

Forschungsbericht FZKA-BWPLUS

**Ermittlung eines Datensatzes zur dynamischen Geruchsfreisetzung
aus Schweineställen und deren Auswirkung
auf das Ausbreitungsverhalten von Geruchsstoffen**

GREGOR BROSE, EBERHARD HARTUNG,
THOMAS JUNGBLUTH

Universität Hohenheim
Institut für Agrartechnik

Förderkennzeichen: BWE 20004

Die Arbeiten des Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

Juli 2002

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	4
2	Zielsetzung	5
I	Koordination und Versuche im Rahmen des Verbundprojektes	
3	Verbundprojekt „Geruchsfreisetzung und –ausbreitung“	6
3.1	Messaufbau für die vom Institut für Agrartechnik ermittelten Messgrößen	6
3.1.1	Messung des Abluftvolumenstroms	6
3.1.2	Olfaktometrische Messung der Geruchskonzentration in der Abluft	8
3.1.3	Durchführung der Geruchsfahnenbegehungen	9
3.1.4	Überprüfung der Qualitätsanforderungen für Probanden der Olfaktometrie und der Begehungen	9
3.2	Ergebnisse der begleitenden Messgrößen zu den Geruchsfahnenbegehungen	10
3.2.1	Abluftvolumenströme	10
3.2.2	Geruchskonzentrationen und Geruchsemissionen	13
3.2.3	Begehungsdaten	14
II	Eigene Untersuchungen zur dynamischen Geruchsfreisetzung	
4	Kenntnisstand	15
4.1	Geruchsemissionen aus der Mastschweinehaltung	15
4.2	Messmethoden zur Bestimmung der Geruchsemission	15
4.2.1	Olfaktometrie	16
4.2.2	Die „elektronische Nase“	17
5	Untersuchungseinrichtungen	18
5.1	Mastschweinestall	18
5.2	Probenahme	20
5.3	Olfaktometer TO7	20
5.4	„Elektronische Nase“ PEN 2	21
5.5	Weitere Messgrößen	23
6	Untersuchungsprogramm	24
7	Ergebnisse	24
7.1	Zeitliche Einflüsse	25
7.1.1	Einfluss des Jahresverlaufs	25

7.1.2	Einfluss des Tagesverlaufs	30
7.2	Einflüsse durch besondere Ereignisse	33
7.2.1	Einfluss der Fütterung	33
7.2.2	Einfluss von Abluftvolumenstromveränderungen	35
7.2.3	Weitere äußere Einflüsse	36
7.3	Bedeutung einzelner Parameter	37
8	Praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse	39
8.1	Geruchsprouahme an Stallanlagen	39
8.2	Berücksichtigung der Geruchsemissionsschwankungen in Ausbreitungsmodellrechnungen	39
8.3	Empfehlungshinweise für den Einsatz „elektronischer Nasen“ und mögliche Einsatzgebiete von Chemosensor-Arrays in der Landwirtschaft	40
9	Zusammenfassung	41
10	Veröffentlichungen, Vorträge und Workshop	42
10.1	Veröffentlichungen	42
10.2	Vorträge	43
10.3	Workshop	43
11	Literatur	44
A	Anhang	47

1 Einleitung und Problemstellung

Die landwirtschaftliche Tierhaltung ist ein bedeutender Emittent von Geruchsstoffen, die immissionsseitig in der umliegenden Nachbarschaft zu Belästigungen führen können. Um diese Belästigungen zu vermeiden bzw. zu minimieren, werden in bau- und immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren für Neu- und Umbauten von Tierhaltungsanlagen Mindestabstände zur umliegenden Bebauung gefordert, die in den VDI-Richtlinien 3471 bis 3473 bzw. im Entwurf der neuen VDI-Richtlinie 3474 und in der TA Luft festgeschrieben sind [VDI 3471, 1986; VDI 3472, 1986; VDI 3473, 1994; VDI 3474, 2001; TA Luft, 1986]. Falls der Mindestabstand unterschritten wird oder die Abstandsregelung nicht anwendbar ist, wird eine Sonderbeurteilung notwendig. Hierbei kommen u.a. Begehungen im Umfeld der Anlage, Untersuchungen mit einem Anlagenmodell im Windkanal sowie verschiedene Ausbreitungsmodellrechnungen zur Anwendung.

Wesentlicher Eingabeparameter in Geruchsausbreitungsmodelle ist die Geruchsemission aus dem Stall. Im konkreten Planungsfall wird die Geruchsemission einerseits aus mittleren, tierartspezifischen Geruchsemissionsfaktoren als Durchschnittswert abgeschätzt, was aber nur selten die tatsächliche Emissionssituation des betreffenden Einzelobjekts wiedergibt. Andererseits wird die Geruchsemission – wenn möglich – durch punktuelle Messungen der Geruchskonzentration und des Abluftvolumenstroms ermittelt. Aus Kostengründen kann aber nur eine geringe Anzahl an Geruchsproben für Geruchsemissionsmessungen analysiert werden.

Die stark wechselnden Betriebsbedingungen in der Schweinehaltung durch klimatische und biologische Veränderungen (Temperatur- und Volumenstromänderungen zwischen Tag und Nacht sowie Sommer und Winter, zunehmende Tiermasse während der Mast, etc.) und haben jedoch einen erheblichen Einfluss auf die Höhe der tatsächlichen Geruchsemission. Die Ergebnisse weniger olfaktometrischer Momentaufnahmen lassen daher 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 z.B. nach der Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL) die zeitliche Geruchswahrnehmungshäufigkeit zugrunde gelegt wird, dann ist eine zeitlich differenziertere Betrachtung der Geruchsemission naheliegend. Deshalb ist für eine realistischere Berechnung und Beurteilung von Geruchsimmissionen eine genauere Kenntnisse über die zeitliche Dynamik der Geruchsemissionen aus Schweineställen erforderlich.

Zur Ermittlung der Geruchsemission muss neben dem Abluftvolumenstrom die Geruchskonzentration in der Abluft bekannt sein, aus deren Produkt die Geruchsemission berechnet wird. Zur Bestimmung der Geruchskonzentration wird die Olfaktometrie als Standardmethode eingesetzt, diese weist jedoch trotz aller Standardisierung einige bedeutende Problembereiche auf. Aufgrund der i.d.R. diskontinuierlichen Arbeitsweise mit einzelnen Geruchsproben, die zeitversetzt zur Probenahme analysiert werden, sind nur Momentaufnahmen der meist veränderlichen Geruchssituation möglich. Die nicht ganz auszuschließende Subjektivität der eingesetzten Prüfpersonen, ihre relativ große Varianz in ihrer Sensibilität gegenüber verschiedenen Geruchsstoffen sowie die relativ hohen Kosten pro Geruchsprobe sind weitere Problembereiche 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 Gas- und Geruchszusammensetzung in der Abluft darzustellen und ein langzeitiges Monitoring des Geruchsverlaufs durchzuführen.

2 Zielsetzung

Ziel des durchgeführten Projektes war es, die zeitliche Dynamik der Geruchsemission aus einem Mastschweinestall zu erfassen. Dabei sollten jahreszeitliche (Mastverlauf), tageszeitliche und kurzfristige (Fütterung) dynamische Effekte der Geruchsfreisetzung sowie die Identifikation potentieller Einflussfaktoren auf die Höhe der Geruchsemission ermittelt werden. Parallel zur Olfaktometrie, mit der durch eine große Anzahl regelmäßiger Geruchsproben die absolute Höhe der Geruchskonzentrationen ermittelt wurde, wurde eine „elektronische Nase“ mit einem Chemosensor-Array von zehn Metalloxid-Sensoren eingesetzt. Diese ließ durch kontinuierliche Betriebsweise eine höhere zeitliche Auflösung der Daten als mit der Olfaktometrie zu. Der parallele Einsatz beider Methoden bot die Möglichkeit, die Schwachpunkte jeder Methode durch die ergänzenden Informationen der anderen Methode auszugleichen. Ergänzend wurden 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. Darüber hinaus sollten die im Folgenden beschriebenen Forschungsarbeiten für das Verbundprojekt „Geruchsfreisetzung und –ausbreitung“ durchgeführt werden.

I Koordination und Versuche im Rahmen des Verbundprojektes

3 Verbundprojekt „Geruchsfreisetzung und –ausbreitung“

Das gemeinsame Ziel des Verbundprojektes war die Bereitstellung eines zur Validierung von Geruchsausbreitungsmodellen geeigneten Datensatzes. Dieser wurde anhand von Geruchsfahnenbegehungen an einen Schweinemaststall ermittelt. Gleichzeitig wurde ein Tracergas im Abluftschacht freigesetzt und die Konzentrationen an dem Standorten der Begehungsprobanden gemessen. Systematische Windkanaluntersuchungen ergänzten die Feldmessungen. Außerdem wurde die Lagerfähigkeit von Geruchsproben untersucht.

Am Verbundprojekt waren folgende Einrichtungen beteiligt:

- Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim
- Ingenieurbüro Dr. A. Lohmeyer, Karlsruhe
- Meteorologisches Institut der Universität Hamburg
- IMA Richter und Röckle, Freiburg

Im Rahmen des Verbundprojektes leistete das Institut für Agrartechnik folgende Aufgaben:

- Auswahl eines geeigneten Schweinemastbetriebs
- Messaufbau und Ermittlung des Abluftvolumenstroms während der Begehungen
- Olfaktometrische Analyse der Geruchkonzentration und Berechnung der Geruchsemission
- Durchführung der Geruchsfahnenbegehungen mit eigenen Probanden
- Koordination des Verbundprojektes
- Organisation von Arbeitstreffen und eines Workshops zur Ergebnispräsentation

Die vom Institut für Agrartechnik ermittelten Daten wurden zur weiteren Auswertung an die betreffenden Projektpartner weitergeleitet. Im Folgenden werden daher ausschließlich die eingesetzten Messmethoden beschrieben und die emissionsseitig ermittelten Daten dargestellt.

3.1 Messaufbau für die vom Institut für Agrartechnik ermittelten Messgrößen

3.1.1 Messung des Abluftvolumenstroms

Das Lüftungssystem des untersuchten Mastschweinestalls bestand aus einem Unterflurlüftungssystem mit Zentralabsaugung über zwei große Abluftschächte, die sich einen Meter südlich vom First und in Stalllängsrichtung gleichmäßig verteilt befanden. Die Luftführung gestaltete sich derart, dass die Zuluft aus dem Dachraum über Porenfolien in die Abteile gelangte und die Abluft aus den einzelnen Abteilen kammartig unter den Versorgungsgängen bzw. dem Zentralgang zu den Abluftschächten abgesaugt wurde. Die beiden gemauerten Abluftschächte waren baugleich mit je drei Axialventilatoren CF 090 D der Firma Ziehl-Abegg (Durchmesser 90 cm) versehen, die nebeneinander in Stalllängsrichtung und ca. 1 m über dem Niveau des Versorgungsgangbodens angebracht waren. Um nur einen Emissionsort der geruchsbeladenen Stallabluft zu erhalten, wurden die Ventilatoren im westlichen Abluftschacht ausgeschaltet und die Schachtoffnung von oben verschlossen.

In den ca. 7 m hohen Abluftschacht (338 cm x 107 cm) wurden oberhalb der Axialventilatoren zwei Trennwände aus Holz eingezogen, die den gesamten Abluftschacht in drei separate, annähernd quadratische Züge (im Folgenden Zug West, Zug Mitte und Zug Ost genannt) für jeden Axialventilator unterteilen. Das ermöglichte, die Abluftvolumenströme jedes Axialventilators einzeln zu ermitteln. Zur kontinuierlichen Messung des Abluftvolumenstroms in den drei verschiedenen Zügen des Abluftschachtes wurden zweiflügelige Messventilatoren genutzt, deren Durchmesser mit 105 cm geringfügig kleiner als die Breite des Abluftschachtes war. Diese wurden durch den Abluftstrom in eine Drehbewegung versetzt und überstreichen damit den größten Teil der Querschnittsfläche des jeweiligen Schachtzuges.

Die Messventilatoren wurden im eingebauten Zustand in den Abluftschachtzügen zu Beginn des Untersuchungszeitraum kalibriert. Zur Kalibrierung wurde ein 2 m langes Rohr (Innendurchmesser 63 cm) mit Hilfe eines passenden Übergangsstückes auf die jeweiligen Abluftschachtzüge aufgesetzt (Bild 1), in dem sich ein zuvor kalibrierter Messventilator (kalibriert auf dem Ventilatorprüfstand des Instituts für Agrartechnik; saugseitiger Kammerprüfstand, Aufbau entspricht der DIN 24163, Teil 2) befand.

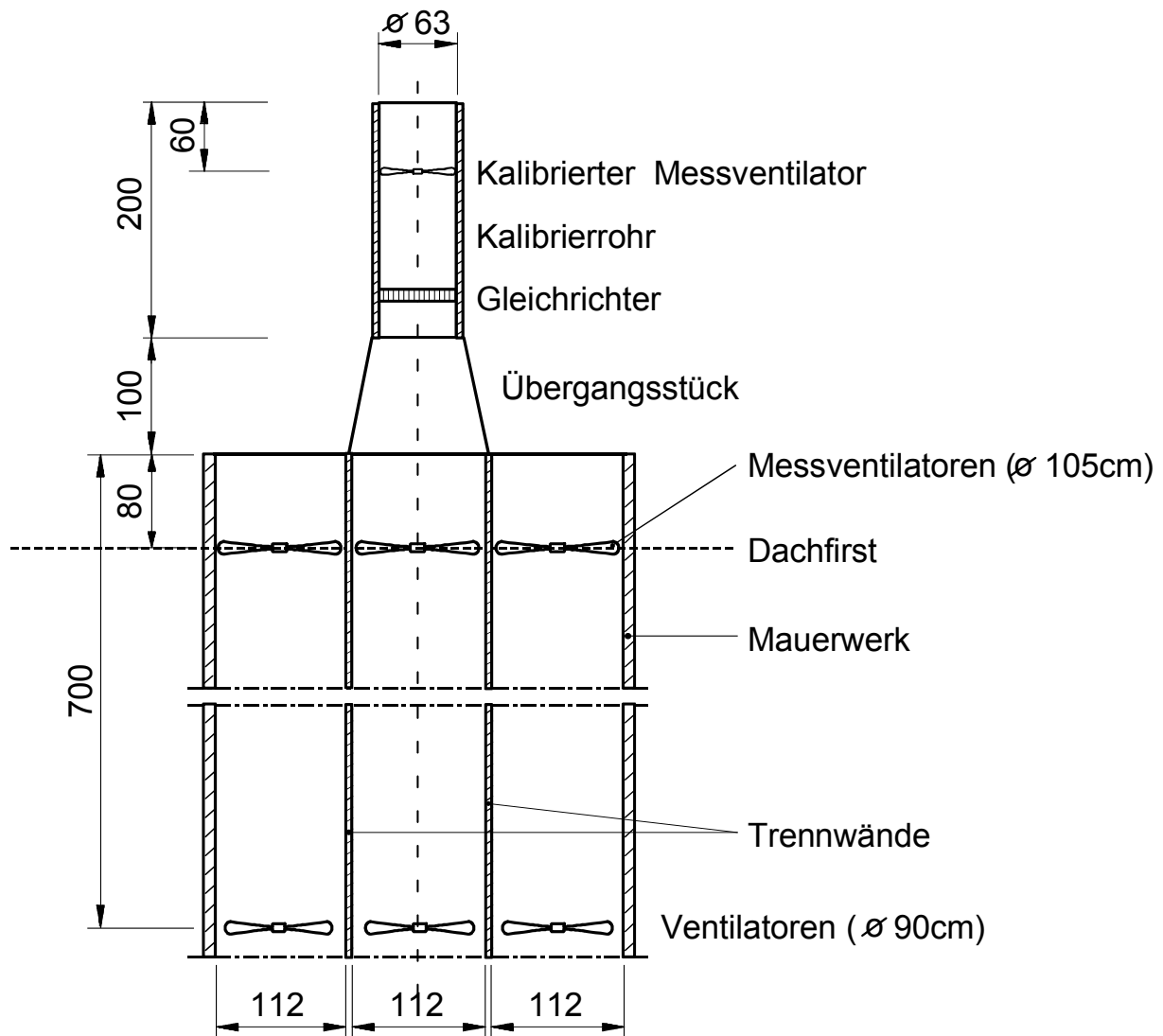


Bild 1: Aufbau zur Kalibrierung der Messventilatoren

Durch die Kalibrierung konnte ein Zusammenhang zwischen der Drehungsfrequenz der Messventilatoren (dargestellt als Signalspannung mit Hilfe eines linearisierten Frequenz-Spannungs-Wandlers) und dem Abluftvolumenstrom erstellt werden. Bild 2 stellt die Kalibriergeraden für die Messventilatoren in den drei quadratischen Abluftschachtzügen dar. Es ergibt sich eine sehr hohe Linearität zwischen Signalspannung und Volumenstrom über den gesamten Messbereich. Der Messventilator stellt somit auch in nicht kreisrunden Abluftschächten eine sehr genaues und kontinuierliches Instrument zur Volumenstrombestimmung dar.

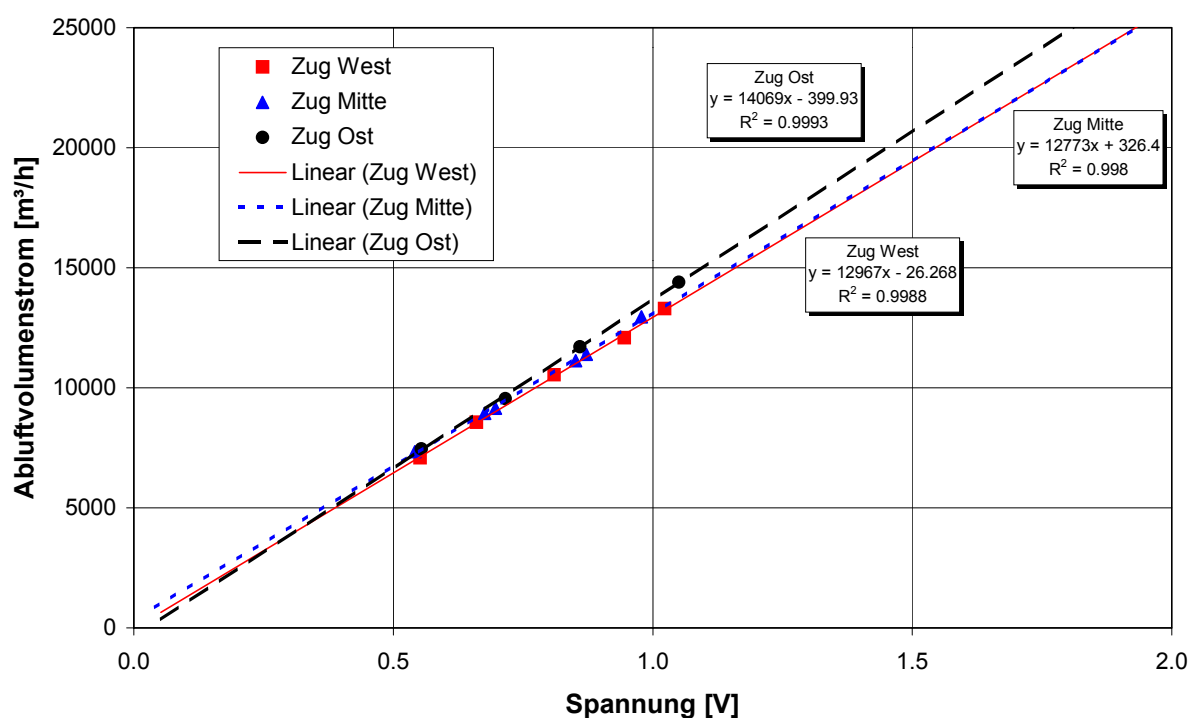


Bild 2: Kalibriergerade der drei Messventilatoren in den drei Abluftschachtzügen

3.1.2 Olfaktometrische Messung der Geruchskonzentration in der Abluft

Die Geruchskonzentrationen wurden olfaktometrisch mit vier Probanden am Olfaktometer TO7 der Firma ECOMA ermittelt, das in Übereinstimmung mit dem CEN-Entwurf prEN13725 (1999) arbeitet. Die olfaktometrische Analyse der Geruchskonzentration in der Stallablufte an den Tagen der Probebegehung und dem ersten und zweiten Begehungstag wurden allein vom Institut für Agrartechnik durchgeführt. Am dritten Begehungstag stellte das Institut für Agrartechnik ein komplettes Probandenteam von vier Personen für die olfaktometrischen Untersuchungen, die vor Ort vom Ingenieurbüro IMA Richter&Röckle unmittelbar nach den Begehungen durchgeführt wurden.

Die vom Institut für Agrartechnik genommenen Geruchsproben wurden auf dem Dach des Mastschweinebestalls direkt aus dem emittierenden Abluftschacht entnommen, und zwar aus dem mittleren der drei Schachtzüge (Zug Mitte). Mit Hilfe eines Unterdruck-Probennahmegeräts wurden ca. 10 Liter fassende Nalophan®-Beutel mit Abluft als Geruchsproben für die Olfaktometrie befüllt. Der Befüllungsvorgang dauerte ca. 30 bis 60 Sekunden und erfolgte am ersten Begehungstag jeweils zu Beginn und Ende der 10-minütigen Begehung und am zweiten Begehungstag jeweils nach der Hälfte der Begehungszeit. Am dritten Begehungstag wurde die Geruchsprobe gleichmäßig über die 10-minütige Begehungszeit verteilt. Bis zur Konzentration

onsanalyse am Olfaktometer TO7 des Instituts für Agrartechnik in Hohenheim am Abend (ca. 18:00 Uhr, dadurch maximale Lagerdauer 6 Stunden) des jeweiligen Begehungstages wurden die Probenbeutel dunkel gelagert.

3.1.3 Durchführung der Geruchsfahnenbegehungen

Die Geruchsfahnenbegehungen wurden nach VDI-Richtlinie 3940 (1993) durchgeführt. Zur Erfassung und Auswertung der Geruchswahrnehmungen bzw. des Geruchszeitanteils wurden handliche elektronische Registriergeräte („Hand-PC“ inkl. Messprogramm nach VDI 3940) genutzt. Diese gaben während der Begehung jede 10 Sekunden ein akustisches Signal, um die Begehungsprobanden gleichzeitig zu einer Beurteilung des momentanen Geruchseindrucks zu veranlassen. Dieser wurde von den Probanden auf einer vorgegebenen Intensitätsskala (nach VDI-Richtlinie 3882, 1992) von 0 (kein Geruch) über 1 (sehr schwacher Geruch) bis 6 (extrem starker Geruch) in die Registriergeräte als Zahlenwerte eingegeben.

Zu Beginn eines jeden Begehungstages wurden die Proband auf eine einheitliche Bewertung der Geruchseindrücke nach der Intensitätsskala „kalibriert“. Dies geschah zunächst durch gleichzeitige mündliche Beurteilung der Geruchsintensität an einem räumlich eng begrenzten Ort innerhalb der Abluffahne. In einem zweiten Schritt ermittelte jeder Proband in einem räumlich eng begrenzten Ort in der Abluffahne über 10 Minuten jede 10 Sekunde die Geruchsintensität und gab diese in das Registriergeräte ein. Diese Daten können in der späteren Auswertung herangezogen werden, um eventuelle Unterschiede in der Intensitätsbeurteilung der einzelnen Probanden zu erkennen bzw. auch zu berücksichtigen.

Die Probanden stellten sich im Lee des Mastschweinestalls in ein bzw. zwei Traversen quer zur Hauptwindrichtung auf. Die grobe Aufstellung der Probanden erfolgte mit einem auf dem Boden ausgelegten Maßband, auf dem gleiche Abstände zwischen den Probanden markiert waren. Die einzelnen Positionen wurden mit einem Pflock markiert, der zum Wiederauffinden derselben Position diente. Alle Probandenpositionen sowie die Position des Abluftschachtes und die Stallabmessungen wurden an allen Begehungstagen mit einem GPS-System eingemessen und in Gauss-Krüger-Koordinaten ausgegeben.

3.1.4 Überprüfung der Qualitätsanforderungen für Probanden der Olfaktometrie und der Begehungen

Bei der Durchführung der Geruchskonzentrationsanalyse am Olfaktometer TO7 wurde der im CEN-Entwurf prEN 13725 beschriebene Verhaltenskodex für Prüfer und Probanden eingehalten. Alle Probanden des Institut für Agrartechnik wurden nach dem CEN-Entwurf prEN 13725 mit n-Butanol als Testgeruch geprüft. Die geometrischen Mittelwerte der individuellen Geruchsschwelle für n-Butanol lagen für alle Probanden innerhalb der erforderlichen Grenzen von zwischen 62 und 246 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabelle 1).

Nach der VDI-Richtlinie 3940 zur „Bestimmung der Geruchsstoffimmission durch Begehungen“ ist auch das Riechvermögen jedes Begehungsprobanden zu überprüfen. Dazu wurde von jedem Probanden die individuellen Geruchsschwellen von n-Butanol bestimmt, die in Tabelle 1 dargestellt sind. Der geometrische Mittelwert der einzelnen Geruchsschwellenschätzungen muss für jeden Probanden zwischen 62 und 246 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen. Hier ist jedoch anzumerken, dass die individuelle Geruchsschwelle von n-Butanol keinerlei Aussage über die Geruchssensibilität der Probanden gegenüber Schweinegeruch zulässt und auch eine zusätzliche Überprüfung mit Schwefelwasserstoff die Aussagekraft vermutlich nicht verbessert hätte. Deshalb wurde sich in

Anlehnung an den CEN-Normentwurf prEN 13725 auf die Überprüfung mit n-Butanol beschränkt. Die Alter der Probanden lag zwischen 22 und 35 Jahren, nur Proband CE war ca. 60 Jahre alt.

Tabelle 1: Individuelle mittlere Wahrnehmungsschwelle und logarithmische Standardabweichung der einzelnen Geruchsschwellenschätzungen von n-Butanol der Begehungspersonen und Olfaktometerprobanden vom Institut für Agrartechnik ermittelt aus mindestens 6 einzelnen Geruchsschwellenmessungen an verschiedenen Tagen

Probanden-Code	Mittel	AH	AS	BS	CE	CL	CM	DM	GY	HL	IT	JR	KB	KO	MS	MT	NI	OG	PM	RS	SG	SW
Mittl. Geruchsschwelle für n-Butanol [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	112	87	121	78	96	68	242	87	171	121	87	93	192	214	68	78	121	78	90	112	93	65
Standardabweichung (log)	0,23	0,22	0,27	0,15	0,27	0,14	0,11	0,32	0,14	0,28	0,14	0,28	0,21	0,17	0,22	0,23	0,21	0,31	0,33	0,29	0,21	0,20

Zur eindeutigen Zuordnung der Probanden der Geruchsfahnenbegehungen und ihrer individuellen Geruchsschwellenkonzentrationen von n-Butanol (Tabelle 1) sind die Position aller Probanden während der durchgeführten Begehungen mit ihren Probanden-Codes in der Tabelle 2 gekennzeichnet.

Tabelle 2: Position der Probanden während der verschiedenen Begehungen (T: Traverse, P: Positionsnummer)

Messtag 1, 12.12.2000	T1P1	T1P2	T1P3	T1P4	T1P5	T1P6	T2P1	T2P2	T2P3	T2P4	T2P5	T2P6
Begehungs-Nr. B-D	KO	KB	MT	OG	MS	CE	HL	CM	NI	RS	SG	PM
Messtag 2, 13.12.2000	T1P1	T1P2	T1P3	T1P4	T1P5	T1P6	T2P1	T2P2	T2P3	T2P4	T2P5	T2P6
Begehungs-Nr. E-H	GY	OG	CE	NI	HL	BS	KO	PM	KB	AH	RS	EN
Messtag 3, 31.10.2001	T1P1	T1P2	T1P3	T1P4	T1P5	T1P6	T1P7	T1P8	T1P9	T1P10	T1P11	-
Begehungs-Nr. I-J	AH	CL	HE	SW	OG	DI	BA	ST	IT	CM	AS	-
Messtag 3, 31.10.2001	T1P1	T1P2	T1P3	T1P4	T1P5	T1P6	T1P7	T1P8	T1P9	T1P10	T1P11	-
Begehungs-Nr. K-L	OG	AS	BA	CL	AH	ST	HE	DI	SW	IT	CM	-
Messtag 3, 31.10.2001	T1P1	T1P2	T1P3	T1P4	T1P5	-	T2P1	T2P2	T2P3	T2P4	T2P5	T2P6
Begehungs-Nr. M-O	HE	DI	SW	IT	CM	-	OG	AS	BA	CL	AH	ST

3.2 Ergebnisse der begleitenden Messgrößen zu den Geruchsfahnenbegehungen

3.2.1 Abluftvolumenströme

Die Leistung der drei Axialventilatoren wurde an den Begehungstagen manuell eingestellt. Dabei sollte der eingestellte Abluftvolumenstrom in etwa dem Volumenstrom entsprechen, den die temperaturgeführte Lüftungssteuerung unter den Temperaturbedingungen des jeweiligen Tages auch eingestellt hätte. Demzufolge wurden die beiden Ventilatoren im Zug Mitte bzw. Zug Ost mit voller Leistung, der Ventilator im Zug West wurde auf Stufe 2 von 5 möglichen Stufen betrieben. Dies galt für alle drei Hauptbegehungstage gleichermaßen, an denen die Außentemperaturen zwischen 10 und 18 °C betragen.

