

Das Geruchsausbreitungsmodell AUSTAL2000G

L. Janicke, Ing.-Büro Janicke, Dunum

Zusammenfassung

Ausgangspunkt für die Modellierung der Geruchsausbreitung ist zunächst das Modell der mäandernden Abgasfahne. Die Konzentrationsfluktuationen in einer solchen Fahne sind ausführlich mit LIDAR-Messungen untersucht worden, deren Ergebnisse kürzlich im Projekt COFIN zusammenfassend dargestellt worden sind. Aus den Konzentrationsfluktuationen kann im Falle eines Geruchsstoffes auf die Häufigkeit der Geruchswahrnehmung geschlossen werden. Diese bildet die Grundlage für die Beurteilung der Geruchsbelastung.

Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen wurden mögliche und wünschenswerte Vereinfachungen des Modellkonzeptes untersucht mit dem Ziel einer Erweiterung des Anwendungsbereiches und einer Reduzierung des Rechenaufwandes. Die resultierenden Modellvarianten wurden anhand von Naturdatensätzen getestet, bei denen teilweise parallel zur Geruchsausbreitung auch die Ausbreitung eines passiven Tracers (SF_6) untersucht worden ist. Es wurde ein Vorschlag erarbeitet, wie das bestehende Modellsystem AUSTAL2000 erweitert werden kann, um entsprechend der GIRL auch eine Beurteilung der Geruchsbelastung durchführen zu können, und es wurde das Computerprogramm AUSTAL2000 entsprechend erweitert.

1. Einleitung

Bei Genehmigungsverfahren wurden zur Berechnung der zu erwartenden Geruchsimmission in Deutschland bisher Modelle vom Typ des Gauß'schen Fahnenmodells eingesetzt. Dies ist insofern problematisch, als bei der Geruchsausbreitung vorwiegend niedrige Quellen interessieren, die in ländlichem Gebiet mit unterschiedlicher Bodenrauigkeit liegen, und deren Abluftführung häufig von Gebäuden beeinflusst wird.

Mit der Umsetzung der EU-Richtlinien 1996/62/EC und 1999/30/EC zur Luftqualität wurde in Deutschland mit der TA Luft vor 2 Jahren das Modellsystem zur Berechnung der Konzentration von Luftschadstoffen auf ein Lagrange'sches Ausbreitungsmodell, AUSTAL2000, umgestellt. Die Grundlagen des Modells sind in der VDI-Richtlinie 3945/3¹ beschrieben, das zugehörige Programm ist im Internet unter www.austal2000.de verfügbar. Eine Anpassung der Ausbreitungsrechnung für Geruchsstoffe an das aktuelle Modellsystem AUSTAL2000 ist daher dringend erforderlich. Aus diesem Grund wurde in einem Verbundprojekt dreier Bundesländer den Anforderungen der Praxis entsprechend das Geruchsausbreitungs-

¹VDI 3945 Blatt 3. Umweltmeteorologie; Atmosphärische Ausbreitungsmodelle; Partikelmodell, September 2000. Berlin: Beuth Verlag

modell AUSTAL2000G entwickelt².

2. Konzept

Zur Beurteilung eines Luftschadstoffes nach TA Luft reicht es, den Stundenmittelwert der Konzentration \bar{c} für alle Stunden des Jahres zu kennen. Um die Geruchshäufigkeit κ zu erhalten, benötigt man aber die Verteilungsdichte $f(c)$ der Konzentrationswerte c innerhalb der Stunde und die Wahrnehmungsfunktion $P(c)$, die angibt, wie wahrscheinlich es ist, bei einer gegebenen Konzentration c , einen Geruch wahrzunehmen,³

$$\kappa = \int_0^{\infty} P(c) f(c) dc \quad (1)$$

Die Wahrnehmungsfunktion (Geruchsschwellenkennlinie) wird in der Regel als Verteilungsfunktion der logarithmischen Normalverteilung angesetzt (log bezeichnet hier den natürlichen Logarithmus),

$$P(c) = \int_0^c p(c') dc' \quad (2)$$

$$p(c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi c \lambda}} \exp \left\{ -\frac{[\log(c/c_{GS})]^2}{2\lambda^2} \right\} \quad (3)$$

c_{GS} ist die Geruchsschwelle, das Auflösungsvermögen λ hat bei natürlichen Mischgerüchen typischerweise einen Wert im Bereich 0.6 bis 0.9.

