

Ausbreitung von Gerüchen und biogenen Aerosolen

Prognose mit einem angepassten Modell

Zur Prognose von Umweltbelastungen durch Tierhaltungsanlagen sind Modelle zur Simulation der Ausbreitung von Gerüchen und anderen Fremdstoffen ein wichtiges Werkzeug geworden.

Die rasante Computerentwicklung ermöglicht es, Stallanlagen und ihre Umgebung realitätsnah in einem Rechenmodell abzubilden, um detaillierte Informationen über die Strömungsverhältnisse und das Ausbreitungsverhalten von Schad- und Geruchsstoffen zu erhalten. Nachfolgend soll der Stand der Technik solcher Modelle aufgezeigt und der Fortschritt des von der Bonner Arbeitsgruppe entwickelten Modells NaSt3D erläutert werden.

Dr. Oliver Wallenfang und Dr. Peter Boeker sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der Universität Bonn (Leitung Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers), Nussallee 5, 53115 Bonn, e-mail: wallenfang@uni-bonn.de. Prof. Dr. Wolfgang Büscher leitet die Abteilung „Verfahrenstechnik in der tierischen Erzeugung“ am obigen Institut. PD Dr. Bernd Diekmann ist Privatdozent am Physikalischen Institut der Universität Bonn.

Schlüsselwörter

Geruchsausbreitung, Ausbreitungsmodell, Zeitreihe, Sedimentation

Keywords

Odour dispersion, dispersion model, time series, sedimentation

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 02526 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Grundlage der meisten Ausbreitungsmodelle ist eine Transportgleichung der Form (f1). Diese beschreibt bei einem gegebenen Windfeld das Verhalten eines Konzentrationsfeldes.

$$\frac{\partial c(\vec{x}, t)}{\partial t} = -\vec{u} \text{ grad } c + \lambda \Delta c(\vec{x}, t) + Q \quad (f1)$$

- $c(\vec{x}, t)$ Konzentration am Ort \vec{x}
- \vec{u} Windfeld
- λ Diffusionsparameter
- Q Quelle

Die einfachste, realistische Form eines Windfeldes ist kollinear, also innerhalb waagerechter Schichten konstant. Solche Windfelder existieren in höheren Luftschichten oder über Flächen mit gleichmäßig niedrigem Bewuchs und ohne Bebauung.

$$c(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u_x \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left(e^{-\frac{z-\lambda y^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+\lambda y^2)}{2\sigma_z^2}} \right) \quad (f2)$$

- Q Emissionsstrom in kGE/h
- u_h Windgeschwindigkeit in Richtung der x-Achse in m/s
- h effektive Quellhöhe
- $\sigma_y = F \cdot x^f$ Ausbreitungsparameter in m
- $\sigma_z = G \cdot x^g$ Ausbreitungsparameter in m

Unter diesen Voraussetzungen lässt sich die Gleichung analytisch lösen (f2) [2]. Die einzelnen Parameter dieses als Gauß-Modell bezeichneten Verfahrens lassen sich einschlägigen Richtlinien (etwa TA-Luft) entnehmen.

Der große Vorteil des Gauß-Modells besteht in seinem sehr kleinen Rechenbedarf. Leider können in diesem Modell keine Effekte durch Hindernisse, zum Beispiel die emittierenden Stallanlagen selbst oder nahe gelegene Gebäude, eingebunden werden, so dass der Einsatz auf zwangsbelüftete Ställe mit hohen effektiven Quellhöhen und die Konzentrationsprognose ab 100m Entfernung beschränkt ist.

Alternativ zu den vorgefertigten Parametern können auch eigene Werte ermittelt werden, die dann auf spezielle Gegebenheiten wie niedrige Quellhöhen oder vorhandene Bebauung Rücksicht nehmen [3]. Unser Programm NaSt3D kann dazu beitragen, solche Parameter zu bestimmen.

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \text{ grad } \vec{u} = \vec{f} - \frac{1}{\rho} \text{ grad } p + \nu \text{ div grad } \vec{u} \quad (f3)$$

- \vec{u} Windfeld

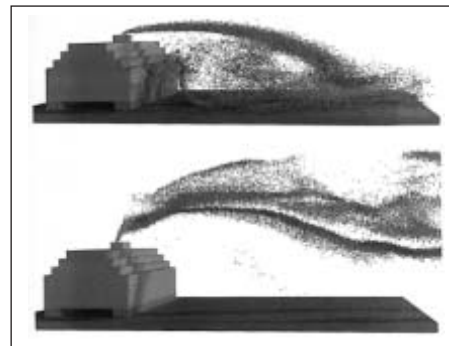


Bild 1: Simulation der Ausbreitung hinter einem angeströmten Stallgebäude bei verschiedenen Anströmgeschwindigkeiten

Fig. 1: Simulation of dispersion behind a building - with flow against it - at different flow velocities

- \vec{f} Äussere Massenkräfte (Gravitation)
- ρ Dichte des Mediums (Luft)
- p Druck
- ν Kinematische Viskosität

Statische numerische Modelle

Um diese Hindernisse einzubeziehen, sind weitere Kenntnisse über das Windfeld nötig, das physikalisch über die Navier-Stokes-Gleichungen beschrieben wird (f3). Diese Gleichungen sind nicht mehr analytisch lösbar, so dass sie bis zur Entwicklung von Computern eher einen akademischen Charakter besaßen.

