

Thomas Lung, Berlin, sowie Hans-Joachim Müller, Manfred Gläser und Bernd Möller, Potsdam-Bornim

Messung und Modellierung von Konzentrationsfluktuationen im Naturmaßstab

Freifeldversuche mit den Tracern Krypton-85 und Tetrahydrothiophen

Bei der Simulation von Geruchsstoffeinträgen im Umfeld von Tierhaltungen spielt die Modellierung der fluktuierenden Stoffkonzentration eine wichtige Rolle. Die Berechnung von Geruchshäufigkeiten stützt sich im Wesentlichen auf statistische Verteilungsfunktionen, die durch Freifeldversuche mit geeigneten Tracern zu validieren sind. Nach Ausbreitungsversuchen mit dem radioaktiven Tracer Krypton-85 und dem Odoriermittel Tetrahydrothiophen liegt ein umfassendes Datenkollektiv vor, das die Grundlage für die Analyse der fluktuations-statistischen Eigenschaften von atmosphärischen Spurenstoffen bildet.

Dipl.-Phys. Thomas Lung ist Leiter eines Ingenieurbüros für Immissionsprognostik und Ausbreitungsmodellierung in 10587 Berlin, Eosanderstrasse 17; e-mail: lung@snafu.de

Dr.-Ing. Hans-Joachim Müller, Dr. rer. nat. habil. Manfred Gläser und Dipl.-Ing. (FH) Bernd Möller sind Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB) (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. Zaske), Max-Eyth-Allee 100, D-14469 Potsdam-Bornim, e-mail: hmueller@atb-potsdam.de

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

Schlüsselwörter

Konzentrationsfluktuationen, Dichtefunktion, Geruchsimmissionen

Keywords

Concentration fluctuations, probability density functions, odour immission

Die Modellierung des Fluktuationsverhaltens der im atmosphärischen Windfeld transportierten Geruchsstoffe nimmt bei der Simulation und Prognose von Geruchshäufigkeiten eine Schlüsselrolle ein. Im Regelfall ist nämlich die Standardabweichung der Stoffkonzentration mindestens so groß wie der Mittelwert, so dass auch dann noch Gerüche wahrgenommen werden, wenn der Mittelwert weit unter dem Geruchsschwellenwert liegt [1]. Obgleich es auch Versuche gibt, das Fluktuationsgeschehen direkt numerisch zu simulieren, werden nicht zuletzt aus Praktikabilitätsgründen vorzugsweise statistische Ansätze verwendet. Es handelt sich hierbei um zweiparametrische Verteilungsdichten, die zur Beschreibung der Häufigkeitsverteilung von fluktuierenden Stoffkonzentrationen ein ausreichendes Maß an Flexibilität aufweisen und zugleich im Modellbau noch handhabbar sind. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden auf der Grundlage eines umfangreichen Messdatenkollektivs drei gebräuchliche Dichteverteilungen auf ihre höheren statistischen Momente hin untersucht und bewertet. Doch die mathematisch-physikalischen Aussagen hinsichtlich des Fluktuationsgeschehens lassen sich nicht unmittelbar auf Geruchsimmissionen übertragen, da der Expositions/Wirkungszusammenhang von subjektiv olfaktorischen Einflussgrößen abhängt. Die sensorische Erfassung von Geruchsstoffeinträgen durch Fahnenbegehungen ist daher notwendig, um Aufschlüsse über die Wirkungen fluktuierender Geruchsstoffe zu erhalten.

Messanordnung

In ebenem Terrain unter freier, weitgehend ungestörter Anströmung (Weideland mit ~ 0,3 m hohem Gras, mittlere Bodenrauigkeit $z_0 \cong 0,04$ m) wurde das radioaktive Isotop ^{85}Kr „punktförmig“ aus einem Plastikschlauch in 2 m über Grund freigesetzt. Die Emissionszeiten lagen je nach Versuch zwischen 9 min und 24 min bei vorwiegend neutraler bis labiler atmosphärischer Schichtung. In leeseitigen Entfernungen von 50 m und 100 m wurden die Impulsraten mit teilweise hochempfindlichen

Proportional-Zählrohren bei einem zeitlichen Auflösungsvermögen von 1 s erfasst. Die Anordnung der zehn zylinderförmigen Geiger-Müller-Zählrohre sowie der zehn wesentlich empfindlicheren flächenförmigen Proportionalzählrohre erfolgte in 2 m Höhe auf Kreissegmenten mit einem Öffnungswinkel von 60 Grad.