Man kann die Modelltypen, die verwendet werden, um die Verteilungsdichte $f(c)$ zu erhalten, grob in drei Gruppen unterteilen:

- Das turbulente Windfeld wird explizit zeitabhängig modelliert. Die Konzentrationsfluktuationen erhält man dann automatisch durch eine Ausbreitungsrechnung mit dieser Zeitreihe von Windfeldern.⁴
- Nur die großräumigen Anteile der Turbulenz werden explizit in Form einer Mäanderbewegung der Fahne modelliert. Die Wirkung der kleinräumigen Anteile der Turbulenz wird durch einen Fluktuationsansatz erfaßt (Mäander-Modell^{5,6}).

²Janicke, L., Janicke, U.: Die Entwicklung des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000G. Berichte zur Umweltphysik 5 (2004). ISSN 1439-8222 (verfügbar auch bei www.janicke.de)

³VDI 3788 Blatt 1. Umweltmeteorologie; Ausbreitung von Geruchsstoffen in der Atmosphäre — Grundlagen, Juli 2000. Berlin: Beuth Verlag

⁴Yamartino, R., Strimaitis, D., Graff, A.: Advanced mesoscale dispersion modeling using kinematic simulation. 21st ITM on Air Pollution Modeling and its Application, Baltimore, USA, 6.-10. November 1995

⁵Yee, E., Chan, R., Kosteniuk, P.R., Chandler, G.M., Biltoft, C.A., Bowers, J.F.: Incorporation of Internal Fluctuations in a Meandering Plume Model of Concentration Fluctuations. Boundary-Layer Meteorology 67 (1994) 11-39

⁶Nielsen, M., Chatwin, P.C., Jørgensen, H.E., Mole, N., Munro, R.J., Ott, S.: Concentration Fluctuations in Gas Releases by Industrial Accidents, Risø-R-1329(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Dänemark, 2002.

- Für die gesamte Fahne werden die Fluktuationen der Konzentration durch einen empirischen Ansatz beschrieben.

Die Modelle der ersten Gruppe sind für die Genehmigungspraxis noch nicht einsetzbar, da sie einen zu hohen Rechenaufwand erfordern. Um eine Wahl zwischen der zweiten und der dritten Gruppe zu treffen, wurden zunächst beide Ansätze in Prüfmodellen (Modell A und Modell B) realisiert. Sie sind folgendermaßen aufgebaut:

Modell A: Es wird zunächst die momentane Fahne betrachtet und die Verteilungsdichte der Konzentrationswerte $\hat{f}(c, y)$ gemäß dem Modell COFIN (Nielsen et al.) angesetzt. y ist die Entfernung von der Fahnenachse. Dabei sind allerdings Korrekturen an diesem Modell notwendig.⁷ Diese momentane Fahne wird einer Mäanderbewegung unterworfen und durch Überlagerung der einzelnen Fahnen wird die mittlere Verteilungsdichte $f(c, y)$ für das Stundenmittel erhalten. Anschließend wird gemäß Gleichung (1) die Geruchshäufigkeit bestimmt.

Modell B: Es wird angenommen, daß die Verteilungsdichte $f(c)$ nur von einem Parameter, nämlich dem lokalen Konzentrationsmittelwert \bar{c} abhängt. Ferner wird angenommen, daß sich alle praktisch wichtigen Geruchsstoffe näherungsweise durch die gleiche Wahrnehmungsfunktion $P(c)$ beschreiben lassen. Mit diesen Vereinfachungen ist die Geruchshäufigkeit κ nur noch eine Funktion des Mittelwertes \bar{c} .

