Das Modell MUKLIMO

1 Allgemeines 2
1.1 Über das Programm MUKLIMO 2
1.2 Voraussetzungen für die Anwendung 2
1.3 Installation und Programmstart. 2

2 Grundsätzlicher Modellablauf 3

3 Die Eingabedatei. 5
3.1 Allgemeines zum Gebrauch. 5
3.2 Der Block &param. 5
3.3 Der Block &gitter 7
3.4 Der Block &schad. 8
3.5 Der Block &rauhigk. 8
3.6 Der Block &uaufgel. 9
3.7 Der Block &blaetter 9

4 Die Ausgabedatei. 10

5 Numerische Instabilität 10

6 Beispiele 11

7 Literatur 11

. 12

8 Ergänzender Hinweis 12

1 Allgemeines

1.1 Über das Programm MUKLIMO

Das numerische Modell MUKLIMO (Mikroskaliges Urbanes KLIma-MOdell) ist ein zweidimensionales, prognostisches Gitterpunktsmodell zur Berechnung atmosphärischer Verhältnisse im Bereich blockförmiger Strukturen. Es wurde in der Zeit von 1980 bis 1983 im Rahmen des vom Umweltbundesamt geförderten Projekts "Numerische Simulation des Stadtklimas" entwickelt und ist in dem Aufsatz "A microscale urban climate model" (SIEVERS und ZDUNKOWSKI, 1986) beschrieben. Die vorliegende PC-Version ist speziell für die Ausbreitung von Kfz-Abgasen konzipiert. Sie beschränkt sich deshalb gegenüber der Urfassung auf die Berechnung des Windfeldes und der turbulenten Austauschkoeffizienten sowie der Schadstoffausbreitung. Andererseits sind Programmteile hinzugefügt, die die Modellierung von teildurchlässiger Bebauung sowie von Baumbestand gestatten (SIEVERS, 1990).

Die "Zweidimensionalität" des Modells ist eine Idealisierung tatsächlicher Verhältnisse. Sie bedeutet, daß eine horizontale Richtung existiert, längs der sowohl die Modellstrukturen als auch die atmosphärischen Verhältnisse unveränderlich sind. Diese Richtung soll als y-Achse bezeichnet werden. Die Variablen hängen somit nur von der zweiten Horizontalkoordinate x und der vertikalen Koordinate z ab. Die Annahme der Zweidimensionalität ist bei längeren Straßen mit gleichförmiger Berandung auf beiden Seiten eine gute Näherung, insbesondere dann, wenn die atmosphärische Anströmung der Straße in nicht zu spitzem Winkel erfolgt. Bei nahezu straßenparaller Windrichtung sind zweidimensionale Modellresultate dagegen mit Vorsicht zu betrachten, da dann z. B. der Einfluß der nächsten Kreuzung, der vom Modell prinzipiell nicht erfaßt werden kann, zunehmend wichtig wird.

1.2 Voraussetzungen für die Anwendung

Das Programm MUKLIMO ist ein DOS-Programm und lauffähig auf PC's, die mit VGA-Grafik ausgestattet sind. PC's der 286er und 386er Generation müssen zusätzlich mit einem numerischen Co-Prozessor ausgestattet sein. Vom Anwender werden elementare Kenntnisse in Mathematik und im Umgang mit dem Betriebssystem MS-DOS sowie ein physikalisches Verständnis für in der Atmosphäre ablaufende Ausbreitungsvorgänge erwartet.

