

Luftfremde Stoffe in und aus einem Schweinemast- und einem Hähnchenmaststall

TORSTEN HINZ und STEFAN LINKE

Institut für Biosystemtechnik

1 Einleitung

Bei der Tierproduktion resultieren Gase und teilchenförmige Verunreinigungen der Luft aus dem Tierbestand, der Lüftungs-, Fütterungs- und Abfallstrategien und beeinflussen die Luftqualität in und aus dem Stall. Im Stall führt dies zu Beeinträchtigungen der Tier- und Arbeitsplatzhygiene, während die Emissionen aus dem Gebäude im Nahbereich, aber auch weiträumig als umweltrelevant zu betrachten sind. Um insgesamt die Bedeutung der luftfremden Stoffe erfassen zu können, ist es nötig, die auftretenden Emissionsmassenströme zu lokalisieren und zu quantifizieren, wobei alle relevanten Parameter der Tiere und der Tierhaltungssysteme zu berücksichtigen sind.

Die Verteilung der Schadstoffe innerhalb des Lebens- und Arbeitsraumes von Mensch und Tier ist stark von der Auslegung des Lüftungssystems, d. h. der Konfiguration von Einlaß- und Luftauslaßöffnungen und den daraus resultierenden Strömungsbedingungen, abhängig. Eine weitere wesentliche Größe ist der Luftdurchsatz. Seine Messung ist von grundlegender Bedeutung für Untersuchungen luftgetragener Emissionen in und aus Stallgebäuden.

Die Durchführung derartiger Messungen bildet die Grundlage für den Vergleich und die Beurteilungen unterschiedlicher Tierhaltungssysteme, nicht zuletzt im Hinblick auf eine ausgewogene Gesetzgebung in der EU.

Um eine ausreichende Datenmenge für einen Status zu erhalten, wurden 329 Ställe in der Feldstudie des EU-Projekts PL900703 (CAMAR) untersucht [1]. Derartige Messungen in landwirtschaftlichen Betrieben der Praxis erfordern einen so hohen Aufwand an Zeit und Personal, daß die Messungen in einem einzelnen Stall nur in begrenztem Maße ausgeführt werden können [2]. Dies gilt für die zeitliche Auflösung innerhalb einer Mastkampagne wie auch für die räumliche Auflösung innerhalb des Gebäudes. Um die Meßdaten innerhalb einer Mastkampagne und für den gesamten Stall interpretieren zu können, wurden für einen Schweinemast- und einen Broilerstall umfangreiche Messungen in kurzen Zeitabständen und mit einer hohen Zahl von Meßpunkten durchgeführt. Während der Schweinestall konventionell zwangsbelüftet wurde, handelte es sich beim Broilerstall um einen natürlich belüfteten Stall des Louisiana-Typs. Beide Ställe sind im Nordwesten Niedersachsens gelegen und sind als produktionsstypisch anzusehen. Diese intensive Studie mit dem Kürzel COST (comprehensive study) beinhaltete die Messung der Konzentration von Staub, NH₃, CO₂ sowie die Erhebung der Klimadaten innerhalb und außerhalb des Gebäudes und

bei der Zwangslüftung die Erfassung des Abluftvolumenstromes.

Die wichtige Größe des Abluftvolumenstromes wurde im zwangsbelüfteten Stall direkt über Meßventilatoren und indirekt über die CO₂-Konzentration und anschließender Berechnung der CO₂-Bilanz bestimmt [3]. Die Luftwechselraten natürlich belüfteter Ställe können nur mit sehr aufwendigen Methoden erfaßt werden [4]. Die Konzentrationen der Stäube und Gase innerhalb der Gebäude wurden in gleicher Weise gemessen. Standardmethode bei Staub war die Gravimetrie, die zum Schluß des Projekts durch eine kontinuierliche Messung ergänzt wurde.

Die Gase CO₂ und NH₃ wurden über einen Multigasmonitor detektiert, aber auch die konventionellen Techniken wie Sorptionsröhrchen und naßchemische Analyse kamen zum Einsatz. Das Gesamtarrangement erlaubte umfangreiche Messungen mit hoher Aussagekraft für die betrachteten Produktionsstätten selbst und die gestellte Aufgabe hinsichtlich der Feldstudie.

Hauptaufgabe der Untersuchungen war es, die Feldstudie der Projektpartner abzustützen. Aus diesem Grund wurden, soweit möglich, dieselben Meßprinzipien wie dort benutzt, wie z. B. bei der Datenerfassung und -verwaltung. Im vorliegenden Bericht werden die zusätzlich oder abweichend eingesetzten Meßstrategien und -methoden dargestellt und im Hinblick auf den Vergleich diskutiert. Weiterhin wird über die Ergebnisse berichtet, die in zweierlei Weise genutzt wurden: zur Absicherung der Feldstudie und als Meßergebnis für die Ställe per se.

2 Die Stallanlagen

Die Untersuchungen wurden hauptsächlich in der Zeit von 1992 - 1996 durchgeführt, wobei die grundlegenden Zeitvorgaben für die Messungen durch die Dauer einer Mastperiode gegeben waren, die im Fall der Schweinemast 90 - 100 Tage, bei der Broilermast durchschnittlich 32 Tage betrug. Während bei den Broilern etliche ungestörte Durchgänge möglich waren, gab es bei der Schweinemast Unterbrechungen, z. B. in der Zeit der Schweinepest. **Bild 1** zeigt die beiden untersuchten Ställe schematisch. In dem Schweinestall (**Bild 1a**) waren im Durchschnitt 432 Tiere eingestallt, die von einer Anfangsmasse von ca. 25 kg auf ca. 100 kg gemästet wurden. Eine Ausnahme bildet die Sommerkampagne 1995, in der die Tiere eine Masse von 130 kg erreichten, da sie wegen der Schweinepest nicht vermarktet werden konnten. Das Gebäude hatte ein Teilspaltenboden (50 %) und war zwangsbelüftet. Die Abluft

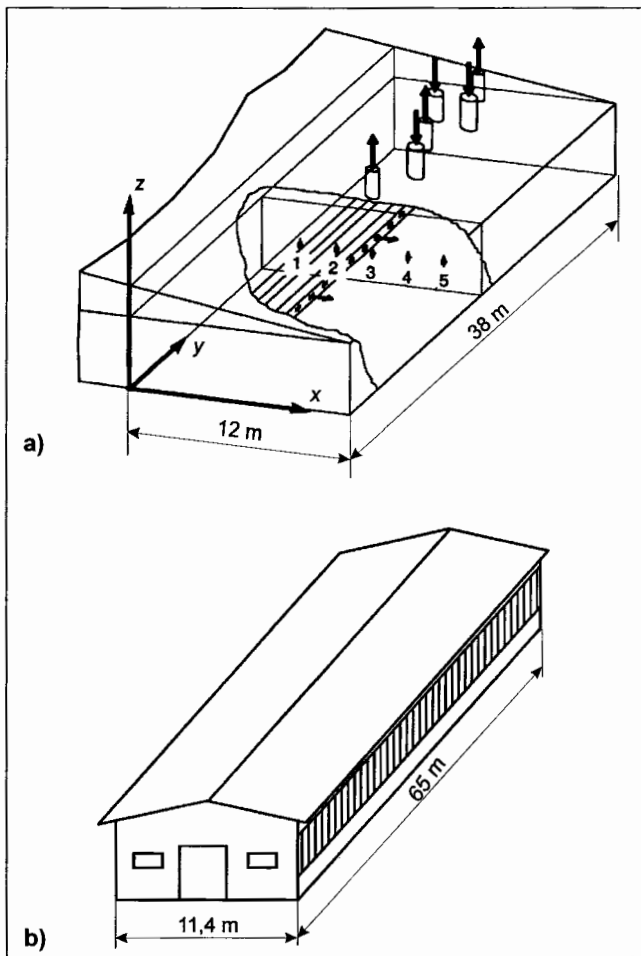


Bild 1: Schemata der untersuchten Ställe
a) Schweinestall zwangsbelüftet
b) Louisiana-Stall für Hähnchen

wurde durch 5 Schächte über Dach abgeführt. Das Stallinnenklima wurde über eine Computeranlage auf konstante Temperatur eingestellt und geregelt.

Um die Vergleichbarkeit der Messungen der "field study" zu gewährleisten, waren Meßpunkte in der gleichen Weise in der Mittelebene des Stalles in 1,5 m Höhe über dem Boden eingerichtet (Pkt. 1-5, Bild 1a). Für die Koordinaten $y = 1,9 \text{ m}$; $7,6 \text{ m}$; $30,4 \text{ m}$ und $36,1 \text{ m}$ wurden 4 weitere Querschnittebenen in gleichen Koordinaten für x vermessen. Dies mußte nacheinander geschehen, da die meßtechnische Ausrüstung nicht ausreichte, das vollständige Programm parallel zu messen. Meßpunkt 3 der Mittelebene diente hierbei stets als Referenzpunkt.

Der natürlich belüftete Broiler-Stall vom Louisiana-Typ beherbergte durchschnittlich 16000 Tiere mit einer Belegungsdichte von 22 Tiere/m^2 . Die Mastdauer betrug 32 Tage. Die Tiere standen auf Einstreu, die nach 2 Durchgängen gewechselt wurde [5].

