

Umweltgerechte Mastschweinehaltung I – Sensitivität der Emissionsmessungen

Eva Gallmann, Eberhard Hartung und Thomas Jungbluth
Universität Hohenheim, Stuttgart

Mit der Zielsetzung, die Umweltwirkung von Mastschweinehaltungssystemen zu beurteilen, werden am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim im Rahmen von kontinuierlichen Emissionsmessungen ein Vollspaltenstall (VSP) mit einem frei belüfteten Haltungssystem mit getrennten Klimabereichen (GK) miteinander verglichen. Zur Sicherung der Zuverlässigkeit der Daten ist zunächst eine Prüfung der Qualität der Messung, der methodischen Vorgehensweise und Versuchsdurchführung notwendig. Schließlich werden Kriterien für eine Datenselektion unter Berücksichtigung der Sensitivität der Emissionsmessungen festgelegt, bevor die Daten für einen Vergleich der Emissionsraten herangezogen werden.

Bei der Bestimmung der Gaskonzentrationen von Ammoniak (NH_3) und Methan (CH_4) muß eine Wasserdampfquerempfindlichkeit der Meßgeräte von 0,23 bzw. 0,65 ppm/g $\text{H}_2\text{O}/\text{kg}$ Luft berücksichtigt werden. Dies schränkt vor allem bei CH_4 die Verwendbarkeit und Aussagekraft von geringen Konzentrationswerten bei Wassergehalten in der Probenluft von 10 bis 20 g/kg Luft stark ein. Der Nachweis von Leckluftströmen an der Zuluftöffnung des frei belüfteten Haltungssystems mit einer hohen zeitlichen Auflösung gelingt durch einen Vergleich der Kohlendioxidkonzentration (CO_2) in zwei Höhen mit der Hintergrundkonzentration. Für diese Zeiträume ist keine Emissionsratenbestimmung möglich. Bei der Betrachtung des Verlaufs der Gaskonzentrationen im Flüssigmistkeller zeigt sich beim System GK ein Einfluß der Zulufttemperatur auf den Luftaustausch durch den Spaltenboden. Die bei beiden Systemen beobachteten CO_2 -Konzentrationen weisen darauf hin, daß Umsetzungsprozesse in den Exkrementen im Vergleich zum tierspezifischen Anteil an der Gasfreisetzung stärker beteiligt sind, als bisher vermutet.

Schlüsselwörter

Mastschweinehaltung, Umweltgerechtigkeit, Emissionen, klima- und umweltrelevante Gase, Messmethodik

Einleitung

Die sich ändernden rechtlichen Rahmenbedingungen für die landwirtschaftliche Tierhaltung sowie die Verbraucheransprüche bezüglich der Tier- und Umweltgerechtigkeit von Haltungssystemen im Zusammenhang mit Anforderungen an Produktsicherheit und -qualität müssen in der landwirtschaftlichen Praxis umgesetzt werden. Zur Diskussion stehen z.B. die Entwicklung von emissionsmindernden Techniken um Nährstoffeinträge in die Umwelt und Stoffausträge in die Atmosphäre zu reduzieren. Neuerungen in den Handlungsverordnungen für landwirtschaftliche Nutztiere bezüglich beispiels-

weise des Flächenangebotes und der –beschaffenheit zwingen zum Umdenken und zur Anpassung und Optimierung von bestehenden Haltungssystemen und Entwicklung neuer Haltungssysteme. Dem damit verbundenen Handlungs- und Forschungsbedarf wird am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim Rechnung getragen, indem umfassende Untersuchungen zur Beurteilung von verschiedenen Mastschweinehaltungssystemen in einem eigens hierfür entwickelten Versuchsstall [1] durchgeführt werden. Anhand von Vergleichsuntersuchungen im Rahmen mehrerer parallel durchgeführter Forschungsprojekte werden Fragestellungen zu Tierverhalten, Tiergesund-

heit- und leistung, Stallklima und den Emissionen von Geruch sowie klima- und umweltrelevanter Gase bearbeitet.

In diesem Beitrag wird die methodische Vorgehensweise und Sensitivität des Messsystems zur Beschreibung und Beurteilung der Umweltwirkung von zwei Mastschweinehaltungssystemen dargestellt.

Problemstellung

Als bisherige Beurteilungsgrundlage für die Umweltwirkung bestehender Mastschweinehaltungssysteme werden in der Regel vorhandene Daten in der Literatur zu den Emissionen klima- und umweltrelevanter Gase für verschiedene Tierarten und Handlungsverfahren herangezogen und diskutiert. Dabei sind jedoch folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Am Beispiel der NH_3 -Emissionsdaten zur Mastschweinehaltung, zeigt sich, dass die Streubreite der Ergebnisse über verschiedene Haltungssysteme und Messungen sehr hoch ist [2] und diese nur eingeschränkt vergleichbar sind.
- Für die klimarelevanten Gase wiederum sind die Daten bisher noch sehr lückenhaft oder es bestehen wie z.B. beim Lachgas (N_2O) noch erhebliche messtechnische Schwierigkeiten zur Bestimmung der Gaskonzentration [3].
- Weiterentwicklungen hinsichtlich der Untersuchungs- und Messmethoden schränken die Vergleichbarkeit und Verlässlichkeit älterer Daten ein.
- Für neue Handlungsverfahren liegen bisher kaum Ergebnisse vor. Hiermit verbunden sind die sich verbreitenden freien Lüftungssysteme problematisch hinsichtlich einer zuverlässigen Volumenstrombestimmung als Basis für eine genaue Emissionsmessung.

Um sowohl die Datenqualität als auch Vergleichbarkeit von Messungen zu verbessern, sollten Emissionsmessungen eine kontinuierliche Erfassung der Luft- und Gaskonzentrationen beinhalten, die wiederum im Rahmen von Langzeitversuchen über mehrere Jahreszeiten durchge-

führt werden [3]. Für einen Vergleich verschiedener Haltungssysteme sind weiterhin zeitgleiche Paralleluntersuchungen verschiedener Haltungssysteme unter möglichst sonst gleichen Bedingungen anzustreben.

Nur so ist es möglich, tages- und jahreszeitliche Variationen der Emissionen in Abhängigkeit unterschiedlicher Rahmenbedingungen (z.B. Witterung, Fütterung, Alter der Tiere u.ä.) innerhalb eines Systems festzustellen und diese wiederum von der Variation zwischen unterschiedlichen Systemen zu differenzieren. Zur Sicherung der Zuverlässigkeit der Daten ist es notwendig die Qualität des Messsystems und des Messablaufs sowie der Versuchsdurchführung zu evaluieren, die gewonnenen Daten anhand von geeigneten Kriterien zu prüfen, zu selektieren und auszuwerten.

Zielsetzung

Unter Berücksichtigung der oben genannten Problemstellung lassen sich folgende Ziele für die eigenen Untersuchungen ableiten.

