

---

# Zum Klima der Stadt Zürich

## Auf dem Weg zu einer verbesserten Schadstoffmodellierung

**Mathias Rotach**

*Das Interesse am besonderen Klima einer Stadt wird zunächst im Zusammenhang mit älteren stadtklimatologischen Untersuchungen diskutiert und typische Erscheinungen werden kurz vorgestellt. Insbesondere die «städtische Wärmeinsel», d. h. die Tatsache, dass eine städtische Umgebung oft einige wenige Grad wärmer ist als das Umland, haben die Forschung im Bereich der Stadtklimatologie über lange Zeit geprägt. Das zweite wichtige Charakteristikum des städtischen Klimas ist das Abbremsen des Windes durch den besonderen «rauen» Charakter der Oberfläche. Das Hauptgewicht dieses Beitrags liegt auf einem neueren Untersuchungsgegenstand, nämlich der Schadstoffausbreitung in der städtischen Atmosphäre. Anhand der Ergebnisse einer klimatologischen Untersuchung in der Stadt Zürich zur Strömungs- und Turbulenzstruktur der städtischen Atmosphäre wird die besondere Problematik der Schadstoffausbreitung vorgestellt. Die Hauptergebnisse der Studie werden unter besonderer Berücksichtigung ihrer Bedeutung für die Schadstoffausbreitung zusammengefasst. Modellrechnungen zeigen, dass diese Ergebnisse einerseits nicht nur spezifisch für die Stadt Zürich gelten dürften (einzelne der Messungen wurden bisher in keiner anderen Stadt durchgeführt) und dass andererseits die neuen Erkenntnisse eine nicht zu vernachlässigende Verbesserung von Schadstoffprognosen in städtischen Gebieten ermöglichen.*

### 1 EINFÜHRUNG

Die Mehrheit der Menschen wohnt in kleineren oder grösseren Gruppensiedlungen und ist damit Mit-Ursache des Stadtklimas, aber auch von ihm direkt betroffen. Ganz allgemein versteht man unter dem Begriff «Stadtklima» weniger eine bestimmte Kombination der sogenannten Klimaelemente (Temperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung, Niederschlag, Strahlung), wie sie gemeinhin zur Charakterisierung eines bestimmten Klimatyps herangezogen werden, sondern vielmehr die *Abweichung* von demjenigen Klimatyp, der an dieser Stelle auf dem Planeten vorherrschen müsste – wäre da nicht eine Stadt. Schon zu Beginn des neunzehnten Jahrhunderts hatte man bemerkt, dass Städte oft wärmer sind als das Umland und hat später dieses Phänomen («städtische Wärmeinsel») genauer zu charakterisieren versucht: Intensität und räumliche sowie zeitliche Verteilung, Zusammenhang mit der Grösse der Stadt, der Bauweise – ja sogar der Kultur (z. B. Vergleich von US-amerikanischen gegenüber europäischen Städten). In ähnlicher Weise wurden in der Folge die Abweichungen für andere Klimaelemente untersucht. So wurde festgestellt, dass die Windgeschwindigkeit über

städtischem Gebiet reduziert wird («Abbremsen» über der rauhen Oberfläche; siehe auch weiter unten), dass der Wasserhaushalt wegen der Bodenversiegelung modifiziert wird und dass sich Niederschlagsmenge und -häufigkeit verändern. Schliesslich wurde auch die Veränderung der Strahlungsbilanz aufgrund von unterschiedlichen Oberflächenmaterialien und der Trübung der städtischen Atmosphäre durch Staubpartikel («Dunstglocke») eingehend untersucht. Das Ziel dieser Bemühungen, die klimatischen Verhältnisse in einer städtischen Atmosphäre zu erfassen und zu verstehen, war primär ein planerisches: Wie dicht sollte gebaut, wie die Grünflächen verteilt werden?, wo müsste allenfalls die Industrie optimalerweise angesiedelt werden, um bestmögliche Bedingungen für die Bewohnerinnen und Bewohner der Stadt zu gewährleisten?