Die Klimaregelung dieses Offenstalles erfolgte über bewegliche Vorhänge an den Seitenwänden. In den sehr heißen Sommern 1994 und 1995 wurden im Stall Gebläse installiert, die eine bessere Durchmischung der Luft bewirkten und den Hitzestreß der Tiere sowie die Gas-

emissionen minimieren sollten. Die Messungen wurden hauptsächlich an einem zentralen Ort in der Mitte des Stalles durchgeführt. Die Meßhöhe mit $0,75 \text{ m}$ war dem Atembereich der Tiere angepaßt. Alle Proben wurden ein- bzw. zweimal pro Woche stets zur gleichen Zeit von 11:00 bis 13:00 Uhr genommen.

3 Meßmethoden

3.1 Abluftvolumenströme, Emissionen

Die Abluftvolumenströme wurden nur für den zwangsbelüfteten Stall ermittelt. Für Offenställe gibt es bislang nur sehr aufwendige Methoden, die nicht praxisnah sind.

Wegen der Kontinuitätsbeziehung können die Volumenströme durch einen Stall prinzipiell im Ein- und Auslaß gemessen werden. Um Einflüsse von Lekagen zu verhindern, werden in Unterdrucksystemen Messung in den Abluftschächten bevorzugt, wie auch in diesem Fall. Die entscheidende Meßgröße ist die Emission E_j für den Fremdstoff j , die sich aus dem zugehörigen Volumenstrom \dot{V}_j und der Konzentration c_j als Produkt

$$\dot{E}_j = c_j \cdot \dot{V}_j \quad (1)$$

ergibt. Bei mehreren Abluftkanälen ist über deren Anzahl zu summieren, so daß für den Emissionsmassenstrom folgt:

$$\dot{E}_j = \sum_i^n c_{i,j} \cdot \dot{V}_i \quad (2)$$

Nur im Fall gleichmäßiger Strömung mit homogener Schadstoffverteilung ist eine einfache Mittelwertbildung zulässig. Da dies im vorliegenden Fall nicht zu erwarten war, wurden in jedem der 5 Abluftschächte der Volumenstrom und zur Bestimmung der Emissionen die Konzentration gemessen. Die Volumenströme wurden direkt mittels Flügelrädern gemessen, die möglichst den gesamten Strömungsquerschnitt überdecken. Die Spaltweite zwischen Kanalwandung und Flügelradspitze betrug ca. $1,5 \%$ vom Durchmesser und lag damit unterhalb der vom Hersteller genannten Grenze von 5% . Um eine korrekte Messung zu gewährleisten, sind Mindestanforderungen an die Strömung zu stellen: die Geschwindigkeitsprofile sollten möglichst gleichmäßig und drallfrei sein. Deshalb werden derartige Volumenstrommessungen auch zumeist ansaugseitig vom Gebläse durchgeführt. Da dies hier nicht möglich war, mußte die Strömung mit einem Wabengleichrichter vergleichmäßig werden. Den Aufbau eines Meßsystems in einem Abluftschacht zeigt Bild 2. Durch einen rechteckigen Einlaßkanal durchströmte die Luft die Zwischendecke des Stalls, in der Axialventilatoren installiert waren. Durch den direkt anschließenden Gleichrichter mit quadratischen Waben der Abmaße $0,2 \text{ Kanaldurchmesser} \cdot 150 \text{ mm}$

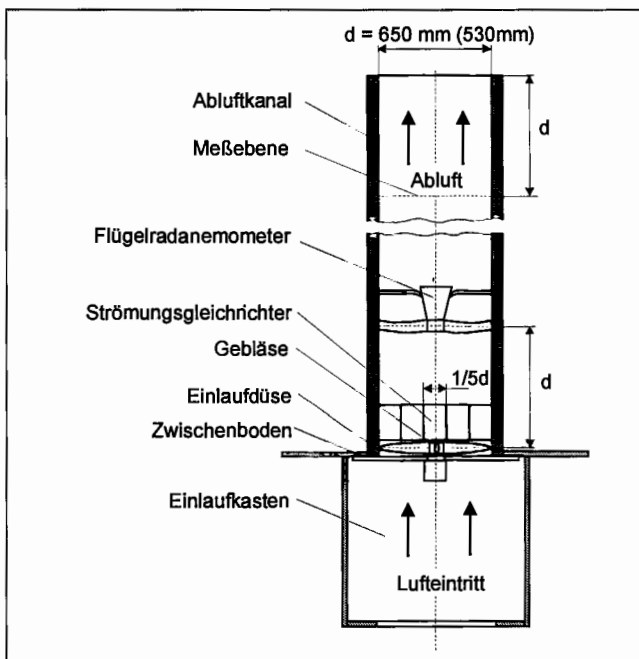


Bild 2: Messung der Abluftvolumenströme - schematisch

Länge wurde die Strömung drallfrei nach einer Lauflänge von einem Durchmesser dem Meßventilator (Flügelrad) zugeführt. Jede der fünf Meßeinrichtungen wurde kalibriert, einmal durch Grobkalibrierung im Labor, ein weiteres Mal im eingebauten Zustand. Hierzu wurde der Volumenstrom über eine Netzmessung der Geschwindigkeit bestimmt [6]. Als Meßgeräte kamen Miniaturflügelradanemometer zum Einsatz, die ebenfalls vorher in einem turbulenzarmen Windkanal im Vergleich mit Laser kalibrierten Hitzdrahtanemometern und Prandl-Rohren im Geschwindigkeitsbereich von 0,1 bis 6 m/s kalibriert werden konnten. Volumenstrom und Drehzahl der Meßventilatoren verhielten sich proportional. Es ergaben sich in Abhängigkeit vom Durchmesser als Kalibrierkonstante $K_{65} = 12,11 \text{ (m}^3/\text{h) / (U/min)}$ für 650 mm Durchmesser und $K_{53} = 6,92 \text{ (m}^3/\text{h) / (U/min)}$ für 530 mm Durchmesser. Mit der so geschaffenen Meßeinrichtung konnten die Volumenströme mit einer Genauigkeit von $\pm 5 \%$ bestimmt werden. Die online-Meßergebnisse wurden auf einem PC zusammengeführt, gespeichert und weiterverarbeitet, z. B. zu 1 h-Mittelwerten.

Wegen des großen Aufwandes einer direkten Volumenstrommessung wurde in der "field-study" des Projekts die indirekte CO_2 -Methode verwendet [7]. Die Untersuchungen im zwangsbelüfteten Schweinestall wurde genutzt, um Hinweise auf die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Meßergebnisse zu erhalten. Durch die Parallelmessung sollte die CO_2 -Methode kalibriert werden.

Zur Bestimmung der ermittelten Staubmassenströme ist eine isokinetische Probenahme im Abluftstrom notwendig, um Fehler auszuschließen, die aufgrund unterschiedlicher Strö-

mungskräfte auf verschiedenen großen Teilchen entstehen. Nur für ein Geschwindigkeitsverhältnis $1,5 > v_m/v_s > 0,5 \text{ m/s}$ sind diese Fehler für Teilchen mit Durchmessern $< 5 \mu\text{m}$ vernachlässigbar ($v_m = \text{Haupt- } v_s = \text{Sondengeschwindigkeit}$) [8].

3.2 Staubkonzentration

Die Staubkonzentration in den Ställen wurde weitgehend über die Standardmethode der Gravimetrie bestimmt, d. h. über die Masse des auf Filtern abgeschiedenen Staubes und dem zugehörigen Luftvolumen. Gemessen wurde die atembare Fraktion des Staubes. Dies wurde durch eine konstante Ansauggeschwindigkeit der Probenahme von 1,5 m/s erreicht, die der Atemgeschwindigkeit eines Menschen bei "normaler" Tätigkeit entspricht. In der Nacht wurden 12 h Messungen von 18:00 bis 6:00 Uhr durchgeführt mit einem Probenahmestrom von 2 l/min [9]. Tagsüber wurde mit erheblich höheren Durchsätzen (95 l/min) gearbeitet, um kürzere Probenahmezeiten zu ermöglichen. Dazu wurden auch Filter mit größerer Abscheidefläche eingesetzt. Aus den Ergebnissen von online-Messungen des Staubes wurde abgeleitet, daß der Zeitraum von 11:00 bis 13:00 Uhr als repräsentativ für den Tagesmittelwert (6:00 bis 18:00 Uhr) angenommen werden kann.

Um Einflüsse z. B. der relativen Luftfeuchte im Stall zu minimieren, wurden die benutzten Glasfaserfilter folgender Standardroutine unterzogen: sie wurden 24 h in einer Klimakammer bei $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ und $50 \pm 2,5 \%$ rel. Feuchte konditioniert und dann mit einer elektronischen Waage auf $\pm 0,1 \text{ mg}$ gewogen. Diese Messung wurde nach 24 h wiederholt. Die Filter wurden verworfen, wenn nicht Übereinstimmung auf $\pm 0,1 \text{ mg}$ vorlag. Diese Prozedur erfolgte vor und nach der Probenahme, d. h. mit dem Leerfilter und dem belegten Filter.

