Dynamik der Geruchsfreisetzung aus einem Schweinestall – Teil 1

Methodische Umsetzung mit Olfaktometrie und „elektronischer Nase“

Gregor Brose und **Eberhard Hartung**
Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, Stuttgart

Die Geruchsemissionen aus Schweineställen unterliegen aufgrund variierender Betriebsbedingungen starken Schwankungen. Genauere Kenntnisse über die Dynamik der Geruchsemissionen sind für eine geeignete Wahl repräsentativer Probenahmezeitpunkte und zur realistischeren Berechnung und Beurteilung von Geruchsimmissionen erforderlich.
Das Untersuchungsprogramm des vorgestellten Projektes umfasst die Messung jahreszeitlicher (Mastverlauf), tageszeitlicher und kurzfristiger (Fütterung) dynamischer Effekte der Geruchsfreisetzung sowie die Identifikation potentieller Einflussfaktoren auf die Höhe der Geruchsemission. Parallel zur „klassischen“ Olfaktometrie wird eine „elektronische Nase“ mit einem Chemosensor-Array von zehn Metalloxid-Sensoren eingesetzt. Erste Ergebnisse zeigen deutlich das Potential von „elektronischen Nasen“, dynamische Veränderungen der Gaszusammensetzung, worin auch die Geruchsstoffe eingeschlossen sind, zu messen. In einem zweiten Teil sollen durch problemangepasste Auswertemethoden mögliche Zusammenhänge zwischen den Sensorsignalen der „elektronischen Nase“ und den olfaktometrisch analysierten Geruchskonzentrationen ermittelt werden.

Schlüsselwörter
Geruch, Olfaktometrie, elektronische Nase, Chemosensor-Array, Schweinehaltung

Einleitung

Zur prognostischen Berechnung von Geruchsimmissionen ist die genaue Kenntnis der Geruchsemission notwendig. Hierzu muss neben dem Abluftvolumenstrom die Geruchskonzentration der Abluft gemessen werden, aus deren Produkt die Geruchsemission ermittelt wird. Zur Bestimmung der Geruchskonzentration wird die Olfaktometrie als Standardmethode eingesetzt, diese weist jedoch trotz aller Standardisierung einige bedeutende Nachteile. Aufgrund der i.d.R. diskontinuierlichen Arbeitsweise mit einzelnen Geruchsproben sind nur Momentaufnahmen der meist veränderlichen Geruchssituation möglich. Die nicht ganz auszuschließende Subjektivität der eingesetzten Prüfpersonen sowie die relativ hohen Kosten pro Geruchsprobe sind weitere Nachteile der Olfaktometrie. Demgegenüber weisen neuartige „Elektronische Nasen“, deren funktionales Herzstück ein Chemosensor-Array ist, eine kontinuierliche Betriebsweise bei gleichzeitig prinzipieller Objektivität der Sensoren und relativ geringen Betriebskosten auf. Diese bieten damit die Möglichkeit, zeitliche Veränderungen der Geruchsemissionen darzustellen und ein langzeitiges Monitoring des Geruchsverlaufs durchzuführen. Erste Anwendungsuntersuchungen befinden sich jedoch noch in der Anfangsphase.

