

# Ausbreitungsmodellierung von Gerüchen mit zeitaufgelösten Modellen

*Das hier vorgestellte neue Geruchsausbreitungsmodell basiert auf dem Programmpaket NaSt3D und ist durch spezielle Modifikationen an die Geruchsausbreitung angepasst.*

*Mit dem Modell sind zeitaufgelöste Berechnungen möglich, damit kann die für die Geruchswahrnehmung wichtige Frage der Konzentrationsfluktuation ohne modellfremde Hilfsannahmen mitberechnet werden. Das Geruchsausbreitungsmodell enthält einen verbesserten Advektions-Diffusions-Ansatz mit Approximation höherer Ordnung und einen Lagrange-Ansatz zur Partikelmodellierung.*

Dr. Peter Boeker ist Oberingenieur am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn, e-mail: boeker@uni-bonn.de  
Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers ist Leiter der Abteilung Bioprozesstechnik, Dipl.-Phys. Oliver Wallenfang ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am gleichen Institut, Dr. Bernd Diekmann ist Privatdozent am Physikalischen Institut der Universität Bonn.  
Das Projekt wird von der DFG gefördert.

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

## Schlüsselwörter

Geruch, Ausbreitungsmodell, Lagrange Partikel Modell

## Keywords

Odour, diffusion, model, Lagrange particle model

Literaturhinweise sind unter LT 00412 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Messung und Prognose von Immissionen im Umfeld von Geruchsquellen stellen ein besonderes Problem dar. Die Belästigung durch Gerüche ist nicht durch einen mittleren Stoffeintrag, sondern durch die jeweils über der Geruchsschwelle liegenden Zeitanteile definiert. Hierdurch ergibt sich die besondere Schwierigkeit der Messung und der rechnerischen Prognostik im Gegensatz zu anderen gasförmigen Stoffeinträgen. Integrierende oder mittelnde Messverfahren erfassen nicht die Grenzwertüberschreitungen, übliche Berechnungsprogramme sind auf die Berechnung von Mittelwerten hin konzipiert.

Für die Messung ist man daher weiterhin auf die menschliche Nase angewiesen, sei es im Zuge von Begehungen im Umfeld oder bei Messungen am Olfaktometer. Die Ausbreitungsrechnung verwendet Modellansätze, die unter Zuhilfenahme von empirischen Ansätzen die Schwankungen um den Mittelwert berechnen. In allen strittigen Genehmigungsverfahren ist diese Situation sehr unbefriedigend, da mit der Wahl der Zusatzannahmen erhebliche Änderungen der Modellvorhersagen verbunden sind.

Erstrebenswert sind daher Modelle für die Geruchsausbreitung, die sowohl eine detaillierte Windströmungsberechnung auch im komplexen, bebauten Gelände, als auch eine simultane Berechnung der lokalen Geruchstoffkonzentration zu jedem Zeitpunkt durchführen. Vor wenigen Jahren waren solche Forderungen noch Utopien, mit den neuen Rechnergenerationen und vor allem durch schnelle, parallelisierte Berechnungsalgorithmen ist eine solche Vorgehensweise nun möglich geworden.

Im Beitrag wird das neue Geruchsausbreitungsmodell NaSt3D im Kontext des aktuellen Standes der Berechnungsmethoden anhand von Beispielrechnungen vorgeführt.

## Übersicht über aktuelle Methoden

Basis der üblichen Ausbreitungsprognosen sind Modelle des Gauß-Typs. Sie beschreiben die Verteilung eines freigesetzten Stoffes im Windfeld durch Ausbreitungskeulen mit angegebener geometrischer Form. Die Keulenform ist durch eine gaußförmige Konzentrationsverteilung in beiden Quer-

richtungen charakterisiert, daher der Name Gaußmodell. Die Modellvoraussetzungen des Gaußmodells sind sehr rigide: ungestörte Ausbreitung, keinerlei Hindernisse im Ausbreitungsfeld, konstante Windrichtung und -geschwindigkeit. Um das Gaußmodell an die Realität anzukoppeln, sind Parametersätze nötig, die für unterschiedliche Ausbreitungsklassen durch aufwendige Kalibrierungsmessungen erstellt worden sind. Ein Vorteil der Gaußmodelle, der deren dominierende Stellung bedingt, ist die schnelle Berechenbarkeit. Für jeden Geländepunkt ist die Immissionskonzentration direkt analytisch gegeben, selbst komplette Jahresprognosen über eine Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik sind sehr schnell berechnet.

