Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 35

Artikel: Praktische Anwendung von Luftschadstoff-Ausbreitungsmodellen
Autor: Ziegler, Armin
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-77491

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Praktische Anwendung von Luftschadstoff-Ausbreitungsmodellen

Die ständig zunehmende Belastung unserer Luft durch Schadstoffe aus Industrie und Strassenverkehr, aber auch die immer wieder auftretende Bedrohung durch störfallbedingte Freisetzung von toxischen Gasen erfordern den Einsatz von zuverlässigen, leistungsfähigen, aber auch leicht einsetzbaren Hilfsmitteln zur Berechnung der Schadstoffausbreitung. Im vorliegenden Artikel wird dieser Problemkreis diskutiert; es wird eine Übersicht über Ausbreitungsmodelle gegeben und ein Programm-Paket vorgestellt, mit welchem die wichtigsten Ausbreitungsprobleme rasch und effizient am PC bearbeitet werden können.

VON ARMIN ZIEGLER, ZÜRICH

Die ständig zunehmende Belastung unserer Atmosphäre durch Schadstoffe hat schon seit manchen Jahren die Aufmerksamkeit auf die Empfindlichkeit unserer Atemluft gelenkt. An zahlreichen Hochschulen und Forschungsinstituten wurden grosse Anstrengungen unternommen, um die Ausbreitung von Schadstoffen zu erforschen und rechnerisch zu erfassen. Gesetzliche Vorschriften und Auflagen wurden erlassen, um die Schadstoffimmissionen auf ein annehmbares Mass zu reduzieren. In der Praxis stellt sich aber sehr oft die Frage, mit welchen Berechnungsmodellen beispielsweise die Schadstoffimmission einer projektierten Anlage berechnet werden soll oder wie die Gefährdung bei einem Störfall mit toxischen Gasen abgeschätzt werden kann.

Der Verfasser ist dieser Problematik (teils im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Thurgau, Herr R. Bösch) nachgegangen und hat für die wichtigsten Anwendungsgebiete Ausbreitungsmodelle zusammengestellt, welche einerseits vom Modellaufbau her der Problemstellung gerecht werden und anderseits leicht an einem PC eingesetzt werden können.

Folgende Problemstellungen standen im Vordergrund:

- Schadstoffausbreitung bei Hochkaminen
- Ausbreitung von schweren Gasen
- Simulation von Ausbreitungsvorgängen (z.B. für Störfälle)
- Immissionsberechnung im Strassenverkehr.

Zum Teil konnten bestehende Computerprogramme von Hochschulen übernommen werden, zum Teil mussten neue Programme erstellt werden. Bevor auf die einzelnen Programme und die darin verwendeten Modelle eingegangen wird, soll eine kurze Übersicht über die Modellbildung für Schadstoffausbreitungsberechnungen gegeben werden.

Ausbreitungsmodelle für Hochkamine

In den meisten Fällen werden hier Modelle verwendet, die auf dem Gauss-Ausbreitungsmodell für Abgasfahnen [1] beruhen. Das Gauss-Modell ist immer noch das am meisten verbreitete Ausbreitungsmodell, vor allem weil es:

☐ Resultate liefert, die ebenso gut mit Messdaten übereinstimmen wie jene aufwendigerer Modelle;

☐ relativ einfach anzuwenden ist und kaum grosse Anforderungen an Computerressourcen stellt;

☐ vom Konzept her leicht verständlich ist.

Es sei daran erinnert, dass das Gauss-Modell die analytische Lösung der Diffusionsgleichung (partielle Differentialgleichung 2. Ordnung) ist, welche die Konzentration eines chemisch inerten Stoffes in der Atmosphäre beschreibt. Damit diese analytische Lösung existiert und somit das Gauss-Abgasfahnenmodell angewendet werden kann, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein [2]:

☐ Der emittierte Stoff ist ein Gas oder ein feiner Staub, dessen Sinkgeschwindigkeit vernachlässigbar ist.

☐ Windgeschwindigkeit und Richtung sind zeitlich konstant. Im allgemeinen sollte sie grösser als 1 m/s sein.

☐ Der emittierte Massenstrom und die effektive Quellhöhe sind zeitlich konstant.

☐ Die Abgasfahne breitet sich über ebenes, unbebautes Gelände aus und wird an der Erdoberfläche vollständig reflektiert.

☐ Chemische oder physikalische Umwandlungen des emittierten Stoffes bleiben unberücksichtigt.

☐ Es sind keine Inversionsschichten vorhanden.

Mit diesen Voraussetzungen ergibt sich als analytische Lösung die zweidimensionale Gauss-Verteilung zur Berechnung der stationären Immissionskonzentration C (x,y,z) am Immissionsort x,y,z.

$$(1)\quad C(x,y,z;H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u}\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right)\left\{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right)+\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right)\right\}$$

mit:
u = Windgeschwindigkeit in Höhe H
H = Effektive Quellhöhe
σ_y, σ_2 = Horizontale und vertikale Ausbreitungsparameter

Die horizontalen und vertikalen Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z werden in Funktion der Entfernung von der Quelle (in Windrichtung) und der Stabilitätsklasse angegeben. Sie basieren zumeist auf einigen wenigen sorgfältig durchgeführten Ausbreitungsexperimenten. In Bild 1 ist Gleichung (1) graphisch dargestellt.

Die oben erwähnten Einschränkungen sind zum Teil umgangen worden, indem Gleichung (l) entsprechend modifiziert und erweitert wurde. Zum Teil führte dies zu sehr viel komplizierteren Modellen mit einer zunehmenden Anzahl empirischer Parameter, wodurch die Ausbreitungsvorgänge oft sogar ungenauer als durch die idealen Gauss-Abgasfahnenmodelle beschrieben wurden [2].