Landwirtschaftliche Gerüche

Gerüche von landwirtschaftlichen Tierhaltungsanlagen führen häufig zu Belästigungen von Anwohnern. Um das Belästigungspotential zu minimieren, werden in bau- und immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren für Neu- und Umbauten von Tierhaltungsanlagen Mindestabstände zur umliegenden Bebauung ermittelt, die in den VDI-Richtlinien 3471 bis 3473 bzw. im Entwurf der neuen VDI-Richtlinie 3474 und in der TA Luft festgeschrieben sind [1-5]. Falls der Mindestabstand unterschritten wird oder die Abstandsregelung nicht anwendbar ist, wird eine Sonderbeurteilung notwendig. Hierbei kommen u.a. Begehungen im Umfeld der Anlage, Windkanalmessungen sowie verschiedene Ausbreitungsmodellrechnungen zur Anwendung. Wesentlicher Eingabeparameter in diese Ausbreitungsmodelle ist die Geruchsemission aus dem Stall. In einer Literaturstudie zu Geruchsemissionen aus der Tierhaltung [6] wurde festgestellt, dass die Datenbasis zu Geruchsemissionen aus der Tierhaltung sehr unbefriedigend ist. Insbesondere liegen keine Untersuchungen über kurzzeitige und jahreszeitliche Veränderungen sowie nur wenige Messungen über tageszeitliche Schwankungen der Geruchsemission vor [7, 8].
Im konkreten Beurteilungsfall wird die Geruchsemission einerseits aus mittleren, tierartspezifischen Geruchsemissionsfaktoren als Durchschnittswert abgeschätzt, was nur selten die tatsächliche Emissionssituation wiedergibt. Andererseits wird die Geruchsemission – wenn möglich – durch punktuelle Messungen der Geruchskonzentration und des Abluftvolumenstrom ermittelt. Die Anzahl der analysierten Geruchsproben ist in Geruchsgutachten aus Kostengründen gering. Die stark wechselnden Betriebsbedingungen in der Tierhaltung und haben jedoch einen erheblichen Einfluss auf die tatsächliche Geruchsemission. Die Ergebnisse weniger olfaktometrischer Momentaufnahmen lassen keine Übertragung auf alle Betriebszustände zu allen Tages- und Jahreszeiten zu. Die Wahl möglichst repräsentativer Zeitpunkte der Geruchsprobenahme verringern i.A. zwar den Fehler, bei stark schwankenden Geruchsemissionen ist die geeignete Wahl repräsentativer Geruchsprobenahmezeitpunkte dennoch schwierig. Wird berücksichtigt, dass zur Beurteilung der Erheblichkeit einer Belästigung durch Geruchsimmissionen die zeitliche Geruchswahrnehmungshäufigkeit zugrunde gelegt wird, dann ist eine zeitlich differenziertere Betrachtung der Geruchsemission erforderlich.

Olfaktometrie

Die Olfaktometrie ist international als das Standardverfahren zur Quantifizierung von Geruchskonzentrationen anerkannt. In der Europäischen Norm prEN 13725, die bisher noch als Entwurf vorliegt [9] und zukünftig in Deutschland die VDI-Richtlinie 3881 [10] ersetzt, wird die Olfaktometrie als Methode zur objektiven Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration definiert. Das Messprinzip besteht darin, dass einem Probandenkollektiv ausgewählter und überprüfter Personen eine Geruchsprobe in unterschiedlichen Konzentrationen durch Verdünnung mit geruchsloser Neutralluft dargeboten wird, um den Verdünnungsfaktor an der Wahrnehmungsschwelle bei 50% der Darbietungen zu ermitteln [9]. Die Geruchskonzentration der analysierten Geruchsprobe entspricht dem Zahlenwert des Verdünnungsfaktors an der Wahrnehmungsschwelle.

Die beschriebene olfaktometrische Methode hat drei wesentliche Nachteile zur Folge:

1. Aufgrund des großen Personal- und Zeitaufwandes bei der Olfaktometrie entstehen hohe Kosten für jede einzelne Geruchsprobe.
2. Durch den Einsatz der menschliche Nase als Sensor ist eine Objektivität des Messergebnisses trotz Standardisierung der Prüfpersonen und des Messverfahrens nicht absolut zu gewährleisten. Selbst die Geruchsempfindung ein und derselben Probanden schwankt und ändert sich im Laufe der Zeit.
3. In den meisten Fällen ist nur eine punktuelle und damit nicht kontinuierliche Bestimmung der Geruchskonzentration möglich. Für eine dynamische Probenahme direkt aus der Geruchsquelle wird eine konstante Geruchskonzentration vorausgesetzt [9], die insbesondere in der Tierhaltung aufgrund wechselnder Betriebsbedingungen nicht vorhanden ist.

Im Normentwurf prEN 13725 werden zwar allgemeine Empfehlungen zu Dauer der Probenahme und Anzahl der Proben gegeben, doch Punkt 1 führt in Geruchsgutachten aus Kostengründen dazu, dass die Anzahl der analysierten Geruchsproben gering gehalten wird. Bei stark wechselnden Geruchsfreisetzungsbedingungen wie in der Tierhaltung und nur einer geringen Geruchsprobenanzahl ist eine gesicherte Aussage über die zeitliche Dynamik von Geruchskonzentrationen nicht möglich.