Seit einiger Zeit beschäftigt nun ein neues Problem die Stadtklimatologie, das die früheren planerischen Ziele geradezu idyllisch erscheinen lässt: Luftverschmutzung. Man weiss natürlich schon seit langem, dass sich viele Schadstoffquellen in oder in der Nähe von Städten befinden und dass die städtische Luft in bezug auf eine ganze Reihe von Schadstoffen erheblich grösseren Belastungen ausgesetzt ist als das Umland (gewichtige Ausnahme: Photooxidantien – sogenannte Sekundärschadstoffe – wie z. B. Ozon). Dies gilt natürlich auch für die Stadt Zürich: Abb. 1 zeigt die Belastung an  $\text{NO}_2$  in der Stadt Zürich für das Jahr 1990. Zu bemerken wäre, dass der Grenzwert der Luftreinhalteverordnung  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beträgt. Relativ neu ist nun das Bedürfnis, solche Belastungen nicht nur zu kennen, sondern sie auch modellieren zu können. Unter «modellieren» soll hier der Versuch verstanden werden, aus der Kenntnis der Emissionscharakteristika und der atmosphärischen Bedingungen die Immissionen («Luftbelastung») an einem beliebigen Punkt mit Hilfe von physikalischen Gesetzmässigkeiten über Transport und Ausbreitung von Schadstoffen zu berechnen. Anwendungen von solchen Simulationen können Umweltverträglichkeitsprüfungen für neue Anlagen oder Katastrophenpläne bei Chemie- oder anderen industriellen Unfällen sein. Ebenso werden sie zur Vorhersage von beispielsweise Ozonkonzentrationen in einiger Entfernung von einer Stadt benötigt, wo die städtische «Schadstoff-Mixtur» ihre volle Wirkung entfaltet. Luftschadstoffe werden auf ihrem Weg von der Quelle (z. B. Auspuff, Kamin) zum Rezeptor (Messgerät, Nase, Lunge) im wesentlichen durch drei Prozesse beeinflusst: zum einen werden sie vom mittleren Wind verfrachtet («Transport»), dann durch atmosphärische Turbulenz verdünnt («Diffusion»), und schliesslich unterliegen sie chemischen Umwandlungen. Wenn wir der Einfachheit halber die Chemie vernachlässigen (also chemisch inerte Schadstoffe oder ganze Gruppen von Schadstoffen, z. B. Stickoxide betrachten), bedeutet dies, dass wir im Prinzip das volle Strömungs- und Turbulenzfeld über einer Stadt kennen müssten, um sinnvolle Prognosen über die Verteilung von Schadstoffen aus bestimmten Quellen machen zu können. Schnell wird dabei klar, dass die Methoden der traditionellen Stadtklimatologie (beispielsweise die Bestim-

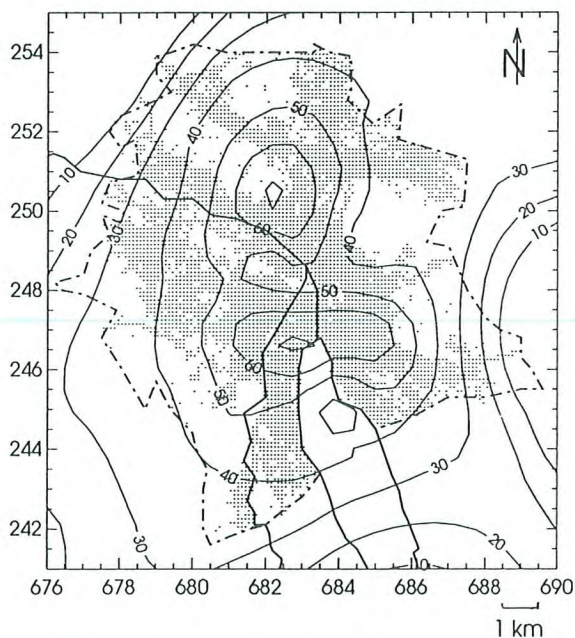


Abb. 1. Verteilung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittel in der Stadt Zürich für das Jahr 1990 in µg/m<sup>3</sup>. Interpolierte Daten aus einer Intensivmesskampagne (19 Stationen) zusammen mit verschiedenen permanenten Mess-Stationen der kantonalen und städtischen Lufthygiene-Fachstellen. Die strichpunktiierte Linie entspricht der Stadtgrenze. Das Siedlungsgebiet (also potentielle Quellorte für NO<sub>2</sub>) innerhalb der Stadtgrenzen ist gerastert, das Seeufer sowie die Limmat und die Sihl sind mit dickeren schwarzen Linien bezeichnet (Abb. Maja Werfeli, GIETH, bisher unveröffentlicht).

mung einer modifizierten «Rauhigkeitslänge» für Städte von unterschiedlicher Grösse, Struktur usw.) aufgrund der Komplexität des Problems nicht genügen können. Vielmehr muss die Strömung über einer Stadt als «Strömung über einer (extrem) rauhen Oberfläche» verstanden und von Grund auf neu untersucht werden.

