

Oliver Wallenfang, Gregor Schmitt, Wolfgang Büscher und Bernd Diekmann, Bonn

Simulation der Ausbreitung von Bioaerosolen

Entwicklung eines angepassten numerischen Modells

Es wurde ein Rechenprogramm entwickelt, das die Besonderheiten der Staubausbreitung wie das Absinken und Ablagern von Partikeln berücksichtigt. Es zeigen sich Unterschiede zur reinen Gasausbreitung bereits bei der Emission.

In der aktuellen Fassung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft [1] werden Grenzwerte für Staubemissionen und -immissionen genannt. Bei der Genehmigung neuer Anlagen zur Tierhaltung können diese besonders bei staubintensiven Haltungformen wie der Volierenhaltung von Legehennen zu einem Entscheidungskriterium werden.

Deshalb ist es nötig, die Emissionen und die Ausbreitung von Partikeln auch im Nahbereich von Stallanlagen prognostizieren zu können. Wesentliche Effekte, die die Ausbreitung von massebehafteten Partikeln auszeichnen, sind die Sedimentation (das Absinken der Partikel im Trägerstrom), die Deposition (die Ablagerung von Partikeln) und das Anhaften an Oberflächen.

Methode

Grundlage für das Ausbreitungsmodell ist NaSt3D. Dieses Rechenprogramm wurde am Institut für Landtechnik in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für angewandte Mathematik der Universität Bonn entwickelt. NaSt3D berechnet zeitabhängige Luftströmungen sowie den Transport von luftfremden Stoffen darin durch direktes Lösen der Navier-Stokes-Gleichungen.

Ziel des Modells war es, Zeitreihen der Geruchsstoffkonzentration im Nahbereich emittierender Anlagen zu berechnen. Mit den so gewonnenen Daten lassen sich Geruchsausbreitungsmodelle kalibrieren.

Die Ausbreitung wird dabei über virtuelle Partikel berechnet, deren Bewegung zeitgleich mit der Strömungsrechnung ermittelt wird. Dieses Vorgehen bietet sich an, um auch Aerosole zu erfassen. Jedes berechnete Partikel ist dabei ein eigenständiges physikalisches Objekt, dem bestimmte Eigenschaften zugeordnet werden können. In jedem Zeitschritt der Rechnung werden die Eigenschaften der Partikel ausgewertet, die Zeitschritte betragen in der Regel einige Millisekunden.

Das für Geruchsstoffe entwickelte Modell musste für die Simulation von Aerosolen in einigen Punkten modifiziert werden.

Ein wesentlicher Punkt war die Implementierung der Sedimentation.

Diese kann bei diesem Rechenverfahren durch einfache Vektoraddition in senkrechter Richtung implementiert werden, die der lokalen Windgeschwindigkeit überlagert ist. Dieses Verfahren ist zulässig, da die Relaxationszeiten bis zum Erreichen der Endgeschwindigkeit in der Größenordnung 10^{-5} Sekunden liegen.

Dr. Oliver Wallenfang ist wissenschaftlicher Assistent, Dipl.-Phys. Gregor Schmitt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und Prof. Dr. Wolfgang Büscher ist Institutsdirektor und Leiter der Abteilung „Verfahrenstechnik der Tierischen Erzeugung“ am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn; e-mail: wallenfang@uni-bonn.de
Dr. Bernd Diekmann ist Privatdozent am Physikalischen Institut der Universität Bonn, Nussallee 12, 53115 Bonn

Schlüsselwörter

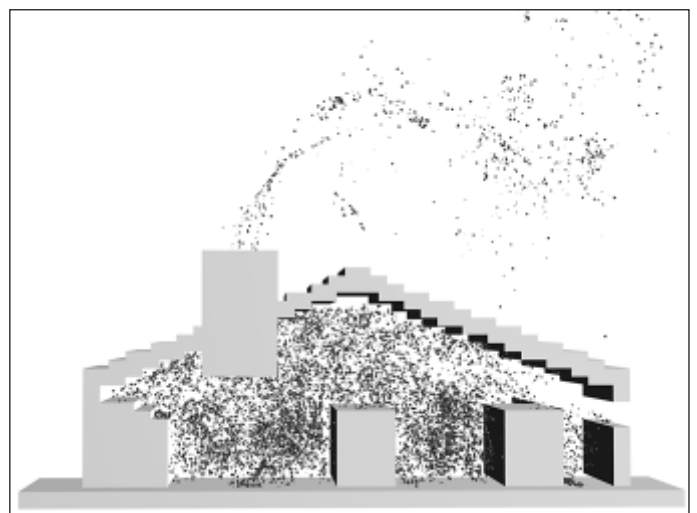
Staub, Simulation, Ausbreitungsrechnung

Keywords

Dust, simulation, dispersion modelling

Bild 1: Schnitt des modellierten Volierenstalls mit simulierten Partikeln (große Partikel entsprechen höheren Sinkgeschwindigkeiten)

