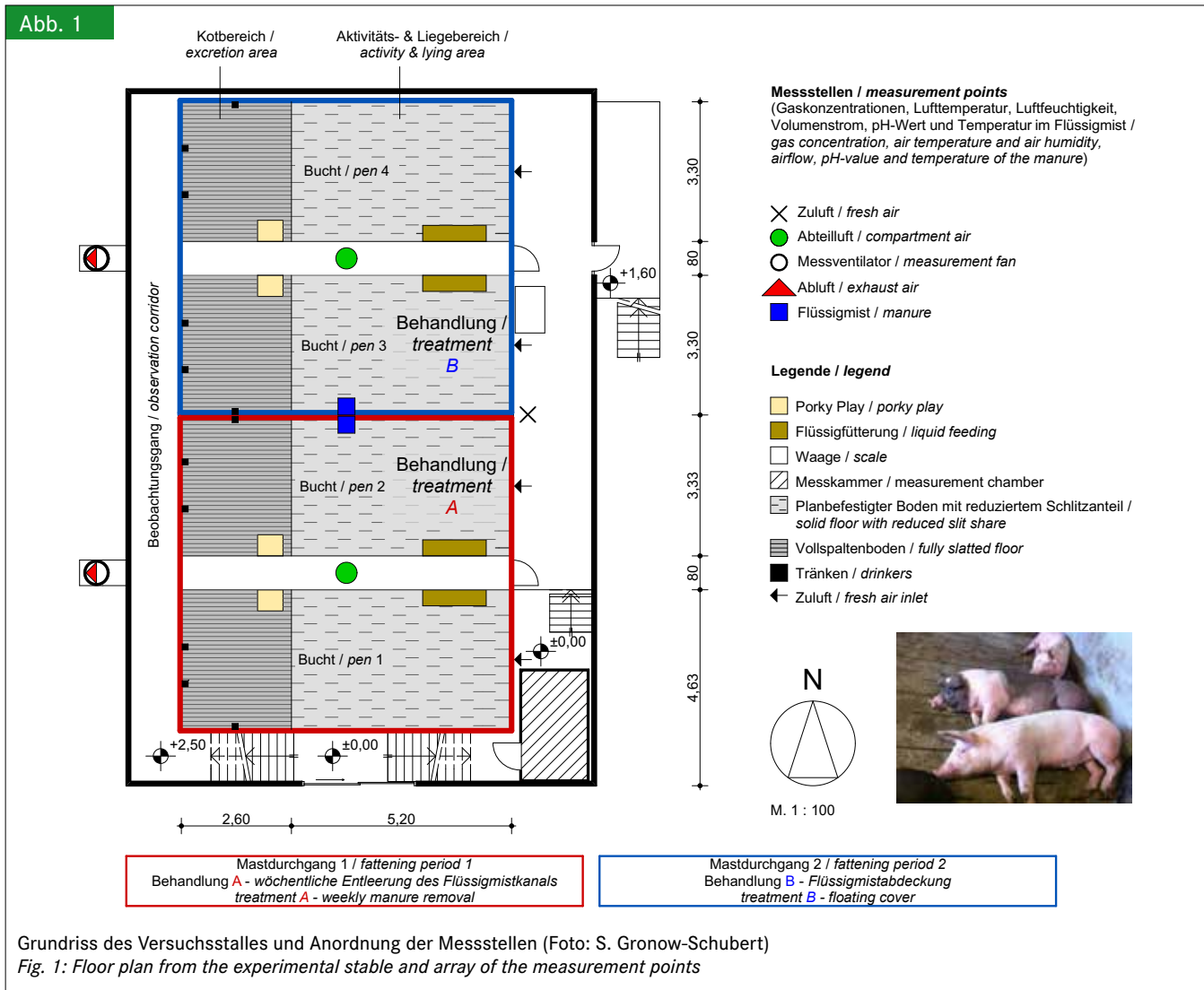
Manure management: Effects on the ammonia and methane emissions in a piggery

Landtechnik 69(6), 2014, pp. 280–289, 6 figures, 3 tables, 17 references

Manure management inside a piggery influences emissions of ammonia and methane. Knowledge on reduction potential and mitigation measures is insufficient. This project compared two treatments: weekly manure removal and manure surface cover with floating bodies against the reference system deep pit. Measurements covered a full fattening period. This paper describes the approach and gives preliminary results on the pros and cons of both emission mitigation strategies.

■ Im Gegensatz zur Milchviehhaltung, bei welcher der Hauptanteil der Methanemissionen vom Tier selber stammt, emittiert Methan in der Mastschweinehaltung hauptsächlich aus den Exkrementen, welche konventionell unter dem Spaltenboden gelagert werden [1]. In Bezug auf die gleichzeitige Beeinflussung der Methan- und Ammoniakemissionen durch die verschiedenen Flüssigmisthandhabungen, können derzeit noch keine konkreten Vorgaben zum optimalen Umgang mit dem Flüssigmist im Stall gegeben werden. Zu den potenziellen Managementstrategien zählen das regelmäßige Ableiten des Flüssigmists vom Stall in ein Außenlager sowie das Abdecken der Flüssigmistoberfläche [2; 3; 10].

Die Untersuchungen von Ni et al. [4] zeigen, dass die Höhe des Flüssigmistpegels bzw. die Menge an angestaumtem Flüssigmist im Flüssigmistkanal zwar keinen Einfluss auf die Ammoniakemissionen hat, jedoch auf die Methanemissionen [5]. Demgegenüber stehen Ergebnisse, welche zeigen, dass durch das tägliche Entleeren des Flüssigmistkanals die Methan- und auch die Ammoniakemissionen in drei von vier Versuchen reduziert werden konnten [6]. Zweimaliges Spülen des Flüssigmistkanals pro Tag reduzierte sowohl die Methan- als auch die Ammoniakemissionen durchgängig [7]. Dies deckt sich mit den Untersuchungsergebnissen von Meissner [3]. Durch das ein- bzw. zweimal tägliche Spülen über Spülrinnen mit biologisch behandelter Spülflüssigkeit konnten hier sowohl die Ammoniakemissionen (10–50 %) als auch die Methanemissionen (60–90 %) deutlich reduziert werden. Ammoniakemissionen lassen sich hauptsächlich durch die Reduzierung der Flüssigmistoberfläche beeinflussen [8]. Hinsichtlich der Abdeckung der Flüssigmistoberfläche im Stall existieren bisher nur wenige Erfahrungen und Ergebnisse. In einer Studie [9] wurden z. B. Vorhänge unter dem Spaltenboden angebracht,



um auf diese Weise die Oberfläche zu reduzieren, welche in direktem Kontakt zum Luftvolumenstrom des Lüftungssystems steht. Bereits diese Maßnahme führte zu einer Reduktion der Ammoniakemissionen um 2-20 %.