1.3 Installation und Programmstart

Für das Programm MUKLIMO richten Sie auf der Festplatte ihres PC's zweckmäßigerweise ein eigenes Verzeichnis ein, z.B. C:\MUKLIMO. Hierzu geben Sie an der MS-DOS-Eingabeaufforderung den Befehl

```
md c:\muklimo
```

ein und schicken ihn durch Drücken der Eingabetaste ab. In dieses Verzeichnis kopieren Sie von der Programmdiskette das ausführbare Programm MUKLIMO.EXE, die Font-Datei HELVB.FON (für die Graphik notwendig) sowie die Programmbeschreibung MUKLIMO.TXT. Das wird durch das Kommando

```
copy a:\*.* c:\muklimo
```

erreicht, wobei die Programmdiskette sich im Laufwerk a befinden muß. Für die mitgelieferten Beispiele richten Sie ein Unterverzeichnis C:\MUKLIMO\SAMPLES ein,

```
md c:\muklimo\samples
```

und kopieren sämtliche Dateien aus dem Verzeichnis “Programm\MUKLIMO” dorthin

```
copy D:\muklimo\samples\*.* c:\muklimo\samples
```

Die Installation ist damit fertig.

Falls Sie das Programm nicht auf der Festplatte installieren wollen, können Sie es auch von der Programmdiskette aus starten. Hierzu tippen Sie an der MS-DOS-Eingabeaufforderung das Kommando

```
A:\MUKLIMO
```

ein.

2 Grundsätzlicher Modellablauf

Nach Vorbereitung einer

- Eingabedatei

(siehe das nächste Kapitel) schalten Sie Ihren PC von der MS-DOS-Eingabeaufforderung aus auf das MUKLIMO-Verzeichnis

```
cd c:\muklimo
```

und starten das Programm durch die Eingabe des Kommandos

```
muklimo
```

Sie werden dann nach der

- Eingabedatei

gefragt, deren Pfadnamen Sie parat haben und angeben müssen. Es wird überprüft, ob die angegebene Datei tatsächlich existiert. Falls nicht, bricht das Programm mit einer entsprechenden Meldung ab. Nachdem Sie sich über den korrekten Namen der gemeinten Datei vergewissert haben, starten Sie dann das Programm erneut. Programmabbruch erfolgt auch, wenn die Eingabedatei formale Fehler enthält. Ist alles korrekt, wird anschließend nach der

- Ausgabedatei

gefragt, auf die Modellresultate geschrieben werden sollen. Gibt man hier den Pfadnamen einer bereits existierenden Datei an, so wird gefragt, ob diese überschrieben werden soll oder nicht. Wenn nicht, wird nach einer alternativen Datei gefragt. Dann startet das Rechenprogramm.

Über den jetzt folgenden Programmablauf informiert MUKLIMO graphisch und durch Meldungen, die auf dem Monitor erscheinen.

Zunächst wird die durch die angegebens Eingabedatei festgelegte Struktur des Modellgebiets mitsamt Schadstoffquellen, Hindernissen und Gittereinteilung gezeigt und gefragt, ob diese in Ordnung sei. Falls "nein", so bricht das Programm ab und bietet somit Gelegenheit zur Korrektur.

Falls "ja", so startet anschließend die Windfeldberechnung, zunächst eindimensional, d.h. nur vertikal veränderlich. Dabei wird die Windgeschwindigkeit in einer vorgebbaren Höhe auf ihrem vorgegebenem Wert festgehalten. Die nach längerer Integrationszeit sich einstellende stationäre Windverteilung dient dann als Anfangsfeld für die Berechnung der zweidimensionalen Windverteilung. Präziser gesagt: Die horizontalen Windkomponenten des eindimensionalen Endfeldes werden auf das zweidimensionale Modellgebiet übertragen mit Ausnahme der massiven Hindernisse einschließlich ihrer Ränder, auf denen die Windgeschwindigkeit zu Null gesetzt wird. Die anfängliche Vertikalgeschwindigkeit wird so bestimmt, daß die Massenerhaltung überall gewährleistet ist. Die folgende zeitliche Entwicklung des zweidimensionalen Windfelds wird grafisch durch Windpfeile seiner (u,w)-Komponente veranschaulicht, die mit jedem numerischen Zeitschritt für einen um einige Randzellen verkleinerten Ausschnitt des Modellgebiets neu gezeichnet werden. Die jeweils mit ausgegebene Größe "delta" ist ein relatives Maß für die zeitliche Geschwindigkeitsänderung. Die Integration wird bis zur näherungsweisen Stationarität des zweidimensionalen Windfeldes durchgeführt. Das Kriterium dafür ist, daß die Größe delta nach mindestens 100 Integrationsschritten einen bestimmten Grenzwert delta0 unterschreitet. Das Programm hält dann an und fordert zum Betätigen der <Eingabe>-

Taste auf.

