

Till Schneider, Wolfgang Büscher und Oliver Wallenfang, Bonn

Validierung der Tracergasmethode zur Luftvolumenstrombestimmung

Bei der Bestimmung der Emissionsmassenströme aus Tierhaltungsanlagen ist neben der Konzentration des zu untersuchenden Stoffes die Messung der Luftvolumenströme notwendig. Bei frei gelüfteten Ställen stehen Tracergasmethoden zur Verfügung, mit denen anhand der Verdünnung der Indikatorgaskonzentration auf die Luftvolumenströme geschlossen werden kann. In dieser Untersuchung wurde die Abklingsmethode an Messventilatormessungen in einem zwangsgelüfteten Hähnchenmaststall validiert.

Dipl.-Ing. agr. Till Schneider ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Dr. Oliver Wallenfang ist wissenschaftlicher Assistent und Prof. Dr. Wolfgang Büscher ist Leiter der Abteilung „Verfahrenstechnik der Tierischen Erzeugung“ am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn; e-mail: till-schneider@uni-bonn.de

Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassungen finden Sie unter LANDTECHNIK-NET.com.

Schlüsselwörter

Luftvolumenstrom, Tracergas, Messventilator

Keywords

Ventilation rate, tracer gas, measuring fan

Die Immissionsprognose wird in Genehmigungsverfahren für Neubauten und Umbauten von Tierställen immer wichtiger. Für die Bestimmung der Emissionsmassenströme von Gasen, Geruch oder Stäuben müssen sowohl Konzentrationsmessungen als auch Messungen der Luftvolumenströme erfolgen. Für die Messungen in zwangsgelüfteten Ställen stehen einfache und genaue Methoden, wie etwa die Messung mit kalibrierten Messventilatoren zur Verfügung. Im Gegensatz dazu stellt die Bestimmung der Luftvolumenströme in frei gelüfteten Ställen ein großes methodisches Problem dar. Da eine direkte Ermittlung meist nicht möglich ist, bedient man sich so genannter Bilanzierungsmethoden.

Grundlagen

Auf Basis der Massenbilanz eines Stoffes oder analog der Energiebilanz (Wärmebilanz) werden die Volumenströme ermittelt. Dabei kann man sich systemeigene Stoffströme zu nutze machen oder stallfremde Stoffe verwenden. Bei den Tracergasmethoden bedient man sich Indikatorgase, die nicht im Stall vorkommen. Damit fällt eine Unsicherheit bei der Kalkulation der Stoffquellen weg [1]. Zu den in der Praxis eingesetzten Tracergasen gehören beispielsweise Schwefelhexafluorid (SF₆) oder Krypton 85. Eine Übersicht über die verschiedenen Bilanzierungsmethoden gibt [2].

Eine der verschiedenen Tracergasmethoden ist die so genannte Abklingsmethode; dabei wird nach einmaliger Tracergasdosierung die Gaszufuhr abgeschaltet. Das exponentielle Abklingverhalten der Gaskonzentration dient dann als Grundlage für die Bestimmung des Luftvolumenstroms. Eine Grundbedingung dieser Methode ist die vollständige Durchmischung des Tracergases mit der Stallluft. Diese Bedingung wird als sehr problematisch angesehen [3]; vor allem Totzonen - in denen kaum Austausch mit der umgebenden Luft stattfindet - und Kurzschlussströmungen - bei denen die Zuluft auf dem kürzesten Weg wieder aus den Fortluftöffnungen herausströmt - werden als große Fehlerquellen benannt [3].

Untersuchungsgegenstand

Vor dem Einsatz der Tracergasmethode in frei gelüfteten Ställen, in denen eine Überprüfung der Übereinstimmung der Methode mit anerkannten Methoden nicht möglich ist, sollte die Abklingsmethode mit der Referenzmethode mit Messventilatoren in einem zwangsgelüfteten Hähnchenmaststall validiert werden. Die Messventilatormethode gilt als eine sehr genaue und günstige Referenzmethode zur Bestimmung des Volumenstroms bei zwangsgelüfteten Gebäuden [4].

Beschreibung des Versuchstalles

Bei dem Versuchstall handelte es sich um einen in der Praxis üblichen Hähnchenmaststall mit einer Länge von 74,8 m, einer Breite von 17,3 m und einer Traufhöhe von 3 m sowie einer Firsthöhe von 5,3 m. Das Stallvolumen beträgt damit 5370 m³.

Da die Lüftungseinstellungen während des Versuchs variabel gestaltet werden sollten, wurde die Messung im Servicezeitraum bei leerem Stall durchgeführt. Bei der Lüftung handelt es sich um eine Unterdrucklüftung, deren Abluftkamme entlang der Firstachse verteilt angeordnet sind. Von den Abluftventilatoren sind zwölf Stück ein/aus geregelt, während ein Ventilator in der Drehzahl variabel gesteuert werden kann.

Die Zuluft wird durch handelsübliche Lüftungsklappen zugeführt. Über beide Seiten des Stalles sind diese in regelmäßigen Abständen angeordnet. Der Stallinnenraum ist bis auf die in der Hähnchenmast üblichen sechs Tränkelinien und vier Futterbahnen komplett leer.

Messmethoden

Der auf einem DLG-Prüfstand kalibrierte Messventilator wurde auf jeden Kamin gesetzt, wobei auf ein bündiges Anliegen der Messeinheit geachtet wurde. Bei den verschiedenen Lüftungseinstellungen wurde dann der Volumenstrom bestimmt, der von jedem einzelnen Abluftkamin transportiert wird. Die Addition der Einzelvolumenströme ergibt den Gesamtvolumenstrom.

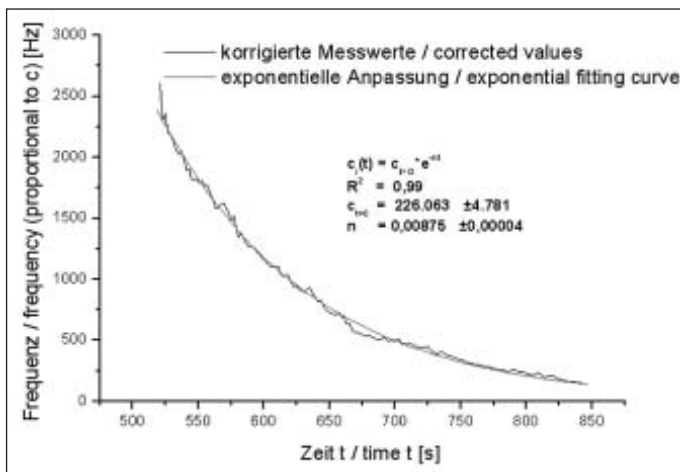


Bild 1: Gemessene Tracergasabklingkurve mit exponentieller Anpassung

Fig. 1: Measured decay-function with exponential fitting curve

Vor dem Einsatz der Tracergasmethode wurde die Luftströmung im Stall mit einem Nebelgenerator sichtbar gemacht. Es konnte eine gute Durchmischung der Stallluft mit dem Nebel demonstriert werden, ohne dass Kurzschlussströmungen sichtbar wurden.

Zur Injektion des Tracergases wurde auf beiden Seiten des Stalls ein Kaskadenschlauchsystem verlegt. Etwa alle 9 m wurde eine Schlauchöffnung in der Nähe der Zuluftklappen installiert.

Die Absaugung und Probennahme der Stallluft erfolgte in der Firstachse des Stalles rund 0,8 m unterhalb der Ventilatoröffnungen. Die Schlauchenden wurden an den mittleren Tränkelinien befestigt und mit dem vorhandenen Seilsystem bis unter die Decke gezogen. So erfolgte die Probennahme an sechs Punkten im Abstand von etwa 12 m in unmittelbarer Nähe der Abluftöffnungen.

Zur Bestimmung der SF₆-Konzentration wurde ein modifiziertes Leakmeter 200 (Meltron Qualitek Messtechnik GmbH, heute: USON, Neuss) eingesetzt. Der Nachweis erfolgt mit einem Elektron-Capture-Detektor (ECD). Das Gerät ist als Lecksuchgerät konzipiert und verfügt damit über eine hohe zeitliche Auflösung (1 Sekunde).

An die korrigierten Messwerte wurde dann mit einem Statistikprogramm eine exponentielle Funktion mit der Form $c_i(t) = c_{i=0} \cdot e^{-nt}$ angepasst (Bild 1), wobei $c_i(t)$ die Massenkonzentration in der Raumluft [g m^{-3}] zum Zeitpunkt t und $c_{i=0}$ die Massenkonzentration zum Zeitpunkt $t = 0$ [g m^{-3}] ist. Das im Exponenten enthaltene n entspricht der Luftwechselrate [s^{-1}], t ist die Zeit [s]. Durch Multiplikation der Luftwechselrate mit dem Stallvolumen ergibt sich dann der Luftvolumenstrom.

Ergebnisse und Diskussion

Die Abweichung der Messwiederholungen liegt unter 2,5 % der Luftwechselraten. Dies zeigt ein hohes Maß an Wiederholbarkeit der Messungen bei so konstanten Bedingungen, wie sie im zwangsgelüfteten Stall vorhanden sind. Die gute Übereinstimmung der einzelnen Ergebnisse ist auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Die Vielzahl von Dosier- und Probennahmepunkten im Stall führt zu einer guten Mischung der Stallluft mit dem Tracergas sowie zu einer gleichmäßigen Mischprobe, die dem Messgerät zugeführt wird.
- Durch das Messintervall von einer Sekunde kann der Konzentrationsverlauf des Tracergases kontinuierlich erfasst werden; das führt auch bei hohen Luftwechseln in freigelüfteten Ställen zu eindeutigen exponentiellen Abklingkurven.
- Durch das Anpassen der Abklingfunktion an die Messwerte mit Hilfe eines Statistikprogramms konnte eine hohe Wiederholbarkeit bei der Auswertung der Messdaten erreicht werden.

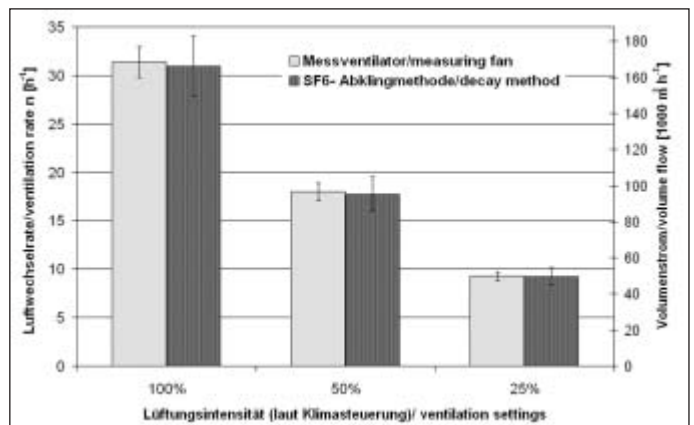
Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen zeigen eine gute Übereinstimmung der beiden Methoden (Bild 2). Mit der Tracergasmethode wird die Luftwechselzahl im Vergleich zur Messventilatormethode um maximal 1,4 % unterschätzt.

Fazit und Ausblick

Für diesen zwangsgelüfteten Stall konnte eine sehr gute Übereinstimmung der Messmethoden demonstriert werden. Die idealen Bedingungen hinsichtlich der Strömungs- und Mischungsverhältnisse im Stall bewirkten die gute Wiederholbarkeit der Messungen. Das eingesetzte SF₆-Messgerät ist vor allem durch die hohe zeitliche Auflösung sehr gut für die Messungen geeignet. Der zeitliche und materielle Aufwand ist für diese Messungen relativ gering.

Bild 2: Vergleich der Messmethoden bei verschiedenen Lüftungseinstellungen

Fig. 2: Comparing measuring methods of different ventilation settings



Da es keine Referenzmethoden zur Validierung der Tracergasmethode in frei gelüfteten Ställen gibt, musste diese in einem zwangsgelüfteten Stall durchgeführt werden. Eine einfache Übertragung der Ergebnisse auf Ställe mit freier Lüftung ist nicht möglich, da sich die Luftströmungen im Stall stark unterscheiden. Die Luftströmung frei gelüfteter Ställe unterliegt den klimatischen Einflüssen von außen und ist damit weniger gerichtet als die Luftströmung in zwangsgelüfteten Ställen. Vor allem die Bedingung der vollständigen Vermischung des Tracergases mit der Stallluft kann nicht grundsätzlich vorausgesetzt werden. Daneben ist eine eindeutige Festlegung der Lüftungsöffnungen als Zuluft- oder Abluftöffnung nicht möglich. Dies führt zu hohen Anforderungen an die Dosierung des Tracergases, an die Probennahme der Stallluft sowie die Auswertung der Messwerte [6].

Hinsichtlich der Übertragbarkeit der Methode auf frei gelüftete Ställe ist weiterer Forschungsbedarf vorhanden.

Literatur

- [1] Hinz, T., K.-H. Krause und H.J. Müller: Luftwechselraten in Louisiana-ställen. LANDTECHNIK 50 (1995), H. 4, S. 232 - 233
- [2] Müller, H.J.: Bilanzmethoden zur Luftvolumenstromermittlung in frei gelüfteten Ställen. In: Messmethoden für Ammoniak-Emissionen, KTBL-Schrift 401, Darmstadt, 2001
- [3] Barber, E.M., and J.R. Ogilvie: Interpretation of tracer gas experiments in ventilation research. J. Agric. Eng. Res. 30 (1984), pp. 57 - 63
- [4] Büscher, W., S. Nesper und A. Gronauer: Messmethoden zur Luftvolumenstromermittlung in zwangsgelüfteten Ställen. In: Messmethoden für Ammoniak-Emissionen, KTBL-Schrift 401, Darmstadt, 2001
- [5] Krause, K.-H., und S. Linke: Windwirkung auf Emissionen beim Boxenlaufstall. LANDTECHNIK 59 (2004), H. 6, S. 348
- [6] Brehme, G.: Quantifizierung des Luftvolumenstromes in frei gelüfteten Rinderställen mit Hilfe der Kompartimentierungsmethode zur Bestimmung umweltrelevanter Emissionsmassenströme. Dissertation, Forschungsbericht Agrartechnik (VDI-MEG 365), Göttingen, 2000