

MISKAM

Handbuch zu Version 6

©2013 Dr. J. Eichhorn

Am Spielplatz 2
55263 Wackernheim
Tel 06132-62947

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
Softwarelizenz	9
Garantie- und Gewährleistungsbestimmungen	11
1 Kurzinformationen	12
2 Einführung	15
2.1 Über MISKAM	15
2.2 Warum prognostische Modellierung?	16
2.3 Anwendungsbereiche und -grenzen	17
2.3.1 Anwendungsbereiche	17
2.3.2 Anwendungsgrenzen	19
3 Theorie	21
3.1 Vorbemerkungen	21
3.2 Die Bewegungsgleichungen	21
3.3 Das Turbulenzmodell	22
3.3.1 Berechnung der Diffusionskoeffizienten	23
3.3.2 Die Prognosegleichungen für E und ε	24
3.4 Das Splitting-Verfahren nach Patricos	26
3.5 Das Ausbreitungsmodell	27
3.5.1 Die Prognosegleichung	27
3.5.2 Sedimentation und Deposition	27
3.5.3 Impulsbehaftete Quellen	28
3.6 Anfangs- und Randbedingungen	28
3.6.1 Initialisierung des Strömungsmodells	28

2	
3.6.2	Randbedingungen für das Strömungsmodell 28
3.6.3	Initialisierung des Ausbreitungsmodells 29
3.6.4	Randbedingungen für das Ausbreitungsmodell 29
4	Numerische Verfahren 30
4.1	Diskretisierung und Gitterbelegung 30
4.2	Behandlung der Advektionsterme 31
4.2.1	Impulsadvektion 31
4.2.2	Advektion skalarer Größen 31
4.3	Behandlung der Diffusionsterme 32
4.4	Lösung der Poisson-Gleichung 32
5	Bedienungsanleitung 34
5.1	Konventionen 34
5.2	Hardware- und Softwarevoraussetzungen 34
5.3	Die MISKAM-CD 34
5.4	Installation 35
5.4.1	Extrahieren der Programmdateien 35
5.4.2	Installierte Dateien 35
5.5	Die Konfigurationsdateien *.INP 37
5.5.1	Aufbau der Konfigurationsdateien 37
5.5.2	Genauigkeitsanforderungen 40
5.5.3	Abspeichern des minimalen Bodenabstandes 41
5.6	Zusätzliche Konfigurationsdateien 41
5.6.1	Durchströmung 42
5.6.2	Vegetation 42
5.6.3	Impulsbehaftete Quellen 43
5.6.4	Einschränkung der Stationaritätsprüfung auf Kerngebiet 44
5.7	Programmtechnische und meteorologische Steuerparameter 45
5.7.1	Die Initialisierungsdatei MISKAM.INI 45
5.7.2	Die Steuerdatei MISKAM.BND 50

.....	3
5.8 Bedienungsschritte	52
5.8.1 Initialisierung und Programmstart	52
5.8.2 Programmabbruch	53
5.8.3 Ergebnisausgabe	53
5.8.4 Kontrollausgaben	54
5.9 Hilfsprogramme	55
5.9.1 KONFIG: Interaktive Erstellung von Konfigurationsdateien	55
5.9.2 MISVIS: Visualisierung von MISKAM-Ergebnissen	56
6 Verifikation und Validierung	62
6.1 Vorbemerkungen	62
6.2 Validierung nach VDI-RL 3783/9	62
6.2.1 Konsistenzüberprüfungen	63
6.2.2 Vergleiche mit Windkanaldaten	64
7 Literaturverzeichnis	66

Abbildungsverzeichnis

4.1	Gitterbelegung	30
5.1	Beispiel für MISKAM-Konfiguration	38
5.2	Definition eines durchströmbaren Bereichs	42
5.3	Definition von Zellbereichen mit Vegetation	43
5.4	Definition von impulsbehafteten Quellen	44
5.5	Definition eines Kerngebietes	44
5.6	Beispiel einer MISKAM-Initialisierungsdatei	45
5.7	Datei MISKAM.BND zur Einstellung der Seitenränder.	51
5.8	Kontrollausgabe von Zeitreihen	55
5.9	Screenshot des Programms MISVIS	57
5.10	MISVIS-Beispiel 1: 3D-Darstellung einer Konfigurationsdatei.	58
5.11	MISVIS-Beispiel 2: Windvektoren und Vertikalwind	59
5.12	MISVIS-Beispiel 3: Stromlinien	60
5.13	MISVIS-Beispiel 4: Massenkonzentrationen	61

Tabellenverzeichnis

5.1	Inhalt des selbstextrahierenden Archivs M?SETUP.EXE	36
5.2	Bodentypen und Rauigkeitslängen in MISKAM	39
6.1	Trefferquoten für Konsistenzüberprüfungen	64
6.2	Trefferquoten für Vergleiche mit Windkanaldaten	65

Vorwort

Das Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM hat sich in den vergangenen Jahren als anspruchsvolle Lösung zur Behandlung von gutachterlichen Fragestellungen auf den Sektoren Straßenplanung, Umweltverträglichkeitsstudien, Lufthygiene usw. etabliert.