Danach werden die in der Eingabedatei spezifizierten Schadstoffquellen eingeschaltet, und die Simulation der zeitlichen Entwicklung der Abgaskonzentration beginnt. Sie wird bestimmt durch das Zusammenspiel von Emission, Wind und turbulentem Austausch und gleichfalls grafisch veranschaulicht. Nach einer von der Windgeschwindigkeit und den Modellabmessungen abhängigen Integrationszeit endet die Simulation mit einem näherungsweise stationären Konzentrationsfeld. Auf dem Monitor erscheint die Meldung

- Programm MUKLIMO beendet.

Die Modellresultate sind in der anfangs festgelegten Ausgabedatei zu finden.

3 Die Eingabedatei

3.1 Allgemeines zum Gebrauch

Die Festlegung der Modellabmessungen, des Gitteraufbaus, Höhe und Abmessungen der Hindernisse, Lage und Stärke der Quellen, der Windgeschwindigkeit und weiterer, im einzelnen noch zu besprechenden Größen erfolgt durch den Benutzer, der hierfür eine "Eingabedatei" zu erstellen hat. Diese ist der Form nach eine FORTRAN-NAMELIST, die in die folgenden Blöcke unterteilt ist:

- &param
- &gitter
- &schad
- &rauhigk
- &uaufgel
- &blaetter.

Die Festlegung der zugehörigen Variablen muß jeweils zwischen dem Blocknamen (&name) und dem Schrägstrich (/) erfolgen. Als Trennzeichen zwischen den Variablen bzw. den einzelnen Elementen eines Feldes sind ein oder mehrere Leerzeichen, Komma oder Zeilenschaltung zulässig. Zwischen den Schrägstrichen und dem jeweils folgenden Blocknamen sowie vor dem ersten Blocknamen können Kommentare geschrieben werden. Die mitgelieferten Beispieldateien bsp1.nml bis bsp13.nml geben an diesen Stellen Hinweise zu den Variablen. Wird eine zu einem bestimmten Block gehörige Variable in der Eingabedatei nicht spezifiziert, so gelten vom Modell vorab festgelegte Vorgabewerte. Es müssen also nur die Variablen angegeben werden, mit deren Vorgabewert man nicht einverstanden ist. Eine eigene Eingabedatei stellen Sie sich am enfachsten her, indem Sie indem Sie eine der Beispieldateien kopieren und in der Kopie die Parameter nach Ihren Vorstellungen ändern oder ergänzen.

3.2 Der Block &param

Der Block &param enthält Spezifikationen zum Windfeld sowie zur Steuerung des Programmablaufs und der Resultatsausgabe. Es sind dies im einzelnen:

- kw: Kennwort zur Identifikation der Eingabedatei. Erscheint auch in der Ausgabedatei. Maximal 60 Zeichen. Vorgabe: 'TESTBEISPIEL'.

- u0: kartesische Komponente der ungestörten Windgeschwindigkeit in Richtung der horizontalen Modellachse. Anzugeben in m/s, Vorgabewert 5 m/s.

- v0: kartesische Komponente der ungestörten Windgeschwin- digkeit senkrecht zur Modellebene. Anzugeben in m/s, Vorgabewert 0 m/s.

- href: Bezugshöhe in (m) für die vorzugebende Windgeschwindigkeit (u0,v0), Vorgabewert 10 m.