Die kontinuierlich gemessenen Abluftvolumenströme in den drei Schachtzügen während der Begehungstage sind in Bild 3 bis Bild 5 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Abluftvolumenströme an den drei Hauptbegehungstagen durch die manuelle Einstellung sehr konstant blieben. Die leichten Schwankungen der Abluftvolumenströme am zweiten Begehungstag sind auf die wechselnden Windgeschwindigkeiten zurückzuführen, die durch eine veränderte Anströmung des Stalls zu anderen Druckverhältnissen im Stall und am Abluftkamin und damit zu Volumenstromveränderungen führen. Am dritten Begehungstag ist das Absinken des Abluftvolumenstroms während der 10-minütigen Einzelbegehungen (Begehungen I bis O) im Abluftzug Mitte darauf zurückzuführen, dass das relativ große Probenahmegerät für die olfaktometrischen Geruchsproben während der gesamten 10-minütigen Begehungsdauer auf den Mauerrand des mittleren Abluftzugs aufgesetzt wurde, was die Luftströmung im Zug Mitte und damit auch die Volumenstrommessung erkennbar leicht veränderte.

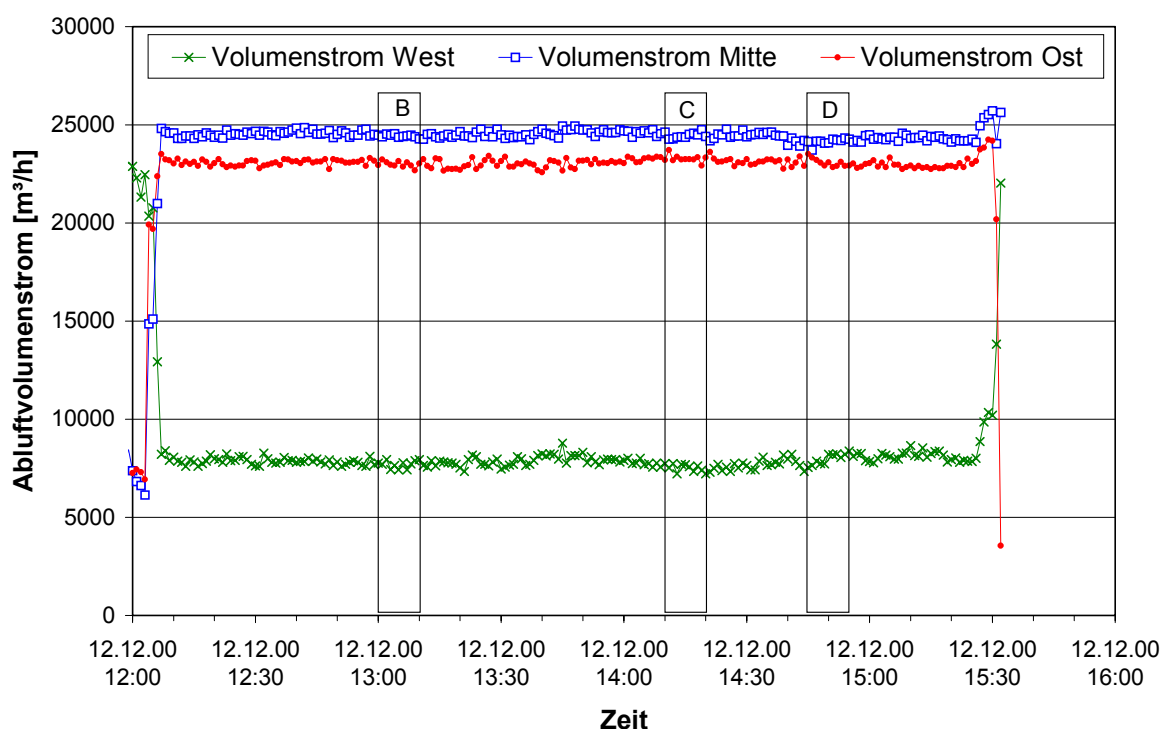


Bild 3: Kontinuierlich gemessene Abluftvolumenströme in den drei Schachtzügen während des ersten Begehungstages (Begehungen B bis D)

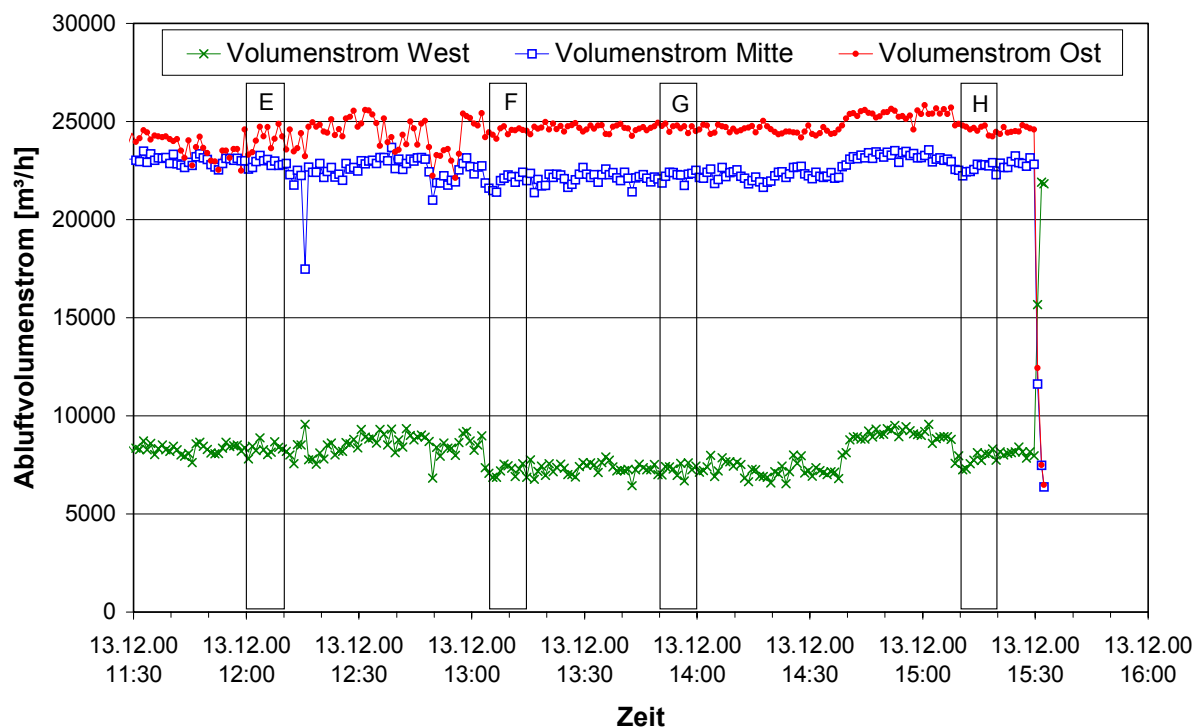


Bild 4: Kontinuierlich gemessene Abluftvolumenströme in den drei Schachtzügen während des zweiten Begehungstages (Begehungen E bis H)

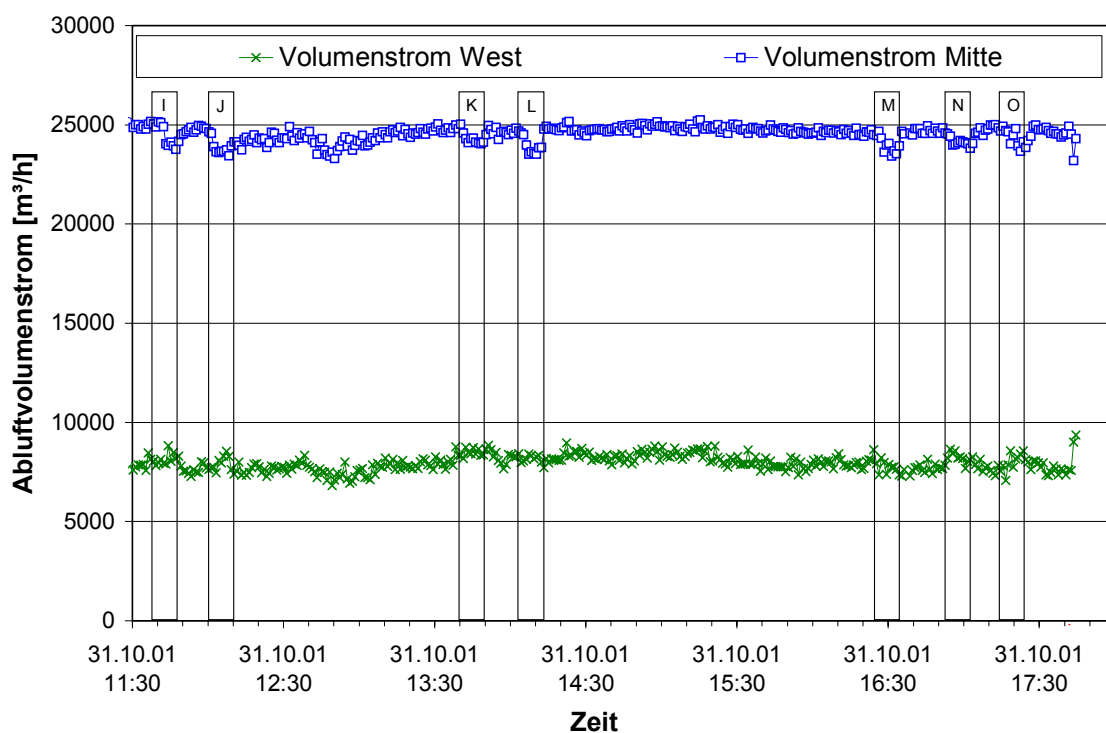


Bild 5: Kontinuierlich gemessene Abluftvolumenströme in den drei Schachtzügen während des dritten Begehungstages (Begehungen I bis O, Messgerät in Zug Ost war defekt)

In Tabelle 3 sind die mittleren Abluftvolumenströme während der einzelnen Begehungen zusammengefasst. An den Hauptbegehungstagen lag der gesamte Abluftvolumenstrom relativ einheitlich zwischen 53.000 und 57.000 m³/h. Da der Ventilator Ost immer mit voller Leistung lief und sich dort sehr konstante Volumenströme ein

stellen, konnte für die Begehungen I bis O ein aus den vorherigen Begehungstagen geschätzter Mittelwert eingesetzt werden. Trotz der hohen Güte der Kalibrierung der Volumenstrommesser ist doch mit einem relativen Messfehler von schätzungsweise 10% zu rechnen. Die Fehlerquellen können vielfältig sein. Als Fehlerursachen kommen Druckveränderungen durch unterschiedliche Windanströmung des Stallgebäudes, veränderte Druckverluste im Stall verursacht durch geöffnete bzw. geschlossene Tore, die Beeinflussung des Strömungsprofils in den Abluftzügen, Schätzfehler (im Falle des defekten Messventilators am dritten Begehungstag) sowie allgemeine Messungenauigkeiten in Betracht.

Tabelle 3: Mittelwerte der Abluftvolumenströme während der einzelnen Begehungen

Begehungstag	Begehung Nummer	Abluftvolumenstrom [m ³ h ⁻¹]			
		West	Mitte	Ost	Gesamt
21.09.2000	A	10200	26000	24000	60200
12.12.2000	B	7700	24400	23000	55100
12.12.2000	C	7500	24400	23300	55200
12.12.2000	D	8000	24200	23000	55200
13.12.2000	E	8300	22900	24100	55300
13.12.2000	F	7200	22000	24500	53700
13.12.2000	G	7200	22200	24700	54100
13.12.2000	H	7800	22600	24600	55000
31.10.2001	I	8200	24400	24000*	56600
31.10.2001	J	7900	23800	24000*	55700
31.10.2001	K	8500	24200	24000*	56700
31.10.2001	L	8100	24000	24000*	56100
31.10.2001	M	7700	24000	24000*	55700
31.10.2001	N	8200	24200	24000*	56400
31.10.2001	O	8100	24300	24000*	56400

*geschätzter Wert aus den vorherigen Begehungstagen

3.2.2 Geruchskonzentrationen und Geruchsemissionen

Die ermittelten Geruchskonzentrationen eines einzelnen Begehungstages sind als sehr einheitlich und die Analysen als qualitativ gut anzusehen. Zwischen den einzelnen Begehungstagen treten teilweise erhebliche Unterschiede auf, die aufgrund veränderter Bedingung im Stall ohne Weiteres auftreten können (Tabelle 4). Jedoch ist der Unterschied um den Faktor 2,5 zwischen den aufeinander folgenden Tages des ersten und zweiten Begehungstages wahrscheinlich nicht allein auf stallinterne Veränderungen zurückzuführen. Da besonders die Geruchskonzentrationen am zweiten Begehungstag (13.12.2000) deutlich höher als an allen anderen Begehungstagen sind, liegt die Vermutung nahe, dass die Probanden dieses Tages gegenüber Schweinegeruch eine etwas höhere Sensibilität besaßen als die anderen Olfaktometerprobanden. Hierdurch ließe sich der große Unterschied aber auch nur teilweise erklären (vgl. Tabelle 1).

Die Geruchsemissionen wurden aus den jeweiligen Produkten von Abluftvolumenströmen und den Geruchskonzentrationen berechnet. Aufgrund der relativ konstanten Volumenströme an den verschiedenen Begehungstagen sind die Unterschiede der Geruchsemissionen fast ausschließlich auf die unterschiedlichen Geruchskonzentrationen zurückzuführen.

Tabelle 4: Ergebnisse der olfaktometrischen Geruchskonzentrationsanalysen und der berechneten Geruchsemissionen

Begehungstag	Begehung	Probanden	Geruchskonzentration [GE m ⁻³]					Geruchsemission [GE s ⁻¹]
			Z ₅₀	Z ₁₆	Z ₈₄	Z _{ug}	Z _{og}	
21.09.2000	A Zug Ost	HL PM OG JR	1500	2110	1060	1880	1190	28300*
21.09.2000	A Zug Mitte	HL PM OG JR	1890	2860	1240	2490	1430	
12.12.2000	B Anfang	RS MS OG JR	1260	2970	530	2230	710	19300*
12.12.2000	B Ende	RS MS OG JR	1260	2670	590	2080	760	
12.12.2000	C Anfang	RS MS OG JR	1190	2040	690	1700	830	18800*
12.12.2000	C Ende	RS MS OG JR	1260	2180	730	1820	870	
12.12.2000	D Anfang	RS MS OG JR	1260	2350	670	1910	830	17300*
12.12.2000	D Ende	RS MS OG JR	1000	1590	630	1360	730	
13.12.2000	E	HL PM DM JR	3000	5540	1620	4510	1990	46100
13.12.2000	F	HL PM DM JR	3000	5920	1510	4720	1900	44700
13.12.2000	G	HL PM DM JR	3000	6300	1420	4920	1820	45100
13.12.2000	H	HL PM DM JR	2520	3600	1760	3190	1980	38500
31.10.2001	I	AH CL OG SW BA DI HE ST	1220	2080	720	2130	700	19200
31.10.2001	J	AH CL OG SW BA DI HE ST	1000	2110	470	2190	460	15500
31.10.2001	K	AH CL OG SW BA DI HE ST	940	1660	540	1700	520	14800
31.10.2001	L	AH CL OG SW BA DI HE ST	870	1550	480	1590	470	13600
31.10.2001	M	BA DI HE ST	750	1540	360	1590	350	11600
31.10.2001	N	BA DI HE ST	890	1370	580	1470	540	13900
31.10.2001	O	BA DI HE ST	940	2150	410	2440	360	14700

* berechnet aus dem Mittelwert der beiden Geruchskonzentrationen

3.2.3 Begehungsdaten

Während der 10-minütigen Begehungen wurden entsprechend VDI 3940 von jedem Probanden 60 einzelne Messwerte seines Geruchseindrucks auf der Intensitätsskala nach VDI-Richtlinie 3882 in den Registriergeräten aufgezeichnet. Alle Begehungsdaten (Intensitätsbeurteilungen und GPS-Daten) wurden ausgelesen, überprüft und tabellarisch in geeigneter Form (Excel-Datenblätter sowohl mit Einzeldaten als auch berechnet als Zeitanteil/Geruchshäufigkeiten der einzelnen Intensitätsstufen) aufbereitet. Diese äußerst umfangreichen Daten wurden schließlich an den Projektpartner IB Dr.-Ing. Lohmeyer zur weiteren Verwertung weitergeleitet und werden somit an dieser Stelle nicht weiter dargestellt, da sie aus dem Abschlussbericht BWE 20003 entnommen werden können.

II Eigene Untersuchungen zur dynamischen Geruchsfreisetzung

4 Kenntnisstand

4.1 Geruchsemissionen aus der Mastschweinehaltung

In einer Literaturstudie zu Geruchsemissionen aus der Tierhaltung [Martinec et al. 1998a] wurde festgestellt, dass die Datenbasis zu Geruchsemissionen aus der Tierhaltung sehr unbefriedigend ist. Die Studie ermittelte nur 12 verwertbare bzw. eingeschränkt verwertbare Literaturstellen zur Geruchsfreisetzung aus der Geflügel-, Schweine- und Rindviehhaltung. In Tabelle 5 sind die Geruchsdaten aus der Literaturstudie [Martinec et al., 1998a] ausschließlich zur Mastschweinehaltung ergänzt um neuere Literaturdaten zusammengestellt. Die verfügbaren Geruchsdaten weisen sowohl innerhalb der einzelnen Literaturangaben sowie zwischen diesen erhebliche Streuungen mit einem Faktor 20 und größer auf.

Tabelle 5: Literaturdaten zu Geruchskonzentrationen und Geruchsemissionsfaktoren aus der Mastschweinehaltung

Haltungssystem / Bemerkung	Geruchskonzentration [GE m ⁻³]	Geruchsemissionsfaktor [GE s ⁻¹ GV ⁻¹]	Autor
Vollspaltenboden, August	1110	Ø 219 - 272	BOTH ET AL., 1995
Vollspaltenboden, November	1750	Ø 178	
Vollspaltenboden	271 - 5793	16 - 495	HARTUNG, 1997
Vollspaltenboden	-	Ø 39	HESSE, 1997
Teilspaltenboden		Ø 32 - 47	
Schrägmist		Ø 20 - 32	
Vollspaltenboden	1085 - 4096	-	LAIS, 1996
320 Tiere	200 - 2400		MANNEBECK, 1994
Vollspaltenboden		33 - 59	MÜLLER, 1994
Voll- und Teilspaltenboden, 47 Ställe	160 - 860	7 - 148 (Ø 50)	OLDENBURG, 1989
strohlos, Mittel über 3 Mastdurchgänge 400 Mastschweine	423	105	SIEMERS UND VAN DEN WEGHE, 1997

Es liegen keine belastbaren Untersuchungen zu kurzzeitigen und jahreszeitlichen Veränderungen der Geruchsemissionen vor. Zu tageszeitlichen Schwankungen der Geruchsemissionen wurden in den letzten Jahren wenige Messungen durchgeführt [Brose, 2000; Martinec et al.; 1998b], die aber keine eindeutige Aussage zum tageszeitlichen Einfluss zulassen.

4.2 Messmethoden zur Bestimmung der Geruchsemission

Die Geruchsemission wird rechnerisch aus dem Produkt der Geruchskonzentration und dem Abluftvolumenstrom ermittelt, die beide messtechnisch erfasst werden können.

Die verwendete Methode zur Bestimmung des Abluftvolumenstrom mit sogenannten Messventilatoren wurde bereits in Kapitel 3.1.1 beschrieben und wurde hier in gleicher Weise genutzt (vgl. Kapitel 5.1) [Gallmann et al., 1999].

Die Verfahren zur Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration lassen sich in sensorische und analytische Verfahren unterteilen. Die sensorischen Verfahren bedienen sich der menschlichen Nase als „Geruchssensor“ und werden auch olfaktometrische Messverfahren (Olfaktometrie) genannt. Hiermit lassen sich die Geruchskonzentration, die Geruchsintensität sowie die hedonische Geruchswirkung ermitteln.

Als eines der analytischen Verfahren ist die sogenannte „elektronischen Nase“ zu nennen, die aus einem Sensorarray von verschiedenen Gassensoren besteht. Als weitere analytische Verfahren zur Bestimmung von einzelnen Geruchsstoffen sind die Gaschromatographie und der Flammenionisationsdetektor zu nennen. Auf diese wird im Folgenden jedoch nicht weiter eingegangen, da der Geruch aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung aus etwa 250 verschiedenen Geruchsstoffen bestehen kann [O'Neill und Phillips, 1992] und der spezifische Geruchseindruck nicht aus der Summe der einzelnen Geruchsstoffe sondern aus einer komplexen Wechselwirkung aller Geruchsstoffe untereinander bzw. mit den spezifischen Randbedingungen resultiert. Insbesondere zu diesem Aspekt werden „elektronischen Nasen“ mit Hilfe von Mustererkennungsverfahren oder andere Auswertemethoden ein hohes Lösungspotenzial zugeschrieben.

4.2.1 Olfaktometrie

Die Olfaktometrie wird international als das Standardverfahren zur Quantifizierung von Geruchskonzentrationen angesehen. In der Europäischen Norm prEN 13725, die bisher noch als Entwurf vorliegt [CEN, 1999] und zukünftig in Deutschland die VDI-Richtlinie 3881 [VDI 3881, 1986] ersetzen wird, 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 [CEN, 1999]. Die Geruchskonzentration der analysierten Geruchsprobe entspricht dem Zahlenwert des Verdünnungsfaktors an der Wahrnehmungsschwelle.

Für die beschriebene olfaktometrische Methode ergeben sich drei Problembereiche:

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. Die ermittelte Geruchskonzentration einer Geruchsprobe hängt stark von der Zusammensetzung der Probanden ab. Schwankungen in der Bestimmung der Geruchskonzentration ein und der selben Geruchsprobe um einen Faktor 2 sind durchaus üblich.
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 [CEN, 1999], die insbesondere in der Tierhaltung aufgrund wechselnder Betriebsbedingungen i.d.R. nicht vorhanden ist.

Im Normentwurf prEN 13725 werden zwar allgemeine Empfehlungen zu Dauer der Probenahme und Anzahl der Proben gegeben, doch Punkt 1 führt bei olfaktometrischen Messungen für 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 Aussage über die zeitliche Dynamik von Geruchskonzentrationen gar nicht möglich.

4.2.2 Die „elektronische Nase“

Gardner und Bartlett (1994) definieren eine „elektronische Nase“ als „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“. Es gibt eine Anzahl verschiedener Sensortypen, die nach ihren physikalischen Messprinzipien unterschieden werden [Heining, 1999]. Haupteinsatzgebiet von „elektronischen Nasen“ ist die Produkt- und Prozesskontrolle u.a. in der Lebensmittelindustrie zur Unterscheidung von Gaszusammensetzungen bzw. Geruchsqualitäten [Heining und Wiese, 2000], auch konnten die Gerüche verschiedener Tierarten unterschieden werden [Maier et al., 2000]. Die Quantifizierung von Gerüchen, d.h. die Bestimmung der Geruchskonzentration mit „elektronischen Nasen“ rückte in ihrer Anwendung auf Forschungsebene in den letzten Jahren in der Vordergrund. Eine Übersicht von durchgeführten Projekten wird in [Heining und Wiese, 2000] gegeben. Jedoch ergeben sich bei der Ermittlung von Geruchskonzentrationen mit „elektronischen Nasen“ einige prinzipielle Probleme [Boeker, 2001]. Zum einen reagieren die Sensoren sowohl auf geruchsaktive als auch geruchslose Gasbestandteile, 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. Somit ist für einen begrenzten Messzeitraum mit unwesentlichen Veränderungen der Gaszusammensetzung eine Kalibrierung möglich. Ziel muss es daher 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. Darüberhinaus 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.

In Bild 6 sind die Vor- und Nachteile der beiden eingesetzten Methoden der Olfaktometrie und der „elektronischen Nase“ gegenübergestellt.

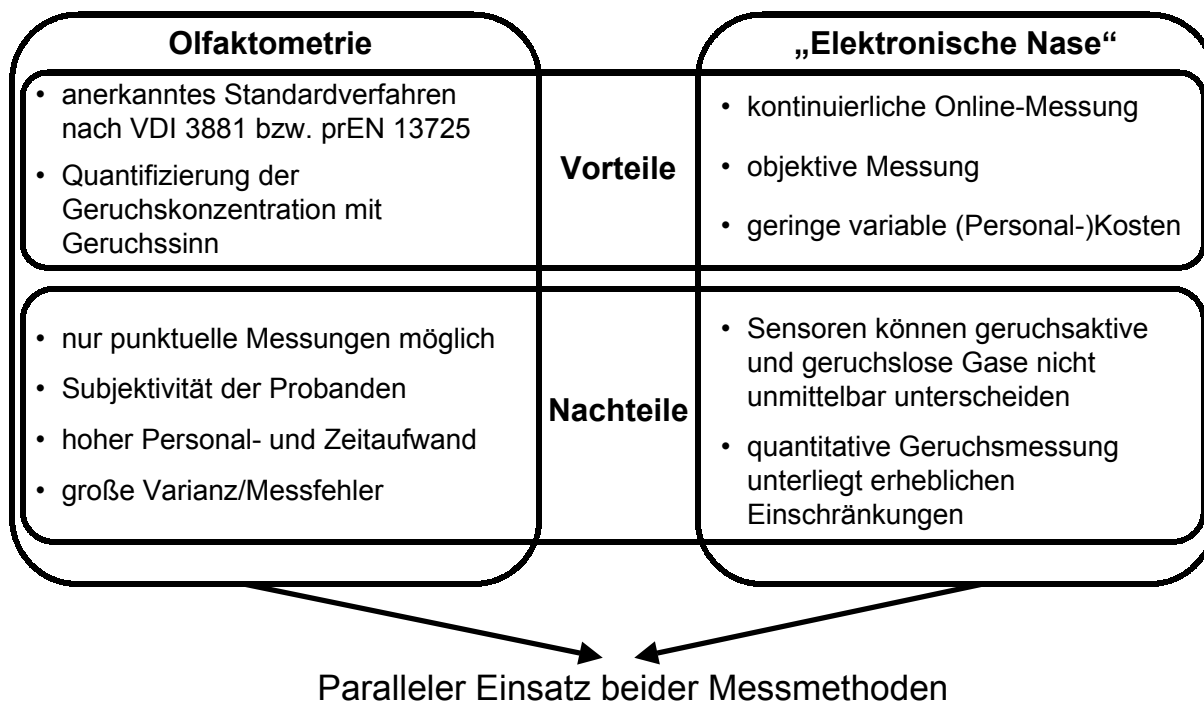


Bild 6: Überblick über Vor- und Nachteile der Olfaktometrie und der „elektronischen Nase“

5 Untersuchungseinrichtungen

5.1 Mastschweinestall

Die Untersuchungen wurden in einem Versuchsstall für Mastschweine (Bild 7) auf dem Versuchsgut „Unterer Lindenhof“ der Universität Hohenheim durchgeführt [Hartung, 1999]. Das untersuchte Vollspaltenabteil wird mit einer Unterflurabsaugung über nur einen Abluftschacht zwangsbelüftet, wobei zentral über den Buchtenreihen angebrachte Porenkanäle für die Zuluft sorgen (Bild 8). Das Abteil ist in sechs Buchten unterteilt, die jeweils mit einem Füttertrog und einer Beschäftigungseinrichtung ausgestattet sind. Mit je neun Mastschweinen pro Bucht (insgesamt 54 Mastschweine) ergibt sich ein Netto-Platzangebot von 0,8 m² pro Mastschwein. Der anfallende Flüssigmist wird unter dem Spaltenboden in einer Wanne gesammelt und nach Mastende über einen Ablauf abgelassen. Gefüttert wird mit einer Flüssigfütterungsanlage (Sensorfütterung) in Intervallen von 1,5 Stunden in der Zeit von 6:00 Uhr bis 22:00 Uhr mit weiteren zusätzlichen Fütterungszeiten um 6:20 Uhr, 17:00 Uhr, 18:30 Uhr und 20:00 Uhr. Da vor der Fütterzuteilung in die Tröge das Futter noch aufgerührt bzw. frisch angemischt wird, setzt die Futterzuteilung um 3 bis 5 Minuten verzögert gegenüber den angegebenen Fütterungsterminen ein.



Bild 7: Außenansicht des Mastschweinestalls

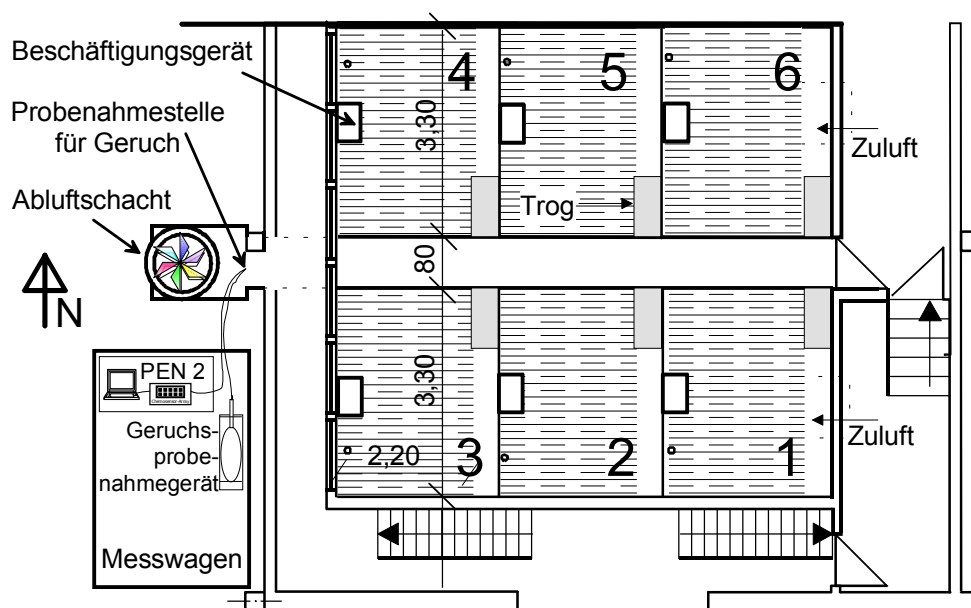


Bild 8: Grundriss des untersuchten Mastschweineabteils

5.2 Probenahme

Die Probenahmestelle sowohl der Geruchsproben für die Olfaktometrie als auch für die „elektronischen Nase“ befanden sich im engsten Querschnitt der Zentralabsaugung unmittelbar vor dem Abluftschacht (Bild 8). Die ca. 4 Meter langen Proben-schläuche aus Teflon führten in den nebenstehenden Messwagen und waren zur Vermeidung von Kondensation beheizt und gedämmt. Im Messwagen befanden sich die „elektronische Nase“ inklusive PC zur Prozesssteuerung und Messwerverfassung und den Einrichtungen zur Referenzluftkonditionierung (vgl. Kapitel 5.4) sowie das Unterdruck-Probennahmegerät (Bild 9). Mit diesem wurden die ca. 10 Liter fassenden Nalophan®-Beutel mit Abluft als Geruchsproben für die Olfaktometrie befüllt und bis zur Analyse am Olfaktometer dunkel gelagert.