Mit der Verfügbarkeit der ersten Rechenmaschinen wurden numerische Lösungsverfahren erarbeitet, die sich für die Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen eignen. Zur Beschreibung des Windfelds wird das Ausbreitungsgebiet in ein Gitter zerlegt und die entsprechenden physikalischen Größen auf diesem berechnet.

Um die Rechenleistung zu bewältigen, wurden Turbulenzmodelle entwickelt, die die turbulenten Anteile der Strömung von der durchschnittlichen Strömung abtrennen und getrennt behandeln. Dadurch wurden erheblich kleinere Rechenzeiten und eine erhöhte Stabilität der Programme möglich. Allerdings verliert man bei diesem Verfahren die zeitliche Information, die gerade bei der Prognose von Geruchsbelästigungen erforderlich ist.

Die Berechnung der Ausbreitung wird im Anschluss an die Strömungsrechnung, durch Lösen der Transportgleichung (f1), durchge-

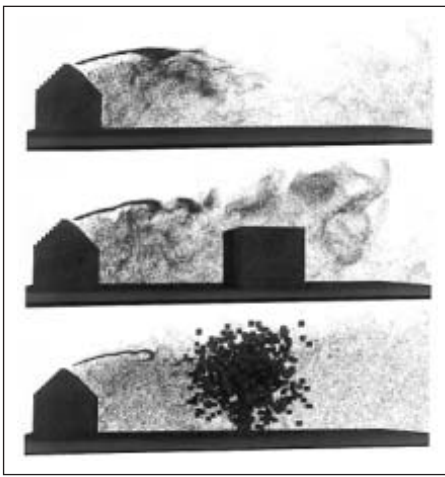


Bild 2: Simulation der Auswirkung verschiedener Hindernisse auf die Ausbreitung der Emissionen eines Stallgebäudes

Fig. 2: Simulation of the effect of various obstacles on dispersion of emissions from a stable

führt und liefert ebenfalls nur Durchschnittswerte. Hierbei treten insbesondere bei grossen Verdünnungen zwischen Quelle und Immissionsort Effekte auf, die numerisch in der Rechnung auf Gittern begründet sind (numerische Diffusion) und das Ergebnis verfälschen können.

Diese Modelle erlauben auf heutigen Rechnern sehr schnelle Berechnungen unter Berücksichtigung der speziellen örtlichen Gegebenheiten. Um Geruchsimmissionen zu prognostizieren, sind allerdings weitere Modelle nötig, die den Übergang von Durchschnittskonzentrationen zur Überschreitung der Geruchsschwelle herstellen.

Auch die Parameter dieser Überschreitungsmodele können mit dem Bonner Modell NaSt3D bestimmt werden (Bild 3). Die so für Prognosefälle bestimmten Parameter sind besonders bei der Bewertung von Anlagen im Planungsstadium vorteilhaft, bei denen keine Begehungen oder Messungen zur Kalibration durchgeführt werden können, in diesen Fällen war man bisher auf Windkanalversuche angewiesen [4].

Zeitabhängige numerische Berechnung

In enger Zusammenarbeit des Instituts für Landtechnik der Universität Bonn mit dem Physikalischen Institut und dem Institut für angewandte Mathematik ist das Modell NaSt3D (Navier Stokes in 3 Dimensionen) entstanden, das ohne Turbulenzmodelle auskommt.

Die nötige Stabilität der Rechnungen wird durch speziell angepasste Lösungsalgorithmen erreicht und die Rechengeschwindigkeit durch die Parallelprogrammierung und den Einsatz auf vernetzten Rechnern so weit gesteigert, dass vertretbare Rechenzeiten realisierbar sind.

Über Messungen mit SF₆ als Tracergas und einer hochempfindlichen Messtechnik konnten ermittelt werden, dass eine Gitter-

auflösung von 50 cm ausreicht um die Konzentrationschwankungen realitätsnah zu modellieren.

$$\frac{d\vec{x}_p}{dt} = \alpha \vec{v}_w + \lambda \vec{e} + \vec{v}_s \quad (f4)$$

- \vec{x}_p Position eines Partikels
- α Trägheitsfaktor ($0 \leq \alpha \leq 1$)
- \vec{v}_w Lokaler Windvektor
- λ Diffusionsparameter der turbulenten Diffusion
- \vec{e} Einheitsvektor mit zufälliger Richtung
- \vec{v}_s Sedimentationsgeschwindigkeit

Zur Vermeidung der numerischen Diffusion und zum Erreichen einer höheren Flexibilität der Daten geschieht die Ausbreitungsrechnung nicht durch Lösen der Transportgleichung, sondern durch ein eigens entwickeltes Partikelmodell (f4).