Das Hauptziel ist ein Systemvergleich von zwei unterschiedlichen Haltungssystemen für Mastschweine hinsichtlich der Emissionen von NH_3 , CO_2 , CH_4 und N_2O . Dieses soll über folgende Teilziele erreicht werden:

- Erfassung von zuverlässigen Daten mit einer hohen zeitlichen Auflösung aus zwei Haltungssystemen im zeitgleichen Parallelbetrieb,
- Vergleich der Innenraumluftqualität und Stallklimaparameter,
- Vergleich von Tageseffekten und saisonalen Effekten,
- Vergleich der Sensitivität für verschiedene Einflussfaktoren,
- Vergleich der Emissionsraten.

Im ersten Teil einer Artikelreihe zur „Umweltgerechten Mastschweinehaltung“ werden im folgenden die Vorgehensweise zur Zielerreichung sowie Ergebnisse zur Sensitivität und Zuverlässigkeit des Messsystems dargestellt und diskutiert.

Versuchsstall für Mastschweine

Die Untersuchungen werden im Hohenheimer Versuchsstall für Mastschweine [1] durchgeführt. Auf Grund seiner Konzeption und Unterteilung in zwei räumlich getrennte Abteile in einem Gebäude ist die Durchführung von zeitgleichen Untersuchungen an zwei unterschiedlichen Haltungssystemen im Parallelbetrieb

möglich. Somit sind die Umgebungsbedingungen, Tierbetreuung und Routinearbeiten bei beiden Haltungssystemen als gleich anzusehen.

Gegenstand der Untersuchung sind ein **Vollspaltenstall (VSP)** mit Zwangslüftung (Unterflurabsaugung) im Vergleich zu einem Haltungssystem mit **getrennten Klimabereichen (GK)**, teilperforiertem Boden und freier Lüftung (Schachtlüftung). Das System GK wurde als Umbaulösung für Vollspaltenställe entwickelt und im Versuchsstall selber als Umbaumaßnahme realisiert. Die Ausführung des Systems GK im Versuchsstall für Mastschweine ist in [4] detailliert beschrieben. Systembedingte Unterschiede zwischen den Haltungssystemen ergeben sich für die Bereiche Aufstallung und Lüftung, wohingegen das Fütterungssystem (Sensorfütterung) und Entmistungssystem nicht verändert wurden.

Tabelle 1 vergleicht anhand einer Kurzbeschreibung die beiden Haltungssysteme. Anhand des Grundrisses in **Bild 1** sind die unterschiedliche Flächenaufteilung sowie Zuluft- und Abluftführung der beiden Systeme dargestellt.

Das System VSP ist in 6 Buchten mit jeweils einem Quertrog und Beschäftigungsautomaten aufgeteilt. Die Zuluft gelangt über den Versorgungsgang in zwei jeweils mittig über der Buchtenreihe angeordnete Porenkanäle in den Tierbereich und wird zentral Unterflur abgesaugt. Das System GK weist zwei grössere Buchten mit jeweils zwei perforierten Flächenanteilen und einem abgedeckten planbefestigten Liegebereich auf. Jede Bucht verfügt über einen Längstrog und zwei Beschäftigungsautomaten. Die Zuluft gelangt durch eine 80 cm breite Öffnung, deren Öffnungshöhe durch ein temperaturgeregeltes Wickelrollo variiert werden kann, auf der gesamten westlichen Stallbreite in den Innenraum. Mittig über dem Buchtengang sind drei Kamine als Abluftöffnungen für die Schwerkraftlüftung vorgesehen. Im östlichen Kamin wird zusätzlich ein temperaturgeregelter solarbetriebener Ventilator zur Stützventilation im Sommer eingesetzt, wenn der Winddruck und die Temperaturdifferenz als Hauptantriebskräfte für den Luftaustausch nicht ausreichen.

Tabelle 1: Kurzbeschreibung und Vergleich der untersuchten Haltungssysteme

	Referenzsystem Vollspalten (VSP)	Umbaulösung getrennte Klimabereiche (GK)
Aufstallung Buchteneinteilung Abmessungen ohne Trogfläche Nettofläche pro Tier Lauffläche Liegefläche	6 Buchten a 9 Tiere 3,30 m x 2,20 m 0,8 m ² Spaltenboden Betonvollspalten	2 Buchten a 24 Tiere 7,80 m x 3,30 m 1 m ² gangseitig Betonspalten wandseitig Kunststoffroste planbefestigt (Betonelemente), beheizbar und kühlbar 1,50 m breit, 0,4 m ² /Tier Hartschaumstoffplatten 1,20 m breit, 1,10 m hoch beidseitig Streifenvorhänge
Liegeflächenabdeckung Trogranordnung Beschäftigung	Entfällt (Warmstall) Einzelquertrog Je 1 Beschäftigungsautomat für 9 Tiere	Längstrog Je 2 Beschäftigungsautomaten für 24 Tiere
Lüftung Zuluft Abluft	Zwangslüftung Unterflurabsaugung Rieselkanal mittig über jeder Buchtenreihe Unterflurabsaugung unter dem gesamten Futtergang 1 Abluftkamin mit D = 63 cm	Freie Lüftung Schachtlüftung 80 cm breite Öffnung ab 1,70 m über Stallbodenniveau über gesamte westliche Stallbreite (Zuluffläche 6 m ²) temperaturgeregeltes Wickel- rollo Schwerkraft-Schachtlüftung 3 Oberflurabluftschächte mit jeweils D = 63 cm östlicher Kamin zur Stützventi- lation mit temperaturgeregeltem Solarventilator
Fütterung	Flüssigfütterung mit Füllstandssensoren im Trog Tier-/Fresspaltverhältnis 3:1 16 Mahlzeiten von 6:00 bis 22:00	
Entmistung	Flüssigentmistung Beidseitig des Futterganges jeweils ein Flüssigmistbehälter mit Lagerkapazität für einen Mastdurchgang Rohrentmistung mit Eimerverschlüssen	

