

Merike Fiedler, Knut Schröter, Andreas Reinhardt, Chayan Saha, Christiane Loebstin, Werner Berg und Thomas Amon

Windkanaluntersuchungen an einem frei gelüfteten Milchviehstall

Die Luftdurchströmung von frei gelüfteten Ställen und der sich daraus ergebende Luftwechsel bestimmen das Stallklima und die Emissionsraten von Schadstoffen. In der Praxis sind diese Kenngrößen aufgrund der zeitlichen wie räumlichen Variabilität der vorherrschenden Prozesse nur schwer zu erfassen. Laborexperimente im Windkanal können unter kontrollierten Bedingungen statistisch repräsentative Daten erzeugen und damit Praxismessungen sinnvoll ergänzen. Windkanalmessungen der horizontalen Windgeschwindigkeitskomponenten wurden an einem Modell eines frei gelüfteten Milchviehstalles durchgeführt. Die Messungen erfolgten unter einer turbulenzarmen Anströmung, um den Einfluss der Einbauten im Stallmodell auf die Luftströmung erfassen zu können. Die Ergebnisse zeigen, dass die Einbauten und der Futtertisch die gemessenen Strömungsgrößen beeinflussen.

Schlüsselwörter

Lüftung, Windkanal, Luftströmung, Stallklima

Keywords

Ventilation, wind tunnel, air flow, barn climate

Abstract

Fiedler, Merike; Schröter, Knut; Reinhardt, Andreas; Saha, Chayan; Loebstin, Christiane; Berg, Werner and Amon, Thomas

Wind tunnel investigations on a naturally ventilated barn

Landtechnik 68(4), 2013, pp. 265–268, 2 figures, 8 references

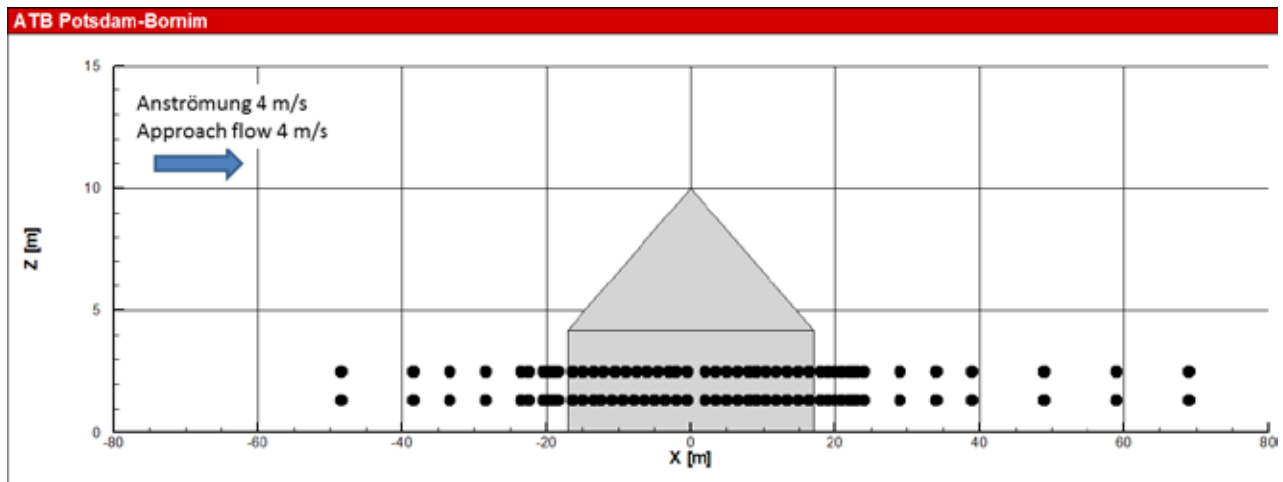
The air exchange rate regulating the climate inside of natural ventilated livestock buildings is hard to determine in the field due to the variability of time and space of the dominant processes. Experiments in a wind tunnel laboratory can produce sound statistical and representative data obtained under controlled boundary conditions to complete data sets from the field. In this study, measurements of the horizontal wind components within a model of a natural ventilated barn were performed in the wind tunnel. The approach flow was

chosen with low turbulence in order to gain knowledge on the influence of the installed equipment on the air flow. In fact, the measured profiles were influenced by the installed equipment and the feeding alley.

