

Peter Boeker, Peter Schulze Lammers, Oliver Wallenfang, Martin Wittkowski, Bernd Diekmann, Michael Griebel und Frank Koster, Bonn

# Tracermessungen zur Validierung von Geruchsmodellen

*Ausbreitungsmodelle sind computerbasierte numerische Modelle, die speziell für die Prognose des Ausbreitungsverhaltens von Stoffen in natürlichen Windströmungen aufgestellt werden. Durch die erforderlichen Vereinfachungen und Zusatzannahmen müssen die Simulationsergebnisse mit Realdaten verglichen werden, um die Gültigkeit des Modells nachzuweisen (Validierung). Für das Ausbreitungsmodell NaSt3D wurden Freilandmessungen durchgeführt. Modellrechnungen und Messungen ergaben eine gute Übereinstimmung und bestätigen die Einsetzbarkeit des Modells NaSt3D für die Geruchsausbreitungssimulation.*

Dr. Peter Boeker ist Oberingenieur am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn; e-mail: boeker@uni-bonn.de.  
Prof. Peter Schulze Lammers ist Leiter der Abteilung Bioprozesstechnik, Dipl.-Phys. Oliver Wallenfang und Martin Wittkowski sind wissenschaftliche Mitarbeiter am gleichen Institut.  
Dr. Bernd Diekmann ist Privatdozent am Physikalischen Institut der Universität Bonn.  
Prof. Michael Griebel ist Leiter der Abteilung Wissenschaftliches Rechnen und Numerische Simulation des Instituts für Angewandte Mathematik, Dipl.-Math. Frank Koster ist dort wissenschaftlicher Mitarbeiter.  
Dieses Projekt 74151 wird von der DFG gefördert.  
**Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET.com.**

## Schlüsselwörter

Geruchsmodelle, Validierung, Messtechnik

## Keywords

Odour models, validation, measuring techniques

Literaturhinweise sind unter LT 01207 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Methode der Modellierung von komplexen Systemzusammenhängen hat sich zu einem neuen Zweig der angewandten Naturwissenschaft entwickelt [1]. Hohe verfügbare Rechnerleistungen ermöglichen ganzheitliche Systemanalysen und Systemmodelle, die zur Prognose realer Zusammenhänge eingesetzt werden. Unter Modellen werden hier insbesondere die computerbasierten numerischen Modelle verstanden.

In der angewandten Naturwissenschaft werden computerbasierte Modelle zu Simulationen eingesetzt. In diesem Zusammenhang wird auch vom "numerischen Experimentieren" gesprochen.

Die Validierung von Modellen stellt deren Eignung für die geschilderten Zwecke sicher. Die Validierung wird anhand von Realdaten durchgeführt, deren Reproduktion das Modell im Rahmen der notwendigen Präzision leisten muss.

## Ausbreitungsmodelle und Fluktuationen

Um die Immissionen von emittierten Schad- und Geruchsstoffen zu prognostizieren, werden Ausbreitungsmodelle eingesetzt.

Mit den Begriffen Emission, Transmission und Immission werden die drei Teilaspekte einer Stoffverteilung benannt. Zur Berechnung der Transmission werden Ausbreitungsmodelle eingesetzt. Verbreitet sind sogenannte Gaußmodelle, die eine analytische Lösung der Ausbreitung unter sehr vereinfachten Voraussetzungen angeben. Numerische

Modelle sind in der Lage, auf Kosten eines hohen Berechnungsaufwandes detaillierte Strömungs- und Ausbreitungsberechnungen durchzuführen. Allen bisher eingesetzten Modellen ist eigen, dass sie die Immissionsmittelwerte prognostizieren.

Gerüche werden, anders als Schadstoffeinträge, nicht vollständig durch den Mittelwert der Immissionskonzentration charakterisiert. Erst ab dem Geruchsschwellenwert beginnt die Geruchswahrnehmung, darunter liegende Konzentrationen tragen nicht zur Belästigung bei.

Modelle neuer Generation sind nun bereits in der Lage, nicht nur den Mittelwert, sondern auch die Zeitreihen der Konzentrationsschwankung zu berechnen [2]. Die Berechnung des Strömungsfeldes und der Ausbreitung wird hier nicht mehr nacheinander, sondern simultan durchgeführt. Die Strömungsberechnung erfolgt nicht stationär, so dass eine fortlaufende Verfolgung der momentanen Strömungsverhältnisse und der damit verbundenen Ausbreitung möglich ist. Ein speziell an die Geruchsausbreitung angepasstes Modell ist das Modell NaSt3D des Institutes für Angewandte Mathematik der Universität Bonn (Arbeitsgruppe Prof. Michael Griebel).