„Elektronische Nase“

Eine „elektronische Nase“ ist ein Instrument mit einem Chemosensor-Array von mehreren unterschiedlichen elektronischen Sensoren, das durch eine geeignete Mustererkennung und Datenanalyse in der Lage ist, Gerüche zu identifizieren [11]. Es gibt eine Anzahl verschiedener Sensortypen, die nach ihren physikalischen Messprinzipien unterschieden werden [12]. Haupteinsatzgebiet von „elektronischen Nasen“ ist die Produkt- und Prozesskontrolle u.a. in der Lebensmittelindustrie zur Unterscheidung von Gaszusammensetzungen bzw. Geruchsqualitäten [13], auch konnten die Gerüche verschiedener Tierarten unterschieden werden [14]. Die Quantifizierung von Gerüchen, d.h. die Bestimmung der Geruchskonzentration mit „elektronischen Nasen“ rückte in ihrer Anwendung auf Forschungsebene in den letzten Jahren in den Vordergrund. Eine Übersicht von durchgeführten Projekten wird in [13] gegeben. Jedoch ergeben sich bei der Ermittlung von Geruchskonzentrationen mit „elektronischen Nasen“ einige prinzipielle Probleme [15]. Zum einen reagieren die Sensoren sowohl auf geruchsaktive als auch geruchslose Gaskomponenten, eine Feststellung des Signalanteils der Geruchsstoffe oder eine Kompensation der geruchslosen Stoffe ist nicht ohne Weiteres möglich. Zum anderen ist die Kalibrierung der „elektronischen Nasen“ auf olfaktometrisch bestimmte Geruchskonzentrationen nur für einen Geruch mit konstanter Gaszusammensetzung gültig. Diese ist aber bei subjektiv ähnlichen Gerüchen aus verschiedenen Anlagen und auch aus einer Anlage zu verschiedenen Zeiten so unterschiedlich, so dass für jede Gaszusammensetzung eine eigene Kalibrierung vorzunehmen wäre. Nur für einen begrenzten Messzeitraum mit unwesentlichen Veränderungen der Gaszusammensetzung ist eine Kalibrierung möglich. Ziel muss es zukünftig sein, diese Fehlerquellen durch problemangepasste Anwendung der „elektronischen Nasen“ und entsprechende Auswertung der Messdaten zu minimieren.

Der besondere Vorteil von „elektronischen Nasen“ gegenüber der Olfaktometrie ist die Möglichkeit zur kontinuierlichen Messung. Damit lassen sich auch kurzfristige Veränderungen der Geruchsfreisetzung darstellen.

Darüber hinaus bieten die Sensoren den Vorteil – dabei ist eine einheitliche und wiederholbare Nullpunktskalibrierung der Sensoren mit Referenzluft vorausgesetzt – einer objektiven Messung der Geruchsstoff- und Gaszusammensetzung. Und nicht zuletzt sind die variablen Kosten gegenüber der Olfaktometrie wesentlich geringer.

Zielsetzung

Ziel der aktuellen Untersuchung ist es, die zeitliche Dynamik der Geruchsemission aus einem Mastschweinestall zu erfassen. Hierzu wird eine „elektronische Nase“ (Chemosensor-Array mit 10 Sensoren) eingesetzt, die durch kontinuierliche Betriebsweise eine höhere zeitliche Auflösung der Daten als mit der Olfaktometrie zulässt. Zusätzlich wird auch eine große Anzahl regelmäßiger Geruchsproben mit Hilfe der „klassischen Olfaktometrie“ analysiert, um die absolute Höhe der Geruchskonzentrationen zu ermitteln. Der parallele Einsatz beider Methoden bietet die Möglichkeit, die Schwachpunkte jeder Methode durch die ergänzenden Informationen der anderen Methode auszugleichen. Darüber hinaus werden die Randbedingungen und potentielle Einflussfaktoren auf die Höhe und Dynamik der Geruchsemission miterfasst, um mögliche Ursachen für die Schwankungen der Geruchsemission aus einem Schweinestall zu erkennen.

Untersuchungsprogramm

Die Untersuchungen erstrecken sich über drei Mastperioden von August 2000 bis Oktober 2001. Dabei sollen folgende dynamische Einflüsse auf die Geruchsemission aus einem Mastschweinestall untersucht werden:

1. Verlauf der Geruchsemission und des Geruchsemissionsfaktors über die Mastperiode: Die Geruchskonzentrationen werden durch regelmäßige wöchentliche Geruchsproben olfaktometrisch bestimmt. Parallele Messungen mit einer „elektronischen Nase“ sollen Aufschluss über Veränderungen des Signalmusters über die Mastperiode geben.
2. Tageszeitlicher Verlauf der Geruchsemission: Durch regelmäßige Geruchsproben während eines Tages werden die Geruchskonzentrationen olfaktometrisch ermittelt. Die parallele semi-kontinuierliche Messung mit einer „elektronischen Nase“ gibt Aufschluss über die tageszeitliche Veränderung der Geruchsstoffzusammensetzung.
3. Kurzfristige Einflüsse auf die Geruchsemission (z.B. Fütterung): Diese werden durch zahlreiche Geruchsproben olfaktometrisch und durch parallele kontinuierliche Messung mit einer „elektronischen Nase“ erfasst.

