Umweltgerechte Mastschweinehaltung II

Emissionsratenvergleich

Eva Gallmann, Eberhard Hartung und **Thomas Jungbluth**
Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Stuttgart

Im Rahmen von kontinuierlichen Emissionsmessungen von Ammoniak (NH_3), Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) zur Beurteilung der Umweltwirkung von Mastschweinehaltungssystemen wurden ein Vollspaltenstall mit Zwangslüftung (VSP) und ein frei belüftetes Haltungssystem mit getrennten Klimabereichen (GK) untersucht. Durch die Langzeitmessung über vier aufeinanderfolgende Mastdurchgänge von Oktober 1999 bis April 2001 wurden einerseits ausreichend Daten für verschiedene Jahreszeiten und Mastabschnitte gewonnen und andererseits konnte eine umfassende Datenprüfung und Selektion gemäß eindeutiger Prüfkriterien vorgenommen werden. Für den Vergleich der Emissionsraten auf Basis der Tagesmittelwerte wurden durchschnittlich 60 % der Messtage bzw. Daten berücksichtigt.
Die Randbedingungen Stallbelegung in Großvieheinheiten und Flüssigmistparameter unterschieden sich in den Haltungssystemen VSP und GK nicht wesentlich. Ein Anstieg des Ammonium-Stickstoff-Gehalts im Flüssigmist mit zunehmender Mastdauer und Flüssigmistmenge von etwa 2 auf 5 g/kg in der Frischsubstanz war zu verzeichnen. Die Lufttemperatur und rel. Luftfeuchte im Innenraum des Systems GK folgte weitgehend den Außenbedingungen. Die Innenraumtemperaturen lagen grundsätzlich und auch an warmen Tagen unterhalb der Werte für das System VSP. Für die rel. Luftfeuchte hingegen galt das Gegenteil mit eindeutig höheren Werten für das System GK. Klare Unterschiede waren ebenso zwischen den Haltungssystemen durch die unterschiedliche Funktionsweise der Lüftungssysteme zu erkennen mit v.a. im Winter 2 bis 4-fach höheren Volumenströmen im System GK im Vergleich zur z.B. Winterluftrate der Zwangslüftung im System VSP. Die Gaskonzentrationen in der Abluft des Systems VSP wiesen meist deutlich höhere Werte auf. Die Tagesmittelwerte der NH_3, CO_2 und CH_4-Emissionsraten [$(g/d)*GV^{-1}$] schließlich waren bei allen berücksichtigten Messtagen für das System GK etwa um den Faktor 1,5 geringer als im System VSP. Der Vergleich der mittleren Emissionsraten pro Mastdurchgang zwischen den Haltungssystemen ergab einen höchst signifikanten Unterschied zugunsten des Haltungssystems GK.

Der Mittelwert der Emissionsrate für einen Mastdurchgang lag bei den vier beobachteten Mastdurchgängen für NH_3 im System GK zwischen 67 bis 96 $(g/d)*GV^{-1}$und im System VSP zwischen 100 bis 149 $(g/d)*GV^{-1}$. Die CO_2-Emissionsraten rangierten zwischen 10 bis 13 $(kg/d)*GV^{-1}$ (GK) bzw. 17 bis 23 $(kg/d)*GV^{-1}$ (VSP). Ebenfalls waren die Mittelwerte pro Mastdurchgang der CH_4-Emissionsraten im System GK mit 17 bis 36 $(g/d)*GV^{-1}$ geringer als im System VSP mit 62 bis 134 $(g/d)*GV^{-1}$.

Schlüsselwörter
Mastschweinehaltung, Umweltgerechtheit, Emissionen, klima- und umweltrelevante Gase

Einleitung und Problemstellung

Die umwelt- und klimarelevante Wirkung verschiedener gasförmiger Emissionen auch aus der Landwirtschaft ist mittlerweile unbestritten (Schütze et al, 2001[1]; Benndorf, 2001 [2]). Das Bestreben und die Notwendigkeit auf nationaler und internationaler Ebene anthropogen verursachte Emissionen und damit verbundene Nährstoffeinträge in die Umwelt sowie Stoffausträge in die Atmosphäre zu bilanzieren, zu bewerten und zu vermindern, zeigt sich in einer Vielfalt von unterschiedlichen Richtlinien, Vereinbarungen und Protokollen (Grimm, 2001 [3]). Die daraus resultierenden Maßnahmenpakete und Definitionen der beispielsweise „Best verfügbaren Techniken (BVT)“ v.a. im Rahmen der europäischen IVU-Richtlinie[1] und des nationalen sog. „Artikelgesetzes“ vom 3. August 2001 zur Umsetzung der UVP-Änderungsrichtlinie[2], der IVU-Richtlinie und weiterer EG-Richtlinien zum Umweltschutz, müssen für die landwirtschaftliche Praxis nutzbar und umsetzbar gestaltet werden (KTBL, UBA ,2001 [4]).
Die Qualität der Emissionsinventare und abgeleiteten Verminderungsstrategien hängt jedoch maßgeblich von der Verfügbarkeit und Güte von Daten zu den Einflussfaktoren auf die Freisetzung und der Höhe der quellspezifischen Emissionen klima- und umweltrelevanter Gase aus verschiedenen Verfahren der Tierhaltung ab. Gerade in der Schweinehaltung ist zum einen die Erfahrung mit und Datenverfügbarkeit für neuere und vor allem frei belüftete Haltungssysteme im Vergleich zu sog. konventionellen Systemen (van den Weghe, 2001 [5]) und zum anderen für klimarelevante Gase wie Methan und Lachgas noch gering (Hartung u. Monteny, 2000 [6].
Angestrebte Neuerungen in den Haltungsverordnungen z.B. bezüglich des Flächenangebotes und der Flächenbeschaffenheit müssen auch hinsichtlich möglicher Konsequenzen für die Umweltbewertung untersucht werden. Für die Landwirte wiederum ist in diesem Zu-

1 Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (Integrated Pollution Prevention and Control – IPCC)
2 Umweltverträglichkeitsprüfung

sammenhang nicht nur die Entwicklung von neuen Haltungssystemen von Interesse, sondern vor allem auch die Frage nach Anpassungsmöglichkeiten bestehender Haltungssysteme an aktuelle und zukünftige Regelungen zum Tier- und Umweltschutz.

Zielsetzung

Als Hauptziel der Untersuchungen zur umweltgerechten Mastschweinehaltung wurde ein Systemvergleich von zwei unterschiedlichen Haltungssystemen für Mastschweine hinsichtlich der Emissionen von Ammoniak (NH_3), Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) formuliert. Die zu vergleichenden Haltungssysteme waren ein konventioneller Vollspaltenstall als Referenzsystem gegenüber einer Umbaulösung mit freier Lüftung, planbefestigten Flächenanteilen und getrennten Klimabereichen.

Das Hauptziel sollte über folgende Teilziele erreicht werden:

- Erfassung von zuverlässigen Daten mit einer hohen zeitlichen Auflösung aus zwei Haltungssystemen im zeitgleichen Parallelbetrieb,
- Vergleich der Emissionsraten zur Bewertung der Umweltwirkung der Haltungssysteme,
- Vergleich von Tageseffekten und der Sensitivität für verschiedene Einflussfaktoren auf die Emission,
- Vergleich der Innenraumluftqualität und Stallklimaparameter zur Bewertung der jeweiligen Haltungsumwelt der Tiere.

Im ersten Teil der Artikelreihe zur umweltgerechten Mastschweinehaltung (Gallmann et al., 2000) [7] wurden gemäß dem ersten Teilziel die Ergebnisse zur Sensitivität und Zuverlässigkeit des Messsystems sowie die Methodik dargestellt und diskutiert. Im zweiten Teil werden im folgenden die Ergebnisse zum Emissionsratenvergleich auf Basis der Tagesmittelwerte vorgestellt und die verschiedenen Randbedingungen beschrieben.

