

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 37

Artikel: Immissionsmodelle: die Sicht des BUWAL
Autor: Leutert, Gerhard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77500>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

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

Immissionsmodelle

Die Sicht des BUWAL

Grundsätzlich sollten Immissionen durch *Messungen* ermittelt werden. Ist dies nicht möglich, z.B. weil die Immis-

VON GERHARD LEUTERT,
BERN

sionen an einer Vielzahl von Rezeptorpunkten bekannt sein sollen oder weil eine Anlage erst neu erstellt wird, können Ausbreitungsrechnungen beigezogen werden. In Artikel 27 der Luftreinhalteverordnung (LRV) wird das Instrument der Ausbreitungsrechnung ausdrücklich als eine Möglichkeit für die Ermittlung der Immissionen genannt. *Immissionsmodelle* sind daher neben der Messung ein wichtiges *ergänzendes Instrument* zur Charakterisierung der Immissionsbelastung. Vor allem im Hinblick auf Immissionsprognosen ist der Einsatz von Ausbreitungsmodellen meist unumgänglich. Für diesen Zweck steht heute eine ganze Reihe von Modellen mit ganz unterschiedlichem Komplexitätsgrad zur Verfügung.

Beim Einsatz dieser Modelle ist darauf zu achten, dass sie problemspezifisch ausgewählt werden, der Anwender über Erfahrung verfügt und die Qualität des Modellinputs gut ist. Sind diese Kriterien nicht erfüllt, so garantiert auch die Anwendung eines komplizierten Modells nicht unbedingt den Erfolg. In diesem Sinn ist der Modellkomplexität nicht eine primäre Bedeutung zuzumessen. Es kann durchaus sein, dass für ein bestimmtes Problem ein einfacher Analogieschluss, abgeleitet aus den Messungen einer repräsentativen Lufthygiene-station, sinnvolle und genügend genaue Resultate ergibt.

Grundphilosophie des BUWAL

Die im folgenden gemachten Ausführungen sind als *Empfehlungen* zu verstehen. Sie sollen einen *Minimalstandard* definieren, der für die verschiedenen Anwendungsfälle (siehe Tab. 1) mindestens erreicht werden soll. Der Einsatz der in Tabelle 1 aufgeführten Modelle wird aber *nicht* vorgeschrieben. *Alternative Modelle*, die für die jeweiligen Anwendungsfälle geeignet, in Tabelle 1 aber nicht aufgeführt sind,

können eingesetzt werden, sofern sie gleich gute oder bessere Resultate liefern. Dies bedeutet, dass solche Alternativmodelle einen vergleichbaren oder höheren Komplexitätsgrad aufweisen müssen. Beurteilungskriterium ist dabei die modellinterne Parametrisierung der grundlegenden atmosphärenphysikalischen und chemischen Prozesse. Je detaillierter die Transport-, Diffusions- und Umwandlungsprozesse im Modell berücksichtigt werden, desto höher ist der Komplexitätsgrad eines Modells.

Das BUWAL vertritt die Ansicht, dass die heute verfügbaren Ausbreitungsmodelle (v.a. aus den USA und der BRD) als Basis genügen, um für die überwiegende Zahl der in der Praxis auftretenden Probleme sinnvolle Ausbreitungsrechnungen durchführen zu können. Wo nötig, sind bestehende Modelle zu ergänzen oder einer spezifischen Fragestellung anzupassen.

Es ist weiter unbestritten, dass die wissenschaftliche Forschung auf diesem Gebiet nach wie vor intensiv ist und im Rahmen der rasanten Entwicklung im Bereich der Mikroelektronik in Zukunft der Einsatz immer komplexerer Modelle auf immer kleineren Computern möglich sein wird. Damit werden für den Praktiker mehr und mehr Modelle verfügbar, die heute erst im wissenschaftlichen Kreis von Bedeutung sind. Die Formulierung von Empfehlungen, im Gegensatz zu bindenden Vorschriften, trägt dieser zu erwartenden Entwicklung Rechnung.

Generelle Bemerkungen zur Modellauswahl

Wie bereits erwähnt, existiert eine Vielzahl von Modellen. Die meisten sind für einen eng definierten Anwendungszweck erarbeitet worden. Ein allgemein einsetzbares und verfügbares Ausbreitungsmodell, das für die Bearbeitung verschiedenster Fragestellungen eingesetzt werden könnte, existiert noch nicht. Der Modellanwender hat deshalb die *Modellvoraussetzungen* genau zu beachten und als erstes zu prüfen, ob das eingesetzte Modell für das zu bearbeitende Problem geeignet ist.