In der Zeit vom 28. Juni 2000 bis zum 18. Mai 2001 wurden insgesamt neun Ausbreitungsversuche der vorstehend beschriebenen Messanordnung folgend durchgeführt. Bei den letzten vier Versuchen wurde zeit- und ortsgleich zum Tracer ^{85}Kr auch das Odoriermittel Tetrahydrothiophen (THT) freigesetzt, um die Zeitanteile für Geruchswahrnehmungen an ausgewählten Zählrohr-Positionen durch Probanden zu erfassen. Mit der Registrierung von Auftrittzeiten der Geruchswahrnehmung ist beabsichtigt, die olfaktorischen „Überschreitungsmuster“ mit denjenigen des Tracers ^{85}Kr zu vergleichen, die an den Zählrohren gemessen werden. Es lassen sich damit nicht nur Aussagen zur Korrelation zwischen den Überschreitungsmustern sowie zu den Wirkungen von Geruchsstoffeinträgen treffen, sondern auch detaillierte Vergleiche zwischen beobachteten Geruchshäufigkeiten und rein rechnerisch ermittelten Überschreitungshäufigkeiten aufstellen. Der Geruchsschwellenwert und die wichtigsten chemischen/physikalischen Eigenschaften des Odoriermittels THT sind im DVGW-Regelwerk niedergelegt [2].

Messergebnisse

Die gemessenen Impulsraten wurden anhand von Umrechnungsfaktoren in Zeitreihen der Tracerkonzentration (kBq/m^3) übersetzt. Daraus ließen sich nicht nur Mittelwert und Varianz der Konzentration bestimmen, sondern auch höhere statistische Momente wie Schiefe und Kurtosis. Der Vergleich zwischen Messung und Modellrechnung zeigt zunächst, dass die Mittelwerte der beobachteten Tracerkonzentration sich mit dem Gaußschen Abgasfahnenmodell im Rahmen der für meteorologische Einzelsituationen üblichen Fehlermargen reproduzieren lassen, wenn für die Ausbreitungspara-