Bei weiteren Untersuchungen, z. B. zur Bestimmung der Teilchengrößenverteilung mit dem Coulter Counter, kamen auch Membranfilter zum Einsatz, ebenso wie ein Axialzyklon, der die Stäube fraktioniert abschied. Seine Trenn-

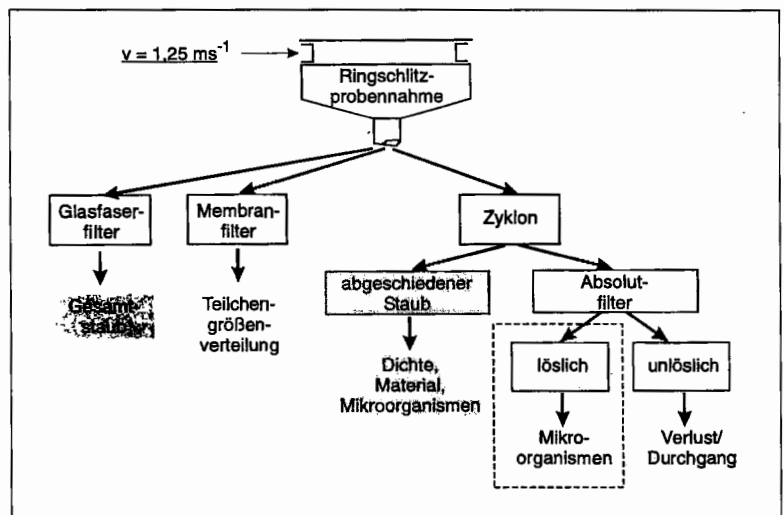


Bild 3: Schema der gravimetrischen Staubmessung

gradkurve entsprach der Definition nach der Johannsberger Konvention [10]. Das Schema der Meßkette "Staub" ist in Bild 3 dargestellt.

Die oben beschriebene Methode hat den wesentlichen Nachteil der absetzigen Probenahme. Für viele Fragestellungen, z. B. um repräsentative Zeiten im Tagesverlauf festzustellen, ist eine kontinuierliche Messung erforderlich. Hierzu wurde ein optisches Gerät eingesetzt, das nach dem Tyndalleffekt arbeitet. Dieses Gerät wurde im Louisiana-Stall für Kontrollzwecke - Ermittlung von äußeren Störeffekten - installiert. Absolute Messungen der Staubkonzentration sind hiermit nur bedingt möglich, da die Streulichtausbeute zusätzlich zur Konzentration auch Abhängigkeiten von den optischen Eigenschaften des Materials zeigt, wie z. B. vom Brechungsindex und der Teilchenform oder -topographie. Bild 4 zeigt die Kalibrierkurve des benutzten Tyndallometers.

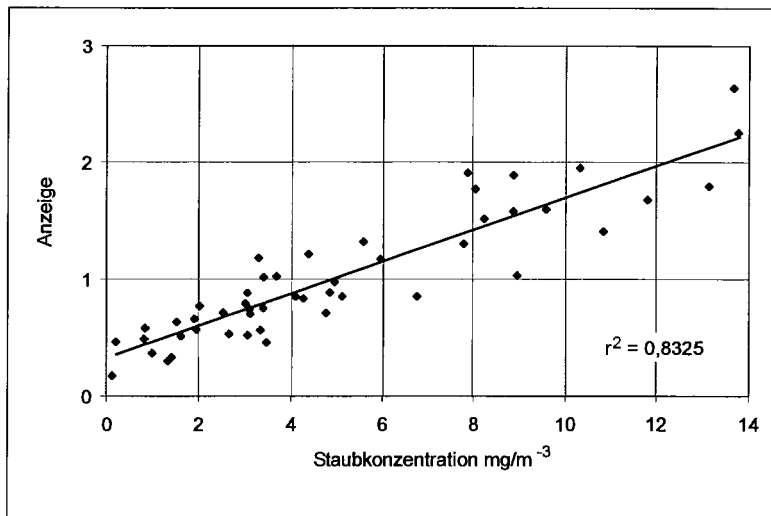


Bild 4: Kalibrierkurve des Tyndallometers für den Staub im Louisianastall (Hähnchenmast)

Ein anderes, besser geeignetes System ist in Bild 5 dargestellt. Grundprinzip ist eine kontinuierlich arbeitende Mikrowaage: der auf einem Filter abgeschiedene Staub verstimmt einen masseabhängigen Oszillator nach der in Bild 5 angegebenen Formel. Die Meßeinrichtung kann sehr leicht durch Gewichte kalibriert werden [11]. Der Vorteil dieser Messung ist der quasi-online-Charakter. Der Nachteil liegt in der geringen Staubbeladungskapazität der Filter von 2 - 5 mg. Dies macht einen z. T. häufigen Filterwechsel erforderlich, z. B. zumindest einmal wöchentlich im Louisiana-Stall. Das TEOM® wurde als Immissionsmeßgerät entwickelt und durch Verändern interner Parameter der gestellten Meßaufgabe angepaßt (Zeitauflösung 10 min; Meßgenauigkeit 5 µg/m³). Eine wichtige Komponente der teilchenförmigen Emission bilden die Endotoxine. Ihr luftgetragener Gehalt wurde aus den Staubfraktionen des Axialzyklons und des nachgeschalteten Filters bestimmt. Durch die Trenncharakteristik des Zyklons befanden sich zwischen 92 - 98 % des Staubes in der Grobstaubfraktion, die damit zur Endotoxinbestimmung herangezogen wurde, insbesondere auch, da der Gehalt an Endotoxinen im Feinstaub des Filters um eine Größenordnung geringer war, als der im Grobstaub. Zur Bestimmung und Quantifizierung der Endotoxine diente der LAL Gel Test (limuties amoebocyte lysate, Pyroquant Co. Frankfurt).

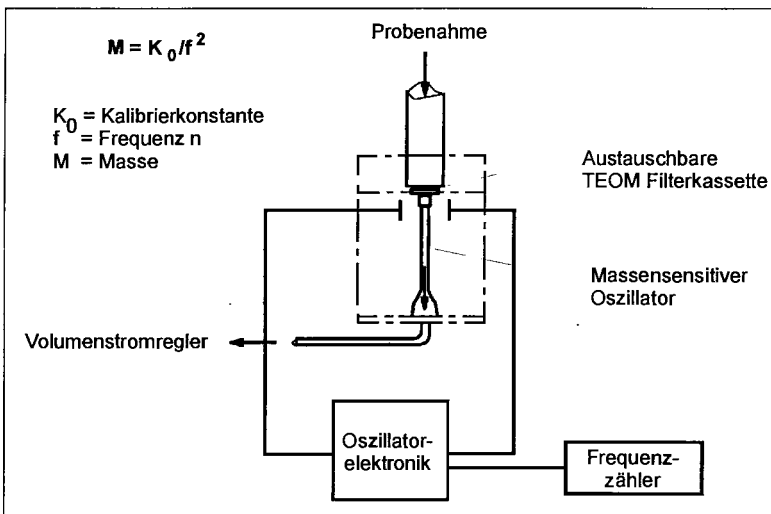


Bild 5: Schema des online-Staubmonitors

3.3 NH₃, CO₂-Konzentration

Hauptsächlich wurden die Konzentrationen der Gase NH₃ und CO₂ mit einem Multigasmonitor gemessen. Für NH₃ kamen zusätzlich Sorptionsröhrchen und ein naßchemisches Verfahren zum Einsatz. Die Naßchemie galt dabei

als Referenzverfahren. Der Gasmonitor arbeitete nach dem Prinzip der photoakustischen Infrarotdetektion mit dem großen Vorteil der simultanen quasi-online-Messung mehrerer Gase [12]. Der hauptsächliche Nachteil resultierte aus den relativ breiten optischen Fenstern, mit denen die Infrarotspektren mehrerer Gaskomponenten erfaßt wurden. In diesem Fall waren spezielle Kreuzkompensationen erforderlich, um selektive Messungen zu ermöglichen. Die wichtigste Interferenzkomponente war Wasserdampf. Die sehr komplexen Querempfindlichkeiten erforderten eine exakte Kalibrierung des Gerätes, die während des Meßbetriebes im Stall, z. B. durch naßchemische Proben, überprüft wurde. Bild 6 zeigt das Schema der computergestützten Gasmischstation zur Kalibrierung von Gasmeßeinrichtungen [13]. Mit dieser Einrichtung wurden stalltypische Gasgemische und Konzentrationen hergestellt und den Geräten zugeführt. Im Prinzip sind hierfür alle Gase zu verwenden, die es in zertifizierten Konzentrationen in Gasflaschen käuflich zu erwerben gibt. Über computergesteuerte Ventile werden die Gase der Mischkammer zuge-

führt und befeuchtet. Die erzeugten Konzentrationen reichten von 300 - 8000 ppm für CO₂ und 0,9 - 53 ppm bei NH₃ und deckten die zu erwartenden Meßbereiche ab. Es wurde zumeist eine 3-Punktkalibrierung durchgeführt, um die vorgegebene Linearität zu überprüfen. Vor Beginn der Messung wurde die gesamte Meßkette von der Probenahme bis zum Meßgerät mit der künstlichen Stallluft beaufschlagt, um z. B. Einflüsse von Leitungs- oder Filtermaterialien festzustellen und gegebenenfalls auszugleichen.

Für einige Untersuchungen stand zusätzlich ein FTIR-Spektrometer (Fouriertransform infra-red) zur Verfügung [14]. Diese Technik kann bei größerer Auflösung selektiver messen, insbesondere hier das NH₃. Zum Vergleich wurden beide Meßtechniken (Gasmonitor/ FTIR) parallel betrieben. **Bild 7** zeigt die Korrelation zwischen den beiden Messungen. In einigen Fällen wurde der Gasmonitor mit dem FTIR überprüft, so daß eine Meßgenauigkeit (optoakustisch) von $\pm 2,5\%$ vom Meßwert erreicht wurde. Die untere Meßgrenze lag bei 3 ppm (CO₂) bzw. 0,15 ppm (NH₃). Bei kontinuierlichen Messungen ist die Dynamik des Systems von Interesse. **Bild 8** zeigt die Sprungantwort des Gasmonitors für CO₂. Es war ein deutlicher Einfluß der Luftfeuchte zu beobachten. Nur bei ausreichend angefeuchteter Luft folgte das System den Vorgaben. Im Gegensatz dazu erforderte die verzögerungsfreie Messung von NH₃ niedrige relative Luftfeuchten und eine Anwärmzeit von ca. 30 min. Hier zeigte sich noch einmal die besondere Bedeutung der Feuchtekompensation.