## 2 DAS STADTKLIMAPROJEKT DER ETH ZÜRICH

Basierend auf den obigen Überlegungen wurde das Projekt «Mikroklima und Energiehaushalt in der untersten Luftschicht über der Stadt Zürich», das vom Schweizerischen Nationalfonds finanziert worden war, am Geographischen Institut der ETH Mitte der achtziger Jahre geplant und durchgeführt. Ein Ziel dieses Projekts war es, einen Beitrag zum besseren Verständnis der physikalischen Prozesse zu leisten, die für die Ausbreitung und Durchmischung von Schadstoffen in einer städtischen Atmosphäre von Bedeutung sind. Dieses Vorhaben wurde in zwei relativ unabhängige Bereiche unterteilt, für die jeweils spezifische Messungen durchgeführt wurden, die dann zur Modellbildung sowie zur Validierung herangezogen werden sollten. Zum einen wurde ein (möglichst) flächen-

deckendes Messnetz (Windgeschwindigkeit und -richtung, z. T. Temperatur und Feuchte) errichtet, um die Strömung («Verfrachtung») über der ganzen Stadt erfassen zu können. Dazu waren 20 Mess-Stationen einzurichten, an denen auf je einem Gebäude jeweils 5 m über Dachniveau die Messinstrumente auf kleinen Türmen montiert waren. Zum anderen wurde an einer zentralen Station (Anwandstrasse) die vertikale Struktur des Turbulenzfeldes («Verdünnung») detailliert untersucht. Dafür wurde ein 20 m hoher Turm auf dem Dach eines Gebäudes und ein weiterer in der angrenzenden Strassenschlucht aufgestellt. Auf insgesamt acht Niveaus wurden so die mittleren Windgeschwindigkeiten und Temperaturen über rund 18 Monate sowie die Turbulenzvariablen episodisch gemessen. Für spezielle Detailuntersuchungen stand zudem ein 10 m hoher transportabler Messturm zur Verfügung, der an insgesamt vier der zum flächendeckenden Messnetz gehörenden Stationen eingesetzt wurde.

### 3 STRÖMUNGSFELDER

Die Daten der rund 20 Windmess-Stationen wurden in zwei Schritten ausgewertet. Zunächst einmal wurden sie mit einem diagnostischen Modell analysiert und in eine Anzahl von Klassen, vor allem bezüglich der Grosswetterlage, unterteilt. Dies ermöglicht es, typische Windfelder, bzw. typische Abfolgen von Strömungsfeldern, für eine Stadt wie Zürich zu erhalten. In einem zweiten Schritt wurde dann versucht, mit einem dynamischen (prognostischen) Modell die gefundenen typischen Strömungssituationen zu simulieren.

Für die Modellierung der Ausbreitung von Luftschadstoffen ergibt sich aus diesen Analysen ein besonders wichtiges Resultat: Das Strömungsfeld über einer Stadt ist nur in den seltensten Fällen *uniform*<sup>1</sup>. Vielmehr zeigen sich komplizierte Strömungsmuster, die im Falle der Stadt Zürich einerseits natürlich durch die Topographie, andererseits durch thermische Effekte (Wärmeinsel, siehe oben) und wohl auch durch die Rauigkeitsverteilung verursacht sind. Insbesondere werden oft konvergente Strömungen beobachtet, was soweit gehen kann, dass bei Schwachwindlagen ein eigentliches Konvergenzzentrum (die Luft strömt von allen Seiten auf einen bestimmten Punkt zu) beobachtet werden kann. Um sich die Bedeutung dieser an sich nicht unerwarteten Aussage vor Augen zu führen, muss man sich vergegenwärtigen, dass viele vereinfachte Ausbreitungsmodelle für Schadstoffe<sup>2</sup> gemeinhin eben gerade ein *uniformes* Windfeld annehmen (bzw. voraussetzen). Damit bedeutet dies für eine Situation mit einem nicht-uniformen Windfeld, dass ein solches vereinfachtes Ausbreitungsmodell nicht in der Lage sein wird, eine realistische Schadstoffprognose zu ermöglichen. Aus den erhalte-

1 In einem uniformen Windfeld sind die Windvektoren von gleicher Grösse und Richtung über dem ganzen Untersuchungsgebiet.

