

# Kompartimentelle Luftvolumenstromberechnung

*Numerische Simulationen dienen der Visualisierung des Strömungsgeschehens. Für Berechnungen in Nutztierställen ist der Zeitbedarf hierfür allerdings enorm. Der Aufsatz zeigt eine Möglichkeit auf, das Problem der Stallgröße beziehungsweise der Ortsabhängigkeit durch einfache Massenbilanzierung zu lösen.*

Die Größe von Nutztierställen zwingt zu einer stichprobenartigen Messwertfassung von Gaskonzentrationen etwa wie von Ammoniak oder Geruch. Anstatt der Gaskonzentration kann auch ein Tracer betrachtet werden, dessen Abklingreihen zur indirekten Berechnung des Luftvolumenstromes herangezogen werden. Im Fall einer freien Lüftung (Nürtinger System, Offenfrontstall) mit langgezogenen oder großen Austauschflächen kommt neben der Ungewissheit der Positionierung von Messpunkten die direkte Abhängigkeit von Windrichtung und Windgeschwindigkeit zum Tragen. Permanente Änderungen dieser atmosphärischen Größen führen zu einem unterschiedlichen Abklingverhalten der Tracerkonzentration an den einzelnen Messpunkten. Dieses unterschiedliche Abklingverhalten wird durch Transportvorgänge des Tracers mit dem Trägermedium Luft im Stall verursacht. Um diese Transportvorgänge beschreiben zu können, ist es erforderlich, sich intensiv mit dem Strömungsgeschehen in einem Stall oder System auseinanderzusetzen.

## Die Lösungsgrundlage

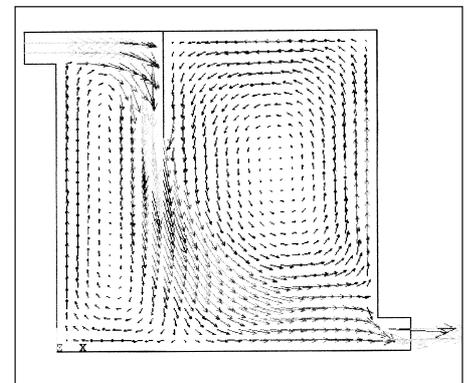
Die strömungsmechanischen Gegebenheiten gelten für jeden Fall einer Um- oder Durchströmung. Grundlage strömungsmechanischer Betrachtungen bilden die Erhaltungsbedingungen für Masse, Impuls und Energie. Zur Visualisierung der schrittweise errechneten Lösungen für die Variablen in den Erhaltungsgleichungen ist die numerische Strömungssimulation ein hilfreiches Instrument. *Bild 1* zeigt ein ausgebildetes Strömungsfeld in einem zweidimensionalen Raum von  $2\text{ m} \cdot 2\text{ m}$ . Die Luft wird oben links direkt unter der Raumbegrenzung mit einer konstanten Geschwindigkeit hineingedrückt und strömt unten rechts frei hinaus. In einem Abstand von  $0,66\text{ m}$  vom Einlass ist ein undurchlässiges Hindernis (Trennwand) eingebaut. Praxisübliche langgestreckte, freigelüftete Ställe liegen in einer Größenordnung von durchschnittlich  $20\text{ m} \cdot 50\text{ m}$ . Für diese Fälle ist eine numerische Iteration (schrittweise Berechnung) unverhältnismäßig. Um dennoch Aussagen zum stallinternen Tracertransport und damit zum Luftaustausch zu treffen, wird in diesem Zusam-

menhang erstmals das Kompartimentalisierungsverfahren angewendet.

## Der neue Ansatz

Ausgangspunkt jeder Kompartimentalisierung ist die Definition des Systems. Der Begriff „System“ umfasst eine bestimmte, abgegrenzte Zahl an Subsystemen, welche definierte Zustandsvariablen aufweisen und durch eine Vielzahl an Relationen untereinander gekennzeichnet sind. Diese Subsysteme werden als Kompartimente bezeichnet. Ein Kompartiment ist dabei definiert als kinetisch und homogen abgeschlossene Einheit [3], innerhalb derer sich beispielsweise eine Konzentration schnell und gleichmäßig ausbreitet. Dazu wird das in *Bild 1* gezeigte Strömungsgebiet in (neun) Kompartimente eingeteilt (*Bild 2*). Im Zentrum eines jeden virtuellen Kompartimentes wird das Abklingverhalten der Tracerkonzentration *zeitgleich* ermittelt. Es wird angenommen, dass der Wert der Tracerkonzentration im Zentrum den Mittelwert über das gesamte Kompartiment darstellt [2] und dass sich der kompartimentsinterne Stoffaustausch schneller vollzieht als der Stoffaustausch über eine Kompartimentsgrenze hinweg.