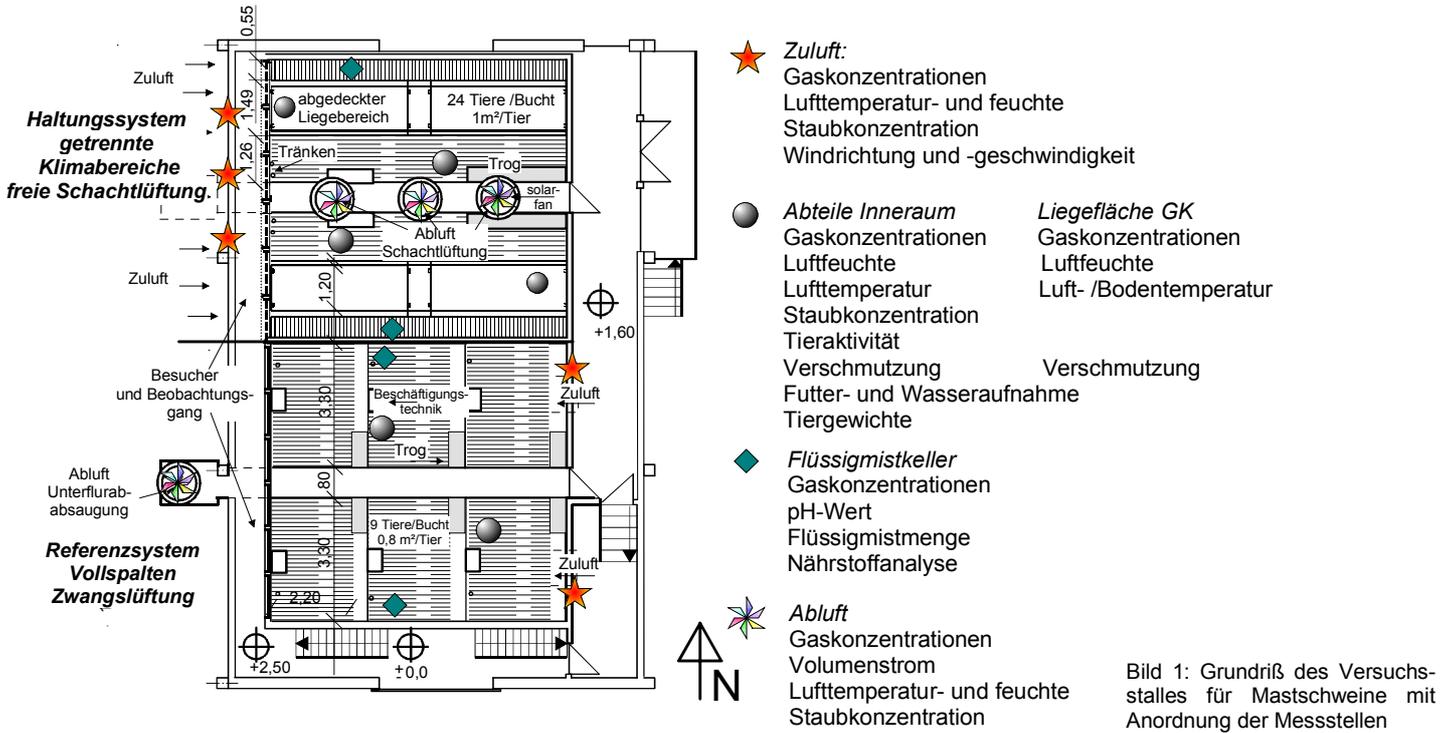


Bild 1: Grundriß des Versuchstalles für Mastschweine mit Anordnung der Messstellen

Versuchskonzeption

Die Hauptversuche erstrecken sich über vier aufeinanderfolgende Mastdurchgänge à 16 Wochen zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Ein vorheriger Mastdurchgang diente im Rahmen von Voruntersuchungen zur Anpassung und Überprüfung der Messmethodik. Die Stallbelegung erfolgt im Rein-Raus-Betrieb. Wie aus **Tabelle 2** ersichtlich wird, können durch den zeitlichen Ablauf Emissionsdaten für Übergangsjahreszeiten mit einer hohen tageszeitlichen Variation sowie für saisonale Effekte an heißen und kalten Tagen, jeweils zu Mastanfang und -ende, erhoben werden.

Das System VSP dient als Referenzsystem und bleibt während der Untersuchungen unverändert. Bei dem neuentwickelten System GK wurden im Laufe der Untersuchungen leichte Veränderungen an der Aufstallung und Betriebsweise notwendig, um die Funktionssicherheit der Lüftung und das Einhalten der Funktionsbereiche durch die Tiere zu verbessern. In **Tabelle 2** wird kurz auf die veränderten Einstellungen im Haltungssystem GK eingegangen.

Für die spätere Auswertung und Bewertung der Emissionsdaten bedeutet dies, dass einerseits anhand der Wiederholungen am unveränderten Referenzsystem nachgewiesen werden kann, wie hoch die Schwankungsbreite der Ergebnisse allein innerhalb eines Haltungssystems ist bzw. für vergleichbare Rahmenbedingungen bei verschiedenen Mastdurchgängen. Andererseits können Unterschiede zwischen den Haltungssystemen dementsprechend

nur dann nachgewiesen werden, wenn die Variation innerhalb eines Systems geringer ist als die Variation zwischen den Systemen.

Messgrößen

Die für die Emissionsberechnung relevanten Messgrößen Gaskonzentrationen und Volumenströme und Einflussfaktoren (Quellen, Freisetzungsbedingungen, Umgebungsbedingungen) auf das Emissionsgeschehen werden soweit möglich kontinuierlich online erfasst. Eine Aufstellung der erfassten Messgrößen mit Angaben zu den verwendeten Messgeräten und Abstraten bzw. der Erfassungshäufigkeit über die Mittelwertbildung enthält **Tabelle 3**. Generell wird es als sinnvoll erachtet, eine hohe zeitliche Auflösung un-

ter Berücksichtigung der Einpegelzeit des jeweiligen Messgerätes oder -sensors zu wählen, um Schwankungen der Messgrößen und kurzzeitige Ereignisse und Veränderungen sichtbar machen zu können. An dieser Stelle soll nur näher auf die Volumenstrom- und Gaskonzentrationsbestimmung eingegangen werden.

Die Volumenstrombestimmung in allen vier Abluftkaminen erfolgt mit Messventilatoren (Flügelradanemometer), die den gesamten Abluftquerschnitt erfassen. Die Flügelräder der Messventilatoren werden durch die in den Abluftkaminen strömende Luft in eine Drehbewegung versetzt, dessen Umdrehungsfrequenz ein genaues Maß für die durchströmte Luftmenge darstellt. Mit einem Frequenz-Spannungswandler wird die Umdrehungsfrequenz in ein Spannungssignal umgewandelt. Der lineare Zusammenhang zwischen Signal-

Tabelle 2: Versuchsplan

	Mastdurchgang	Haltungssysteme	
1	Oktober 99 bis Februar 00	Referenzsystem Vollspalten	Getrennte Klimabereiche Ohne Solarventilatorregelung
2	März 00 bis Juni 00	Referenzsystem Vollspalten	Getrennte Klimabereiche <i>Änderungen:</i> Mit Solarventilatorregelung Möglichkeit zur stufenweisen Öffnung von Abluftlöchern in den Liegeflächenabdeckungen
3	August 00 bis Dezember 00	Referenzsystem Vollspalten	Getrennte Klimabereiche <i>Änderungen:</i> Verlegung eines Kontrollganges zwischen den Liegebereichen von der Buchtenmitte ans westliche Buchtenende Installation einer temperaturgeregelten Sprühanlage zur Evaporationskühlung
4	Januar 00 bis April 00	Referenzsystem Vollspalten	Getrennte Klimabereiche Keine Änderungen vorgesehen