Ziel dieser Untersuchung war es, das Potenzial möglichst leicht umsetzbarer Managementmaßnahmen zur Handhabung des Flüssigmists im Stall zu untersuchen.

Versuchstall und Versuchstiere

Die Untersuchungen fanden in einem Mast Schweinestall mit zwei Abteilen auf der Versuchsstation Agrarwissenschaften, Standort Lindenhöfe der Universität Hohenheim statt. Ein Abteil diente jeweils als Versuchsabteil (Behandlung A mit wöchentlicher Entleerung des Flüssigmistkanals; Behandlung B mit Abdeckung der Flüssigmistoberfläche), das jeweils andere Abteil als Referenzabteil R mit Flüssigmistlagerung unterflur (Staumist) über die gesamte Dauer des Mastdurchgangs von ca. 105 Tagen (**Abbildung 1**). Die Variante A mit wöchentlicher Entleerung des Flüssigmistkanals wurde gewählt, um den Arbeitsaufwand gering zu halten und eine Mindestmenge an Flüssigmist zu gewährleisten, die für das ordnungsgemäße Entleeren des Flüssig-

mistkanals benötigt wird. Natürlich hat das tägliche Entleeren des Flüssigmistkanals ein höheres Emissionsminderungspotenzial. In diesem Versuch sollte herausgefunden werden, ob auch schon das wöchentliche Entleeren einen mindernden Effekt auf die Emissionen hat. Das Versuchsabteil und das Referenzabteil wurden nach dem ersten Mastdurchgang (Behandlung) gewechselt. Für die beiden Behandlungen wurden im Rein-Raus-Prinzip nacheinander jeweils 50 Schweine (Genetik: Deutsche Landrasse x Pietrain) mit einem Einzeltiergewicht von ca. 28 kg für jeweils einen kompletten Mastdurchgang in die beiden Abteile eingestallt. Pro Abteil waren je 25 Tiere in zwei Buchten untergebracht. Jedem Tier stand rund 1 m² Platz zur Verfügung. Der Betonboden ist in beiden Abteilen zu 2/3 mit reduziertem Schlitzanteil (ca. 6 %) und zu 1/3 als Vollspaltenboden mit ca. 14 % Schlitzanteil ausgestattet.

Jede Bucht verfügt über eine eigene Staumistwanne mit einer Höhe von 1,20 m, einer Breite von 3,30 m und einer Länge von 7,80 m sowie einem maximalen Lagervolumen von 20 m³. Die Zuluft gelangt über Porenkanäle in den Stall und wird abteilweise unterflur abgesaugt. Eine Sensorflüssigfütterung versorgte die Tiere täglich zu 12 Fütterungszeiten zwischen 6:00

Tab. 1

Versuchsbedingungen in beiden Mastdurchgängen bzw. Behandlungen

Table 1: Experimental conditions in both fattening periods resp. treatments

Parameter/parameter	Wöchentliche Entleerung des Flüssigmistkanals Weekly manure removal 05.08.2013–19.11.2013 Behandlung A/Treatment A			Abdeckung der Flüssigmistoberfläche Floating cover 16.01.2014–22.04.2014 Behandlung B/Treatment B			
	Tage/Days N	Mittelwert Mean	± SA ± SD	Tage/Days N	Mittelwert Mean	± SA ± SD	
$T_{Zuluft}/T_{fresh\ air}$ [°C]	97	15,8	5,2	87	9,6	3,2	
$RH_{Zuluft}/RH_{fresh\ air}$ [%]	97	72,3	9,7	87	63,0	9,2	
T_{innen}/T_{indoor} [°C]	Behandlung/treatment	97	20,7	3,5	87	18,2	1,3
	Referenz/reference	97	20,5	3,6	87	18,5	1,3
RH_{innen}/RH_{indoor} [%]	Behandlung/treatment	97	63,8	6,07	87	60,8	4,7
	Referenz/reference	97	71,7	5,9	87	56,7	5,8
V_{strom} [m ³ h ⁻¹ Tier ⁻¹]	Behandlung/treatment	97	58,1	9,6	87	49,4	8,6
V_{flow} [m ³ h ⁻¹ animal ⁻¹]	Referenz/reference	97	60,0	7,1	87	47,2	9,0
Mastparameter Fattening parameters		SG/SW [kg]	EG/EW [kg]	TZ/DWG [g]	SG/SW [kg]	EG/EW [kg]	TZ/DWG [g]
	Behandlung/treatment	1398	5448	780	1508	5451	800
	Referenz/reference	1392	5402	770	1482	5449	810

T = Temperatur/temperature

RH = relative Luftfeuchtigkeit/relative humidity

V = Volumenstrom/air flow

N = Stichprobenumfang/sample size

SA = Standardabweichung/SD = standard deviation

SG = Startgewicht/SW = start weight

EG = Endgewicht/EW = end weight

TZ = tägliche Zunahmen/DWG = daily weight gain

und 22:00 Uhr. Wasser stand ad libitum an jeweils drei Tränken pro Bucht zur Verfügung.

Für die Haltungsbedingungen, Lüftungs- und Fütterungseinstellungen sowie Mastleistungen konnten in beiden Abteilen (Behandlung und Referenz) weitgehend Ceteris-paribus-Bedingungen erreicht werden (**Tabelle 1**). Die Futterzusammensetzung variierte zwischen den Mastdurchgängen bzw. den Abteilen nur geringfügig. Es wurde eine stickstoffangepasste Dreiphasenmast nach guter fachlicher Praxis vorgenommen. Die gemittelten täglichen Zunahmen unterschieden sich zwischen beiden Behandlungen kaum voneinander, wie auch die Ein- und Ausstallgewichte. Die erhobenen Verschmutzungsprofile zeigten, dass die Nutzung der Funktionsbereiche (Aktivität und Liegen sowie Abkoten) in beiden Abteilen (Behandlung und Referenz) in allen vier Buchten über beide Mastdurchgänge hinweg eingehalten wurde. Die Tiere haben die Strukturierung der Bucht mit unterschiedlichen Bodenoberflächen angenommen und ihren Kot und Urin hauptsächlich in dem dafür vorgesehenen Kotbereich abgesetzt. Dies war eine grundlegende Voraussetzung für den zweiten Versuch (Behandlung B mit Abdeckung der Flüssigmistoberfläche).