■ Milchviehställe werden heutzutage als Offenfrontställe mit freier Lüftung konzipiert; an den Längsseiten sind sie lediglich mit variablen Windschutznetzen versehen. Dadurch wird das Stallklima direkt von äußeren Wetterbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte und Wind) beeinflusst. Maßgeblich dabei ist – mit den Komponenten Windrichtung und Windgeschwindigkeit – der Wind, durch den der Luftwechsel und die Verteilung und der Abtransport von Wärme, Luftfeuchtigkeit, Gasen und anderen Stoffen bewirkt wird.

Den Luftwechsel eines frei gelüfteten Milchviehstalles zu bestimmen, ist eine diffizile Aufgabe, da die natürlichen An-, Um- und Durchströmungsvorgänge wegen des turbulenten Windfeldes variabel sind. Demnach ändern sich die wesentlichen Randbedingungen der Luftströmung an Luftein- und -austritt ständig. Zur direkten Erfassung des Luftwechsels müssen Windgeschwindigkeit und -richtung an allen Öffnungen möglichst flächendeckend über den Querschnitt gemessen werden [1]. In der Praxis ist dies nur mit einem unverhältnismäßig hohen messtechnischen Aufwand möglich. Aus diesem Grund werden in der Regel indirekte Methoden zur Bestimmung des Luftwechsels, wie z. B. die Tracergasmethode [2] oder die CO₂-Bilanzierung [3], angewendet. Die Tracergasmethode, bei der die Abklingkurve eines Tracergases bestimmt wird, setzt eine

Abb. 1



Skizze der Messpunkte der zwei Lateralprofile

Fig. 1: Sketch of measurement locations of the two lateral profiles

perfekte Durchmischung der Stallluft mit dem Tracer voraus, was kaum zu realisieren ist [4]. Für die CO_2 -Bilanz muss die CO_2 -Konzentration möglichst flächendeckend im Stall erfasst werden, da aufgrund des Windfeldes erhebliche Variationen der CO_2 -Konzentration entstehen [5]. Des Weiteren muss über lange Zeiträume gemessen werden, um statistisch repräsentative Daten zu erhalten. Dies ist nicht nur aufwendig, sondern auch mit sehr hohen Kosten verbunden und in der Praxis kaum durchzuführen.

Deshalb ist es sinnvoll die Praxisdaten durch Messungen in einem Grenzschicht-Windkanal zu ergänzen. Mit dieser Methode können die komplexen Strömungs- und Transportvorgänge modelliert werden, sodass unter kontrollierten Bedingungen zeitlich wie räumlich hoch aufgelöste, statistisch repräsentative Ergebnisse erzeugt werden. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Praxis ist durch die Einhaltung physikalischer Kennzahlen gesichert [6].

Material und Methoden

In dem Grenzschicht-Windkanallabor des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim wurden Messungen der Windgeschwindigkeit und Turbulenz an einem Modell eines frei gelüfteten Milchviehstalles durchgeführt. Bei dem Modell im Maßstab 1:100 handelte es sich um einen detailgetreuen Nachbau eines Milchviehstalles, in dem bereits langjährig Praxismessungen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Tierproduktion der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt wurden [7].

Die Messung der horizontalen Windgeschwindigkeitskomponenten erfolgte berührungsfrei mit einem 2D Laser-Doppler Anemometer (LDA) (Dantec©). Es wurden an jedem Mess-

punkt Zeitserien der Windgeschwindigkeitskomponente U (in X-Richtung) und der Windgeschwindigkeitskomponente V (in Y-Richtung) aufgenommen. Die Länge der Zeitserien variierte, es wurde jedoch immer so lange gemessen, bis die Standardabweichung vom Mittelwert σ weniger als 2 % Schwankungen aufwies; daraus folgten über 2500 Einzelwerte.