4. Untersuchung von potentiellen Einflussfaktoren auf die Höhe der Geruchsemission durch zeitparallele Erfassung der Randbedingungen und möglicher Einflussgrößen.

Weiterhin sollen Zusammenhänge zwischen den Sensorsignalen der „elektronischen Nase“ und den olfaktometrisch ermittelten Geruchskonzentrationen überprüft werden.

Untersuchungseinrichtungen

Die Untersuchungen werden in einem Versuchsstalls für Mastschweine der Universität Hohenheim durchgeführt (**Bild 1**) [16]. Das Vollspaltenabteil wird mit einer Unterflurabsaugung über nur einen Abluftschacht zwangsbelüftet, wobei zentral über den Buchtenreihen angebrachte Porenkanäle für die Zuluft sorgen (**Bild 2**). Das Abteil ist in sechs Buchten unterteilt, die jeweils mit einem Futtertrog und einer Beschäftigungseinrichtung ausgestattet sind. Mit je neun Mastschweinen pro Bucht ergibt sich ein Platzangebot von 0,8 m² pro Mastschwein. Gefüttert wird mit einer Sensorfütterung in Intervallen von 1,5 Stunden in der Zeit von 6 Uhr bis 22 Uhr.

Bild 1: Außenansicht des Mastschweineabteils

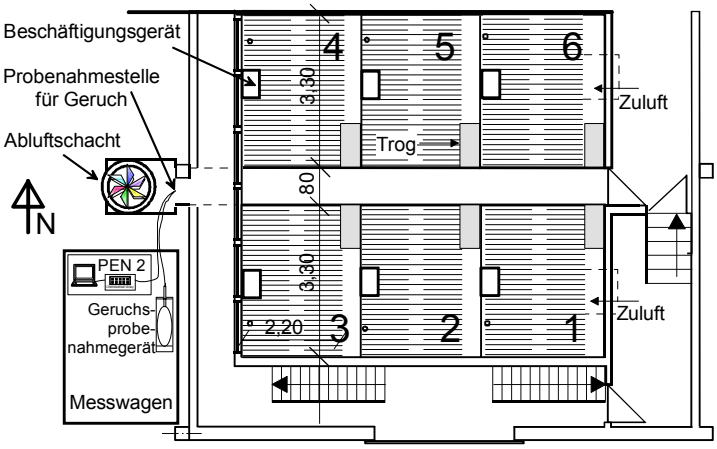

Bild 2: Grundriss des untersuchten Mastschweineabteils

Probenahme

Die Probenahmestelle sowohl der Geruchsproben für die Olfaktometrie als auch für die „elektronischen Nase“ befindet sich in einem engen Querschnitt der Zentralabsaugung unmittelbar vor dem Abluftschacht. Die ca. 4 Meter langen Probenschläuche aus Teflon führen in den nebenstehenden Messwagen und sind zur Vermeidung von Kondensation beheizt und gedämmt. Im Messwagen befinden sich die „elektronische Nase“ mit den Einrichtungen zur Referenzluftkonditionierung und das Unterdruck-Probennahmegerät (**Bild 3**). Mit diesem werden die ca. 10 Liter fassenden Nalophan®-Beutel als Geruchsproben für die Olfaktometrie befüllt.

Olfaktometer TO7

Nach der Probenahme in einen Probenbeutel wird die Geruchskonzentration innerhalb von 8 Stunden am Olfaktometer TO7 [17] bestimmt, das in Übereinstimmung mit dem CEN-Entwurf prEN 13725 [9] arbeitet (**Bild 4**). Die Probandenauswahl erfolgt ebenfalls nach CEN-Norm mit n-Butanol-Prüfgas, das auch vor jeder Olfaktometersitzung zur Überprüfung der aktuellen Verfassung der Probanden verwendet wird.