Vorgehensweise

Der Systemvergleich der Haltungssysteme „getrennte Klimabereiche, freie Lüftung“ (GK) und „Vollspaltenstall, Zwangslüftung“ (VSP) wurde im Hohenheimer Versuchsstall für Mastschweine in zwei räumlich getrennten Abteile durchgeführt. **Bild 1** zeigt anhand des Grundrisses die Aufteilung des Systems VSP in 6 Buchten mit je 9 Tieren und des Systems GK in zwei Buchten mit je 24 Tieren und die Unterteilung in einen Aktivitätsbereich mit perforiertem Boden und einen planbefestigten abgedeckten Liegebereich je Bucht. Das Haltungssystem VSP verfügte über eine Unterflurabsaugung mit Zuluftführung über Porenkanäle. Das freie Lüftungssystem im Haltungssystem GK war als Schwerkraft-Schachtlüftung ausgelegt mit einem zusätzlichen solarbetriebenen Ventilator im östlichen Kamin zur optionalen Stützventilation. Die Zuluft gelangte über die westliche Stallseite in den Stall, der Öffnungsquerschnitt der Zuluftöffnung konnte durch ein temperaturgeregeltes Wickelrollo variiert werden. Das System GK wurde als Umbaulösung für einen vorhandenen Vollspaltenstall entwickelt und selber als Umbaumaßnahme im Versuchsstall im Sommer 1999 realisiert (Gallmann et al., 2000 [8]). Die Fütterung erfolgte in beiden Haltungssystemen mittels einer Sensorflüssigfütterung mit 16 Fütterungszeiten von 6:00 bis 22:00. Zur Entmistung wurde ebenfalls in beiden Systemen der Flüssigmist in jeweils zwei Behältern beidseitig des Futterganges über den gesamten Mastdurchgang gesammelt und erst nach dem Ausstallen abgelassen. Die Untersuchungen wurden über vier aufeinanderfolgende Mastdurchgänge in der Zeit von Oktober 1999 bis April 2001 durchgeführt. Die Stallbelegung erfolgte in beiden Abteilen jeweils zeitgleich im Rein-Raus-Betrieb. Das Haltungssystem VSP blieb während des gesamten Untersuchungszeitraumes unverändert, wohingegen im System GK Veränderungen und Optimierungen an der Inneneinrichtung vorgenommen wurden. Weitere Informationen und detaillierte Angaben zum Versuchsstall für Mastschweine sowie die Ausgestaltung der Haltungssysteme sind in [7;8] enthalten.

Für die Datenerfassung der für die Emissionsberechnung relevanten Messgrößen Gaskonzentrationen und Volumenströme sowie verschiedener Einflussfaktoren wurde jeweils die höchst mögliche zeitliche Auflösung angestrebt. Die Volumenstrommessung erfolgte mittels kalibrierter Messventilatoren in allen Abluftschächten.

Zur Konzentrationsbestimmung von NH_3, CO_2 und CH_4 diente jeweils ein spezifisches Gasanalysegerät nach dem Prinzip der Nicht-Dispersiven Infrarotspektroskopie. In Abhängigkeit von der Abfolge der verschiedenen Messstellen und zu berücksichtigender Einpegel- und Beprobungs-

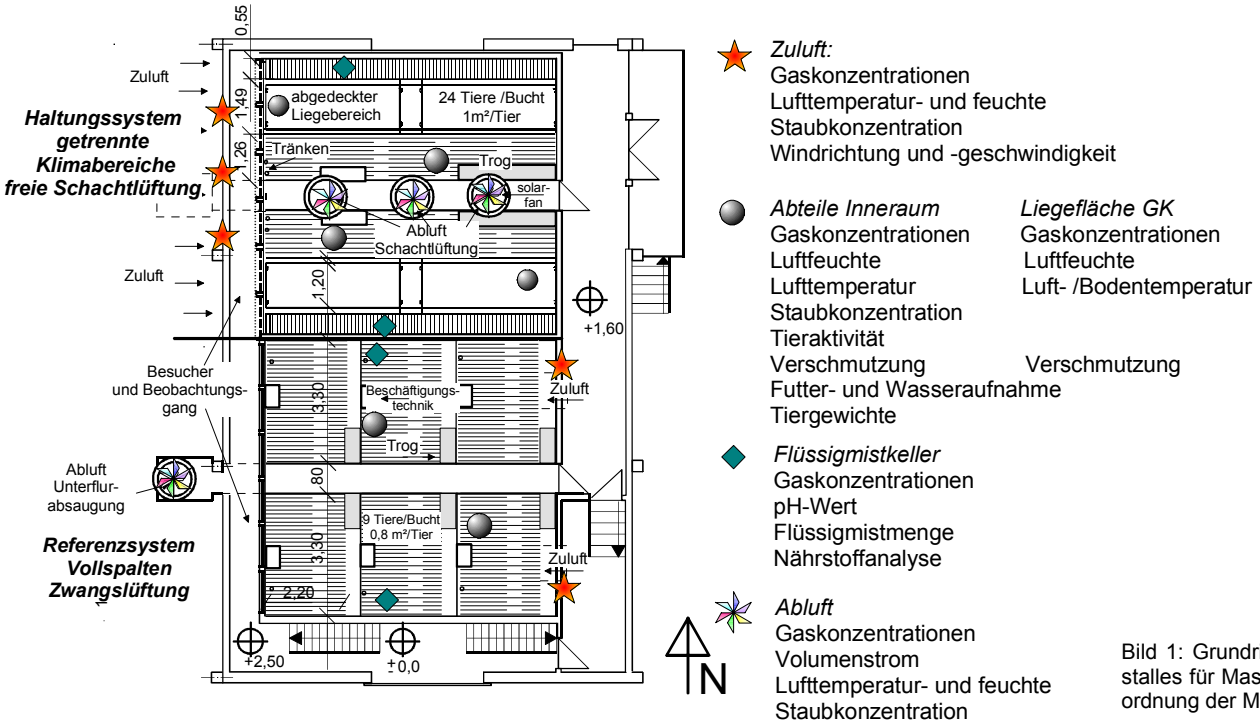

Bild 1: Grundriss des Versuchsstalles für Mastschweine mit Anordnung der Messstellen

zeiten pro Messstelle bei der Gaskonzentrationsbestimmung wurde ein Emissionsvergleich zwischen den Haltungssystemen dreimal pro Stunde realisiert. Die Versuchskonzeption, Messmethoden, der Messablauf und die Messgerätecharakteristika sind in [7] eingehend diskutiert und erläutert.

Datenaufbereitung und –selektion

Die Gaskonzentrationen von NH_3, CO_2 und CH_4 wurden zunächst um die im jeweiligen Abspeicherzeitraum (i.d.R. eine Woche) erfasste Nullpunktdrift korrigiert. Die monatliche Überprüfung der Empfindlichkeitsdrift ergab so geringe Abweichungen, dass eine Korrektur der Einzelwerte nicht notwendig wurde. Des weiteren erfolgte ein Abzug der gerätespezifischen Wasserdampfquerempfindlichkeit des NH_3- und CH_4-Gasanalysators von den erfassten Gaskonzentrationen, was durch die Messung des Wassergehaltes der Luft an den verschiedenen Messstellen über die gesamte Messdauer möglich wurde [7]. Die im Rahmen einer eingehenden Plausibilitätsprüfung als fehlerhaft und unlogisch erkannten Messwerte wurden nicht weiter verwendet. Auf eine Interpolation von Daten für fehlende Zeiträume konnte auf Grund der ausreichenden Datenmenge verzichtet werden.

Zur Berechnung des jeweiligen Emissionsmassenstromes [g/h] wurde für jede Abluftöffnung getrennt von der dort gemessenen Abluftkonzentration die herrschende Hintergrundkonzentration abgezogen und das Ergebnis [mg/m³] mit dem jeweiligen Abluftvolumenstrom [m³/h] multipliziert. Die Gesamtemission des Haltungssystems GK ergab sich durch Addition der an den drei Abluftöffnungen berechneten Emission. Für die Hintergrundkonzentration wurde für jeden Emissionsmesszyklus [7] die niedrigere der an beiden Systemen auf entgegengesetzten Stallseiten erfassten Zuluftkonzentrationen verwendet.

Da v.a. an der Zuluftöffnung des Haltungssystems GK durch Austritt von Innenraumluft höhere Konzentrationen auftreten konnten [7], ergäbe sich durch Abzug dieser hohen Werte allein wegen des Rechenganges eine extrem niedrige Emission. Es wird davon ausgegangen, dass bei der beschriebenen Vorgehensweise Schwankungen in der Hintergrundkonzentration z.B. durch den landwirtschaftlichen Betrieb und die benachbarten Ställe ausreichend berücksichtigt wurden.