Das Vorliegen einer Geruchsstunde wird somit in den beiden Modellen nach folgenden Kriterien erkannt:

Modell A: $\kappa \geq 0.1$

Modell B: $\bar{c} \geq c_{BS}$, wobei die Schwelle c_{BS} empirisch zu bestimmen ist.

3. Prüfung der Modelle

Von ihrer Konstruktion her besitzen die beiden Modelle verschiedene Vor- und Nachteile:

Das Mäander-Modell A liefert für punktförmige niedrige Quellen die zuverlässigsten Ergebnisse, da es hier auf einer großen Menge von Messungen beruht. Allerdings ist die Erweiterung auf andere Situationen schwierig und die Anwendung erfordert sehr viel mehr Rechenzeit als das Modell AUSTAL2000.

Das Schwellen-Modell B erfordert keine zusätzliche Rechenzeit, liefert aber auf Grund seiner einfachen Struktur keine so zuverlässigen Ergebnisse.

Sensitivitätsanalyse

In einer Sensitivitätsanalyse wurde untersucht, wie stark die Ergebnisse von den jeweiligen Modellparametern abhängen und wie weit sich die Aussagen der beiden Modelle voneinander unterscheiden. Es wurden Einzelsituationen und Jahresmittelwerte untersucht. Dabei

⁷Janicke, L.: A note on the distribution function of density fluctuations in the model COFIN. Berichte zur Umweltphysik 4 (2004). ISSN 1439-8222 (verfügbar auch bei www.janicke.de)

wurden u.a. die Größen der Flächen verglichen, für die vom Modell Geruchsstundenhäufigkeiten von 2 %, 5 %, 10 % oder 15 % angegeben werden. Die Quellhöhe wurde zwischen 10 m und 60 m, die Quellstärke zwischen 1 kGE/s und 500 kGE/s variiert.

Um den Unterschied in den Aussagen der beiden Modelle zu bewerten, wurde die Flächenänderung, die sich ergibt, wenn in Modell A die Quellstärke um 20 % (Faktor 1.2 und 1/1.2) variiert wird, als Toleranzintervall festgelegt.

Der Vergleich der beiden Modelle zeigt, daß die Ergebnisse von Modell B fast immer im Toleranzbereich liegen, wenn die Schwelle c_{BS} auf 0.25 GE/m^3 festgelegt wird. Lediglich bei einer sehr flachen Wahrnehmungsfunktion ($\lambda > 1$), d.h. wenn der gleiche Konzentrationswert von verschiedenen Versuchspersonen sehr unterschiedlich beurteilt wird, und geringen Geruchsstundenhäufigkeiten würde ein etwas geringerer Wert für die Schwelle bessere Ergebnisse liefern.

Vergleich mit Naturmessungen

Zur Beurteilung von Modell B wurden auch Messungen herangezogen, die in der Umgebung eines Schweinestalls durchgeführt wurden.⁸ Der Stall hat eine Grundfläche von $30 \times 50 \text{ m}^2$, eine Firsthöhe von etwa 8 m und die Abluft wird zentral über einen Kamin von 8.5 m Höhe freigesetzt. Die Geruchsemission liegt bei 15-45 kGE/s. Das Besondere an diesen Messungen ist, daß nicht nur die Geruchshäufigkeit im Lee des Stalles und die Quellstärke gemessen wurde, sondern gleichzeitig auch SF_6 freigesetzt und an den Positionen der Probanden gemessen wurde. Damit war es möglich, gleichzeitig zur Geruchshäufigkeit auch den Mittelwert der Geruchsstoffkonzentration zu bestimmen und so eine Wahrnehmungsfunktion für die Feldmessung aufzustellen. Wegen der großen Meßunsicherheiten bei der Bestimmung der Quellstärke für Geruch und der natürlichen Streuung der Meßwerte verläuft diese Kurve ziemlich flach. Sie liefert daher für eine Geruchshäufigkeit von 10 % den Konzentrationswert 0.17 GE/m^3 . Er ist zwar etwas geringer als die in Modell B angesetzte Schwelle von 0.25 GE/m^3 , dies ist aber konsistent mit den in Modell A gemachten Beobachtungen bei großen Werten von λ .