„Elektronische Nase“ PEN 2

Bei der eingesetzten „elektronischen Nase“ handelt es sich um das Gerät PEN 2 der Firma WMA Airsense mit einem Chemosensor-Array von zehn Metalloxidsensoren [18]. Die einzelnen Sensoren sind unterschiedlich beschichtet und reagieren damit auf bestimmte Gase (darin sind die Geruchsstoffe eingeschlossen) unterschiedlich sensibel. Als Messsignal wird der elektrische Widerstand R bzw. die elektrischen Leitfähigkeit G der Sensoren ermittelt, die sich durch Adsorption oder katalytische Reaktion der Gase auf dem Sensor ändern. Diese Sensorsignale von Probenluft werden mit den Signalen R_0 bzw. G_0 von geruchsfreier Referenzluft verglichen, welche ebenso zum regelmäßigen Spülen des Sensorarrays verwendet wird, um eine mögliche Drift der Sensoren gering zu halten.

Bild 3: Einrichtung des Messwagens zur Geruchsmessung

Bild 4: Olfaktometer TO7 mit vier Probanden und Versuchsleiterin

Eine interne Pumpe saugt Probenluft von derselben Probenahmestelle an wie für die Olfaktometrie (**Bild 5**). Die Probenluft wird durch einen Teflonfilter gereinigt, um eine Schädigung der Sensoren zu vermeiden. Die „elektronischen Nase“ kann in einem kontinuierlichen und einem semikontinuierlichen Modus verwendet werden. Der kontinuierliche Modus ermöglicht eine sekündliche Auflösung, aufgrund einer Signaldrift ist er jedoch nur für eher kurzzeitige Messungen geeignet. Mehrstündige Messungen werden im semikontinuierlichen Modus durchgeführt, in dem durch regelmäßiges Spülen des Chemosensor-Arrays mit konditionierter Referenzluft die Sensorsignale immer wieder auf einen einheitlichen Nullwert kalibriert werden. Bei sehr hohen Geruchs- bzw. Gaskonzentrationen kann ein integriertes automatisches Verdünnungssystem zugeschaltet werden, damit die chemische Beladung der Sensoren gering gehalten wird und die Erholungszeit der Sensoren beim Spülen mit Referenzluft möglichst klein bleibt.

Weitere Messgrößen

Zur Berechnung der Geruchsemission wird der Abluftvolumenstrom mit einem in den Abluftschacht eingebauten und dort kalibrierten Messventilator gemessen. Weiterhin werden zur Feststellung der Bedingungen im Stall und in der Abluft bzw. als mögliche Einflussfaktoren auf die Geruchsfreisetzung die Lufttemperatur und relative Luftfeuchte, die Staubkonzentration (alle Sensoren befinden sich zwischen Bucht 1 und 2 ca. ein Meter über dem Spaltenboden sowie unmittelbar neben der Geruchsprobenahmestelle im Abluftschacht) sowie die Tieraktivität in den Buchten 2 und 6 kontinuierlich erfasst. Die Staubkonzentration wird mit „Dust Track™“ Aerosol-Monitoren [19], die Tieraktivität wird mit passiven Infrarot-Sensoren [20] gemessen. Zusätzlich wird die Ammoniak-Konzentration in der Abluft erfasst, um eine mögliche Analogie zwischen Ammoniak- und Geruchsfreisetzung aufgrund ähnlicher Freisetzungquellen und -mechanismen zu überprüfen. Darüber hinaus werden das Tiergewicht sowie die Futter- und Flüssigmistparameter regelmäßig bestimmt.

Erste Ergebnisse

Die vollständigen Messergebnisse werden in einer der nächsten Ausgaben der Agrartechnischen Forschung präsentiert werden. An dieser Stelle sollen aber erste Ergebnisse zeigen, dass die Sensorsignale der eingesetzten „elektronischen Nase“ deutlich zeitlichen Veränderungen unterliegen, die auf Schwankungen der Gaszusammensetzung – und implizit auch der Geruchsstoffzusammensetzung – in der Abluft zurückzuführen sind.

Bild 6 stellt einen Tagesverlauf der Sensorsignale über 24 Stunden dar. Zu erkennen sind unterschiedliche Höhen der Sensorsignale zu verschiedenen Tageszeiten, wobei die einzelnen Sensoren keinen parallelen Verlauf zeigen. Als Ursachen für die Schwankungen der Sensorsignale sollen u.a. die Temperatur, die Tieraktivität sowie der Volumenstrom untersucht werden. Neben einem Verdünnungseffekt hat der Volumenstrom auch einen Einfluss auf die Geruchsfreisetzung durch unterschiedlich resultierende Überströmungsbedingungen. Deshalb werden Messungen sowohl bei konstantem als auch bei variierendem Volumenstrom durchgeführt.

