

Tracerverfahren zur Validierung von Ausbreitungsmodellen für Geruchsemissionen

BOEKER, PETER¹; MARTIN WITTKOWSKI¹,
OLIVER WALLENFANG¹, FRANK KOSTER³, ROBERTO CROCE³,
MICHAEL GIEBEL³, BERND DIEKMANN², PETER SCHULZE LAMMERS¹

¹ Institut für Landtechnik, Universität Bonn, 53115 Bonn

² Physikalisches Institut, Universität Bonn, 53115 Bonn

³ Institut für Angewandte Mathematik, Universität Bonn, 53115 Bonn

Kurzfassung

In der Kette Emission, Transmission und Immission von Geruchsstoffen ist die Geruchswahrnehmung am Immissionsort von den Schwankungen der lokalen Konzentration bestimmt. Die Geruchswahrnehmung setzt erst ab dem Schwellenwert ein, daher muß zur Bestimmung der Überschreitung zusätzlich zum Mittelwert der Immission der Schwankungswert bekannt sein. Durch die Turbulenz der natürlichen Windströmungen werden die Geruchsstoffe bei der Transmission verschieden stark verdünnt. Zusätzlich führen wechselnde Windrichtungen zu einer Verschiebung der Ausbreitungsrichtung, die sich im Mäandern der Ausbreitungsfahne auswirkt. Zur Validierung des neuen Ausbreitungsmodells NaSt3D wurden Freilandmessungen zur Bestimmung der Ausbreitung durchgeführt. Mit einer mobilen Tracermeßtechnik bei simultaner Aufzeichnung der meteorologischen Daten, der Meßpositionen und der Tracerkonzentration wurden örtlich und zeitlich hochaufgelöste Messungen realisiert. Die Vergleiche von Modellrechnungen und Messungen ergaben eine gute Übereinstimmung und weisen die Einsetzbarkeit des Modells NaSt3D für die detaillierte Geruchsausbreitungssimulation nach.

1 Einleitung - 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. Unter dem Begriff der Emission wird die Freisetzung von Stoffen an einer Emissionsquelle gefaßt, nach Art, Größe und Zeitverlauf. Transmission bezeichnet den Vorgang des Stofftransportes und der Verteilung in Windströmungen. Die Immission ist das Gegenstück zur Emission, der Begriff steht für den lokalen Stoffeintrag.

Zur Berechnung der Transmission werden Ausbreitungsmodelle eingesetzt. Verbreitet sind sogen. 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.

Abbildung 1 zeigt den Konzentrationsverlauf eines Geruchs um einen bestimmten Mittelwert herum. Die Kurve links verläuft unterhalb der Geruchsschwelle. Rechts ist eine zweite Kurve, ebenfalls um diesen Mittelwert herum schwankend, dargestellt. Hier wird der Schwellenwert in etwa einem Drittel der Zeit überschritten. Die Darstellung verdeutlicht die Notwendigkeit, zusätzlich zum Mittelwert der Immission auch die Größe der Schwankung zu ermitteln.

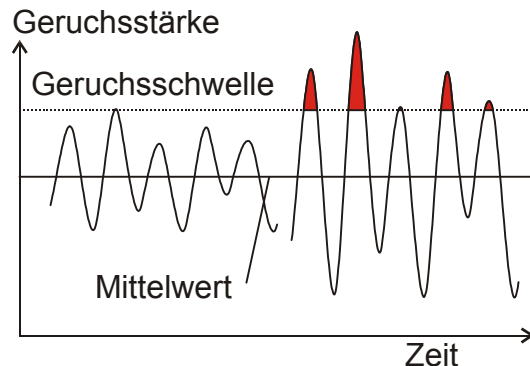


Abb. 1: Schwankungen der Geruchsimmission und Überschreitung der Geruchsschwelle
Fluctuation of the odour immission and the exceeding of the threshold

Modelle neuer Generation sind nun bereits in der Lage, nicht nur den Mittelwert, sondern auch die Zeitreihen der Konzentrationsschwankung zu berechnen (Boeker et al. 2000). Die Berechnung des Strömungsfeldes und der Ausbreitung wird hier nicht mehr nacheinander, sondern simultan durchgeführt. Die Strömungsberechnung wird nichtstationär durchgeführt, 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).

2 Validierung von Ausbreitungsmodellen

Modelle im Allgemeinen sind Konstruktionen zur Nachbildung realer Vorgänge. Das Vorgehen der Modellierung besteht in der Auswahl der für das Problem für wichtig erachteten Mechanismen und Teilprozesse und von deren mathematischer Beschreibung. Bei der gegebenen Komplexität der natürlichen Prozesse kann nur ein sehr begrenzter Ausschnitt der Teilvorgänge berücksichtigt werden.