Neben den Systemabmessungen und variablen Kompartimentsgrößen sind lediglich zwei Größen bekannt: die Tracerkonzentration sowie deren Änderung zwischen zwei Zeitschritten der Messwertaufnahme. An-



*Bild 1: Errechnetes Strömungsfeld in einem  $2\text{ m} \cdot 2\text{ m}$  Raum durch numerische Strömungssimulation*

*Fig. 1: Calculated air flow pattern in a  $2\text{ m} \cdot 2\text{ m}$  room by numerical simulation*

Dr. agr. Gunnar Brehme ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Technik in der Tierhaltung im Institut für Agrartechnik Bornim (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. Zasko), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam; e-mail: gunnar.brehme@fal.de;

Dr.-Ing. Karl-Heinz Krause ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung für Biosystemtechnik des Institutes für Technologie und Biosystemtechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. A. Munack) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig.

Prof. Dr. Ir. Herman Van den Weghe ist Leiter des Institutes für Verfahrenstechnik am Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems der Georg-August-Universität Göttingen, Driverstr. 22, 49377 Vechta

## Schlüsselwörter

Kompartiment, natürliche Lüftung, Volumenstromberechnung und -simulation

## Keywords

Compartment, natural ventilation, air flow calculation and simulation

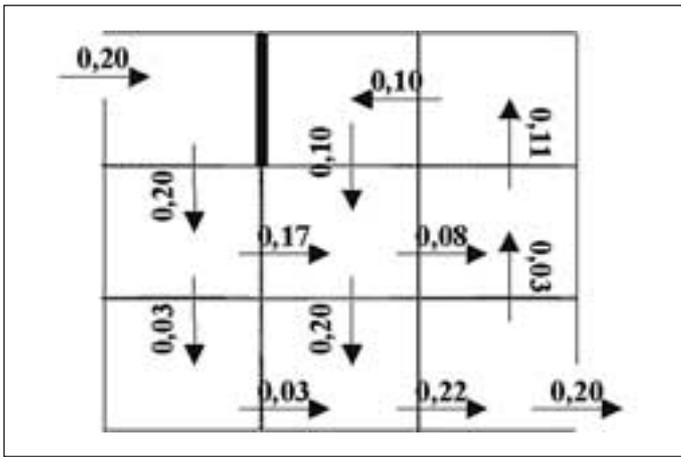


Bild 2: Errechnetes Strömungsfeld des 13. Zeitschrittes in einem 2 m • 2 m Raum mittels Kompartimentalisierung

Fig. 2: Calculated air flow pattern of the 13<sup>th</sup> time step in a 2 m • 2 m room by compartmentalisation

hand der genannten Parameter werden Bilanzgleichungen für jedes Kompartiment und für das Gesamtsystem in Form einer einfachen Kontinuitätsbedingung aufgestellt und das lineare Gleichungssystem mit einem geeigneten Algorithmus gelöst. Die Lösungswerte (Austauschkoeffizienten) eines Zeitschrittes geben die Höhe und die Richtung (Vorzeichen) des Luftvolumenstromes zwischen den Kompartimenten und des Gesamtsystems wieder. Sie sind durch Pfeile in Bild 2 gekennzeichnet. Im Unterschied zur numerischen Strömungssimulation werden die Lösungswerte nicht durch Iteration bestimmt. Das Gleichungssystem (Matrix) wird nach jedem Zeitschritt, also nach jeder Messwertaufnahme, neu bestückt. Hierzu ist es erforderlich, so viele Zeitschritte zusammen zu fassen, wie zur Lösung des Gleichungssystems notwendig sind. Die prinzipielle Vorgehensweise ist ausführlich in [1] beschrieben.

### Praxisrechnung

Im gezeigten theoretischen Beispiel können die Ergebnisse mittels Kompartimentalisierung durch die Numerik überprüft werden. In Realställen ist die Numerik nur begrenzt einsetzbar. Ein Referenzverfahren gibt es daher nicht. Wohl kann aber durch vorhergehende „Kalibrierung“ an berechenbaren Beispielen die Aussagekraft von Rechenmodellen abgeschätzt werden.