Als weiteres Beispiel ist in **Bild 7** der Verlauf der zehn Sensorsignale der „elektronischen Nase“ während einer Fütterungszeit dargestellt. Zu erkennen ist der ausgeprägte Anstieg der Signale zu Beginn der Fütterungszeit. Nach der Fütterung von wenigen Minuten klingen die Werte wieder allmählich ab. Während der Fütterung ist die Aktivität der Schweine deutlich erhöht. Neben der bloßen Futteraufnahme kommt es zu vermehrtem Harnen und Koten und zu verstärkter Bewegung, was zur Erneuerung und Öffnung emissionsaktiver Oberflächen führt. Dies resultiert in einer verstärkten Freisetzung von Gasen und Geruchsstoffen, was sich in den erhöhten Sensorsignalen wiederspiegelt. Parallele olfaktometrische Messungen müssen zeigen, ob sich dies auch in einer Erhöhung der olfaktometrischen Geruchsstoffkonzentration niederschlägt.

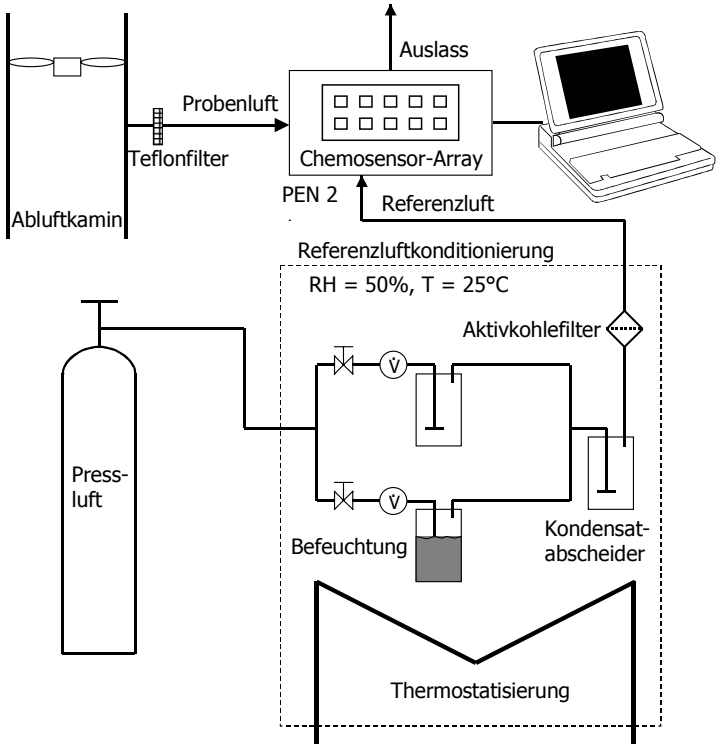

Bild 5: Schema der „elektronischen Nase“ mit Referenzgaskonditionierung

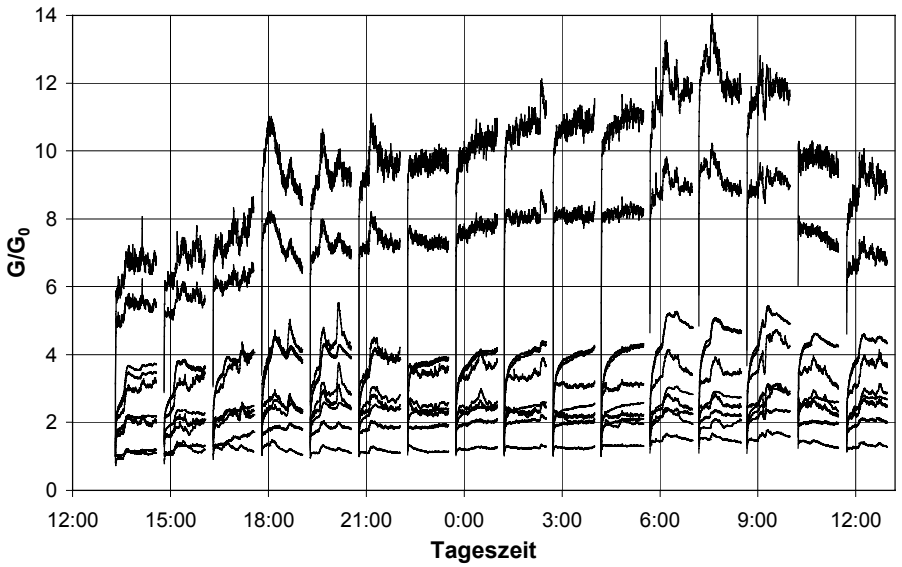

Bild 6: Verlauf der Signale der „elektronischen Nase“ über 24 Stunden bei semi-kontinuierlicher Betriebsweise