Das Gausssche Ausbreitungsmodell wird in einer grossen Anzahl von Computerprogrammen zur Berechnung der Ausbreitung von Schadstoffen bei einzelnen Hochkaminen, aber auch für die Immissionsberechnung bei flächenartigen Quellen, z.B. für Städte und Industriezentren, verwendet. Die Genauigkeit solcher Ausbreitungsprognosen muss realistisch eingeschätzt werden. Bis zu Distanzen von einigen 100 m

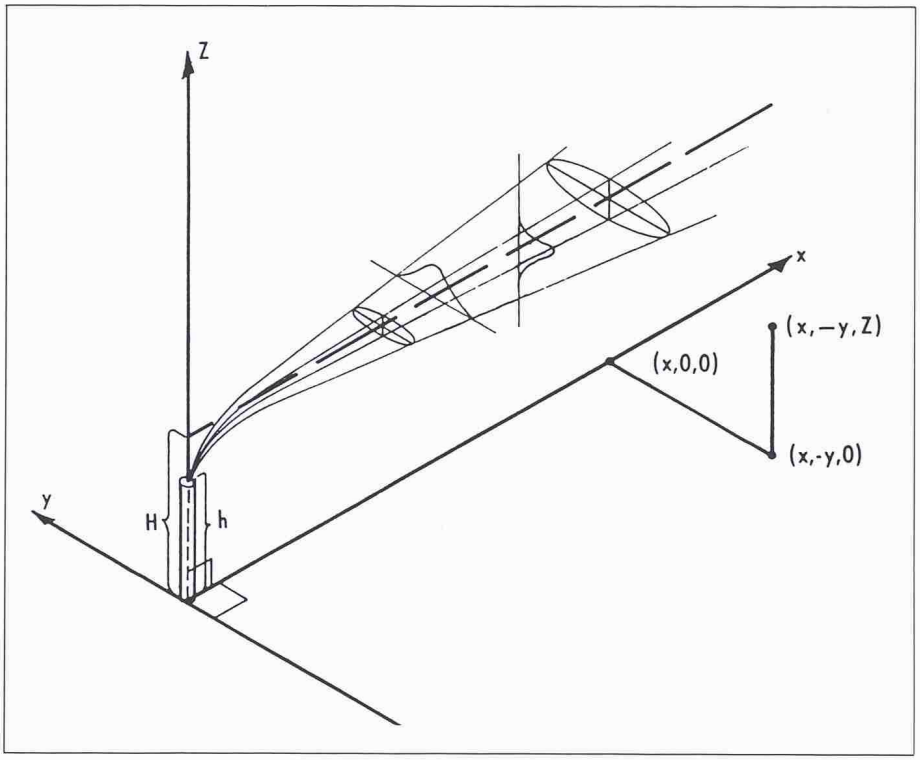

Bild 1. Darstellung des Gaussschen Abgasfahnenmodells (aus [1])

Literatur

[1] *Turner D.B.* (1970): «Workbook of atmospheric dispersion estimates»; U.S. EPA office of Air Programs Publikation No AP-26, Research Triangle Park, North Carolina.

[2] *Schönbucher A. und Scheller V.* (1981): «Ausbreitung von Abgasfahnen»; Chem.Ing.-Tech. 53, Nr. 5. S. 320 bis 334.

[3] *Portelli R.V.* (1982): «User's guide to CPS (continous point source models)»; Concord Scientific Corporation, Downsview, Toronto, Ontario.

[4] *Turner D.B. and Busse A.D.* (1973): «User's guide to the Interactive Versions of the three Point Source Dispersion Programs: PTMAX, PTDIS and PTMTP»; U.S. EPA, Research Triangle Park, North Carolina.

[5] *Irwin J.S. et al.* (1986): «CDM-2.0 Climatological Dispersion Model User's Guide»; U.S. EPA, Research Triangle Park, North Carolina.

[6] «Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft 1986»; Carl Heyermanns Verlag KG, Köln.

[7] *Puttock J.S. et al.* (1989): «HEGADAS Heavy Gas Dispersion Program—User's Guide»; Shell Research Ltd., Chester, England.

[8] *Ermak D.L.* (1989): «User's Manual for SLAB: An Atmospheric Dispersion Model for denser-than-air Releases»; Lawrence Livermore National Laboratory, University of California, Livermore, USA.

[9] *Britter R.E.* (1989): «Notes on CERC model for gaseous transport from accidental releases (GASTAR)» (persönliche Mitteilung), Cambridge environmental research consultants Ltd., England.

[10] *Britter R.E. und McQuaid J.* (1988): «Workbook on the dispersion of dense gases»; HSE Contract Research Report No. 17/1988; Sheffield, England.

[11] *Petersen W.B.* (1986): «INPUFF 2.0—A Multiple Source Gaussian Puff Dispersion Algorithm—User's Guide»; U.S. EPA, Research Triangle Park, North Carolina.

[12] VDI-Richtlinien 3783 Blatt 1 (1987): «Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen - Sicherheitsanalyse»; Beuth Verlag GmbH, Berlin.

[13] Umweltbundesamt (1987): «Ermittlung der durch Kfz-Emissionen verursachten Immissionsfelder verschiedener Strassentypen»; GEOMET - Umweltberatung und Regionalplanung GmbH, Berlin.

[14] *Benson P.E.* (1986): «CALINE 4—A Dispersion Model for Predicting Air Pollutant Concentrations Near Roadways»; State of California, Dept. of Transportation, Sacramento, California, USA.

[15] *Petersen W.B.* (1980): «User's Guide for HIWAY 2; A Highway Air Pollution Model»; U.S. EPA, Research Triangle Park, North Carolina.