## Validierung von Ausbreitungsmodellen

Zur Validierung von Ausbreitungsmodellen sind Naturdaten nötig, die als Testdatensätze die Leistung der Modelle bewerten lassen. Je

*Bild 1: Messfahrzeug zur mobilen Tracergasmessung; 1. Ultraschall-Anemometer; 2. SF<sub>6</sub>-Tracergasmessgerät; 3. GPS-Positionsempfänger; 4. Datenerfassung und -speicherung; 5. Stromversorgung und Tracergas-Basisgerät*

*Fig. 1: Vehicle for tracer measurements: 1 ultrasound-anemometer, 2 SF<sub>6</sub>-tracer gas measuring device, 3 GPS-receiver, 4 data logging and storage, 5 power supply and tracer gas basic equipment*



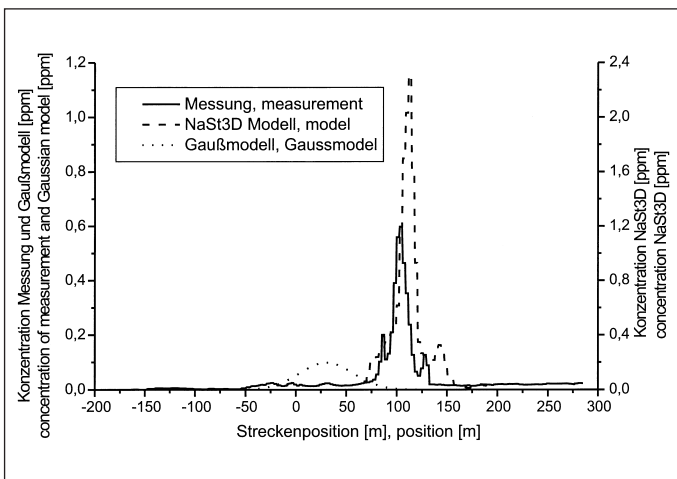


Bild 2: Messung und Simulation der Tracerkonzentration bei Fahrendurchführung

Fig. 2: Measurement and simulation of the tracer concentration across the plume

nach dem Anspruch und der Komplexität des Modells sind verschiedene Daten erforderlich. Ausbreitungsmodelle zur Prognose von Mittelwerten benötigen nur gemessene Immissionsmittelwerte, Modelle zur Simulation der Fluktuationen benötigen dagegen die Zeitreihen der Immissionen.

Bei der Gewinnung von Testdatensätzen müssen alle meteorologischen, topographischen und emissionsseitigen Daten aufgenommen werden, die Einfluss auf das Ausbreitungsgeschehen haben. Diese Daten stellen den Modellinput bei Simulationsrechnungen dar. Komplementär dazu müssen die immissionsseitigen Daten erfasst werden, die mit den Ergebnissen der Simulationsrechnungen verglichen werden.

### Tracermesstechniken

Die direkte und zeitlich hoch aufgelöste Messung von Gerüchen ist bisher nicht möglich. Elektronische Nasen, die eine Art von Geruchsmessung durchführen, sind für eine direkte Messung noch nicht empfindlich genug und für Feldmessungen bisher nicht einsetzbar. Der Weg führt deshalb über Ersatzmessgrößen. Anstelle von Geruchsstoffen werden andere Gase am Emissionsort freigesetzt, die sich empfindlich und zeitaufgelöst messen lassen.

Für Tracergase gelten einige Voraussetzungen:

- Ungiftigkeit und gute Umweltverträglichkeit
- Niedrige Hintergrundkonzentration
- Reaktionsträgheit und geringe Löslichkeit
- Leichte und empfindliche Nachweisbarkeit

Als Tracergase können Krypton [3], Propan [4] und das hier eingesetzte Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) [5] verwendet werden. Radioaktives Krypton (<sup>85</sup>Kr) kann empfindlich und schnell mit Geiger-Müller-Zählrohren gemessen werden, erfordert jedoch eine gesonderte Genehmigung. Propan ist wegen der Notwendigkeit des Explosionsschutzes am Freisetzungsort nicht unproblematisch

und lässt sich schlecht selektiv messen. Schwefelhexafluorid weist alle von einem Tracer geforderten Eigenschaften auf und wurde deshalb in der hier dargestellten Studie verwendet.

Die Messung des Tracers wurde mit einem modifizierten Lecksuchgerät (Meltron Leakmeter 200) vorgenommen. Das Gerät arbeitet mit einem ECD (electron capture detector).