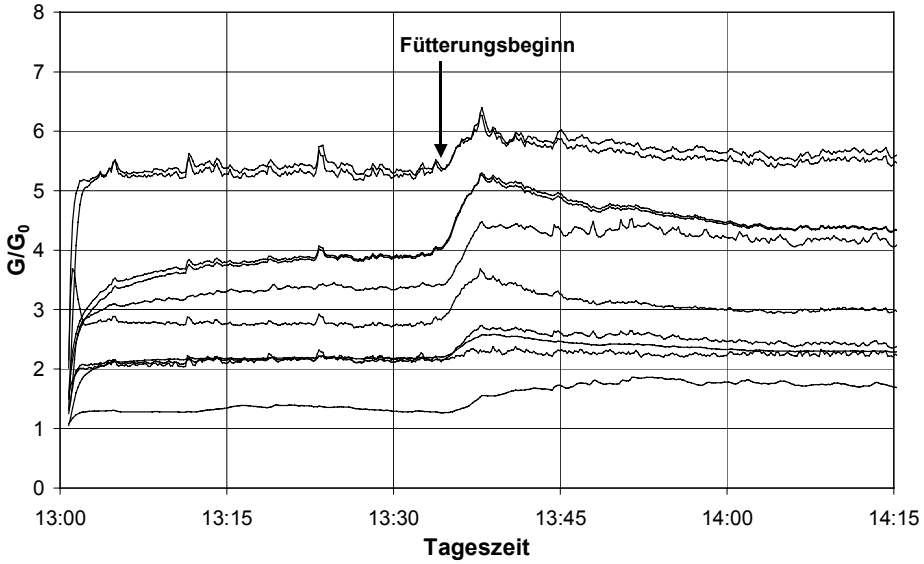

Bild 7: Verlauf der Signale der „elektronischen Nase“ während einer Fütterung um 13:35 Uhr

Zusammenfassung und Ausblick

Die Geruchsemissionen aus Schweineställen unterliegen aufgrund variierender Betriebsbedingungen starken Schwankungen. Genauere Kenntnisse über die Dynamik der Geruchsemissionen sind für eine geeignete Wahl repräsentativer Probenahmezeitpunkte und zur realistischeren Berechnung und Beurteilung von Geruchsimmissionen erforderlich. Das Untersuchungsprogramm des vorgestellten Projektes umfasst die Messung jahreszeitlicher (Mastverlauf), tageszeitlicher und kurzfristiger (Fütterung) dynamischer Effekte der Geruchsfreisetzung sowie die Identifikation potentieller Einflussfaktoren auf die Höhe der Geruchsemissionen.

Neben der „klassischen“ Olfaktometrie, die aufgrund einzelner Geruchsproben nur eine begrenzte zeitliche Auflösung der Geruchskonzentration ermöglicht, wird zusätzlich zur Analyse der Geruchskonzentration die kontinuierlich arbeitende „elektronische Nase“ PEN 2 mit einem Chemosensor-Array von zehn Metalloxid-Sensoren eingesetzt. Erste Ergebnisse zeigen deutlich das Potential von Chemosensor-Arrays, dynamische Veränderungen der Gaszusammensetzung und damit indirekt der Geruchsstoffzusammensetzung zu messen. Parallele Messungen beider Methoden ermöglichen es, die Vorteile jeder Methode zu nutzen und Nachteile auszugleichen. Problemangepasste Auswertemethoden sollen mögliche Zusammenhänge zwischen den Sensorsignalen der „elektronischen Nase“ und den olfaktometrisch analysierten Geruchskonzentrationen ermitteln. Weitere Ergebnisse werden in einem zweiten Teil dargestellt.

Ziel wird es neben der Ergebnisauswertung und -darstellung sein, aus den Ergebnissen Empfehlungen für die Anzahl und die Wahl geeigneter repräsentativer Probenahmezeitpunkte zu geben und eine Datengrundlage zur dynamischen Betrachtung der Geruchsausbreitungsrechnung zu schaffen. Mit einer Chemosensor-Array könnte zukünftig ein Instrument zur Verfügung stehen, das ein langzeitiges Monitoring des Geruchsverlaufs ermöglicht und als elektronischer Sensor in ein Regelsystem zur geruchsreduzierenden Lüftungssteuerung integriert werden könnte.

Literatur

[1] *VDI-Richtlinie 3471* (1986): Emissionsminderung; Tierhaltung; Schweine. Beuth Verlag, Berlin.