Besonders im Nahbereich um Geruchsquellen sind mit Gaußmodellen keine tragfähigen Ergebnisse zu erzielen. Daher werden hier Euler-Ausbreitungsmodelle auf Basis von numerischen Gittermodellen verwendet. Als Beispiel für ein solches Modell wird hier das Modell MISKAM herangezogen. MISKAM berechnet die Windströmungen auf einem Berechnungsgitter (typisch 40•40•20 Gitterzellen) mit den Navier-Stokes Gleichungen. Im Gitter können Strömungshindernisse, wie Gebäude und Bepflanzungen, durch entsprechendes Besetzen der Gitterzellen angenähert dargestellt werden. Das von MISKAM berechnete Strömungsfeld ist durch die gewählten Randbedingungen und die begrenzte Gitterzahl für jede Windrichtung und Geschwindigkeit stationär, kleinere Turbulenzen werden also nicht aufgelöst. Erst im zweiten Schritt berechnet MISKAM die Stoffausbreitung mit einem Advektions-Diffusions-Ansatz. Die von MISKAM für jede Gitterzelle schließlich berechneten Konzentrationen stellen daher auch mittlere Werte dar, und müssen zur Geruchsprognose wie bei den Gaußmodellen mit einem Ansatz zur Überschreitungshäufigkeit kombiniert werden.

Typische Ansätze zur Berechnung der Geruchsschwellen-Überschreitung sind das Faktor 10 Modell nach TA-Luft [1] und der Ansatz BAGEG [2]. Das Faktor 10 Modell setzt den Grenzwert für einen mit überschwelligem Geruch belasteten Zeitraum bei einem berechneten Mittelwert von 0,1 Geruchseinheiten (GE) an. In der Gutachten-

praxis werden der starre Faktor 10 im Zuge einer Anpassung an Begehungswerte teilweise verändert. Der Ansatz BAGEG ist analytisch begründet und bietet über einen Parameter die Möglichkeit der Anpassung an den Einzelfall. BAGEG definiert einen funktionalen Zusammenhang der mittleren Konzentration und der zugehörigen Überschreitungswahrscheinlichkeit. Durch Fahnenbegehung wird der Parameter an den Einzelfall angepasst.

Aus den dargestellten Zusammenhängen wird deutlich, dass Geruchsimmissionsprognosen über einen dreifachen Weg erhalten werden: Berechnung des Strömungsfeldes, Berechnung der Ausbreitung im Strömungsfeld und die Berechnung der Überschreitungshäufigkeit. Jeder dieser Schritte hat Unsicherheiten und empirische Voraussetzungen. Wünschenswert ist deshalb ein Modellansatz, der die drei Berechnungsschritte durchgängig integriert und damit ein angepasstes Modell speziell für die Geruchsausbreitung realisiert.

### Geruchsausbreitungsmodell NaSt3D

Die Modellbezeichnung NaSt3D [3] ist von Navier-Stokes 3-Dimensional abgeleitet. Das Modell ist, wie auch MISKAM, ein gitterbasiertes numerisches Strömungs- und Ausbreitungsmodell. Ein wesentlicher Unterschied der programmtechnischen Seite liegt in der Parallelisierung und Objektorientierung des Rechencodes. Die Parallelisierung ermöglicht eine Verteilung der Berechnungen auf mehrere Prozessoren mit entsprechender Leistungssteigerung. Die Objektorientierung hält den Programmcode offen für Erweiterungen. NaSt3D verwendet zudem schnelle numerische Lösungsverfahren des letzten Entwicklungsstandes. Diese programmtechnischen Möglichkeiten werden ergänzt durch freigehaltene Randbedingungen, die im Unterschied zu MISKAM die realitätsnahe Simulation ermöglichen.

Die Trennung zwischen Strömungsrechnung und Ausbreitungsrechnung ist bei NaSt3D aufgehoben. Die numerische Berechnung erfolgt in (sehr kleinen) Zeitschritten. In jedem dieser Schritte wird die Entwicklung der Strömung durch die Navier-Stokes Gleichung und die zugehörige Ausbreitung durch ein Ausbreitungsmodell berechnet. In der Regel wird daher eine NaSt3D Berechnung nie völlig stationär werden (welches das Abbruchkriterium bei MISKAM ist), sondern die durch Turbulenzen erzeugten Fluktuationen wiedergeben. Durch das simultane Berechnen der Stoffausbreitung in den Strömungen werden damit auch die Konzentrationsfluktuationen über die Zeit berechnet. Mit dieser Zeitreihe steht ganz direkt, ohne eine Modellergän-

zung wie das Faktor 10 Modell, die Häufigkeitsverteilung des Geruchsimmissionswertes zur Verfügung.

Durch die simultane Strömungs- und Ausbreitungsberechnung kann NaSt3D zudem auch mit wechselnden Einströmbedingungen rechnen. Schwankungen der Windrichtung resultieren im Mäandern der Geruchsfahne und damit in stark schwankenden Immissionswerten, wenn eine solche mäandrierende Fahne den Immissionsort überstreicht. Dieses Mäandern kann mit bisherigen Modellen nicht dargestellt werden.

Für NaSt3D stehen zwei verschiedene Ausbreitungsmodelle zur Verfügung, ein verbesserter Advektions-Diffusions Ansatz und ein Lagrange Ansatz, der im Folgenden näher beschrieben wird.