- istab: Parameter zur Kennzeichnung der atmosphärischen Stabilität. Das Modell unterscheidet drei Zustände: labil (istab=-1), neutral (istab=0) und stabil (istab=1). Vorgabe: istab=-1, d. h. labile Schichtung. Zu beachten ist, daß innerhalb von Stadtgebieten nur die beiden Zustände neutral und labil realistisch sind. Die Vorgabe istab=1 sollte demzufolge nur bei Straßen, die durch freies Gelände führen, verwendet werden.

- f: Coriolisparameter, anzugeben in s**-1. Bewirkt eine Winddrehung mit der Höhe, wird aber in anbetracht der zumeist nur geringen vertikalen Modellabmessungen i.a. vernachlässigt. Vorgabewert daher 0 s**-1.

- imm: Maximalzahl der Integrationsschritte für die Windfeldberechnung. Der vom Modell intern errechnete Wert hängt von der Windgeschwindigkeit, der horizontalen Modellerstreckung sowie der Gittereinteilung ab. Er ist für die Erzeugung ausreichend stationärer Windfelder groß genug bemessen. Die Festlegung von imm in der Eingabedatei ist deshalb normalerweise unnötig und sollte nur für Tests zur Endgenauigkeit der errechneten Windfelder vorgenommen werden.

- delta0: Abbruchschranke für Stationarität des Windfeldes. Unterschreitet die maximale zeitliche nderung delta der Windfeldfeldkomponenten (relativ zur Windgeschwindigkeit an der Modellobergrenze) in drei aufeinanderfolgenden Zeitschritten den Wert delta0, so wird die Rechnung beendet, und das Windfeld für stationär erklärt. Vorgabewert: delta0 = 0.002.

- tsch: Integrationszeit in (min) für die Schadstoffberechnung. Für diesen Parameter gilt ähnliches wie für imm: Seine Abänderung gegenüber dem internen Wert ist nur sinnvoll für gezielte Untersuchungen zur Endgenauigkeit des Konzentrationsfeldes.

- iaust: Für iaust=1 werden außer den Windfeldkomponenten u, v, w und dem Konzentrationsfeld auch die Felder der turbulenten Austauschkoeffizienten Km und Kh ausgegeben. Vorgabe 0.

- iwin: Parameter zur Steuerung der Resultatsausgabe für das Windfeld. Für iwin = 1 erfolgt die Ausgabe in cm/s. Die vorgesehenen 4 Stellen reichen dann zur Darstellung von Werten von -9.99 m/s bis 99.99 m/s. Sollen Werte außerhalb dieses Bereichs darstellbar sein, so spezifiziert man iwin = 10 und erhält die Resultate in Einheiten von 10 cm/s. Vorgabe: iwin=1.

- ic: Parameter zur Resultatsausgabe des Konzentrationsfeldes. Für ic = 1 erfolgt die Ausgabe in Mikrogramm pro Kubikmeter. Vorgabe: ic = 10, d. h. Ausgabe in Einheiten von 10 Mikrogramm pro Kubikmeter.

3.3 Der Block &gitter

Im Block &gitter werden die Modellabmessungen, die Gittereinteilung sowie Lage und Höhe der blockförmigen Hindernisse festgelegt. Bedeutung der Parameter:

- m: Anzahl der Abschnitte, in die der horizontale Modellbereich untergliedert wird (maximal 50). Die Angabe von m ist notwendig, andernfalls erfolgt Programmabbruch.

- dx: Feld für die Abmessungen der horizontalen Abschnitte. Angaben in m. Vorgabe: Einheitlich 4 m für alle Abschnitte.

- n: Anzahl der Abschnitte für die vertikale Untergliederung des Modellbereichs (maximal 20). Angabe notwendig.

- dz: Feld für die Abmessungen der vertikalen Abschnitte. Angaben im (m).