[2] *VDI-Richtlinie 3472* (1986): Emissionsminderung; Tierhaltung; Hühner. Beuth Verlag, Berlin.

[3] *VDI-Richtlinie 3473* (1994): Emissionsminderung – Tierhaltung – Rinder/Geruch (Entwurf). Beuth Verlag, Berlin.

[4] *VDI-Richtlinie 3474* (2001): Emissionsminderung – Tierhaltung – Geruchsstoffe (Entwurf). Beuth Verlag, Berlin.

[5] *TA Luft* (1986): Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) vom 7. Februar 1986, GMBl G 3191 A Bd. 37 Nr. 7, S. 95/144, zuletzt geändert am 19. Dezember 1996 (BGBl. I.,1996, Nr. 66 S. 1969 ff.)

[6] *Martinec M., E. Hartung und T. Jungbluth* (1998a): Daten zu Geruchsemissionen aus der Tierhaltung. KTBL Arbeitspapier 260, ISBN 3-7843-1998-2.

[7] *Brose, G.* (2000): Emission von klimarelevanten Gasen, Ammoniak und Geruch aus einem Milchviehstall mit Schwerkraftlüftung. Dissertation, VDI-MEG Schrift 362, ISSN 0931-6264, Universität Hohenheim.

[8] *Martinec M., G. Brose und E. Hartung* (1998b): Course of the day of odour release from livestock buildings and odour reduction with biofilters. In: Proceedings of the International Conf. on Agricultural Engineering AgEng Oslo 1998, paper-No. 98-E-037

[9] *CEN* (1999): Draft prEN 13725. “Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry”. European Committee for standardization, Brüssel

[10] *VDI-Richtlinie 3881* (1986): Blatt 1, Olfaktometrie; Geruchsschwellenbestimmung; Grundlagen. Beuth Verlag, Berlin.

[11] *Gardner, J.W., und P.N. Bartlett* (1994): A brief history of electronic noses. Sensors and Actuators B 18-19, 211-220

[12] *Heining, K.* (1999): Elektronische Nasen. Bauarten von elektronischen Olfaktometern – Sensortypen – Probenahmetechniken – Störeinflüsse bei der Messung – Methoden der Auswertung. Ingenieure heute 2, 6, 1-15

[13] *Heining, K. und B. Wiese* (2000): Elektronische Geruchsmessung – Systeme und Anwendbarkeit im Immissionsschutz, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 60, 5, 195-200

[14] *Maier, B., G. Riess und A. Gronauer* (2000): Erkennung und Bewertung von Geruchsemissionen aus der Landwirtschaft – Einsatz von chemischen Sensorarrays. Agrartechnische Forschung 6, 2, 32-35
[15] *Boeker, P.* (2001): Chemosensorik und Geruchsmessung – Stand der elektronischen Olfaktometrie. Agrartechnische Forschung 7, 4, 77-81
[16] *Hartung, E., A. Hauser, E. Gallmann und A. Stubbe* (1999): Die tier- und umweltgerechte Mastschweinehaltung ist das Ziel – Konzeption eines Versuchsstalls. Landtechnik 54, 4, 236-237
[17] *ECOMA* (2001). http://www.ecoma.de
[18] *Airsense* (2001). http://www.airsense.com
[19] *Gallmann, E., E. Hartung und T. Jungbluth* (2000): Diurnal and seasonal course of dust concentration in different ventilated pig houses. In*:* Proceedings of the 2nd International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations, 9.-11. Oktober 2000, Des Moines, Iowa, ASAE Publication 701P0003, St. Joseph, 313-320.
[20] *Pedersen S. und C.B. Pedersen* (1995): Animal Activity Measured by Infrared Detectors. J. agric. Engng. Res. 61, 239-246.

Wir bedanken uns beim Land Baden-Württemberg für die Projektfinanzierung im Rahmen von BW-PLUS.

Autoren

Dr. Dipl.-Ing. Gregor Brose
Universität Hohenheim
Institut für Agrartechnik
Garbenstr. 9
70599 Stuttgart
Tel.: +49/(0)711/459-2506
Fax: +49/(0)711/459-2519
email: **gbrose@uni-hohenheim.de**

Dr. Eberhard Hartung
Universität Hohenheim
Institut für Agrartechnik
Garbenstr. 9
70599 Stuttgart
Tel.: +49/(0)711/459-2507
Fax: +49/(0)711/459-2519
email: **vtp440ha@uni-hohenheim.de**