[16] *Pelli T.* (1985): «Berechnungsformeln von CO-Immissionen»; Staub Reinhaltung der Luft, Band 45 (1985), Nr. 7/8.

[17] *Filliger P.* (1989): «Stickstoffoxid Immissionsprognose an Strassen in offenem Gelände»: Vortrag, gehalten am «Journée Cercl'Air du 10 nov. 1989».

kann damit gerechnet werden, dass die berechnete Konzentration auf einen *Faktor 3* genau ist [1]. Hierbei sind die Unsicherheiten in den Streuungsparametern (σ_y, σ_z) und in der Windgeschwindigkeit (u) berücksichtigt.

Beispiele für Programme, welche auf dem Gauss-Modell beruhen sind die Computerprogramme:

- CPS des «Atmospheric Environment Service, Toronto» [3] (Berechnung für einzelne Punktquellen)
- PTMAX, PTDIS und PTMTP der «US Environmental Protection Agency» (EPA) [4] (Berechnung für einzelne oder mehrere Punktquellen)
- CDM-2.0 der US-EPA [5] (Immissionsberechnung für ganze Regionen, beispielsweise für Städte oder Industriezonen)

Auf Gleichung (1) beruht beispielsweise auch die deutsche Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz «Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Anhang C (TA-Luft 1986)» [6], die auch in der Schweiz häufig zur Anwendung gelangt. Zusätzlich zur Konzentrationsberechnung, wie sie in Gleichung (1) formuliert ist, wird in TA-Luft auch eine Gleichung zur Berechnung des Staubniederschlages angegeben.

In Bild 2 ist als Beispiel die Konzentrationsverteilung im Lee von 3 Hochkaminen dargestellt. Bild 1 wurde mit dem Programm DISP-AIR, das auf TA-Luft 86 basiert, erstellt.

Ausbreitung von schweren Gasen

Die Ausbreitung schwerer Gase ist mit dem Gaussschen Modell nicht berechenbar. Dies liegt hauptsächlich daran, dass eine Schwergaswolke eine ausgeprägte Eigendynamik besitzt und die turbulente Vermischung mit Umgebungsluft stark unterdrückt wird. Hinzu kommen intensive Wechselwirkungen der Wolke mit dem Boden, da sich schwere Gase in einer flachen, bodennahen Schicht ausbreiten.

Ausbreitungsmodelle für schwere Gase lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen: Am aufwendigsten sind die 3D-Modelle, bei denen der Ausbreitungsraum als dreidimensionales Gitter modelliert wird. Für jeden Gitterpunkt wird die Konzentration durch Lösung von partiellen Differentialgleichungen bestimmt. Mit solchen Modellen können auch sehr komplexe Ausbreitungsprobleme mit Hindernissen und unebenem Terrain untersucht werden. Aller-

dings brauchen solche Modelle Computer-Ressourcen, die nicht ohne weiteres zur Verfügung stehen.

Die andere Gruppe von Modellen, oft als Box-Modelle bezeichnet, verwenden vorgegebene Formen für das Ausbreitungsprofil und bestimmen die Höhe und Breite der Gaswolke durch Lösen von einfachen Differentialgleichungen, wobei immer auch empirische Daten (z.B. für die Lufteinmischung) benötigt werden. Solche Modelle können die Ausbreitung über flachem Terrain mindestens so gut prognostizieren wie die komplexeren und teuren 3D-Modelle.

Konzeptionell lassen sich Box-Modelle folgendermassen vorstellen: Das plötzlich freigesetzte Gas verbleibt innerhalb eines Zylinders. Durch die Schwerkraft weitet sich der Radius des Zylinders aus. Gleichzeitig wird der Zylinder unter der Wirkung des Windes horizontal verfrachtet. Zusätzlich wird Umgebungsluft in den Zylinder gemischt. Einige Box-Modelle berücksichtigen auch Luftfeuchtigkeit, Kondensationswärme, Wärmeübertragung und Geschwindigkeitsunterschiede zwischen der Gaswolke und dem Wind.

Als Beispiele seien die Programme HEGADAS, SLAB und GASTAR erwähnt:

HEGADAS [7] wurde bei SHELL entwickelt. Es verwendet vorgegebene Formen für die Konzentrationsprofile und empirische Korrelationen, um die Lufteinmischung zu beschreiben. Das Modell enthält einen kontinuierlichen Übergang von der Schwer-Gas-Ausbreitung zur passiven Ausbreitung.

Wärmeübertragung vom Boden auf das sich ausbreitende Gas wird ebenfalls berücksichtigt. Die Quellstärke kann konstant oder zeitlich variabel sein, d.h. auch kurzzeitige Freisetzung kann berücksichtigt werden.

SLAB [8] wurde am Lawrence Livermore National Laboratory (USA) entwickelt. Es verwendet die Massen-, Moment- und Energieerhaltungssätze, um die Ausbreitung von kontinuierlichen und kurzzeitigen Gasfreisetzungen zu berechnen. Das Programm enthält verschiedene Quellentypen wie verdunstende Flüssigkeitslachen, horizontale oder vertikale Ausströmung sowie spontane Volumenquellen.

GASTAR [9] ist ein sehr umfassendes Programmpaket, das von CERC (Cambridge Environmental Research Consultants, Ltd.) entwickelt wurde. Das Programm ist entwickelt worden für ein weites Spektrum von Freisetzungsarten, und es können verschiedene Aspekte wie geneigtes Terrain, Hindernisse, chemische Reaktionen usw. berücksichtigt werden.