Das Ziel der Modellierung ist es, eine gut manipulierbare und beobachtbare ‚Parallelwelt‘ zu schaffen, anhand derer das Verhalten der realen Welt unter allen möglichen Bedingungen studiert werden kann.

Um zu einer befriedigenden Übereinstimmung von Modellvorhersagen und Realität zu kommen, werden Daten benötigt, die eine Erfolgskontrolle der Modellierung ermöglichen. Hierfür werden besondere Experimente durchgeführt, deren Daten zur Validierung benutzt werden. Die Validierung umfaßt die Aufzeichnung möglichst vieler Randbedingungen und der Daten von genau spezifizierten Experimenten.

3 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 (Lung et al. 2000), Propan (Mejer 87) und das hier eingesetzte Schwefelhexafluorid (SF₆) (Zenger et al. 94) verwendet werden. Radioaktives Krypton (⁸⁵Kr) 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). Ein Argon Trägergasstrom wird durch eine radioaktive ⁶³Ni-Quelle ionisiert. Die freien Elektronen werden im Detektor gemessen und rufen einen Dauerstrom hervor. Wird dem Trägergas Meßgas mit SF₆-Molekülen zugemischt, fängt das sehr elektronegative SF₆ die freien Elektronen und führt zu einem sinkendem Detektorstrom.

Das eingesetzte Gerät Leakmeter 200 hat einen Meßbereich von 10 ppb bis zu 20 ppm, also einen Dynamikumfang von etwa 1:1000. Um den Meßbereich nach unten hin hoch aufzulösen, wurde ein direkter Datenausgang nachgerüstet, der die Detektorsignale in Form einer Meßfrequenz zu einem Digitalzähler leitet.

4 Durchführung der Messungen

4.1 Tracerfreisetzung

Vor der Durchführung der Messungen waren Abschätzungen bezüglich der SF₆-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.

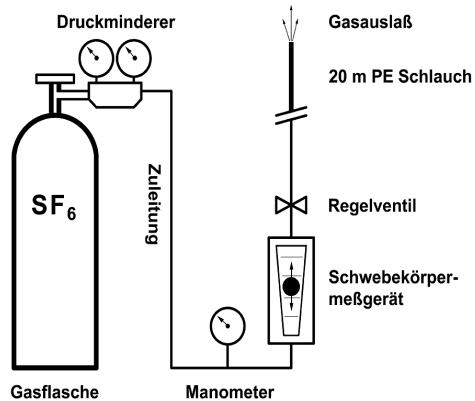
Die Prognoseberechnung ergab bei den verschiedenen möglichen Ausbreitungsklassen und einer angenommenen Windgeschwindigkeit von 3 m/s mittlere Immissionskonzentrationen von 480 ppb bis 1,6 ppb (siehe **Tabelle 1**) wenn eine Menge von 10 kg SF₆ pro Stunde freigesetzt würde. Die häufigste Klasse 3/II weist eine Konzentration von 14,2 ppb auf.

Tab. 1: Berechnete Immissionskonzentrationen für verschiedene Ausbreitungsklassen in ppb (Quellhöhe und Immissionshöhe 2 m, Quellstärke 10 kg SF₆/h, Windgeschwindigkeit 3 m/s)

Calculated concentration of the immission for different dispersion classes [ppb]

Entfernung [m]	50	100	150	200	250	300
Ausbreitungsklasse	mittlere Immissionskonzentration [ppb]					
1	479,4	218,6	132,2	91,3	68,1	53,4
2	425,5	159,9	87,9	57,1	40,8	31,0
3/I	442,7	147,4	75,9	47,2	32,6	24,1
3/II	339,3	101,6	49,3	29,4	19,7	14,2
4	204,5	55,4	25,5	14,6	9,5	6,7
5	64,3	15,7	6,8	3,8	2,4	1,6

Die Freisetzung geschah aus 10 kg SF₆-Druckflaschen mit einer eigens zusammengestellten Anordnung aus Druckminderer, Manometer, Schwebekörpermeßgerät und Regelventil (siehe **Abbildung 2**). Durch Wahl des Druckniveaus im Schwebekörpermeßgerät wurde dessen Meßbereich in den gewünschten Durchflußbereich verschoben. Da das Tracergas in der Druckflasche flüssig vorliegt, wird für die Verdampfung des Gases ein kontinuierlicher Wärmestrom zur Verdampfung benötigt. Die Temperatur der