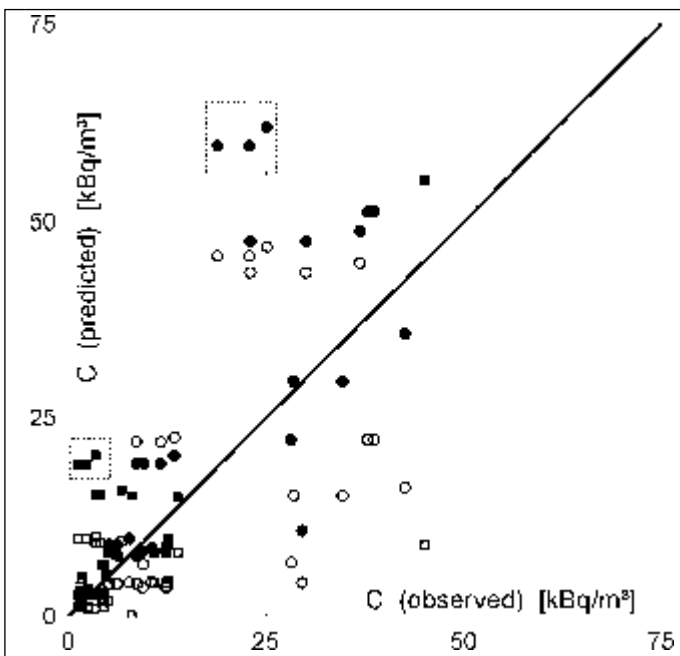


Bild 1: Korrelationsdiagramm der gemessenen und berechneten mittleren Tracer-Konzentrationen in kBq/m^3 . Kreise beziehen sich auf die Zylinderzählrohre und Quadrate auf die Flächenzählrohre. Ausgefüllte Symbole stehen für die Berechnungsergebnisse nach dem TAYLOR-Ansatz, unausgefüllte Symbole stellen die Berechnungsergebnisse nach TA Luft dar (gestrichelte Rahmen kennzeichnen Datenpunkte mit messtechnisch verfehlttem Konzentrationsmaximum)

Fig. 1: Correlation diagram of measured and computed mean tracer concentrations in kBq/m^3 . Circles relate to cylinder counting tubes and squares to area counting tubes. Filled symbols are computed results according to Technical Instructions on Air Pollution Control.

parameter der folgende Ansatz nach dem TAYLOR-Theorem [3] gewählt wird:

$$\sigma_{v,w} = \frac{\sigma_{v,w}(x)}{\sqrt{1 - t(x)/(2 \cdot T_L)}}$$

Hierin sind $\sigma_{v,w}$ die Standardabweichungen der Windgeschwindigkeitskomponenten v und w ; $t(x)$ die Transportzeit und T_L die sogenannte Lagrange Skalenzeit. Eine geringere Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung erhält man für den Fall, dass die Ausbreitungsparameter nach dem Parametrisierungsschema der TA Luft, Anhang C für Quellhöhen unter 50 m bestimmt werden [4]. Hier ist eine Unterschätzung der mittleren Spurenstoffkonzentration bis zu einem Faktor 5 im Einzelfall möglich.

Das Verhältnis von Spitzenwert zu Mittelwert p/m der gemessenen Konzentrations-Zeitreihen variiert über zwei Größenordnungen und kann im extremen Randbereich der Tracerfahne Werte $p/m > 100$ annehmen. Im Zentrum der Tracerfahne werden Spitzenwerte p/m größer als 3,5 allerdings nur mit einer Häufigkeit von 1 % erreicht. Bei sämtlichen Ausbreitungsversuchen ließ sich mit zunehmender Quellenentfernung eine Abnahme von p/m sowie ein Zuwachs der Intermittenz feststellen; die Intermittenz ist ein Maß für diejenigen Zeitanteile an einem festen Immissionsort, in denen keine Tracer- oder Geruchsstoffkonzentrationen mehr nachweisbar sind. Des Weiteren ließ sich ein linearer Zusammenhang zwischen dem Spitzen/Mittelwert-Verhältnis p/m und der Stärke der Konzentrationsfluktuation nachweisen. Die Fluktuationsstärke oder -intensität i^2 steht mit dem Mittelwert und der Varianz der Spurenstoffkonzentration in Beziehung:

$$i^2 = \frac{\sigma_c^2}{\bar{c}^2}$$

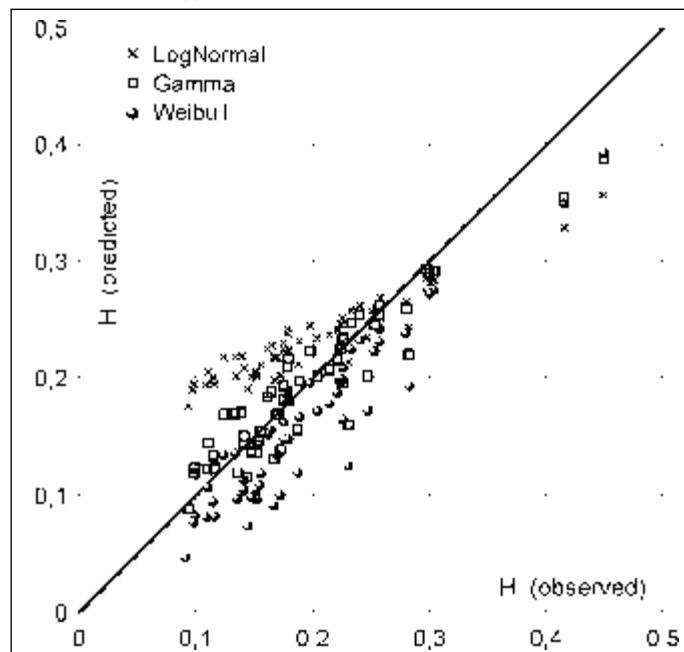
Von den drei untersuchten Verteilungsdichten liefert die Gamma-Verteilung insgesamt