Durch Bezug des Emissionsmassenstromes [g/h] auf die Tiermasse in Großvieheinheiten [GV] entsprechend 500 kg Lebendgewicht, ergibt sich die Emissionsrate [$(g/h)*GV^{-1}$] und damit eine Möglichkeit zum gewichtsunabhängigen Vergleich der Ergebnisse über den Mastverlauf sowie generell auch zum tierartunabhängigen Vergleich mit Literaturangaben. Die Tiergewichte wurden anhand fünfmaliger Einzeltierwiegungen von Mastbeginn bis –ende über den gesamten Mastverlauf auf die einzelnen Messwerte bezogen interpoliert.

In die Berechnung der Tagesmittelwerte [$g/d*GV^{-1}$] gingen alle Einzelmessungen von 0:00 bis 24:00 ein. In Abhängigkeit von der Messhäufigkeit pro Stunde basierten die Tagesmittelwerte der Volumenströme auf 576, die Emissionsraten, Zu- und Abluftkonzentrationen auf 72, alle weiteren Konzentrationen auf 12 sowie die Temperaturen und rel. Luftfeuchten auf 288 Einzelwerten. Als Kriterien für den Anschluss von Daten für die Darstellung der Tagesmittelwerte wurden definiert:

- Verwendung nur von vollständig gemessenen Tagen über 24 Stunden,
- Ausschluss von Tagen mit außergewöhnlichen Umgebungsbedingungen (z.B. Sturm, Orkan) und an denen die Messung durch externe Einflüsse, Aktionen und Reparaturen im Stall und am Messsystem gestört wurden (i.d.R. allein schon etwa 20 Tage pro Mastdurchgang),
- Stromausfälle und Betriebsstörungen,
- Pumpendefekte und Undichtigkeiten am Messsystem, die oft erst im Vergleich zu allen Daten der Messreihen erkannt werden konnten.

Es fanden nur etwa 30% - 60% der Tagesmittelwerte Eingang in die Darstellung des Emissionsratenvergleichs der Haltungssysteme über die vier untersuchten Mastdurchgänge, um eine Verfälschung der Ergebnisse durch unrepräsentative Messungen zu vermeiden.

Diese Höhe der Ausschlussquote ist nicht ungewöhnlich für praktische Messungen (Brose, 2000 [9]) und gibt weiterhin einen Hinweis darauf, dass kontinuierliche Langzeitmessungen gerade aus diesem Grunde zu rechtfertigen sind, wenn eine hohe Zuverlässigkeit und Aussagekraft der Messungen erreicht und sichergestellt werden soll. Als besonders wichtig und hilfreich hat sich dabei eine ausführliche Dokumentation der Vorgänge am Stall sowie die Kommunikation mit dem Stallpersonal erwiesen, um die Qualität der Ergebnisse und Ursachen für Emissionsverläufe überhaupt beurteilen zu können und eine scharfe Datenselektion zu ermöglichen.

Ergebnisse und Diskussion

Wie bereits in der Zielsetzung formuliert, liegt im zweiten Teil der Artikelreihe zur „Umweltgerechten Mastschweinehaltung“ der Schwerpunkt auf der Darstellung und Zusammenfassung des Emissionsratenvergleiches zwischen den Haltungssystemen GK (getrennte Klimabereiche) und VSP (Vollspaltenstall) über die vier untersuchten Mastdurchgänge. In diesem Zusammenhang werden zur besseren Einordnung der Ergebnisse zum Emissionsratenvergleich zunächst die Randbedingungen Stallbelegung, Flüssigmist, Temperatur und relative Luftfeuchte, Verschmutzung sowie Volumenströme jeweils kurz beschrieben.

Aus **Tabelle 1** wird ersichtlich, dass systembedingt die Tierzahl bei beiden Haltungssystemen unterschiedlich war (Bild 1), sich jedoch die Tiergewichte der in beiden Systemen eingestallten Tiere sehr ähnelten. Dies führt tendenziell zu etwas geringeren Großvieheinheiten im System GK. Der Mastdurchgang 1 wurde im Vergleich zu den Durchgängen 2, 3 und 4 mit etwa 10 kg schwereren Tieren begonnen. Die durchschnittlichen Außentemperaturen sowie Minimum und Maximum Angaben geben einen Hinweis über den Anteil kühler und warmer Tage während des jeweiligen Mastdurchganges.

Flüssigmist

Sowohl in der Flüssigmistmenge als auch -zusammensetzung waren keine bedeutenden Unterschiede zwischen den Haltungssystemen und Mastdurchgängen erkennbar, zumal Ungenauigkeiten durch die Probenahme berücksichtigt werden müssen. Es wurde ca. 14-tägig je eine Probe an immer derselben Stelle jedes Flüssigmistbehälters entnommen. Eine repräsentative Beprobung des unterflur gelagerten inhomogenen Flüssigmistes war in diesem Fall kaum möglich, ohne die Flüssigmistzusammensetzung und -struktur sowie die Stabilisierung des Flüssigmistes im Sinne einer Emissionsquelle zu stören. Trotz dieser Einschränkungen kann in **Bild 2** die Tendenz zu steigenden Ammonium-Stickstoff-Gehalten in der Frischsubstanz des Flüssigmistes mit zunehmender Flüssigmistmenge im Mastverlauf gezeigt werden. Aufgrund der gleichen Futterzusammensetzung und Tierherkünfte in beiden Haltungssystemen waren Unterschiede im Flüssigmist zwischen den Haltungssystemen nicht zu erwarten. Der durchschnittliche Trockensubstanzgehalt aller Proben lag bei 6-8 %, der Gesamt-Stickstoffgehalt in der Frischsubstanz bei etwa 5 bis 6 g/kg. Der Anteil des Ammonium-Stickstoffes am Gesamt-

Tabelle 1: Vergleich der Mastdurchgänge und Haltungssysteme bezüglich der Tierzahl, Anfangs- und Endgewichte sowie Großvieheinheiten und der mittleren Außentemperatur mit Minimum und Maximum (GK = getrennte Klimabereiche; VSP = Vollspaltenstall)

	Anzahl Tiere	durchschnittliches Anfangs- und Endgewicht		Außen-Temperatur
		kg/Tier	GV*	°C
Mastdurchgang 1 **17.10.99 – 13.01.00**				5,6 (-4,6 - 15,8)
Haltungssystem GK	48	35 - 105	3,5 - 8,9	
Haltungssystem VSP	54	33 - 100	3,6 - 9,3	
Mastdurchgang 2 **28.02.00 – 07.06.00**				13,3 (1,7 - 22,4)
Haltungssystem GK	48	28 - 108	2,8 - 10,4	
Haltungssystem VSP	54	28 - 110	3,1 - 11,3	
Mastdurchgang 3 **14.08.00 – 01.12.00**				12,8 (5,5 - 21,2)
Haltungssystem GK	48	25 - 112	2,5 - 10,3	
Haltungssystem VSP	54	23 - 105	2,5 - 10,5	
Mastdurchgang 4 **15.01.01 – 28.04.01**				6,8 (-1,8 - 18,4)
Haltungssystem GK	48	26 - 105	2,6 - 9,7	
Haltungssystem VSP	54	23 - 107	3 - 11	

* GV = Großvieheinheit entsprechend 500 kg Lebendgewicht

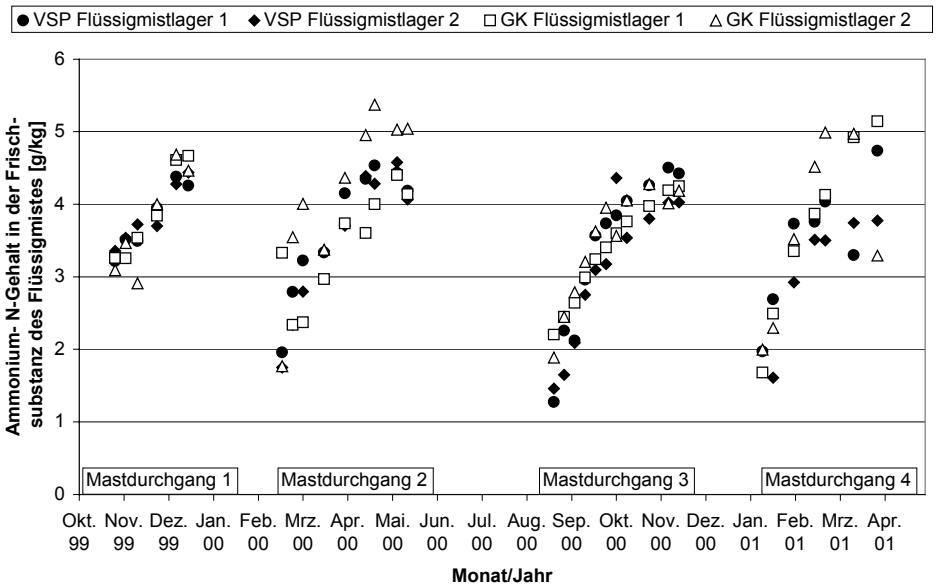

Bild 2: Ammonium-Stickstoff-Gehalt in der Frischsubstanz der während der Untersuchungen entnommenen ca. 14-tägigen Flüssigmistproben (Haltungssysteme: VSP = Vollspalten, GK = getrennte Klimabereiche)