3.1.4 Klimadaten

Parallel zu den Konzentrationswerten wurden in beiden Ställen kontinuierlich die Daten von Temperatur und Feuchte (innen/außen) aufgenommen. Zum Einsatz kamen Sensoren vom Typ Pt 100 und Ck 90. Die Windgeschwindigkeit und -richtung wurden mit einem Schalenkreuzanemometer mit Windfahne gemessen. Alle Klimadaten wurden mittels Telemetrie an einen zentralen Datenlogger übertragen.

4 Ergebnisse

Der Gliederung zur Beschreibung der Meßtechnik folgend, werden die Meßergebnisse der Abluftvolumenströme, der Teilchen- und Gaskonzentrationen vorgestellt und anschließend diskutiert.

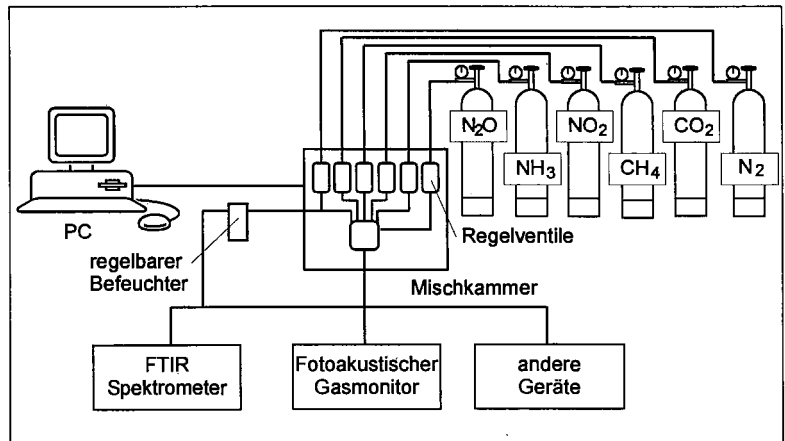


Bild 6: Gasmischstation zur Kalibrierung von Meßeinrichtungen

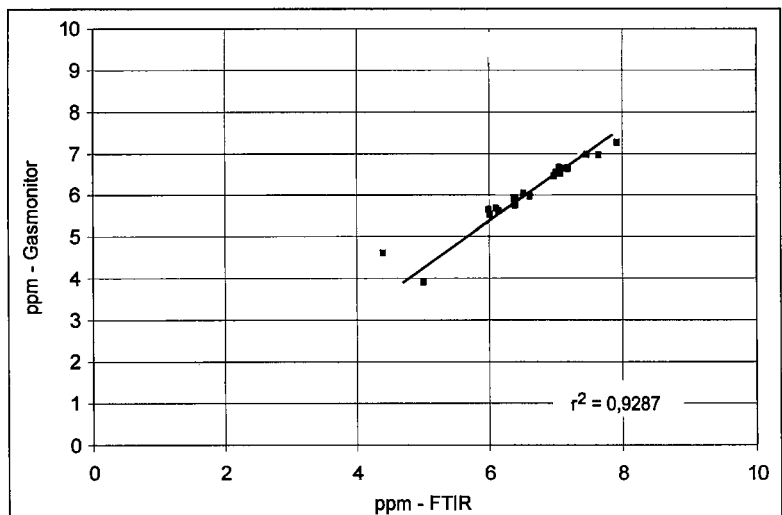


Bild 7: Korrelation der Meßergebnisse für NH₃ mittels FTIR und optoakustischem Gasmonitor

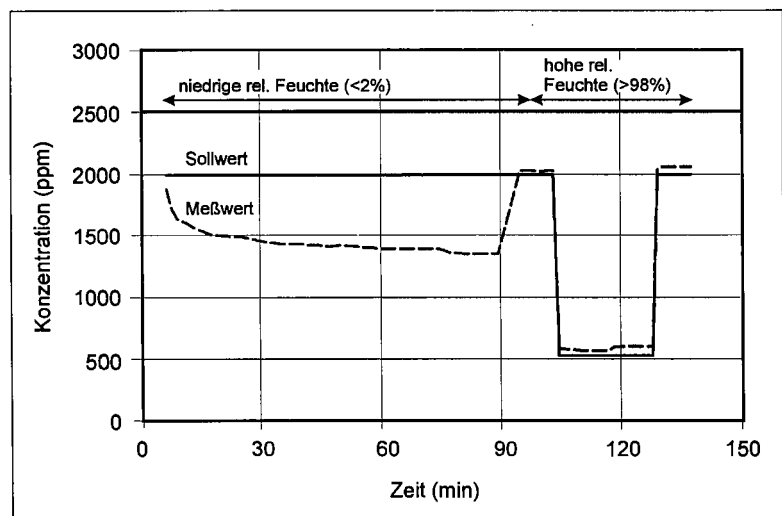


Bild 8: Sprungantwort des Gasmonitors für CO₂ in Abhängigkeit von der relativen Feuchte

4.1 Abluftvolumen

Die fünf zur Belüftung des Schweinestalles eingesetzten Axialventilatoren waren per Computer in der Regel in 2 Gruppen geschaltet. Die 3 Ventilatoren in der Mitte des Daches (600 mm Ø) liefen zumeist mit konstantem Förderstrom, während die 2 Ventilatoren (530 mm Ø) an den Stirnwänden mit einer 2-Punkt-Regelcharakteristik zugeschaltet wurden. Bei Temperaturen unterhalb 19,5 °C im Stall förderten sie minimal, bei Temperaturen oberhalb 20,5 °C maximalen Durchfluß. Dieses Procedere galt für Außentemperaturen von 8 bis 13 °C. **Bild 9** zeigt ein Beispiel für den Volumenstrom in Abhängigkeit von der Innentemperatur δ_i für den Zeitraum eines Tages. Im Hinblick auf das Ziel, eine möglichst konstante Temperatur im Stall zu halten, war die Regelung akzeptabel, unter Berücksichtigung des Energieaufwandes, jedoch weit vom Optimum entfernt. Dies bewies auch die Kostenrechnung des Betreibers. Negative Einflüsse durch die sehr "nervöse" Regelung ergaben sich bei der Tiergesundheit. Viele Atemwegserkrankungen der Tiere wurden auf die sich ständig wechselnden Luftgeschwindigkeiten im Tierbereich zurückgeführt.

Während einer Mastperiode, die im Januar begann, erhöhte sich der Gesamtabluftstrom ständig, mit zunehmendem Maße in den Monaten Mai und Juni, den steigenden Außentemperaturen folgend. Die sich anschließende Mastkampagne startete unter Sommerkonditionen. Der Abluftstrom war, wie zu erwarten, weitgehend konstant. Insgesamt variierte der Abluftvolumenstrom zwischen 7.000 und 40.000 m³/h, basierend auf 24 h-Mittelwerten. Hieraus resultierten spezifische Abluftraten von 16 bis 93 m³/h und Tierplatz [15].

Für ausgewählte Zeiträume war es möglich, die Abluftvolumenströme indirekt über die CO₂-Bilanzmethode zu berechnen und mit den direkten Messungen zu vergleichen. Zur Berechnung wurde das Computerprogramm STALKL herangezogen [3]. Als Eingangsdaten von STALKL dienten die Spezies und das Alter der Tiere sowie das Einstreumanagement als CO₂-Quellen. CO₂ wurde mit dem Gasmonitor in der zentralen Meßebeine (**Bild 1a**) gemessen.

Bild 10 zeigt den Vergleich - gemessen/-berechnet - auf der Basis von 24 h-Mittelwerten für einen Zeitausschnitt im Januar 1996.