Versuchsdurchführung

Wöchentliche Entleerung des Flüssigmistkanals

Für den Zeitraum des ersten Mastdurchgangs (14 Wochen) wurde von Anfang August bis Mitte November 2013 das wö-

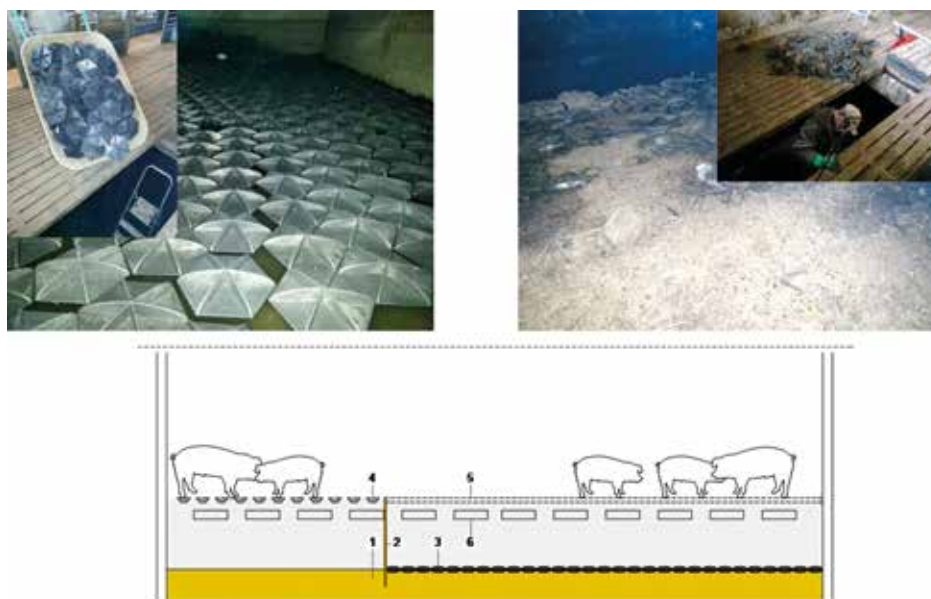
chentliche Entleeren des Flüssigmistkanals (Behandlung A) mit der Flüssigmistlagerung im Staumistverfahren über den gesamten Mastdurchgang (Referenz - R) verglichen. Die wöchentliche Entleerung des Flüssigmistkanals erfolgte über zwei Ablassstopfen im Boden des Flüssigmistkanals. Nach dem Ablassen des Flüssigmists wurde keine zusätzliche Spülung mit Wasser oder Dünngülle durchgeführt. Eine kleine Restmenge von Flüssigmist bedeckte demzufolge immer den Kanalboden.

Abdeckung der Flüssigmistoberfläche

Im zweiten Mastdurchgang von Mitte Januar bis Ende April 2014 wurde die Abdeckung der Flüssigmistoberfläche (Behandlung B) unterhalb des Buchtenbodens des Aktivitäts- und Liegebereichs mit reduziertem Schlitzanteil getestet. Der Flüssigmist wurde mit sechseckigen Schwimmkörpern aus Kunststoff (Hexa-Cover®, Ø = 18 cm) abgedeckt (**Abbildung 2**).

Unterhalb des Vollspaltenbodens (Kotbereich) wurden keine Hexa-Cover® verteilt. Um die Schwimmkörper auf die Fläche unter dem Aktivitäts- und Liegebereich zu begrenzen, wurde eine Trennwand von der Unterkante des Spaltenbodens bis 10 cm über dem Kanalboden eingebaut, sodass der Flüssigmistpegel im gesamten Kanal auf gleichem Niveau blieb. Zu Beginn des Mastdurchgangs wurde in alle vier Flüssigmistlager des Versuchsstalls ein Wasserpegel von 10 cm eingefüllt. Dieser Wasserpegel war notwendig, damit sich die Hexa-Cover®-

Abb. 2



Abdeckung der Flüssigmistoberfläche mit Hexa-Cover®-Schwimmkörpern. Zustand vor (links oben) und nach (rechts oben) dem Mastdurchgang. Abteilquerschnitt (unten: 1 = Flüssigmist, 2 = Trennwand, 3 = Hexa Cover®, 4 = Vollspaltenboden, 5 = planbefestigter Boden mit reduziertem Schlitzanteil, 6 = Schlitz für die Unterflurabsaugung in der Betonwand (Fotos: S. Gronow-Schubert)

Fig. 2: Coverage of the manure surface with Hexa-Cover® floating bodies. Status before (top left) and after (top right) the fattening period. Cross section of the compartment (below: 1 = manure, 2 = wooden post, 3 = Hexa Cover®; 4 = fully slatted floor, 5 = solid floor with reduced slit share, 6 = slits for underfloor extraction in the concrete wall)

Tab. 2

Flüssigmistparameter in beiden Mastdurchgängen bzw. Behandlungen

Table 2: Manure parameter in both fattening periods resp. treatments

Parameter/Parameter		Wöchentliche Entleerung des Flüssigmistkanals Weekly manure removal 05.08.2013–19.11.2013 Behandlung A/Treatment A			Abdeckung der Flüssigmistoberfläche Floating cover 16.01.2014–22.04.2014 Behandlung B/Treatment B		
		N	Mittelwert	± SA	N	Mittelwert	± SA
		Tage/Days	Mean	± SD	Tage/Days	Mean	± SD
$T_{\text{Flüssigmist}}/T_{\text{slurry}}$ [°C]	Behandlung/treatment	6	17,0	1,2	47	15,7	0,4
	Referenz/reference	43	17,5	1,7	63	14,9	0,7
$\text{pH}_{\text{Flüssigmist}}/\text{pH}_{\text{slurry}}$	Behandlung/treatment	6	7,6	0,3	47	7,2	0,5
	Referenz/reference	43	7,4	0,2	63	7,6	0,3
Trockenmasse/Dry matter [g kg ⁻¹]	Behandlung/treatment	12	9,1	3,0	14	1,5	0,9
	Referenz/reference	12	5,5	2,2	14	3,8	2,8
Gesamt N in FS/Total N in FM [g kg ⁻¹]	Behandlung/treatment	12	5,9	0,9	14	2,8	1,3
	Referenz/reference	12	5,1	1,1	14	3,9	2,0
$\text{NH}_4\text{-N}$ in FS/ $\text{NH}_4\text{-N}$ in FM [g kg ⁻¹]	Behandlung/treatment	12	2,7	0,5	14	2,4	1,1
	Referenz/reference	12	3,2	0,7	14	2,7	1,4
Anteil $\text{NH}_4\text{-N}$ an Gesamt N Percentage of $\text{NH}_4\text{-N}$ in Total N [%]	Behandlung/treatment	12	46,1	11,3	14	82,1	6,3
	Referenz/reference	12	64,9	15,5	14	68,6	11,7
Flüssigmistpegel/Slurry level [cm]	Behandlung/treatment	12	Start/start: 7	Ende/end: 5	14	Start/start: 10	Ende/end: 52
	Referenz/reference	12	Start/start: 10	Ende/end: 51	14	Start/start: 10	Ende/end: 60

T = Temperatur/temperature

FS = Frischmasse/FM = fresh matter

N = Stichprobenumfang/sample size

SA = Standardabweichung/SD = standard deviation

Tab. 3

Ammoniak- und Methankonzentrationen und Emissionen in beiden Mastdurchgängen bzw. Behandlungen

Table 3: Ammonia and methane concentrations and emissions in both fattening periods resp. treatments

Messstelle Measurement point	Parameter/parameter	Wöchentliche Entleerung des Flüssigmiskanalals Weekly manure removal 05.08.2013 - 19.11.2013			Abdeckung der Flüssigmistoberfläche Floating cover 16.01.2014 - 22.04.2014		
		Behandlung A/Treatment A vs. reference R			Behandlung B/Treatment B vs. reference R		
		N Tage/Days	Mittelwert Mean	± SA ± SD	N Tage/Days	Mittelwert Mean	± SA ± SD
Zuluft Fresh air	NH ₃ -Konzentration [ppm] NH ₃ concentration [ppm]	A 105 R 105	A 1,3 R 1,3	A 0,3 R 0,3	B 89 R 89	B 2,2 R 2,2	B 0,6 R 0,6
	CH ₄ -Konzentration [ppm] CH ₄ concentration [ppm]	A 105 R 105	A 1,8 R 1,8	A 2,2 R 2,2	B 89 R 89	B 2,8 R 2,8	B 0,8 R 0,8
Abteilluft Compartment air	NH ₃ -Konzentration [ppm] NH ₃ concentration [ppm]	A 105 R 105	A 2,6 R 2,6	A 1,4 R 0,8	B 89 R 89	B 3,7 R 4,7	B 1,1 R 2,2
	CH ₄ -Konzentration [ppm] CH ₄ concentration [ppm]	A 105 R 105	A 2,9 R 3,0	A 2,9 R 2,8	B 89 R 89	B 5,3 R 4,8	B 1,3 R 1,2
Abluft Exhaust air	NH ₃ -Konzentration [ppm] NH ₃ concentration [ppm]	A 105 R 105	A 11,5 R 10,8	A 3,6 R 3,0	B 89 R 89	B 12,2 R 12,8	B 2,7 R 3,3
	CH ₄ -Konzentration [ppm] CH ₄ concentration [ppm]	A 105 R 105	A 3,8 R 5,9	A 3,4 R 2,4	B 89 R 89	B 11,3 R 6,8	B 4,3 R 1,8
	NH ₃ -Emissionsrate [g Tag ⁻¹ GV ⁻¹] NH ₃ emission rate [g d ⁻¹ LU ⁻¹]	A 87 R 87	A 60,2 R 60,8	A 10,0 R 9,3	B 82 R 82	B 63,2 R 72,9	B 11,5 R 31,3
	NH ₃ -Emissionsfaktor [kg Tierplatz ⁻¹ Jahr ⁻¹] NH ₃ emission factor [kg animal place ⁻¹ year ⁻¹]	A 87 R 87	A 3,0 R 2,9	A 0,8 R 0,6	B 82 R 82	B 2,9 R 2,8	B 0,8 R 0,8
	CH ₄ -Emissionsrate [g Tag ⁻¹ GV ⁻¹] CH ₄ emission rate [g d ⁻¹ LU ⁻¹]	A 87 R 87	A 18,4 R 29,5	A 15,9 R 13,8	B 82 R 82	B 48,9 R 24,1	B 21,2 R 9,4
	CH ₄ -Emissionsfaktor [kg Tierplatz ⁻¹ Jahr ⁻¹] CH ₄ emission factor [kg animal place ⁻¹ year ⁻¹]	A 87 R 87	A 0,7 R 1,3	A 1,3 R 0,3	B 82 R 82	B 2,3 R 1,0	B 1,2 R 0,4

N = Stichprobenumfang/sample size

n.s. = nicht signifikant/not significant

s. = signifikant***, Mittelwertunterschiede zwischen Behandlung und Referenz (U-Test nach Mann und Whitney, $p < 0,05$)/significant***, mean deviation of the treatment and the reference (Mann-Whitney U test, $p < 0,05$)

SA = Standardabweichung/SD = standard deviation

GV = Großvieheinheit/LU = livestock unit

Jahr = 330 Tage/year = 330 days

R = Referenzabteil/reference compartment

Schwimmkörper in Bucht 3 und 4 (Behandlung B) selbstständig verteilen (**Abbildung 1 und 2**).

Messtechnik

Die Zuluft-, Abteil- und Abluftkonzentrationen von Ammoniak (NH₃), Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) wurden quasi-kontinuierlich mit dem Multigasmonitor 1412 von Lu-

maSense™ Technologies (Dänemark) mit photoakustischem Messprinzip erfasst. Der Multigasmonitor war mit dem dazugehörigen Multiplexer 1309 von LumaSense™ Technologies verbunden. Für die gesicherte statistische Auswertung erfolgte die Beprobung der fünf Messstellen randomisiert. Hierfür wurde in der Steuerungssoftware eine Messstellenabfolge hinterlegt, die mit einem Zufallsgenerator erstellt worden war. Nach je-

dem beendeten Mastdurchgang führte die Autorin beim Multi-gasmonitor eine Nullpunkt- und Wasserinterferenzkalibration durch, die Gase Ammoniak, Kohlendioxid und Methan wurden im feuchten Zustand kalibriert. Innerhalb der Kalibrierungen wurden regelmäßige Vergleichsmessungen mit einem FTIR (Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer) durchgeführt. Potenzielle Lachgasemissionen (N_2O) wurden in diesen Versuchen nicht erfasst, da keine hinreichende Messgenauigkeit bei der Lachgasbestimmung sichergestellt werden konnte.

Für die kontinuierliche Erfassung der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit wurde ein digitaler Sensor pro Messstelle (Firma Ahlborn, Deutschland) verwendet. Die Bestimmung des Luftvolumenstroms erfolgte für Behandlung A und Behandlung B jeweils separat über die in den zwei Abluftkaminen eingebauten Messventilatoren (Firma Multifan, Niederlande). Für die Messung der Temperatur und des pH-Wertes an der Flüssigmistoberfläche wurde in beiden Abteilen ein digitaler Kombisensor (Firma Endress+Hauser, Deutschland) so installiert, dass sich der Sensor mithilfe eines angefertigten Kantholzes stets schwimmend an der Oberfläche des Flüssigmists befand. Im 14-tägigen Turnus wurden alle 100 Schweine einzeln gewogen und Proben für die Analyse des Flüssigmists gezogen (Stickstoffanalyse nach Kjeldahl, Bestimmung der Trockensubstanz, der organischen Trockensubstanz und des Ka-