Bild 9: Einrichtung des Messwagens zur Geruchsmessung

5.3 Olfaktometer TO7

Nach der Geruchsprobenahme in Probenbeutel wurde die Geruchskonzentration innerhalb von 8 Stunden am Olfaktometer TO7 [ECOMA, 2002] bestimmt, das in Übereinstimmung mit dem CEN-Entwurf prEN 13725 [CEN, 1999] arbeitet (

Bild 10). Die Probandenauswahl erfolgte ebenfalls nach CEN-Norm mit n-Butanol-Prüfgas (vgl. Tabelle 1). Als erste Probe jeder Olfaktometersitzung wurde n-Butanol zur Überprüfung der aktuellen Verfassung der Probanden und zur Eingewöhnung der Probanden an der Riechrhythmus verwendet. Danach wurde die Geruchskonzentration von bis zu 8 Geruchsproben mit demselben Probandenteam bestimmt. Dabei



entspricht die Reihenfolge der Geruchsproben bei der Olfaktometrie der zeitlichen Reihenfolge der Probenahme am Untersuchungsstall.

Bild 10: Olfaktometer TO7 mit vier Probanden und Versuchsleiterin

5.4 „Elektronische Nase“ PEN 2

Bei der eingesetzten „elektronischen Nase“ handelte es sich um das Gerät PEN 2 der Firma WMA Airsense mit einem Chemosensor-Array von zehn Metalloxidsensoren [Airsense, 2002]. Alle 10 einzelnen Sensoren waren unterschiedlich beschichtet bzw. wurden auf einem anderen Temperaturniveau betrieben. Dadurch zeigten alle Sensoren auf verschiedene Gaszusammensetzungen (darin sind die Geruchsstoffe eingeschlossen) ein unterschiedliches Verhalten. Als Messsignal wurde der elektrische Widerstand R bzw. die elektrische Leitfähigkeit G der Sensoren ermittelt, die sich durch Adsorption oder katalytische Reaktion der Gase auf der Sensoroberfläche ändern. Diese Sensorsignale der Probenluft wurden mit den Signalen R_0 bzw. G_0 von geruchsfreiem Referenzgas verglichen und als relatives Sensorsignal G/G_0 bzw. G_0/G mit einer Auflösung von 1 Hz grafisch dargestellt und gespeichert (Bild 11). Das Referenzgas wurde ebenso zum regelmäßigen Spülen des Sensorarrays verwendet, um eine bei dauerhaftem Einsatz unvermeidbare Drift der Sensoren zu vermeiden bzw. gering zu halten. Da die Umgebungsluft des Untersuchungsstalles

durch die umliegenden Ställe und durch naheliegende Mistlagerstätten mit Geruchsstoffen und mit anderen Gasen vorbelastet war, wurde als Referenzluft für die „elektronische Nase“ ein synthetisches und damit einheitliches Referenzgas genutzt.

Das Referenzgas wurde aus gereinigter Pressluft erzeugt, die auf ca. 50% relative Feuchte eingestellt und auf eine konstante Temperatur von 25 °C temperiert wurde (Bild 12).

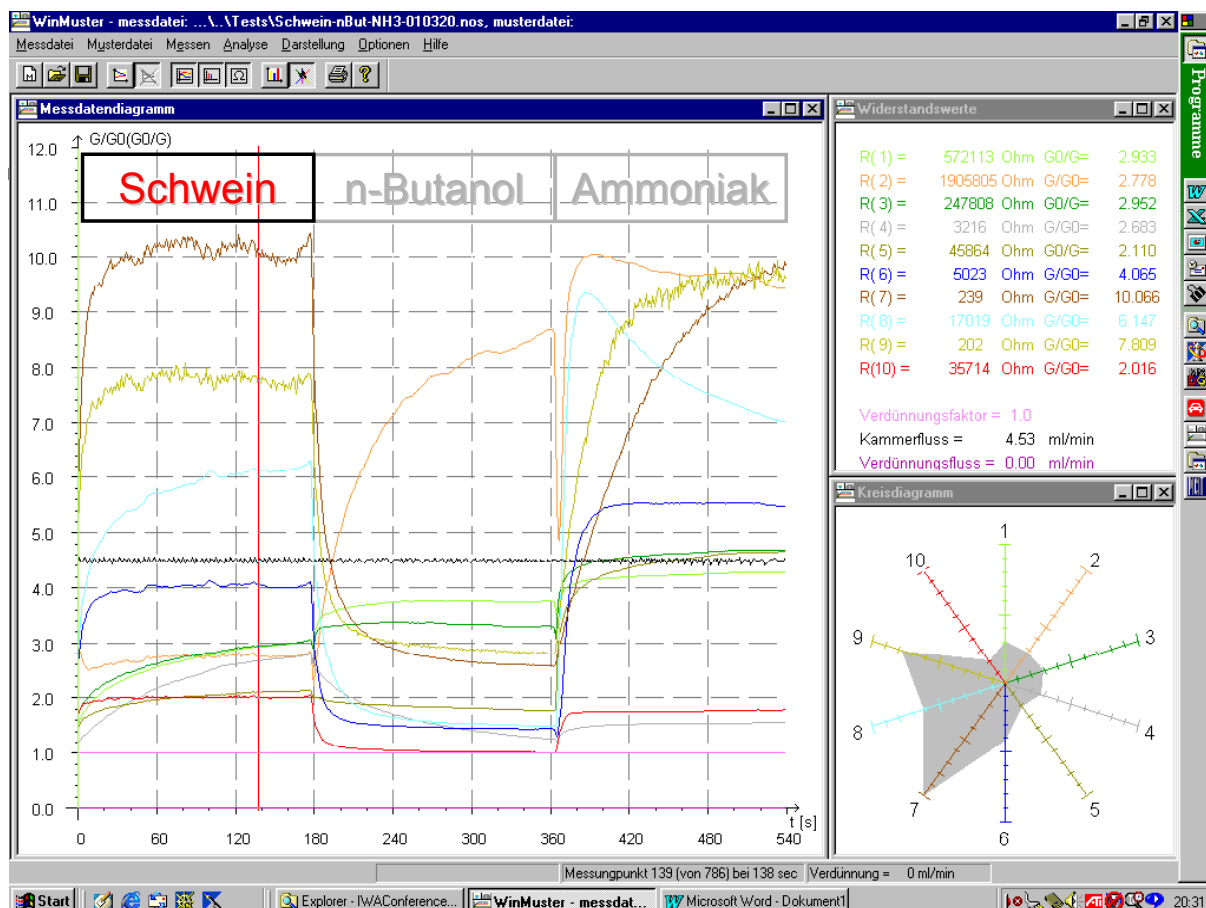


Bild 11: Datenerfassungssoftware WinMuster für die „elektronische Nase“ PEN 2 mit beispielhafter Darstellung der Sensorsignale für drei verschiedene Gerüche (zeitlicher Kurvenverlauf, momentane Absolutwerte, Radarplot)

Eine interne Pumpe in der PEN 2 saugte Probenluft von derselben Probenahmestelle im Abluftschacht an wie für die olfaktometrischen Geruchsproben (vgl. Bild 8). Die Probenluft wurde durch einen Teflonfilter (0,45 µm) von Staubpartikeln befreit, um eine Schädigung der Sensoren zu vermeiden, und gefiltert dem Sensorarray zugeführt.

Die PEN 2 kann wahlweise in einem kontinuierlichen und einem semikontinuierlichen Modus verwendet werden. Der kontinuierliche Modus ermöglicht eine Auflösung im Sekundentakt, aufgrund einer Signaldrift war er jedoch nur für eher kurzzeitige Messungen geeignet. Mehrstündige bis zu mehrtägige Messungen wurden im semikontinuierlichen Modus durchgeführt, in dem durch regelmäßiges Spülen des Chemosensor-Arrays mit konditionierter Referenzluft die Sensorsignale immer wieder auf einen möglichst einheitlichen Nullwert kalibriert wurden.

Bei sehr hohen Geruchs- bzw. Gaskonzentrationen und daraus resultierend hohen relativen Sensorsignalen konnte ein integriertes automatisches Verdünnungssystem zugeschaltet werden, das Referenzgas in einem messbaren Verhältnis zur Probenluft zudosiert. Dadurch wurde die chemische Beladung der Sensoren gering gehalten und die Erholungszeit der Sensoren beim Spülen mit Referenzgas wurde minimiert.

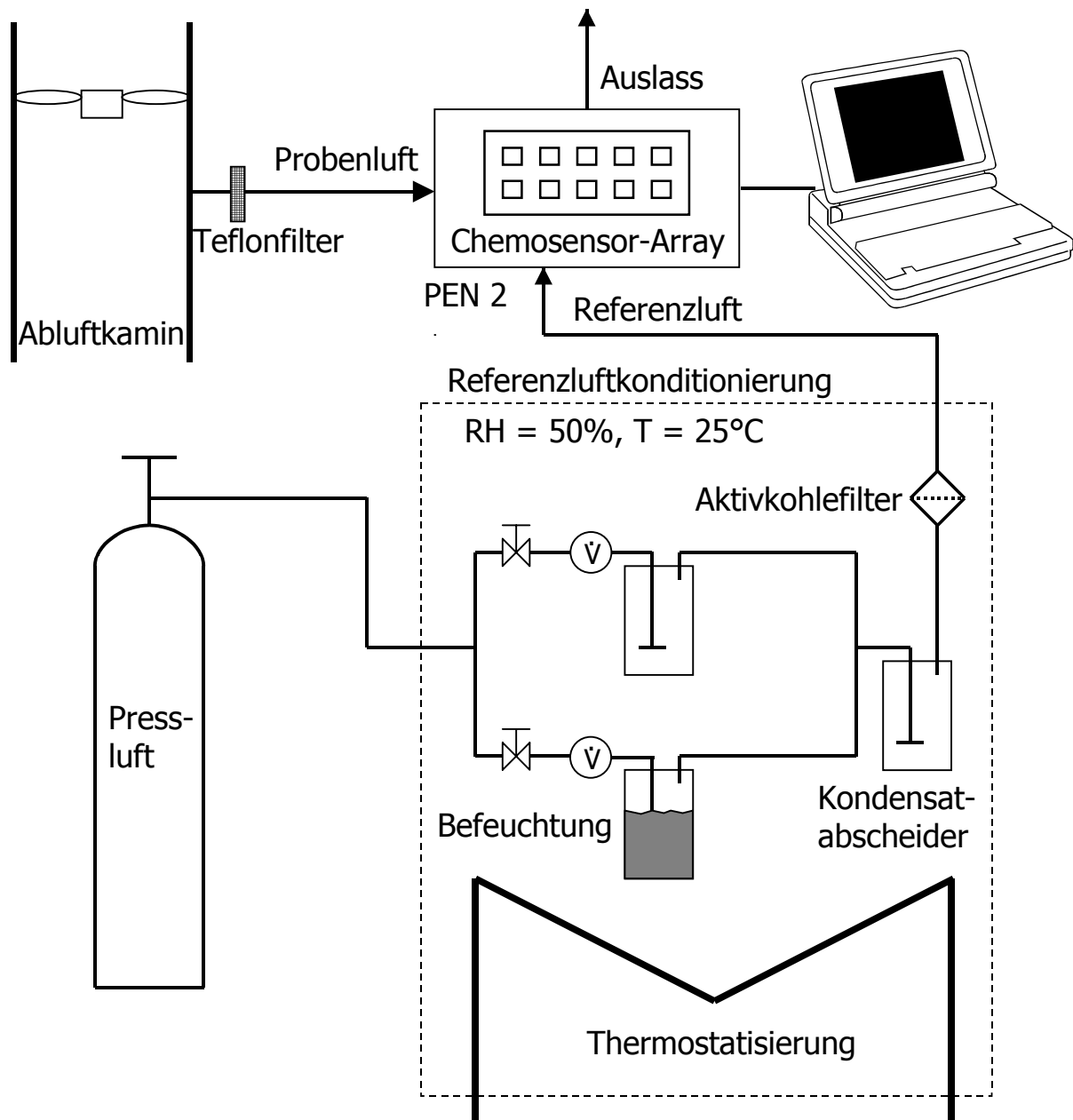


Bild 12: Schema des Messaufbaus und der Referenzgaskonditionierung der „elektronischen Nase“ PEN 2

5.5 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 (PM 10) (alle Sensoren befinden sich zwischen Bucht 1 und 2 ca. ein Meter über dem Spaltenboden sowie unmittelbar neben der

Geruchsprobenahmestelle im Abluftschacht) sowie die durchschnittliche Tiergruppen-Aktivität in den Buchten 2 und 6 kontinuierlich erfasst. Die Staubkonzentration wird mit „Dust TrackTM“ Aerosol-Monitoren gemessen [Gallmann et al., 2000a]. Die Tieraktivität wird mit passiven Infrarot-Sensoren [Pedersen und Pedersen, 1995] erfasst und auf die tagesmittlere Aktivität indiziert (Aktix). Eine Beschreibung der eingesetzten Messtechnik befindet sich in [Gallmann et al., 2000b].

6 Untersuchungsprogramm

Die durchgeführten Untersuchungen erstreckten sich über drei Mastdurchgänge von August 2000 bis Oktober 2001. Dabei sollten folgende dynamische Einflüsse auf die Geruchsemission aus einem Mastschweinestall untersucht werden:

1. Verlauf der Geruchsemission und des Geruchsemissionsfaktors über die Mastperiode: Die Geruchskonzentrationen wurden durch regelmäßige wöchentliche Geruchsproben olfaktometrisch bestimmt. Parallele Messungen mit der „elektronischen Nase“ sollten Aufschluss über Veränderungen des Signalmusters über die Mastperiode geben.
2. Tageszeitlicher Verlauf der Geruchsemission: Durch regelmäßige Geruchsproben während eines Tages wurden die Geruchskonzentrationen olfaktometrisch ermittelt. Die parallele semi-kontinuierliche Messung mit der „elektronischen Nase“ gab Aufschluss über die tageszeitliche Veränderung der Gas- und Geruchsstoffzusammensetzung.
3. Kurzfristige Einflüsse auf die Geruchsemission (z.B. Fütterung): Diese wurden durch zahlreiche Geruchsproben olfaktometrisch und durch parallele kontinuierliche Messung mit der „elektronischen Nase“ erfasst.
4. Untersuchung von potentiellen Einflussfaktoren auf die Geruchsfreisetzung durch zeitparallele Erfassung der Randbedingungen und möglicher Einflussgrößen.

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

7 Ergebnisse

Messungen mit dem Olfaktometer als auch mit der „elektronischen Nase“ wurden in drei nacheinanderfolgenden Mastdurchgängen im beschriebenen zwangbelüfteten Versuchsstall durchgeführt:

- Mastdurchgang 1: 08/2000 bis 12/2000 (Herbst/Winter)
- Mastdurchgang 2: 01/2001 bis 05/2001 (Winter/Frühjahr)
- Mastdurchgang 3: 06/2001 bis 10/2001 (Sommer)

In allen drei Mastdurchgängen wurden die Geruchskonzentrationen olfaktometrisch durch mindestens zwei wöchentliche Geruchsproben analysiert. Zudem wurden an sechs Tagen bzw. Vormittagen eine größere Anzahl an Geruchsproben (6-8) zur olfaktometrischen Analyse der Geruchskonzentrationen genommen. Weiterhin wurden zu 16 Fütterungszeiten mehrere Geruchsproben olfaktometrisch analysiert.

Messungen mit der „elektronischen Nase“ liegen ebenfalls aus allen Mastdurchgängen vor. Der erste Mastdurchgang diente im Wesentlichen für orientierende Messungen zur optimierten Anpassung der Betriebsparameter der „elektronischen Nase“ an

das Stallmanagements und an die Bedingungen in der Stallabluft (Messzeit, Spülzeit, Referenzgas, etc.).

Der Messmodus wurde von einer semikontinuierlichen Betriebsweise mit kurzen Mess- und Spülzeiten (30-60 Sekunden bzw. 2-5 Minuten) im ersten Mastdurchgang auf eine quasi-kontinuierliche Betriebsweise mit langen Messzeiten (75 Minuten) und regelmäßigen Spülzeiten (15 Minuten) im zweiten und dritten Mastdurchgang an die Problemstellung besser angepasst, um während jeder Fütterung eine kontinuierliche Messung mit der „elektronischen Nase“ zu gewährleisten. Insgesamt wurden mit der „elektronischen Nase“ 18 Messungen über 24 Stunden sowie zahlreiche weitere Messungen u.a. während einzelner Fütterungszeiten durchgeführt (Tabelle 6).

In der Regel wurden parallel zu den Messungen mit der „elektronischen Nase“ Geruchsproben für die Olfaktometrie genommen, die entweder zur Feststellung eines Tagesverlaufs über den Tag oder zur Feststellung des Fütterungseinflusses um eine Fütterungszeit verteilt waren. Im Folgenden werden zu den verschiedenen Einflussgrößen ausgewählte Messergebnisse dargestellt, anhand derer die wesentlichen dynamischen Effekte der Geruchsfreisetzung und ihre Auswirkungen auf die Messergebnisse erklärt werden können. Die vollständigen Messergebnisse einschließlich der Randparameter sind im Anhang dargestellt.

Tabelle 6: Übersicht über die durchgeführten Tages-Messungen mit der „elektronischen Nase“

Datum	Ziel der Messung	Geruchsproben
07.-08.02.2001	24-h-Messung	Fütterung
24.-26.04.2001	48-h-Messung	Vormittag
02.-04.05.2001	48-h-Messung	Vormittag
19.-21.06.2001	48-h-Messung bei großer Temperaturamplitude Tag/Nacht	Vormittag
26.-28.06.2001	48-h-Messung an heißen Sommertagen	Fütterung
18.-19.07.2001	24-h-Messung	Fütterung
24.-25.07.2001	24-h-Messung an schwülem Wetter	Fütterung
14.-15.08.2001	24-h-Messung bei heißen Temperaturen	Fütterung
28.-29.08.2001	24-h-Messung bei moderaten Temperaturen	Fütterung
04.-05.09.2001	24-h-Messung bei kühlen Temperaturen	Fütterung
11.-12.09.2001	24-h-Messung bei kühlen Temperaturen	Vormittag/Fütterung
18.-19.09.2001	24-h-Messung bei kalter Nacht	Tag/Fütterung
25.-26.09.2001	24-h-Messung	Tag
31.10.2001	Manuelle Variation des Volumenstroms	ja

7.1 Zeitliche Einflüsse

7.1.1 Einfluss des Jahresverlaufs

In Bild 13 ist der Verlauf der olfaktometrisch bestimmten Geruchsdaten über die drei Mastdurchgänge dargestellt. Die jeweils etwa 4-monatigen Mastdurchgänge liegen in

verschiedenen Jahreszeiten, was sich auf die Höhe des temperaturgeregelten Abluftvolumenstrom auswirkt. Entsprechend der jahreszeitabhängigen Außentemperatur zeigt der erste Mastdurchgang im Herbst einen tendenziell fallenden Volumenstrom, der zweite Durchgang im Frühjahr einen steigenden und der dritte Durchgang im Sommer einen überwiegend hohen Volumenstrom. Für die wöchentlichen Mess-tage sind die Mittelwerte aus zwei verschiedenen Geruchsproben zu unterschiedlichen Tageszeiten dargestellt. Die Geruchskonzentrationen liegen überwiegend zwischen 1000 und 3000 GE m^{-3} , können aber auch Werte unter 500 GE m^{-3} im Sommer bzw. über 4000 GE m^{-3} im Winter annehmen. Die Geruchsemission schwankt zwischen 500 und 4000 GE s^{-1} und ist tendenziell im Sommer bei hohen Volumenströmen größer. Der Geruchsemissionsfaktor zeigt in allen drei Mastdurchgängen aufgrund des zunehmenden Tiergewichts eine Abnahme etwa um den Faktor 2 und beträgt zwischen 100 und 550 $\text{GE s}^{-1} \text{GV}^{-1}$.

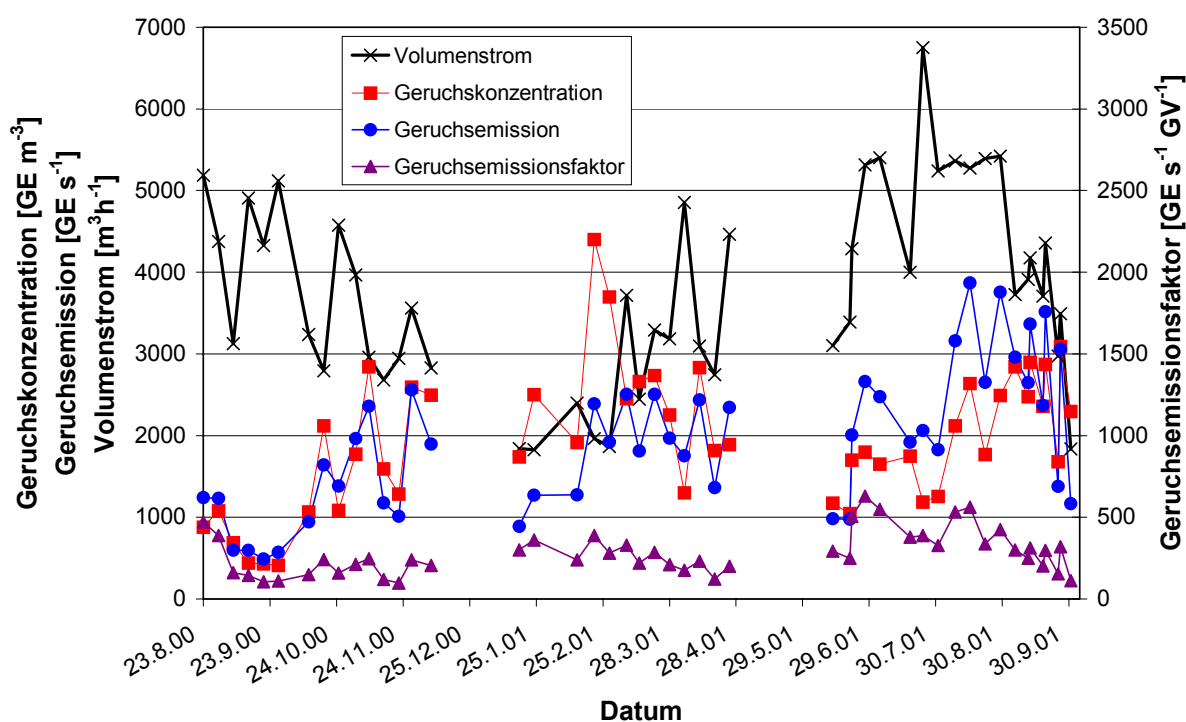


Bild 13: Verlauf von olfaktometrisch bestimmter Geruchskonzentration (gemittelt aus zwei Geruchsproben), Geruchsemission, Geruchsemissionsfaktor und Volumenstrom über die drei untersuchten Mastdurchgänge

Sämtliche wöchentliche Geruchsdaten sowie die jeweiligen Randbedingungen sind Tabelle 7 bis Tabelle 9 zu entnehmen. Die Mittelwerte der Temperatur-, Luftfeuchte- und Volumenstrombedingungen spiegeln im Wesentlichen die Jahreszeiten der etwa viermonatigen Mastdurchgänge wider. Die mittleren Geruchskonzentrationen, -emissionen und -emissionsfaktoren der einzelnen Mastdurchgänge zeigen der zeitlichen Lage im Jahr entsprechende Werte. Da sich die Mastdurchgänge aufgrund ihrer Dauer jedoch über mindestens zwei Jahreszeiten erstrecken, werden die Unterschiede der Geruchsdaten zwischen den einzelnen Mastdurchgängen teilweise verringert. Dennoch zeigt der zweite Mastdurchgang, der überwiegend im Winter liegt, im Mittel den niedrigsten Abluftvolumenstrom und die höchste Geruchskonzentration, während des sommerlich geprägten dritten Mastdurchgangs wurde durchschnittlich die höchste Geruchsemission bzw. der größte Geruchsemissionsfaktor ermittelt.

Tabelle 7: Übersicht über die wöchentlichen Geruchsdaten und Randbedingungen im ersten Mastdurchgang (08-12/2000)

Datum	Probe- nahme	Temperatur	Rel. Feuchte	Temperatur	Geruchs-		Volumen-	Geruchs-	Geruchsemis-	Tiergewicht
		innen	innen	außen	konzentration	+				
		°C	%	°C	GE/m ³	+/- dB	m ³ /h	GE/s	(GE/s)/GV	GV (500 kg)
23.08.2000	11:25	25.0	52	26.0	1259	1.8	4967	1737	659	2.63
23.08.2000	11:55	25.0	49	25.0	495	1.2	5408	744	282	2.63
30.08.2000	09:45	24.0	54	24.0	1586	2.3	3801	1675	528	3.17
30.08.2000	11:25	25.0	52	23.0	570	1.0	4957	785	247	3.17
06.09.2000	10:30	23.0	50	14.0	738	1.3	3001	615	166	3.72
06.09.2000	11:45	23.0	50	14.0	637	1.9	3247	575	155	3.72
13.09.2000	09:45	24.0	61	22.0	479	1.3	4651	619	149	4.15
13.09.2000	14:20	25.0	64	22.0	400	1.4	5171	575	138	4.15
20.09.2000	10:25	22.8	61	17.0	570	1.3	3682	583	125	4.67
20.09.2000	14:05	25.0	56	17.0	285	2.3	4971	394	84	4.67
27.09.2000	09:40	24.5	60	21.0	564	1.8	4858	761	146	5.20
27.09.2000	13:25	26.0	53	19.0	254	2.4	5385	380	73	5.20
11.10.2000	09:50	22.8	56	10.5	1333	1.4	2999	1110	176	6.32
11.10.2000	13:20	23.0	58	11.7	800	1.7	3478	773	122	6.32
18.10.2000	09:50	21.4	57	12.0	1998	2.0	2934	1628	241	6.76
18.10.2000	12:30	22.0	62	12.0	2242	2.1	2655	1653	245	6.76
25.10.2000	10:20	22.0	56	18.0	1044	1.5	4224	1225	142	8.64
25.10.2000	12:47	23.0	55	18.0	1121	2.1	4931	1535	178	8.64
02.11.2000	09:30	21.2	51	15.0	2217	1.9	4033	2484	268	9.28
02.11.2000	11:36	22.0	45	15.0	1333	1.8	3901	1444	156	9.28
08.11.2000	10:55	21.0	55	13.0	2517	1.8	2750	1923	201	9.57
08.11.2000	12:20	21.6	51	13.0	3171	0.9	3172	2794	292	9.57
15.11.2000	09:33	21.8	57	10.0	2117	2.1	2622	1542	156	9.89
15.11.2000	11:06	21.5	55	10.0	1067	1.7	2741	812	82	9.89
22.11.2000	08:48	20.8	45	12.0	1780	2.3	2632	1301	127	10.28
22.11.2000	12:20	21.2	54	12.0	793	2.1	3261	718	70	10.28
28.11.2000	10:15	21.2	56	12.0	2667	1.4	3375	2500	234	10.67
28.11.2000	11:00	21.8	61	12.0	2517	1.8	3744	2618	245	10.67
07.12.2000	08:59	20.2	49	8.0	2993	1.6	2351	1955	211	9.26
07.12.2000	14:04	21.3	43	8.0	1998	1.3	3302	1833	198	9.26
Mittelwerte		22.7	54	15.5	1385	1.7	3773	1310	203	6.95

Tabelle 8: Übersicht über die wöchentlichen Geruchsdaten und Randbedingungen im zweiten Mastdurchgang (01-05/2001)

Datum	Probe- nahme	Temperatur	Rel. Feuchte	Temperatur	Geruchs-		Volumen-	Geruchs-	Geruchsemis-	Tiergewicht
		innen	innen	außen	konzentration	+				
		°C	%	°C	GE/m ³	+/- dB	m ³ /h	GE/s	(GE/s)/GV	GV (500 kg)
17.01.2001	09:55	20.4	31	-1.3	1800	1.3	1849	924	311	2.97
17.01.2001	12:45	20.8	37	4.2	1682	0.9	1833	856	288	2.97
24.01.2001	09:05	21.7	50	10.3	3000	1.8	1832	1527	434	3.52
24.01.2001	10:05	21.5	47	11.2	2000	1.6	1821	1012	287	3.52
13.02.2001	10:30	23.0	50	8.0	2245	1.3	2400	1497	280	5.35
13.02.2001	10:56	23.0	49	8.5	1587	1.7	2400	1058	198	5.35
21.02.2001	08:35	21.5	40	3.1	4800	1.2	1872	2497	406	6.14
21.02.2001	11:25	22.2	44	4.2	4000	1.6	2052	2280	371	6.14
28.02.2001	08:47	21.5	38	-0.5	3600	1.8	1879	1879	275	6.83
28.02.2001	11:42	21.9	38	4.3	3800	1.0	1856	1960	287	6.83
08.03.2001	13:05	23.1	51	12.1	2700	2.8	3395	2546	334	7.62
08.03.2001	15:15	23.9	58	14.5	2200	2.0	4043	2470	324	7.62
14.03.2001	10:09	22.5	42	5.4	2828	1.7	2520	1979	241	8.22
14.03.2001	10:18	21.5	41	5.4	2500	1.4	2376	1650	201	8.22
21.03.2001	10:15	22.1	47	10.6	2670	2.3	3087	2290	260	8.80
21.03.2001	12:30	22.3	46	12.0	2800	1.5	3500	2722	309	8.80
28.03.2001	09:45	21.7	42	7.2	2400	1.7	2696	1797	192	9.38
28.03.2001	11:25	22.3	45	10.8	2100	1.6	3675	2144	228	9.38
04.04.2001	10:05	23.0	39	14.8	1300	2.2	4265	1540	155	9.97
04.04.2001	11:25	23.6	40	16.6	1300	2.4	5447	1967	197	9.97
11.04.2001	09:20	21.5	45	6.9	2997	2.0	3072	2558	242	10.55
11.04.2001	11:45	21.5	40	8.6	2670	1.8	3119	2313	219	10.55
18.04.2001	08:55	21.0	38	6.0	2378	1.5	2600	1717	154	11.13
18.04.2001	11:08	21.3	37	7.1	1260	1.2	2891	1012	91	11.13
25.04.2001	10:08	22.4	43	13.5	1782	3.6	4415	2185	187	11.72
25.04.2001	11:36	22.6	46	14.8	2000	2.6	4515	2509	214	11.72
02.05.2001	15:55	28.4	27	29.9	704	1.5	8821	1725	503	3.43
Mittelwerte		22.3	43	9.2	2411	1.8	3120	1875	266	7.70