Stickstoff der Flüssigmistproben stieg im Verlauf der jeweiligen Mastdurchgänge von etwa 40% auf 80% an. Der in der Flüssigmistprobe gemessene pH-Wert schwankte zwischen ungefähr 7 bis 7,8. In diesem pH-Wertbereich liegt der Stickstoff zum großen Teil als Ammonium vor, der Anteil von gelöst vorliegendem Ammoniak in der wässrigen Lösung ist entsprechend des Dissoziationsgleichgewichtes von Ammoniak und Ammonium gering (Hartung, 1995 [10]).

Hinsichtlich der Flüssigmisttemperatur, die nicht direkt gemessen wurde, wird aus den in der Regel niedrigeren Innenraumtemperaturen und Temperaturen unter den Spalten im System GK abgeleitet, dass vermutlich auch der Flüssigmist im System GK kühler war als im System VSP, da die Flüssigmisttemperatur im Mittel leicht unterhalb der Innenraumtemperatur liegt (Keck, 1997 [11]; Aarnink, 1997 [12]).

Temperatur und relative Luftfeuchte

Aus **Bild 3** werden anhand der dargestellten Tagesmittelwerte für die Innenraumtemperatur und rel. Luftfeuchte im Innenraum die Unterschiede zwischen den beiden Haltungssystemen deutlich. Im frei belüfteten Haltungssystem GK waren Temperatur und rel. Luftfeuchte weitgehend abhängig von den Außenbedingungen und somit bezüglich der rel. Luftfeuchte auch sehr hoch bei z.B. Regentagen. Die rel. Luftfeuchte im zwangsbelüfteten System VSP ist vor allem im Mastdurchgang 4 als zu gering einzustufen (Seedorf et al., 1998 [13]). An heißen Tagen wurden aufgrund der westlichen Ausrichtung (Schattenseite) der Zuluftöffnung des Systems GK im Gegensatz zum Vollspaltenstall in östlicher Richtung geringere Innenraumtemperaturen erreicht.

Die Temperaturregelung im System VSP sah eine Absenkung der Innenraumtemperatur im Mastverlauf von 22°C auf 18°C vor mit Ausnahme des Mastdurchganges 1 mit geringeren Werten. Aus Bild 3 wird jedoch ersichtlich, dass die tatsächlichen Innenraumtemperaturen in den Mastdurchgängen 2; 3 und 4 v.a. an warmen Tagen und zum Ende der Mast über der gewünschten Solltemperatur lagen.

Die Temperaturverhältnisse im System VSP mit i.d.R. Tagesmittelwerten zwischen 19 °C und 23 °C entsprechen den Angaben zu Untersuchungen an ähnlichen Ställen in Nord-Europa (19,9 °C - 23,4 °C) (Seedorf et al., 1998 [13]) und bei vergleichbaren Emissionsmessungen mit Innenraumtemperaturen über 20°C (Keck, 1997 [11]; Aarnink, 1997 [12]).

Für das Haltungssystem GK ist in Hinblick auf das Wohlbefinden der Tiere zu betonen, dass durch die Strukturierung in getrennte Klimabereiche mit dem abgedeckten Liegebereich eine Zone mit i.d.R. 20 – 25 °C vorhanden war und vor allem an kühlen Tagen gut angenommen wurde. An heißen Tagen jedoch wurde eine Umkehrung der Funktionsbereiche mit zunehmender Verschmutzung der abgedeckten Liegeflächen und einem Außenliegen der Mastschweine beobachtet (Gallmann et al., 2001 [14]).

Verschmutzung

Die Verschmutzung der Flächen und Tiere im System VSP konnte in allen Mastdurchgängen als relativ gering eingestuft werden. Zu Mastbeginn war der Anteil der verschmutzen Fläche höher und verringerte sich mit zunehmendem Wachstum und Platzbedarf der Tiere spürbar. Insgesamt waren die Flächen selten feucht bzw. trockneten verschmutzte Bereiche recht schnell ab. Im System GK muss zwischen dem abgedeckten Liegebereich und dem Aktivitätsbereich unterschieden werden. Die Verschmutzung der abgedeckten Liegeflächen war in Abhängigkeit von der Temperatur und bei geringe-

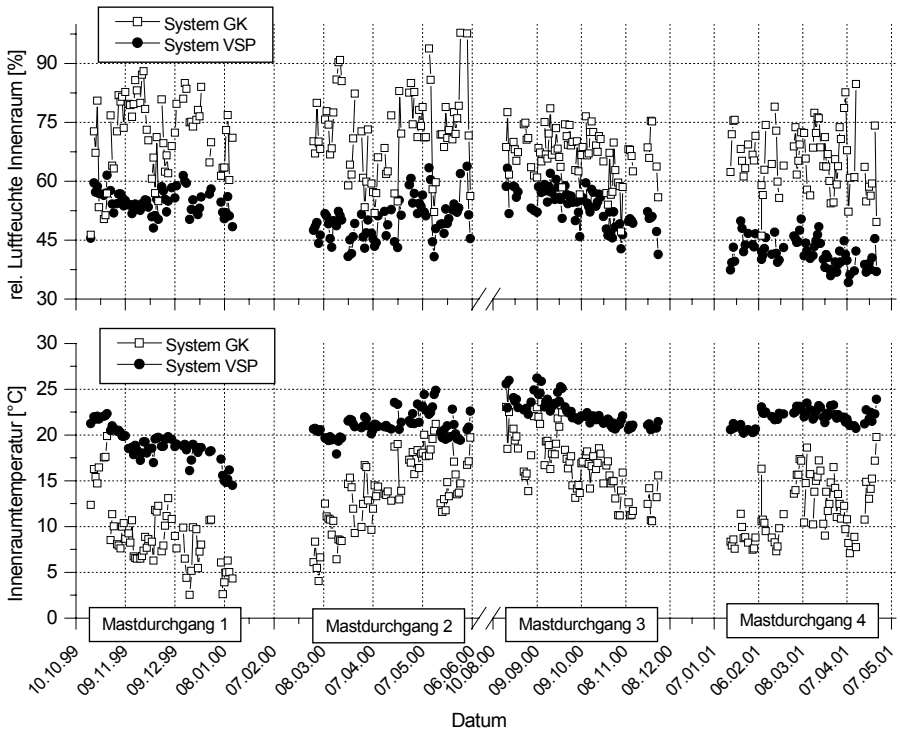

Bild 3: Vergleich der Tagesmittelwerte der Temperatur und rel. Luftfeuchte im Innenraum der Haltungssysteme GK (getrennte Klimabereiche) und VSP (Vollspaltenstall) im Verlauf der vier untersuchten Mastdurchgänge

rem Liegeflächenplatzbedarf der jüngeren Tiere zum Teil erheblich und durch v.a. hohe NH_3-Konzentrationen im Liegebereich gekennzeichnet [14]. Im Gegensatz zu den Flächen im Aktivitätsbereich fand jedoch in den abgedeckten Liegeflächen nur ein geringer Luftaustausch und Abtransport der Schadgase statt, so dass der Beitrag zu den Emissionen als gering eingeschätzt wird. Die Flächen im Aktivitätsbereich waren sehr unterschiedlich stark verschmutzt und dann aber in der Regel sehr feucht. Die Flächen trockneten wegen der recht hohen rel. Luftfeuchten nur schlecht ab. Durch die Strukturierung der Buchten im System GK entstanden Bereiche mit relativ wenig Tierverkehr, so dass der Kot nicht immer ausreichend durchgetreten wurde.