Die berechneten Werte folgten im Trend den Meßwerten, waren in diesem Beispiel aber um bis zu 20 % niedriger. Es lassen sich aber auch Beispiele anführen, in denen die Verhältnisse umgekehrt waren, ebenfalls mit Abweichun-

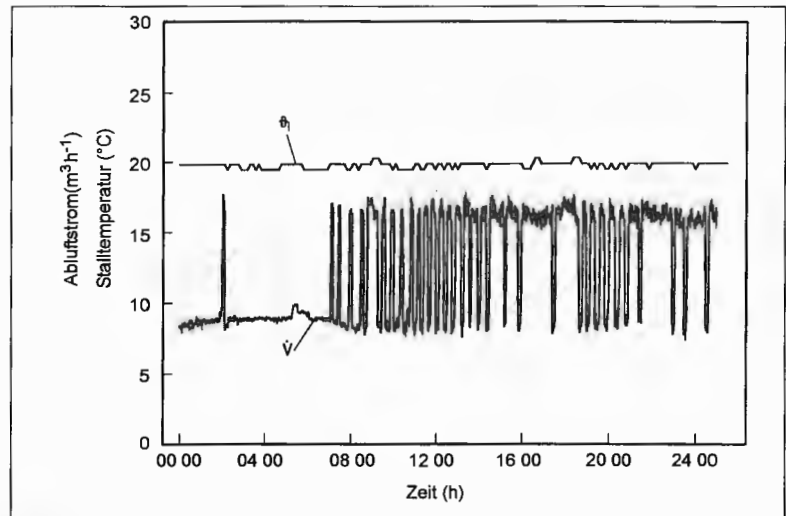


Bild 9: Beispielhafter Verlauf für den Abluftvolumenstrom V und die Stallinnentemperatur δ_i im Mastschweinestall

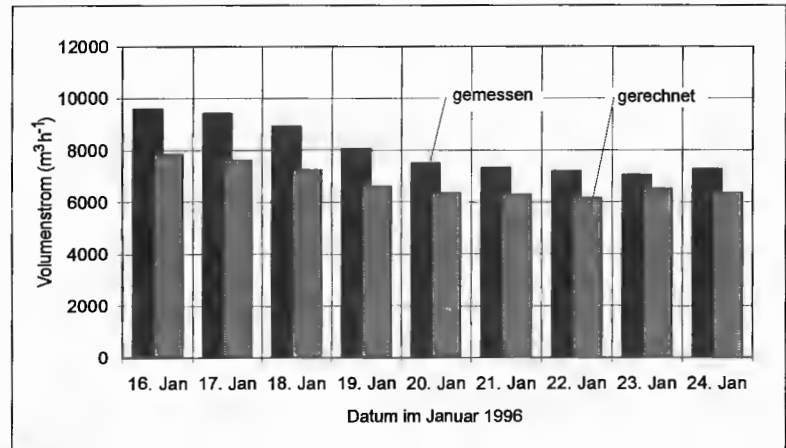


Bild 10: Vergleich der Volumenströme (24 h-Mittel) direkt gemessen und nach der CO₂-Methode berechnet

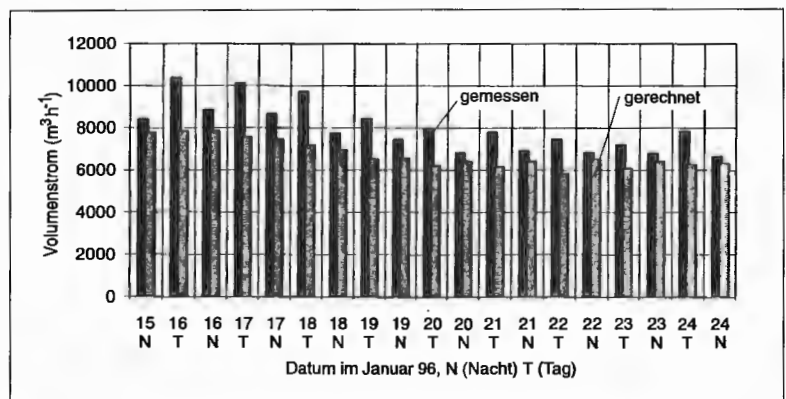


Bild 11: Vergleich der Volumenströme (12 h-Mittel) direkt gemessen und nach der CO₂-Methode berechnet

gen von 20 %. Diese Abweichungen hingen zudem stark vom Mittelungszeitraum ab. **Bild 11** zeigt die Ergebnisse für 12 h-Mittelwerte Tag und Nacht (6:00 bis 18:00 Uhr bzw. 18:00 bis 6:00 Uhr). Der Unterschied zum direkten

Tabelle 1: Verhältnis zwischen berechneter Lüftungsrate/gemessener Lüftungsrate, ausgedrückt in Prozentzahlen, für 24,12 und 1h Mittelwerte

	24 h Mittelwert	12 h Mittelwert		1h Mittelwert
		Tag	Nacht	
Anzahl der Messungen	19	19	20	481
Mittelwert (%)	94,5	89,8	101,1	97,7
Maximum (%)	112,8	110,6	119,4	148,0
Minimum (%)	80,7	73,9	86,1	54,7
Standardabweichung (%)	± 11,7	± 13,2	± 11,0	± 18,7

Meßwert war für den Tageszeitraum deutlich höher. Es gab jedoch keinen konstanten Faktor für Tag und Nacht, so daß ein systematischer Fehler auszuschließen war. In **Tabelle 1** sind die Verhältnisse für die unterschiedlichen Mittelungszeiten aufgeführt, bezogen auf Meßzeiträume von 10 Tagen im November 1994 und 9 Tagen im Januar 1996. Wie zu erwarten, waren die Abweichungen für die 1 h-Mittelung am deutlichsten, da hierfür die Eingangsdaten nicht angepaßt werden konnten. Die beste Übereinstimmung wurde für die 12 h-Nachtzeit erzielt. Dies läßt sich durch eine Vergleichmäßigung der CO₂-Produktion aufgrund geringerer Tieraktivität erklären. Eine Abschätzung aller Vergleichsmessungen ergab einen Unterschied von ca. ± 6,5 % für die 24 h-Mittelwerte. Dies ist ein Wert, der zu akzeptieren ist, sich aber in erster Linie auf den untersuchten Stall bezieht, der ein relativ gleichmäßiges Konzentrationsfeld für die Gase aufweist.

4.2 Staub

In dem Schweinemaststall lag die über 2 h im Mittel gemessene Konzentration des atembaren Staubes am Tage zwischen 2 - 5 mg/m³, ohne daß signifikante Abhängigkeiten von der Außentemperatur oder des Lebensgewichtes der Tiere feststellbar waren. Der in **Bild 12** dargestellte Verlauf deutet eher auf eine geringe Abnahme der Staubkonzentration hin als auf einen Anstieg mit dem Tieralter. Dies läßt sich über relativ hohe Außentemperaturen und sehr schwere Tiere (bis zu ~ 130 kg) erklären, die nur wenig Aktivität aufweisen.

Die Staubkonzentration im Stall war von der Meßhöhe unabhängig, zumindest für die gemessene Positionen h = 1,5 m und h = 2,5 m über dem Boden. Die aufgetretenen Spitzenwerte waren nicht zu erklären. Für die Nachtwerte der Staubkonzentration ergab sich ein Verlauf zwischen 1 - 2 mg/m³ und damit ein deutlich niedrigeres Niveau als für den Tag.

Eine Aufgabe der Untersuchungen war es, festzustellen, inwieweit die gewählten Mittelungszeiträume die Zeitfunktion richtig wiedergeben. **Bild 13** zeigt ein Beispiel der online-

Staubmessung über 36 h, mit den entsprechenden Mittelwerten A (18:00 bis 6:00 Uhr), B (6:00 bis 18:00 Uhr) und C (11:00 bis 13:00 Uhr). Einzelne Ereignisse, wie das Füttern oder äußere Störungen, sind klar erkennbar. A und B bestätigten die absetzig gravimetrisch gemessenen Werte. Der 2 h-Mittelwert C lag nur unwesentlich über B und wurde zur Beurteilung der Staubkonzentration am Tag herangezogen. Diese Messungen fanden im wöchentlichen Rhythmus statt. Für den Vergleich der Staubkonzentrationen am Tag und der Nacht ergab sich wieder ein Faktor von ~ 2.

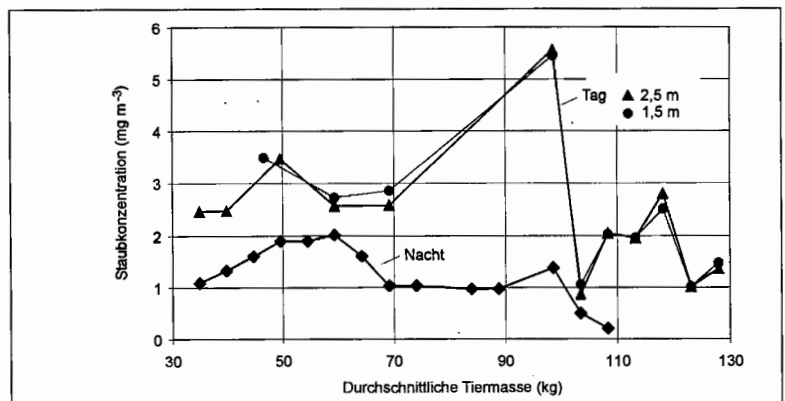


Bild 12: Konzentration des atembaren Staubes am Tage und der Nacht in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Masse der Mast Schweine. Meßhöhe 2,5 bzw. 1,5 m über Grund

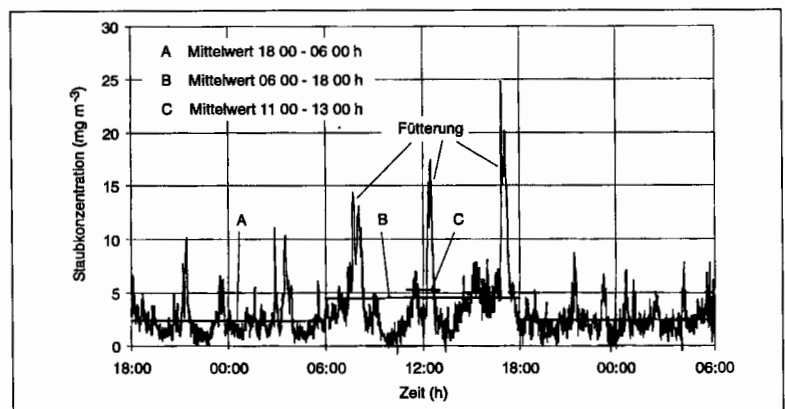


Bild 13: Zeitlicher Verlauf der Gesamtstaubkonzentration im Mast Schweinestall - online-Messung

Tabelle 2: Staubkonzentration (mg/m^3) an verschiedenen horizontalen Positionen im Schweinemaststall am Tag und bei Nacht
 x = Abstand über der Breite,
 y = Abstand über der Länge.