### Durchführung der Messungen

#### Tracerfreisetzung

Vor der Durchführung der Messungen waren Abschätzungen bezüglich der SF<sub>6</sub>-Freisetzungsmengen und der zu erwartenden Immissionskonzentrationen erforderlich. Es wurde das Gaußmodell zur Abschätzung herangezogen, da es als validiertes Modell eine Abschätzung "auf der sicheren Seite" erlaubt.

Die Freisetzung erfolgte aus 10 kg SF<sub>6</sub>-Druckflaschen mit einer eigens zusammengestellten Anordnung aus Druckminderer, Manometer, Schwebekörpermessgerät und Regelventil.

#### Das mobile Messfahrzeug

Die Messungen der Immission wurden mit einem mobilen Messfahrzeug durchgeführt. Der Weg wurde gewählt, da bei den im Allgemeinen schwankenden Windrichtungen eine stationäre Messung entweder ein häufiges Umsetzen der Messausrüstung oder eine Vielpunktmessung erfordert. Die Basis des Messfahrzeugs ist ein vierradgetriebenes Geländefahrzeug mit Aufnahmeplattformen für Messgeräte (Bild 1).

Neben der Tracergasmessung werden die lokalen Winddaten mit einem Ultraschall-Anemometer aufgezeichnet. Die Position liefert ein GPS-Positionsempfänger mit einer Genauigkeit von etwa 1 m. Die Daten werden von einem Notebook synchronisiert und mit einer Messrate von 1 sec erfasst.

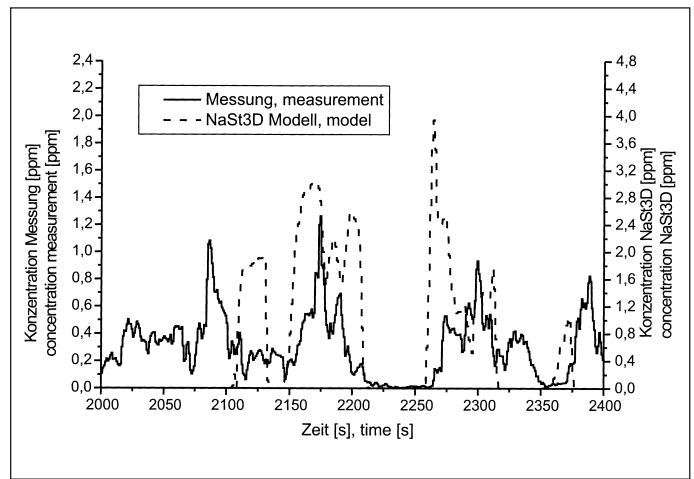


Abb. 3: Messung und Simulation der Tracerkonzentration bei stationärer Messung

Fig. 3: Stationary measurement and simulation of the tracer concentration

### Ergebnisse der Validierungsmessungen

Zur Validierung des Ausbreitungsmodells NaSt3D wurden zwei Varianten gemessen. Zur Bestimmung der Form der Ausbreitungsfahne wurden Durchfahrten und zur Bestimmung der Fluktuationen wurden lokale Messungen durchgeführt. Die Durchfahrten der Geruchsfahne erlauben es, aus der Breite die im Modell NaSt3D einstellbare Größe des turbulenten Diffusionsparameters abzugleichen. Je nach dessen Größe verteilt sich der Stoff mehr oder weniger. In Bild 2 ist das Ergebnis einer Fahrendurchführung dargestellt. Zum Vergleich ist der nach dem Gaußmodell berechnete, der gemessene und der mit NaSt3D simulierte Konzentrationsverlauf gegeben. Wie erwartet, sind die Mittelwerte nach dem Gaußmodell erheblich niedriger als die Momentanwerte einer gemessenen Konzentrationsfahne. Die zusätzlich dargestellte Simulation weist eine vergleichbare Breite der Fahne auf, überschätzt jedoch zum jetzigen Stand der Modellentwicklung (Nichteinbeziehung der thermischer Effekte) die Werte noch um das Vierfache.

Bild 3 zeigt die Messung und den Simulationsvergleich bei stationärer Messung mit verschiedenen Fahnenüberstreichungen und Intermitenzphasen (Phasen ohne Immission).

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Messung von Validierungsdaten ist besonders für Modelle mit integrierter Berechnung der Fluktuation notwendig, da wenig entsprechende Daten verfügbar sind. Die Verwendung des Tracers Schwefelhexafluorid im Freiland hat sich in Kombination mit dem modifizierten Lecksuchgerät als gangbarer Weg erwiesen. Die flexible Installation der Messausrüstung auf einem Fahrzeug ermöglicht effiziente Messeinsätze mit minimalem Verbrauchsmittelinsatz. Weitere Validierungsmessungen sind unter verschiedenen meteorologischen Bedingungen geplant.