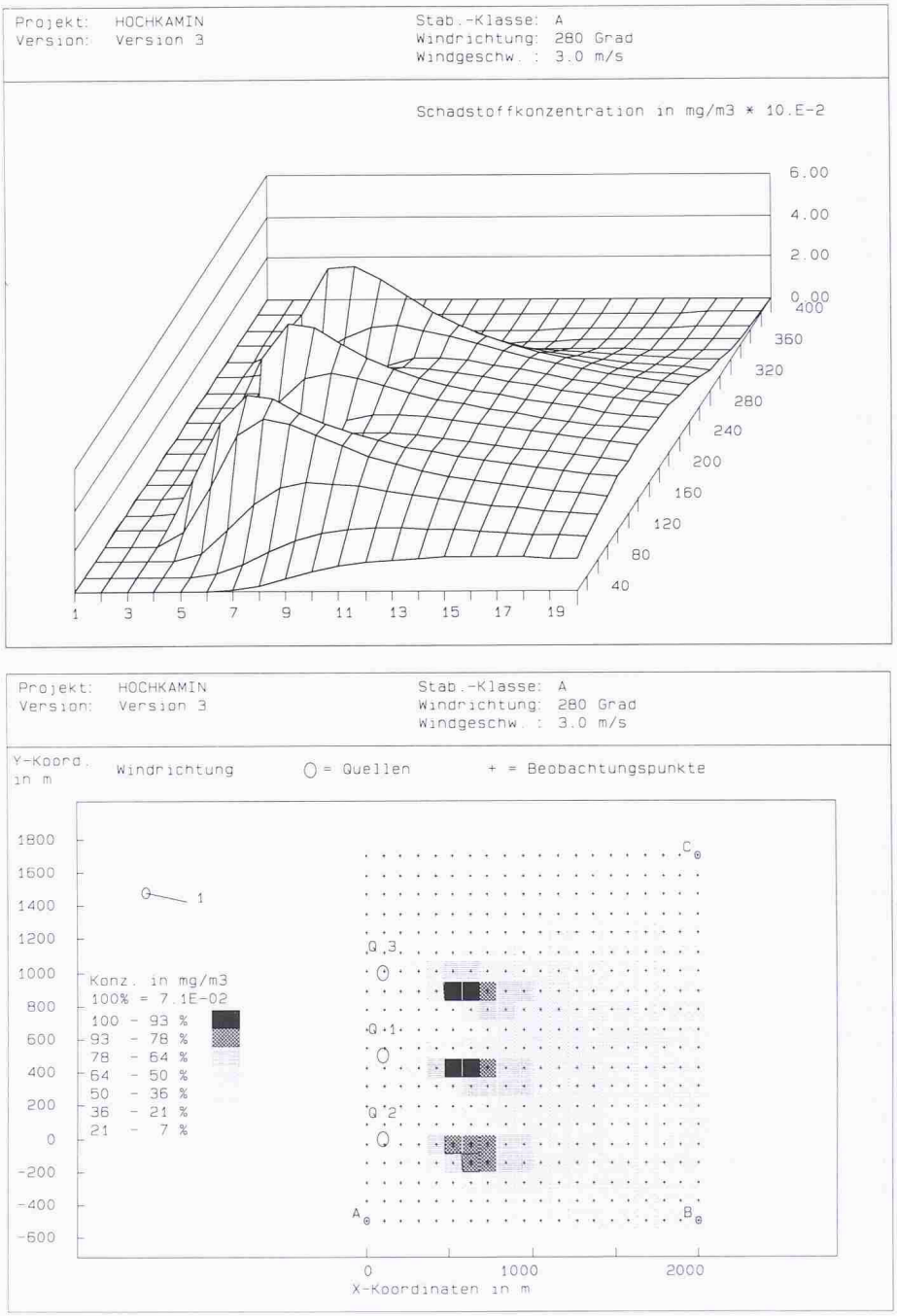

Bild 2. Schadstoffverteilung im Lee von drei Hochkaminen (berechnet mit DISPAIR)

Eine interessante Lösung (insbesondere wenn es darum geht, mit minimalem Aufwand eine Abschätzung für die Ausbreitung von schweren Gasen zu erhalten) wurde von Britter und McQuaid im «Workbook on the dispersion of dense gases» [10] präsentiert. Die Methode lässt sich wohl am ehesten als Kombination von Regressionsmodell und Box-Modell charakterisieren: Es werden Bestimmungsgleichungen für plötzliche und kontinuierliche Freisetzung angegeben, welche alle dominanten Parameter für die Ausbreitung von schweren Gasen enthalten.

Für das Ausbreitungsverhalten von schweren Gasen werden nach [10] folgende Variablen als dominant betrachtet:

- Freigesetzte Menge
- Dichte des freigesetzten Gases
- Windgeschwindigkeit
- Ausdehnung der Quellen

Von geringerer Bedeutung sind:

- Oberflächenrauhigkeit
- Stabilitätsklasse (meteorologische)
- Turbulenz in der Grenzschicht
- Quellengeometrie

Von untergeordneter Bedeutung sind:

- Molekulare Eigenschaften des Gases.