Tabelle 9: Übersicht über die wöchentlichen Geruchsdaten und Randbedingungen im dritten Mastdurchgang (06-10/2001)

Datum	Probenahme	Temperatur innen	Rel. Feuchte innen	Temperatur außen	Geruchskonzentration		Volumenstrom	Geruchsemission	Geruchsemissionsfaktor (GE/s)/GV	Tiergewicht GV (500 kg)
		°C	%	°C	GE/m ³	+/- dB				
12.06.2001	10:16	23.8	43	14.5	1600	1.4	2862	1272	379	3.35
12.06.2001	11:07	24.4	41	15.8	749	1.3	3343	695	207	3.35
20.06.2001	09:40	24.0	51	14.0	1200	1.5	3229	1076	274	3.93
20.06.2001	11:40	24.5	44	16.8	890	1.3	3551	878	223	3.93
21.06.2001	08:54	24.8	46	17.3	1900	1.0	3965	2093	527	3.97
21.06.2001	09:31	25.3	47	18.5	1500	2.3	4611	1921	484	3.97
27.06.2001	10:29	29.6	46	22.9	2200	2.3	5329	3257	773	4.21
27.06.2001	11:02	29.7	46	24.5	1400	1.7	5305	2063	490	4.21
04.07.2001	10:27	27.3	37	21.2	891	1.8	5417	1341	298	4.50
04.07.2001	10:38	27.5	37	21.6	2000	1.4	5426	3015	670	4.50
04.07.2001	10:45	27.5	38	21.6	2245	1.8	5395	3364	748	4.50
04.07.2001	10:55	27.8	39	21.8	1335	1.6	5420	2010	447	4.50
04.07.2001	11:02	27.9	38	21.7	1782	1.8	5364	2655	590	4.50
18.07.2001	11:56	24.9	53	16.1	2200	1.3	3804	2325	459	5.07
18.07.2001	12:11	24.7	56	16.0	1300	1.2	4198	1516	299	5.07
24.07.2001	12:37	30.6	46	25.1	1587	1.2	5245	2312	436	5.31
24.07.2001	12:45	30.6	45	25.0	790	1.7	8252	1811	341	5.31
31.07.2001	06:45	25.8	45	16.3	1414	1.7	4994	1962	351	5.59
31.07.2001	07:50	26.4	53	18.2	1400	1.2	5336	2075	371	5.59
31.07.2001	08:45	27.5	55	20.8	1059	1.3	5364	1578	282	5.59
31.07.2001	10:27	30.3	40	24.7	1414	1.9	5259	2066	369	5.59
31.07.2001	12:07	32.1	34	27.6	1260	1.9	5239	1834	328	5.59
31.07.2001	12:35	32.4	32	28.4	1000	1.4	5254	1460	261	5.59
08.08.2001	09:50	26.2	67	18.3	2119	2.0	5351	3150	532	5.92
08.08.2001	10:15	25.9	63	17.8	2119	1.0	5369	3160	534	5.92
08.08.2001	10:30	25.8	63	17.6	2119	1.8	5371	3161	534	5.92
08.08.2001	10:52	25.9	69	18.9	2119	2.0	5371	3162	534	5.92
15.08.2001	10:23	31.1	44	26.9	3775	1.8	5287	5544	804	6.89
15.08.2001	10:55	32.1	39	28.0	1498	1.6	5266	2191	318	6.89
22.08.2001	09:40	26.3	61	18.4	2670	1.6	5419	4019	511	7.87
22.08.2001	10:07	26.8	64	18.6	1300	1.4	5403	1951	248	7.87
22.08.2001	11:00	27.2	58	20.9	1335	1.0	5360	1988	253	7.87
29.08.2001	10:07	25.6	39	17.5	3564	1.3	5455	5400	610	8.85
29.08.2001	11:00	26.8	36	19.9	1414	1.9	5390	2117	239	8.85
05.09.2001	08:52	22.4	54	10.7	3564	1.8	3805	3767	383	9.83
05.09.2001	09:43	22.3	60	11.0	2119	1.8	3654	2151	219	9.83
11.09.2001	11:57	22.6	43	11.8	3175	1.4	3678	3243	304	10.66
11.09.2001	12:15	21.9	44	11.9	1782	1.3	4147	2053	193	10.66
12.09.2001	09:28	21.9	52	11.7	2800	1.5	4037	3140	291	10.80
12.09.2001	11:00	22.5	59	12.8	2997	1.3	4312	3590	332	10.80
18.09.2001	09:41	21.7	48	6.7	2828	1.5	3251	2554	219	11.64
18.09.2001	11:10	22.6	49	11.0	1888	1.0	4168	2186	188	11.64
19.09.2001	10:15	22.8	42	13.0	3364	1.5	4657	4352	369	11.78
19.09.2001	11:13	24.1	42	14.2	2378	1.7	4055	2679	227	11.78
25.09.2001	08:54	20.7	65	9.2	2100	1.0	2900	1692	188	9.00
25.09.2001	12:56	21.3	59	13.9	1260	0.8	3050	1068	119	9.00
26.09.2001	10:17	21.2	58	11.3	4500	2.5	3647	4559	475	9.60
26.09.2001	11:11	21.4	59	11.9	1682	1.2	3342	1561	163	9.60
01.10.2001	13:00	23.8	61	18.0	3175	1.2	1827	1612	155	10.40
01.10.2001	14:14	24.6	55	19.1	1414	1.5	1844	724	70	10.40
Mittelwerte		25.7	49	17.8	1963	1.5	4552	2427	372	7.08

Die jahreszeitlich variierende Außentemperatur beeinflusst in starkem Maße die Höhe des Abluftvolumenstroms der temperaturgeführten Lüftungsregelung, was hohe Abluftvolumenstromunterschiede zwischen kalten Wintertagen und heißen Sommertagen zur Folge hat. Bei einer Volumenstromerhöhung über den emissionsrelevanten Oberflächen werden größere Überströmgeschwindigkeiten induziert, die die Geruchsfreisetzung verstärken. In Bild 14 und Bild 15 ist der Einfluss des Abluftvolumenstroms auf die Geruchskonzentration bzw. die Geruchsemission dargestellt. Tendenziell sind die Geruchskonzentrationen bei hohen Abluftvolumenströmen – die vorwiegend im Sommer auftreten – um den Faktor 1,5 bis 4 geringer als bei niedrigen Volumenströmen in der kälteren Jahreszeit (Verdünnungseffekt). Die Geruchsemission zeigt im 2. und 3. Mastdurchgang einen steigenden Zusammenhang mit dem Abluftvolumenstrom, die sich im Mittel um den Faktor 1,5 bis 2 ändert. Im 1.

Mastdurchgang ist dieser Zusammenhang jedoch umgekehrt, was im Wesentlichen an den sehr niedrigen Geruchskonzentrationen und -emissionen zu Beginn dieses Mastdurchganges liegt. Die starke Streuung der einzelnen Werte ist auf die großen Schwankungen der stallklimatischen und biologischen Bedingungen sowie auf die Unsicherheit bei der olfaktometrischen Geruchskonzentrationsmessung zurückzuführen.

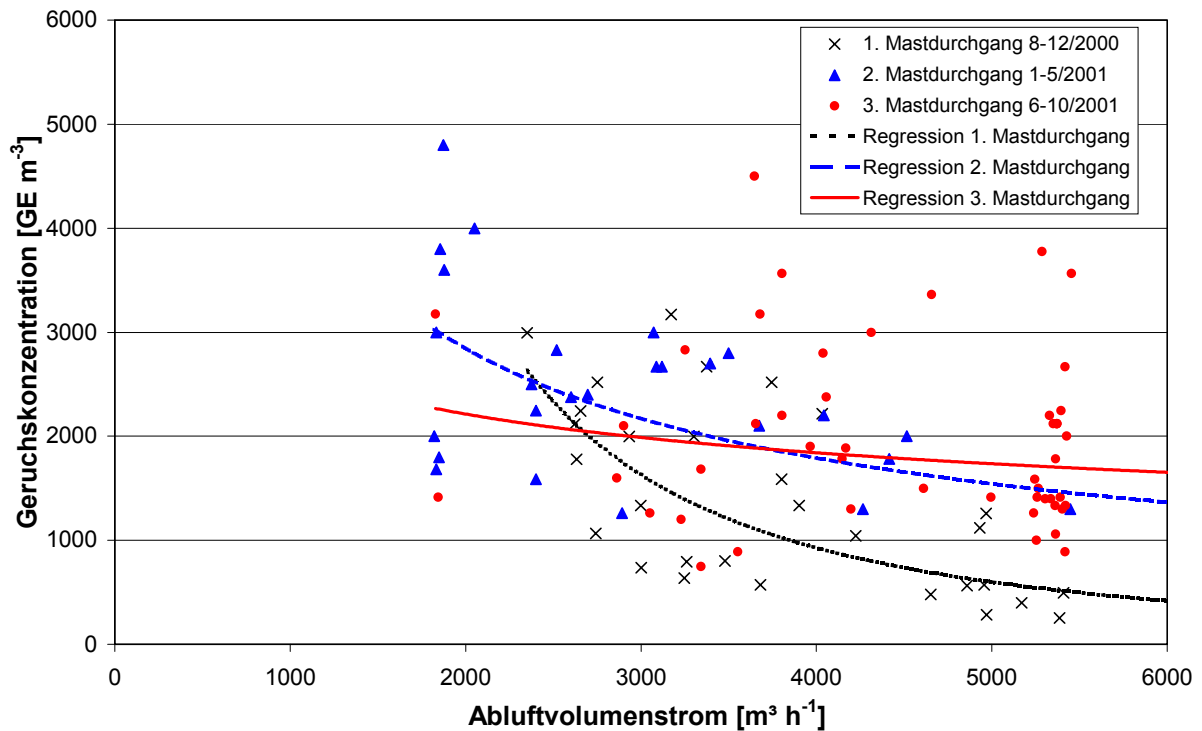


Bild 14: Einfluss des Abluftvolumenstroms auf die Geruchskonzentration (ermittelt aus den wöchentlichen Geruchsproben in den drei Mastdurchgängen)

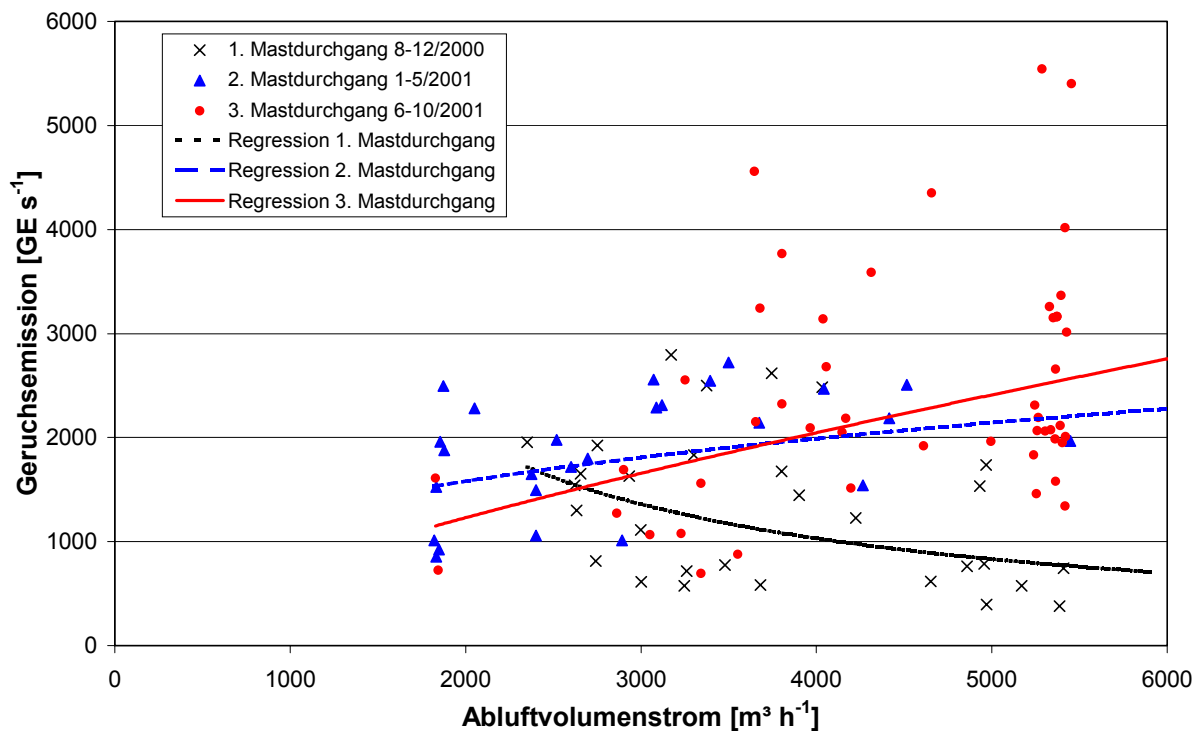


Bild 15: Einfluss des Abluftvolumenstroms auf die Geruchsemission (ermittelt aus den wöchentlichen Geruchsproben in den drei Mastdurchgängen)

7.1.2 Einfluss des Tagesverlaufs

Zur Bestimmung des Tagesverlaufs der Geruchsfreisetzung und anderer Parameter wurden Messungen mit der „elektronischen Nase“ an Tagen mit möglichst verschiedenen Umgebungs- und Randbedingungen durchgeführt (vgl. Tabelle 6). I.d.R. reagierten die Sensoren 7 und 9 mit den höchsten Signalen auf die Gase und Geruchsstoffe in der Abluft des Mastschweinestalls. Die Sensoren 1 und 3 sprachen ebenfalls deutlich an und zeigten teilweise spontane Signalveränderungen auf kurzzeitige Schwankungen der Gas- und Geruchsstoffzusammensetzung in der Abluft. Die restlichen Sensoren reagierten deutlich weniger. Deshalb werden im Folgenden die Sensoren 1 und 9 zur Beschreibung der Sensorsignale der „elektronischen Nase“ ausgewählt. Entsprechend der großen Variabilität der wetterbedingten und stallinternen Bedingung zeigten sich sehr heterogene Ergebnisse. Anhand der nachfolgenden Beispiele werden die wesentlichen Einflüsse und Zusammenhänge, die sich durch tageszeitliche Einflüsse ergaben, dargestellt. Aufgrund der großen Anzahl von Messgrößen wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nur eine Auswahl der wichtigsten Parameter dargestellt.

In Bild 16 ist der Verlauf an zwei Tagen mit einer großen Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht und damit entsprechend großer Volumenstromänderung dargestellt. Es zeigt sich, dass die Sensorsignale an diesen Tagen ebenfalls starke Schwankungen aufweisen, wobei sie dem Volumenstrom entgegenlaufen. Dies kann im Wesentlichen auf die mit steigendem Volumenstrom erhöhte Verdünnung in der Abluft zurückgeführt werden, wodurch die Gas- und Geruchsstoffkonzentrationen in der Abluft prinzipiell sinken und die Sensorsignale ebenfalls abfallen. Kurzzeitige Veränderungen der Sensorsignale treten im Wesentlichen während der Fütterungszeiten auf, worauf in Kapitel 7.2.1 näher eingegangen wird. Jedoch sind an Tagen

mit großen Tag/Nacht-Differenzen die kurzfristigen Signalveränderungen deutlich kleiner als die Unterschiede zwischen Tag und Nacht.

Die olfaktometrische Geruchskonzentration zeigt einen abnehmenden Trend während des untersuchten Vormittags und nimmt nach der manuellen Volumenstromminderung wieder leicht zu, was prinzipiell auch dem Verlauf der Sensorsignale gleichkommt (Bild 18). Jedoch ist die Unsicherheit der olfaktometrisch bestimmten Geruchskonzentrationen so groß, dass keine sichere Aussage über die den Verlauf der Geruchskonzentration getroffen werden kann.

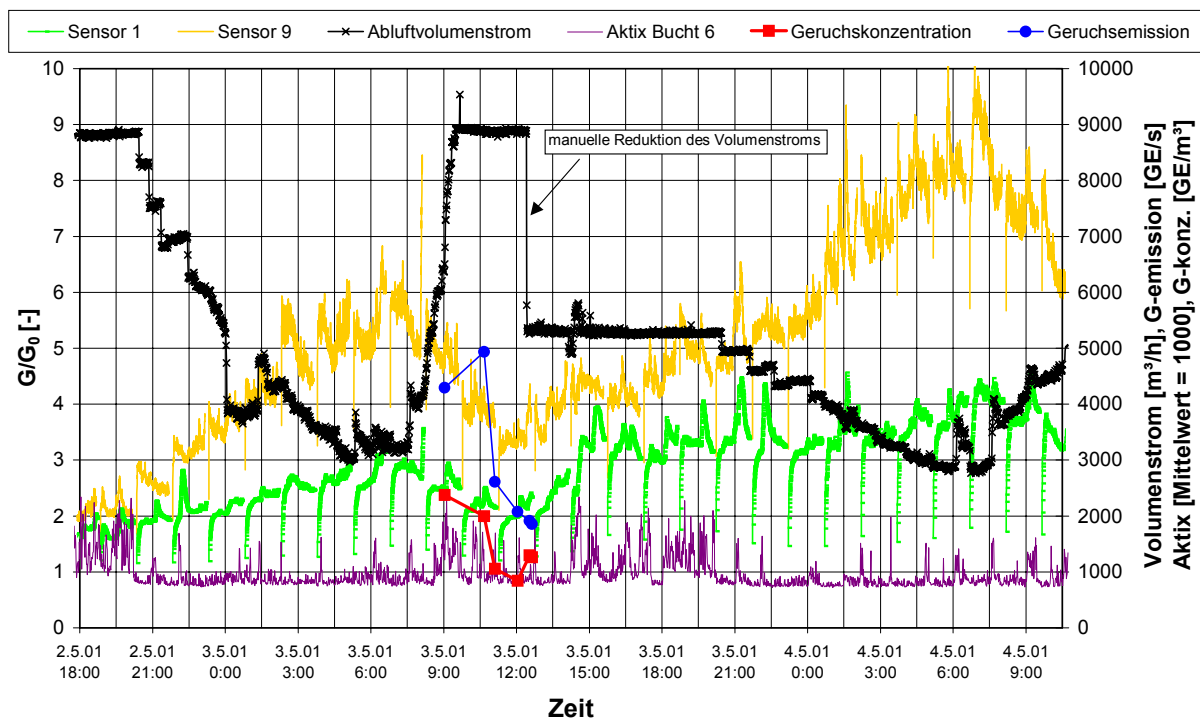


Bild 16: Tagesverlauf ausgewählter Parameter an zwei Tagen mit großer Volumenstromänderung zwischen Tag und Nacht

In Bild 17 ist der Tagesverlauf an einem Herbsttag mit mäßigen Temperatur- und Volumenstromunterschieden zwischen Tag und Nacht dargestellt. Die Sensorsignale nehmen in ähnlicher Weise wie bei dem tagsüber erhöhten Abluftvolumenstrom leicht ab (vgl. Bild 16). Besonders aufgeprägt sind die Fütterungszeiten zu erkennen, die einerseits durch einen vorübergehenden Anstieg der Staubkonzentration (PM 10) in der Abluft sowie andererseits durch eine Zunahme des Volumenstroms während und nach der Fütterung für ca. 20 Minuten gekennzeichnet sind. Dieser Volumenstromanstieg ist eine Folge der erhöhten Wärmeproduktion der Tiere während der Fütterung, die eine temperaturgeführte Lüftungsregelung durch Erhöhung des Volumenstroms abführt. Die Sensorsignale reagieren auch zu den Fütterungszeiten mal stärker und mal schwächer, teilweise wird der zu erwartende Anstieg der Sensorsignale durch den Verdünnungseffekt infolge des Volumenstromanstiegs überkompensiert. Dennoch sind die Fütterungszeiten die bedeutendsten regelmäßigen Ereignisse, die die Sensorsignale verändern. Der starke Anstieg der Sensorsignale am 26.09.2001 um ca. 6 Uhr ist nicht auf die Fütterung, sondern auf einen Geruchseintrag von außen zurückzuführen, worauf in Kapitel 7.2.3 näher eingegangen wird.

Der Verlauf der olfaktometrisch bestimmten Geruchskonzentrationen am 25.09.01 von 9:00 bis 15:45 Uhr stimmt in diesem Fall nicht mit den Sensorsignalen überein.

Der mittlere Geruchskonzentration nimmt zum Mittag hin ab und nimmt am Nachmittag wieder zu. Ähnlich ist auch der Verlauf der Geruchsemission, da sich der Volumenstrom nicht erheblich ändert. Aufgrund der Tatsache, dass pro Zeitpunkt nur eine Geruchsprobe analysiert wurde und unter Berücksichtigung der teilweise sich stark überlappenden 95%-Vertrauensbereiche der Einzelmessungen (Bild 17), können für diesen Tag keine sicheren Aussagen über die zeitlichen Veränderungen der Geruchskonzentration getroffen werden.

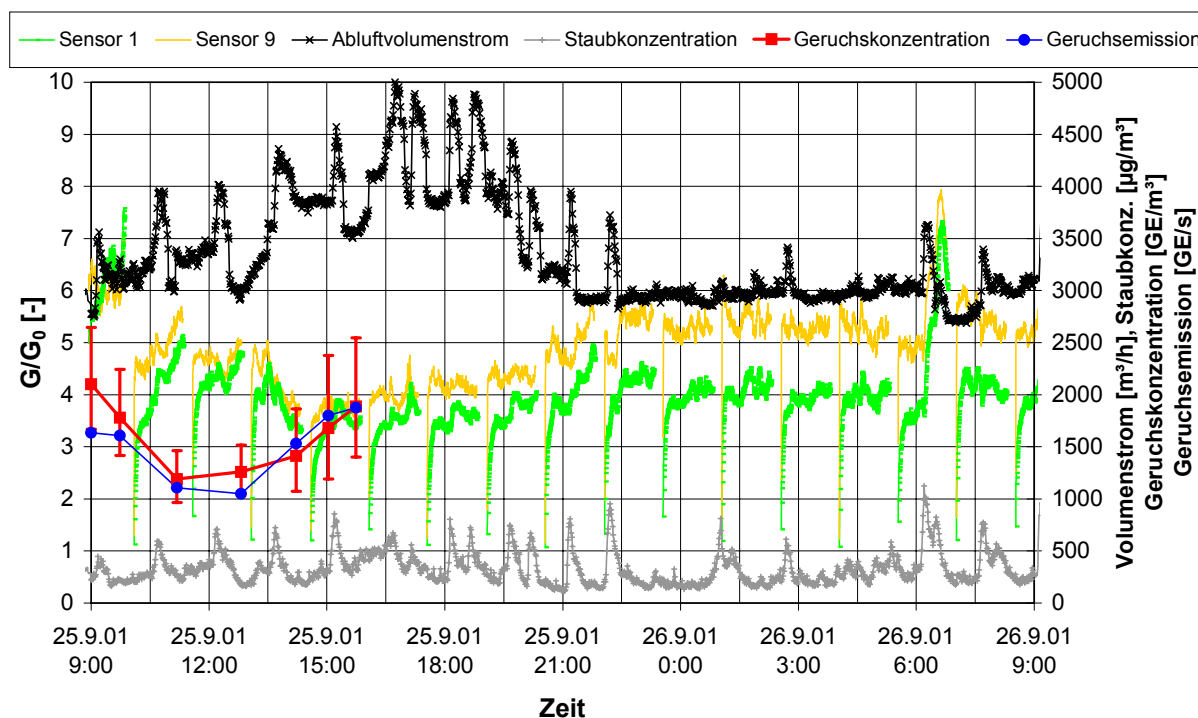


Bild 17: Tagesverlauf ausgewählter Parameter an einem Herbsttag mit mäßigen Temperatur- und Volumenstromunterschieden zwischen Tag und Nacht

An einem Sommertag mit fast durchweg konstantem und maximalem Volumenstrom werden die wesentlichen Veränderungen in der Sensorsignalhöhe durch die Fütterungszeiten verursacht (Bild 18). In den nächtlichen Messintervallen verbleiben die Sensorsignale auf relativ einheitlichem Niveau, während ab der ersten Fütterung um 6:00 Uhr Zunahmen der Sensorsignale nach dem Fütterungsbeginn zu erkennen sind. Durch den konstanten, maximalen Volumenstrom tritt kein Verdünnungseffekt durch eine Erhöhung des Volumenstroms auf, wodurch die Veränderung der Sensorsignale besonders ausgeprägt auftritt.

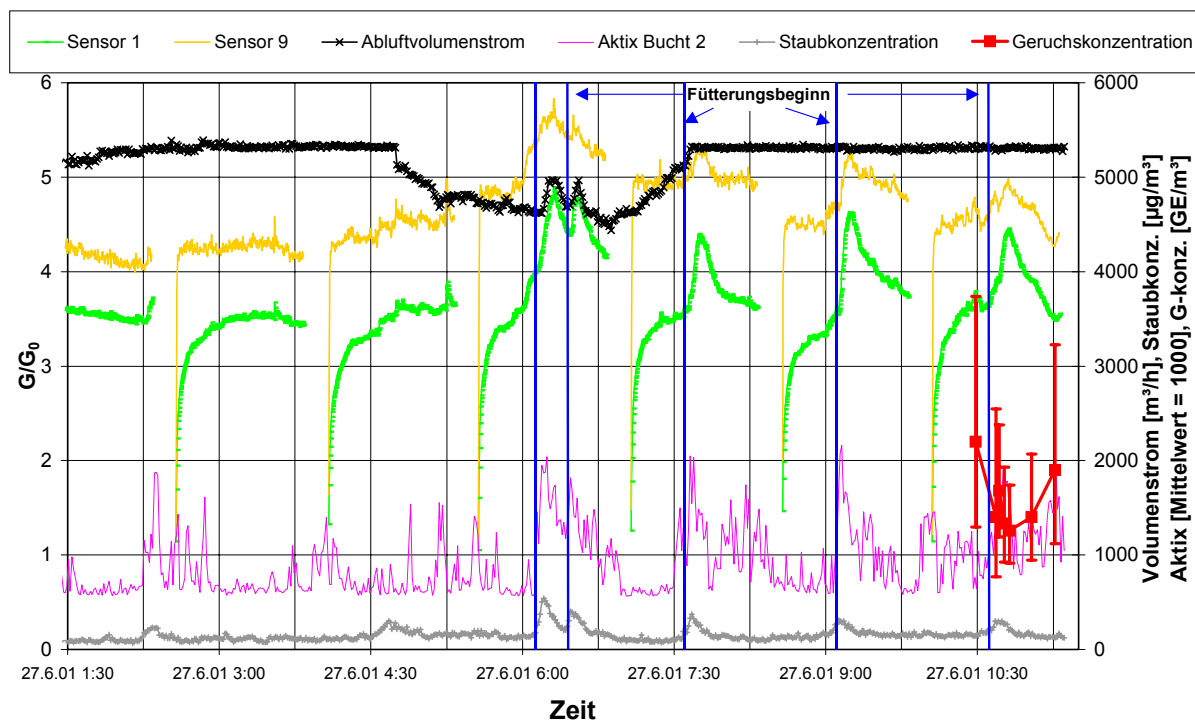


Bild 18: Tagesverlauf ausgewählter Parameter an einem heißen Sommertag mit hohem Volumenstrom an Tag und Nacht

7.2 Einflüsse durch besondere Ereignisse

7.2.1 Einfluss der Fütterung

Die Fütterung konnte schon in Kapitel 7.1.2 aufgrund der deutlichen Veränderungen der Sensorsignale der „elektronischen Nase“ als besonders geruchsrelevantes Ereignis im Tagesverlauf identifiziert werden (vgl. Bild 16 bis Bild 18). Zur Fütterung dosierte die Fütterungsanlage das frisch angemischte Flüssigfutter in die Futtertröge jeder Bucht aus. Die zuvor meist ruhigen Tiere sprangen plötzlich auf und suchen sich einen Platz am Futtertrog, was mit Schubsen und Drängeln unter den Tieren verbunden war. Häufig wurde rund um die Zeit der Fütterung auch ein vermehrtes Harnen und Koten der Tiere beobachtet.

Messtechnisch ist die Fütterung durch ausgeprägte Anstiege der Signale der Infrarotsensoren zur Ermittlung der durchschnittlichen Aktivität einer Tiergruppe (Aktix) und der Staubkonzentration im Abteil und in der Abluft für etwa fünf bis zwanzig Minuten gekennzeichnet (vgl. Bild 18). Der Abluftvolumenstrom nimmt häufig mit einer leichten Verzögerung ebenfalls vorübergehend zu (Bild 17).