Tabelle 3: Übersicht der Messparameter und Messgeräte

Messgröße	Messgerät/-prinzip	Messbereich/Genauigkeit	Messhäufigkeit pro Messstelle	Abtastrate
NH ₃	NDIR-Spektroskopie BINOS Fa. Rosemount	0 – 100 ppm " 1 ppm	<i>Zuluft, Abluft:</i> jeweils alle 15 min	1 sec
CO ₂	NDIR-Spektroskopie UNOR 610 Fa. Maihak	0 – 10000 ppm " 10 ppm	<i>Innenräume, Güllekeller:</i> jeweils 1x pro Stunde <i>Mittelwertbildung:</i> Aus den letzten 30 Einzelwerten der Beprobungszeit von 150 sec (Einpegelzeit = 120 sec)	
CH ₄	NDIR-Spektroskopie UNOR 610 Fa. Maihak	0 – 300 ppm " 3 ppm		
CO ₂ Beprobung des Zuluft- seite des Systems GK	NDIR-Spektroskopie ULTRAMAT U22 Fa. Siemens	0 – 5000 ppm " 50 ppm	alle 75 sec <i>Mittelwertbildung:</i> Aus den letzten 30 Einzelwerten der Beprobungszeit von 75 sec	1 sec
Volumenstrom	Flügelradanemometer Frequenzmessung	200 – 10000 m ³ /h " 20 m ³ /h	Mittelwerte alle 10 sec und 3 min	1 sec
Lufttemperatur	PT 100 (Widerstand)	-30 - +70 °C " 1°C	Mittelwerte alle 5 min	10 sec
Rel. Luftfeuchte	Kapazitiver Feuchtesensor	0 – 100 % " 1 %	Mittelwerte alle 5 min	10 sec
Tieraktivität	Infrarot-Detektor	0 – 5 V Skalenwert	Mittelwert alle 30 sec	1 sec
Staub	Laser-Photometer	0,001 - 100 mg/m ³ " 0,001 mg/m ³	Im Rahmen von 3-tägigen Messkam- pagnen 1x monatlich Mittelwert alle 30 sec	1 sec
N ₂ O	Perklin-Elmer Gaschromato- graph ECD-Detektor	unt. Nachweisgrenze 0,30 ppm	1 mal wöchentlich 1 Vacutainerprobe pro Messstelle	---
der Wetterstation: - Windrichtung - Windgeschwindigkeit - Helligkeit	360° Potentiometer Löffelradanemometer Fotowiderstand	0° - 360° " 10% 0,1 – 128 m/s " 10 % 1 – 200000Lux " 20 %	<i>Mittelwertbildung:</i> 5 min 5 min 5 min	1 sec 1 sec 1 sec
Wasserverbrauch	Elektrischer Impulsgeber	L " 0,1 l	Kontinuierlich über den Mastdurchgang	1 x wöchentlich Ablesen
im Flüssigmist: - Pegelstand - pH-Wert - Gesamtstickstoff, - löslicher Stickstoff - Kalium, Phosphor - Trockenmasse	Messung der Füllstandshöhe pH-Meter Kjeldahlverfahren (Flammen)photometrie Trocknung	--- 0-14 pH " 0,1 pH	1 mal wöchentlich je 1 Probe aus jedem Flüssigmistbe- hälter	---
Leistungsdaten der Mastschweine: - tgl. Zunahmen - Futtermittelverwertung	Wiegen, Fütterungsdaten Futtermittelverbrauch	---	ca. alle 4 Wochen	---
Tier- /Flächen- verschmutzung	Erhebungsbogen		2 bis 3 mal wöchentlich	

spannung und Volumenstrom wurde bei der Kalibrierung jedes Messventilators an einem Ventilatorprüfstand ermittelt [5]. Zur Konzentrationsbestimmung von NH₃, CO₂ und CH₄ wird jeweils ein spezifisches Gasanalysegerät nach dem Prinzip der Nicht-Dispersiven Infrarotspektroskopie (NDIR) genutzt. Die Bestimmung der Gaskonzentrationen kann nur quasi-kontinuierlich für die einzelnen Messstellen nacheinander erfolgen. Die Beprobungszeit pro Messstelle beträgt 150 sec bei einer Einpegelzeit von 120 sec, so dass nur die Messwerte der letzten 30 sec (Abtastrate = 1 sec) gemittelt und abgespeichert werden. Über einen Messstellenumschalter wird die jeweilige Probenluft über kondenswassergeschützte Teflonschläuche in eine Laborflasche gesaugt, woraus wiederum die Gasanalyse-

toren ihr Probenvolumen entnehmen. Hierbei erfolgt jeweils zeitgleich eine Bestimmung der relativen Luftfeuchte und Temperatur der Probenluft, um daraus den Wasserdampfgehalt der Luft an der Messstelle zu berechnen. Dieser Parameter wird für die Korrektur der gemessenen Gaskonzentrationen um die Wasserdampfquerempfindlichkeit bei NH₃ von 0,23 ppm/g H₂O/kg Luft und bei CH₄ von 0,65 ppm/g H₂O/kg Luft benötigt. Die N₂O-Konzentrationsbestimmung kann im Rahmen dieser Untersuchungen nur stichprobenartig durchgeführt werden, da kein im niedrigen Messbereich kontinuierlich arbeitendes Messgerät zur Verfügung steht, dessen Auflösung mindestens +/- 25 ppb betragen sollte. Deshalb werden während der wöchentlichen Routine von jeder Messstelle Vacutainerproben

entnommen und im Labor am Gaschromatographen analysiert. Die Erhebung der N₂O-Konzentrationen dient in diesem Fall allein zur Einschätzung der Konzentrationshöhe und inwieweit an den verschiedenen Messstellen Unterschiede zur Hintergrundkonzentration nachweisbar sind und eine Emissionsberechnung möglich ist.

Beprobung der Messstellen

In Bild 1 sind auf dem Grundriss für die beiden Haltungssysteme die Anordnung der Messstellen und die dort erfassten Messgrößen dargestellt. Außer bei der Gaskonzentrationsbestimmung erfolgt die Bestimmung aller kontinuierlich erfassten Messgrößen (z.B. Volumenstrom, Tem-

peraturen, Aktivität) in beiden Haltungssystemen zeitgleich.

Besondere Bedeutung haben im Rahmen der Emissionsmessung die Beprobung der Zu- und Abluft des jeweiligen Systems. Durch entsprechende Verzweigung der Teflonschläuche wird von jeder Zu- und Abluftöffnung eine Mischprobe aus mehreren Entnahmepunkten entnommen. Die Gaskonzentrationen in der Zuluft werden als die sog. Hintergrundwerte von den Abluftkonzentrationen abgezogen und diese Differenz geht in die Emissionsberechnung ein. Des Weiteren wird durch die Differenzbildung die auftretende Drift der Gasanalysatoren kompensiert.