Zusätzlich können bis zu 10 blockförmige Hindernisse definiert werden. Das geschieht durch durch die Angaben

- xl(i): Position der linken (d. h. näher am Koordinatenursprung gelegenen) Wand des Blocks Nr. i in (m),

- xr(i): Position der rechten Wand,

- h(i): Höhe des Blocks in (m).

Zu beachten ist, daß MUKLIMO grundsätzlich nur solche Blöcke modellieren kann, deren Wandposition und Höhe mit den Zellgrenzen der Gitterstruktur zusammenfallen. Ist das bei den angegebenen Positionen nicht der Fall, werden diese zu den nächstgelegenen Zellgrenzen verschoben. Dabei kann es passieren - beabsichtigt oder unbeabsichtigt - daß die horizontalen Hindernisabmessungen auf Null schrumpfen. Das resultierende Hindernis entspricht dann einer sehr dünnen Wand. Überlappen mehrere Blöcke, so gilt im Überlappungsbereich die zuletzt definierte Höhe.

Die Blöcke dürfen über den linken bzw. rechten Rand des Modellgebiets hinausragen. Zur Vermeidung von Stufen in unmittelbarer Randnähe verlangt MUKLIMO aber, daß der Bereich der ersten sowie der letzten fünf horizontalen Gitterabschnitte jeweils mit einer einheitlichen Höhe belegt sind. Außerdem müssen die obersten fünf Abschnitte der vertikalen Gittereinteilung hindernisfrei bleiben.

Werden keine Hindernisse spezifiziert, so gilt die vorgegebene blockfreie Modellstruktur.

3.4 Der Block &schad

Der Block &schad dient der Modellierung im Feld befindlicher Schadstoffquellen. Es können bis zu 10 (senkrecht zur Modellebene unendlich ausgedehnte) Linienquellen eines inerten Schadstoffes, wie z. B. CO, modelliert werden durch die Abgaben

- xq(i): horizontale Position der Quelle i in (m),
- zq(i): Höhe der Quellposition in (m),
- ql(i): Linienquellstärke in kg/km/h.

Die Linienquellstärken lassen sich als Produkte aus den von Fahrzeugzusammensetzung und Fahrmodus abhängigen Emissionsfaktoren (in g Schadstoff pro km) und der stündlichen Verkehrsbelastung in (1000 Fahrzeuge/h) errechnen.

MUKLIMO trägt der fahrzeuginduzierten Turbulenz dadurch Rechnung, daß die angegebenen, in der x,z-Ebene punktförmigen Quellpositionen über die gesamten, jeweils zugehörigen Gitterzellen verteilt werden. Außerdem wird der turbulente Austausch in einem Umkreis von 1.5 m um die Quellen heraufgesetzt. Fallen zwei oder mehr Quellen in ein und dieselbe Gitterzelle, so werden deren Quellstärken addiert. Quellen außerhalb des Modellgebiets werden ignoriert. Bei der Schadstoffberechnung werden ausschließlich die angegebenen Quellen betrachtet. Eventuelle Hintergrundkonzentrationen sind nicht in das Kalkül einbezogen.

Der Ersparung unnötiger Modelläufe mag die Tatsache dienen, daß die Schadstoffkonzentrationen linear in den Quellstärken sind. Das heißt: Werden sämtliche Quellstärken um ein- und denselben Faktor geändert, so ändert sich das gesamte Konzentrationsfeld gleichfalls um eben diesen Faktor.

3.5 Der Block &rauhigk

Hier können die vom Modell vorgegebenen aerodynamischen Rauhigkeitslängen geändert werden:

- iz0b: Rauhigkeitslänge für die "Bodenflächen", d. h. alle horizontalen Flächen der Höhe Null. Angabe ganzzahlig in (mm). Vorgabewert 100 mm,
- iz0d: Rauhigkeitslänge der "Dachflächen", d. h. aller horizontaler Fächen mit einer Höhe größer als Null. Vorgabewert 50 mm,
- iz0w: Rauhigkeitslänge der "Wände", d. h. aller senkrechten Flächen. Vorgabewert 50 mm.