Einige Sensoren der „elektronischen Nase“ zeigen während der Fütterung eine Zunahme der Sensorsignale, was in Bild 18 und Bild 19 deutlich erkennbar ist. Durch die Aktivität der Tiere erhöht sich das Freisetzungspotential von Gasen und Geruchsstoffen aus den Exkrementen durch das Schaffen neuer Freisetzungsoberflächen oder es kommt sogar frischer Harn und Kot hinzu. Die veränderte Gas- und Geruchsstoffzusammensetzung in der Abluft schlägt sich in einer Erhöhung der Sensorsignale der „elektronischen Nase“ nieder. Die Zunahme der Sensorsignale erfolgt innerhalb weniger Minuten bis zu einem Maximalwert. Die Abnahme der Sensorsignale läuft dann verzögert ab, bis die Geruchsfreisetzung wieder auf das Ausgangsniveau zurückgekehrt ist.

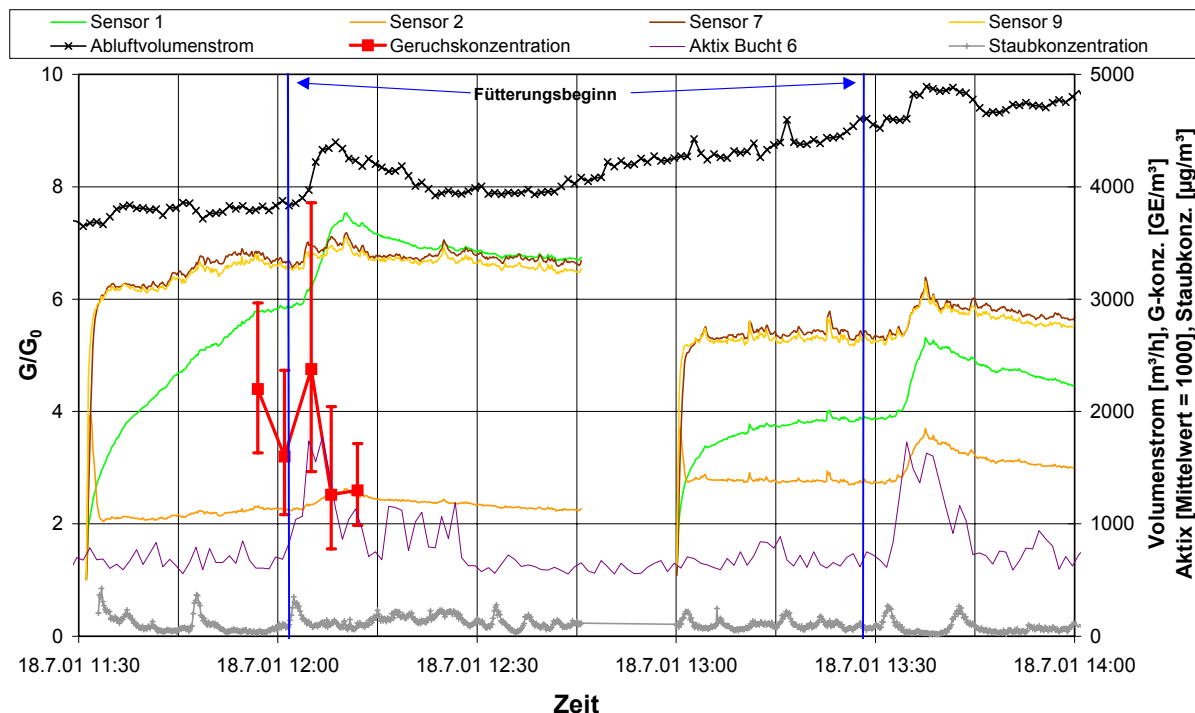


Bild 19: Verlauf ausgewählter Parameter während zwei Fütterungszeiten mit Volumenstromzunahme

Die olfaktometrisch bestimmte Geruchskonzentration zeigt vor Beginn der Fütterung etwas höheren Werte (Bild 18 und Bild 19), sie kann aber infolge der großen Varianzbreite bei der Olfaktometrie (in Bild 18 und Bild 19 dargestellt aus 95%-Vertrauensbereich jeder einzelnen Geruchsprobe) nicht deutlich von den anderen Geruchsproben unterschieden werden. Die olfaktometrisch ermittelten Geruchskonzentrationen nehmen während der Fütterung teilweise zu, aber häufig auch ab, was ebenfalls bei anderen Messungen (siehe Anhang) beobachtet werden kann. Die Abnahme der Geruchskonzentration während der Fütterung widerspricht jedoch den Erwartungen sowie den Sensorsignalen der „elektronischen Nase“.

Die Zunahme der Sensorsignale der „elektronischen Nase“ während der Fütterung ist jedoch nicht immer ganz deutlich zu verzeichnen. Bild 20 zeigt zwei Fütterungszeiten, an denen die Sensoren, die üblicherweise sehr stark auf die Veränderungen der Gas- und Geruchsstoffzusammensetzung reagieren, nur geringe Signalanstiege zeigen. Selbst der Volumenstrom ist konstant, so dass die Sensorsignale auch durch den Verdünnungseffekt nicht vermindert werden können. Sensor 9 reagiert kaum auf die Fütterungszeiten, dagegen zeigt er einen deutlichen Signalanstieg nach Absenkung des Volumenstroms. Sensor 1 reagiert eher umgekehrt, aber auch hier sind die Signalveränderungen gering. Die kleinen Signalveränderungen sind wahrscheinlich auf den während dieser Messung sehr hohen Volumenstrom zurückzuführen, der zu eher geringen Gas- und Geruchsstoffkonzentrationen in der Abluft und damit niedrigen Sensorsignalen führt. Dies zeigt, dass entsprechend den stark heterogenen Umgebungs- und stallinternen Bedingungen die Höhe und Dynamik der Geruchsfreisetzung sehr unterschiedlich ausfallen kann.

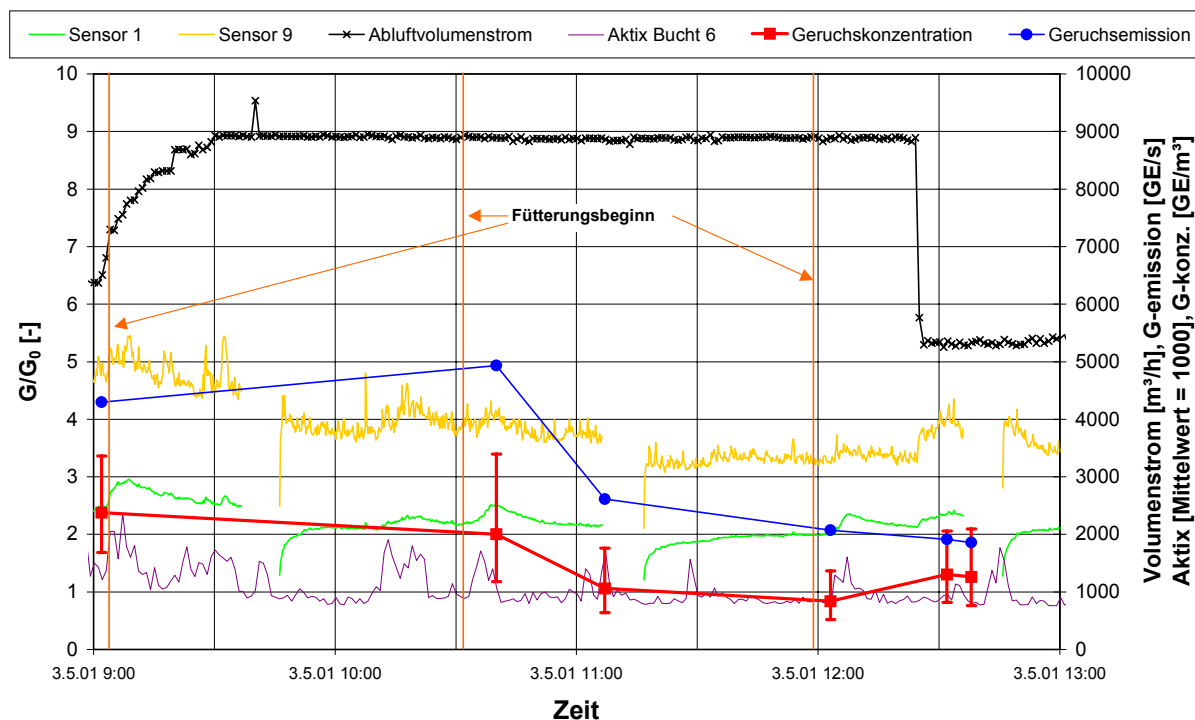


Bild 20: Verlauf ausgewählter Parameter während zwei Fütterungszeiten mit konstantem Volumenstrom

7.2.2 Einfluss von Abluftvolumenstromveränderungen

Wie sich der Abluftvolumenstrom im Jahres- und Tagesverlauf ändert und welche Auswirkungen dies auf die Geruchsfreisetzung hat, wurde bereits in den Kapiteln 7.1.1 und 7.1.2 beschrieben. An dieser Stelle soll gezeigt werden, wie sich eine kurzzeitig starke Erhöhung bzw. Absenkung des Abluftvolumenstroms auf die Sensorsignale der „elektronischen Nase“ und die olfaktometrisch bestimmten Geruchskonzentrationen auswirkt. In Bild 21 wird der Abluftvolumenstrom um einen Faktor größer als drei manuell verändert. Die Sensoren reagieren sehr schnell auf die mit der Volumenstromerhöhung einhergehenden Verdünnung der Gas- und Geruchsstoffkonzentrationen und umgekehrt. Es kommt zu einer deutlichen Veränderung der Sensorsignale um ca. 30 %. Im Vergleich dazu fällt die Sensorsignalveränderung während der Fütterung um 13:35 Uhr deutlich niedriger aus. Volumenstromveränderungen scheinen also einen stärkeren Effekt auf die Höhe der Sensorsignale als Fütterungsereignisse zu haben.

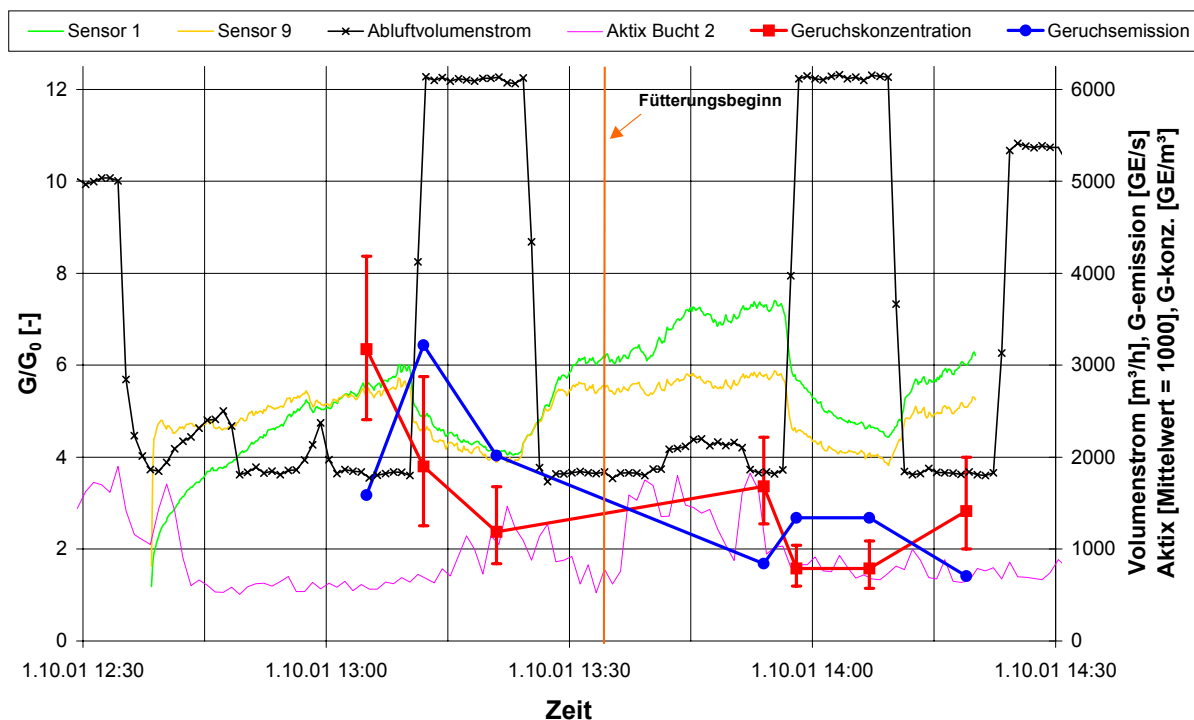


Bild 21: Verlauf ausgewählter Parameter bei gezielter Veränderung des Volumenstroms

Die olfaktometrisch bestimmten Geruchskonzentrationen sind bei dem dreifachen Volumenstrom etwa halb so groß wie beim niedrigen Volumenstrom, was besonders gut bei der zweiten Volumenstromerhöhung zu festzustellen ist. Höhere Volumenströme haben größere Geruchsemissionen zur Folge als niedrige Volumenströme. Dies kann mit den verbesserten Freisetzungsbedingungen von Geruchsstoffen aufgrund höherer Strömungsgeschwindigkeiten bei größeren Volumenströmen begründet werden. Es zeigt sich jedoch, dass der in der Literatur vielfach beschriebene proportionale Zusammenhang zwischen Volumenstrom und Geruchsemission nicht besteht, weil von einer konstanten Geruchskonzentration nicht immer ausgegangen werden kann [Eckhof und Grimm, 2000].

7.2.3 Weitere äußere Einflüsse

An vielen Messtagen zeigte sich überwiegend in den frühen Morgenstunden ein extrem starker Anstieg der Sensorsignale der „elektronischen Nase“ für eine Dauer von etwa 20 bis 30 Minuten. Beispielhaft ist in Bild 22 ein derartiger Anstieg der Sensorsignale um ca. 5:45 Uhr dargestellt. Da der Signalanstieg nicht zu einer Fütterungszeit auftrat und auch die parallel gemessenen Umgebungsparameter (Tieraktivität, Staubkonzentration, Wassergehalt der Luft, Ammoniakkonzentration, Abluftvolumenstrom, etc.) keine Besonderheiten aufwiesen, musste nach einer Ursache außerhalb des Stalles gesucht werden. Letztlich konnte die Grund darin gefunden werden, dass zu diesen Zeiten aus dem benachbarten Milchviehstall der Flüssigmist in die zentralen Güllebehälter gepumpt wurde. Die unterirdische Flüssigmistleitung verlief unter dem Versuchsstall und hatte im Vorraum, aus dem die Zuluft in das Mastabteil angesaugt wurde, eine Versorgungsöffnung, aus der bei Abpumpen der Flüssigmistes erhebliche Geruchsemissionen freigesetzt wurden. Somit können durch den Einsatz einer „elektronischen Nase“ auch unbekannte Geruchsquellen bzw. nur sehr kurzzeitig auftretende Geruchsfreisetzen aufgespürt werden. Mit wenigen Einzelproben

und der Offline-Analyse der Olfaktometrie wäre die Feststellung dieser äußeren Einwirkung sicher nicht möglich gewesen.

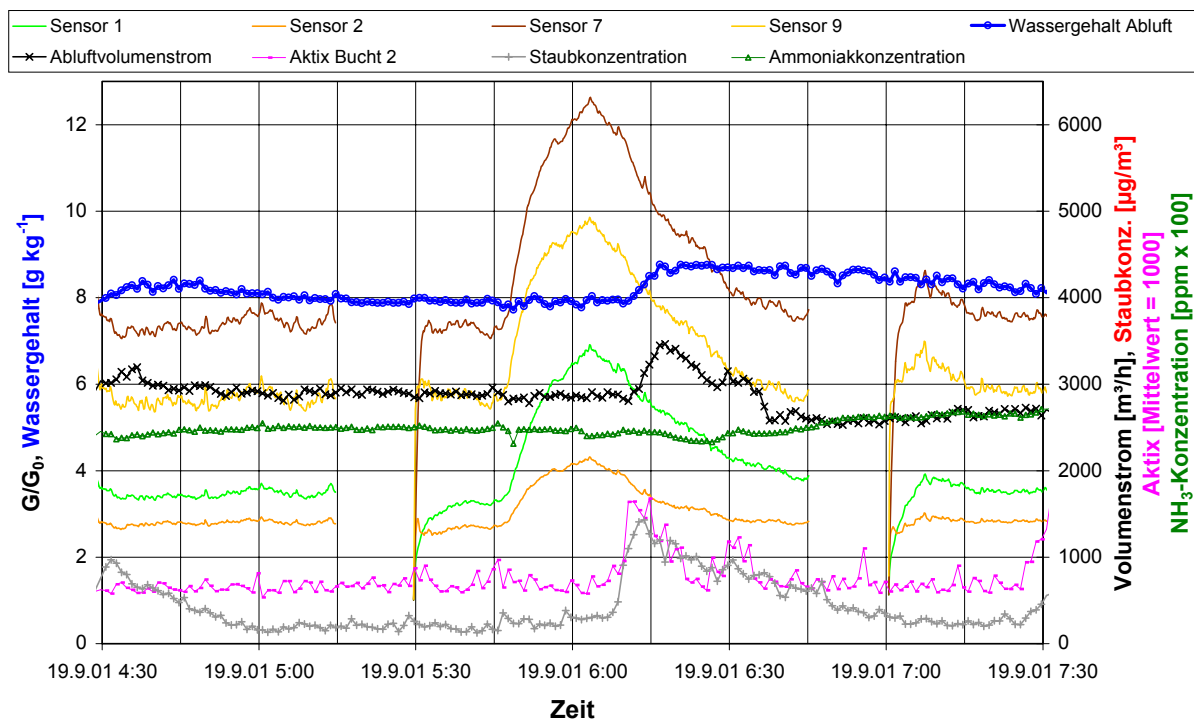


Bild 22: Erhöhte Sensorsignale infolge eines Geruchseintrags von außen durch das kurzzeitige Abpumpen von Flüssigmist aus dem benachbarten Milchviehstall

7.3 Bedeutung einzelner Parameter

Der deutliche Einfluss des Abluftvolumenstroms auf die Geruchskonzentrationen bzw. Geruchsemissionen im Jahresverlauf als auch auf die Sensorsignale im Tagesverlauf sowie bei kurzzeitigen Volumenstromveränderungen wurde bereits in Kapitel 7.1.1 gezeigt. Als weitere Einflussgrößen kommen die Temperatur, die Luftfeuchte, die Ammoniak- sowie die Staubkonzentration in Betracht.

Im Allgemeinen ist die wesentliche jahreszeitliche Einflussgröße die Veränderung der Außentemperatur, die – wenn überhaupt – einen Einfluss auf die Geruchsfreisetzung haben könnte. Die Außentemperatur wirkt sich durch die temperaturgeführte Lüftungsregelung und die wärmedämmende Bauhülle jedoch nur in geringem Maße und stark verzögert auf die Stallinnentemperatur aus, so dass sich die Freisetzungsbedingungen für die Geruchsstoffe aus den im Stall befindlichen Emissionsquellen (Exkrementen, Tiere, etc.) aufgrund von Temperaturschwankungen nur mäßig verändern. Nur an heißen Sommertagen, wenn die Zulufttemperatur die Solltemperatur übersteigt und damit keine Wärme abgeführt werden kann, stellen sich im Stall höhere Temperaturen als die vorgegebene Solltemperatur ein. Die Temperaturschwankungen im Stallinnern zwischen Tag und Nacht sind aber auch in diesen Fällen gering. Im Allgemeinen ist somit in einem wärmedämmten Stall mit temperaturgeführter Lüftungssteuerung keine direkte Beeinflussung des zeitlichen Verlaufs der Geruchsemission durch die Temperatur bzw. Temperaturveränderungen zu erwarten.

In Bild 23 sind die zeitlichen Verläufe verschiedener möglicher Einflussparameter parallel zu den ausgewählten Sensorsignalen der „elektronischen Nase“ und der Geruchskonzentration während einer Fütterung dargestellt. Ein direkter deutlicher Ein

fluss dieser Parameter (Tieraktivität, relative Feuchte bzw. Wassergehalt der Luft, Ammoniakkonzentration, Staubkonzentration) konnte anhand der aufgenommenen Messdaten nicht festgestellt werden. Zwar nehmen diese Parameter größtenteils mit Zunahme der Tieraktivität während der Fütterungszeiten ebenso wie die Sensorsignale der „elektronischen Nase“ zu. Werden jedoch die zeitlichen Verläufe der Sensorsignale und der einzelnen Parameter zeitlich hoch aufgelöst, so wird deutlich, dass die Anstiege der Messwerte unabhängig voneinander sind und nur mehr oder weniger zeitgleich durch unterschiedliche Mechanismen, die im weitesten Sinne von der Tieraktivität induziert werden, verursacht werden. Da offensichtlich kein direkter Zusammenhang zwischen den Sensorsignalen und den gemessenen Umgebungsparametern bestand, wurde von einer weitergehenden statistischen Analyse abgesehen.

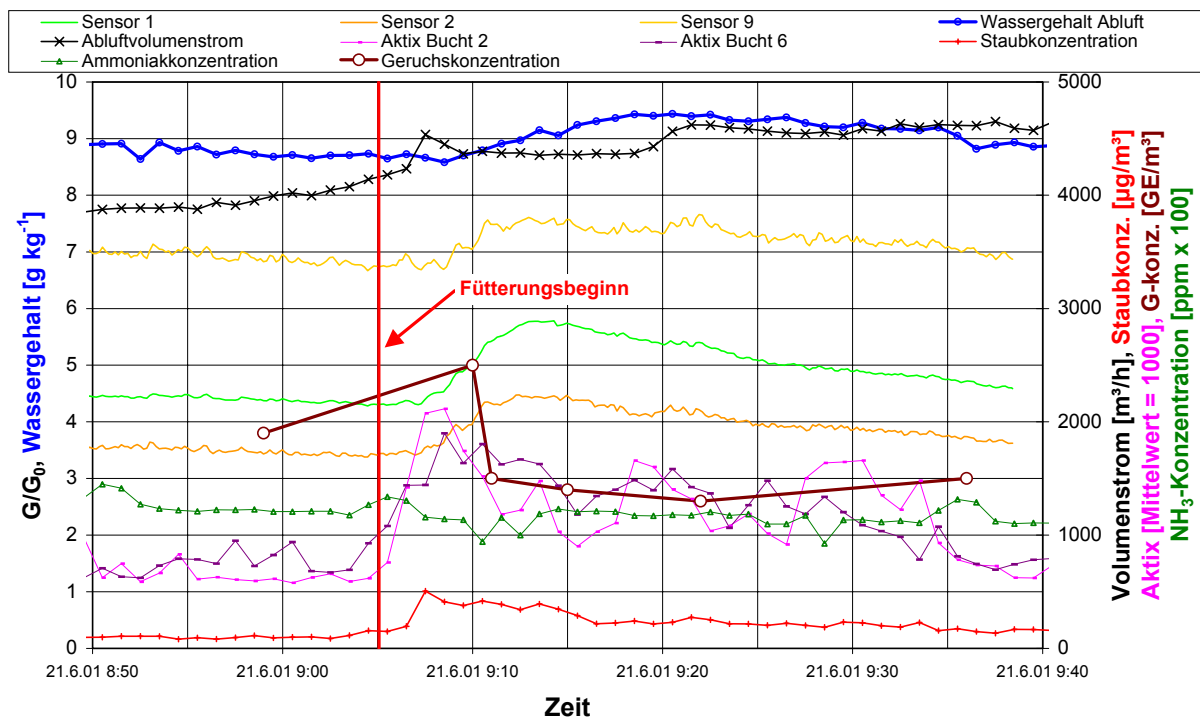


Bild 23: Zeitlicher Verlauf verschiedener möglicher Einflussparameter, ausgewählter Sensorsignale der „elektronischen Nase“ und der Geruchskonzentration während einer Fütterung

8 Praktische Verwertbarkeit der Ergebnisse

Aus den vorliegenden Messergebnissen können die im Folgenden genannten Empfehlungen abgeleitet werden, die die Geruchsprobenahme, die Berücksichtigung der jahreszeitlichen Schwankungen der Geruchsemission in Geruchsausbreitungsrechnungen und den Einsatz von „elektronischen Nasen“ zur Beurteilung von Geruchsemissionen betreffen.

8.1 Geruchsprobenahme an Stallanlagen

Ist eine Geruchsprobenahme aus der Abluft einer bestehenden Tierhaltungsanlage möglich, so sollte die Geruchskonzentration aus Geruchsproben ermittelt werden, die sowohl die verschiedenen Jahreszeiten, die Mastabschnitte als auch die Tageszeit berücksichtigen. Jahreszeitlich sollte mindestens an je einem typischen kalten Winter- und heißen Sommertag sowie an zwei Tagen aus der Übergangszeit gemessen werden. An den Messtagen sollen mindestens je zwei Geruchsproben früh morgens bei konstantem minimalem Volumenstrom, mittags bei konstantem maximalem Volumenstrom sowie vormittags bzw. nachmittags gleichverteilt während der Zunahme bzw. Abnahme des Abluftvolumenstroms genommen werden. Wenn möglich, sollte der Volumenstrom während der Probenahme konstant gehalten werden. Zu allen Zeiten ist darauf zu achten, dass die Geruchsprobenahme nicht während und nicht innerhalb 30 Minuten nach der Fütterung erfolgt. Hier eignet sich der parallele Einsatz einer „elektronischen Nase“ an den Probenahmetagen, um Probenahmen während ausgeprägter Emissionsspitzen infolge der Fütterung oder anderer Einflüsse zu erkennen bzw. zu vermeiden. Sämtliche Geruchsproben sollten bis zur Analyse dunkel gelagert werden und noch am selben Tag möglichst innerhalb von acht Stunden olfaktometrisch analysiert werden. Insgesamt ergibt sich eine Anzahl von mindestens 24 Geruchsproben pro Tierhaltungsanlage.

8.2 Berücksichtigung der Geruchsemissionsschwankungen in Ausbreitungsmodellrechnungen

Bei Geruchsausbreitungsrechnungen wird im Planungsfall die einzugebende Geruchsemission aus literaturverfügbaren Geruchsemissionsfaktoren eines vergleichbaren Haltungssystems abgeschätzt. Ist im Beschwerdefall oder in anderen Fällen die Tierhaltungsanlage bereits im Betrieb, so sollten Geruchsproben zur olfaktometrischen Analyse nach den oben genannten Empfehlungen genommen werden. Aus den analysierten Geruchskonzentrationen und den dazugehörigen – möglichst messtechnisch erfassten – Abluftvolumenströmen werden die Geruchsemissionen berechnet. Dabei sind zunächst für die einzelnen Probenahmetage tagesmittlere Geruchsemissionen zu berechnen, die dann wiederum zu einer jahresmittleren Geruchsemission der jeweiligen Stallanlage zusammengefasst werden. Unabhängig davon, ob die jahresmittlere Geruchsemission aus Geruchsemissionsfaktoren abgeschätzt oder aus analysierten Geruchsproben ermittelt wurde, wird zur Berechnung der Geruchsausbreitung an warmen Sommertagen empfohlen, fallweise mit dem doppelten Wert der angenommenen jahresmittleren Geruchsemission zu rechnen und das Ergebnis bei der Gesamtbeurteilung der Belästigungssituation insbesondere im Sommer zu berücksichtigen. Wahlweise kann auch die mittlere Geruchsemission des Probenahmetages im Sommer eingesetzt werden. Ergänzend kann für die Wintersituation der halbe Wert der angenommenen jahresmittleren Geruchsemission oder die tagesmittlere Geruchsemission des Probenahmetages im Winter berücksichtigt werden.

8.3 Empfehlungshinweise für den Einsatz „elektronischer Nasen“ und mögliche Einsatzgebiete von Chemosensor-Arrays in der Landwirtschaft

Zwar sind die Sensorarrays der verschiedenen kommerziell verfügbaren „elektronischen Nasen“ einerseits mit unterschiedlichen Typen und Zahl von Sensoren bestückt und andererseits werden die Sensorsignale der einzelnen Modell bisher nicht einheitlich dargestellt, so dass eine Harmonisierung zur besseren Vergleichbarkeit der verschiedenen „elektronischen Nasen“ notwendig wäre. Hier wäre vorerst zumindest eine detaillierte Angabe der eingesetzten „elektronischen Nase“ und die eingestellten Parameter notwendig. Dennoch lassen sich allgemeine Hinweise für den Einsatz „elektronischer Nasen“ zur Geruchsmessung aus Tierhaltungsanlagen geben. Da die Umgebungsluft von Tierhaltungsanlagen in der Regel durch den Stall selbst bzw. durch naheliegende Mistlagerstätten sowohl mit Geruchsstoffen als auch mit anderen Gase stark vorbelastet ist, wird empfohlen, als Referenzluft für die „elektronische Nase“ ein synthetisches und damit einheitliches Referenzgas zu nutzen. Beispielsweise kann dieses Referenzgas aus gereinigter Pressluft erzeugt werden, die auf ca. 50% relative Feuchte eingestellt und auf eine konstante Temperatur ähnlich der Umgebungstemperatur temperiert wird. Dieses Referenzgas dient sowohl zur Gewährleistung eines relativ konstanten Nullwertes der Sensorsignale als auch zum regelmäßigen Spülen der Sensoren. Infolge einer Signaldrift der Sensoren wird eine maximale kontinuierliche Messzeit von zwei Stunden empfohlen. Bei der Festlegung der Mess- und Spülzeiten sind die Fütterungszeiten und Betriebsrhythmen im Stall zu berücksichtigen.