Obwohl die Verschmutzung im System GK auf den ersten Blick als stärker emissionsfördernd im Vergleich zum System VSP angesehen werden kann, könnte jedoch die zu erwartende geringere Temperatur der Flächen sowie die geringere Abtrocknung und auf Grund der Luftführung vermutlich geringere Überströmung der Flächen diesen Ansatz relativieren.

Volumenströme

Klare Unterschiede zwischen den Haltungssystemen und den Mastdurchgängen bestanden in der Höhe und Spannweite der Volumenströme bedingt durch die verschiedenen Lüftungssysteme Zwangslüftung (VSP) bzw. freie Lüftung (GK), wie in der oberen Grafik in **Bild 4** dargestellt ist. Bei kalten und kühlen Außentemperaturen und ausreichender Windanströmung wurden bei der freien Lüftung sehr hohe Volumenströme gemessen, wohingegen an warmen Tagen ein ausreichender Luftaustausch oftmals nur durch Zuschaltung eines zusätzlichen temperaturgeregelten Solarventilators sichergestellt werden konnte [14]. Die Volumenströme der Zwangslüftung im System VSP hingegen waren in ihrer Spannweite begrenzt und bestimmt durch die Dimensionierung der Sommer- und Winterluftrate nach DIN 18 910 [15] und die Stallklimaregelung zur Einhaltung der Solltemperatur. Tageszeitliche Schwankungen des Volumenstromes im Systems VSP waren vor allem durch Temperaturschwankungen der Zuluft im Tagesverlauf, z.B. durch Tag-Nacht-Amplituden bestimmt. Im Sommer und Winter bei maximaler bzw. minimaler Luftrate war die Spannweite der tageszeitlichen Volumenstromschwankung jedoch nur sehr gering. Im System GK traten zu allen Jahreszeiten wesentlich stärkere und kurzzeitigere Volumenstromschwankungen auf, die vor allem von den Windverhältnissen an der Zuluftöffnung und an warmen Tagen zusätzlich von der Solarventilatorregelung bestimmt wurden.

Emissionsratenvergleich

Beim Vergleich der Haltungssysteme GK und VSP bezüglich der selektierten Tagesmittelwerte der Emissionsraten von NH_3 (Bild 4 untere Grafik) sowie von CO_2 und CH_4 (**Bild 5**) zeichnet sich ein klares Bild mit deutlich geringeren Werten für das System GK. Des Weiteren zeigt sich bei allen drei Gasen durch den Bezug auf die Großvieheinheit eine Abnahme der Emissionsrate im Mastverlauf. Besonders deutlich ist dieser Effekt im Mastdurchgang 3, da hier die Volumen-

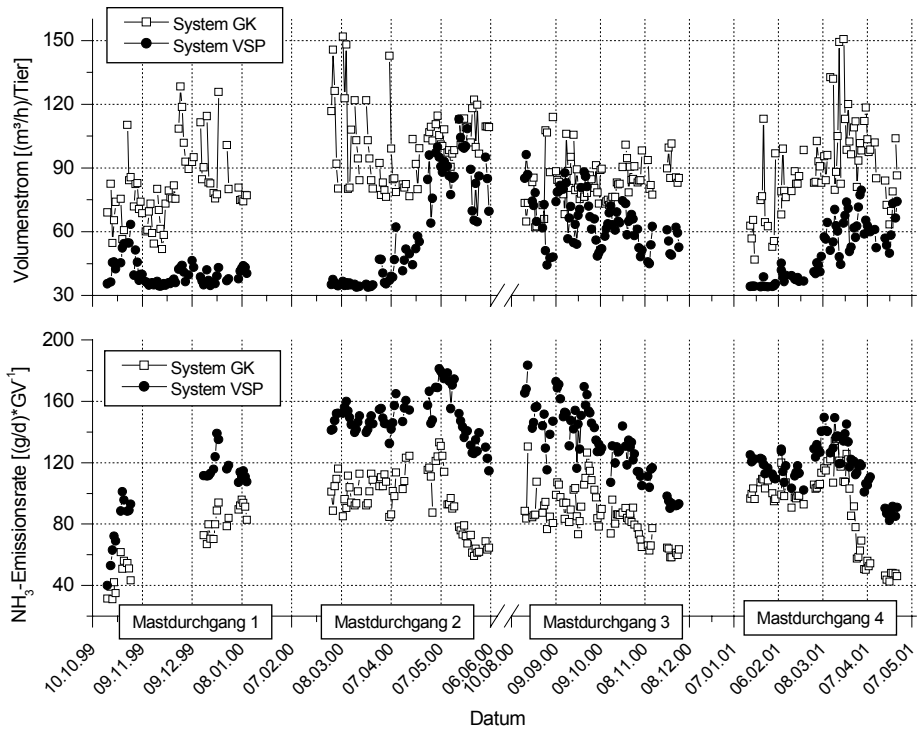

Bild 4: Vergleich der selektierten Tagesmittelwerte der Volumenströme und NH_3-Emissionsraten der Haltungssysteme GK (getrennte Klimabereiche) und VSP (Vollspaltenstall) im Verlauf der vier untersuchten Mastdurchgänge

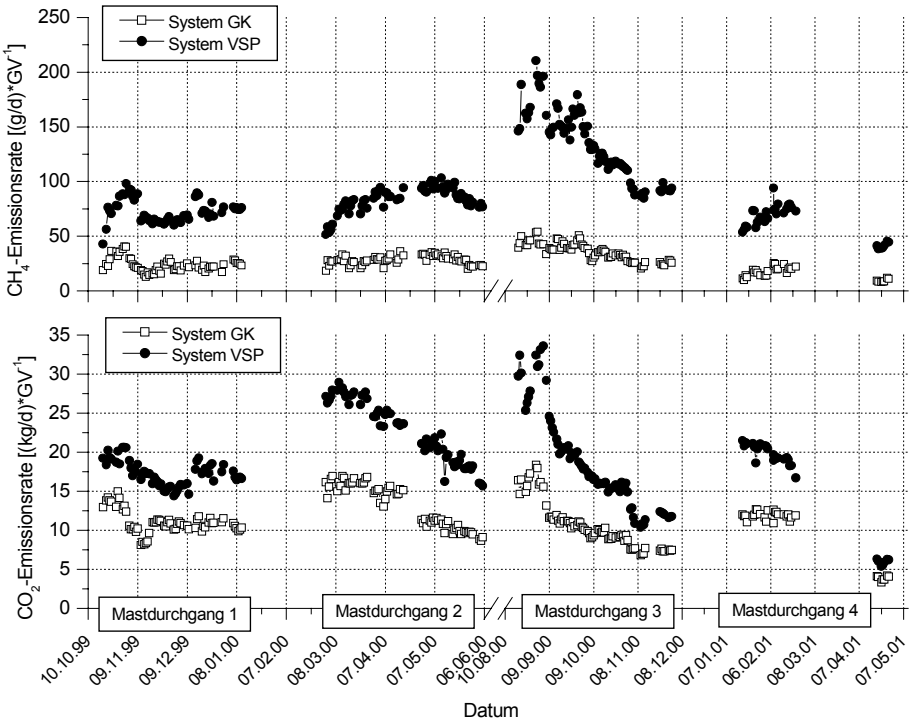

Bild 5: Vergleich der selektierten Tagesmittelwerte der CO_2- und CH_4-Emissionsraten der Haltungssysteme GK (getrennte Klimabereiche) und VSP (Vollspaltenstall) im Verlauf der vier untersuchten Mastdurchgänge

ströme vergleichsweise geringeren Änderungen unterlagen und diesen abnehmenden Effekt weniger überlagerten.

Am Beispiel des Haltungssystems VSP im Mastdurchgang 2 mit einem starken Volumenstromanstieg im Mastverlauf (Bild 4 obere Grafik) zeichnet sich auch auf Basis der Tagesmittelwerte ein Verdünnungseffekt der NH_3 und CO_2 beladenen Luft durch die deutlich höhere Luftrate in der zweiten Masthälfte ab. Die NH_3 und CO_2-Konzentrationen in der Abluft (**Bild 6**) sowie die entsprechenden Emissionsraten sinken deutlich ab. Generell lagen die Abluftkonzentrationen der Gase NH_3, CO_2 (Bild 6) und CH_4 im frei belüfteten Haltungssystem GK deutlich niedriger als im Haltungssystem VSP. Des Weiteren muß darauf hingewiesen werden, dass die Gaskonzentrationen in der Abluft des Systems VSP höher lagen als im Innenraum, wie auch schon von Keck, 1997 [11] beschrieben wurde. Im Tierbereich wurden die maximal zulässigen Gaskonzentrationen für NH_3 und CO_2 nicht überschritten.