Die Abfolge der Beprobung der Messstellen ist darauf ausgelegt, dass sowohl die Beprobung der jeweiligen Zu- und Abluft eines Systems direkt hintereinander als auch ein Vergleich der beiden Haltungssysteme möglichst oft und dicht hintereinander erfolgt. Innerhalb von 15 min ist die Beprobung der Zu- und Abluftstellen beider Haltungssysteme abgeschlossen. Die Messstellen im Innenraum, in den Liegebereichen und im Flüssigmistkeller werden nur einmal pro Stunde ebenfalls innerhalb von 15 min beprobt. Somit werden innerhalb einer Stunde dreimal hintereinander für 15 min die Gaskonzentrationen für die Emissionsberechnung bestimmt und einmal anschließend die restlichen Messstellen beprobt. Die Messstellen im Innenraum, Liegebereich und Flüssigmistkeller dienen als Stichproben zur Beurteilung der Stallluftqualität und des Freisetzungsgeschehens. Sie können auf Grund der zu erwartenden inhomogenen Verteilung der Gase im Raum [6, 7] nicht als insgesamt repräsentativ angesehen werden, liefern jedoch wichtige Anhaltspunkte für verschiedene Stallbereiche, die als interessant erachtet werden.

Für die Berechnung von Emissionsraten ist es notwendig, die Menge aller Abluftvolumenströme zu erfassen. Besonders bei frei belüfteten Ställen tritt jedoch das Problem auf, dass Luft aus dem Innenraum nicht nur durch die vorgesehenen Abluftöffnungen den Stall verlässt, sondern als Leckluft zum Teil auch aus den Zuluftöffnungen entweicht [8]. In diesen Fällen ist eine Emissionsratenbestimmung nicht möglich, da die Leckluftmenge nicht quantifizierbar ist. Deshalb ist es wichtig, die Zeiträume, in denen Leckluft auftritt für die notwendige Datenselektion zu erkennen. Hierzu ist an der Zuluftöffnung des Systems GK eine gesonderte Bestimmung der CO_2 -Konzentration in zwei verschiedenen Höhen vorgesehen, die im Abstand von 75 sec jeweils abwechselnd beprobt wer-

den. Die Leckluftströme sind anhand der an der Zuluftöffnung auftretenden höheren CO_2 -Konzentration der entweichenden Innenraumluft im Vergleich zur Hintergrundkonzentration der Zuluft erkennbar.

Datenkontrolle und -aufbereitung

Im Rahmen der Routinearbeiten erfolgt die Wartung und Kontrolle der Messgeräte. Die Nullpunktdrift der Gasanalysatoren wird wöchentlich korrigiert sowie die Empfindlichkeitsdrift mit entsprechenden Prüfgasen monatlich kalibriert. Eine vollständige Dokumentation der Vorgänge im Stall zu z.B. Tieren, Fütterung, tägl. Abläufen oder besonderen Vorkommnissen ist wichtig für die spätere Interpretation der Messergebnisse unter Berücksichtigung der Randbedingungen. Eine Kontrolle der Messwerterfassung und Funktion der Sensoren ist täglich durch Zugriff auf den Messrechner durch eine Modemverbindung möglich.

Mit dem Ziel nur zuverlässige Daten für die weitere Auswertung zu selektieren zählen zur Datenaufbereitung:

- Drift- und Wasserdampfkorrekturen der Gaskonzentrationen,
- Bestimmung von Leckluftzeiträumen anhand der Prüfkriterien CO_2 -Konzentration an der Zuluftöffnung, Höhe der Volumenströme und Anströmung des Stalles,
- Plausibilität und Vollständigkeit der Datensätze,
- Störungen der Untersuchungen durch besondere Ereignisse.

Es gehen nur selektierte Daten in die weitere Auswertung und Berechnung von z.B. Tages- oder Monatsmittelwerten ein. Unsichere Daten und Zeiträume werden verworfen. Es wird keine Interpolation von Daten für fehlende Zeiträume durchgeführt.

Im Rahmen von praktischen Untersuchungen ist es nicht ungewöhnlich, wenn ein grosser Anteil der Daten verworfen werden muss [8]. Daher ist es wichtig, kontinuierliche Daten zur Verfügung zu haben, die einerseits eine eingehende Plausibilitätsprüfung erst ermöglichen, und andererseits nach Selektion noch genügend Aussagekraft zum Nachweis von tages- und jahreszeitlichen oder kurzzeitigen Effekten aufweisen. Durch die Langzeitmessung wiederum erhöht sich die Chance, für verschiedene Randbedingungen zuverlässige Daten zu erhalten und durch Wiederholungen bestätigen zu können.

Ergebnisse zur Sensitivität

Im folgenden sollen Beispiele für die Sensitivität des Messsystems gezeigt werden, anhand derer die Qualität der Emissionsmessungen mit der oben beschriebenen Methodik beurteilt werden kann.

Einfluss der Wasserdampfquerempfindlichkeit bei der Beprobung der Messstellen

In **Bild 2** sind die Gaskonzentrationen von NH_3 und CH_4 jeweils mit und ohne Wasserdampfkorrektur sowie der Wassergehalt der Probenluft an den nacheinander beprobten Messstellen für eine Zeit von 75 min dargestellt. Wie im Abschnitt „Beprobung der Messstellen“ dargelegt, werden dreimal hintereinander die Gaskonzentrationen an den Messstellen 1 bis 6 der Zu- und Abluftstellen und anschließend die Messstellen 7 bis 12 im Innenraum, den Liegeflächen und im Flüssigmistkeller bestimmt. Die Einpegelzeit von 120 sec pro Messstelle reicht aus, um beim Messstellenwechsel auch bei sehr unterschiedlichen Gaskonzentrationen den der Messstelle entsprechenden Gaskonzentrationsbereich zu erfassen.

In Abhängigkeit von der Messstelle schwankt der Wassergehalt in der Luft bei dem dargestellten Ausschnitt von 12 bis 20 g/kg trockene Luft, welches einer Querempfindlichkeit bei NH_3 von 2,7 bis 4,6 ppm und bei CH_4 von 7,8 bis 13 ppm entspricht. Der Wassergehalt der Luft und somit die Querempfindlichkeiten können je nach Situation auch noch höher liegen. Die höchsten Wassergehalte werden in der Regel für die Messstellen im Flüssigmistkeller des Systems GK und in den abgedeckten Liegebereichen gemessen. Auffallend ist für die gemessenen CH_4 -Konzentrationen, dass nach Abzug der Wasserdampfquerempfindlichkeit an den Messstellen 2 bis 6 in diesem Zyklus keine Konzentrationen mehr nachweisbar sind und zum Teil in den negativen Bereich gehen. Dies ist eine Folge der Summe der Messungenauigkeiten des Gasanalysators und der Temperatur- und Feuchtefühler und zeigt sich bei der rechnerischen Dampfkorrektur bei geringen CH_4 -Konzentrationen. Daraus ergibt sich, dass für die jeweiligen Zeiträume geprüft werden muss, ob CH_4 -Emissionen und Unterschiede zwischen den Haltungssystemen mit dem Messsystem nachweisbar und quantifizierbar sind. Bei angezeigten Messwerten kleiner 10 ppm kann davon ausgegangen werden, dass nur Wasserdampf und kein Methan die Reaktion des Messgerätes verursacht.