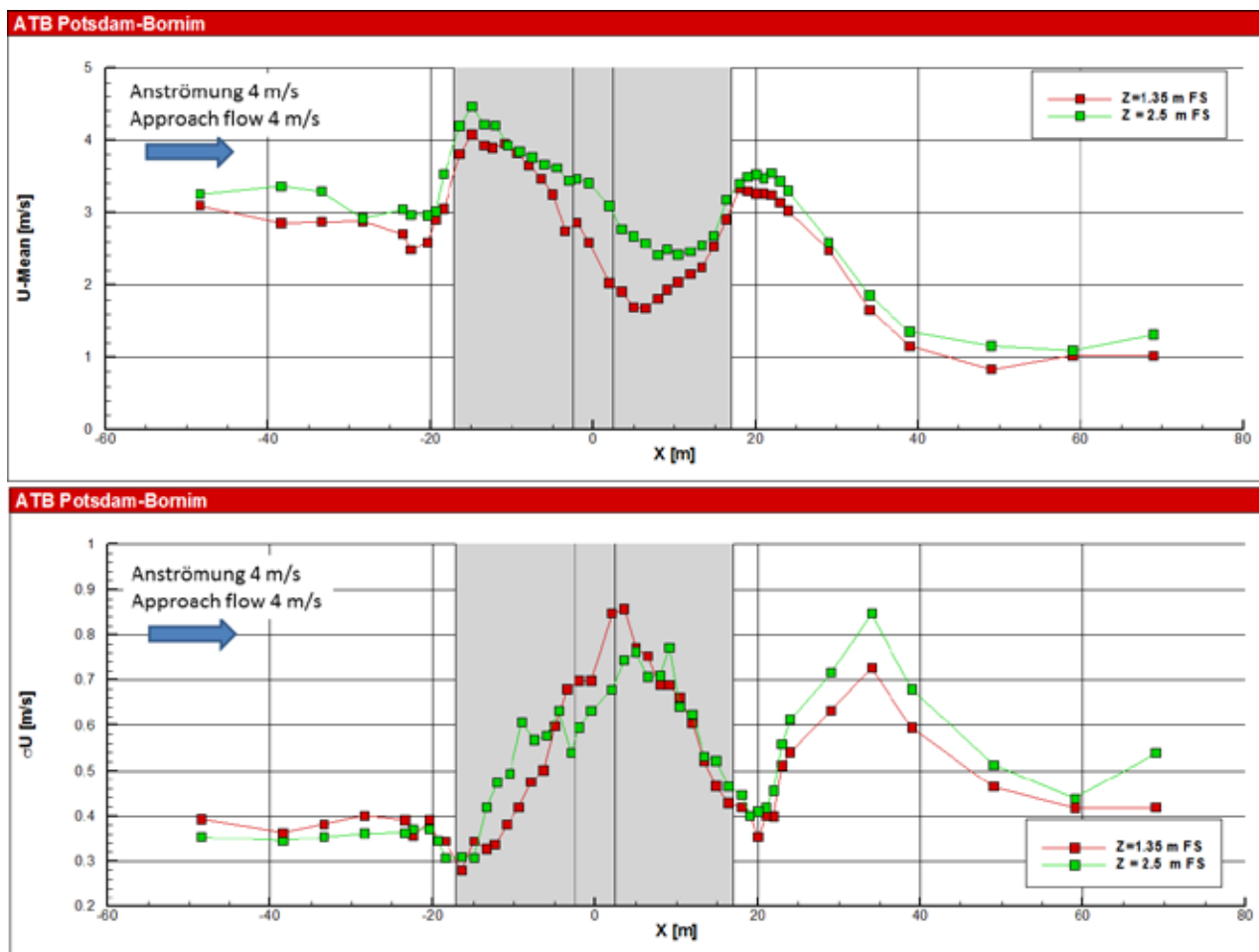
Für die Anströmung wurden in diesem Experiment keine Turbulenzgeneratoren und Bodenrauigkeiten verwendet, um eine möglichst gleichförmige und turbulenzarme Strömung zu erzeugen. Diese Art der Anströmung entspricht zwar nicht den Bedingungen am Versuchstall und ist somit nur eingeschränkt auf die Praxis übertragbar. Ziel dieser Messungen war es jedoch, genauere Informationen über den Einfluss der Einbauten auf das Durchströmungsprofil zu erlangen.