Länge (y)	1,9 m		7,6 m		19,0 m		30,4 m		36,1 m	
Breite (x)	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
1,93 m	3,6	2,2	3,5	2,8	3,9	2,1	5,7	3,5	4,3	2,6
3,87 m	3,3	1,7	3,4	2,1	4,3	2,4	4,7	Ausfall	3,4	2,2
5,80 m	1,4	1,2	2,3	1,4	2,4	1,6	2,6	1,2	1,7	1,4
7,73 m	2,6	1,5	3,6	2,4	3,9	2,3	3,9	Ausfall	3,3	2,1
9,67 m	2,8	1,7	2,9	2,0	3,6	2,2	4,0	2,2	2,7	1,9
Referenz	4,3	2,1	4,0	2,3	4,4	2,1	4,9	2,5	4,7	2,2

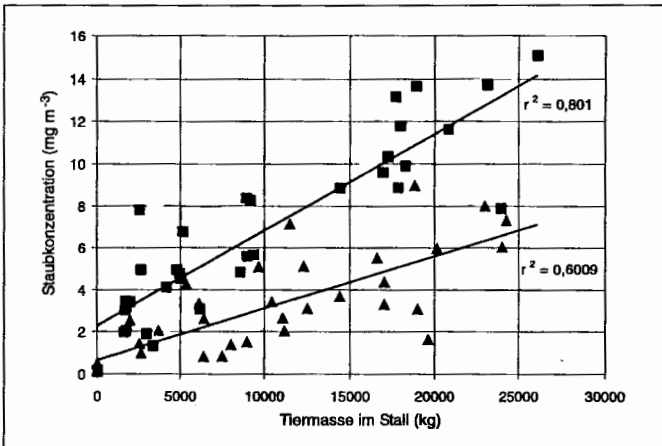


Bild 14: Konzentration des atembaren Staubes im Louisiana-Stall in Abhängigkeit von der Tiermasse und der Temperaturdifferenz Innen/Außen $\blacktriangle \Delta\delta < 10^\circ\text{C}$ $\blacksquare \Delta\delta > 10^\circ\text{C}$

nale Unterschiede mit höherem Staubniveau im Winter, **Bild 14.**

Die Konzentration des Staubes im Stall stieg nahezu linear mit der Tiermasse, dargestellt als gesamte eingestellte Masse der Broiler. Als Temperaturbereich für die beiden Ausgleichgeraden ergaben sich Differenztemperaturen von $<> 10^\circ\text{C}$. Die höhere Staubkonzentration im Winter erklärt sich über eine geringere Öffnung der Seitenvorhänge.

Zur Beurteilung der Luftqualität ist es erforderlich, mögliche örtliche Abhängigkeiten aufzudecken, um z. B. Orte mit erhöhter Staubkonzentration durch lüftungs-/strömungstechnische Maßnahmen zu entlasten. Die Ergebnisse der in 5 Querschnittsebenen des Stalles gemessenen Konzentrationen des atembaren Staubes zeigt **Tabelle 2** für Tag und Nacht. (Koordinaten s. **Bild 1a**). Die Referenzmeßstelle wurde mit dem online-Meßgerät betrieben. Hieraus folgt, daß während der Messungen der Ebenen $y = 30,4$ und $36,1$ m ein insgesamt leicht angehobenes Staubkonzentrationsniveau vorlag. Wird dies berücksichtigt, ergeben die Messungen keine wesentlichen Veränderungen der Staubkonzentration im Stallraum, abgesehen von den Positionen für $x = 5,8$ m, dem Bereich des Stallganges. Hier weisen die Werte durchweg ihr Minimum auf, z. B. ein Hinweis auf die Sedimentation von Staubteilchen im aktivitätsarmen Bereich. Im Tierbereich war die Konzentration bis um den Faktor 2 höher.

Für die Meßergebnisse bezüglich der Konzentration des atembaren Staubes im untersuchten Schweinemaststall gab es während der unterschiedlichen Mastdurchgänge keinen Hinweis auf signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der Jahreszeit (Sommer/Winter).

Im Louisiana-Stall der Broiler ergaben sich andere Abhängigkeiten für die Konzentration des atembaren Staubes. Bei Werten von insgesamt $1 - 14 \text{ mg}/\text{m}^3$ zeigten sich deutlich saison-

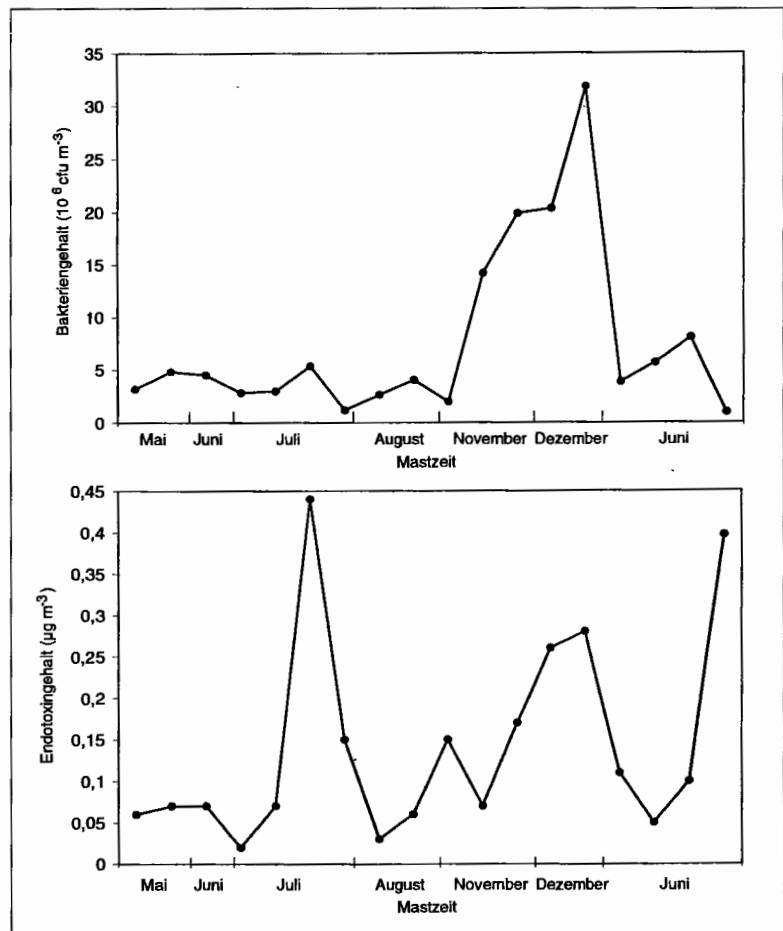


Bild 15: Saisonaler Einfluß auf den Gehalt von luftgetragenen Bakterien und Endotoxinen im Louisiana-Stall

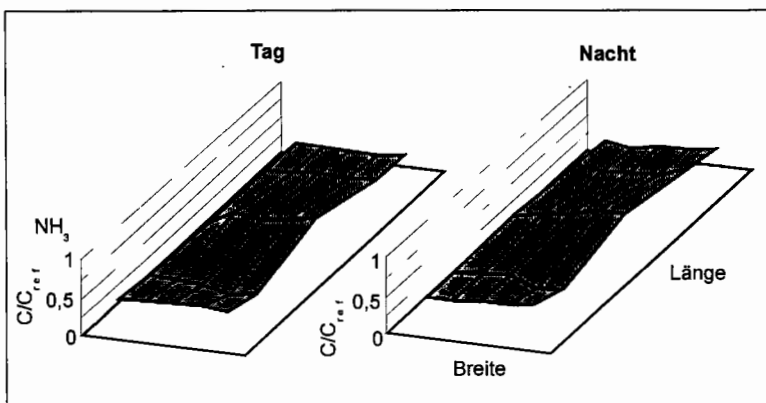
Tabelle 3: Verhältnis der Ammoniakkonzentration an verschiedenen horizontalen Positionen zur Referenzposition im Schweinemaststall am Tag und bei Nacht. x = Abstand über der Breite, y = Abstand über der Länge

Länge (y)	1,9 m		7,6 m		19,0 m		30,4 m		36,1 m	
Breite (x)	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
1,93 m	0,73	0,72	0,62	0,64	Ausfall	0,71	0,52	Ausfall	0,51	0,54
3,87 m	0,74	0,70	0,59	0,68	0,89	0,82	0,53	0,53	0,50	0,47
5,80 m	0,77	0,75	0,53	0,71	0,79	0,88	0,60	0,57	Ausfall	0,59
7,73 m	0,77	0,75	0,39	0,51	0,87	1,04	0,55	0,59	0,46	0,59
9,67 m	0,71	0,84	0,49	0,57	0,99	1,05	0,59	Ausfall	0,54	0,66
Referenz	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabelle 4: Ammoniak- und Kohlendioxidemissionsraten aus dem Schweinemaststall, ermittelt aus simultanen Messungen am Referenzpunkt und in der Abluft

Datum	NH ₃ Referenz g/h	NH ₃ Abluft g/h	Δ NH ₃ %	CO ₂ Referenz kg/h	CO ₂ Abluft kg/h	Δ CO ₂ %
16.01.96	237	220	7,2	47,5	46,2	2,7
17.01.96	231	215	6,9	47,6	47,2	0,8
18.01.96	240	212	11,7	47,8	46,0	3,8
19.01.96	235	210	10,6	47,3	45,0	4,9
20.01.96	223	215	3,6	45,4	43,8	3,6
21.01.96	221	217	1,8	44,7	44,8	0,2

Bei einer Bewertung der Meßergebnisse muß berücksichtigt werden, daß die Messungen nur an einem zentralen Ort im Stall durchgeführt wurden. Dies gilt auch für die Probenahme zur Endotoxinbestimmung. **Bild 15** zeigt den Einfluß des Jahresganges auf die Konzentration luftgetragener Bakterien und Endotoxine. Der höchste Bakteriengehalt wurde im Winter gemessen, der niedrigste im Sommer. Eine dergartig klare Aussage konnte für Endotoxine nicht gefunden werden [16].