### Lagrange-Partikel Ansatz

Für die Geruchsausbreitung besonders geeignet ist die Ausbreitungsberechnung mit einem Lagrange-Partikel Modell. Simultan zur Berechnung der Strömung werden die Bahnkurven von virtuellen Teilchen mit jeweils frei definierbarer Masse verfolgt. Um über die Teilchenzahldichten wieder auf Konzentrationen zurückrechnen zu können, müssen eine große Zahl von Teilchen (einige 100000) berechnet werden. Durch die Interpolation des Strömungsfeldes in den Gitterzellen tritt kein der numerischen Diffusion vergleichbarer Effekt auf, der bei Euler-Modellen nur mit hohem numerischen Aufwand zu kontrollieren ist. Die Ausbreitungsberechnung ist daher von der Gitterorientierung unabhängig. Das Lagrange Modell hat für die Geruchsproblematik weitere Vorteile. Das Verhalten von staubgebundenen Geruchsstoffen kann über die frei wählbare Masse besser simuliert werden. Im Gegensatz zu Gasen ist damit die Sedimentation darstellbar. Über das individuelle Alter von Teilchen können chemische Änderungen erfasst werden, etwa die Oxidation von Geruchsstoffen.

### Einsatz von NaSt3D in Ausbreitungsrechnungen

Das Modell NaSt3D ist in Kombination mit dem Lagrange-Partikel Modell in der Lage, sehr detaillierte Informationen zu liefern. Die Strömungsvorgänge im Nahbereich mit Bebauungen und weiteren Strömungshindernissen sind besonders problematisch und mit herkömmlichen Gaußmodellen nicht zu bearbeiten. Zur Illustration ist in *Bild 1* die unterschiedliche Ausbreitung aus einer hohen Quelle und einer niedrigen Quelle dargestellt. Während die hohe Quelle eine wenig verteilte Fahne erzeugt, werden durch den Wash-down Effekt die Emissionen einer

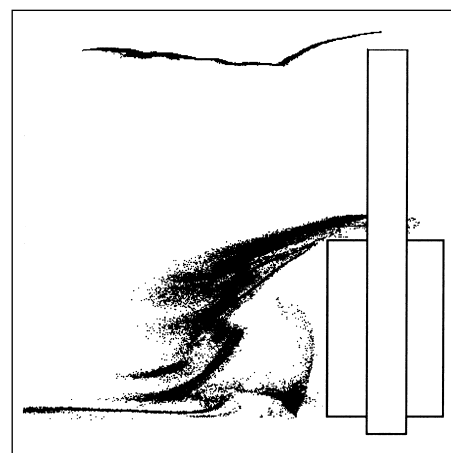


Bild1: Ausbreitung hinter einer hohen und einer niedrigen Emissionsquelle

Fig. 1: Dispersion behind a low and a high emission source

niedrigen Quelle hinter dem Gebäude heruntergeführt, teils verteilt und teils in einem Rückströmgebiet akkumuliert.

Das Mäandern der Ausbreitungsfahnen ist in *Bild 2* dargestellt. Die Berechnung wurde mit den gemessenen Winddaten während eines Tracer-Ausbreitungsversuchs durchgeführt. Die schwankenden Windrichtungen und -geschwindigkeiten sind als Eingangsdaten bei der Berechnung verwendet worden. Die Ausbildung einer mäandrierenden Fahne ist deutlich zu erkennen.

### Zusammenfassung und Ausblick

Mit NaSt3D ist ein neues, speziell an die Geruchsausbreitung angepasstes Prognoseprogramm verfügbar. Das Programm integriert das Strömungs- und Ausbreitungsmodell und das Modell zur Überschreitungswahrscheinlichkeit. Zurzeit wird an der Kalibrierung des Modells NaSt3D mit Tracerversuchen gearbeitet, um den Einfluss der Dissipationsenergie zu bestimmen. Zur Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit werden zudem Eingabeschnittstellen der Topologien und Quellenkonfigurationen und ein Programm zur Jahresimmissionsprognose entwickelt.

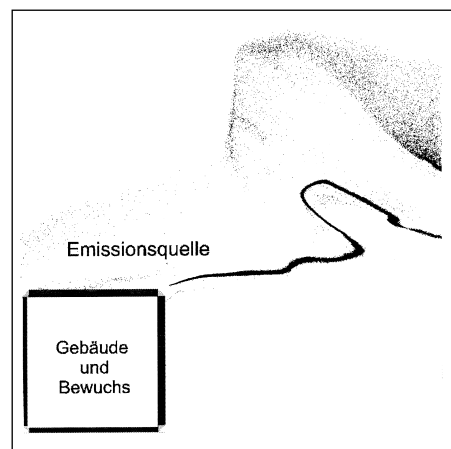


Bild 2: Mäandrierende Ausbreitungsfahne im Modell NaSt3D

Fig. 2: Meandering odour plume in model NaSt3D