Fig. 1: Profile of the modelled aviary house with simulated particles (bigger particles represent higher descending velocities)



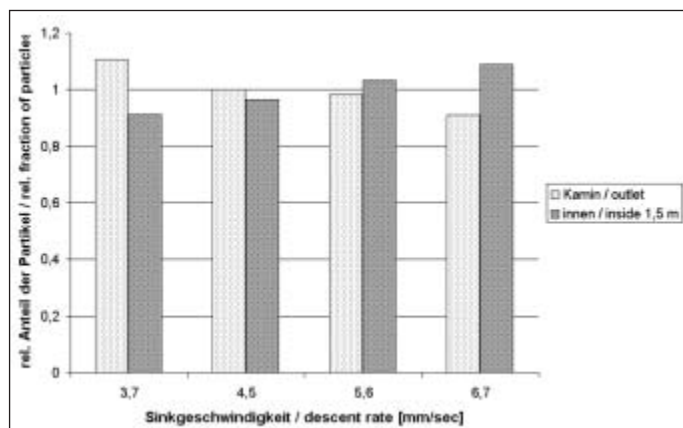


Bild 2: Anteil der Partikel-Größenklassen gemessen im Kamin und im Innenraum

Fig. 2: Percentage of particle classes in the outlet and inside the aviary house

Die mittleren Sinkgeschwindigkeiten verschiedener Staubgrößenfraktionen werden derzeit mit realen Stäuben aus Tierhaltungsanlagen am Institut für Landtechnik gemessen. Die so gewonnenen Daten fließen in das Modell ein. Die Sinkgeschwindigkeit wird im Modell abhängig von der Korngröße berechnet.

Die Deposition, also das Anhaften der Partikel an Oberflächen, wird ebenfalls für jedes Partikel einzeln berechnet.

Hierbei müssen im Modell mehrere Fälle unterschieden werden. Kommt ein Partikel in Kontakt mit einem Hindernis, wird es mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit daran haften bleiben, im Modell wird es dann zahlenmäßig erfasst und bleibt bei der weiteren Rechnung unberücksichtigt.

Da es leider zurzeit unmöglich ist, durchlässige Hindernisse wie Bäume oder Sträucher in allen Einzelheiten zu modellieren, wird hier eine Haftwahrscheinlichkeit für das gesamte Volumen angenommen.

Der Parameter der Haftwahrscheinlichkeit muss empirisch bestimmt werden, hierzu sind Messungen mit zwei baugleichen Staubmessgeräten geplant, die zeitgleich die Staubkonzentrationen vor und hinter einem solchen Hindernis messen können.

Validierung

Die Vorhersagen eines Prognosemodells müssen mit realen Messungen verglichen werden. Stimmen die Prognosen mit den Messungen im Rahmen der nötigen Vereinfachungen überein, so kann man das Modell als validiert betrachten.

Für gasförmige Emissionen wie Geruch wurde die Validierung von NaSt3D bereits durchgeführt [2].

Die Staubmessungen im Außenbereich zur Überprüfung des Modells gestalten sich sehr schwierig. Zum einen ist die Staubkonzentration in einiger Entfernung der Quelle sehr niedrig, zum anderen wird der emittierte Staub mit Umgebungsstaub gemischt und ist schlecht zu quantifizieren.

Um diese Schwierigkeit zu umgehen, werden zwei Möglichkeiten derzeit in Betracht gezogen:

- Der im Außenbereich gesammelte Staub wird mikroskopisch untersucht. Es gibt Anzeichen dafür, dass sich der Anteil des Stallstaubs so ermitteln lässt.
- Im Stall wird Staub einer definierten Dichte freigesetzt, die sich von der des restlichen Staubs deutlich unterscheidet. Der Anteil dieses Staubes kann dann durch Vergleich der Gravimetriefaktoren ermittelt werden.