die beste Übereinstimmung mit den beobachteten Überschreitungshäufigkeiten. Berechnungsergebnisse mit der Weibull-Verteilung, bei der sich strukturell ähnliche Quantilprofile wie bei der erstgenannten Dichtefunktion abzeichnen, stimmen weniger gut mit den Messwerten überein. Bei der Logarithmischen Normalverteilung ist der Korrelationsgrad zwischen gemessenen und berechneten Überschreitungshäufigkeiten insgesamt noch etwas niedriger.

Prinzipiell lassen sich die Gerüche des eingesetzten Odoriermittels THT auch in größeren Entfernungen über 100 m noch wahrnehmen und zur Bestimmung von Überschreitungshäufigkeiten durch Probanden verwerten. Die sensorischen Wahrnehmungsmuster stimmen in einigen Fällen gut mit den Überschreitungsmustern der Tracer-Konzentration am selben Messort überein. Allerdings ist die Datenbasis der verwertbaren THT-Messreihen nicht groß genug, um mit Hilfe von Korrela-

Bild 2: Überschreitungshäufigkeiten H der Tracer-Konzentration im Vergleich zwischen Messung und Rechnung. Bei den Modellrechnungen mit den drei Dichtefunktionen wurde die Fluktuationsintensität i^2 aus den Messungen übernommen und die Intermittenz $\mu = 1$ gesetzt

Fig. 2: Frequency of exceeding H of tracer concentration measured versus results computed. In the model calculations with 3 density functions the fluctuation intensity i^2 was taken over from the measurements and the intermittenz was set with $\mu = 1$



tionskoeffizienten die außerordentlich komplexe Beziehung zwischen Exposition (Immission) und Geruchswirkung quantitativ zu erfassen. Vergleicht man die über einen Zeitraum von etwa 10 min beobachteten Geruchshäufigkeiten mit reinen Modellrechnungen, so zeichnen sich entsprechend große Abweichungen von einem Faktor 2 und darüber ab. Hierbei liegen die unvermeidbaren sensorischen Unsicherheiten etwa in der Größenordnung der (verbesserungsfähigen) Modellgenauigkeiten. Nächst der zuverlässigen Berechnung des Mittelwertes der Spurenstoffkonzentration hat die Fluktuationsintensität einen dominanten Einfluss auf die Simulation von Überschreitungshäufigkeiten. Versuche, diese entscheidende Modellgröße zu parametrisieren liegen vor [5]. Verbesserungen im Modellbau sollten sich vor allem auf diese Größe konzentrieren: auf eine konzise Parametrisierung der Fluktuationsintensität in Abhängigkeit von emissionsgeometrischen und meteorologischen Einflussgrößen.

Literatur

- [1] Lung, T.: Lagrangesches Partikelmodell – Numerische Simulation der Spurenstoffausbreitung. Schriftenreihe WAR 81, TH Darmstadt, 1994
- [2] DVGW Arbeitsblatt G 280: Technische Regel Arbeitsblatt G 280 – Gasodorierung. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn, 1999
- [3] Taylor, G. I.: Diffusion by continuous movements. Proc. London Math. Soc. Ser. 2 (1921), no. 20, pp.196
- [4] TA Luft: Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft), GMBI. Nr. 7 vom 28. 2. 1986
- [5] Hanna, S. R.: Concentration fluctuations in a smoke plume. Atmos. Envir. 18 (1984), no. 6, pp.1091-1106