Wie bei allen Modellen sind auch bei

den Ausbreitungsmodellen *Inputdaten* erforderlich. Sie betreffen die meteorologischen Rahmenbedingungen eines Projektstandorts und die emissionsseitigen Kennziffern einer Anlage. Über die Bereitstellung des meteorologischen Inputs wird an anderer Stelle an dieser Tagung berichtet. Für die Bestimmung der Emissionen kann auf verschiedene BUWAL-Arbeiten zurückgegriffen werden (z.B. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 55 für Verkehrsemissionen resp. Nr. 76 für stationäre Anlagen).

Eine gute Qualität der Inputdaten ist eine unabdingbare Voraussetzung für ein gutes Modellresultat. Diesem Punkt wird sehr häufig zuwenig Beachtung geschenkt. Es ist aber durchaus möglich, dass für die Erarbeitung des Modellinputs mehr Zeit investiert werden muss, als für die eigentlichen Berechnungen benötigt wird.

Modellempfehlungen

Da die Modellauswahl problemorientiert erfolgen muss, sind auch die in Tabelle 1 zusammengestellten Empfehlungen nach Anwendungsfällen gegliedert. Es werden drei Hauptgruppen unterschieden:

- Modelle für Einzelprojekte,
- Vielquellen-Modelle für Städte und Regionen,
- Modelle für komplexe Ausbreitungsverhältnisse.

Diese drei Gruppen decken zwar einen Grossteil, aber nicht alle denkbaren Anwendungsfälle ab. Für die Behandlung spezieller Fragestellungen sei auf das Programmpaket UNAMAP der U.S. Environmental Protection Agency (siehe Tabelle 2) verwiesen, das über 20 Modelle für die unterschiedlichsten Problemstellungen enthält.

Modelle für Einzelprojekte

Die drei Modelle dieser Gruppe sind für *Ausbreitungsrechnungen an räumlich meist eng begrenzten Standorten* einzusetzen. Kriterium für die Auswahl dieser Modelle war die Forderung, standortspezifische Rahmenbedingungen berücksichtigen zu können. Alle drei Modelle erfordern deshalb zum Teil recht detaillierte Eingabedaten (lokale Angaben zur Emission, Meteorologie und Hintergrundbelastung).

Das Punktquellenmodell AUSTAL86 ist im speziellen für die Schätzung der Konzentrationen in der Umgebung grosser, meist industrieller Emittenten

Anwendungsfall	Modelltyp
A) Modelle für Einzelprojekte (z.B. Standortabklärungen im Rahmen einer UVP)	
A1 Punktquelle (Ausbreitungsdistanz 100–10 000 m)	AUSTAL86 (UBA)
A2 Strasse in offenem Gelände (Ausbreitungsdistanz 1–500 m)	HIWAY-2 (USEPA) mit BUWAL) Ergänzung
A3 Strassenschlucht (Ausbreitungsdistanz 1–30 m)	CPBM (UBA)
B) Vielquellenmodelle (z.B. Einsatz im Zusammenhang mit Massnahmenplänen)	
B1 Stadt/Agglomeration (Anwendungsgebiet: bis 100 km ²)	CDM-2.0 (USEPA) in Kombination mit A1, A2, A3
B2 Region (Anwendungsgebiet: bis 2500 km ²)	Flächendeckende einfache Rastermodelle (z.B. Kt. St. Gallen, Kt. Zürich)
B3 Ozonmodell für Agglomeration	PBM (USEPA)
C) Komplexe Ausbreitungsbedingungen	
C1 Komplexe Gebäudestrukturen	Windkanal (LASEN)
C2 Komplexe Topographie	MESOCONV, MICRO (LASEN)
UBA: Umweltbundesamt Berlin USEPA: United States Environmental Protection Agency LASEN: Laboratoire des systèmes énergétiques de l'Ecole polytechnique fédérale, Lausanne	

Tabelle 1. Immissionsmodelle: Anwendungsgebiete, Modelltypen

geeignet. Das Modell basiert auf dem in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) des Bundes-Immissionsschutzgesetzes der BRD formulierten Konzept.

Das Modell HIWAY-2 ist primär für die Berechnung der Kohlenmonoxid (CO)- und Stickoxid(NO_x-Konzentrationen an unbebauten Strassen in offenem Gelände konzipiert worden. Eine Schätzung der NO₂-Konzentrationen erfordert eine Nachbearbeitung der Resultate dieses Modells (Ergänzung BUWAL). Auf diesen Punkt wird im Referat von P. Filliger eingegangen.

Im Bereich der Strassenschluchtmodelle existieren bisher nur wenige gute Ansätze. Das Modell CPBM wurde an sehr aufwendigen mehrjährigen Messungen in verschiedenen deutschen Städten geübt und ist für Strassen mit beidseitig kompakter Bebauung konzipiert. Für Strassen mit nur lockerer Bebauungsstruktur ist es nicht geeignet. In diesem Fall sollte auf das Modell HIWAY-2 zurückgegriffen werden. Liegt eine Strasse mit mittlerer Bebauungsdichte vor, wird die Anwendung beider Strassenmodelle mit nachfolgender Mittelbildung empfohlen.