2 Solche Ausbreitungsmodelle, die soweit vereinfacht sind, dass sie in relativ kurzer Zeit eine Vielzahl von Fällen zu behandeln erlauben (z. B. müssen 8760 Fälle (= Stunden) berechnet werden, um den Jahresmittelwert aus einer einzigen Quelle zu berechnen), werden oft auch *operationell* genannt.

nen charakteristischen Strömungsfeldern könnten nun zum Beispiel Strategien entwickelt werden, um geeignete Mess-Standorte zu bestimmen, die mit einem minimalen Aufwand erlauben, realistische Diagnosen des Windfeldes vorzunehmen.

#### 4 DIE TURBULENZ-STRUKTUR IN EINER STÄDTISCHEN ATMOSPHERE

Die Bedeutung der Turbulenz für die Ausbreitung (Verdünnung) von Schadstoffen kann man sich am besten durch folgenden Grössenvergleich veranschaulichen: Sie ist etwa eine Million mal effektiver als die molekulare Diffusion in einer nicht turbulenten (laminaren) Strömung. Wäre die Strömung in den untersten Schichten der Atmosphäre nicht turbulent, kämen beispielsweise Autoabgase in praktisch unverdünnter Konzentration in den Bereich der Gehsteige, wo Fussgängerinnen und Fussgänger ihres Lebens nicht mehr sicher wären. Als Turbulenz bezeichnet man den ungeordneten (chaotischen) Anteil einer Strömung, und entsprechend grosse Probleme ergeben sich deshalb bei der mathematischen und konzeptionellen Beschreibung von turbulenten Strömungen. Bis in die siebziger Jahre dieses Jahrhunderts haben sich die Atmosphärenphysiker deshalb darauf konzentriert, turbulente Austauschprozesse über einfachen Oberflächen verstehen zu lernen: horizontal homogen, einigermaßen glatt und ohne Topographie. Für solche Oberflächen sind die Turbulenzcharakteristika einer Strömung mittlerweile weitgehend bekannt. Nun weist eine Stadt eine Oberfläche auf, die weder glatt noch homogen ist – im Gegenteil. Gerade hier jedoch, wo am wenigsten über die Turbulenzcharakteristika und Austauschprozesse bekannt ist, wäre dies im Hinblick auf die Schadstoffmodellierung am nötigsten, da sich eine Unzahl von Schadstoffquellen in städtischen Gebieten befinden.

Die unterste Schicht über einer glatten homogenen Oberfläche wird «Bodennahe Grenzschicht» genannt. Über einer rauhen, gestörten Oberfläche andererseits muss die bodennahe Grenzschicht nochmals unterteilt werden. In der Nähe der Rauigkeitselemente (Bäume, Häuser) finden wir eine «Rauigkeitsschicht» (*roughness sublayer*, vgl. Abb. 2), wo die Strömung direkt durch einzelne dieser Rauigkeitselemente beeinflusst wird.<sup>3</sup> Darüber liegt, was von der bodennahen Grenzschicht noch übrigbleibt, die «Inertialschicht» (*inertial sublayer*). Die Messungen der Turbulenzcharakteristik innerhalb der Rauigkeitsschicht der Stadt Zürich zählen zu den ganz wenigen, die weltweit bisher durchgeführt wurden. Nach vergleichbaren Untersuchungen über die vertikale Struktur der Rauigkeitsschicht einer Stadt sucht man nach wie vor vergebens in der Fachliteratur.

Was sind nun die Ergebnisse dieser Untersuchungen? Sie lassen sich, etwas verkürzt, durch zwei Hauptmerkmale beschreiben:

3 Streng genommen gibt es eine solche Rauigkeitsschicht auch über einer «glatten» (aber aerodynamisch immer noch rauhen) Oberfläche wie z. B. Sand oder Wasser; nur hat sie dann eine äusserst kleine vertikale Ausdehnung von einigen Millimetern.