Der Emissionsratenvergleich der Gase NH_3, CO_2 und CH_4 zwischen den Haltungssystemen GK und VSP wird in **Tabelle 2** im Rahmen einer deskriptiven Statistik für die untersuchten Mastdurchgänge 1 bis 4 zusammengefasst. Der Unterschied zwischen den Systemen wurde in allen Mastdurchgängen und bei allen Gasen mit Hilfe des nicht-parametrischen Mittelwertvergleiches von zwei unabhängigen Stichproben (U-Test nach Mann u. Whitney) als höchst signifikant eingestuft. Der Vergleich der Emissionen aus den vier untersuchten Mastdurchgängen untereinander innerhalb eines Haltungssystems ergibt ebenfalls höchst signifikante Unterschiede. Dies ist in Hinblick auf die nie gleichen Rahmenbedingungen (vgl. Bild 2; 4) während praktischer Messungen auch bei Langzeituntersuchungen und der vielfältigen Ursache-Wirkungsbeziehungen beim Emissionsgeschehen nachvollziehbar. Ähnliche Ergebnisse sowohl hinsichtlich der Unterschiede zwischen verschiedenen Mastdurchgängen als auch für einen Systemvergleich zwischen einem Außenklimastall und Warmstall zeigten sich bei Rathmer et al., 2001 [16]. Für einen Vergleich der absoluten Emissionsraten mit den zum Teil stark variierenden Angaben aus der Literatur soll an dieser Stelle auf die aktuelle Zusammenstellung und Beschreibung in Niebaum, 2001 [17] verwiesen werden.

Hinsichtlich der NH_3-Emissionsraten stimmen die eigenen Ergebnisse sehr gut mit den in KTBL; UBA, 2001 [4] festgelegten Emissionsfaktoren zur Beschreibung der „Best Verfügbaren Techniken (BVT)“ überein. Hierzu wurde der Mittelwert aus allen vier Mastdurchgängen in die Einheit [kg/TP*a] NH_3-N, die zur Angabe der Emissionsfaktoren verwendet wird, umgerechnet. Für ein Mastschwein wurde im Mittel 0,12 GV gerechnet und es wurden 2,5 Mastdurchgänge pro Jahr angenommen [4]. Nach Umrechnung der eigenen Ergebnisse ergab sich für das Haltungssystem VSP ein mittlerer Emissionsfaktor von 3 [kg/TP*a] NH_3-N im Vergleich zu 2 [kg/TP*a] NH_3-N für das System GK. Zum Vergleich: Als NH_3-Emissionsfaktoren wurden in [4] für geschlossene, wärmegedämmte Ställe mit Flüssigmist und Vollspalten ebenso 3 [kg/TP*a] NH_3-N als Mittelwert festgelegt mit einem unteren bzw. oberen Wert

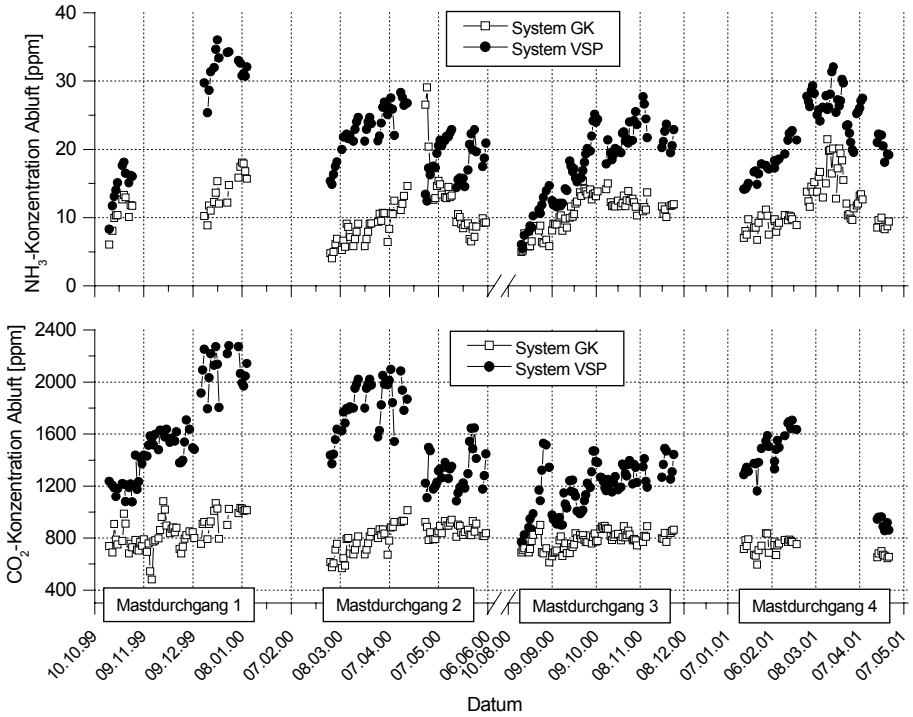

Bild 6: Vergleich der selektierten Tagesmittelwerte der NH_3- und CO_2- Konzentrationen in der Abluft der Haltungssysteme GK (getrennte Klimabereiche) und VSP (Vollspaltenstall) im Verlauf der vier untersuchten Mastdurchgänge

Tabelle 2: Vergleich der NH_3, CO_2- und CH_4-Emissionsraten der Haltungssysteme GK (getrennte Klimabereiche) und VSP (Vollspaltenstall) über vier Mastdurchgänge

	Emissionsrate Basierend auf den selektierten Tagesmittelwerten von 0:00 bis 24:00 mit je 72 Messwerten					
	NH_3 [(g/d)*GV^{-1}]		**CO_2** [(kg/d)*GV^{-1}]		**CH_4** [(g/d)*GV^{-1}]	
Haltungssystem	GK	VSP	GK	VSP	GK	VSP
Mastdurchgang 1 (17.10.99 – 13.01.00) 88 Messtage						
Anzahl selektierter Tage	27 [A]	27 [A]	60	60	60	60
Mittelwert	**67,2**	**100,8**	**11**	**17**	**21,6**	**72**
Median	69,6	110,4	11	17	24,4	69,6
Standardabweichung	21,6	21,6	1,4	1,6	7,2	12
5%-Perzentile	31,2	45,6	8,4	14	14,4	38,4
95%-Perzentile	93,6	136,8	14,6	20,5	60	91,2
Signifikanz des Systemunterschiedes [C]	*** P <= 0,001		*** P <= 0,001		*** P <= 0,001	
Mastdurchgang 2 (28.02.00 – 07.06.00) 100 Messtage						
Anzahl selektierter Tage	64	64	64	64	64	64
Mittelwert	**96**	**148,8**	**13,1**	**22,9**	**28,8**	**84**
Median	96	146,4	13,7	23,4	28,8	84
Standardabweichung	19,2	14,4	2,8	3,9	4,8	12
5%-Perzentile	62,4	127,2	9,2	16,1	21,6	55,2
95%-Perzentile	124,8	177,6	16,1	28,0	36	100,8
Signifikanz des Systemunterschiedes [C]	*** P <= 0,001		*** P <= 0,001		*** P <= 0,001	
Mastdurchgang 3 (14.08.00 – 01.12.00) 102 Messtage						
Anzahl selektierter Tage	69	69	74	74	74	74
Mittelwert	**86,4**	**134,4**	**10,7**	**18,8**	**36**	**134,4**
Median	86,4	132	10,0	16,9	36	134,4
Standardabweichung	16,8	21,6	2,9	6,2	7,2	31,2
5%-Perzentile	60	93,6	7,2	10,8	21,6	88,8
95%-Perzentile	115,2	168	16,9	32,4	48	189,6
Signifikanz des Systemunterschiedes [C]	*** P <= 0,001		*** P <= 0,001		*** P <= 0,001	
Mastdurchgang 4 (15.01.01 – 28.04.01) 102 Messtage						
Anzahl selektierter Tage	63	63	30 [B]	30 [B]	30 [B]	30 [B]
Mittelwert	**91,2**	**117,6**	**10,0**	**16,6**	**16,8**	**62,4**
Median	100,8	117,6	11,8	19,2	16,8	67,2
Standardabweichung	26,4	14,4	3,5	6,1	4,8	14,4
5%-Perzentile	45,6	86,4	3,5	5,4	7,2	38,4
95%-Perzentile	132	144	12,6	21,4	24	86,4
Signifikanz des Systemunterschiedes [C]	*** P <= 0,001		*** P <= 0,001		*** P <= 0,001	

[A] aus dem ersten und letzten Mastviertel [B] v.a. aus der ersten Masthälfte [C] U-Test nach Mann u. Whitney zum Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben

von 2 bzw. 4 [kg/TP*a] NH_3-N. Für Außenklimaställe wurden 2 [kg/TP*a] NH_3-N angenommen.