Vielquellenmodelle

Der Haupteinsatzbereich von Vielquellenmodellen ist die Ermittlung der *Wir-*

kung von Massnahmenplänen. Grundsätzlich basieren die Vielquellenmodelle auf den Konzepten der in der ersten Gruppe zusammengefassten Basismodelle. Da eine Vielzahl von Quellen simuliert werden muss, sind jedoch bedeutende Generalisierungen vorzunehmen. In Städten mit räumlich oft stark variierenden Emissionsverhältnissen ist in der Regel ein hoher Detaillierungsgrad erwünscht, wegen des grossen Rechenaufwandes aber nur zum Teil realisierbar. Zweistufige Konzepte, die in einem ersten Schritt die von Quartier zu Quartier ändernde Grundbelastung simulieren und in einer zweiten Stufe die Zusatzbelastung an Hauptverkehrsachsen oder in der Umgebung von Grosseinheiten dazuzaddieren, haben sich bewährt. Das am Nachmittag präsentierte Beispiel der Stadt Basel illustriert diese Vorgehensweise.

Das BUWAL schlägt für diesen Anwendungsfall eine *Kombination des Modells CDM-2* (Berechnung der Grundbelastung) *mit den Modellen* der ersten Gruppe (AUSTAL86, HIWAY-2, CPBM; soweit notwendig) vor. Dieses Vorgehen erfordert einen beträchtlichen Aufwand und sollte von einem erfahrenen Modellanwender durchgeführt werden. Da die Städte die Hauptproblemgebiete der Luftreinhaltung sind, ist dieser Aufwand jedoch gerechtfertigt.

Über die Vielquellen-Modelle zur Simulation der NO₂-Belastung ganzer Regionen (*flächendeckende einfache Rastermodelle*, z.B. der Kantone Zürich und St. Gallen) wird in separaten Vorträgen berichtet. Da in diesen Modellen die Konzentrationsverteilung über grosse Gebiete mit relativ einfachen Ansätzen geschätzt werden soll, sind die zugrundeliegenden Generalisierungen beträchtlich.

Alle bisher vorgestellten Modelle eignen sich im wesentlichen für inerte Schadstoffe. Chemische Umwandlungen können meistens nur sehr vereinfacht berücksichtigt werden. Aussagen über den sekundären Schadstoff Ozon sind mit diesen Modellen deshalb unmöglich. Spezielle Ozonmodelle existieren, sind im Normalfall jedoch sehr aufwendig. Für einfache Abschätzungen der Ozonbildung im Mittel über grössere Agglomerationen wird der Einsatz des Modells PBM (Tabelle 1) empfohlen. In der Regel erfordert die Behandlung der Ozonproblematik aber die Formulierung eines wissenschaftlichen Projekts.

Komplexe Ausbreitungsbedingungen

Die bisher genannten Modelle definieren eine Minimalanforderung, die aus der Sicht des BUWAL für die verschiedenen Anwendungsfälle erreicht werden sollte. Die letzte Gruppe der Tabelle 1 enthält Modelle, die über diese Minimalanforderungen hinausgehen. Sie sind im speziellen für komplexe Ausbreitungsverhältnisse geeignet. Solche Verhältnisse liegen vor, wenn innerhalb des relevanten Einwirkungsgebiets einer Quelle (Strasse: wenige 100 m; Einzelquelle: bis mehrere km, je nach Quellgrösse) die Wind- und Turbulenzverhältnisse derart stark ändern, dass die am Emissionsstandort gemessenen Verhältnisse in weiten Teilen des Einwirkungsgebiets nicht mehr repräsentativ sind. In solchen Fällen ist der Einsatz komplexer Modelle besonders zu empfehlen (*Windkanal*-Untersuchungen; Modelle MESOCONV und MICRO). Sie sind aber um ein Vielfaches aufwendiger als die einfachen Modelle der ersten beiden Gruppen.

Aussagekraft der Modelle

Immissionsprognosen mit Ausbreitungsmodellen sind naturgemäss mit Ungenauigkeiten behaftet. Um diese Ungenauigkeiten möglichst gering zu halten, sind folgende Punkte zu beachten:

- Modellauswahl problemorientiert vornehmen,

- Modellinput hoher Qualität bereitstellen,
- Vielzahl verschiedener Fälle simulieren (Jahresmittelberechnung),
- Modellkalibration an bestehenden Messungen vornehmen,
- Plausibilität der Resultate durch einen erfahrenen Lufthygieniker überprüfen lassen.