Eine weitere Möglichkeit das Modell zu validieren besteht darin, Voraussagen über das Emissionsgeschehen zu treffen und diese an realen Ställen nachzuprüfen.

Um gasförmige Emissionen wie Geruch und Ammoniak zu bestimmen, misst man in aller Regel die Konzentration des betreffenden Stoffes im Innenraum und multipliziert diese mit der Luftfrate.

Aufgrund der Sedimentation liegt die Vermutung nahe, dass diese Vorgehensweise zumindest bei Stallanlagen mit Firstentlüftung nicht auf die Staubausbreitung übertragen werden kann. Um diesen Effekt zu untersuchen, wurde ein Volierenstall für Legehennen simuliert, der über neun Deckenventilatoren entlüftet wird.

Der Stall hat die Außenmaße 7,5 m • 94 m, die Zuluftführung erfolgt über Öffnungen in der Seitenwand. Die Strömungsgeschwindigkeit in den Abluftventilatoren beträgt 9 m/s und entspricht der maximalen Luftfrate des Stalls.

Die Staubfreisetzung wurde gleichmäßig im unteren Bereich des Stallinneren angelegt, der Staub besteht dabei aus vier Fraktionen mit einer Sinkgeschwindigkeit von 3,7, 4,7, 5,6 und 6,7 mm/s.

Bild 1 zeigt einen Schnitt durch das modellierte Gebäude.

Diese Zahlenwerte wurden von G. Schmitt an unserem Institut als Sinkgeschwindigkeiten für Mehlstaub ermittelt.

Zum Vergleich wurden Staubmessungen an einem solchen Stall mit zwei baugleichen

Aerosol-Spektrometern in einem Abluftkamin und im Innenraum nach VDI [3, 4] durchgeführt.

Bild 2 zeigt das Verhältnis der Partikelkonzentrationen in den Abluftkaminen und im Innenraum in 1,5 m Höhe gegenüber der Gesamtkonzentration. Das Verhältnis der langsam sinkenden Partikel im Abluftstrom sowie das der schneller sinkenden Partikel im Innenraum ist deutlich erhöht.

Dieser Effekt konnte durch die Messungen bestätigt werden. Allerdings ergaben die Messungen auch eine deutliche Differenz der Gesamtmenge an emittiertem Staub, die von der Rechnung nicht vorhergesagt wird.

Vermutlich wird die Verminderung der Partikelanzahl durch Agglomeration, also das Verkleben von Partikeln untereinander, erreicht. Da bis jetzt keine Interaktionen der Partikel untereinander modelliert werden können, bleibt dieser Effekt bei der Rechnung unberücksichtigt.

Die Durchführung der Messungen und deren Ergebnisse werden in der nächsten Ausgabe der LANDTECHNIK vorgestellt [5].

Fazit und Ausblick

Das Modell NaSt3D enthält Ansätze, um die wesentlichen Effekte der Staubausbreitung zu berechnen. Die Berechnung der Emission und der Immission wird auch weiterhin getrennt erfolgen müssen, da nicht alle Prozesse, die im Stallinnern Staub erzeugen oder vermindern, modelliert werden können.

Die erforderlichen Modellparameter müssen in weiteren, bereits in der Planung befindlichen Untersuchungen ermittelt werden.

Literatur

- Bücher sind mit • gezeichnet
- [1] Bundesimmissionsschutzgesetz: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Technische Anweisung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 24. 7. 2002, GMBI (2002), H. 25-27, S. 511-605
 - [2] Boeker, P., M. Wittkowski, O. Wallenfang, F. Koster, M. Griebel, B. Diekmann und P. Schulze Lammer: Tracermessungen zur Validierung von Geruchsmodellen. Agrartechnische Forschung 7 (2002), Nr. 2, S. 32-36
 - [3] VDI Richtlinie 2066: Messen von Partikeln, Staubmessungen in strömenden Gasen. DIN-VDI-Taschenbuch 335 Luft-Analyseverfahren. Emissionstechnik. Staubmessung in strömenden Gasen (1975-1999), ISBN 3-410-14240-1
 - [4] • VDI-Richtlinie 2080: Messverfahren und Messgeräte für Raumlufttechnische Anlagen. VDI-Handbuch Lüftungstechnik, 1984
 - [5] Schmitt, G.: Partikelkonzentration in der Stallabluft - Ein Vergleich mit der Innenraumkonzentration. Landtechnik 59 (2004), H. 6 (in Vorbereitung)