Die Anströmung des Modells erfolgte senkrecht auf die offenen Seitenwände, was der Anströmung in Hauptwindrichtung entsprach. In Höhe von 1,35 und 2,50 m wurde jeweils ein laterales Profil gemessen (Abbildung 1).

Ergebnisse

In **Abbildung 2** werden die gemessenen gemittelten Profile der Windgeschwindigkeitskomponente U (in X-Richtung) gezeigt. Das gemittelte Profil der Windgeschwindigkeitskomponente U zeigte einen deutlichen Einfluss der Gebäudestruktur auf die Luftdurchströmung. Es erfolgt eine Beschleunigung sowohl beim Lufteintritt als auch beim Luftaustritt, wobei die Beschleunigung beim Luftaustritt geringer ausfällt. Hinter dem Modellstall war die Windgeschwindigkeit aufgrund der Rezirkulationszone des Gebäudes geringer. Der Futtertisch des Stallgebäudes war gegenüber den Laufgängen leicht erhöht und zeigte einen Einfluss auf die Profile der Windgeschwindigkeitskomponente U. Die Profile der Standardabweichung σU

Abb. 2



Gemessene Profile der mittleren Windgeschwindigkeitskomponente U in x -Richtung (oben) und der Standardabweichung σU (unten). Grauer Bereich gibt den Stallgrundriss mit Futtertisch an.

Fig. 2: Measured profiles of the mean wind component U in x -direction (above) and the standard deviation σU (below). Grey area indicates area of the barn including feeding alley in the center.

zeigten ihre Maxima im Stallgebäude und unmittelbar hinter dem Stallgebäude. Die Standardabweichung kann als ein Maß dafür interpretiert werden, wie viele Schwankungen in einer Zeitserie auftreten. Somit zeigten sich besonders viele Schwankungen hinter dem Gebäude (in der Rezirkulationszone), aber auch innerhalb des Gebäudes, aufgrund der Einbauten. Auch im Profil der Standardabweichung ist ein Einfluss des Futtertisches erkennbar.

Messungen der Windgeschwindigkeitskomponente V wiesen dagegen nur sehr niedrige mittlere Windgeschwindigkeiten (von $-0,3$ bis $0,07$ m/s) bei recht hohen Standardabweichungen ($0,24$ bis $0,69$ m/s) auf. Die gemessenen Einzelwerte der Geschwindigkeiten variierten sehr stark, sodass die Streuung der Messwerte so groß war, dass die Profilverläufe weniger eindeutig waren. Die Luftströmung war sehr turbulent und erforderte deutlich längere Messzeiten. Dies galt auch für die gemessenen Profile der turbulenten Impulsflüsse.

Schlussfolgerungen

In einem Windkanal wurden Messungen von lateralen Profilen in zwei verschiedenen Höhen eines Stallmodells durchgeführt. Es wurde eine turbulenzarme Anströmung verwendet, um den Einfluss der Einbauten auf die gemessenen Profile im Stallgebäude einfacher identifizieren zu können. Insbesondere der erhöhte Futtertisch als Hindernis in Strömungsrichtung beeinflusste die gemessenen Profile der Windgeschwindigkeitskomponente U . Durch die Einbauten wurden die Schwankungen der einzelnen Zeitserien erhöht, was deutlich auf erhöhte Turbulenz hinweist. Somit sollten bei der physikalischen oder numerischen Modellierung von Strömungsvorgängen in Stallgebäuden auch die Einbauten berücksichtigt werden.