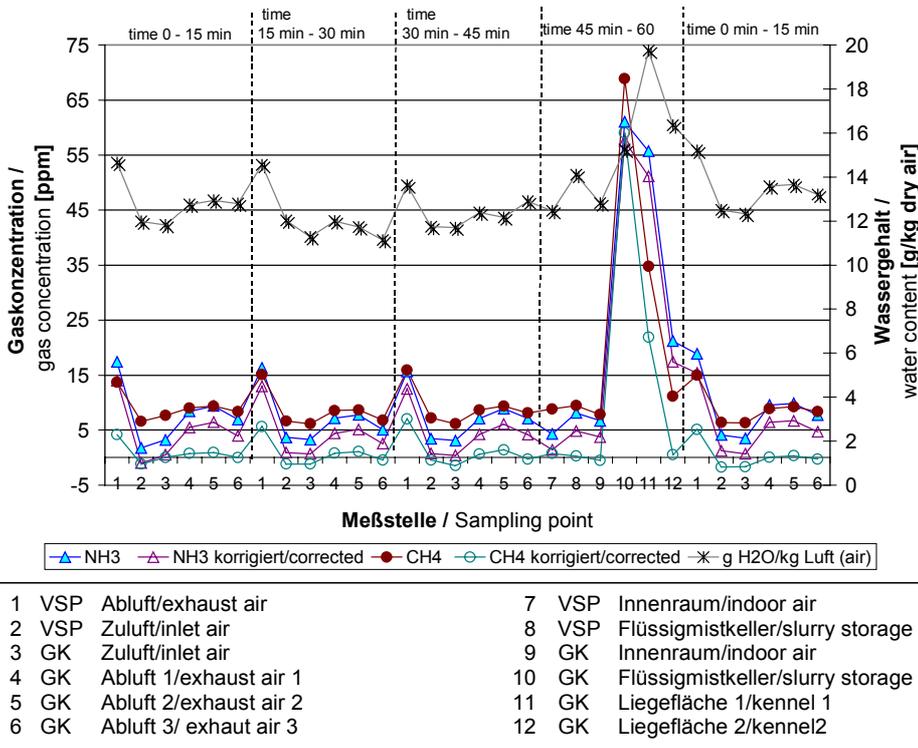


Bild 2: Einfluß der Wasserdampfquerempfindlichkeit auf die Konzentrationen von NH_3 und CH_4 an den verschiedenen Messstellen

Nachweis von Leckluftströmen

Als Prüfkriterien für das Auftreten von Leckluftströmen beim System GK wurden die CO_2 -Konzentrationen in zwei Höhen an der Zuluftöffnung, der Volumenstrom und die Windanströmung an der Zuluftöffnung genannt.

In **Bild 3** ist der Verlauf dieser Parameter an drei Sommertagen dargestellt.

Anhand des Vergleichs der CO_2 -Konzentration im oberen und unteren Bereich der Zuluftöffnung können die Leckluftströme sicher detektiert werden. Bei geringeren Leckluftströmen entweicht die wärmere Innenraumluft nur im oberen Bereich der Zuluftöffnung wohingegen im unteren Bereich Aussenluft mit einer typischen Hintergrundkonzentration von ca. 380 ppm in den Stall gelangt. Wenn jedoch auch am unteren Messpunkt höhere CO_2 -Konzentrationen erfasst werden, bedeutet dies, dass auf der gesamten Zuluftfläche Leckluft den Stall verläßt. Die Menge der Leckluft kann nicht genau bestimmt werden, so dass für diese Zeiträume keine Emissionsratenbestimmung möglich ist.

Das Auftreten von Leckluftströmen bei dem System GK vor allem unter Sommerbedingungen ist im Zusammenhang mit der Funktionsweise der freien Lüftung zu sehen. Ein Anhaltspunkt hierzu liefert der leicht gegenläufige Verlauf vom Volumenstrom zum Auftreten von Leckluftströmen.

Der dargestellte Volumenstrom ist die Summe der Volumenströme aus allen drei Abluftkaminen, wobei allein 3000 (nachts) bis 5000 m^3/h (tagsüber) des Gesamtvolumenstromes durch den temperaturregulierten Solarventilator bedingt sind. Durch die beiden anderen Abluftkamine passieren, nach dem Prinzip der Schwerkraftlüftung, jeweils nur Volumenströme zwischen 500 bis maximal 2000 m^3/h und sind stark abhängig von der Windanströmung an der Zuluftöffnung.

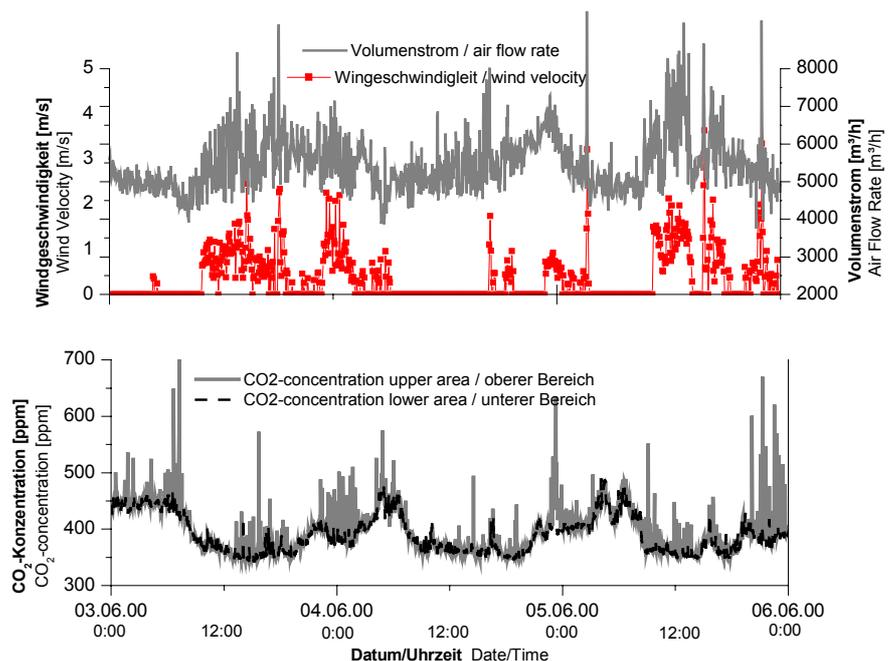


Bild 3: Verlauf des Volumenstroms sowie der Windgeschwindigkeit und CO_2 -Konzentrationen an der Zuluftöffnung des Systems „getrennte Klimabereiche“ (GK) zum Nachweis von Leckluftströmen

nung als Hauptantriebskraft für den Luftaustausch [8, 9]. Die Temperaturdifferenz spielt dabei eine untergeordnete Rolle und reicht als Antriebskraft unter Sommerbedingungen nicht aus. Bei Auftreten von Wind kann die für das Einströmen der Zuluft notwendige Druckdifferenz zwischen Innenraum und Umgebung wiederum nur bei der Windrichtung entstehen, in der die Zuluftöffnung gelegen ist (Westen). Hohe Windgeschwindigkeiten bei Windrichtungen parallel zur Zuluftöffnung aus Süd oder Nord wirken nachteilig, in dem sie einen Sog ausüben können, wodurch Innenraumluft durch die Zuluftöffnung entweicht.