4.3 Gasförmige Emissionen

Die Ammoniakkonzentrationen im Schweinestall zeigten deutliche Abhängigkeit von der Lüftungsrate, d. h. von der Außentemperatur. Insgesamt wurde ein Bereich von 10 - 35 ppm gemessen mit geringeren Werten im Sommer. Zusammen mit der Temperatur variiert die Ammoniakkonzentration örtlich im Stall bis zu 30 %, werden die Regionen in der Stallmitte und an den Stirnwänden betrachtet. Ansonsten ergab sich eine weitgehend gleichmäßige Ammoniakverteilung im Stall, **Bild 16**. Diese Daten, siehe auch **Tabelle 3**, basieren auf naßchemischen Analysen mit 12 h-Probenahme. Wie schon beim Staub wurde auch hier im Referenzpunkt das online-Gerät (Gasmonitor) parallel zu allen anderen Probenahmen betrieben. Durch einen Multiplexer war zusätzlich die Möglichkeit gegeben, außer der Referenzstelle noch 3 Meßstellen in den Auslaßöffnungen zu bedienen. Mit dem Gasmonitor wurden hier NH₃ und CO₂ zur Überprüfung

Bild 16: Örtliche Verteilung der rel. Ammoniakkonzentration im Mastschweinestall für Tag und Nacht

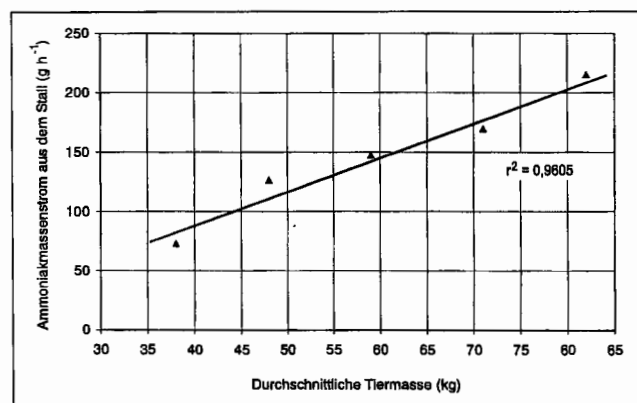


Bild 17: Ammoniakemissionen aus dem Mastschweinestall in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Tiermasse (432 Tiere)

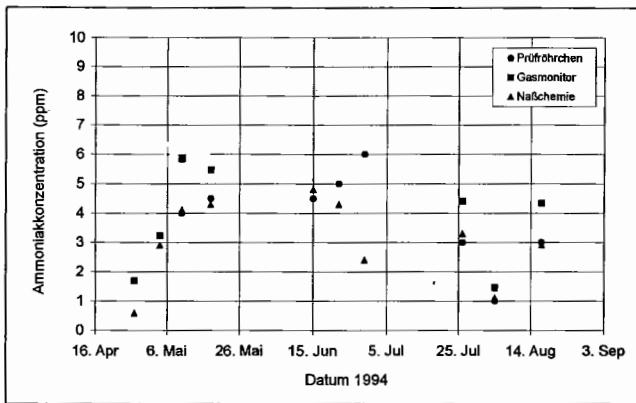


Bild 18: 1h-Mittelwert der Ammoniakkonzentration im Louisiana-Stall bei Einsatz unterschiedlicher Meßtechnik

der CO₂-Abluftvolumenmethode und der Bestimmung der Emissionen gemessen. In **Tabelle 4** sind die NH₃ bzw. CO₂-Emissionen aufgetragen, zum einen nur auf den Referenzpunkt bezogen, zum anderen wurden sie unter Ausnutzung der Abluftwerte bestimmt. Die NH₃-Emissionen beliefen sich für den gesamten Stall auf 210 - 240 g/h mit der Tendenz, daß die auf den Referenzort bezogenen Werte um 1 - 12 % höher als die direkt gemessenen lagen. Bei einem Besatz von 432 Tieren mit einer durchschnittlichen Masse von 82 kg/Tier ergaben sich spezifische Emissionsfaktoren von 3 g/(h GV) bei NH₃ und 640 g/(h GV) für CO₂. **Bild 17** zeigt die Abhängigkeit der Ammoniakemissionen von der mittleren Tiermasse.

Im Louisiana-Stall wurde wegen der fehlenden Volumenstrommeßtechnik auch die Gaskonzentration nur am zentralen Meßpunkt ermittelt. Diese Raumkonzentration zeigte keine kausalen Einflüsse der äußeren Bedingungen oder des Tiergewichts. **Bild 18** zeigt die 1 h-Mittelwerte des Gasmonitors, die während verschiedener Mastdurchgänge von April bis September 1994 gemessen wurden. Zur Absicherung der Meßtechniken wurden hier die angegebenen drei unterschiedlichen Verfahren eingesetzt. Die Abweichungen waren innerhalb von vertretbaren Grenzen. Tageszeitliche Schwankungen um diesen Mittelwert waren zum Teil erheblich und waren von den Temperaturbedingungen abhängig. **Bild 19** zeigt zwei Tagesgänge der Ammoniakkonzentration im Louisiana-Stall an einem heißen Tag (a) und an einem kühleren ausgeglicheneren Tag (b). Ebenfalls mit eingezeichnet sind wieder die Mittelwerte A, B, C mit den entsprechenden Mittelungszeiten (s. Absatz Staub). Trotz der an heißen Tagen erheblichen Variation der Ammoniakkonzentration mit der Zeit stimmten die 3 Mittelwerte gut mit den

langfristig berechneten überein. Es wurden Spitzenwerte von bis zu 50 ppm Ammoniak gemessen bei einem Mittelwert von ca. 25 ppm. Bei moderateren Temperaturbedingungen sanken die Werte auf einen Mittelwert von 10 ppm.

5 Zusammenfassung

Die Untersuchungen der Luftqualität in Stallgebäuden und die Emissionen der daraus resultierenden luftgetragenen Stoffe wurden z. T. im Rahmen eines umfangreichen EU-Projektes durchgeführt. Sie fanden über mehrere Mastkampagnen in einem zwangsbelüfteten Schweinestall und einem Offenstall vom Louisiana-Typ bei der Hähnchenmast statt. Die Außentemperaturen reichten innerhalb des Meßzeitraumes von - 20 °C bis zu über 30 °C. Es wurde ein umfangreiches Instrumentarium eingesetzt, das es ermöglichte, Stäube, Gase und Volumenströme (nur zwangsbelüftet) mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung - absetzig und online - zu ermitteln.

Als wesentliche Ergebnisse wurden für den Schweinestall ermittelt:

1. Eine Meßanordnung von 5 Punkten in einer Querschnittsfläche des Stalles führte zu weitgehend repräsentativen Aussagen bezüglich des Stalles,

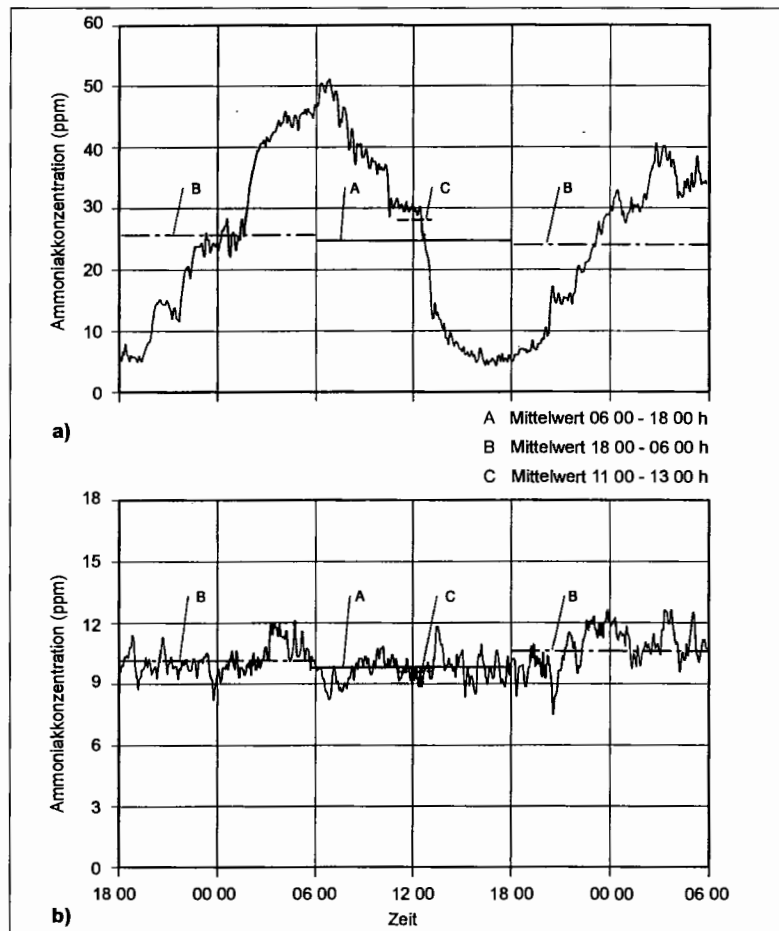


Bild 19: Ammoniakkonzentration im Louisiana-Stall während eines a) heißen Tages ($\delta_a = 15,9^\circ - 29,2^\circ\text{C}$) und eines b) kalten Tages ($\delta_a = 11,6^\circ - 13,5^\circ\text{C}$)