Neben der Nutzung der „elektronischen Nase“ zum Aufspüren von Geruchskonzentrations- oder -emissionsspitzen an Probenahmetagen zur Ermittlung möglichst repräsentativer Geruchsemissionen, können allgemein belästigungsrelevante Emissionsspitzen von Tierhaltungsanlagen erkannt werden. Möglicherweise lassen sich so die Ursachen für zeitlich begrenzte Beschwerdefälle herausfinden. Außerdem ist der Einsatz von Chemosensor-Arrays als Sensor zur geruchsgeführten Regelung von Lüftungsanlagen denkbar. Dabei kann ein Chemosensor-Array sowohl emissionsseitig im Abluftschacht als auch immissionsseitig z.B. bei einem potentiell belästigten Nachbar installiert werden. Hierbei ist insbesondere die Frage der Langzeitstabilität der Sensoren zu klären. In jedem Fall sind noch Grundlagenarbeiten zu intensivieren, bevor es zu einer breiten Anwendung von Chemosensor-Arrays kommt.

9 Zusammenfassung

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurden jahreszeitliche (Mastverlauf), tageszeitliche sowie kurzfristige (Fütterung) dynamischer Effekte der Geruchsfreisetzung aus einem Mastschweinestall über die Dauer von drei aufeinanderfolgenden Mastdurchgängen untersucht. Dabei kamen zwei Messmethoden parallel zum Einsatz, zum Einen die Olfaktometrie zur Bestimmung der Geruchskonzentrationen als auch eine neuartige „elektronische Nase“. Die Geruchskonzentration lag in einem Bereich zwischen ca. 500 und 4000 GE m⁻³, einzelne Werte lagen auch darunter bzw. darüber. Die Geruchsemission schwankte zwischen 500 und 4000 GE s⁻¹, die Geruchsemissionsfaktor betrug 100 bis 550 GE s⁻¹ GV⁻¹ mit abnehmender Tendenz im Mastverlauf.

Eindeutige Zusammenhänge und Jahresverläufe der Geruchskonzentration bzw. Geruchsemission konnten aufgrund der großen meteorologischen und biologischen Variabilität nicht nachgewiesen werden. Dennoch zeigten sich im Jahresverlauf an heißen Sommertagen die höchsten Geruchsemissionen bei den kleinsten Geruchskonzentrationen und an kalten Wintertagen die niedrigen Geruchsemissionen bei den höchsten Geruchskonzentrationen, was im Wesentlichen eine Folge der entsprechend unterschiedlichen Abluftvolumenströme ist.

Mit Hilfe der Olfaktometrie konnte ebenfalls kein eindeutiger Tagesverlauf der Geruchskonzentration bzw. -emission nachgewiesen werden. Hier zeigten dagegen die Sensorsignale der „elektronischen Nase“ deutliche Unterschiede zwischen Tag und Nacht, was auf eine veränderte Gas- und Geruchsstoffzusammensetzung in der Abluft zurückgeführt wird. Tagsüber wurden überwiegend niedrige Sensorsignale aufgrund des höheren Verdünnungseffekts durch den größeren Volumenstrom beobachtet, dem gegenüber nahmen die Sensorsignale nachts bei kleinerem Volumenstrom zu.

Ihre besondere Stärke zeigt die „elektronische Nase“ in der kontinuierlichen Messung, wodurch deutliche Veränderungen der Gas- und Geruchsstoffzusammensetzung in der Abluft durch Fütterungszeiten oder andere kurzzeitige Einflüsse dargestellt werden konnten. Die Fütterungszeiten waren überwiegend durch eine Zunahme der Sensorsignale begleitet, was auf eine Zunahme der Gas- und Geruchsstoffkonzentration in der Abluft hindeutet. Olfaktometrisch wurden ebenfalls Schwankungen der Geruchskonzentration während der Fütterungen festgestellt, diese bewegten sich im für die Olfaktometrie üblichen Bereich. Somit konnte keine eindeutige Zunahme der Geruchskonzentration während der Fütterung oder durch andere kurzzeitige Einflüsse nachgewiesen werden.

Aus den Ergebnissen wurden Empfehlungen für eine geeignete und repräsentative Geruchsprobenahme abgeleitet sowie Vorschläge zur Berücksichtigung jahreszeitlicher Geruchsemissionsschwankungen bei der Geruchsausbreitungsrechnung gemacht. Außerdem wurden Hinweise für den sinnvollen Einsatz von „elektronischen Nasen“ zur Geruchsmessung aus Tierhaltungsanlagen gegeben. Chemosensor-Arrays haben das Potenzial, sowohl emissions- als auch immissionsseitig als Sensor zur geruchsgeführten Lüftungssteuerung eingesetzt zu werden.

10 Veröffentlichungen, Vorträge und Workshop

Im Folgenden werden die Veröffentlichungen, Vorträge und der Workshop aufgelistet, die im Rahmen dieses BW-PLUS-Forschungsprojektes erstellt bzw. durchgeführt wurden (referierte Beiträge sind mit einem * gekennzeichnet).

10.1 Veröffentlichungen

- Brose, G., E. Hartung, T. Jungbluth: Dynamik der Geruchsemission aus einem Schweinemaststall. Tagung: Bau, Technik und Umwelt 2001 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 06./07.03.2001 an der Universität Hohenheim, S. 104-109
- *Brose, G., E. Gallmann, E. Hartung, T. Jungbluth: Detection of the dynamics of odour emissions from pig farms using dynamic olfactometry and an electronic odour sensor. Proceedings of 1st IWA International Conference on Odour and VOCs: Measurement, Regulation and Control Techniques, University of New South Wales, Sydney, Australien, 25.-28.03.2001, S. 115-121
- *Brose, G., E. Gallmann, E. Hartung, T. Jungbluth: Detection of the dynamics of odour emissions from pig farms using dynamic olfactometry and an electronic odour sensor. Water Sci Technol, 44 (9), 59-64 (2001)
- *Gallmann E., G. Brose, E. Hartung, T. Jungbluth: Influence of different pig housing systems on odour emissions. Proceedings of 1st IWA International Conference on Odour and VOCs: Measurement, Regulation and Control Techniques, University of New South Wales, Sydney, Australien, 25.-28.03.2001, S. 469-477
- *Gallmann, E., G. Brose, E. Hartung, T. Jungbluth: Influence of different pig housing systems on odour emissions. Water Sci Technol, 44 (9), 237-244 (2001)
- Brose, G., E. Hartung: Geruchsemissionen aus Schweineställen - Mit einer „elektronischen Nase“ Schweinegerüchen auf der Spur. Landpost, 2001, H.23, S. 8-9
- *Brose, G., E. Hartung: Dynamik der Geruchsfreisetzung aus einem Schweinestall – Teil 1. Agrartechnische Forschung 7 (2001) Heft 6, S. 105-110
- *Brose, G., E. Hartung: Dynamics of Odour Release from a Pig House – Part 1. Agrartechnische Forschung 7 (2001) Heft 6, S. E 105-E 110
- Brose, G., E. Hartung: Dynamik der Geruchsfreisetzung. Landtechnik 56, 5/2001
- Brose, G., E. Hartung, T. Jungbluth: Dynamik der Geruchsemission aus der Schweinehaltung. Posterpräsentation beim KTBL-Symposium „Emissionen der Tierhaltung und Beste Verfügbare Techniken zur Emissionsminderung“, 3.-5. Dezember 2001, Kloster Banz/Staffelstein
- *Brose, G., E. Hartung, T. Jungbluth: Dynamik der Geruchsfreisetzung aus einem Schweinestall – Teil 2. Agrartechnische Forschung 8 (2002) Heft 3, S. 38-46
- *Brose, G., E. Hartung, T. Jungbluth: Dynamics of Odour Release from a Pig House – Part 2. Agrartechnische Forschung 8 (2002) Heft 3, S. E 38-E 46

- Brose, G., E. Hartung, T. Jungbluth: Dynamik der Geruchsfreisetzung. Landtechnik 57, 3/2002

10.2 Vorträge

- Dynamik der Geruchsemission aus einem Mastschweinestall. Ausgewählte Kapitel aus Verfahrenstechnik in der Tierproduktion, Seminarreihe am Institut für Agrartechnik, Fachgebiet: Verfahrenstechnik in der Tierproduktion und landwirtschaftliches Bauwesen, Termine: 07.02.2000, 22.05.2000, 29.01.2001, 18.06.2001 und 21.01.2002
- Dynamik der Geruchsemission aus einem Mastschweinestall – Erste Ergebnisse. BW-PLUS Statusseminar, Karlsruhe, 01.03.2001
- Bestimmung der Dynamik der Geruchsemission aus einem Mastschweinestall mit Hilfe der Olfaktometrie und eines elektronischen Geruchssensors. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 06./07.03.1999 an der Universität Hohenheim
- Detection of the dynamics of odour emissions from pig farms using dynamic olfactometry and an electronic odour sensor. 1st IWA International Conference on Odour and VOCs: Measurement, Regulation and Control Techniques, University of New South Wales, Sydney, Australien, 25.-28.03.2001
- Dynamik der Geruchsemission aus einem Mastschweinestall – Messung mit Olfaktometrie und "elektronischer Nase". BW-PLUS Statusseminar, Karlsruhe, 27.02.2002

10.3 Workshop

Der Workshop zum BW-PLUS-Verbundprojekt „Geruchsfreisetzung und –ausbreitung“ wurde am 12.03.2002 an der Universität Hohenheim durchgeführt. Das Programm ist der Einladung im Anhang zu entnehmen. Es nahmen über 80 Personen teil, darunter Anwender und Entwickler aus Ingenieurbüros, aus Industrieunternehmen, aus Behörden (u.a. Gewerbeaufsichtsämter) sowie von wissenschaftlichen Einrichtungen.

11 Literatur

- AIRSENSE (2002). <http://www.airsense.com>
- BOEKER, P. (2001): Chemosensorik und Geruchsmessung – Stand der elektronischen Olfaktometrie. Agrartechnische Forschung 7, 4, 77-81
- BOTH, R., K.-H. ESSERS, G. GLIWA, S. KÜLSCHKE (1995): Untersuchungen zur Geruchsausbreitung und Gerucherhebung an einem großen Schweinemastbetrieb. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Jahresbericht 1995
- 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
- CEN (1999): Draft prEN 13725. "Air quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry". European Committee for standardization, Brüssel
- ECKHOF, W., E. GRIMM (2000): Emissionen – der Anfang allen Übels. Spannweiten bei den Messungen. In: Bewertung von Geruchsbelastungen aus der Landwirtschaft. Hrsg.: KTBL, Sonderveröffentlichung 031, S. 39-51
- ECOMA (2002): <http://www.ecoma.de>
- GALLMANN, E., E. HARTUNG UND T. JUNGBLUTH (1999): Langzeituntersuchungen zur Bestimmung der Emissionen klima- und umweltrelevanter Gase sowie Geruch aus der Schweinemast. In: Tagungsband. Hrsg.: TU-München. Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, München, S. 81-86
- GALLMANN, E., E. HARTUNG UND T. JUNGBLUTH (2000a): 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
- GALLMANN, E., E. HARTUNG U. T. JUNGBLUTH (2000b): Umweltgerechte Mastschweinehaltung - Sensitivität der Emissionsmessungen, Agrartechnische Forschung, Band 6, Heft 6, S. 102-109
- GARDNER, J.W., UND P.N. BARTLETT (1994): A brief history of electronic noses. *Sensors and Actuators B* 18-19, 211-220
- 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
- HARTUNG, E., M. MARTINEC, T. JUNGBLUTH (1997): Unveröffentlichte Untersuchungsergebnisse im Rahmen des Teilprojektes „Reduzierung der Ammoniak-Emissionen aus Tierhaltungsanlagen der Landwirtschaft durch biologische Abluftfilter“. Finanziert vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg. Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik
- HEINING, K. (1999): Elektronische Nasen. Bauarten von elektronischen Olfaktometern – Sensortypen – Probenahmetechniken – Störeinflüsse bei der Messung – Methoden der Auswertung. *Ingenieure heute* 2, 6, 1-15
- HEINING, K. UND B. WIESE (2000): Elektronische Geruchsmessung – Systeme und Anwendbarkeit im Immissionschutz, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 60, 5, 195-200

HESSE, D. F. ZERBE, H. MANNEBECK, D. HOLSTE (1997): Weiterentwicklung von Mast-schweinehaltungsverfahren mit und ohne Einstreu, im Hinblick auf Tier- und Umweltschutz. In: Bau, Technik und Umwelt in der Landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Beiträge zur 3. Internationalen Tagung, 11. Und 12. März 1997, Kiel, ISSN 0948-7786, S. 458-465

LAIS, S. (1996): Untersuchungen zur Reduzierung der Ammoniak- und Geruchsemissionen aus der Schweinehaltung durch biologische Abluftwäscher. Dissertation, VDI-MEG Schrift 293, ISSN 0931-6264, Universität Hohenheim

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

MANNEBECK, D. (1994): Biofilter an Schweineställen – Analyse der Wirkungsweise und Konsequenzen. Dissertation, VDI-MEG Schrift 138, ISSN 0931-6264, Universität Kiel

MARTINEC M., E. HARTUNG UND T. JUNGBLUTH (1998a): Daten zu Geruchsemissionen aus der Tierhaltung. KTBL Arbeitspapier 260, ISBN 3-7843-1998-2

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

MÜLLER, H.-J. (1994): Geruchs- und Schadgasemissionsströme aus Tierhaltungen. Landtechnik 49, 6, S. 360-361

O'NEILL, D.H. UND V.R. PHILLIPS (1992): A review of the Control of Odour Nuisance from Livestock Buildings: Part 3, Properties of the Odorous Substances which have been identified in Livestock Wastes or in the Air around them. J. agric. Eng. Res., 53, 23-50

OLDENBURG, J. (1989): Geruchs- und Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung, KTBL-Schrift 333, Darmstadt

PEDERSEN S. UND C.B. PEDERSEN (1995): Animal Activity Measured by Infrared Detectors. J. agric. Engng. Res. 61, 239-246

SIEMERS, V. UND H. VAN DEN WEGHE (1997): Bewertung unterschiedlicher Nassabscheider/Biofilterkombinationen hinsichtlich der Minderung der Ammoniak-, Geruchs- und Staubemissionen aus einstreulosen Mastschweineställen und deren Wirtschaftlichkeit. In: Bau, Technik und Umwelt in der Landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Beiträge zur 3. Internationalen Tagung, 11. Und 12. März 1997, Kiel, ISSN 0948-7786, S. 491-498

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

VDI-RICHTLINIE 3471 (1986): Emissionsminderung; Tierhaltung; Schweine. Beuth Verlag, Berlin

VDI-RICHTLINIE 3472 (1986): Emissionsminderung; Tierhaltung; Hühner. Beuth Verlag, Berlin

VDI-RICHTLINIE 3473 (1994): Emissionsminderung – Tierhaltung – Rinder/Geruch (Entwurf). Beuth Verlag, Berlin

VDI-RICHTLINIE 3474 (2001): Emissionsminderung – Tierhaltung – Geruchsstoffe (Entwurf). Beuth Verlag, Berlin

VDI-RICHTLINIE 3881 (1986): Blatt 1, Olfaktometrie; Geruchsschwellenbestimmung; Grundlagen. Beuth Verlag, Berlin

VDI-RICHTLINIE 3882 (1992): Blatt 1, Olfaktometrie; Bestimmung der Geruchsintensität. Beuth Verlag, Berlin

VDI-RICHTLINIE 3940 (1993): Bestimmung der Geruchsstoffimmission durch Begehungen. Beuth Verlag, Berlin

Anhang

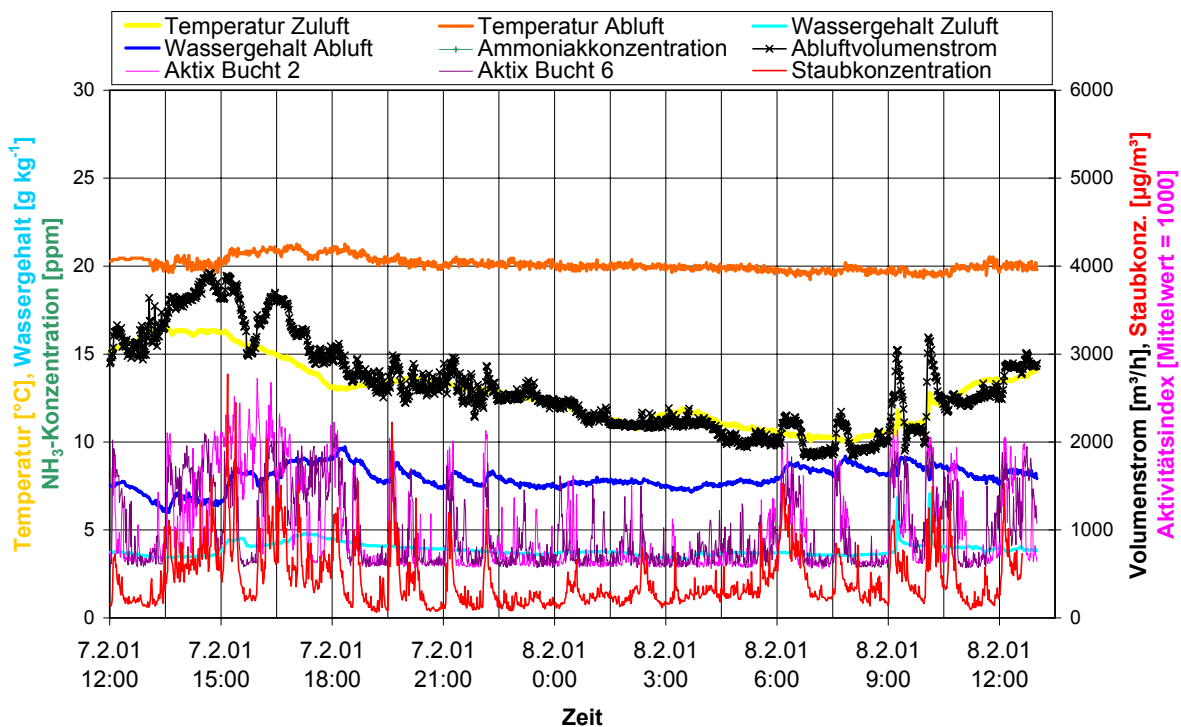


Bild A-1 : Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 07.-08.02.2001

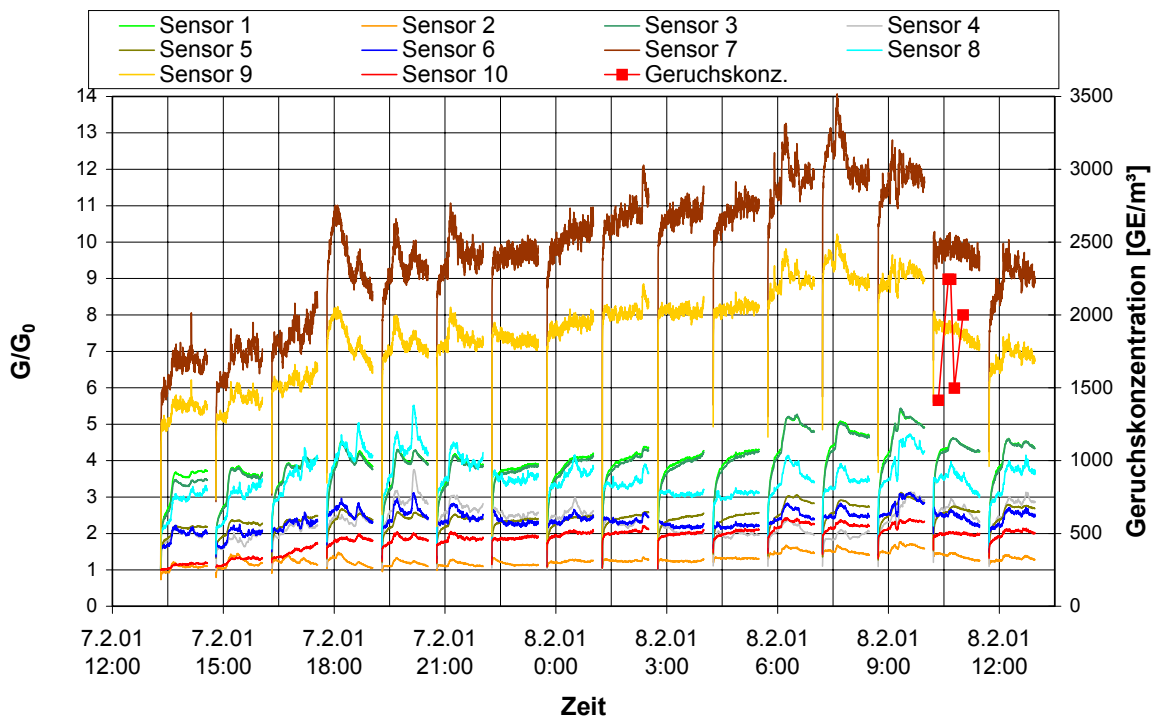


Bild A-2: Geruchskonzentration und Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 07.-08.02.2001

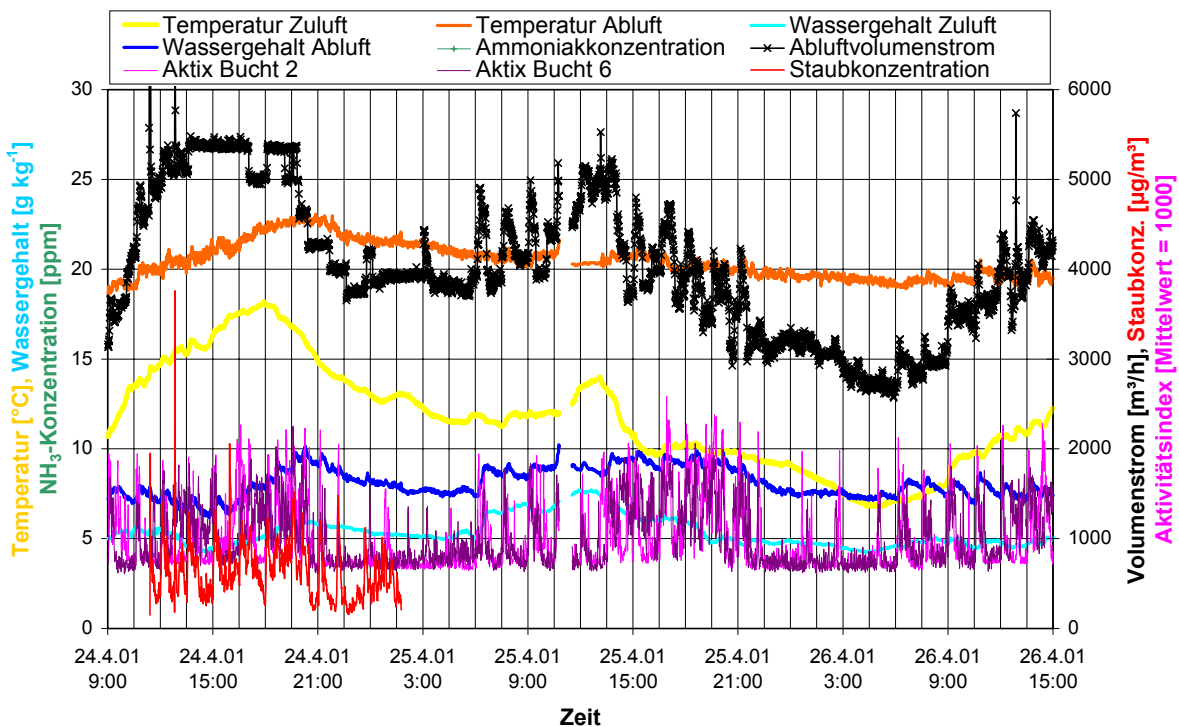


Bild A-3: Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 24.-26.04.2001

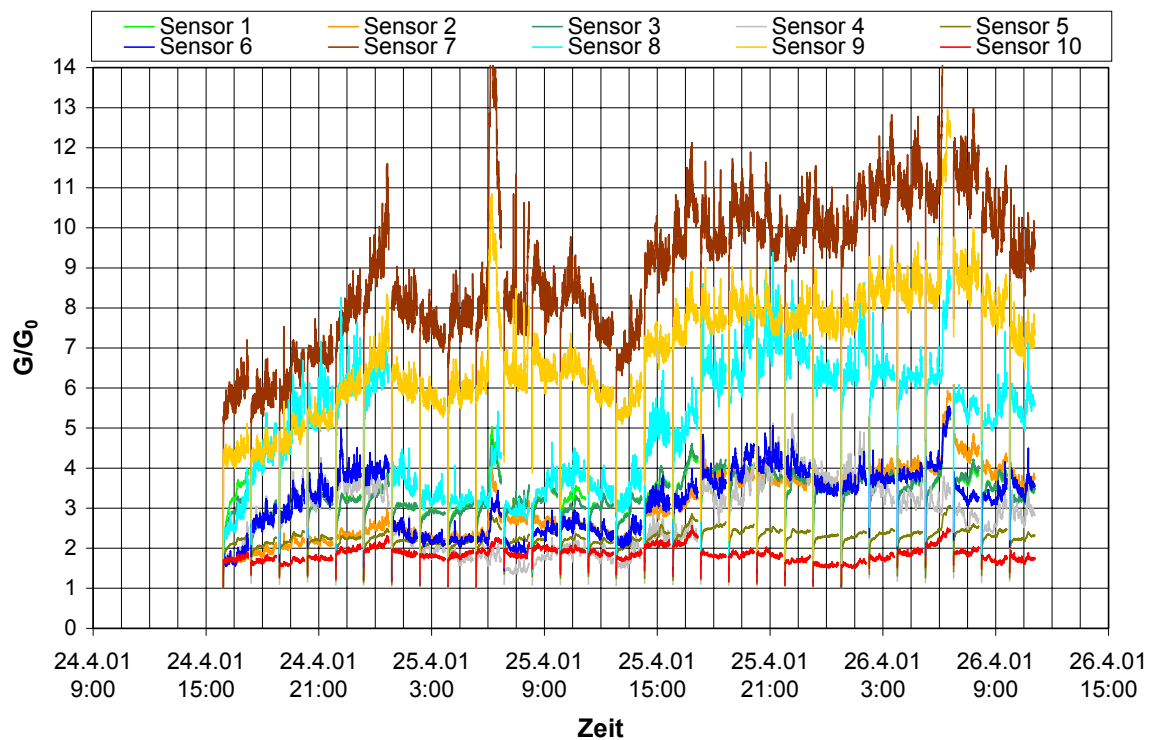


Bild A-4: Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 24.-24.04.2001

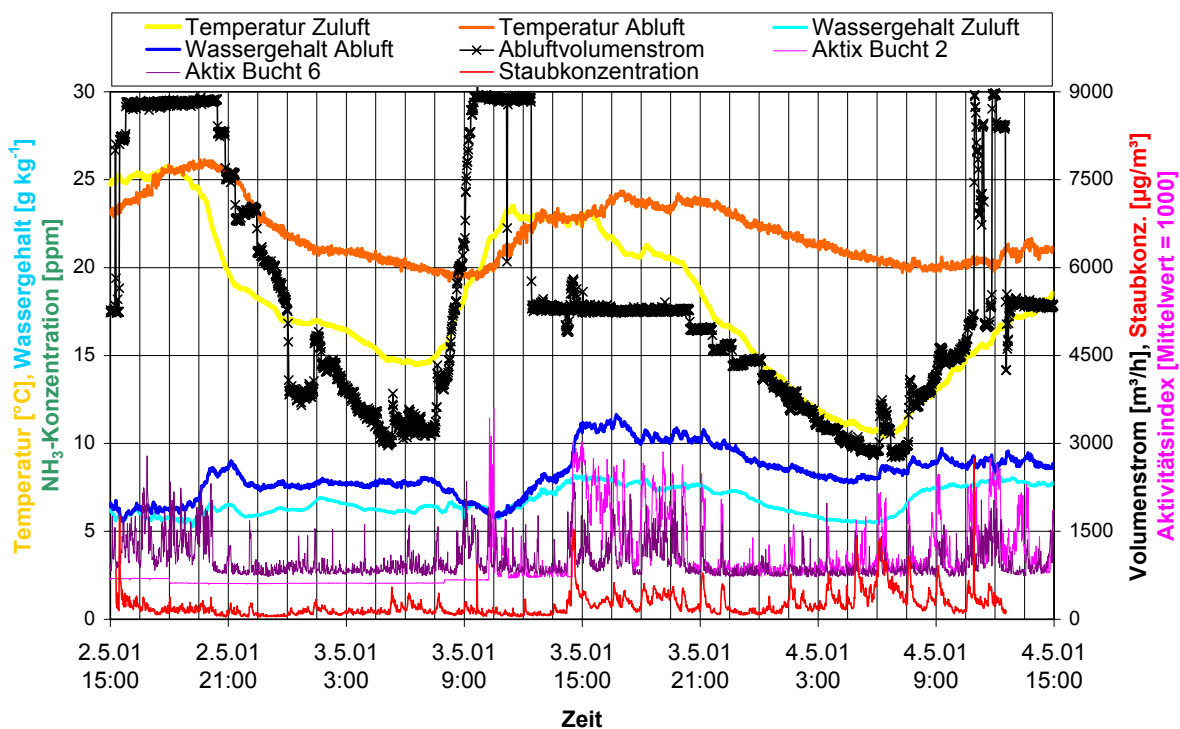


Bild A-5: Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 02.-04.05.2001

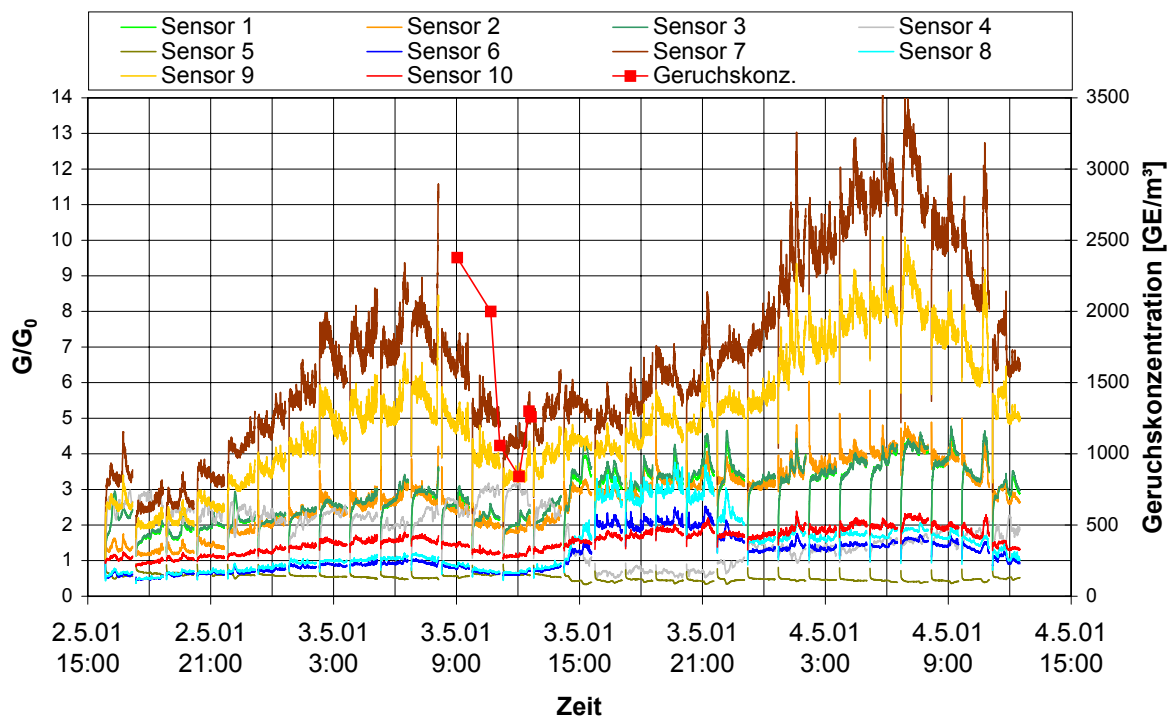


Bild A-6: Geruchskonzentration und Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 02.-04.05.2001