Vergleich mit Windkanalmessungen

Für den gleichen Schweinestall wurden im Windkanal Untersuchungen durchgeführt.⁹ Dabei wurden u.a. für verschiedene Anströmrichtungen und verschiedene Aufpunkte im Lee des Gebäudes über 700 Zeitreihen von Konzentrationsfluktuationen aufgenommen, deren statistische Verteilungen in Form von Histogrammen dokumentiert wurden. Berechnet man hieraus mit Hilfe verschiedener Wahrnehmungsfunktionen die Geruchshäufigkeit, dann sieht man, daß das Modell B in fast allen Fällen konservativ ist. Lediglich bei einer sehr flachen Wahrnehmungsfunktion kann es in einigen Fällen passieren, daß das Vorliegen einer Geruchsstunde nicht erkannt wird. Dies entspricht den bei der Sensitivitätsanalyse gemachten Beobachtungen.

⁸Bächlin, W., Rühling, A., Lohmeyer, A.: Bereitstellung von Validierungsdaten für Geruchsausbreitungsmodelle – Naturmessungen, Forschungsbericht FZKA-BWPLUS, Ing.-Büro Lohmeyer, Karlsruhe 2002

⁹Aubrun, S., Leitl, B.: Unsteady characteristics of the dispersion process in the vicinity of a pig barn. Wind tunnel experiments and comparison with field data. Atmospheric Environment 38 (2004) 81-93

4. Ergebnis

Die Untersuchungen haben gezeigt:

- Setzt man in Modell B die Beurteilungsschwelle c_{BS} auf den Wert 0.25 GE/m^3 , dann liegen die Abweichungen zu den Ergebnissen von Modell A im gleichen Bereich, den eine Variation der Quellstärke um 20 % bewirken würde.
- Die Ergebnisse von Geruchserhebungen in der Praxis besitzen eine so große Streubreite, daß sie nicht geeignet sind, eine Entscheidung zwischen den beiden Modellansätzen herbeizuführen.
- Die für die gleiche Situation aus Windkanalmessungen ermittelten Geruchsstundenhäufigkeiten werden von Modell B meist leicht überschätzt. Lediglich bei Geruchsstoffen mit einem großen Wert für das Auflösungsvermögen λ ($\lambda > 1$) unterschätzt das Modell B geringfügig.

Da die Vorteile von Modell A in der Praxis nicht zum Tragen kommen, wird vorgeschlagen, für die Geruchsbeurteilung das Modell B mit einer Beurteilungsschwelle $c_{BS}=0.25 \text{ GE/m}^3$ zu verwenden.

5. Implementierung in AUSTAL2000

Das Ausbreitungsmodell AUSTAL2000 wurde so erweitert, daß es für einen Stoff 'odor' statt des Jahresmittels der Konzentration das Jahresmittel der Geruchsstundenhäufigkeit berechnet. Da es sich um ein Lagrangesches Ausbreitungsmodell handelt, besitzt jeder Stundenmittelwert \bar{c}_i einen Stichprobenfehler, der vom Programm geschätzt wird. Hieraus wird auch der Stichprobenfehler der berechneten Geruchsstundenhäufigkeit geschätzt.

Die von AUSTAL2000 berechneten Werte gelten lokal. Um die in der Praxis geforderte Mittelung über vorgegebene Flächen durchzuführen, wurde der Postprozessor A2KArea entwickelt, der im Internet unter www.austal2000g.de frei verfügbar ist.

Danksagung

Die im Rahmen des Projektes AUSTAL2000G durchgeführten Arbeiten wurden mit Mitteln der Länder Baden-Württemberg, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen gefördert.