Bild 3 zeigt einen frei gelüfteten Stall für Mastschweine (Nürtinger System). Der Stall ist 63 m lang, 14 m breit und hat eine Firsthöhe von 5 m. Im Stall werden 21 Messpunkte installiert, der Stall wird also in 21 virtuelle Kompartimente unterteilt. Die Vorgehensweise ist identisch zum gezeigten Beispiel in Bild 1: Anhand der Abklingreihen der Tracerkonzentration werden die Austauschkoeffizienten ermittelt, deren Lage und Richtung in Bild 4 abgebildet sind.

Zusätzlich sind die wahrscheinlichen Wirbel und Strömungsrichtungen eingezeichnet, die sich allein durch die Vorzeichen der errechneten Austauschkoeffizienten ergeben. Neben der Angabe des Luftvolumenstromes für den gesamten Stall können das stallinterne Strömungsgeschehen gedeutet sowie Öffnungen als Eintritte oder Austritte charakterisiert werden. Treten Windrichtungs- oder Windgeschwindigkeitsänderungen auf, so macht sich dies durch Änderung der Vorzeichen bemerkbar, da das Gleichungssystem nach jedem Zeitschritt neu aufgestellt wird.

### Fazit

Aufgrund der Größe landwirtschaftlicher Nutztierställe können Tracerkonzentrationsmessungen nur punktuell erfolgen. Aus diesen punktuellen Messungen soll auf den Gesamtvolumenstrom geschlossen werden. Bei Anwendung des Kompartimentalisierungsverfahrens wird die Ortsabhängigkeit einer Konzentrationsmessung vernachlässigt. Es besteht nur noch die zeitliche Variabilität der Tracerkonzentration. Unter Berücksichtigung der strömungsmechanischen Grundgesetze (hier: Massenerhaltung) wird ein lineares Gleichungssystem aufgestellt und gelöst.



Bild 3: Offenstall mit langgezogenen, seitlichen Öffnungen (Nürtinger System)

Fig. 3: Open stable with long sidewall openings (Nürtinger System)

Die errechneten Austauschkoeffizienten charakterisieren die Luftvolumenströme im Stall sowie die stallinternen Strömungswege. Das ist eine Verbesserung in der Luftvolumenstromberechnung von frei gelüfteten Ställen, da bislang nur integrative Verfahren zum Einsatz kamen. Grundvoraussetzung für die Anwendung der Kompartimentalisierung im Medium Luft ist die zeitgleiche Aufzeichnung der Tracerkonzentration an allen verfügbaren Messpunkten.

### Literatur

Bücher sind mit • gekennzeichnet

- [1] • Brehme, G.: Quantifizierung des Luftvolumenstromes in frei gelüfteten Rinderställen mit Hilfe der Kompartimentalisierungsmethode zur Bestimmung umweltrelevanter Emissionsmassenströme. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen, 2000
- [2] • Ferziger, J.H. and M. Peric: Computational methods for fluid dynamics. Springer Verlag, Berlin, 1997
- [3] • Jaquez, J.A.: Compartmental analysis in biology and medicine: kinetics of distribution of tracer-labeled materials. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1972

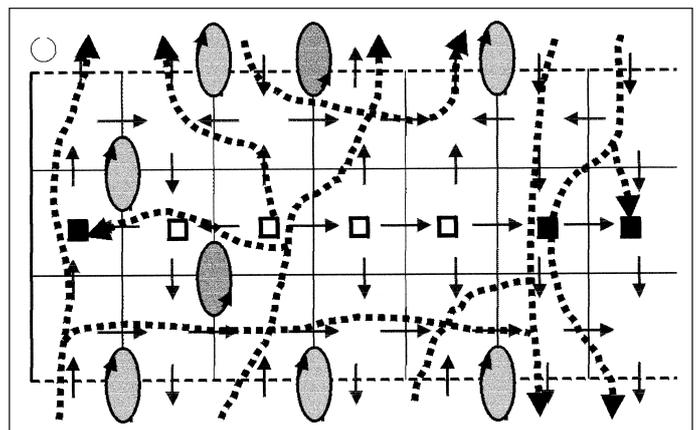


Bild 4: Wahrscheinliches Strömungsfeld beim 13. Zeitschritt in einem Offenstall (Nürtinger System)

Fig. 4: Probable air flow pattern at the 13<sup>th</sup> time step in an open stable (Nürtinger System)