Aufgrund der Messdaten von praktisch allen bis heute durchgeführten Grossversuchen wurden die Koeffizienten der Bestimmungsgleichungen berechnet. Mit den Bestimmungsgleichungen wird die maximale Schadstoffkonzen-

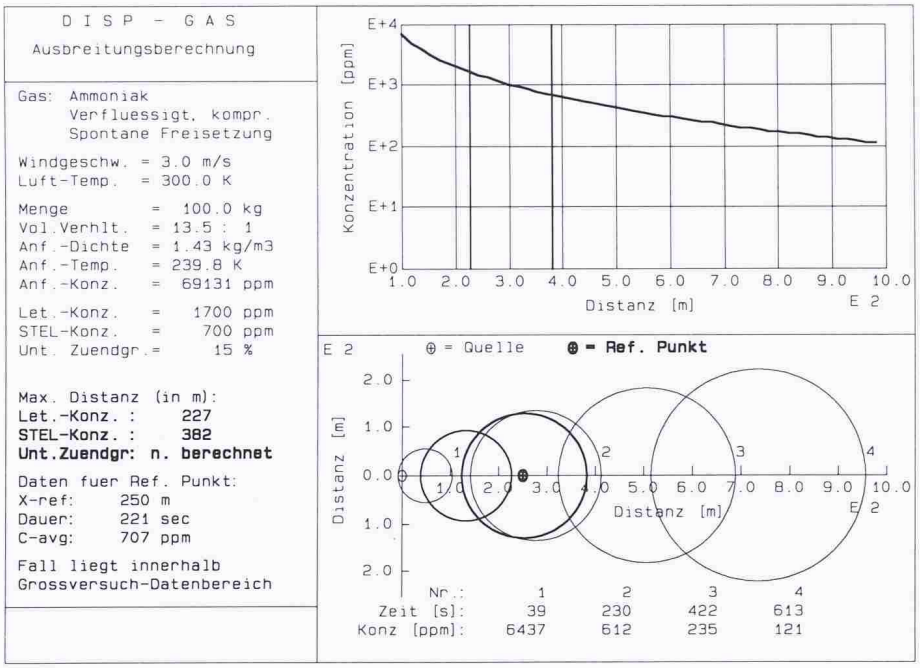

Bild 3. Ausbreitung von Ammoniak (berechnet mit dem Programm DISP-GAS)

tration in Funktion des Abstandes von der Quelle berechnet, und mit den Ansätzen für das Box-Modell wird die radiale Ausbreitung und die Verfrachtung der Gaswolke bestimmt.

Die Genauigkeit eines solchen Modelles muss realistisch eingestuft werden. Britter und McQuaid schreiben hierzu: «Our realistic goal is to allow predictions of useful measures of dense-gas dispersion to within a *factor of two*». Es ist hier zu bemerken, dass aufwendigere Modelle oft keine grössere Genauigkeit bieten können.

Die Berechnung der Ausbreitung von schweren Gasen bleibt auch mit Hilfe des «Handbuchs» von Britter und McQuaid eine zeitintensive Arbeit. Gilt es doch, alle erforderlichen Daten über den Ausgangszustand des freigesetzten Gases zusammenzustellen. Nicht nur die Menge des freigesetzten Gases, sondern auch die Anfangsdichte und -temperatur sowie die thermodynamischen Vorgänge, die bei einer allfälligen Verdampfung von Aerosol auftreten, und die Ausregnung und Verdampfung am Boden sind in realistischer Weise in die Berechnung einzubeziehen. Diese Arbeit wird mit dem am Schluss dieses Artikels beschriebenen Programm DISP-GAS stark vereinfacht. Bild 3 zeigt als Beispiel die Ausbreitung von Ammoniak bei einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s.

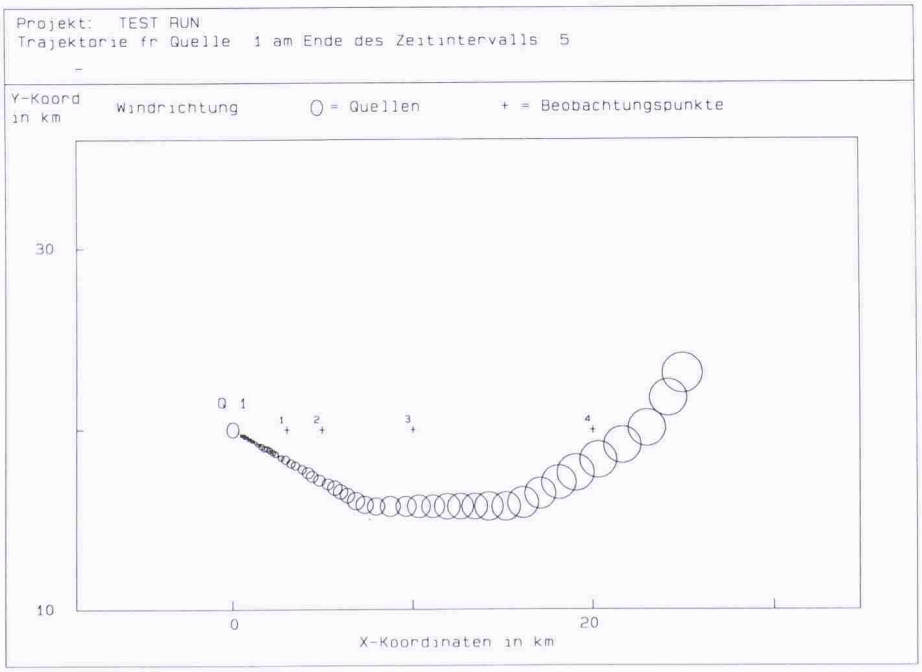

Bild 4. Ausbreitung einer Hochkamin-Rauchfahne bei drehenden Winden

Simulation von Ausbreitungsvorgängen

Für eine echte Simulation des Ausbreitungsvorganges müssen sowohl die Schadstoffemissionen als auch die meteorologischen Verhältnisse (Stabilitätsklasse, Windrichtung und -stärke) als zeitlich variable Grössen behandelt werden. Für den allgemeinen Fall müsste wiederum auf dreidimensionale Modelle zurückgegriffen werden. Für neutrale, passive Gase, d.h. Gase, die gleich schwer oder leichter sind als Luft und keine chemischen Veränderungen durchführen, bietet sich mit der zeitlichen Integration der Gaussschen Gleichung (Gleichung 1) eine einfache Lösung an. Der Emissionsstrom (z.B. beim Hochkamin) wird in einzelne Emissionswolken gegliedert (vgl. Bild 4), und für jede Wolke wird die Ausbreitung unter den veränderlichen Windverhältnissen berechnet. Mit solchen Modellen lassen sich auch Emissionen von beweglichen Emissionsquellen untersuchen. Das integrierte Gauss-Modell wird z.B. im Programm INPUFF [11] oder in der VDI-Richtlinien VDI-3783 Blatt 1 [12] verwendet. Bild [4] zeigt als Beispiel die Ausbreitung einer Hochkamin-Rauchfahne bei drehenden Winden (berechnet mit dem EPA-Programm INPUFF [11]).