2. die gewählten Mittelungszeiten für die Nacht (18:00 bis 6:00 Uhr) und den Tag (6:00 bis 18:00 Uhr) entsprechen der Gegebenheit im Stall (Tieraktivität); eine ausgewählte Meßzeit von 11:00 bis 13:00 Uhr für kürzere Probenahmen mit hoher Sammlerkapazität erwies sich als geeignet, das Tagesgeschehen zu charakterisieren (im Mittel),
3. die Bestimmung des Volumenstromes über die indirekte CO₂-Methode führte in diesem Fall zu akzeptablen Ergebnissen, wenn es im Einzelfall auch deutliche Abweichungen mit der direkten Messung gab; eine Übertragbarkeit auf andere Ställe setzt eine ähnliche Konfiguration voraus, die entsprechend geringe örtliche Abhängigkeiten der Gaskonzentration aufweist,
4. die Konzentrationen des atembaren Staubes lag bei 1 - 5 mg/m³ und waren am Tag etwa doppelt so hoch wie in der Nacht; es waren keine signifikanten Abhängigkeiten von den äußeren Bedingungen oder des Tiergewichtes festzustellen,
5. Ammoniakkonzentrationen überschritten selten die diskutierte Grenze von 20 ppm,
6. der spezifische Emissionsfaktor für Ammoniak stieg mit der Masse an und betrug bei 82 kg Durchschnittsmasse 3 g/(h GV).

Für den Louisiana-Stall ergab sich:

1. Die Konzentration des atembaren Staubes reichte im Mittelwert von 1 mg/m³ bis zu 14 mg/m³, bei linearem Anstieg abhängig von dem mittleren Tiergewicht. Dieser Anstieg war im Winter ausgeprägter und führte zu deutlich höheren Staubgehalten. Wichtige Einflußgröße war die Lüftungsstrategie, d. h. die Stellung der verstellbaren Vorhänge.
2. Ammoniakkonzentrationen waren normalerweise im Mittelwert unterhalb von 20 ppm mit Spitzenwerten bis zu 50 ppm. Ein Einfluß des Tiergewichtes auf die Raumkonzentration von Ammoniak konnte nicht festgestellt werden.

In beiden Ställen blieben die CO₂-Konzentrationen unterhalb von 3000 ppm. Dies galt auch während der Heizperiode mit Gasbrennern im Louisiana-Stall.

Aerial Pollutants in and from a Piggery and a broiler House

Airborne pollutants in, and emissions from livestock buildings affect animal and human health and welfare and contribute to environmental air pollution. Field surveys have shown the influence of livestock species and management strategies on pollutant emissions.

Comprehensive measurements were carried out in a mechanically-ventilated fattening piggery and in a naturally-ventilated (Louisiana-type) broiler house. In the piggery, ventilation rate was directly measured using fan-wheel anemometers and indirectly estimated by a CO₂ balance method. Over 24h, the indirect CO₂ method underestimated the direct method by ~ 6,5 %.

Concentrations of the gaseous components CO₂ and NH₃ were detected mainly using a photo-acoustic multi-gas monitor. For NH₃ only, adsorption tube and wet-chemical analysis were also used.

Seasonal influences were detected for inhalable dust concentration in the broiler house and for ammonia concentration in the piggery. Altogether, the comprehensive study showed that the results of a related field survey, which used an array of measuring positions in the central cross-sectional plane of each livestock building, were comparable and sufficiently representative.

Literatur

- [1] Wathes, C. M; Phillips, V. R; Holden, M. R; Sneath, R. W; Short, J. L; White, R. P; Hartung, J; Seedorf, J; Schröder, M; Linkert, K. H; Pedersen, S.; Takai, H.; Johnsen, J. O; Groot Koerkamp, P. W. G; Uenk, G. H; Metz, J. H. M; Hinz, T.; Caspary, V.; Linke, S.: Emissions of aerial pollutants from livestock buildings in Northern Europe. Overview of a multi national project. - Journal of Agricultural Engineering Research, 1998, 70, 3 - 9.
- [2] Phillips, V. R; Holden, M. R; Sneath, R. W; Short, J. L; White, R. P; Hartung, J.; Seedorf, J.; Schröder, M.; Pedersen, S.; Takai, H.; Johnsen, J. O.; Koerkamp, P. W. G.; Scholtens, R.; van Ouwkerk, E. N. J.; Uenk, G. H.; Metz, J. H. M.; Wathes, C. M.: The development of robust methods for measuring concentrations and emission rates of gaseous and particulate air pollutants in livestock buildings. - Journal of Agricultural Engineering Research, 1998, 70, 11 - 24.
- [3] van Ouwkerk, E. N. J.; Pedersen S.: Application of the carbon dioxide mass balance method to evaluate ventilation rates in livestock houses. - Proceedings of the CIGR-AgEng. '94 Conference, Vol. 1, pp. 516-529, Milano, 1994.
- [4] Müller, H.-J.; Krause, K.-H.; Hinz, T.: Luftwechselraten in Louisianaställen. (Air in Louisiana barns) - Landtechnik Vol. 50, pp. 232-233, 1995.
- [5] Hinz, T.; Hartung, J.; Wiegand, B.: Dust and ammonia in the air of a naturally ventilated broiler houses. - FAO, REUR Technical Series 34, Animal waste management, pp. 277-281, 1994.
- [6] VDI/VDE 2640 Netzmessung in Strömungsquerschnitten. (Velocity-area method in flow cross-sections) - VDI-Kommission Reinhaltung der Luft.
- [7] Takai, H.; Pedersen, S.; Johnsen, J. O.; Metz, J. H. M.; Koerkamp, P. W. G.; Uenk, G. H.; Phillips, V. R.; Holden, M. R.; Sneath, R. W.; Short, J. L.; White, R. P.; Hartung, J.; Seedorf, J.; Schröder, M.; Linkert, K. H.; Wathes, C. M. A.: Comparison of three balance methods for calculating ventilation

- rates in livestock buildings. - *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1998, 70, 25 - 37.
- [8] Friedlander, S. K.: Smoke, dust and haze. - John Wiley and Sons, 1977.
- [9] Takai, H.; Pedersen, S.; Johnsen, J. O.; Metz, J. H. M.; Koerkamp, P. W. G.; Uenk, G. H.; Phillips, V. R.; Holden, M. R.; Sneath, R. W.; Short, J. L.; White, R. P.; Hartung, J.; Seedorf, J.; Schröder, M.; Linkert, K. H.; Wathes, C. M.: Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. - *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1998, 70, 59 - 77.
- [10] Hinz, T.: Untersuchungen zur Staubexposition bei der Getreideproduktion. (Dust exposure during grain production) - *Staub-Reinhalt. der Luft* Vol. 43, pp. 203-207, 1983.
- [11] Horodecki, J.; Fißan, H.: Vergleich unterschiedlicher Kalibriermethoden für den Sensor eines TEOM®-Meßgerätes. (Comparison of different methods for calibrating sensors used in TEOM®-measuring instruments) - *Gefahrstoffe - Reinhalt. der Luft* Vol. 56, pp. 5-10, 1996.
- [12] Rom, H.-B.: Evaluation of photo-acoustic ammonia detection in Livestock buildings. - *AgEng. '94 Conference*. Report N. 94-C-032, Milano, 1994.
- [13] Hinz, T.; Krahl, J.; Linke, S.: Calibration procedure and ammonia measurements in livestock enterprises. - National Environmental Technology Centre Culham. Proceedings: International Conference on Atmospheric Ammonia: Emissions, Depositions and Environmental Impact, Abingdon, 1995.
- [14] Krahl, J.; Hinz, T.; Schröder, O.; Luther, W.; Munack, A.; Hopf, H.: High performance selective measurement of ammonia and greenhouse gases by FTIR spectroscopy. - National Environmental Technology Centre Culham: Proceedings International Conference on Atmospheric Ammonia: Emissions, Depositions and Environmental Impact, Abingdon, 1995.
- [15] DIN 18910 Wärmeschutz geschlossener Ställe, Wärmedämmung und Lüftung, Planungs- und Berechnungsgrundlagen. - Beuth-Verlag, Berlin, Ausgabe 5.1992. (Insulation of enclosed livestock buildings, ventilation and prevention of heat loss, the fundamentals of planning and calculation.)
- [16] Wiegand, B.; Hartung, J.; Hinz, T.: Bacteria and endotoxins in the air of a naturally ventilated broiler house. *FAO, REUR Technical Series 34, Animal waste management*, pp. 283-287, 1994.

Verfasser: Hinz, Torsten, Dr.-Ing.; Linke, Stefan, Institut für Biosystemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Leiter: Dir. u. Prof. Professor Dr.-Ing. Axel Munack.