Quellen werden in diesem Modell als Startpunkt eines virtuellen Partikels simuliert, das sich mit der Strömung mitbewegt, durch Diffusion von der Idealbahn abweicht und durch äußere Kräfte absinkt. Die Sinkgeschwindigkeit ist dabei für einen Partikel konstant, da sich Reibungs- und Gravitationskräfte schon bei sehr kleinen Geschwindigkeiten die Waage halten. Der Rückschluss auf eine Konzentration geschieht einfach durch Zählen der Partikel in einem Testvolumen, das nicht mehr an das Rechengitter gebunden ist.

Dieses Verfahren bietet hohe Flexibilität bei der Simulation verschiedener Quelltypen und der physikalischen Vorgänge während der Ausbreitung.

Möglichkeiten des Modells NaSt3D

Der Vorteil dieses Modells gegenüber anderen besteht darin, dass die Ausbreitung zeitlich parallel zur Strömung berechnet wird, und so die Zeitcharakteristik bei der Überschreitung der Geruchsschwellenkonzentration direkt simuliert werden kann.

Ein Beispiel für die Leistungsfähigkeit des Modells liefert die Überprüfung der „Fahnenüberhöhung“, die in die Berechnung der effektiven Quellhöhe des Gaußmodells eingeht (Bild 1). Hier zeigt sich, dass bei Quellen, die dicht über dem First liegen, wie an den meisten landwirtschaftlichen Stallungen, erst bei sehr hohen Austrittsgeschwindigkeiten von einer tatsächlichen Überhöhung ausgegangen werden darf. In den meisten Fällen wird diese vollständig durch das Herunterwaschen der Strömung direkt hinter der Stallung (down-wash-Effekt) überlagert, so dass diese Quellen als bodennahe Quellen betrachtet werden müssen.

Ebenfalls lassen sich auch Hindernisse simulieren, die nicht geschlossen sind. Bild 2 zeigt zum Beispiel den Unterschied im Ausbreitungsverhalten hinter einem festen Hin-

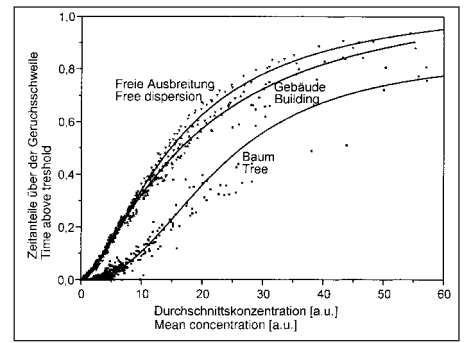


Bild 3: Statistische Auswertung der Konzentrationszeitreihen in Bezug auf Durchschnittskonzentration und Überschreitungsdauer eines Schwellenwertes

Fig. 3: Statistical evaluation of the concentration series in respect to average concentration or surpassing time of a threshold value

dernis und einem durchlässigen. Bei gleichen Durchschnittskonzentrationen unterscheiden sich die Spitzenwerte deutlich, so dass unter bestimmten Randbedingungen eine Geruchsbelästigung durch eine durchlässige Barriere verhindert werden kann. Dies zeigt sich besonders stark bei einer statistischen Auswertung (Bild 3), hier werden Durchschnittskonzentrationen im Zusammenhang mit Überschreitungshäufigkeiten eines Schwellenwertes untersucht.

Auch durchströmte Emittenten wie Außenklimaställe sind mit diesem Modell berechenbar.

Aerosole

Durch das Partikelmodell ist NaSt3D auch dafür geeignet, Aerosolausbreitung wie zum Beispiel Stäube oder Bakterien zu berechnen. Lediglich die Parameter der Sedimentationsgeschwindigkeit und deren statistischer Verteilung gemäß der Massenverteilung des betrachteten Aerosols sowie des Parameters α müssten in weiteren Arbeiten experimentell bestimmt werden.

Ebenso wäre es notwendig, Untersuchungen über die Freisetzung der Aerosole in Abhängigkeit der Wetterlagen, der relativen Feuchtigkeit des Bodens und der Tageszeit durchzuführen, um konkrete Aussagen über die Staubbelastung in der Umgebung von Geflügelhaltungen mit dem Modell NaSt3D treffen zu können. Diese Arbeiten befinden sich in der Vorbereitungsphase.

Weitere Arbeiten und Ausblick

Weitere Arbeiten am Institut für Landtechnik beschäftigen sich mit der Entwicklung von Multigassensoren, so genannten „elektronischen Nasen“. Diese sollen dazu dienen, in Genehmigungsverfahren aufwendige Begehungen zu ersetzen und Quellstärken für Berechnungen zu ermitteln. Diese Sensoren arbeiten mit einer Anzahl verschiedener unspezifischer Gassensoren, deren Zusammenspiel mit einem Geruchseindruck in Verbindung gebracht werden kann.