Immissionsberechnungen im Strassenverkehr

Die Ausbreitungsvorgänge von Schadstoffen im Strassenverkehr sind sehr komplex. Wegen der überall vorhandenen Hindernisse durch Bebauung liegt ein sehr kompliziertes Windfeld vor. Dazu kommt, dass bei Ausbreitungsberechnungen für Fahrzeugabgase chemische Umwandlungen (von NO zu NO_2) zu berücksichtigen sind. Für eine realistische Modellierung müsste somit wiederum ein dreidimensionales Modell verwendet werden, in welchem auch chemische Umwandlungsvorgänge simuliert werden können.

In der Praxis allerdings werden immer noch vorwiegend Modelle verwendet, die vom Gaussschen Abgasfahnenmodell (Gleichung l) abgeleitet sind. Diese gelten aber strenggenommen nur für unbebaute Strassenabschnitte. Für Strassenschluchten existieren nur wenige gute Ansätze.

Das Modell CPBM (= Canyon Plume-Box Model) [13] verwendet ein Strömungsfeld nach dem Hotchkiss/Harlow-Ansatz zur Berücksichtigung der Wirbelströmung quer zur Strassenschlucht und ein empirisches Turbu-

lenzmodell, zur Berücksichtigung der vom Wind, von der Sonneneinstrahlung und von den Fahrzeugen induzierten Turbulenz. Das CPBM wurde an sehr aufwendigen Messungen in verschiedenen deutschen Städten geeicht. Es ist für Strassen mit beidseitig kompakter Bebauung konzipiert. Für Strassen mit nur lockerer Bebauungsstruktur ist es nicht geeignet. Für mittlere Bebauungsdichten ist es sicher sinnvoll, beide Modelle, d.h. das Modell CPBM als oberen Grenzwert und das Gausssche Modell für freie Ausbreitung als unteren Grenzwert zu verwenden.

Das Gausssche Modell wird z.B. in den Programmen CALINE 4 [14] und HIWAY 2 [15] verwendet. Bei beiden Programmen werden Fahrzeugemissionen als Linienquellen dargestellt. Die Ausbreitungsberechnung wird ähnlich durchgeführt wie für eine Punktquelle (Gleichung 1). Um die Verwirbelungseffekte durch die fahrenden Fahrzeuge zu berücksichtigen, wird eine Mischzone über der Fahrbahn postuliert, die etwas breiter ist als die Fahrbahn und eine Höhe von rund 4 m aufweist.

Mit dem HIWAY-2-Programm können nur Strassen ohne Bebauung in ebenem Terrain und Strassen in Einschnitten untersucht werden. Das Programm CALINE 4 erlaubt auch die Untersuchung von komplexeren Situationen wie Überführungen und Unterführungen sowie Strassenschluchten, Kreuzungen und Parkarealen. Bei Strassenschluchten werden allerdings nicht Wirbelbildungen, wie sie in Wirklichkeit auftreten, simuliert, sondern lediglich Reflexionen an den Häuserfronten. CALINE 4 berücksichtigt überdies die Umwandlung von NO zu NO_2.

Beide Programme, HIWAY 2 und CALINE 4, eignen sich bestens für Immissionsuntersuchungen für eine beschränkte Anzahl von Strassenabschnitten. Für ganze Strassennetze steigt der Aufwand für die Datenvorbereitung enorm. Hier eignet sich das Programm DISP-CAR, welches vom Autor entwickelt worden ist. Es basiert auf den von T. Pelli entwickelten Regressionsgleichungen [16]. In DISP-CAR werden verschiedene Bebauungsverhältnisse wie Strassenschluchten, Bebauung einseitig oder freie Strecken als auch Strassenschluchten mit Lücken untersuchten. Die Kalibrierung der Regressionsgleichungen wurde mit Hilfe der Resultate einer umfangreichen Messkampagne in der Stadt Zürich vorgenommen. Bild 5 zeigt den Immissionsplan für eine ganze Stadt, wie sie vom Programm DISP-CAR dargestellt wird.

Wie bereits erwähnt, muss bei der Immissionsberechnung für NO_2 an Strassen die chemische Umwandlung von NO zu NO_2 berücksichtigt werden. In [17] wird diese Problematik sehr ausführlich behandelt. Es wird gezeigt, dass die Intensität der NO-NO_2-Oxidation in Strassennähe im wesentlichen abhängig ist von der Emissionsstärke auf der Strasse und der Ozon-Hintergrundbelastung. Bei hoher NO_x-Emission und niedriger Ozon-Hintergrundbelastung sind der NO_2-Anteil und die NO_x-Konzentration besonders gering. In diesem Fall kann er unter 10% sinken. Mit zunehmender Distanz von der Strasse steigt der NO_2-Anteil rasch an und erreicht in 100 bis 250 m Entfernung Werte über 50%. In Kombination mit der stark abnehmenden NO_x-Konzentration resultiert eine NO_2-Zusatzbelastung, die zwar in der Regel am Strassenrand am höchsten, deren Abnahme mit zunehmender Distanz zur Strasse aber nicht sehr ausgeprägt ist.

