

Anke Niebaum, Duisburg, Herman Van den Weghe, Vechta, Antje Ross und Günter Steffens, Oldenburg

# Emissionen frei gelüfteter Ställe

## Tracergasmethode zur Quantifizierung gasförmiger Emissionen aus quer gelüfteten Außenklimaställen für Mastschweine

*Das Emissionsverhalten frei gelüfteter Stallsysteme ist bisher kaum untersucht worden und daher Gegenstand aktueller Forschungstätigkeiten. Dabei bereitet die dynamische Ermittlung der jeweils aktuellen Luftvolumenströme frei gelüfteter Stallungen erhebliche Schwierigkeiten. Im Mittelpunkt der nachfolgend dargestellten Untersuchung stand die Entwicklung einer Tracergas-Messkonfiguration zur kontinuierlichen Bestimmung der Luftvolumenströme zweier ausgewählter Außenklimaställe für Mastschweine mit Querlüftung.*

Die Tracergas-Technik hat sich bereits als Ansatz zur Bestimmung von Luftvolumenströmen frei gelüfteter Stallsysteme, überwiegend Rinderställe, bewährt [3]. Der überwiegende Teil der Luftvolumenstromkalkulationen aus Praxisbetrieben basiert jedoch auf einer Tracermassenbilanzierung nach der Abklingmethode (rate of decay method). Die Grenzen der Anwendbarkeit dieser Messmethodik liegen sowohl in ihrer Eigenschaft als diskontinuierliches, punktuelles Messverfahren als auch in der Annahme, dass der Luftvolumenstrom während des gesamten Abklingintervalls konstant ist. Somit ist eine Messkonfiguration entwickelt worden, die eine kontinuierliche Ermittlung von Luftvolumenströmen in zeitlich kurzen Intervallen erlaubt.

### Entwickelte Messkonfiguration

Die Messkonfiguration - eine ausführliche Darstellung ist in [2] enthalten - besteht aus einem Stallluft-Sammelsystem und einem Tracergas-Dosiersystem. Das Stallluft-Sammelsystem dient der kontinuierlichen Bestimmung der mittleren Konzentrationen der

Gase NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> sowie des Tracergases SF<sub>6</sub> in der Stallfortluft. Über die gesamte Länge eines Stalles werden an der fest installierten Lochfolie beider Außenseiten PTFE-Schlauchleitungen in drei separaten Ebenen in einem Höhenabstand von 0,5 m verlegt und mit kritischen Glaskapillaren ausgestattet. Innerhalb einer Ebene beträgt der Abstand der Kapillaren zueinander 1,5 m. Jede Schlauchleitung ist an eine separate Vakuumpumpe angeschlossen, wobei aufgrund des Unterdrucks jede Schlauchebene die gleiche Menge an Stallluft ansaugt. Die Luft, die den Stall über den First/die Schächte verlässt, wird nach gleichem Prinzip beprobt. Die Vakuumpumpen fördern die Mischluft jeder Seitenleitung und die Mischluft des Firstes/der Schächte in eine offene 5l-PTFE-Sammelflasche, aus der der angeschlossene Multigasmonitor 1302 (Innova AirTech Instruments, Dänemark) die Analyseprobe zieht. Diese Stallluft-Mischprobe wird auf die Konzentrationen der vier ausgewählten Gase sowie SF<sub>6</sub> und Wasserdampf hin fotoakustisch analysiert. Es wird eine Messzyklenlänge von 125 s erreicht. Nebelversuche mit einem Nebel-

Dipl.-Ing. agr. Anke Niebaum war von 1997 bis 1999 Doktorandin an der LUFÄ der Landwirtschaftskammer Weser-Ems in Oldenburg. Ihre Doktorarbeit war in ein Gemeinschaftsprojekt der LUFÄ (Leitung: Dr. Günter Steffens, Projektleitung: Dr. A. Ross) und des Forschungs- und Studienzentrums für Veredelungswirtschaft Weser-Ems der Georg-August-Universität Göttingen in Vechta (Leitung: Prof. Dr. Ir. Herman Van den Weghe) eingebunden; e-mail: [h.niebaum@cityweb.de](mailto:h.niebaum@cityweb.de)  
Das Forschungsvorhaben wurde durch die Europäische Union und das Land Niedersachsen finanziert.

### Schlüsselwörter

Außenklimaställe für Mastschweine, Luftvolumenstrom, Tracergas-Technik, gasförmige Emissionen

### Keywords

Outside-climate pig fattening houses, air exchange rate, tracer gas-technique, gaseous emissions

Literaturhinweise sind unter LT 01313 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Tab. 1: Versuchsrelevante Merkmale der Außenklima-Versuchsställe 1 und 2 (VS I, VS II)

Table 1: Characteristics of the two experimental outside-climate pig houses (VS I, VS II)

Merkmale	VS I	VS II
Stallbau	Nürtinger-System	Nürtinger-System
Maße (Länge • Breite • Höhe)	65 m • 18 m • 6,5 m	36 m • 17 m • 6,5 m
Traufhöhe	3 m	3 m
Dachneigung	18°	18°
Ausrichtung	340° NW	310° NW
Anzahl Plätze	800	450
Management System	kontinuierlich	kontinuierlich
Effektives Luftvolumen im Stall <sup>1)</sup>	5213,5 m <sup>3</sup>	2710,4 m <sup>3</sup>
Natürliches Belüftungssystem	1,5 m	1,8 m
Höhe der seitlichen Öffnungen bei 1 m über dem Boden		
Vorhang	manuell schließbarer PE-Vorhang von unten nach oben	
Art des Schließens		
Durchlass der Windnetze	50 %	50 %
Luftausgänge/Dach	schließbare Firstlüftung	8 Schwerkraftlüfter
Güllegrube (Länge•Breite•Tiefe)	3 Gruben, jede: 65 m • 1,6 m • 0,75 m	3 Gruben, jede: 36 m • 1,5 m • 1 m
Emittierende Oberfläche [m <sup>2</sup> /MP]	0,36	0,37
[% der Netto-Fläche]	28	29

1) Effektives Luftvolumen des Gebäudes = Brutto-Luftvolumen des Außenklimastalls - Summe des Volumens der Ruheboxen

gerät („Mini-Mist“, Typ MicroFog, Brook, Jade) im Versuchsstall am Messtag vor Messbeginn geben über die aktuellen Zu- und Abluftsituationen im Stall Auskunft. Für die Ermittlung der Emissionsmassenströme werden nur die Schlauchleitungen angewählt und beprobt, die innerhalb der vorher definierten Abluftfläche liegen. Dazu ist eine Auswahl der Messtage erforderlich, denn eine eindeutige Durchströmung des Stalles ist nur an Tagen mit stabiler Wetterlage und einem Stall-Anströmungswinkel von 90° (senkrechte Stallanströmung) bis ± 45° gewährleistet. Die Anzahl der Sammelpunkte richtet sich nach der Größe des Stalles und der vorher definierten Abluftfläche.

Das entwickelte Tracergas-Dosiersystem besteht aus zwei Komponenten:

Eine Ringleitung mit integrierten kritischen Glaskapillaren als Injektionsmodule gewährleistet eine kontinuierliche und weiträumig fächerförmige Ausbringung eines Tracergas-Luft-Gemisches in den Stallraum. Diese wird nach Nebelversuchen sowie nach Modellierung mehrerer Klimasituationen und deren Auswirkungen auf das Lüftungsgeschehen im Stall (etwa Walzenbildung) fest im Stallraum installiert.

Die Apparatur zur Herstellung eines Tracergas-Luft-Gemisches definierter und gleichbleibender Konzentration befindet sich im Vorraum des Stalles. Vom Durchflussmengenmesser einer SF<sub>6</sub>-Druckflasche gelangt kontinuierlich eine definierte Menge reinen SF<sub>6</sub> über eine PE-Leitung in eine geschlossene 5L-Weithalsflasche. Das SF<sub>6</sub> Reingas wird mit einer definierte Menge Frischluft, die über eine druckstabile Verdünnerpumpe von der Luv-Seite des Stallgebäudes angesaugt wird, versetzt und zu einem homogenen Gasgemisch mit gleichbleibender Konzentration vermischt. Dieses gelangt in die Dosierleitung und wird von dort aus in den Stallraum injiziert.

## Berechnungsgrundlage

Der aus dem Stall austretende Luftvolumenstrom wird auf Grundlage der Methode der Konstanten Tracerinjektion (constant release method) kalkuliert (Gleichung 1), welche sich durch eine hohe Präzision und eine sehr gute Reproduzierbarkeit auszeichnet [1]. Durch die zweiminütige Konzentrations-Abstrategie des Multigasmonitors können auch die mittleren Luftvolumenströme eines Stalles in zweiminütigen Intervallen kalkuliert werden.

$$\dot{V}_e = \dot{V}_T \cdot c_T / (c_e - c_i) \quad (1)$$

wobei:  $\dot{V}_T \ll \dot{V}_i$  und  $\dot{V}_e \equiv \dot{V}_i$

mit:

$\dot{V}_e$ : aus dem Stall austretender Luftvolumenstrom [m<sup>3</sup>/h]

$\dot{V}_i$ : in den Stall eintretender Luftvolumenstrom [m<sup>3</sup>/h]

$\dot{V}_T$ : Volumenstrom des eingeleiteten Tracergases [m<sup>3</sup>/h]

$c_e$ : Tracergas-Konzentration der austretenden Luft [mg/m<sup>3</sup>]

$c_i$ : Tracergas-Konzentration der eintretenden Luft [mg/m<sup>3</sup>]

$c_T$ : Konzentration des eingeleiteten Tracergases [mg/m<sup>3</sup>]

## Ablauf der Messungen / Versuchsställe

Die Messungen wurden in den Monaten Mai 1998 bis Februar 1999 an je einem Tag in der Woche für maximal 24h in den Versuchsställen 1 (VS I) und 2 (VS II) durchgeführt. Beide Ställe folgen dem baulichen Konzept der strohlosen Außenklimastallvariante nach dem Nürtinger-System. *Tabelle 1* gibt eine Übersicht über versuchsrelevante Daten der beiden Versuchsställe und -betriebe.

Zeitgleich zur Gaskonzentrationsanalyse werden kontinuierlich in einminütigen Intervallen die klimatischen Parameter im und am Stallgebäude aufgezeichnet. Eine ausführliche Beschreibung der messtechnischen Versuchsausstattung gibt [2].

## Ergebnisse

### Regressionsanalysen

Eine für beide Versuchsställe separate Modellierung der Luftvolumenströme auf Basis der kumulierten Tagesmessungen bei optimalen Anströmungsverhältnissen war in beiden Fällen sehr erfolgreich ( $R^2_{\text{Modell}} > 0,86$ ). Dabei haben sich die Parameter „Zuluft-

fläche“, „Abluftfläche“ und „Temperaturdifferenz Stallluft – Außenluft“ als signifikante Haupteinflussfaktoren auf den Luftvolumenstrom herauskristallisiert. Näheres über Auswahl der Regressoren und die auswertende Statistik findet sich bei [2].

### Quantifizierung gasförmiger Emissionen

Die kontinuierlich erfassten Konzentrationen und korrespondierenden Luftvolumenströme ermöglichen die Aufzeichnung tageszeitlicher Emissionsprofile der Gase. Die Messwerte werden je nach Außenklimaverhältnissen Sommer- ( $\Theta_{T_{\text{Außenluft}}} > 15 \text{ °C}$ ) oder Wintersituationen ( $\Theta_{T_{\text{Außenluft}}} < 15 \text{ °C}$ ) zugeordnet. *Tabelle 2* gibt die berechneten als auch die aufgrund der Ergebnisse eines Validierungsversuches [2] korrigierten Mittelwerte der gemessenen Gaskonzentrationen, Luftvolumenströme und Emissionsmassenströme der beiden Versuchsställe wieder. Auffällig sind die sehr hohen Luftvolumenströme, die die in DIN 18910 geforderten Mindestluftraten um ein Vielfaches übersteigen. Für die berechneten NH<sub>3</sub>-Emissionen ergibt sich im Vergleich zu Literaturwerten für zwangsbelüftete Vollspaltenbodenställe ein Emissionsminderungspotenzial von etwa 20%. Die ermittelten N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen sind mit dem Emissionspotenzial zwangsbelüfteter Vollspaltenbodenställe vergleichbar. Der Einfluss der Jahreszeit auf die CH<sub>4</sub>-Emissionen ist erheblich, was auf die starke Abhängigkeit der Methanogenese von der Temperatur zurückgeführt werden kann.

Tab. 2: Mittlere Konzentration und berechnete sowie korrigierte Emission der Gase NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> während ausgewählter Messtage der Messkampagne Mai 1998 bis Februar 1999 aus den Versuchsställen VSI und VSII

Table 2: Average concentration and computed as well as corrected emission of the gases NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> during selected days from the measuring period May 1998 to Feb. 1999, VSI and VSII

Variable	Einheit	VSI				VSII			
		Sommer (6 Tage)		Winter (9 Tage)		Sommer (11 Tage)		Winter (12 Tage)	
		gemessen	korr.	gemessen	korr.	gemessen	korr.	gemessen	korr.
Konzentration									
NH <sub>3</sub>	[mg/m <sup>3</sup> ]	1,64		4,5		3,9		6,62	
N <sub>2</sub> O	[mg/m <sup>3</sup> ]	n.d. <sup>3)</sup>		0,68		n.d.		0,77	
CH <sub>4</sub>	[mg/m <sup>3</sup> ]	5,13		5,47		7,52		5,55	
CO <sub>2</sub>	[mg/m <sup>3</sup> ]	1185		2095		1395		1919	
Luft Austauschrate									
	[m <sup>3</sup> /h]	148870	89322	82190	49314	55915	33549	48264	28959
	[m <sup>3</sup> /LG <sup>1)</sup> h]	1045	627	575	345	837	502	679	407
Emissionen									
NH <sub>3</sub>	[g/LG h]	40,13	23,41	46,35	27,81	71,75	43,05	95,61	57,36
	[g/MP <sup>2</sup> d]	7,12	4,27	8,39	5,04	10,78	6,47	15,05	9,03
N <sub>2</sub> O	[g/LG d]	n.d. <sup>3)</sup>	n.d. <sup>3)</sup>	4,61	2,77	n.d.	n.d.	6,27	3,76
	[g/MP <sup>2</sup> d]	n.d. <sup>3)</sup>	n.d. <sup>3)</sup>	0,84	0,50	n.d.	n.d.	0,98	0,59
CH <sub>4</sub>	[g/LG d]	120,61	72,37	71,96	43,18	140,08	84,05	105,37	63,22
	[g/MP <sup>2</sup> d]	22,26	13,36	12,88	7,73	21,10	12,66	16,71	10,02
CO <sub>2</sub>	[g/LG d]	28,61	17,17	23,61	14,17	27,21	16,33	29,41	17,64
	[g/MP <sup>2</sup> d]	5,15	3,09	4,24	2,54	4,06	2,43	4,64	2,78

<sup>1)</sup>LG: Lebend-Gewicht, <sup>2)</sup>MP:Mastplatz, <sup>3)</sup>n.d.: nicht wahrnehmbar