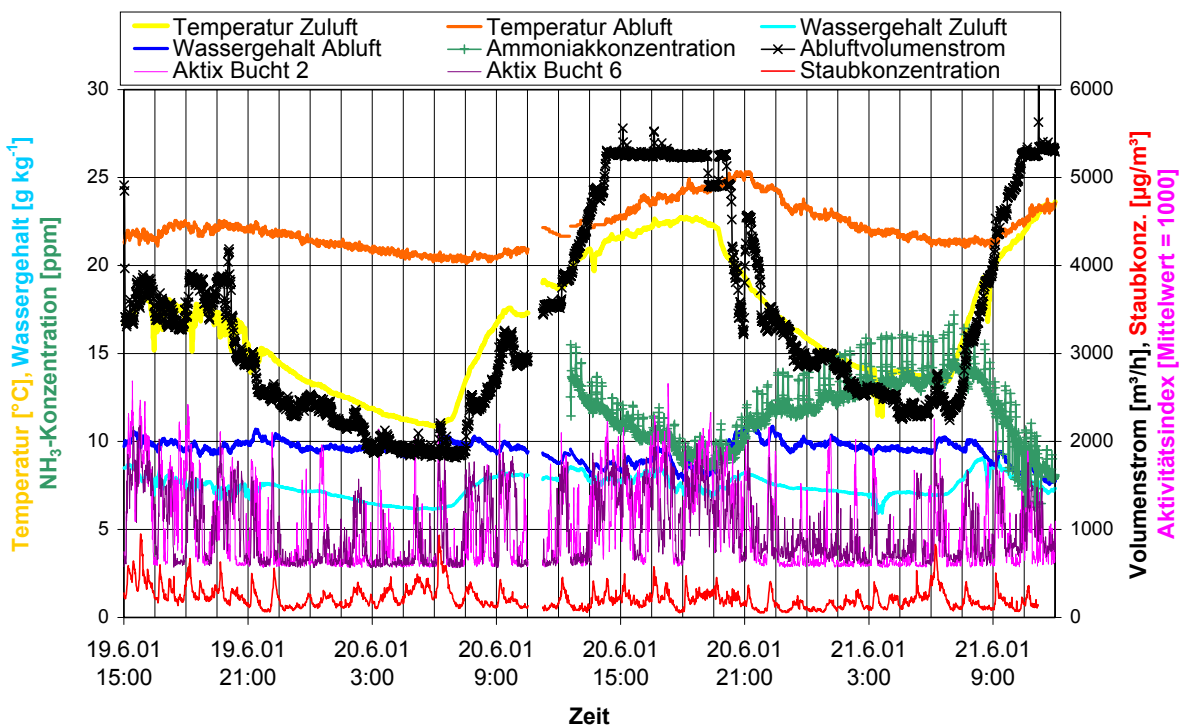


Bild A-7: Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 19.-21.06.2001

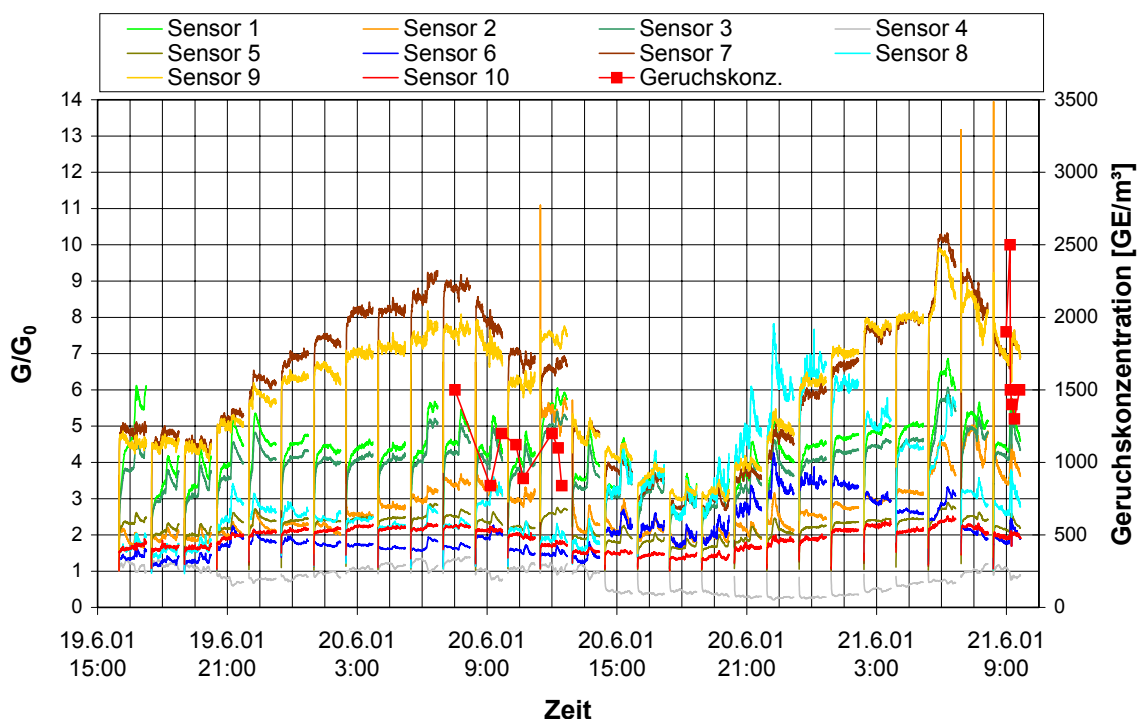


Bild A-8: Geruchskonzentration und Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 19.-21.06.2001

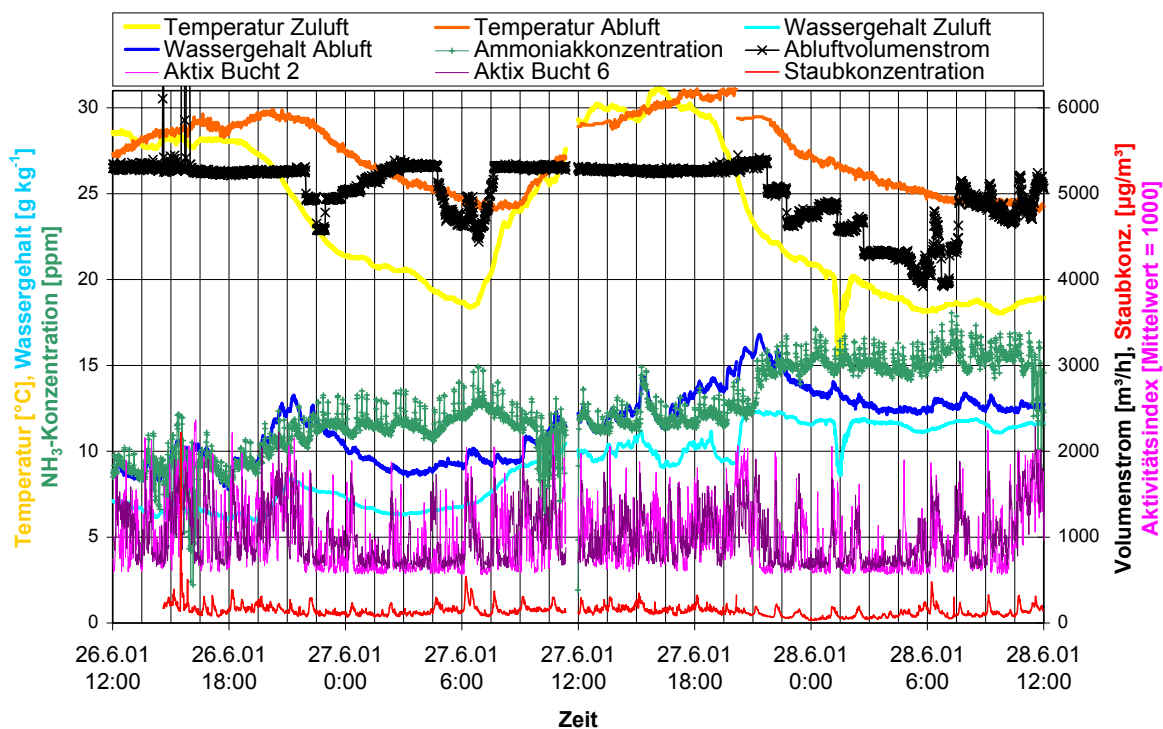


Bild A-9: Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 26.-28.06.2001

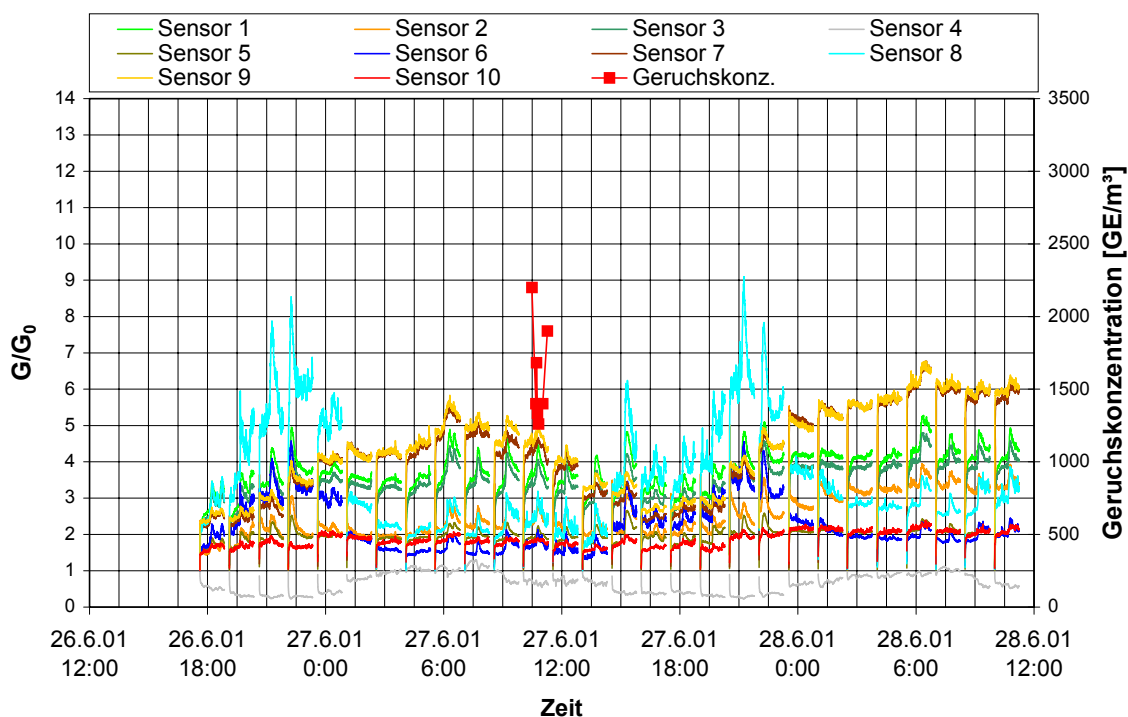


Bild A-10: Geruchskonzentration und Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 26.-28.06.2001

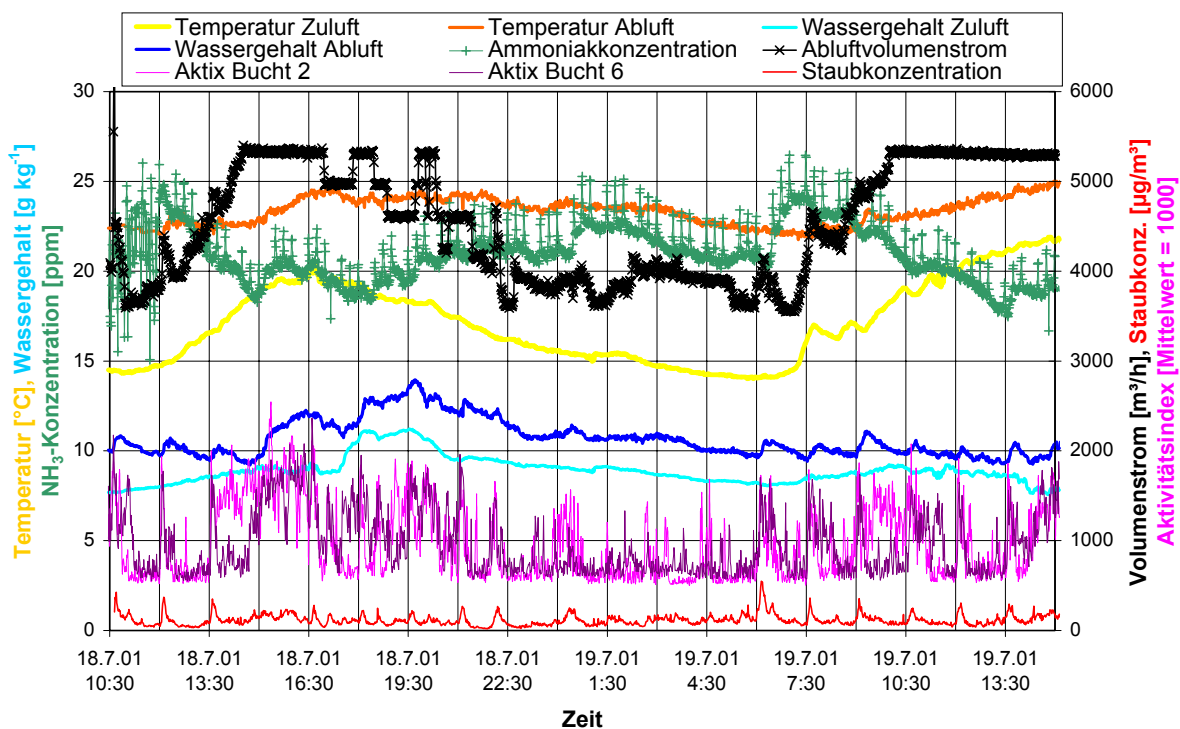


Bild A-11: Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 18.-19.07.2001

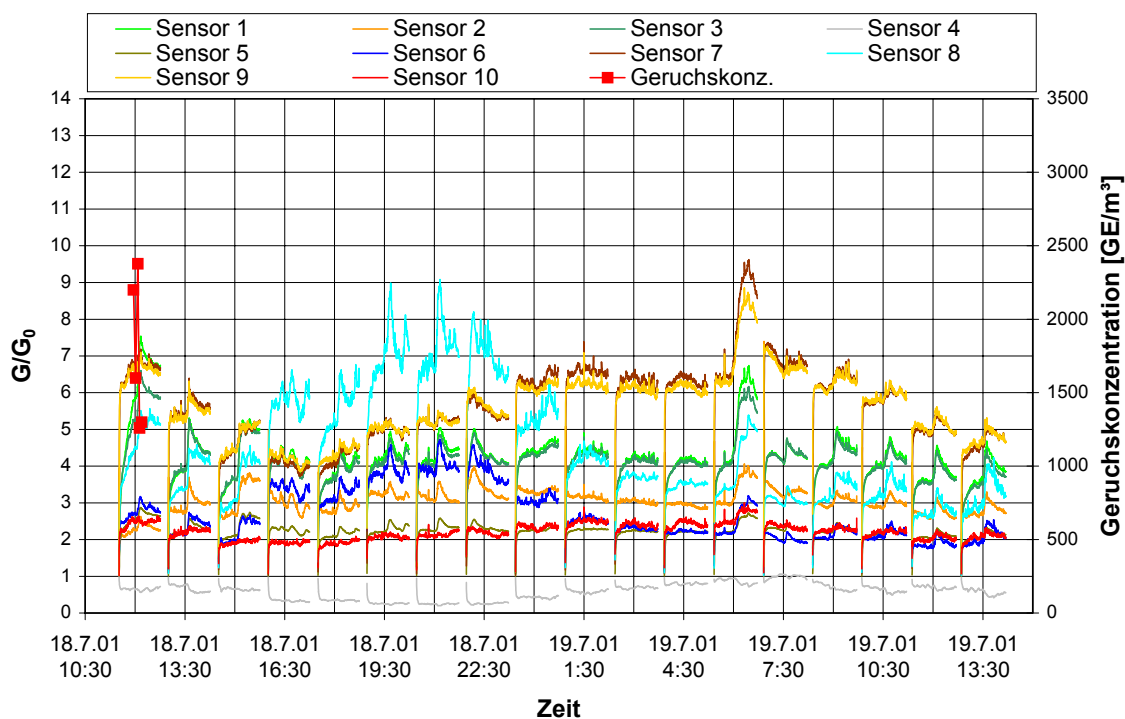


Bild A-12: Geruchskonzentration und Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 18.-19.07.2001

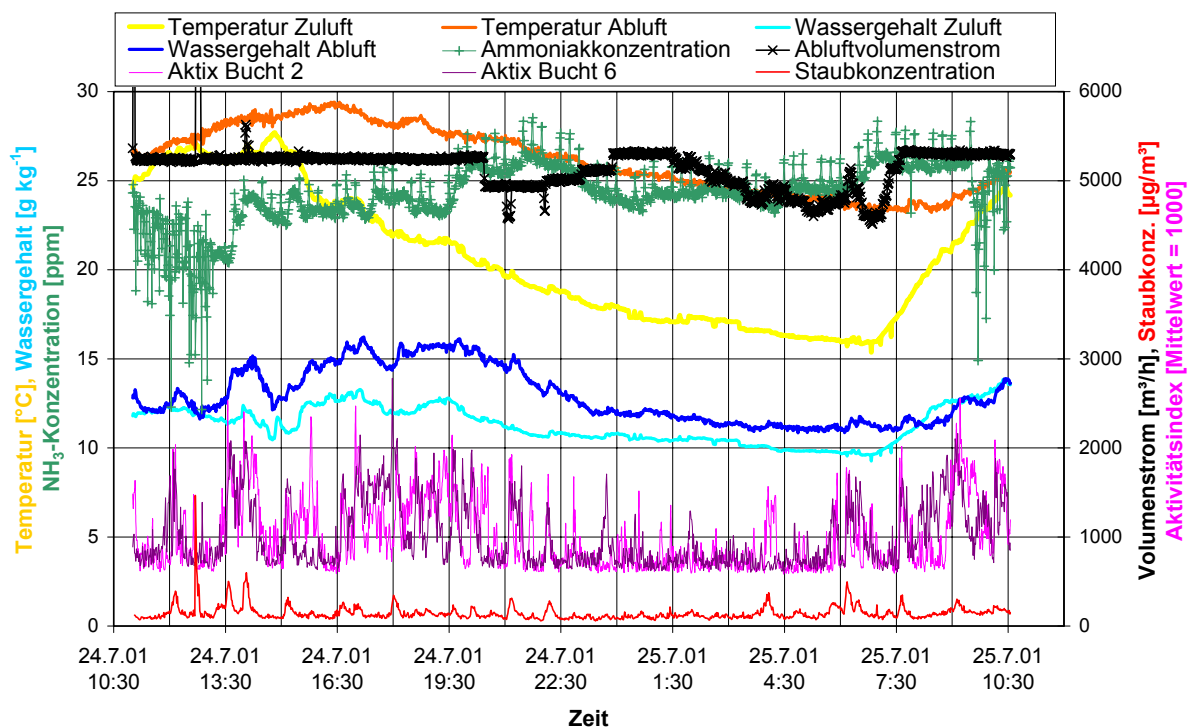


Bild A-13: Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 24.-25.07.2001

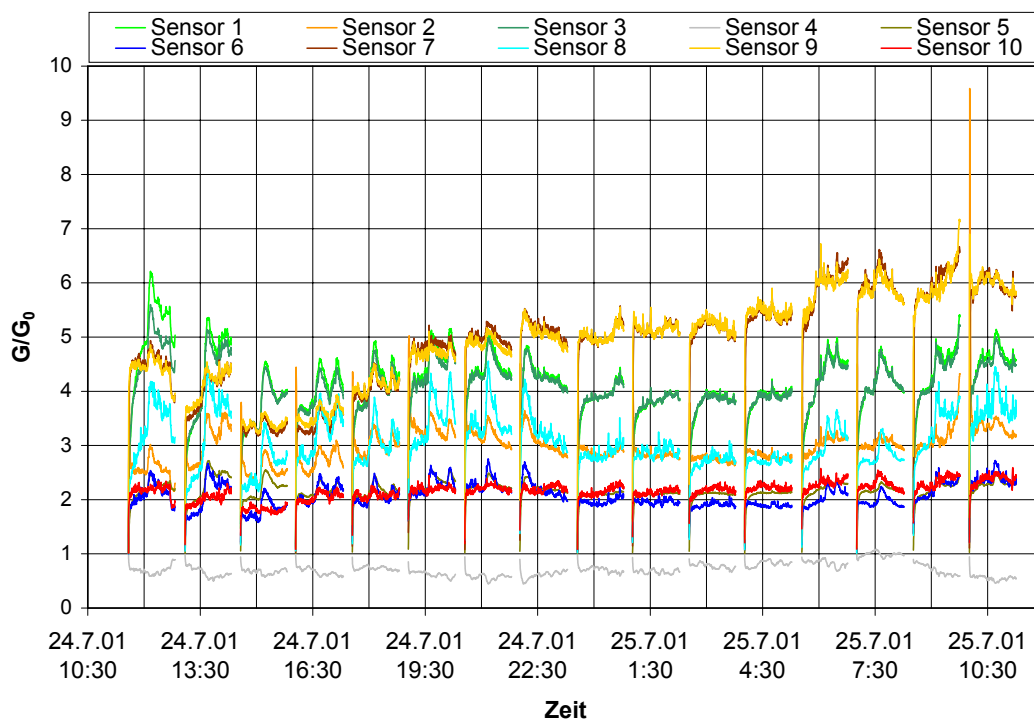


Bild A-14: Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 24.-25.07.2001

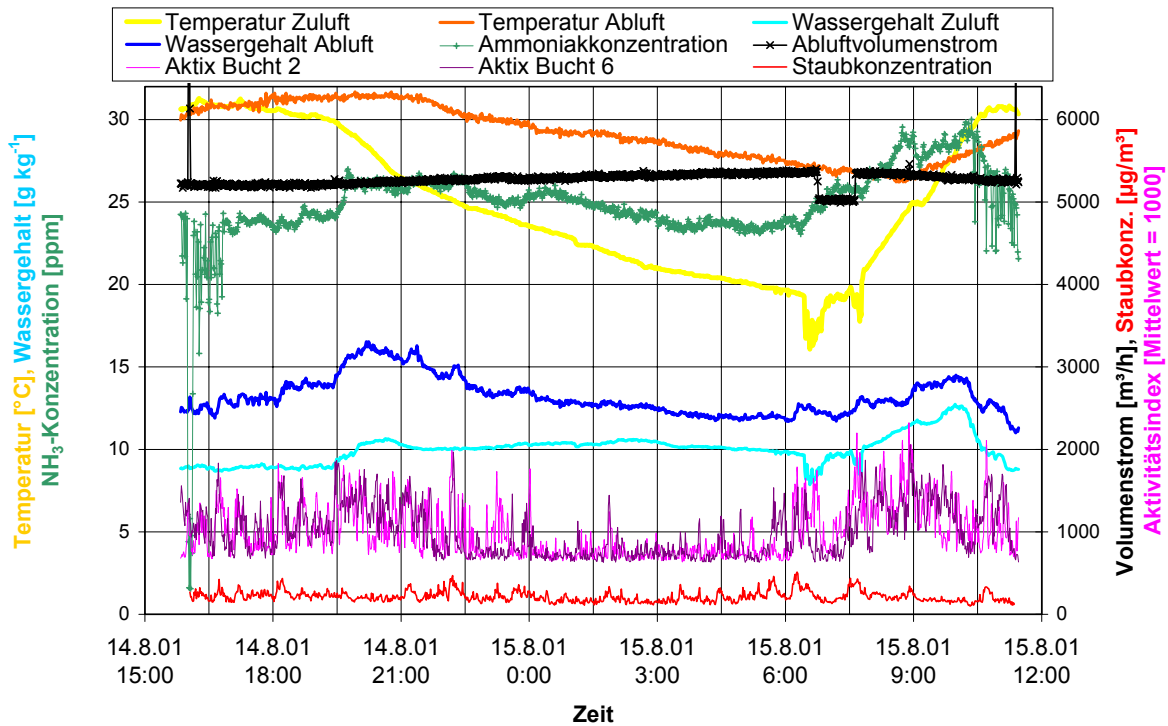


Bild A-15: Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 14.-15.08.2001

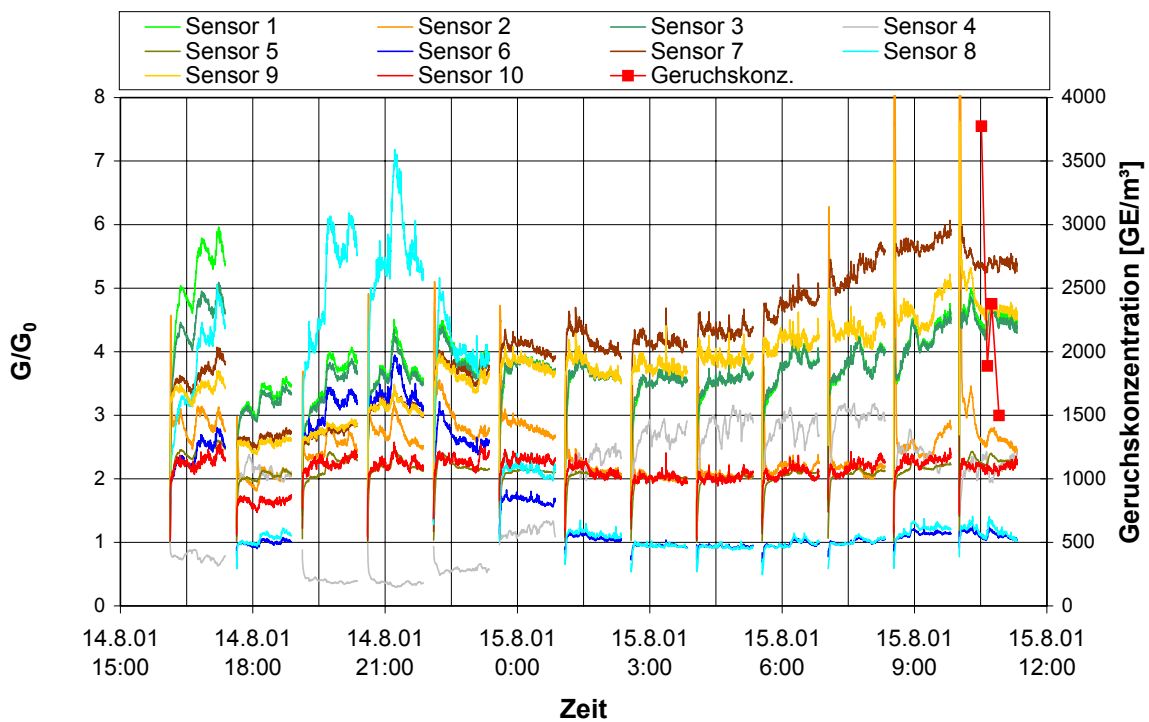


Bild A-16: Geruchskonzentration und Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 14.-15.08.2001