Die Messungen ergaben zudem, dass Schwankungen der Standardabweichung von $< 2\%$ als Maß für die Länge einer Zeitserie zu einer hohen Variabilität der Daten führten. Um die turbulenten Größen sicher interpretieren zu können, sind daher

lange Zeitserien mit mehr als 2 500 Einzelmesswerten notwendig. Dieses Verfahren wurde bereits in den darauffolgenden Messungen umgesetzt.

In einem zweiten Teil der Studie wird eine standortbezogene, skalierte Grenzschichtströmung modelliert, um die Übertragbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen und mit Daten aus der Praxis zu vergleichen. Die standortbezogene Grenzschicht wird nach den Vorgaben der VDI-Richtlinien zur Windkanalmodellierung [8] und anhand eigener Daten vom Versuchsstandort modelliert.

Literatur

- [1] Kiwan, A.; Berg, W.; Brunsch, R.; Özcan, S.; Müller, H.-J.; Gläser, M.; Fiedler, M.; Ammon, C.; Berckmans, D. (2012): Tracer gas technique, air velocity measurement and natural ventilation method for estimating ventilation rates through naturally ventilated barns. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal* 14(4), pp. 22–36
- [2] Samer, M.; Müller, H.J.; Fiedler, M.; Ammon, C.; Gläser, M.; Berg, W.; Sanftleben, P.; Brunsch, R. (2011): Developing the 85Kr tracer gas technique for air exchange rate measurements in naturally ventilated animal buildings. *Biosystems Engineering* 109(4), pp. 276–287
- [3] Pedersen, S.; Blanes-Vidal, V.; Joergensen, H.; Chwalibog, A.; Haeussermann, A.; Heetkamp, M.J. W. (2008): Carbon dioxide production in animal houses: a literature review. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal* 10, Manuscript BC 08 008
- [4] Chen, Q. Y. (2009): Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recent applications. *Building and Environment* 44, pp. 848–858
- [5] Ngwabie, N.M.; Jeppsson, K.-H.; Nimmermark, S.; Swensson, C.; Gustafsson, G. (2009): Multi-location measurements of greenhouse gases and emission rates of methane and ammonia from a naturally-ventilated barn for dairy cows. *Biosystems Engineering* 103, pp. 68–77
- [6] Snyder, W. H. (1972): Similarity criteria for the application of fluid models to the study of air pollution meteorology. *Boundary-Layer Meteorology* 3, pp. 113–134
- [7] Fiedler, M.; Berg, W.; Ammon, C.; Loebstin, C.; Sanftleben, P.; Samer, M.; von Bobrutski, K.; Kiwan, A.; Saha, C. K. (2013): Air velocity measurements using ultrasonic anemometers in the animal zone of a naturally ventilated dairy barn. *Biosystems Engineering*, in Druck
- [8] VDI Richtlinie 3783 part 12 (2000): "Environmental meteorology - physical modelling of flow and dispersion processes in the atmospheric boundary layer - Application wind tunnels". VDI/DIN-Handbuch: Reinhaltung der Luft. Band 1b, issue german/english

Autoren

Dr. rer. nat. Merike Fiedler und **Dr. Werner Berg** sind Wissenschaftler, **Dr. Chayan Saha** ist Humboldt-Stipendiat und Gastwissenschaftler, **Knut Schröter** und **Andreas Reinhardt** sind technische Mitarbeiter der Abteilung Technik in der Tierhaltung am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB). **Univ. Prof. Dr. Thomas Amon** begleitet die Professur für Nutztier-Umwelt-Wechselbeziehungen am Institut für Tier- und Umwelthygiene im Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin und leitet die Abteilung Technik in der Tierhaltung am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: mfiedler@atb-potsdam.de

Christiane Loebstin ist Mitarbeiterin der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Tierproduktion, Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf