

Anke Hoffmann und Frank Seipelt, Oldenburg

## Tracergastechnik

### Methodik zur Bestimmung von Luftwechselraten in frei gelüfteten Milchvieh- und Mastschweinställen

**Zur Quantifizierung von Luftwechselraten frei gelüfteter Stallgebäude gibt es verschiedene Ansätze, aber noch keine praxistaugliche Referenzmethode. Nachfolgend wird eine Weiterentwicklung der Tracergastechnik vorgestellt.**

Die freie Lüftung ist für Stallgebäude in der Rindviehhaltung in Form der Trauf-First-Lüftung ein bewährtes und weit verbreitetes System. In der Mastschweinehaltung sind frei gelüftete Ställe seltener anzutreffen, aber zunehmend in der Diskussion. Im Hinblick auf Geruchsimmissionen und Umweltauswirkungen frei gelüfteter Tierhaltungssysteme spielt die Quantifizierung der gasförmigen Emissionen aus solchen Anlagen eine wichtige Rolle. Emissionsmassenströme lassen sich aus der Summe der Produkte der jeweiligen Gaskonzentrationen im Stall und der korrespondierenden Luftwechselrate des Stalles berechnen. Eine Methode zur Bestimmung der Luftwechselrate in Stallungen mit freier Lüftung ist die Tracergastechnik. Bei Einbringen eines Tracergases in die Zuluftführung dient dieses als Indikator zur Charakterisierung und Quantifizierung der Zu- und Abluftströme eines Gebäudes. Dabei sollte das Tracergas farb-, geschmack-, und geruchlos, chemisch inert und nur in geringen Konzentrationen in der Atmosphäre vorhanden sein. Weiterhin muß es mit bewährter Meßtechnik (beispielsweise Gaschromatographie) gut bestimmbar sein und sich gut mit Luft vermischen. Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) erfüllt diese Voraussetzungen und wird in den beschriebenen Untersuchungen als Tracergas eingesetzt.

#### Trauf-First-Lüftung

Der Luftaustausch durch die Trauf-First-Lüftung beruht darauf, daß durch die

*Dipl.-Ing. agr. Anke Hoffmann und Dipl.-Ing. agr. Frank Seipelt sind wissenschaftliche Mitarbeiter eines Ziel 5b-Forschungsprojektes des Landes Niedersachsen und der Europäischen Union an der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt, Oldenburg (Leitung: Dr. G. Steffens, Projektleitung: Dipl.-Ing. agr. A. Ross, Meßaufbau: H. Arnold) und dem Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft der Universität Göttingen in Vechta (Leitung: Prof. Dr. Ir. H. Van den Weghe).*

Temperaturdifferenz ( $\Delta t$ ) zwischen Außenluft und Stallluft ein thermischer Auftrieb im Stall entsteht. Die erwärmte Abluft verläßt den Stall durch die Firstöffnung. Dadurch entsteht im Stall ein Unterdruck, so daß über die Traufenöffnungen Kaltluft in den Stall nachströmt. Die Intensität dieser „Unterdrucklüftung“ steigt mit zunehmender Temperatur-/Dichtedifferenz zwischen Stall- und Außenluft. Ein weiterer wichtiger Einflußfaktor auf den Luftaustausch des Stalles ist die Geschwindigkeit des auf die Traufenseiten treffenden Windes. Die Öffnungsweite an Traufen und First ist in der Regel über Klappen regulierbar.

#### Stallluft-Sammelsystem in Trauf-First-gelüfteten Ställen

Zur Messung der Konzentrationen der Gase  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  (zum Abgleich von Querempfindlichkeiten) und  $\text{SF}_6$  ist im Abluftstrom der Ställe unterhalb der Firstöffnung ein PTFE-Schlauch mit einem Innendurchmesser von 6 mm installiert. Der optimale Anbringungsort des Schlauches wurde durch Ausnebeln ermittelt. In den Schlauch sind in Abständen von 4 m kritische Glaskapillaren mit einer Durchflußkapazität von 0,5 l/min

eingesetzt [1]. Eine Vakuumpumpe mit einer Förderkapazität von 30 l/min garantiert bei konstantem Unterdruck im Schlauch, daß durch jede Kapillare die gleiche Luftmenge angesaugt wird. Die über die gesamte Firstlänge angesaugte Stallluft gelangt in einen Sammelbehälter, aus dem der NDIR-Analysator – der Multigasmonitor 1302 der Firma Innova Air-Tech Instruments – seine Probe zieht und auf Basis der photoakustischen Infrarotspektroskopie die Konzentrationen der erwähnten Gase bestimmt. Die Meßkonfiguration ist in Bild 1 dargestellt.

#### Tracergas-Dosiersystem

Die Dosierung des Tracergases sollte möglichst gleichzeitig und gleichmäßig im gesamten Stallraum erfolgen. Dazu wird im Zuluftstrom an den Traufenöffnungen ein PE-Schlauch mit einem Innendurchmesser von 6 mm installiert, in den ebenfalls die oben genannten Glaskapillaren eingesetzt sind (abgewandelt nach Scholtens et al. [2]). Über den Eigendruck der angeschlossenen  $\text{SF}_6$ -Flasche wird für die Dauer der Dosierung im Schlauch ein konstanter Überdruck erzeugt, so daß durch jede Kapillare die gleiche Menge  $\text{SF}_6$  in den Stall injiziert wird. Durch den Überdruck erfolgt der Austritt des Gases aus der Kapillare nach dem Freistrahleffekt, so daß es im Zuluftstrom zu einer sofortigen Vermischung des schweren  $\text{SF}_6$  (Dichte etwa  $6 \text{ kg/m}^3$ ) mit der Stallluft kommt. Der Einsatz des Tracergases zur Ermittlung der Luftwechselrate erfolgt nach der sogenannten Abklingmethode. Dabei wird eine geringe Menge  $\text{SF}_6$  in den Stallraum dosiert und anschließend der

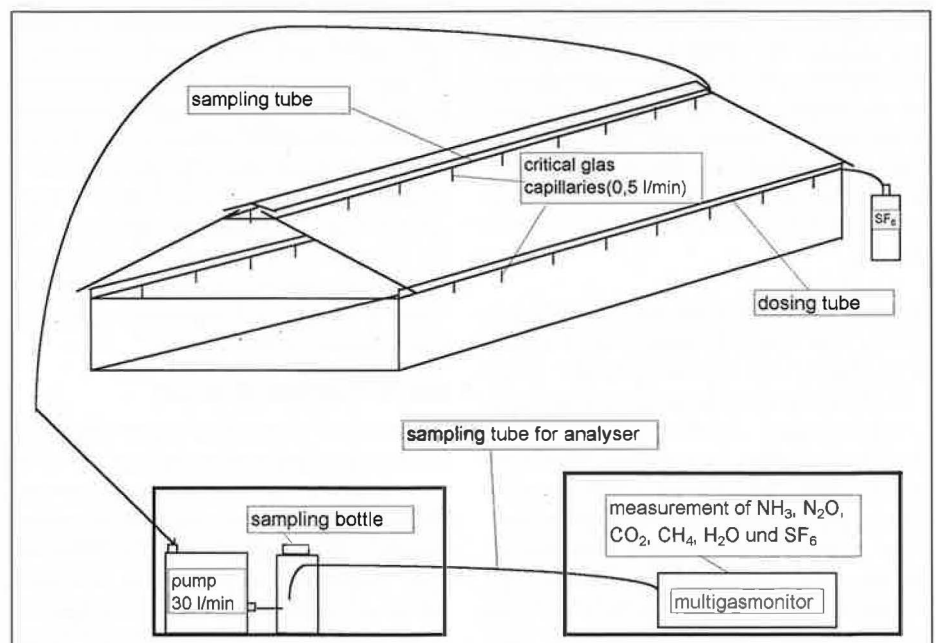


Bild 1: Schematische Darstellung der Meßkonfiguration in einem Stall mit Trauf-First-Lüftung

Fig. 1: Scheme of the measuring technique configuration in a stable with eaves-ridge-ventilation

zeitliche Verlauf der Konzentration des Gases gemessen. Über die logarithmierten Maximum- und Minimumwerte der Konzentration und die Abklingdauer wird die Luftwechselzahl ( $h^{-1}$ ) berechnet und ergibt, multipliziert mit dem Raumvolumen, die Luftwechselrate ( $m^3/h$ ). Die Messungen erfolgen bei geschlossenen Stalltüren und -fenstern, so daß der Luftaustausch im Stall nur auf die Traufen- und Firstöffnungen zurückzuführen ist.

### Querlüftung

Die freie Lüftung bei Mastschweineställen basiert in der Regel auf dem Prinzip der Querlüftung. Dies bedeutet, daß die der Windanströmung zugewandte Längsseite des Stalles als Zuluftseite definiert wird (Luv-Seite), die gegenüberliegende Stallseite dient als Abluftseite (Lee-Seite). Charakteristisch sind durchgängige Seitenöffnungen von 1,5 m Höhe an beiden Längsseiten des Stalles sowie ein offener First. Windnetze und höhenverstellbare Vorhänge an den Seitenöffnungen sind bewährter Standard. Die Einrichtung solcher Ställe besteht unter anderem aus Ruheboxen, in die sich die Schweine bei Kälte zurückziehen sollen. Als Antriebskräfte für den Luftwechsel wirken Druckunterschiede zwischen der Innen- und der Außenseite des Stallgebäudes, die durch die Windgeschwindigkeit und Temperaturdifferenzen zwischen Außen-

und Innenluft verursacht werden. Abhängig von diesen Größen wird die Höhe der Luftein- und -austrittsfläche mit Hilfe der Vorhänge variiert, es kann also von keinem konstanten Luftströmungsbild im Stall ausgegangen werden. Ein kontrollierter Luftaustausch findet nicht statt.

Vorversuche und kontinuierlich durchgeführte Ausnebelversuche bestätigen, daß die oben beschriebene Meßkonfiguration zur Erfassung und Ausbringung des Tracergases für Stallungen mit Querlüftung modifiziert werden muß. Nachfolgend wird die abgeänderte Meßkonfiguration näher beschrieben und im *Bild 2* graphisch dargestellt. Sofern nicht ausdrücklich auf andere Komponenten hingewiesen wird, decken sich die verwendeten Materialien und Analysegeräte mit der Meßkonfiguration bei Trauf-First gelüfteten Ställen.

### Stallluft-Sammelsystem in quer gelüfteten Ställen

An der Außenseite jeder Seitenöffnung werden über die gesamte Länge des Stalles PTFE-Schlauchleitungen in drei separaten Ebenen mit jeweils 50 cm Abstand verlegt und mit den oben beschriebenen kritischen Glaskapillaren ausgestattet. Der Abstand der Kapillaren einer Ebene zueinander beträgt 1,5 m. Jede dieser Schlauch-Ebenen ist an eine separate Vakuumpumpe angeschlossen und saugt

die gleiche Menge an Stallluft in 2 l-Glasflaschen. Eine Probe daraus wird von den angeschlossenen Gasanalysatoren auf die Konzentration folgender Luftkomponenten hin analysiert:  $CO_2$ ,  $NH_3$ ,  $N_2O$  (Korrektur auf  $H_2O$ ) und  $SF_6$  (gaschromatische  $SF_6$  Bestimmung, ECD, mit dem AUTOTRAC der Firma Lagus Applied Technology, San Diego). Es werden nur die

Ebenen beprobt, die *nicht* durch den Vorhang verdeckt werden. Die Luft, die den Stall über den geöffneten First verläßt, wird mit Hilfe einer PTFE-Schlauchleitung mit eingesetzten Kapillaren nach dem gleichen Prinzip beprobt.

### Tracergas-Dosiersystem

Das Tracergas-Gemisch (1%iges  $SF_6$ , Rest:  $N_2$ ) wird kontinuierlich durch kritische Kapillaren einer PE-Ringleitung, die im Stall in einer Höhe von 2,7 m und einer Entfernung von den Seitenwänden von 3,5 m angebracht ist, mit definierter Konzentration in den Stallraum injiziert. Ein Kompressor gewährleistet eine quantitativ gleichmäßige Injektion. Aus der Differenz der Injektionsmenge und der Summe der detektierten Menge aus der Stallluft-Probe berechnet das verwendete  $SF_6$ -Analysegerät eine mittlere Gesamtluftwechselzahl ( $N$ ) über einen definierten Zeitraum.

### Ausblick

Erste Ergebnisse von Untersuchungen in Milchviehställen zeigen, daß die Geschwindigkeit des auf die Traufenseiten treffenden Windes den Haupteinflußfaktor auf die Luftwechselrate der Ställe darstellt. Bei der Trauf-First-Lüftung besteht in einem weitem Geschwindigkeitsbereich ein enger, direkt linearer Zusammenhang zwischen den ermittelten Luftwechselraten und den gleichzeitig gemessenen Windgeschwindigkeiten. Die dargestellten Meßmethoden dienen zur Ermittlung der Luftwechselrate und damit zur Bestimmung der Emissionsmassenströme verschiedener Gase. Die Zulässigkeit der Methodik bestätigt ein berechneter Input-Output Stickstoff-Bilanzvergleich.

### Literatur

- [1] Pfeiffer, A. et al.: Ammoniak emissions originating from naturally ventilated dairy cow housing systems with different dung systems. Animal waste management, proceedings of the Seventh Technical Consultation on the SCORENA Network on Animal Waste Management, Bad Zwischenahn, 17. bis 20. Mai 1994, S. 39-45
- [2] Scholtens, R. und J. W. H. Huis in't Veld: Natuurlijk geventileerde ligboxenstal met betonrooster voor melkvee. Praktijkonderzoek naar de ammoniakemissie van stallen, XXXVI. Rapport 97 - 1006 IMAG - DLO, Wageningen, 1997

### Schlüsselwörter

Freie Lüftung, Luftwechselrate, Gasemissionen, Meßtechnik

### Keywords

Free ventilation, air exchange rate, gaseous emissions, measuring techniques

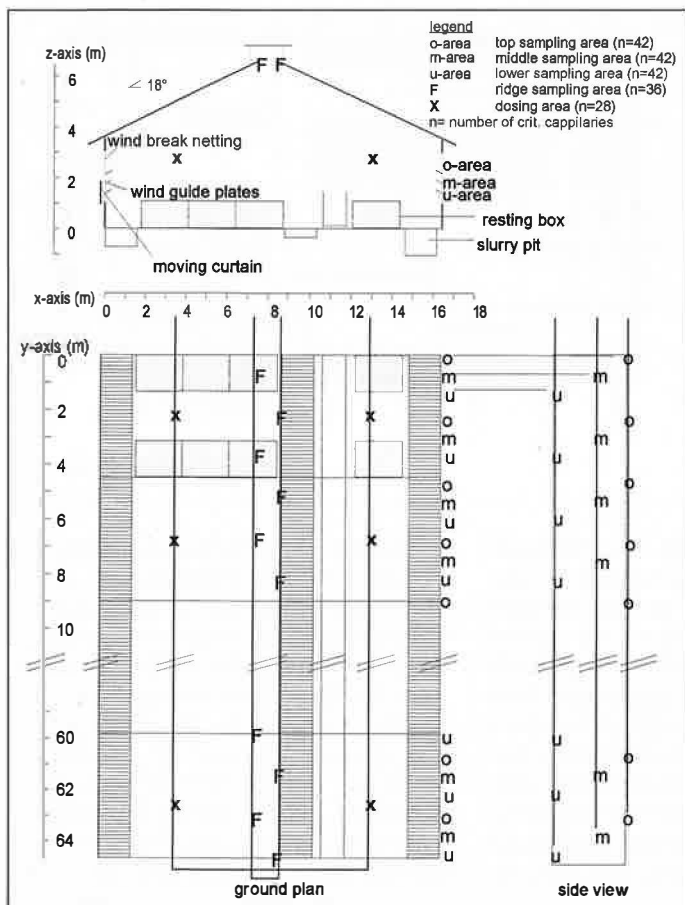


Bild 2: Schematische Darstellung der Meßkonfiguration in einem quer gelüfteten Mastschweinestall

Fig. 2: Scheme of the measuring technique configuration in a pig fattening house with cross ventilation