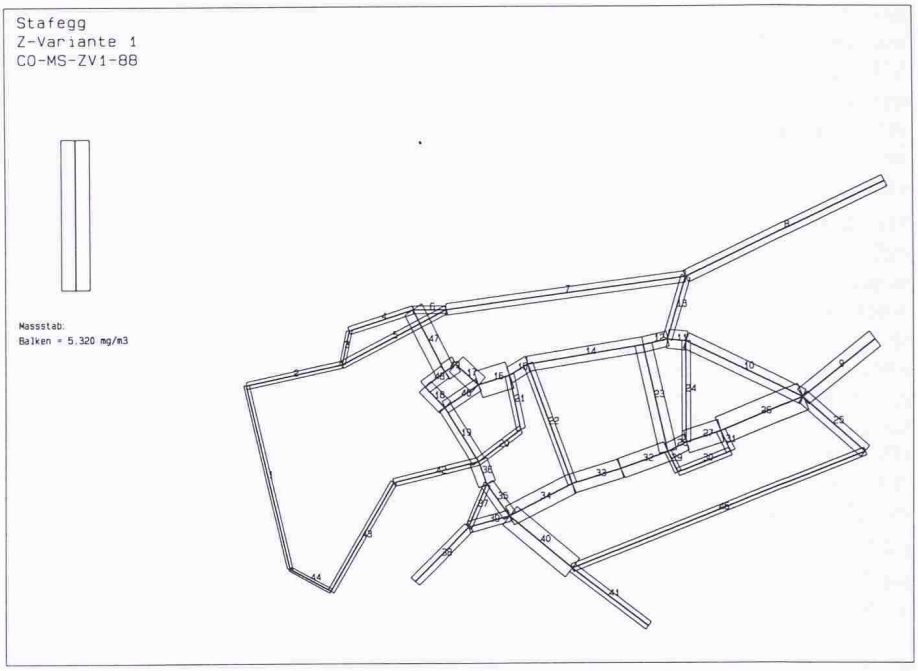

Bild 5. Immissionsverteilung für ein grösseres Strassennetz (berechnet mit dem Programm DISP-CAR)

In Bild 6 ist der NO_2-Anteil am Strassenrand in Funktion des NO_x-Anteils am Strassenrand für verschiedene Ozon-Hintergrundbelastungen dargestellt.

Das Programmpaket PC-DISP

Das Programmpaket PC-DISP besteht aus den vier Programmen DISP-AIR, DISP-GAS, DISP-EX und DISP-CAR.

DISP-AIR ist ein Computerprogramm zur Berechnung der Schadstoffausbrei-

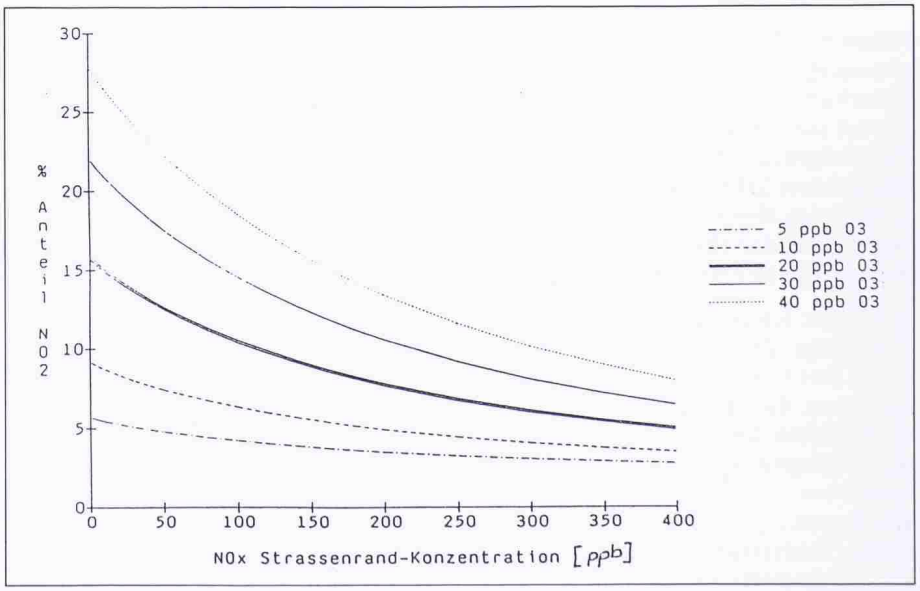

Bild 6. NO_2-Anteil am Strassenrand (Volumenprozente, NO_2/NO_x in ppb); Jahresmittel; Windrichtung gleich verteilt; Autobahn; (nach [17])

tung bei kontinuierlichen Punktquellen, wie z.B. bei Hochkaminen. DISP-AIR basiert auf dem in der TA-Luft 86 spezifizierten Ausbreitungsmodell und berechnet die Luftverunreinigung und den Staubniederschlag an beliebig wählbaren Beobachtungspunkten.

Mit dem Programm DISP-AIR lassen sich interaktiv am Bildschirm die Schadstoffbelastungen im Umfeld von einer oder mehreren Punktquellen berechnen. Die Schadstoffberechnung kann für einzelne Beobachtungspunkte, für Punkte entlang einer Linie oder für eine Fläche durchgeführt werden. Die Ergebnisse werden in Form von 2D- und 3D-Plots anschaulich dargestellt (vgl. Bild 2).

DISP-GAS wurde konzipiert für den Störfall, bei dem gefährliche Gase, die schwerer sind als Luft, freigesetzt werden. Gefährliche, schwere Gase umfassen ein sehr breites Spektrum; typische Beispiele sind gasförmige Brennstoffe wie Butan und Propan, chemische Grundstoffe wie Chlor und Ammoniak, aber auch chemische Produkte wie Cyclohexan und Methylisocyanat. Die Freisetzung kann z.B. durch Bersten eines Lagertankes, durch Bruch einer Leitung oder durch Leckage eines Behälters bei einem Transportunfall verursacht werden.