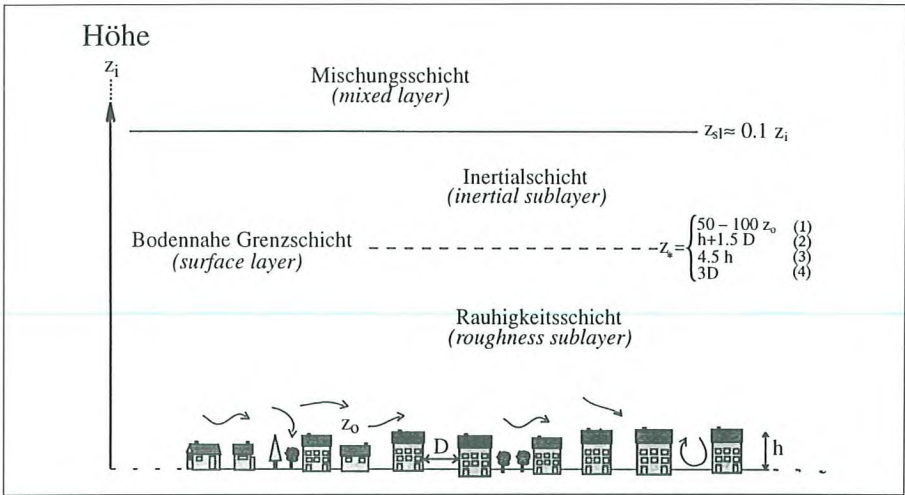


Abb. 2. Schichteinteilung des untersten Teils der Atmosphäre über einer Stadt. Mit  $z_i$  wird die Obergrenze der sogenannten «Planetaren Grenzschicht» (ca. 500–1500 m mächtig) bezeichnet. (1) nach TENNEKES, H. 1973. *J. Atmos. Sci.* 30, 234–238. (2) RAUPACH, M.R. et al. 1991. *Appl. Mech. Rev.* 44, 1–25. (3) GARRATT, J.R. 1978. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 104, 199–211. (4) dito 1980, 106, 803–819.

- Turbulente Flüsse (Beiträge zum Transport von Impuls, Energie oder eben Schadstoffen) sind nicht konstant mit der Höhe innerhalb der Rauigkeitsschicht.
- Alle anderen untersuchten Turbulenzvariablen können mit ähnlichen Methoden, allerdings mit einem anderen Ansatz, wie in der bodennahen Grenzschicht beschrieben werden.

Das tönt nun nicht gerade spektakulär! Um die Bedeutung dieser Resultate zu ermessen, muss man jedoch zwei Dinge wissen. Erstens ist die *Konstanz* der turbulenten Flüsse mit der Höhe das herausragende Merkmal der bodennahen Grenzschicht, das nicht nur gleichsam ihre «Definition» darstellt, sondern überdies dazu verwendet werden kann, um einfache Konzepte zur Beschreibung der Turbulenz herzuleiten. Zum zweiten basieren alle Schadstoff-Ausbreitungsmodelle – vom einfachsten bis hin zu hochentwickelten Forschungsmodellen – mangels besseren Wissens auf der Annahme, dass die unterste Schicht eben die Eigenschaften der bodennahen Grenzschicht aufweist. Wenn man bedenkt, dass die Rauigkeitsschicht über einer Stadt gegen 100 m mächtig sein kann (und damit fast den ganzen Höhenbereich der bodennahen Grenzschicht abdeckt), ergibt dies eine beträchtliche Domäne, wo Modellprognosen entscheidend verbessert werden können. Das zweite der obigen Resultate deutet darauf hin, dass in der Rauigkeitsschicht – trotz Störungen des Turbulenzfeldes durch jedes einzelne Rauigkeitselement – bei geeigneter Betrachtungsweise (Skalierung, Mittelung usw.) eine Möglichkeit existiert, wie das Turbulenzfeld konsistent

beschrieben werden kann. Beispielsweise kann gezeigt werden, dass das gemessene mittlere Windprofil innerhalb der Rauigkeitsschicht mit Hilfe der entwickelten Modellvorstellungen sehr gut simuliert werden kann. Andererseits führt die «traditionelle Betrachtungsweise» (d. h. die Annahme der Turbulenzcharakteristika der bodennahen Grenzschicht) zu einer drastischen Unterschätzung der Windgeschwindigkeit in der Nähe der Dachhöhe.