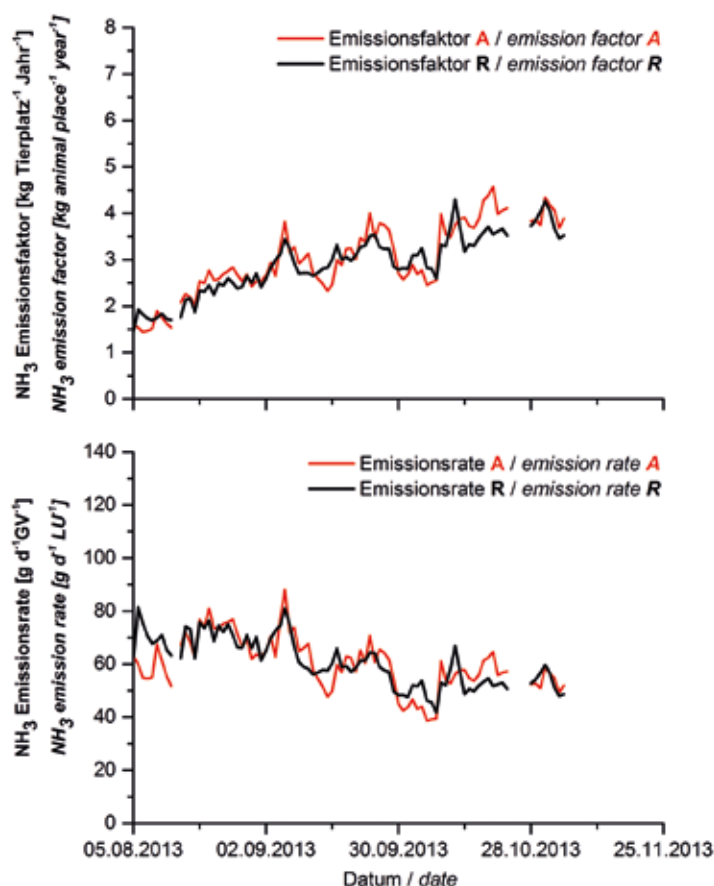
lium- und Phosphorgehaltes). Die Flüssigmistproben wurden pro Bucht stets an denselben Punkten entnommen. Dennoch ist eine im klassischen Sinne repräsentative Beprobung des inhomogenen Flüssigmists kaum möglich gewesen, ohne die Flüssigmistzusammensetzung und -struktur sowie die Stabilisierung des Flüssigmists bezüglich einer Emissionsquelle zu stören. Die Verschmutzungsprofile der vier Buchten wurden wöchentlich erhoben.

Ergebnisse und Diskussion

Flüssigmistparameter

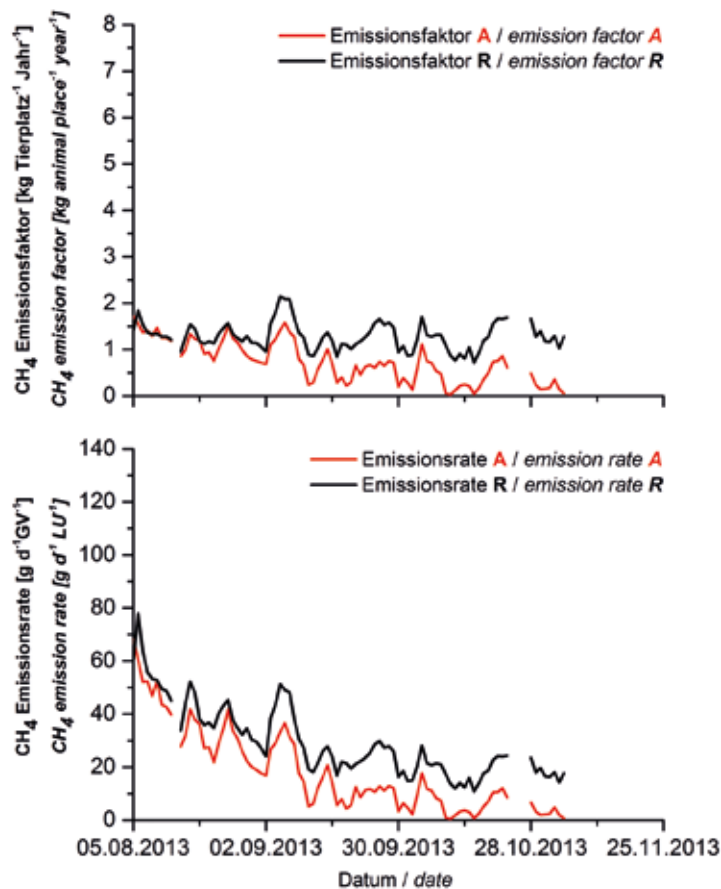
Die Flüssigmistparameter unterschieden sich zwischen den beiden Behandlungen – insbesondere bei Trockenmasse, Gesamt-Stickstoff und Anteil NH_4-N am Gesamt-Stickstoff in der Frischmasse – voneinander (**Tabelle 2**). Die Ergebnisse können aber aufgrund der oben genannten Gründe nur als Anhaltswerte dienen. Zudem ist zu beachten, dass bei der Behandlung A mit wöchentlicher Entleerung des Flüssigmistkanals der Flüssigmistpegel nie höher als 7 cm anstieg, was die Probenentnahme zusätzlich erschwerte. Der geringe Flüssigmistpegel ist auch ursächlich für den geringen Stichprobenumfang N bei den Parametern pH-Wert und Temperatur an der Flüssigmistoberfläche in der Behandlung A, welche mit den digitalen Sensoren erfasst werden konnten.

Abb. 3



NH₃-Emissionsraten und NH₃-Emissionsfaktoren für die Behandlung A mit wöchentlicher Entleerung des Flüssigmistkanals und Referenzabteil R
Fig. 3: NH₃ emission rates and NH₃ emission factors for the treatment A with weekly manure removal and reference R

Abb. 4



CH₄-Emissionsraten und CH₄-Emissionsfaktoren für die Behandlung A mit wöchentlicher Entleerung des Flüssigmistkanals und Referenzabteil R
 Fig. 4: CH₄ emission rates and CH₄ emissions factors for the treatment A with weekly manure removal and reference R