Auch im zwangsbelüfteten Abteil (Unterflurabsaugung) wird anhand der Gaskonzentrationen in der Zuluft überprüft, ob Leckluftströme auftreten, da dies bei geringen Lüftungsraten im Winter trotz des im Innenraum zu erwartenden Unterdrucks im Vergleich zur Umgebung nicht vollkommen ausgeschlossen werden kann.

Vergleich der Gaskonzentrationen im Flüssigmistkeller

Durch Erfassung der Gaskonzentrationen im System GK soll unter anderem der Frage nachgegangen werden, ob sich ähnlich wie in vorausgegangenen Untersuchungen an einem frei belüfteten Milchviehstall [8], ein Einfluss der Zulufttemperatur auf die Variation der NH_3 -Konzentrationen im Flüssigmistlager zeigt. Durch den Vergleich mit den Gaskonzentrationen im Flüssigmistkeller des Systems VSP bei Unterflurabsaugung soll untersucht werden, ob ein Unter-

schied auf Grund des Lüftungssystems nachzuweisen ist. Die Flüssigmistlagerung erfolgt in beiden Systemen auf gleiche Weise in je zwei Behältern beidseitig des Zentralganges über die gesamte Mastperiode hinweg. In **Bild 4** sind der Verlauf der Konzentrationen von NH_3 , CO_2 und CH_4 sowie der Zulufttemperatur für drei Sommertage zu Mastende dargestellt.

Im System GK zeigt sich ein paralleler Verlauf der Zulufttemperatur zu den Gaskonzentrationen im Flüssigmistlager. Wie in [8] beschrieben, wird vermutet, dass kälter werdende Zuluft in den Abend- und Nachtstunden aufgrund ihrer höheren Dichte durch den Spaltenboden in das Flüssigmistlager gelangt und zu einem Luftaustausch durch die Spalten führt. Dies zeigt sich in abnehmenden Gaskonzentrationen sowohl von NH_3 als auch bei CH_4 und CO_2 . Im Verlauf des Tages ist bei höheren Zulufttemperaturen ein Luftaustausch durch die Spalten so gering, dass die Gaskonzentrationen in der Luft über dem Flüssigmist wieder ansteigen. So konnte an Tagen, an denen die Zulufttemperatur deutlich kleiner ist als die Stallinnentemperatur sogar eine abendliche Zunahme der NH_3 -Emission auf Grund der Freisetzung aus dem Flüssigmistlager festgestellt werden [8]. Dieser Effekt zeigte sich bei dem hier untersuchten Mastschweinestall bisher nicht, vermutlich auf Grund zu geringer Temperaturdifferenzen zwischen Innen und Außen und der Überlagerung durch andere Einflüsse wie stark variierende Volumen-

ströme und Freisetzungsbedingungen.

Der Vergleich des Verlaufs der Gaskonzentrationen im Flüssigmistkeller des Systems VSP mit dem System GK zeigt, dass Höhe und Variation der Gaskonzentrationen von NH_3 und CH_4 wesentlich geringer sind. Der Verlauf der CO_2 -Konzentration hingegen zeigt eine höhere Schwankungsbreite. Der beim System GK beschriebene Erklärungszusammenhang zwischen Zulufttemperatur und dem Verlauf der Gaskonzentrationen läßt sich auf das System VSP nicht anwenden, obwohl die Zulufttemperatur beim System VSP den selben Tag-Nacht-Rhythmus aufweist. Es muss noch geklärt werden, inwieweit die Probenahme und Messwerte von der Höhe der Messstelle über dem Flüssigmist bzw. der Nähe zur Ansaugöffnung der Unterflurabsaugung beeinflusst werden. Die dargestellten Messwerte wurden in Nähe und knapp unterhalb einer Ansaugöffnung in 30 cm unterhalb des Spaltenbodens erfasst. Nach [10] zeigte sich anhand von Nebelproben und Luftgeschwindigkeitsmessungen, dass bis zu einer Tiefe von 50 cm unter dem Spaltenboden bzw. 30 cm unterhalb der Ansaugöffnungen einer Unterflurabsaugung Luftbewegungen nachweisbar waren.

Beim Vergleich der beiden Systeme zeigt sich das interessante Phänomen, dass die CO_2 -Konzentrationen unterhalb des Spaltenbodens im Flüssigmistkeller in beiden Fällen im Mittel ähnlich hoch liegen und oberhalb der jeweiligen CO_2 -Konzentrationen in der Abluft und im Innenraum. Die Unterschiede zwischen den Mess-

stellen Innenraum, Abluft und Flüssigmistkeller sind beim System GK besonders ausgeprägt. Weiterhin wurde beobachtet, dass im Sommer in verschmutzten abgedeckten Liegebereichen trotz geringen Tierbesatzes sehr hohe CO_2 -Konzentrationen auftreten können [9]. Hieraus wird geschlossen, dass Umsetzungsvorgänge in Kot und Harn an der CO_2 -Freisetzung stärker beteiligt sind und somit der tierspezifische Anteil in Zusammenhang mit der Tieraktivität evtl. geringer ist, als bisher vermutet. In der Literatur wird der CO_2 -Anteil des Flüssigmistes bezogen auf die CO_2 -Gesamtemission mit 5 bis 18% bzw. 48% [11] beziffert.

Fazit und Ausblick

Im Rahmen des Forschungsprojektes zum Vergleich und zur Beurteilung von zwei unterschiedlichen Haltungssystemen für Mastschweine bezüglich der Umweltgerechtigkeit werden kontinuierliche Langzeitmessungen über vier Mastdurchgänge im Parallelbetrieb der beiden Haltungssysteme an einem Standort durchgeführt. Sowohl die Versuchsdurchführung als auch das Messsystem werden gemäß der Zielsetzung den Anforderungen an die Zuverlässigkeit, Sensitivität und zeitliche Auflösung der Daten zu den NH_3 , CH_4 und CO_2 -Emissionen aus beiden Haltungssystemen gerecht. Für N_2O kann mit der vorhandenen Messtechnik jedoch anhand von Stichproben nur ein Vergleich der Konzentrationen an den einzelnen Messstellen durchgeführt werden. Die Qualitätskontrolle von der Messwerterfassung bis zur Datenaufbereitung spielen eine zentrale Rolle, um die Möglichkeiten und Grenzen des Systems definieren zu können und eine Selektion von unzuverlässigen und zuverlässigen Daten anhand von Prüfkriterien vornehmen zu können. Die Wasserdampfquerempfindlichkeit bei der CH_4 -Bestimmung beispielsweise erschwert die Erfassung von geringen Konzentrationswerten und somit den Nachweis, ob Unterschiede zwischen den Haltungssystemen bestehen. Ebenso reduziert sich durch das Auftreten von Leckluftströmen die Anzahl von Daten und Zeiträumen, wo eine Emissionsratenbestimmung für das Haltungssystem GK erfolgen kann. Ergebnisse zum Vergleich der Emissionsraten beider Haltungssysteme unter Berücksichtigung der Sensitivität des Messsystems und der Einflußfaktoren auf das Emissionsgeschehen sollen in einem Jahr in einem zweiten Beitrag zur umweltgerechten Mastschweinehaltung an dieser Stelle veröffentlicht werden.