## 5 SCHADSTOFFMODELLIERUNG

An dieser Stelle interessiert nun natürlich, was die Auswirkungen der gefundenen Turbulenzstruktur in der Rauigkeitsschicht auf die Schadstoffausbreitung sind. Unglücklicherweise wurden im Rahmen des Stadtklimaprojektes selbst keine Schadstoffe gemessen. Überdies ist die eingangs erwähnte Luftchemie bei der Modellierung von realen Schadstoffen, wie sie tagtäglich aus Kaminen und Auspuffen emittiert werden, ein komplizierender Faktor. Es liegt daher nahe, zunächst – als Vereinfachung und um den Einfluss der turbulenten Diffusion herauszuheben – Daten aus Tracer-Experimenten zu betrachten. Als *Tracer* werden chemisch inerte und unschädliche Spurenstoffe bezeichnet, die in der Natur nicht vorkommen und die absichtlich unter kontrollierten (bekannten) Bedingungen in die Atmosphäre emittiert werden. Die gemessenen Konzentrationen sind dann mit Sicherheit als aus der bekannten Quelle stammend zu betrachten. Für die hier untersuchte Problematik bieten sich daher Tracer-Experimente an, die 1978/79 in Kopenhagen durchgeführt wurden.

Für die Modellierung der Schadstoffausbreitung wurde ein sogenanntes Lagrangesches stochastisches Partikelmodell entwickelt – ein Modelltyp, der einerseits optimal für die Anwendung über komplexen Oberflächen geeignet ist und der auch ohne grössere Schwierigkeiten das Einbauen einer Rauigkeitsschicht erlaubt. Die ersten Simulationen wurden allerdings vorerst mit der «traditionellen» Annahme der Turbulenzstruktur einer bodennahen Grenzschicht in der Nähe der Oberfläche durchgeführt. Gemessene und modellierte Bodenkonzentrationen des Kopenhagener Experiments sind in Abb. 3a dargestellt. Trotz der allgemein recht guten Übereinstimmung fällt auf, dass das Modell tendenziell die gemessenen Werte unterschätzt, und zwar besonders im mittleren Konzentrationsbereich. Diese «mittleren Datenpunkte» stammen meist aus Experimenten, bei denen die meteorologischen Bedingungen derart waren, dass relativ hohe Maximalkonzentrationen gemessen wurden. Wenn das Modell die Turbulenzstruktur der bodennahen Grenzschicht verwendet, ist die Ausdünnung der Schadstoffkonzentration zu gross, und die modellierten Konzentrationen unterschätzen die Messungen. Abb. 3b zeigt nun am Beispiel von einem der Kopenhagener Tracer-Experimente, dass die Berücksichtigung der Rauigkeitsschicht zu einer deutlichen Verbesserung der Immissionsprognose führt. Insbesondere wird deutlich, dass das oben erwähnte Defizit der zu effektiv erfolgenden Ausdünnung in einiger Distanz von der Quelle behoben werden kann. Die Betrachtung der Daten

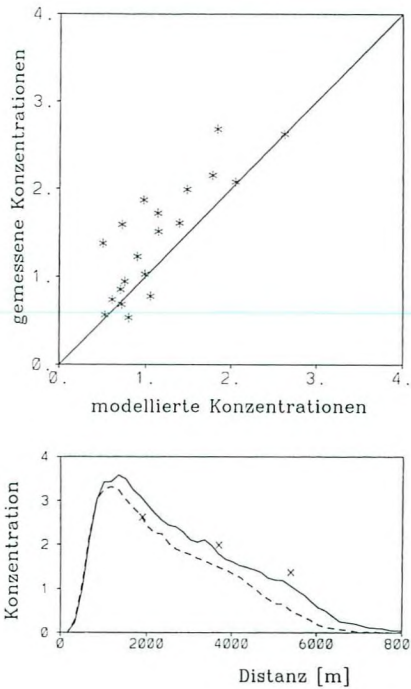


Abb. 3. Gemessene und modellierte Konzentrationen für die Tracer-Experimente in Kopenhagen. (a) Angegeben ist jeweils die über die Richtung quer zum Wind integrierte Bodenkonzentration in  $\text{mg}/\text{m}^2$ . Simulationen ohne Berücksichtigung der Rauigkeitsschicht. (b) Als Funktion des Abstandes von der Quelle für eines der Kopenhagener Experimente; durchgezogene Linie: mit Rauigkeitsschicht, gestrichelte Linie: ohne Rauigkeitsschicht. x: Messwerte.

von allen acht der Kopenhagener Experimente zeigt ferner, dass die explizite Berücksichtigung der Rauigkeitsschicht zu einer (z. T. deutlichen) Verbesserung sämtlicher statistischer Masszahlen führt, die gemeinhin zur Charakterisierung von Modellprognosen verwendet werden.