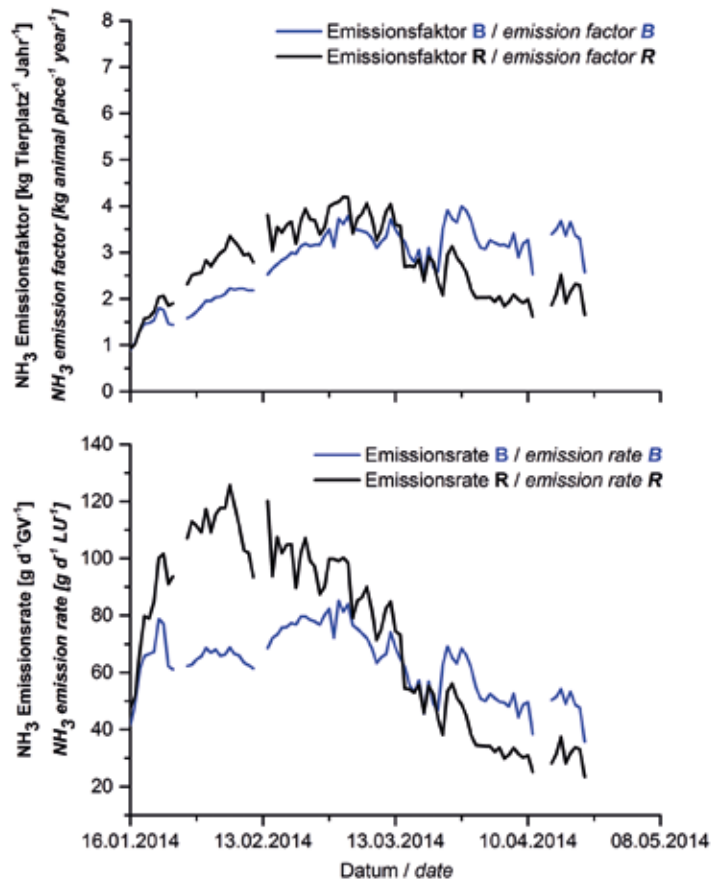
Einfluss des wöchentlichen Entleerens des Flüssigmistkanals auf Ammoniak und Methan

Die NH₃- und CH₄-Konzentrationen in der Zuluft, den beiden Abteilen und in der Abluft sowie die Emissionsraten und Emissionsfaktoren für beide Mastdurchgänge bzw. Behandlungen zeigt **Tabelle 3**. Die NH₃-Konzentrationen unterschieden sich über den gesamten Mastverlauf an allen Messstellen nicht signifikant voneinander und sind vergleichbar mit den Ergebnissen vorangegangener Messungen in diesem Versuchsstall [10; 11]. Die NH₃-Konzentrationen im Innenraum (A und R: 2,6 ppm) werden im Vergleich zu einer anderen Studie [12] als sehr niedrig eingestuft. Die Ammoniakemissionen blieben in diesem Versuch durch das nur wöchentliche Entleeren des Flüssigmistlagers unbeeinflusst (A: 60,2 g je Tag und Großvieheinheit; R: 60,8 g je Tag und Großvieheinheit; **Abbildung 3**). Dies deckt sich mit anderen Untersuchungsergebnissen, bei denen festgestellt wurde, dass sowohl die Höhe des Flüssigmistpegels und damit die angestaute Menge an Flüssigmist [4] als auch das Raumvolumen über der emittierenden Oberfläche [9] keinen Einfluss auf die Ammoniakemissionen haben. Eine nennenswerte Ammoniakreduktion konnte in einer Untersuchung [7] gezeigt werden, in welcher der Flüssigmist sehr häufig (1–

bis 2-mal täglich) entfernt und zusätzlich gespült wurde (Reduktion der Ammoniakemissionen um 13–29%). Dies konnte auch bei der Untersuchung von Meissner [3] beobachtet werden, wo sich durch das ein- oder zweimal tägliche Spülen die Ammoniakemissionen um 10–40 % reduzierten.

Ein Erklärungsansatz für die signifikanten Unterschiede bezüglich der CH₄-Konzentrationen in der Abluft (A: 3,8 ppm; R: 5,9 ppm; -36%; **Tabelle 3**) und den CH₄-Emissionsraten (A: 18,4 g je Tag und Großvieheinheit; R: 29,5 g je Tag und Großvieheinheit; -38%; **Abbildung 4**) ist die wöchentliche Entleerung des Flüssigmistkanals und die damit verbundene deutliche Reduktion an fermentierbarer Substanz, welche ansonsten für die Methanbildung zur Verfügung steht [13]. Bei Häußermann et al. [13] wurde nach jedem Mastdurchgang das gesamte Flüssigmistlager unter den Spalten ausgewaschen und desinfiziert. Schon diese Maßnahmen verzögerten die Methanbildung im Verlauf des Mastdurchgangs im Vergleich zu den Untersuchungen von Gallmann [10], in welcher auf diese Maßnahmen verzichtet wurde. Durch zweimaliges Spülen pro Tag mit der flüssigen Phase des Flüssigmists konnte eine Emissionsreduktion von 26–46 % erreicht werden [7]. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Menge an vorhandenem

Abb. 5



NH₃-Emissionsraten und NH₃ Emissionsfaktoren für die Behandlung B mit Flüssigmistabdeckung im Vergleich zur Referenz R
 Fig. 5: NH₃ emission rates and NH₃ emission factors for the treatment B with floating cover and reference R

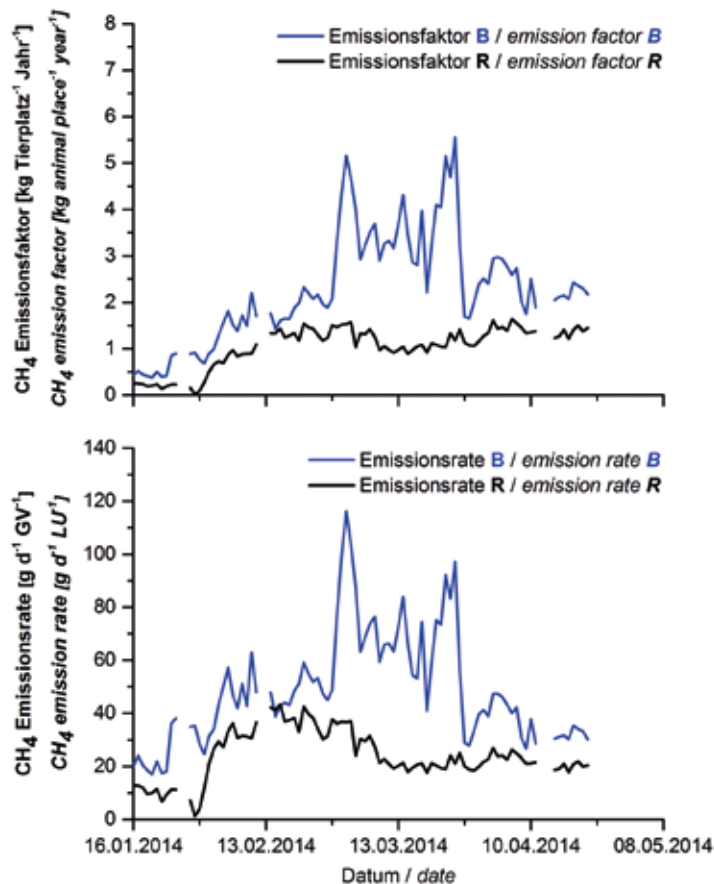
Flüssigmist und den entstehenden Methanemissionen im Stall. In den Untersuchungen von Meissner [3] konnten die Methanemissionen durch das regelmäßige Spülen sogar um 60–90 % reduziert werden.