Zudem können für bis zu 10 horizontalen Teilflächen (egal ob "Boden" oder "Dach") davon abweichende Rauhigkeitslängen spezifiziert werden. Dazu ist anzugeben:

- xz0l(i): linker Rand der i-ten Teilfläche in (m),
- xz0r(i): rechter Rand der i-ten Teilfläche,
- izz0(i): Rauhigkeitslänge in (mm).

Der geänderte Wert gilt für alle horizontalen Abschnitte, deren Mittelpunkt innerhalb des linken und rechten Randes liegt.

3.6 Der Block &uaufgel

Dieser Block gibt die Möglichkeit, bis zu 10 teildurchlässige Gebäudereihen zu modellieren, wobei die Lücken nicht aufgelöst, sondern durch mittlere Angaben charakterisiert werden. MUKLIMO berücksichtigt durch geeignete Ansätze sowohl die Strömungsverdrängung durch die teildurchlässige Bebauung als auch die Bremsung der Strömung innerhalb der Lücken, die in engen Lücken stärker als in breiten ist. Zur Charakterisierung der teildurchlässigen Bebauung dienen die Größen

- xul(i): linker Rand des i-ten Blocks der teildurchlässigen Bebauung, anzugeben in (m),
- xur(i): rechter Rand des i-ten Blocks in (m),
- hu(i): Höhe des i-ten Blocks in (m),
- iz(i): Lückenanteil, ganzzahlig in Zehnteln (von 2 bis 9). Anmerkung dazu: der Wert iz=1 ist zwar möglich, sollte aber dennoch vermieden werden, da er häufig zu numerischen Problemen führt,
- wlueck(i):mittlere Breite der Lücken in (m).

Gitterzellen, die nur teilweise innerhalb der Blockgrenzen liegen, werden mit entsprechend reduziertem Gebäudeanteil belegt. Eine Verschiebung der Zellgrenzen (wie bei den massiven Hindernissen) wird nicht vorgenommen.

3.7 Der Block &blaetter

In MUKLIMO kann auch die Strömungsbremsung durch das Laub bzw. die Nadeln von Bäumen simuliert werden. Der Ansatz für die Bremskraft ist proportional zur (einseitigen) Blattflächendichte und zum Quadrat der Windgeschwindigkeit. Im Block &blaetter der Eingabedatei können bis zu 10 rechteckige Bereiche der Modellebene mit unterschiedlich vorgebbaren Blattflächendichten definiert werden. Anzugeben ist:

- xbl(i): linker Rand des i-ten Bereichs in (m),
- xbr(i): rechter Rand,
- hbunt(i): Untergrenze,
- hbob(i): Obergrenze,
- ibfd(i): Blattflächendichte (ganzzahlig in Einheiten von 0.1 m**2 Blattfäche pro m**3).

Die Tatsache, daß die Rechteckbereiche vom Boden abgehoben sein

können, eröffnet die Möglichkeit, Stammraum und Kronenbereich eines Baumbestandes unterschiedlich zu modellieren. Eventuelle Lücken zwischen den Bäumen sind durch entsprechend reduzierte Blattflächendichten zu berücksichtigen.