Als Ursachen für die deutlich geringeren Emissionsraten im Haltungssystem GK konnten Gerätefehler oder andere systematische Fehler auf Grund der Messmethodik und Versuchsanstellung ausgeschlossen werden. Als weitere Ursache wurde an anderer Stelle mehrfach auf die Gefahr einer Unterschätzung der Emission durch sog. Leckluftströme hingewiesen [7; 9]. Als Leckluftstrom wird der ungewünschte Austritt von Innenraumluft durch die Zuluftöffnung verstanden, der anhand erhöhter Gaskonzentrationen an der Zuluftöffnung detektiert, jedoch nicht quantifiziert werden kann. Bei Systemen mit freier Lüftung und ebenfalls in dem hier untersuchten Haltungssystem GK besteht eine erhöhte Gefahr von Leckluftströmen vor allem an warmen und windstillen Tagen, wenn die für den Luftaustausch notwendigen Kräfte Temperaturdifferenz und Winddruck weitgehend fehlen und die Funktion des Lüftungssystems gefährdet ist.

Die Datenauswertung der CO_2-Konzentrationen an der Zuluftöffnung hat gezeigt, dass zwar erhöhte CO_2-Werte gemessen werden, diese jedoch in der Regel nur kurzzeitig auftreten und starken Schwankungen unterliegen. Ein Einfluss auf den Verlauf der Emissionskurve konnte in den meisten Fällen nicht nachgewiesen werden. Im Tagesmittel waren die CO_2-Konzentrationen an der Zuluft nicht höher als im System VSP. Es wird vermutet, dass die an der Zuluftöffnung anhand der erhöhten Gaskonzentrationen detektierte Innenraumluft in den meisten

Fällen das System nicht wie ein Abluftstrom verlässt, sondern auch immer wieder mit der Zuluft zurück in den Stall gedrückt wird. Die für den Emissionsratenvergleich selektierten Tagesmittelwerte wurden anhand der Kriterien Gaskonzentration an der Zuluftöffnung (Verlauf und Mittelwert) in Beziehung zur Windanströmung und zum Volumenstrom (Funktion der Lüftung) auf das Leckluftrisiko hin überprüft. Durch den Einsatz der Stützventilation mit Hilfe des Solarventilators an warmen Tagen konnte die Anzahl der zu verwerfenden Daten im Vergleich zu einer reinen freien Lüftung sicherlich begrenzt werden.

Zur Untersuchung der Emissionsunterschiede zwischen den Haltungssystemen dient zunächst ein Vergleich der CO_2-Emissionsraten mit den in der DIN 18910 [15] genannten Werten zur Abschätzung der physiologischen Stoffwechselleistung. Werden die dort genannten Tabellenwerte für das Einzeltier bei verschiedenen Gewichten auf die Einheit (kg/d)*GV^{-1} umgerechnet, ergibt sich z.B. bei Einzeltiergewichten von 30, 60 oder 100 kg ein CO_2-Massenstrom von ca. 14, 11 bzw. 9 (kg/d)*GV^{-1}. Im Vergleich mit den eigenen Ergebnissen (Bild 5) kann die Vermutung abgeleitet werden, dass die CO_2-Emission im Haltungssystem GK hauptsächlich durch die tierspezifische CO_2-Produktion bestimmt ist und auch vollständig erfasst wurde. Die hiervon abweichenden höheren CO_2-Emissionsraten im System VSP können bedeuten, dass zusätzlich zum tierspezifischen Anteil etwa im Mittel 6 kg/d*GV^{-1} (Tabelle 2) aus anderen Quellen stammen müssen (stallspezifischer Anteil). Untersuchungen von Ni,1998 [18] zur CO_2-Freisetzung aus Flüssigmist stützen diese Argumentation, nach denen der Anteil des aus dem Flüssigmist emittierenden CO_2 an der Gesamtemission zusätzlich mehr als 48 % des durch die Tiere ausgeatmeten CO_2 betragen kann.

Weiterhin besteht nach [17; 18] ein hochsignifikanter positiver Zusammenhang zwischen der CO_2 und NH_3-Emission aus Flüssigmist. Erklärbar ist dies allein aus der Tatsache heraus, dass bei der hydrolytischen Spaltung von Harnstoff (Ammonifizierung) jeweils zwei Moleküle NH_3 und ein Molekül CO_2 gebildet werden. Daraus lässt sich für die eigenen Ergebnisse eine mögliche Begründung ableiten, weshalb sowohl die NH_3- als auch CO_2-Emissionsraten im System VSP um einen ähnlichen Faktor höher liegen als im System GK.

Bezieht man Ergebnisse von Aarnink, 1997 [13] in die Überlegungen mit ein, wonach bereits eine Flüssigmisttemperatursenkung von 1 K eine NH_3-Emissionsminderung von ca. 6,8% zur Folge hat, kann entsprechend für die eigenen Ergebnisse aufgrund der deutlich geringeren Innenraum- und daraus abgeleiteten Flüssigmisttemperaturen für das Haltungssystem GK ein geringeres Emissionspotential gefolgert werden. Umgekehrt ist in verschiedenen Untersuchungen v.a. für zwangsbelüftete Ställe nachgewiesen worden, dass Lufttemperaturen und Substrattemperaturen größer 18 °C zu einer deutlichen NH_3-Emissionserhöhung führen, wobei diese Wirkung jedoch auch immer im Zusammenhang mit der jeweiligen Lüftungsrate und den Luftgeschwindigkeiten an den emittierenden Oberflächen betrachtet werden muss (van den Weghe, 2001 [5]).

Der Temperaturunterschied zwischen den Haltungssystemen wird auch als Hauptgrund für die höheren CH_4-Emissionsraten im Haltungssystem VSP angesehen. Höhere Temperaturen wirken neben weiteren Einflussfaktoren positiv auf die Methanbildung aus Flüssigmist, der vorwiegend anaerob ist. (Clemens et al., 2001 [19]). Niebaum, 2001 [17] konnte beispielsweise bei verschiedenen Messungen jahreszeitliche Einflüsse mit höheren CH_4-Emissionen im Sommerhalbjahr nachweisen. Auf Grund der gleichen Tierherkunft, Fütterung und Flüssigmistzusammensetzung sind Unterschiede zwischen den Haltungssystemen diesen Einflussfaktoren kaum zuzuordnen.

Bei den CH_4-Emissionsraten für das System GK ist zu berücksichtigen, dass die in der Abluft bestimmten Gaskonzentrationen sehr gering waren und deshalb nur an der unteren Grenze des Messbereiches des Gasanalysators mit geringerer Messgenauigkeit bestimmt werden konnten [7].

Fazit und Ausblick

Ziel der kontinuierlichen Emissionsmessungen von NH_3, CO_2 und CH_4 über vier Mastdurchgänge war ein Vergleich der Emissionsraten zwischen einem Haltungssystem mit getrennten Klimabereichen und freier Lüftung (GK) sowie einem Vollspaltenstall mit Zwangslüftung. Die zeitlich hoch aufgelösten Langzeitmessungen lieferten einerseits ausreichend Daten für verschiedene Jahreszeiten und Mastabschnitte und ermöglichten andererseits eine umfassende Datenprüfung und Selektion gemäß eindeutiger Prüfkriterien. Für den Vergleich der Emissionsraten auf Basis der Tagesmittelwerte wurden durchschnittlich 60% der Messtage bzw. Daten berücksichtigt.