In diesem Versuch (Behandlung A) hatte das regelmäßige Entleeren des Flüssigmistlagers nur Einfluss auf die Methanemissionen, wie bereits oben erläutert, und – anders als bei Meissner [3] und Guingand [7] – nicht auf die Ammoniakemissionen. Im Vergleich zu den Ergebnissen von Gallmann [10], wo die Spanne der Emissionsraten im Vollspaltensystem zwischen 68 und 134 g je Tag und Großvieheinheit lag und Häußermann [11] (Spanne: 33–73 g je Tag und Großvieheinheit) sind die Emissionsraten bei Methan insgesamt niedrig. Die Werte fügen sich in die Ergebnisse von Gallmann [10] ein, welche bei einem Haltungssystem mit getrennten Klimabereichen und freier Schachtlüftung ermittelt wurden. Die Spanne der Emissionsraten betrug dort 17–36 g je Tag und Großvieheinheit. In ähnlichen Messzeiträumen (Herbst 1999 und 2000) wurden nahezu gleiche Emissionsraten, nämlich 24 und 36 g je Tag und Großvieheinheit, wie in diesem Versuch beobachtet. Die über den Mastverlauf sinkenden Methanemissionen sind hier durch die Bezugsgröße des Tiergewichtes (GV) zu erklären.

Einfluss der Flüssigmistabdeckung

Die Ammoniakkonzentration in den Abteilen unterschieden sich signifikant voneinander (B: 3,7 ppm; R: 4,7 ppm), wohingegen die Abluftkonzentrationen (B: 12,2 ppm; R: 12,8 ppm) unbeeinflusst blieben (**Tabelle 3**). Bezogen auf die NH₃-Emissionsraten (B: 63,2 g je Tag und Großvieheinheit; R: 72,9 g je Tag und Großvieheinheit; **Abbildung 5**) konnte durch die Abdeckung der Flüssigmistoberfläche eine Emissionsreduktion von 13 % erreicht werden. Der abnehmende Verlauf der NH₃-Emissionsraten ist durch die gewählte Bezugsgröße zu erklären, d. h. die ansteigenden Tiergewichte bezogen auf Großvieheinheiten. Die Emissionsreduktion kann darauf zurückgeführt werden, dass aufgrund der Abdeckung von 2/3 der Flüssigmistoberfläche mit den Hexa-Cover[®]-Schwimmkörpern unter dem planbefestigten Buchtenboden nur noch 1/3 der gesamten Flüssigmistoberfläche dem Luftvolumenstrom (**Abbildung 2**) ausgesetzt war [8; 9; 14]. Auch die Ammoniakemissionsraten in Behandlung B sind im Vergleich zu Gallmann [10] und Häußermann [11] im Vollspaltensystem niedriger (Spanne der Emissionsrate: 100–149 g je Tag und Großvieheinheit und 94–130 g je Tag und Großvieheinheit). Mit Blick auf die Ergebnisse aus dem Haltungssystem mit getrennten Klimabereichen und freier Schachtlüf-

Abb. 6



CH₄-Emissionsraten und CH₄-Emissionsfaktoren für die Behandlung B mit Flüssigmistabdeckung im Vergleich zur Referenz R
 Fig. 6: CH₄ emission rates and CH₄ emission factors for the treatment B floating cover and reference R

tung [10] im gleichen Messzeitraum (Frühjahr: 92,7 g je Tag und Großvieheinheit) liegen die Werte aus diesem Versuch ebenfalls darunter.

Die Ergebnisse der Methankonzentrationen zeigen deutlich, wie auch bei Clemens [1] beschrieben, dass der Flüssigmist die Hauptemissionsquelle für Methan darstellt. Die Abteilkonzentrationen bei B: 5,3 ppm verglichen mit R: 4,8 ppm unterscheiden sich zwar signifikant voneinander, aber nicht so deutlich, wie die Abluftkonzentrationen B: 11,3 ppm und R: 6,8 ppm (**Tabelle 3**). Bezogen auf die Emissionsraten (B: 48,9 g je Tag und Großvieheinheit; R: 24,1 g je Tag und Großvieheinheit) unterschieden sich die Werte um rund +50% in der Behandlung B, verglichen mit dem Referenzabteil R (**Abbildung 6**). Ursächlich für diesen deutlichen Emissionsanstieg können die für die Methanogenese günstigeren anaeroben Bedingungen sein, welche durch die Abdeckung geschaffen wurden (**Abbildung 2**). Auf den Hexa-Cover® bildete sich im Laufe des Mastdurchgangs eine überwiegend trockene bis teilweise feuchte Schicht, bestehend aus dem Stroh des Beschäftigungsautomaten, Staub sowie Futterresten, welche den Luftabschluss über den Hexa-Cover® zusätzlich förderte (**Abbildung 2**). Die Liegefläche über dem Bereich der Hexa-Cover®-Abdeckung wurde zum Großteil sauber gehalten, was anhand von Verschmutzungsprofilen bereits

im Vorversuch deutlich wurde. Es konnte aber nicht komplett ausgeschlossen werden, dass im Aktivitäts- und Liegebereich Exkremate abgesetzt wurden. Diese Ergebnisse decken sich mit den Ausführungen in [15], bei denen die Abdeckung mit Natursteingranulat Pergulit™, Tongranulat Leca™ oder Stroh ebenfalls zu einem Anstieg der Methanemissionen führte, allerdings nur unter Laborbedingungen. Zieht man die Versuchsergebnisse von [10] mit dem Haltungssystem der getrennten Klimabereiche im gleichen Messzeitraum (Frühjahr: 18 g je Tag und Großvieheinheit) zum Vergleich heran, so kann festgestellt werden, dass die Werte aus dem Referenzabteil (R: 24 g je Tag und Großvieheinheit) ähnlich hoch sind. Hingegen weichen die Werte aus dem Versuchsabteil (B: 48 g je Tag und Großvieheinheit) deutlich ab. Die Abnahme der Emissionsraten über den gesamten Mastverlauf hinweg begründet sich auch hier durch die Bezugsgröße des Tiergewichtes (GV). Bisher konnten noch keine hinreichenden Erklärungen für die Entstehung der Peaks gefunden werden. Die Unterschiede des Referenzsystems zwischen der Behandlung A und B sind durch die Durchführungszeiträume (A = Sommer/Herbst; B = Winter/Frühjahr) zu erklären.

Wird die Flüssigmistoberfläche im Stall mit Materialien wie zum Beispiel Stroh und Mais [14] abgedeckt, ist der Ein-

fluss des Eintrags von Kot und Harn zu beachten. Natürliche Abdeckungsmaterialien sind dabei – im Gegensatz zu den verwendeten Schwimmkörpern – vermehrt biologischen Zersetzungsprozessen ausgesetzt [3], welche wiederum das Emissionsgeschehen beeinflussen. Die Ergebnisse aus Studien [15; 16; 17] zur Abdeckung von Flüssigmistbehältern im Freien sind daher nicht 1:1 auf Untersuchungen im Stall übertragbar.