Bei den Experimenten in Kopenhagen wurde der Tracer auf einer Höhe von 115 m über Grund freigesetzt. Dies ist allenfalls typisch für einzelne Grossemit-tenten (z. B. Kehrlichtverbrennungsanlagen). Für den überströmten Stadtteil (Vor-ort) wurde die Höhe der Rauigkeitsschicht auf nur rund 12 m geschätzt. Damit findet ein grosser Teil des Ausbreitungsprozesses – und gerade die wichtige Anfangsphase – oberhalb der Rauigkeitsschicht statt. Es kann erwartet werden, dass bei bodennahen Quellen der Effekt der Rauigkeitsschicht noch deutlicher sichtbar würde. Leider fehlen bis jetzt geeignete Tracer-Experimente, um dies auch tatsächlich zu demonstrieren. Tests mit hypothetischen Inputdaten (z. B. Abb. 4) deuten darauf hin, dass die Unterschiede zwischen einer Simulation «ohne Rauigkeitsschicht» zu einer Simulation «mit Rauigkeitsschicht» tat-sächlich recht gross werden können. Abb. 4 zeigt ausserdem, dass sich die



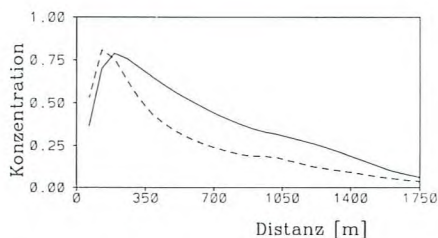


Abb. 4. Konzentrationsverlauf für eine hypothetische Situation; ausgezogene Linie: modelliert unter Verwendung der Turbulenzstruktur in der Rauigkeitsschicht; gestrichelte Linie: Annahme einer bodennahen Grenzschicht bis hinunter zum Boden (d. h. ohne Rauigkeitsschicht). Bodenkonzentrationen in willkürlichen Einheiten.

explizite Berücksichtigung der Rauigkeitsschicht weniger auf die Maximalkonzentrationen auswirkt, sondern viel mehr auf die Bodenwerte in einiger Entfernung von der Quelle. Dazu muss bemerkt werden, dass sich die Schadstoffbelastung in einer Stadt fast überall als Summe von vielen Teilbeträgen ergibt und nicht als Resultat einer einzigen grosse Quelle zustande kommt.

## 6 AUSBLICK

Eine wesentliche Einschränkung der oben präsentierten Ergebnisse zur Turbulenzstruktur in einer städtischen Atmosphäre besteht darin, dass die Messdaten, aus denen die Konzepte entwickelt wurden, alle aus einer einzigen Stadt – aus Zürich – stammen. Es ist klar, dass eine deutliche Verbesserung der simulierten Schadstoffkonzentrationen in einer anderen Stadt (Kopenhagen), wie sie im vorangehenden Abschnitt diskutiert wurde, eine grosse Unterstützung für die Hypothese der Übertragbarkeit dieser Konzepte auf andere Städte bedeutet. Trotzdem wäre es natürlich wünschenswert, ähnliche Messungen zur Turbulenzstruktur der städtischen Rauigkeitsschicht in verschiedenen Städten mit unterschiedlicher Bebauungsstruktur durchführen zu können. Daneben wird es in nächster Zukunft darum gehen, die Anstrengungen in der Modellierung von Schadstoffausbreitung zu vergrössern. In einem eben bewilligten Projekt im Rahmen der europäischen Forschungszusammenarbeit (COST 615) sollen die beschriebenen Erkenntnisse bezüglich der Schadstoffausbreitung auf ein einfacheres und damit wesentlich schnelleres (und ökonomischeres) Schadstoffmodell übertragen werden.

So wichtig die Schadstoffmodellierung gerade in städtischen Gebieten für die Planung beispielsweise von neuen Anlagen ist, so sollte man eines nie vergessen: sie reduziert nicht die Schadstoffbelastung in der Atmosphäre. Dies geschieht einzig und allein durch eine Verminderung der Emissionen.

### *Literatur*

Ein Verzeichnis verwendeter und weiterführender Literatur kann auf schriftliche Anfrage beim Sekretariat der NGZ gratis bezogen werden.