DISP-GAS berechnet die Ausbreitung von schweren Gasen bei kontinuierlicher oder bei spontaner Freisetzung. Dabei werden nicht nur der eigentliche Ausbreitungsvorgang untersucht, sondern auch die thermodynamischen Vorgänge, die unmittelbar nach der Freisetzung ablaufen, z.B. Abkühlung durch Verdampfung oder Druckabfall. Das Programm DISP-GAS basiert auf [10]. Britter und McQuaid haben die Resultate von praktisch allen bis jetzt durchgeführten Grossversuchen über die Ausbreitung von schweren Gasen analysiert und daraus ein Regressionsmodell entwickelt, das alle relevanten Parameter berücksichtigt.

DISP-CAR ist ein Computerprogramm zur Berechnung der vom Verkehr verursachten Luftschadstoffimmissionen.

Aufgrund der Verkehrsfrequenzen und unter Berücksichtigung der Strassengeometrie, der Bebauung (Strassenschluchten, Lücken, freie Abschnitte) und der Windverhältnisse berechnet DISP-CAR die Schadstoffkonzentrationen entlang der Strassen eines vorgegebenen Strassennetzes.

Im Programm DISP-CAR wird ein Regressionsmodell verwendet, das auf den Messungen der Schadstoff-Konzentrationen im Strassenbereich und den Messungen der Verkehrsmenge, Fahrgeschwindigkeit sowie Windgeschwindigkeit und -richtung beruht. Mit Hilfe der von T. Pelli entwickelten Regressionsgleichungen [16] werden in DISP-CAR die Immissionen im Strassenbereich für verschiedene Bebauungsverhältnisse, Windverhältnisse und Verkehrszustände berechnet und für ein ganzes Strassennetz in Form von Immissionskarten übersichtlich dargestellt.

DISP-EX ist ein zeitvariables Schadstoff-Ausbreitungsprogramm mit einem sehr breiten Anwendungsspektrum. Es basiert auf dem Programm INPUFF [11], einem Immissionsprogramm der «Environmental Protection Agency» (USA). Mit DISP-EX lassen sich zeitvariable, aber auch kontinuierliche Ausbreitungsvorgänge bei veränderlichen Windverhältnissen am Computer simulieren. Die Schadstoffberechnung kann für einzelne oder mehrere Punktquellen und für bis zu 20 Beobachtungspunkte ausgeführt werden.

Das Programmpaket PC-DISP stellt ein Hilfsmittel dar, um die am häufigsten auftretenden Probleme der Schadstoffausbreitung mit im allgemeinen ausreichender Genauigkeit zu lösen. Durch die einfache Dateneingabe am PC-Bildschirm lassen sich Problemstellungen rasch bearbeiten, und durch die grafische Darstellung der Resultate lassen sich die Ergebnisse leicht interpretieren.

Adresse des Verfassers: *Dr. A. Ziegler*, dipl. Bauing. ETH, Ing. Büro Dr. A. Ziegler, Schaffhauserstrasse 333, 8050 Zürich.

Marktübersicht CAD

Bauwesen Schweiz 1985–89

Mitte der 80erJahre stellte man sich in manchen schweizerischen Bauplanungsbüros erstmals die Frage, wer es sich leisten könne, mit CAD zu arbeiten. Inzwischen hat sich die Situation verändert. Die heutige Frage lautet vielmehr, wer es sich noch leisten könne, ohne CAD zu arbeiten. Der folgende Bericht gibt eine Übersicht über die CAD-Entwicklung im Bauwesen Schweiz von 1985–89. Besprochen werden Aspekte der Anwendung, der Verbreitung, der Märkte, der Dienstleistungen, der Software und der Hardware sowie der zu erwartenden Trends für die Entwicklung der kommenden Jahre.

VON JÜRG BERNET, ZUG

Erarbeitet wurde diese Studie auf der Grundlage der SIA-Systemdatenbank CAD. Darin sind alle CAD-Systeme beschrieben, die in der Schweiz für Bauherrschaften, Generalplaner, Architekten, Bauingenieure und Haustechniker angeboten werden. Seit 1985 werden alle Systeme jährlich nach einem neutralen Testverfahren im praktischen Einsatz getestet. Seit 1989 können diese inzwischen rund 15'000 Informationen nicht nur in Form eines Katalogs, sondern auch direkt aus der Datenbank abgefragt werden.

Anwendung

Wettbewerbskräfte

Die Bauherrschaften erwarten von ihren Planern je länger, desto mehr die Übernahme integraler Gesamtverantwortung, den Einsatz qualifizierter Fachkräfte und die Anwendung moderner, leistungsfähiger Planungsmethoden. Grössere Planungsfirmen haben sich bereits in den vergangenen Jahren mit CAD ausgerüstet. Inzwischen haben auch mittlere und kleine Planungsunternehmen begonnen, ihre Leistungen mit CAD zu unterstützen. Bisherige und neue qualifizierte Mitarbeiter bevorzugen Arbeitgeber, die ihnen an ihrem Arbeitsplatz persönliche Herausforderungen, Weiterbildungsmöglichkeiten und moderne Arbeitsmittel bieten. Die Pionierzeit des CAD ist vorbei. CAD ist auch im Bauwesen zu einem bewährten Arbeitsmittel geworden. Trotzdem braucht es immer noch eine rechte Portion Weitsicht und Fachwissen, um CAD erfolgreich einzuführen. Um sich für heute und später grössere Probleme zu ersparen, lassen deshalb