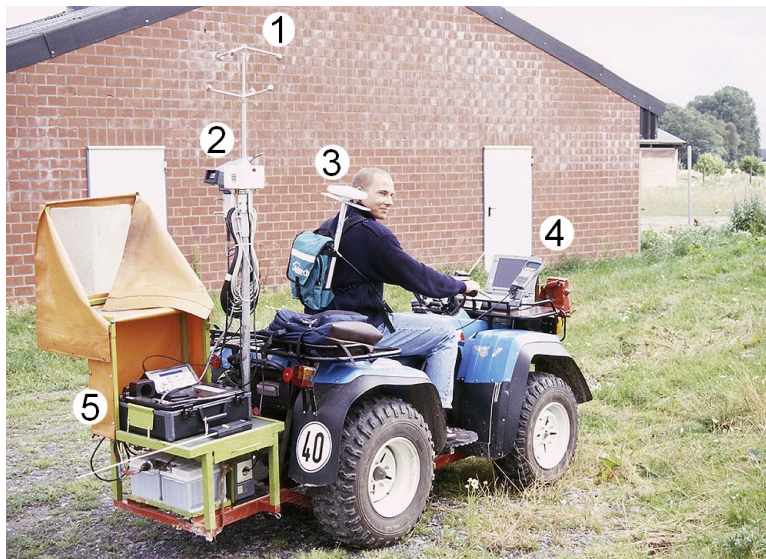


Flasche kann auf zu niedrige Werte absinken, bei denen der Restdruck für die Aufrechterhaltung eines hohen Flusses nicht mehr ausreicht. Rechnerisch wird eine Leistung von ca. 500 W benötigt, die durch externe Beheizung zuzuführen wäre. In der Praxis zeigte sich, daß eine halbstündigen Messung auch ohne Beheizung noch durchführbar war (Auftreten von Bereifung, aber noch ausreichender Restdruck).

Abb. 2: Apparatur zur Tracergasfreisetzung
Set-up for controlled tracer emission

4.2 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 des Meßequipments oder eine Vielpunktmessung erfordert. Die Basis des Meßfahrzeugs ist ein vierradgetriebenes Geländefahrzeug mit Aufnahmeplattformen für Meßgeräte. In **Abbildung 3** ist das Fahrzeug mit den angebauten Meßgeräten abgebildet.



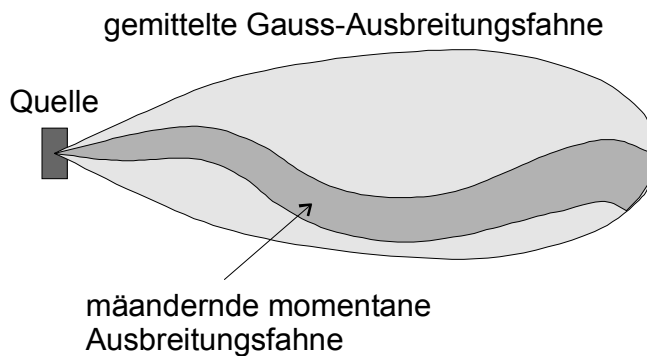
1. Ultraschall – Anemometer
2. SF₆ – Tracergasmeßgerät
3. GPS – Positionsempfänger
4. Datenerfassung und -speicherung
5. Stromversorgung und Tracergas-Basisgerät

Abb. 3: Meßfahrzeug zur mobilen Tracergasmessung
Vehicle for tracer measurements

Neben der Tracergasmessung werden die lokalen Winddaten mit einem Ultraschall-Anemometer aufgezeichnet. Die Position liefert ein GPS-Positionsempfänger mit einer Genauigkeit von ca. 1 m. Die Daten werden von einem Notebook synchronisiert und mit einer Meßrate von 1 Sekunde erfaßt.

5 Methodik der Validierungsmessungen

Mit den Validierungsmessungen wurden mehrere Ziele verfolgt. Anhand von genau festgelegten Emissionssituationen sollte die Frage der tatsächlichen Ausdehnung der Ausbreitungsfahne geklärt werden. Im Gegensatz zu den Prognosen des Gaußmodells, die eine gemittelte Konzentration auch über mäandrierende Fahnen darstellt, war zu erwarten, daß die Fahne in der Realität erheblich schmäler ist. In **Abbildung 4** ist der Unterschied zwischen der durch ein Gaußmodell berechneten durchschnittlichen Ausbreitungsfahne und der momentanen mäandrierenden Ausbreitungsfahne dargestellt. Bei Messungen der Immissionskonzentration ist daher mit erheblich höheren Maximalkonzentrationen zu rechnen, als das Gaußmodell vorhersagt. Die oben vorgenommene Abschätzung der Immissionskonzentration mit dem Gaußmodell unterschätzt die tatsächlichen Werte erheblich.



gemittelte Gauss-Ausbreitungsfahne

Quelle

mäandrierende momentane Ausbreitungsfahne

Abb. 4: Unterschied der Gauß-Ausbreitungsfahne zur momentanen Ausbreitungsfahne
Difference of the gaussian dispersion plume to the momentaneous plume

Zur Validierung des Ausbreitungsmodells NaSt3D wurden zwei Meßvarianten durchgeführt. 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 **Abbildung 5** ist das Ergebnis einer Fahnedurchfahrt 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 (z.B. Nichteinbeziehung der thermischer Effekte) die Werte noch um das Doppelte.