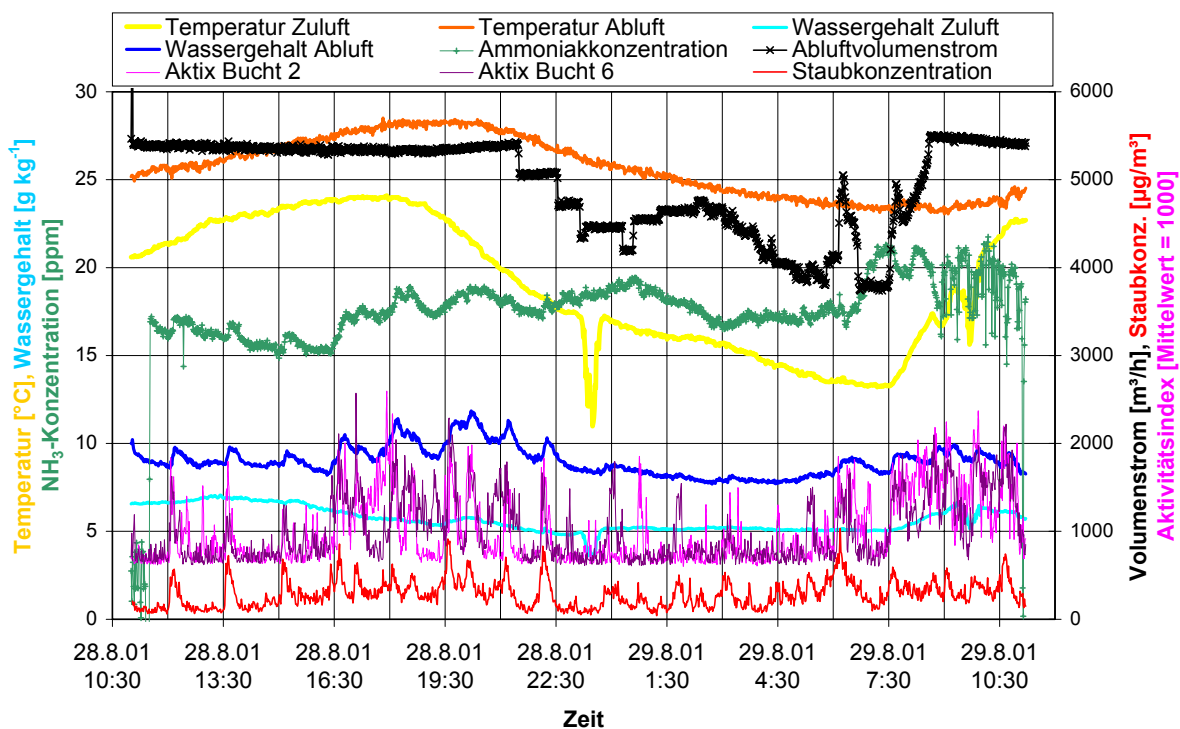


Bild A-17: Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 28.-29.08.2001

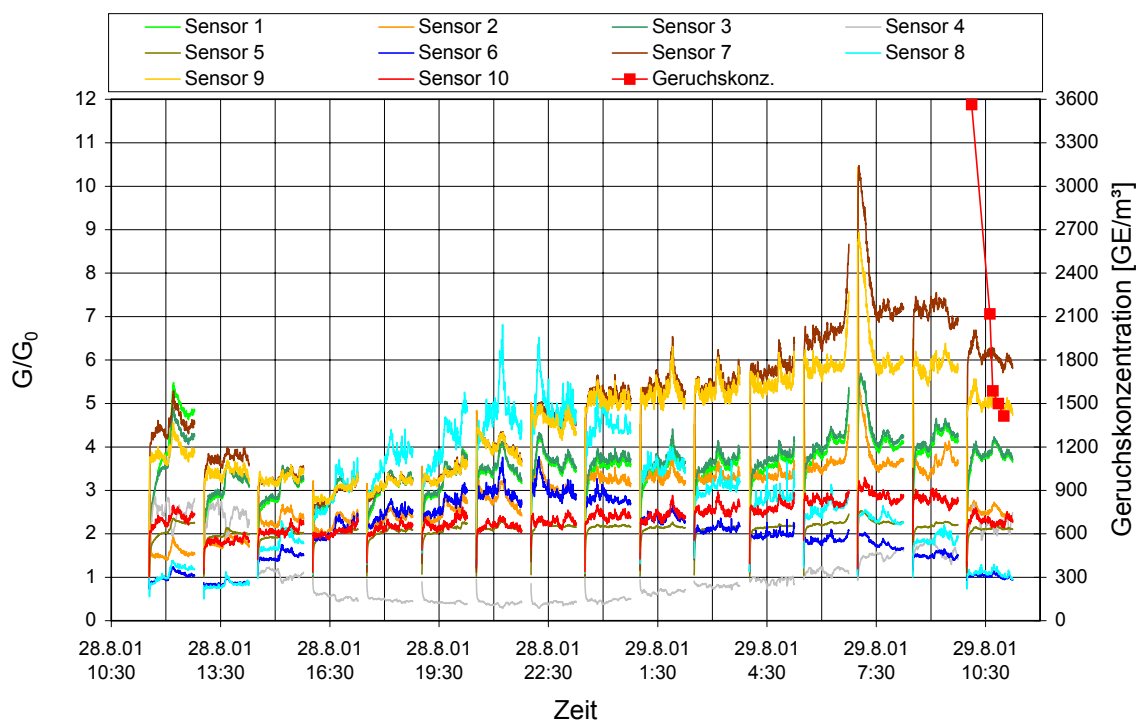


Bild A-18: Geruchskonzentration und Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 28.-29.08.2001

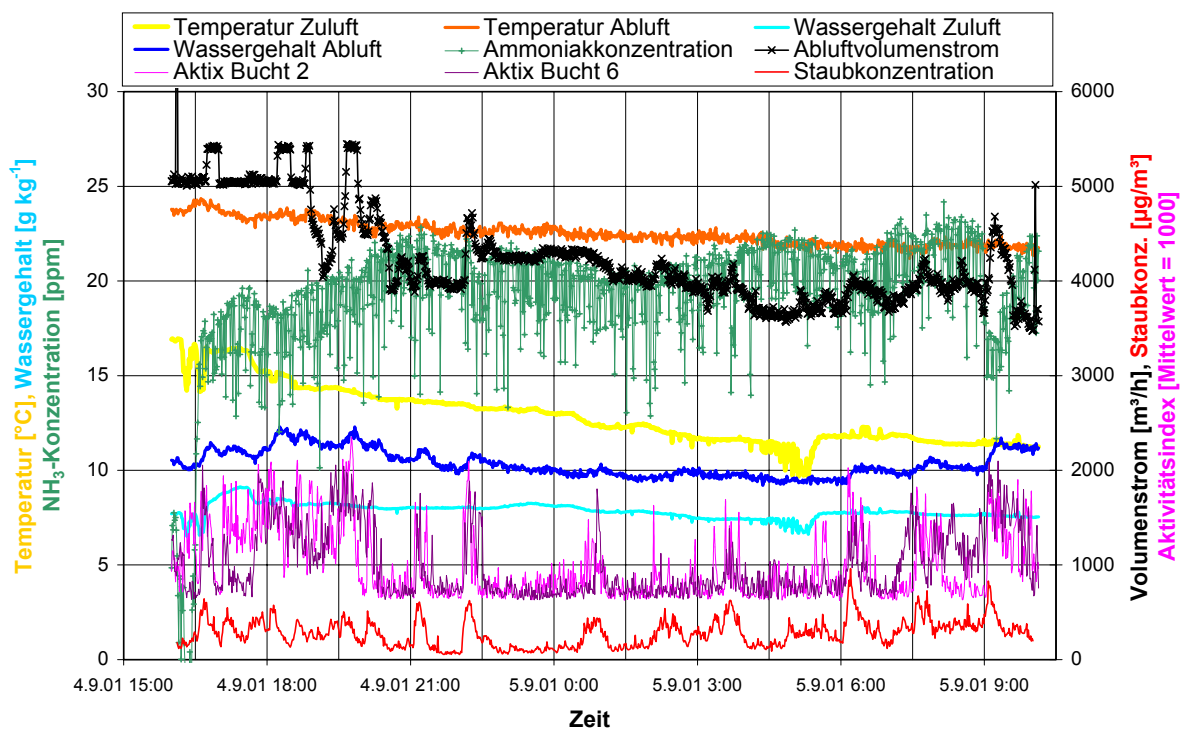


Bild A-19: Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 04.-05.09.2001

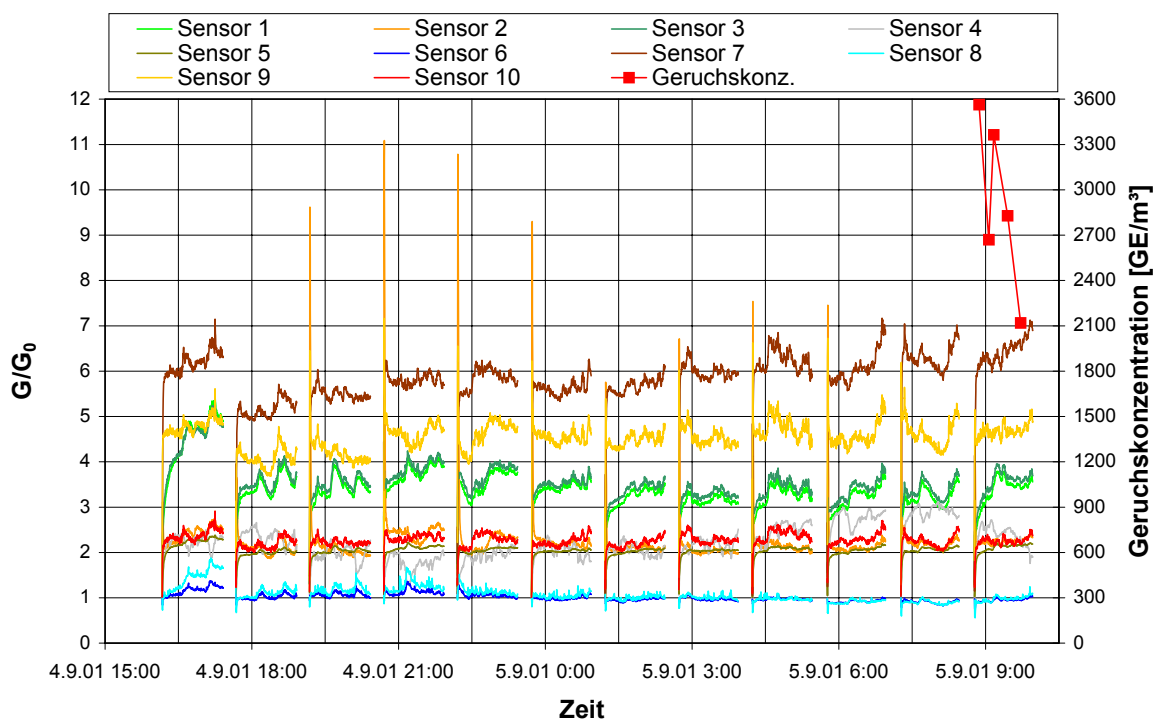


Bild A-20: Geruchskonzentration und Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 04.-05.09.2001

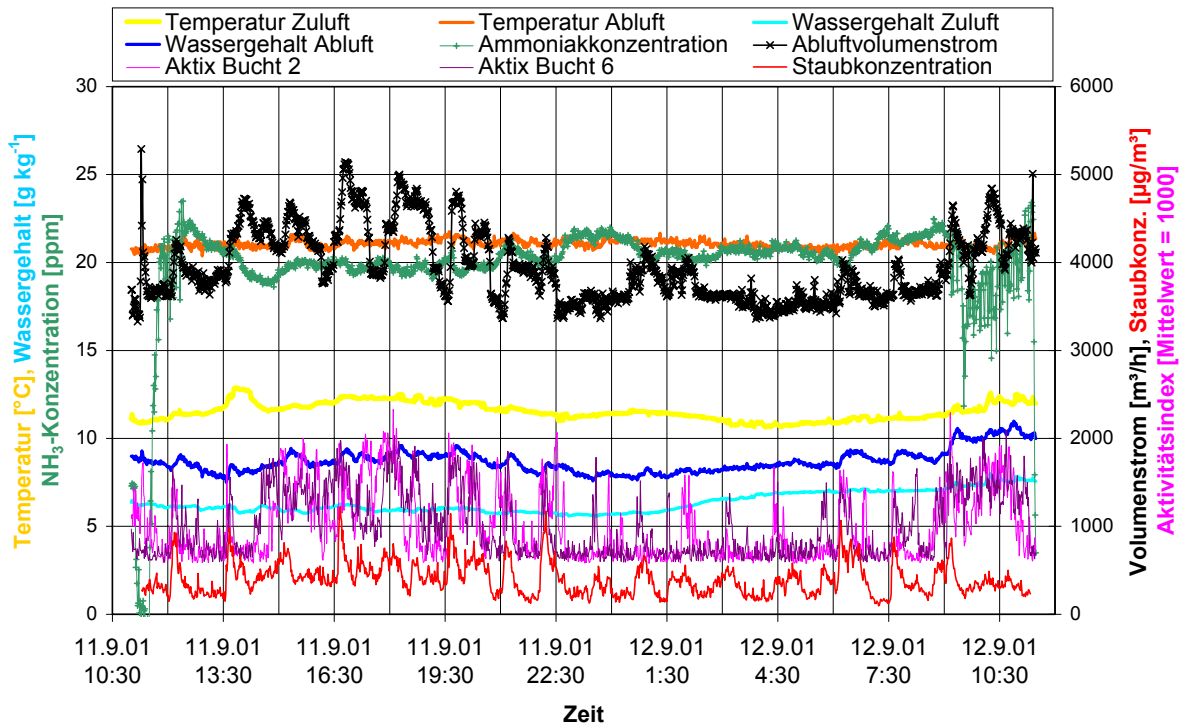


Bild A-21: Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 11.-12.09.2001

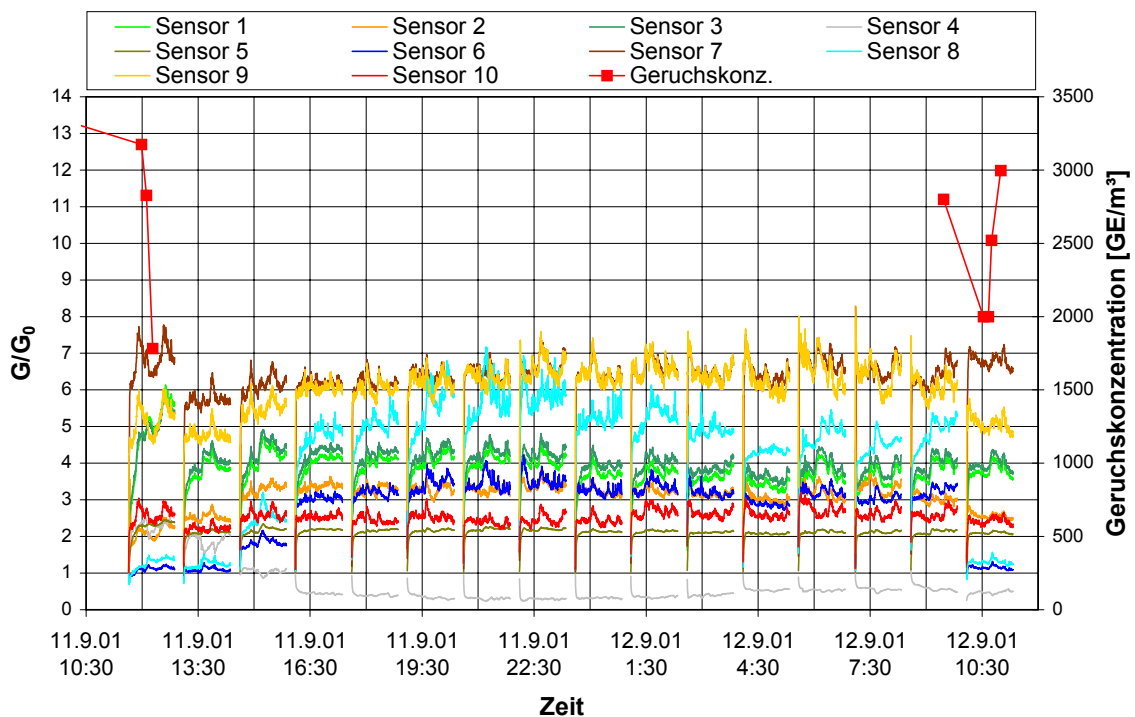


Bild A-22: Geruchskonzentration und Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 11.-12.09.2001

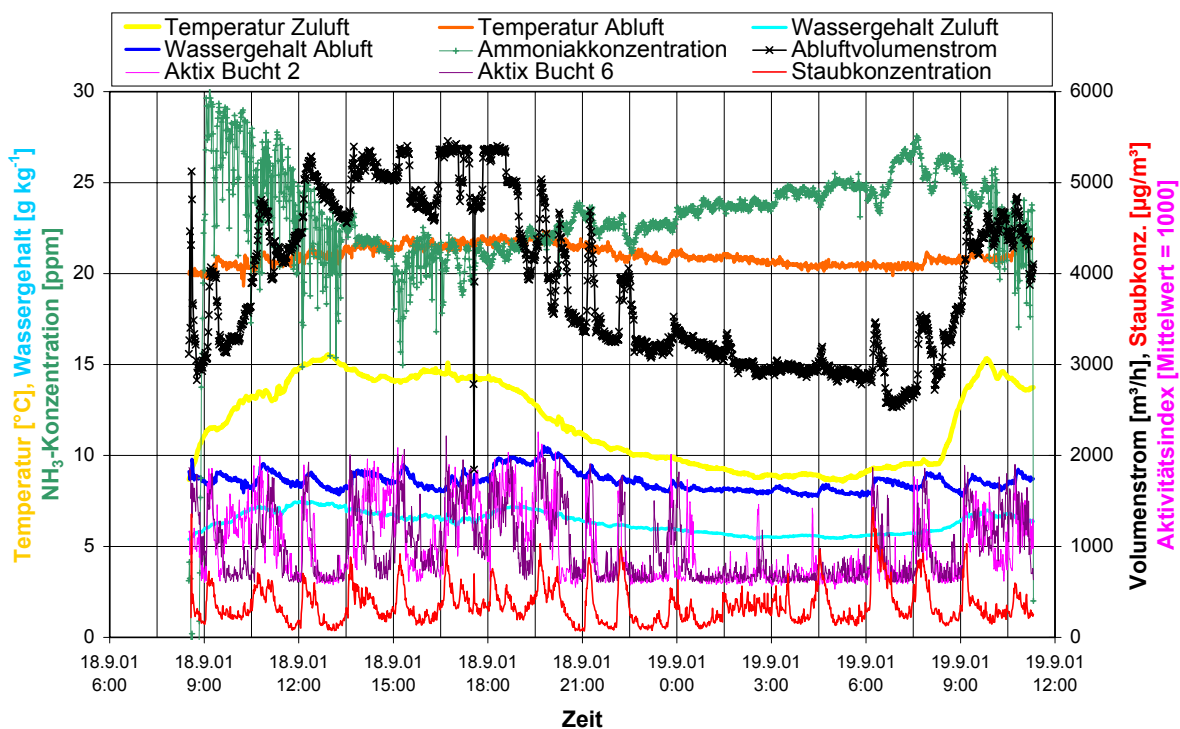


Bild A-23: Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 18.-19.09.2001

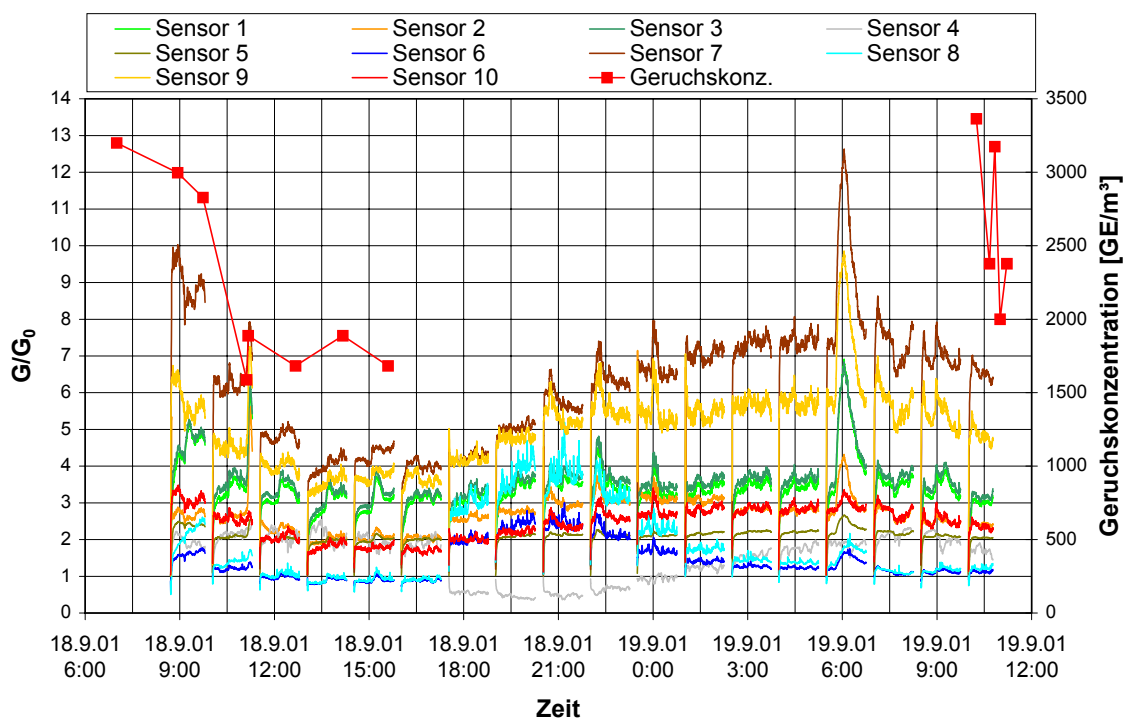


Bild A-24: Geruchskonzentration und Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 18.-19.09.2001

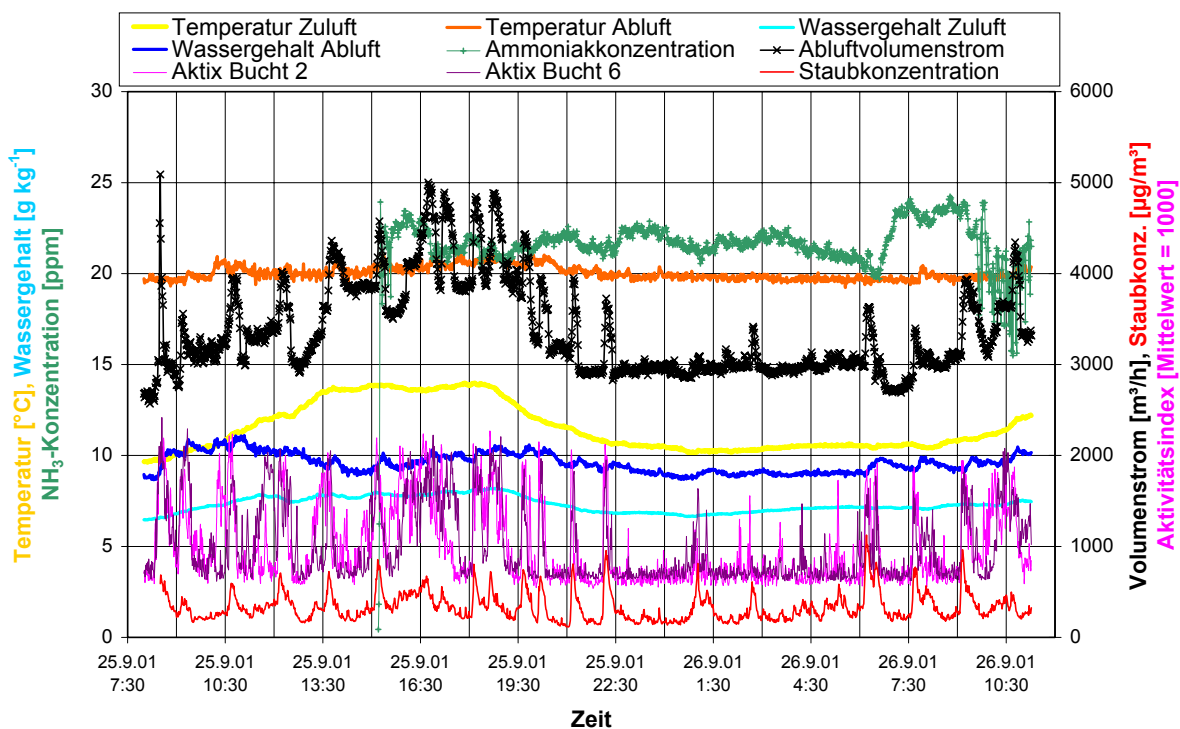


Bild A-25: Umgebungs- und Randparameter der Tagesmessung am 25.-26.09.2001

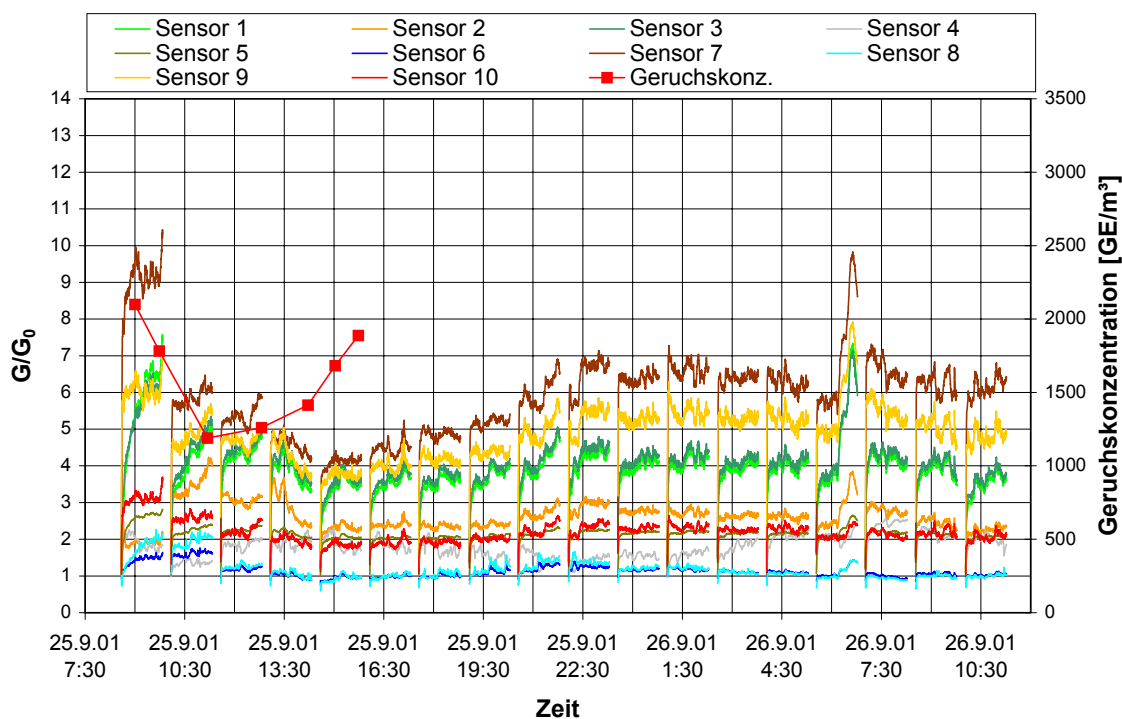


Bild A-26: Geruchskonzentration und Signale der 10 Metalloxidsensoren der „elektronischen Nase“ PEN 2 während der Tagesmessung am 25.-26.09.2001

UNIVERSITÄT HOHENHEIM

INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK

Verfahrenstechnik in der Tierproduktion
und landwirtschaftliches Bauwesen

Prof. Dr. T. Jungbluth



Einladung zum Workshop

im Rahmen des vom Land Baden-Württemberg finanzierten
BW-PLUS Verbundprojektes

„Geruchsfreisetzung und –ausbreitung“

**am 12. März 2002
in Stuttgart-Hohenheim**

Gegenwärtig existieren kaum praxistaugliche und vollständig validierte numerische Modelle, die eine zuverlässige Prognose und Bewertung von Geruchsemissionen und Geruchsimmissionen gestatten. Im Zuge des Verbund-Projektes "Geruchsfreisetzung und -ausbreitung" wurde der Prozess der Geruchsstofffreisetzung und -ausbreitung detailliert untersucht und die gesamte Wirkungskette "Emission - Transmission - Immission" qualitativ und quantitativ am Beispiel eines praxisrelevanten Mastschweinestalls erfasst. Ziel ist die Bereitstellung eines zur Validierung von Geruchsausbreitungsmodellen geeigneten, qualitativ abgesicherten Datensatzes.

Der Workshop soll als Diskussionsforum für alle Personengruppen dienen, die als Entwickler oder Anwender mit den Problemen der Messung und Beurteilung von Geruchsemissionen und -immissionen betraut sind. Durch Vorträge und Präsentationen sollen die neuesten Forschungsergebnisse vorgestellt werden, woran sich ausreichend Zeit für Diskussionen anschließt.

Projektpartner sind die Ingenieurbüros Dr. Lohmeyer und IMA Richter & Röckle, die Universität Hamburg (Meteorologisches Institut) und die Universität Hohenheim (Institut für Agrartechnik).

Programm:

09:30 Uhr: Begrüßung und Einführung

09:45 Uhr: Vorstellung des Verbundprojektes "Geruchsfreisetzung und -ausbreitung"

10:00 Uhr: Geruchsemissionen und Meteorologie (Hohenheim und IMA)

10:45 Uhr: Pause

11:00 Uhr: Immissionen Begehungen, Tracerexperimente und Modellberechnungen (Lohmeyer)

12:00 Uhr: Windkanaluntersuchungen (Hamburg)

13:00 Uhr: Mittagspause

14:00 Uhr: Dynamische Geruchsfreisetzung aus einem Schweinestall - "elektronische Nase" und Olfaktometrie (Hohenheim)

14:45 Uhr: Untersuchung der Lagerfähigkeit von Geruchsproben (IMA)

15:30 Uhr: Abschlussdiskussion

Ende: gegen 16:00 Uhr

Um **Anmeldung bis zum 1. März** wird gebeten. Die Teilnahme ist kostenfrei. Bitte leiten Sie diese Einladung auch an andere interessierte Personen weiter.

Tagungsort: Hörsaal 20 im Tropenzentrum der Universität Hohenheim, Garbenstr. 13, 70593 Stuttgart-Hohenheim, (Anreise siehe Rückseite)

Organisation und Anmeldung: Dr. Gregor Brose, Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Garbenstr. 9, 70593 Stuttgart-Hohenheim, Tel: 0711/459-2506, e-mail: gbrose@uni-hohenheim.de