4 Die Ausgabedatei

Nach Beendigung einer Modellsimulation sind die Resultate in der Ausgabedatei zu finden, die zu Beginn der Simulation spezifiziert wurde. Dort kann man sie sich z. B. mit dem DOS-Editor ansehen oder auch ausdrucken lassen. Zum Verständnis der räumlichen Verteilung der Variablen ist es wichtig zu wissen, daß MUKLIMO einen geschachtelten Gitteraufbau benutzt, der den verschiedenen Variablen unterschiedliche Gitterplätze zuweist. So ist die Geschwindigkeitskomponente u jeweils auf den Seitenrändern der Gitterzellen erklärt, die Komponente v in der Zellmitte (in einem dreidimensionalen Gitter wären das die vorderen und hinteren Seitenflächen) und die Vertikalgeschwindigkeit w auf den Zellobergrenzen. Die Austauschkoeffizienten, die man sich durch die Spezifikation iaust=1 (im Block &param der Eingabedatei) auch ausgeben lassen kann, gehören zu den Zelleckpunkten, und die Schastoffkonzentrationen schließlich wiederum zu den Zellmitten. Hingewiesen wird hier noch einmal auf die Möglichkeit, mit Hilfe der Parameter iwin und ic (gleichfalls im Block &param) die Skalierung der Windfeld- bzw. der Schadstoffausgabe zu ändern.

5 Numerische Instabilität

Das Modell MUKLIMO bietet keine, unter allen denkbaren Umständen gewährleistete Sicherheit gegen das Phänomen der "numerischen Instabilität", d. h. das unbegrenzte und unkontrollierte Anwachsen der Variablen ohne einsehbaren physikalischen Grund. Das ist bedingt durch den prognostischen Charakter des Modells und die in ihm verwendeten, sogenannten "expliziten" Lösungsverfahren.

Ein möglicher Auslöser für Instabilität können hohe Windgeschwindigkeiten in den Lücken teildurchlässiger Bebauung sein. Das gilt insbesondere für Lückenanteile von nur einem oder zwei Zehnteln. Der vom Modell intern gewählte numerische Zeitschritt, der für die meisten Modellkonfigurationen angemessen ist, kann in einem solchen Fall leicht zu groß werden und muß dann reduziert werden. Bei Instabilität startet MUKLIMO die Windefeldberechnung erneut, diesmal jedoch mit halbiertem Zeitschritt. Bei erneuter Instabilität wird der Zeitschritt noch einmal halbiert, und erst beim dritten Auftreten derselben erfolgt Programmabbruch.

Numerische Instabilität kann aber auch durch eine ungeschickte Modellkonfiguration verursacht werden. Man beachte daher:

1.) Das Modell braucht an seinen seitlichen Rändern ausreichend lange An- und Auslaufstrecken, innerhalb derer sich die Konfiguration nicht ändern sollte. "Ausreichend lang" bedeutet nicht nur: gemessen in Metern, sondern auch nach der Anzahl der Gitterabschnitte. Was ausreichend ist, hängt insbesondere von der Höhe der Hindernisse ab und muß im Zweifelsfall ausprobiert werden. Die Auslaufstrecke ist jedenfalls dann zu gering bemessen und muß erweitert werden, wenn der Rückströmbereich hinter einem Hindernis bis an den Rand des Modellgebiets reicht.

2.) Oberhalb der Hindernisse muß genügend Freiraum vorhanden sein. Das Modell verlangt in jedem Fall, daß zumindest die obersten fünf Reihen der Gitterzellen von Bebauung und Bewuchs freibleiben. Die gesamte Modellhöhe sollte jedoch zumindest das Fünffache, bei sehr breiten Hindenissen besser das Zehnfache der Modellhöhe betragen.

3. Die horizontalen, ebenso wie die vertikalen Gitterabstände sollten sich nicht zu sprunghaft, sondern mehr allmählich ändern. Die vertikalen Abstände sollten, nachdem sie nach oben bereits angewachsen sind, nicht erneut wieder abnehmen.

6 Beispiele

Im Verzeichnis "SAMPLES" sind die Eingabe- und Resultatsdateien einiger Beispielrechnungen enthalten, wobei die Eingabedateien mit der Kennung ".nml" (für "NAMELIST") und die Ergebnisdateien mit der Kennung ".res" versehen sind. Das erste Beispiel zeigt eine hindernisfreie, horizontal homogene Modellsituation mit auf 4 Gitterzellen verteilten Schadstoffquellen. Die folgenden beiden Beispiele zeigen den Einfluß von Schallschutzwänden, die sich auf der dem Wind zugewandten bzw. abgewandten Seite der Quellen befinden. Die Beispiele bsp4.nml bis bsp8.nml betreffen eine Straßenschlucht mit den Abmessungen 20 m mal 20 m für verschiedene atmosphärische Bedingungen.