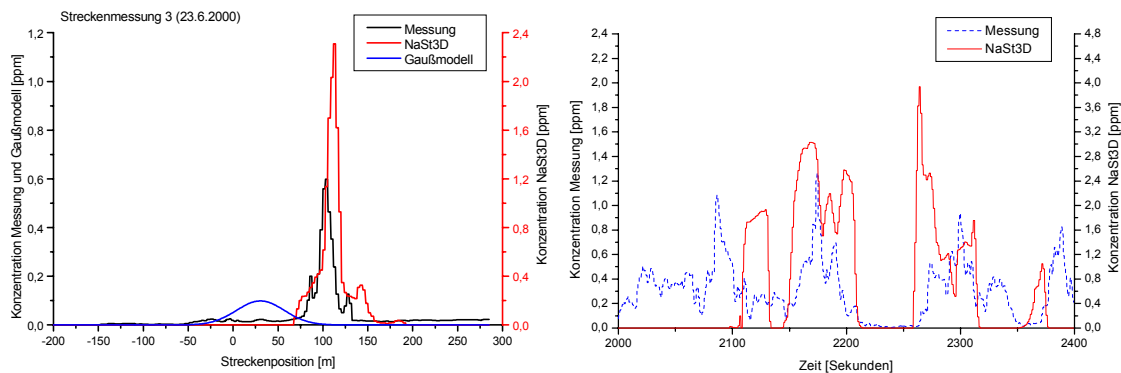


Abb. 5: (links) Messung und Simulation der Tracerkonzentration bei Fahnedurchfahrt
(left) Measurement and simulation of the tracer concentration cross the plume

Abb. 6: (rechts) Messung und Simulation der Tracerkonzentration bei stationärer Messung
(right) Stationary measurement and simulation of the tracer concentration

Abbildung 6 zeigt die Messung und den Simulationsvergleich bei einer stationären Messung mit verschiedenen Fahnenüberstreichungen und Intermittenzphasen (Phasen ohne Immission).

6 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 der Kombination mit einem modifizierten Lecksuchgerät als gangbarer Weg erwiesen. Die flexible Installation der Meßausrüstung auf einem mobilen Meßfahrzeug ermöglicht sehr effiziente Meßeinsätze mit minimalem Verbrauchsmiteinsatz. Es sind in der Zukunft weitere Validierungsmessungen unter verschiedenen meteorologischen Bedingungen geplant.

Literatur

- Boeker, P. et al.: The modelling of odour dispersion with time-resolved models, Agrartechnische Forschung 6 (2000) Nr.4 84-89
- Lung, T, et al.: Messung und Modellierung von Konzentrationsfluktuationen für Gerüche, KTBL Sonderveröffentlichung zum KTBL/FAL-Fachgespräch, 24./25.10.00, Braunschweig, Nr. 031 52-59
- Mejer, G.-J.: Messungen zur Ausbreitung luftfremder Stoffe im Bereich bodennaher Punktquellen, Grundlagen der Landtechnik 37 (1987) Nr.6 221-227
- Zenger, A. et al.: Tracergasuntersuchungen zur naturgetreuen Simulation von atmosphärischen Transport- und Mischvorgängen im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen, Staub-Reinhaltung der Luft 54 (1994) 51-54

Tracer Measurements for the Validation of Odour Dispersion Models

BOEKER, PETER¹; MARTIN WITTKOWSKI¹,
OLIVER WALLENFANG¹, FRANK KOSTER³, ROBERTO CROCE³,
MICHAEL GIEBEL³, BERND DIEKMANN², PETER SCHULZE LAMMERS¹

¹ Institut für Landtechnik, Universität Bonn, 53115 Bonn

² Physikalisches Institut, Universität Bonn, 53115 Bonn

³ Institut für Angewandte Mathematik, Universität Bonn, 53115 Bonn

Abstract

In the chain emission, transmission and immission of odour the smell perception at the immission location is determined by the fluctuations of the local odour concentration. The smell perception starts from the threshold value. For the determination of the excess above the threshold level therefore the fluctuation around the average value of the immission is needed. The odour is differently strong diluted by the turbulence of the natural wind currents with the transmission. Additionally, changing wind directions lead to a shift of the main direction of propagation, which results in meandering of the odour plume. For validating of the new odour diffusion model NaSt3D measurements in open land were accomplished for the determination of the propagation. With a mobile tracer measuring technique with simultaneous recording of the meteorological data, the measuring positions and the tracer concentration, spatially and temporally high-resolved measurements were realised. The comparisons of model calculations and measurements resulted in a good agreement and account for the applicableness of the model NaSt3D for the detailed odour diffusion simulations.