Schlussfolgerungen

Die getesteten Minderungsstrategien konnten die Ammoniak- und Methanemissionen zum Teil reduzieren (Behandlung A mit wöchentlicher Entleerung des Flüssigmistkanals: Emissionsminderung bei Methan um 38 % bezogen auf die Emissionsrate in Gramm je Tag und GV; Behandlung B mit Flüssigmistabdeckung: 13 % Minderung bei den Ammoniakemissionsraten in Gramm je Tag und GV) und hatten zum Teil keinen Effekt oder sogar einen negativen Einfluss auf die Emissionen (Behandlung A mit wöchentlicher Entleerung des Flüssigmistkanals: kein Effekt auf die Ammoniakemissionen; Behandlung B mit Flüssigmistabdeckung: 50%iger Anstieg bei den Methanemissionsraten in Gramm je Tag und GV). Das gewählte wöchentliche Intervall für die Entleerung des Flüssigmistkanals kann nicht als Minderungsstrategie empfohlen werden.

Im Kontext mit bereits durchgeführten Studien zeigen diese Ergebnisse, dass es bezüglich des Flüssigmistmanagements zukünftig sinnvoll erscheint, mehrere Minderungsstrategien miteinander zu kombinieren (gleichzeitiges Abdecken der Flüssigmistoberfläche verknüpft mit regelmäßigem Entleeren). Für die Abdeckung der Flüssigmistoberfläche ist es wichtig, dass die Funktionsbereiche für die Nutzung durch die Tiere klar gegliedert sind. Der Bodenbelag muss so ausgeführt werden, dass die Tiere nur in den dafür vorgesehenen Bereich abkoten.

Um gesicherte Aussagen auch im Hinblick auf die Anwendbarkeit in der Praxis treffen zu können, ist es notwendig weitere Studien bezüglich der Abdeckung des Flüssigmists im Stall und der dafür geeigneten Materialien durchzuführen.

Insgesamt ist jede Emissionsminderung im Stall jedoch nur dann zielführend, wenn auch entlang der gesamten Verfahrenskette (Lagerung und Ausbringung) emissionsmindernde Maßnahmen stattfinden.

Literatur

- [1] Clemens, J.; Ahlgrimm, H.J. (2001): Greenhouse gases from animal husbandry: mitigation options. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, pp. 287–300
- [2] Eurich-Menden, B.; Döhler, H.; Van den Weghe, H. (2011): Ammoniakemissionsfaktoren im landwirtschaftlichen Emissionsinventar – Teil 2: Geflügel und Mastschweine. *Landtechnik* 66(1), S. 60–63
- [3] Meissner, P. (2004): Analyse und Bewertung des Emissionsverhaltens eines einstreulosen Mastschweinstalles mit Spülmistung im Vergleich zu Güllelagerung im Stall. *Forschungsbericht Agrartechnik VDI-MEG Schrift 425*, Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen
- [4] Ni, J.Q.; Vincker, C.; Coenegrachts, J.; Hendriks, J. (1999): Effect of manure on ammonia emission from a fattening pig house with partly slatted floor. *Livestock Production Science* 59, pp. 25–31
- [5] Dong, H.; Zhu, Z.; Zhou, Z.; Xin, H.; Chen, Y. (2011): Greenhouse gas emissions from swine manure stored at different stack heights. *Animal Feed Science and Technology* 166–167, pp. 557–561
- [6] Amon, B.; Kryvoruchko, V.; Fröhlich, M.; Amon, T.; Pöllinger, A.; Mösenbacher, I.; Hausleitner, A. (2007): Ammonia and greenhouse gas emissions from straw flow system for fattening pigs: Housing and manure storage. *Livestock Science* 112, pp. 199–207
- [7] Guingand, N. (2012): The frequency of emptying slurry on gas and odours emitted by piggeries equipped with flushing systems. *International Symposium on Emissions of Gas and Dust from livestock*. France, St-Malo, https://colloque4.inra.fr/var/emili2012/storage/fckeditor/file/Documents/sp3/GUINGAND_EMILI2012_SESSION3.pdf, Zugriff am 14.2.2014
- [8] Philippe, F.-X.; Cabaraux, J.-F.; Baudouin, N. (2011): Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141, pp. 245–260
- [9] Ye, Z.; Zhu, S.; Kai, P.; Li, B.; Blanes-Vidal, V.; Pan, J.; Wang, C.; Zhang, G. (2011): Key factors driving ammonia emissions from a pig house slurry pit. *Biosystems Engineering* 108, pp. 195–203
- [10] Gallmann, E. (2003): Vergleich von zwei Haltungssystemen für Mastschweine mit unterschiedlichen Lüftungsprinzipien – Stallklima und Emissionen. *Forschungsbericht Agrartechnik VDI-MEG Schrift 404*, Dissertation, Universität Hohenheim, Stuttgart
- [11] Häußermann, A. (2006): Stallklimaregelung und Emissionen – Entwicklung und Evaluierung sensorgestützter komplexer Regelstrategien für die Mastschweinehaltung. *Forschungsbericht Agrartechnik VDI-MEG Schrift 443*, Dissertation, Universität Hohenheim, Stuttgart
- [12] Pertagnol, J. (2013): Untersuchung zu verschiedenen Zuluftführungs- und Kühlungsmöglichkeiten in Mastschweineeställen. *Forschungsbericht Agrartechnik VDI-MEG Schrift 526*, Dissertation, Universität Hohenheim, Stuttgart
- [13] Häußermann, A.; Hartung, E.; Gallmann, E.; Jungbluth, T. (2006): Influence of season, ventilation strategy and slurry removal on methane emissions from pig houses. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, pp. 115–121
- [14] Blanes-Vidal, V.; Hansen, M.N.; Pederson, S.; Rom, H.B. (2008): Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: Effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 124, pp. 237–244
- [15] Berg, W.; Brunsch, R.; Paziszczi, I. (2006): Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, pp. 129–134
- [16] Amon, B.; Kryvoruchko, V.; Amon, T. (2006): Influence of different methods of covering slurry stores on greenhouse gas and ammonia emissions. *International Congress Series* 1293, pp. 315–318
- [17] Hansen, M.N.; Henriksen, K.; Sommer, S.G. (2006): Observation of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: Effects of covering. *Atmospheric Environment* 40, pp. 4172–4181

Autoren

M. Sc. Stephanie Gronow-Schubert ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und **PD Dr. sc. agr. Eva Gallmann** ist akademische Rätin am Fachgebiet Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme (Leiter: **Prof. Dr. Thomas Jungbluth**) des Instituts für Agrartechnik an der Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart. E-Mail: stephanie.gronow-schubert@uni-hohenheim.de.

Förderhinweis

Die Förderung des Vorhabens erfolgt durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft unter dem Förderkennzeichen GRK 1070/3.