Die Beispiele bsp9.nml und bsp10.nml zeigen unterschiedlich hohe Hindernisse mit über Dach befindlichen Quellen.

Das Beispiele bsp11.nml ist der teildurchlässigen Bebauung gewidmet. Es wird gezeigt, daß die zunächst instabile Rechnung durch zweimalige Halbierung des Zeitschrittes schließlich doch stabilisiert wird. Allerdings steigt dadurch die Zahl der Integrationsschritte, und damit die Rechenzeit für den Modellauf, stark an.

Das Beispiel bsp12.nml schließlich zeigt eine Simulation für eine Straße neben einem Waldstreifen.

Sämtliche Beispieldateien sind "kommentiert", d.h. sie enthalten vor den Variablenblöcken Hinweise auf die in ihnen spezifizierbaren Variablen mitsamt Vorgabewerten. Diese Hinweise erleichtern die Erstellung eigener Eingabedateien, die sich am einfachsten aus einer der vorgegebenen Beispieldateien durch Abänderung der dort vorgenommenen Spezifikationen erzeugen lassen.

7 Literatur

SIEVERS, U. und W.ZDUNKOWSKI (1986): A microscale urban climate model. Beitr. Phys. Atmosph. 59, S. 13-40.

SIEVERS, U. (1990): Dreidimensionale Simulationen in Stadtgebieten. Umweltmeteorologie: Sitzung des Hauptausschusses II am 7. und 8. Juni 1990 in Lahnstein. Schriftenreihe Band 15, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN. Düsseldorf. S. 36-43.

SCH DLER, G. W. B CHLIN, A. LOHMEIER, W. van TREES (1990): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Ausbreitungsmodelle. Forschungsbericht FZKA-PEF 138 des PEF-Projektes "Europäisches Forschungszentrum zur Luftreinhaltung". Forschungszentrum Karlsruhe, 201 S.

8 Ergänzender Hinweis

Die Methode, Schadstoffkonzentrationen im Bereich komplizierter Geometrien mit Hilfe mathematisch-physikalischer Modelle zu berechnen, ist relativ neu und befindet sich derzeit noch in der Erprobungsphase. Obschon das Modell MUKLIMO in den bisher durchgeführten Tests realistische Ergebnisse geliefert hat, muß darauf hingewiesen werden, daß es noch keine verbindlichen Richtlinien gibt, weder über die Anforderungen, die an solche Modelle zu stellen sind, noch über ihren Gebrauch. Hieraus ergibt sich die Forderung, daß man den Modellergebnissen nicht blind vertrauen darf, sondern sie stets auf ihre Plausibilität überprüfen muß. Eine Garantie für ihre Richtigkeit kann nicht gegeben werden.

Zwischenzeitlich liegt ein Forschungsbericht vor (SCH DLER, 1996), der eine erste Einschätzung der Modellresultate erlaubt. Demnach erscheint das zweidimensionale Modell MUKLIMO gut geeignet für Einzelfallstudien mit senkrechter oder nahezu senkrechter Anströmung zur Modellgeometrie. Bei schräger bis paralleler Anströmung liegen die Modellergebnisse im Vergleich zu Windkanalergebnissen für endliche Straßenschluchten - als verständliche Folge der Zweidimensionalität des Modells - dagegen deutlich zu hoch. Das Modell sollte deshalb auf Einzelfallstudien mit näherungsweise straßensenkrechter Anströmung beschränkt und nicht zur Berechnung von Jahresmittelwerten über ein Ensemble von Windrichtungen und -geschwindigkeiten verwendet werden.