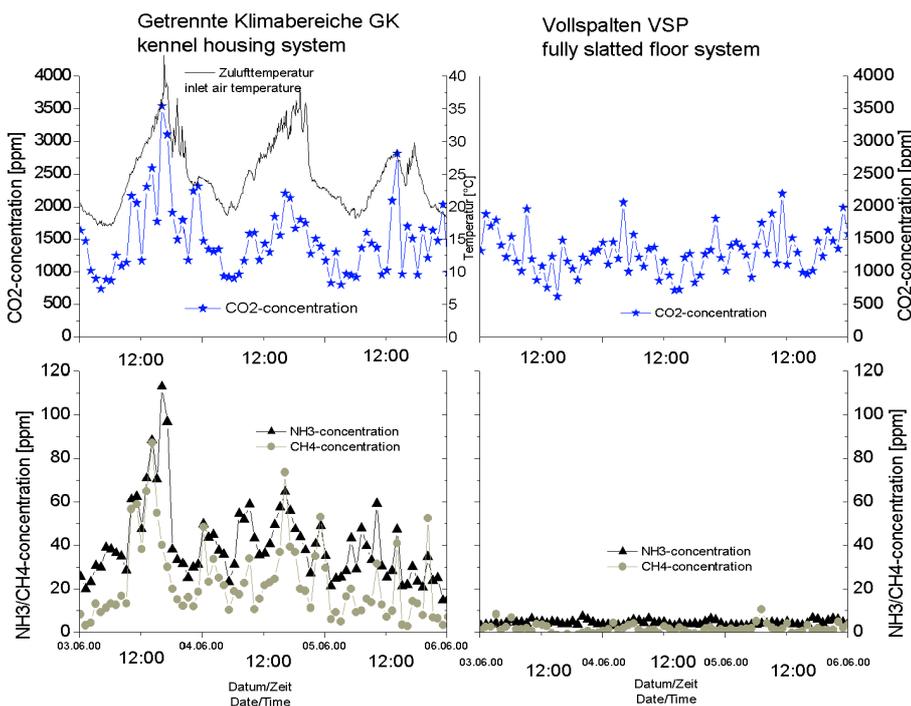


Bild 4: Vergleich der Gaskonzentrationen von NH_3 , CH_4 und CO_2 im Flüssigmistkeller an drei Sommertagen zu Mastende

Literatur

- [1] *Hartung, E., Hauser, A., Gallmann, E. und A. Stubbe* (1999): Die tier- und umweltgerechte Mastschweinehaltung ist das Ziel. Konzeption eines Versuchsstalles. *Landtechnik* 54, H. 4, S. 236 – 237
- [2] *Rathmer, B., A. Gronauer und H. Schön* (2000): Long-Term Comparison of the Emission Rates of Ammonia, Methane and Nitrous Oxide from three different Housing Systems for Fattening Pigs. International Conference on Agricultural Engineering, AgEng 2000, Warwick, 02.-07.07.2000, paper-no. 00-AP-021
- [3] *Hartung, E. und G.-J. Monteny* (2000): Emission von Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) aus der Tierhaltung. *Agrartechnische Forschung* 6, H. 4, S. 62-69
- [4] *Gallmann, E., W. Bea und E. Hartung* (2000): Umbaulösung für Vollspaltenstall. *Landtechnik* 55, H. 3, S. 252-253
- [5] *Gallmann, E., Hartung, E. und T. Jungbluth* (1999): Langzeituntersuchungen zur Bestimmung der Emissionen klima- und umweltrelevanter Gase sowie Geruch aus der Schweinemast. Tagungsband Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, TU München-Weihenstephan, S. 81 – 86
- [6] *Bundy, D.S., R.J. Smith and C.M. Liao* (1990): Mathematical model of gaseous pollutant. *Am. Soc. Agri. Eng., ASAE Paper No. MC90109*
- [7] *Jansen, J. und K.-H. Krause* (1987): Stallinterne Beeinflussung der Gesamtemission aus Tierhaltungen. *Grundlagen der Landtechnik* 37, S. 213-220
- [8] *Brose, G., E. Hartung und T. Jungbluth* (1999): Schadgasemissionen. Tageszeitliche Einflüsse bei einem frei belüfteten Milchviehstall. *Landtechnik* 54, H. 2, S. 110-111
- [9] *Gallmann, E., E. Hartung and T. Jungblut* (2000): Assessment of two pig housing and ventilation systems regarding indoor air quality and gas emissions – diurnal and seasonal effects. International Conference on Agricultural Engineering, AgEng 2000, Warwick, 02.-07.07.2000, paper-no. 00-FB-002
- [10] *Keck, M.* (1997): Beeinflussung von Raumluftqualität und Ammoniakemissionen aus der Schweinehaltung durch verfahrenstechnische Maßnahmen. Dissertation, VDI-MEG Schrift 299, Hohenheim
- [11] *Kaiser, S.* (1999): Analyse und Bewertung eines Zweiraumkompoststalles für Mast Schweine unter besonderer Berücksichtigung der gasförmigen Stoffströme. Dissertation, VDI-MEG Schrift 334, Göttingen

Die Arbeiten werden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen der Forschergruppe „Klimarelevante Gase“ an der Universität Hohenheim gefördert.

Autoren

Dipl.-Ing. sc. agr. Eva Gallmann
 Institut für Agrartechnik
 Universität Hohenheim
 Garbenstrasse 9
 70599 Stuttgart
 Tel: +49/(0)711/459-4318
 Fax: +49/(0)711/459-2519
 E-mail: gallmann@uni-hohenheim.de

Dr. Eberhard Hartung
 Institut für Agrartechnik
 Universität Hohenheim
 Garbenstrasse 9
 70599 Stuttgart
 Tel: +49/(0)711/459-2507
 Fax: +49/(0)711/459-4307
 E-mail: vtp440ha@uni-hohenheim.de

Prof. Dr. Thomas Jungbluth
 Institut für Agrartechnik
 Universität Hohenheim
 Garbenstrasse 9
 70599 Stuttgart
 Tel: +49/(0)711/459-2835
 Fax: +49/(0)711/459-4307
 E-mail: jungblut@uni-hohenheim.de