Die Erfahrung mit Ausbreitungsmodellen zeigt, dass die Ungenauigkeiten bei Einzelfallanalysen (1/2-h Mittelwert) sehr gross sein können. Man muss in diesem Fall zufrieden sein, wenn die gemessenen und die berechneten Werte innerhalb eines Faktors 2 liegen. Aus diesem Grund wird empfohlen, primär einen Jahresmittelwert zu berechnen, der mit wesentlich grösserer Genauigkeit bestimmbar ist. Um systematische Unter- oder Überschätzungen zu verhindern, ist wenn immer möglich ein Vergleich mit Messwerten anzustreben.

Der Vergleich der Modellresultate mit Kurzzeitgrenzwerten (maximale Tagesmittelwerte, 95% Wert aller 1/2-h Werte) ist von sekundärer Bedeutung, er sollte aber nicht weggelassen werden; bei diesem Vergleich ist die (gegenüber Jahresmittelwerten) wesentlich grössere Unsicherheit der Schätzung zu beachten.

Weiteres Vorgehen

Mit der vorliegenden schriftlichen Fassung dieses Referats wird für die wichtigsten in der Praxis auftretenden Fragestellungen ein Rahmen definiert, der einen sinnvollen Modelleinsatz erlaubt.

Die Empfehlungen sind bewusst offen formuliert, um zukünftige Entwicklungen auf dem Sektor der Ausbreitungsmodelle, die sich bereits abzeichnen, nicht zu unterbinden.

Abschliessend darf festgehalten werden, dass die Ausbreitungsrechnung ein sinnvolles Instrument ist, dessen vermehrte Anwendung in der Luftreinhal-

AUSTAL86 (Ausbreitungsrechnungen entsprechend den Bestimmungen der TA Luft in der Fassung vom 27. Feb. 1986)

Magnetband:
Umweltbundesamt, Bismarckplatz 1, 1000 Berlin 33

PC-Version:
GEOMET, Luitpoldstr. 46, 1000 Berlin 30 (PC-Punktquellenmodelle, die auf dem Berechnungskonzept der TA-Luft basieren, sind auch bei anderen privaten Anbietern erhältlich)

HIWAY-2, CDM-2.0, PBM
(CDM: Climatological Dispersion Model; PBM: Photochemical Box Model; alle 3 Modelle sind Teil des UNAMAP-Programmpakets)

Magnetband:
Die laufende UNAMAP-Version (23 Modelle) ist erhältlich bei:
Computer Products
National Technical Information Service (NTIS)
U.S. Department of Commerce
Springfield VA 22161 USA

PC-Version:
Die Modelle HIWAY-2 und CDM-2.0 (und weitere UNAMAP-Modelle) sind bei verschiedenen privaten amerikanischen Anbietern erhältlich, z.B.:
Trinity Consultants
12801 N. Central Expressway
Dallas, Texas 75243 USA

Vorgehen für die Bestimmung der NO₂-Konzentration in Ergänzung zum Modell HIWAY-2:

BUWAL, Abt. Luftreinhaltung, Hallwylstr. 4, 3003 Bern

CPBM (Canyon Plume-Box Model)

Zu diesem Modell existiert kein allgemein erhältliches Computerprogramm. Das Modell ist dokumentiert in:

Umweltbundesamt (1987): Ermittlung der durch Kfz-Emissionen verursachten Immissionsfelder verschiedener Strassentypen, Materialienband 2, Forschungsbericht 1 04 02 432/01, GEOMET - Umweltberatung und Regionalplanung GmbH, Berlin.

Yamartino R.J. und Wiegand G. (1986): Development and evaluation of simple models for the flow, turbulence and pollutant concentration fields within an urban street canyon. Atmospheric Environment, 20, 2137-2156.

Modell Kt. St.Gallen

Kontaktstelle: Amt für Umweltschutz SG, Abteilung Luftreinhaltung, Lindebühlstrasse 91, 9001 St. Gallen

Modell Kt. Zürich

Kontaktstelle: ATAL, Amt für Technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich, Weinbergstrasse 17, 8090 Zürich

MESOCONV, MICRO, Windkanal

Kontaktstelle: Dr. M. Beniston, Dr. J. Hertig, LASEN, EPFL, 1015 Lausanne

Tabelle 2. Bezugsquellen und Kontaktstellen für Ausbreitungsmodelle

tepraxis anzustreben ist. Doch darf dieses Instrument nicht überstrapaziert werden. In diesem Sinn ist zu hoffen, dass die heutige Tagung einerseits technische Fragen der Modellanwendung beantworten wird, gleichzeitig aber auch zu einer kritischen Beurteilung dieser Instrumente führt.

Adresse des Verfassers: Dr. G. Leutert, Chef der Abt. Luftreinhaltung, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 3003 Bern.

Überarbeiteter Vortrag, gehalten an der «Journée Cercl'Air» vom 10. November 1989 in Lausanne.