Die Randbedingungen Stallbelegung in Großvieheinheiten und Flüssigmistparameter unterschieden sich in den Haltungssystemen VSP und GK nicht wesentlich. Ein Anstieg des Ammonium-Stickstoff-Gehaltes im Flüssigmist mit zunehmender Mastdauer und Flüssigmistmenge war zu verzeichnen. Die Lufttemperatur und rel. Luftfeuchte im Innenraum des Systems GK folgte weitgehend den Außenbedingungen. Die Temperaturen lagen grundsätzlich und auch an warmen Tagen unterhalb der Werte für das System VSP. Für die rel. Luftfeuchte hingegen galt das Gegenteil mit eindeutig höheren Werten für das System GK. Klare Unterschiede waren ebenso zwischen den Haltungssystemen durch die unterschiedliche Funktionsweise der Lüftungssysteme zu erkennen mit v.a. im Winter sehr viel höheren Volumenströmen im System GK im Vergleich zur Winterluftrate der Zwanglüftung im System VSP. Die Gaskonzentrationen in der Abluft des Systems VSP wiesen meist entsprechend deutlich höhere Werte auf. Die Tagesmittelwerte der NH_3, CO_2 und CH_4-Emissionsraten schließlich waren bei allen berücksichtigten Messtagen für das System GK deutlich geringer als im System VSP. Der Vergleich der mittleren Emissionsraten pro Mastdurchgang zwischen den Haltungssystemen ergab einen höchst signifikanten Unterschied zugunsten des Haltungssystems GK. Der Temperaturunterschied zwischen den Haltungssystemen mit Einfluss u.a. auf die Flüssigmisttemperatur wird nach derzeitigem Kenntnisstand als Hauptursache für das unterschiedliche Emissionsniveau und –potenzial für NH_3, CO_2 und CH_4 angesehen.

Der derzeitige Stand der Datenauswertung und Analyse ermöglicht noch keine klare Zuordnung von der Wirkungsweise und –richtung und den Wechselwirkungen verschiedener Einflussfaktoren auf die Emissionshöhe und den Emissionsverlauf in den unterschiedlichen Haltungssystemen. Vor allem bedarf die Analyse im Haltungssystem GK auf Grund der Besonderheiten der Lüftung und der Strukturierung des Raumes in unterschiedliche Funktionsbereiche einer eingehenden differenzierten Betrachtung, da sich bekannte Erklärungsansätze nur eingeschränkt übertragen lassen. Anhand der Tagesverläufe der Emissionen und Randbedingungen gilt es nun die Ursache-Wirkungszusammenhänge gezielt zu untersuchen. Die Ergebnisse sowie daraus abzuleitende Hinweise zur Verminderung der Emissionen klima- und umweltrelevanter Gase sollen anschließend in einem dritten Beitrag zur umweltgerechten Mastschweinehaltung an dieser Stelle veröffentlicht werden.

Literatur

[1] *Schütze, G.; H.-D. Gregor und T. Spranger* (2001): Ökologische Wirkungen von Ammoniak. KTBL-UBA Symposium - Emissionen der Tierhaltung und Beste Verfügbare Techniken zur Emissionsminderung, Bildungszentrum Banz, 03./05.12.2001, Vorabversion der Beiträge; KTBL-Schrift 406 (2002), in Druck

[2] *Benndorf, R.* (2001): Klimarelevante Wirkungen von Lachgas und Methan. KTBL-UBA Symposium -Emissionen der Tierhaltung und Beste Verfügbare Techniken zur Emissionsminderung, Bildungszentrum Banz, 03./05.12.2001, Vorabversion der Beiträge; KTBL-Schrift 406 (2002), in Druck

[3] *Grimm, E.* (2001): Environmental Legislation in the European Union to reduce Emissions from Livestock Production. XXVI Annual Meeting of the Chilean Society for Animal Production, International Symposium on Animal Production and Environmental Issues, Pontificia Universidad Catholica de Chile, 25./27. 07. 2001. (http://www.ktbl.de/umwelt/recht/chile/tieremission.htm)

[4] *KTBL; UBA* (2001): Entwurf: Erstellung eines Gutachtens für einen deutschen Beitrag zur Vollzugsvorbereitung zur Umsetzung der IVU-Richtlinie für den Bereich Intensivtierhaltung, UBA Vorhaben FKZ 360 08 001, Stand November 2001, KTBL Darmstadt; Umweltbundesamt, Berlin

[5] *Van den Weghe, H.* (2001): Emissionen der Schweinehaltung und Minderungsmaßnahmen. KTBL-UBA Symposium - Emissionen der Tierhaltung und Beste Verfügbare Techniken zur Emissionsminderung, Bildungszentrum Banz, 03./05.12.2001, Vorabversion der Beiträge; KTBL-Schrift 406 (2002), in Druck

[6] *Hartung, E. und G.-J. Monteny* (2000): Emission von Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) aus der Tierhaltung. Agrartechnische Forschung 6, H. 4, S. 62-69

[7] *Gallmann, E., E. Hartung und T. Jungbluth* (2000): Umweltgerechte Mastschweinehaltung - Sensitivität der Emissionsmessungen (Environmentally Compatible Fattening Pig Husbandry I – Sensitivity of Emission Measurements). Agrartechnische Forschung (6), H. 6, S. 102-109

[8] *Gallmann, E., W. Bea und E. Hartung* (2000): Umbaulösung für Vollspaltenstall. Landtechnik 55, H. 3, S. 252-253

[9] *Brose, G.* (2000): Emission von klimarelevanten Gasen, Ammoniak und Geruch aus einem Milchviehstall mit Schwerkraftlüftung. Dissertation Universität Hohenheim, Forschungsbericht Agrartechnik VDI-MEG Schrift 362

[10] *Hartung, E.* (1995): Entwicklung einer Messmethode und Grundlagenuntersuchungen zur Ammoniakfreisetzung aus Flüssigmist. Dissertation Universität Hohenheim, Forschungsbericht Agrartechnik, VDI-MEG Schrift 275

[11] *Keck, M.* (1997): Beeinflussung von Raumluftqualität und Ammoniakemissionen aus der Schweinehaltung durch verfahrenstechnische Maßnahmen. Dissertation Universität Hohenheim, Forschungsbericht Agrartechnik, VDI-MEG Schrift 299

[12] *Aarnink, A.J.A* (1997): Ammonia emission from houses for growing pigs as affected by pen design, indoor climate and behaviour. Dissertation Landbouwuniversiteit Wageningen, ISSN 90-5485-662-9

[13] *Seedorf, J., J. Hartung, M. Schröder, K.H. Linkert, S. Perdersen, H. Takai, J.O. Johnsen, J.H.M. Metz, P.W.G. Groot Koerkamp, G.H. Uenk, V.R. Philipps, M.R. Holden, R.W. Sneath, J.L. Short, R.P. White and C.M. Wathes* (1998): Temperature and Moisture Conditions in Livestock Buildings in Northern Europe. Journal of Agricultural Engineering Research (70), No. 1, pp. 49-57, ISSN 0021 8634

[14] *Gallmann, E., E. Hartung und T. Jungbluth* (2001): Untersuchungen zu Stallklima und Luftqualität in einem Mastschweinehaltungssystem mit getrennten Klimabereichen. In: Tagungsband 5. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Universität Hohenheim, 6.-7. März 2001; S. 314-319, ISBN 3-9805559-5-X

[15] *DIN 18 910* (1992): Wärmeschutz geschlossener Ställe. Wärmedämmung und Lüftung. Beuth Verlag, Berlin

[16] *Rathmer, B., A. Gronauer und H. Schön* (2001): Vergleich der Emissionsraten klima- und umweltrelevanter Gase aus der Mastschweinehaltung in einer Dauermessung. In: Tagungsband 5. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Universität Hohenheim, 6.-7. März 2001; S. 134-139, ISBN 3-9805559-5-X

[17] *Niebaum, A.* (2001): Quantifizierung gasförmiger Emissionen aus quer gelüfteten Außenklimaställen für Mastschweine mit Hilfe der Tracergas-Technik. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen, Forschungsbericht Agrartechnik, VDI-MEG Schrift 370

[18] *Ni, J.* (1998): Emission of Carbon Dioxide and Ammonia from a Mechanically Ventilated Pig House. Doctoraatsproefschrift Nr. 338, Faculteit Landbouwkundige en Toegpaste Biologische Wetenschapen, Leuven

[19] *Clemens, J., M. Wolter, S. Wulf und H.-J. Ahlgrimm* (2001): Lachgas- und Methan-Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern. KTBL-UBA Symposium -Emissionen der Tierhaltung und Beste Verfügbare Techniken zur Emissionsminderung, Bildungszentrum Banz, 03./05.12.2001, Vorabversion der Beiträge; KTBL-Schrift 406 (2002), in Druck

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