Das vorliegende Handbuch beschreibt den Entwicklungsstand des Modells MISKAM in der Version 6 (letzte veröffentlichte Version 6.3), die gegenüber den Vorversionen 3.x, 4.x und 5.x diverse Verbesserungen und Ergänzungen erfahren hat.

Änderungen und Ergänzungen dieses Handbuchs gegenüber der vorherigen Version sind in **blauer Schrift** dargestellt.

- Modifizierte Stationaritätskriterien sowohl bei Strömungs- als auch bei Ausbreitungsrechnungen. Hierdurch wird ein wesentlich konsistenteres Konvergenzverhalten erreicht.
- Zeitschritt-Splitting bei der Berechnung von Turbulenzvariablen. Durch die Abarbeitung eines jeden Zeitschrittes in zwei Halbschritten konnten alle bislang aufgetretenen Konvergenzprobleme bei komplexen Hinderniskonfigurationen beseitigt werden. **Optional kann der Zeitschritt für die Turbulenzberechnung auch in vier Teilschritte aufgespalten werden. Dadurch konnten Instabilitäten, die selten bei sehr hoher Gitterauflösung auftraten, eliminiert werden.**
- Zweidimensionale Rechnungen bei Vorgabe von nur einer Gitterzelle in y -Richtung. Hierdurch wird eine massive Rechenzeiterparnis z.B. bei Simulationen in Straßenschluchten erreicht.
- Übergang auf feldgrenzenfreie Programmierung in allen Programmteilen. Hierdurch entfällt die Notwendigkeit, unterschiedliche Programmversionen in Abhängigkeit vom verfügbaren Arbeitsspeicher auszuliefern.
- Konsistentere eindimensionale Initialisierung mit realistischerer z_0 -Abhängigkeit der Wind- und Turbulenzprofile.
- Automatische modellinterne Generierung seitlicher Anström- und Auslaufzonen. Für diese kann wahlweise ein äquidistantes oder ein gespreiztes Gitter verwendet werden. Des Weiteren kann zwischen hindernisfreien Randzonen oder einer Umsetzung der letzten zum inneren Modellgebiet gehörigen Hindernishöhe auf die Ränder unterschieden werden.

- Optionale Vorgabe einer vertikalen Austrittsgeschwindigkeit für Punktquellen. Kamin-Emissionen können dadurch sehr realistisch simuliert werden.
- Optionale Berücksichtigung des Einflusses von Vegetation (Strömungsabbremmung und zusätzliche Turbulenzproduktion).
- Kontrollierter Simulationsabbruch mit Ausgabe der Zwischenergebnisse.
- Verschiedene Möglichkeiten zusätzlicher Kontrollausgaben.
- Maximalanzahl von Gitterpunkten in der Vertikalen vergrößert.
- Verbesserung der Advektionsberechnung durch optionale Verwendung des McCormack-Schemas für die Geschwindigkeitskomponenten und des MPDATA-Algorithmus für alle Skalare.

Einhergehend mit der Überarbeitung des Codes wurde eine umfangreiche Verifikation und Validierung des Modells vorgenommen. Zum Großteil richten sich die Testrechnungen nach den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3783/9 „Umweltmeteorologie – Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle – Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung.“. Alle Genauigkeitsanforderungen der Richtlinie werden von MISKAM in den Versionen 5 und 6 erfüllt, Zusammenfassungen der Ergebnisse wurden veröffentlicht (Balczó und Eichhorn, 2009; Eichhorn und Kniffka, 2010).

Weitere Testfälle wurden in Anlehnung an frühere Untersuchungen anderer Autoren, z.B. im Rahmen der PEF-Projekte, durchgerechnet.

MISKAM wurde überwiegend in Fortran90 programmiert, zur Erzeugung der Executables wurde der Compiler *Absoft Pro Fortran* verwendet. Zum Betrieb von MISKAM ist ein 32Bit-Betriebssystem zwingend erforderlich, empfohlen wird Windows XP Professional oder Windows 7. Ein Betrieb unter Linux oder diversen Unix-Systemen ist möglich, erfordert aber gewisse Anpassungen am Quellcode. Eine Modellversion für 64Bit-Windows-Systeme ist in Vorbereitung.

Das vorliegende MISKAM-Handbuch ist wie folgt gegliedert:

- Der erste Abschnitt enthält Kurzinformationen zum Modell MISKAM gemäß den Anforderungen in der VDI-Richtlinie 3783/9.
- Im folgenden Kapitel werden Modellkonzepte und Anwendungsgrenzen beschrieben.
- Die dem Modell zu Grunde liegende Theorie sowie die numerische Umsetzung sind Gegenstand der Kapitel 3 und 4.
- In Abschnitt 5 werden die Installation sowie die Bedienung des Modells und der Hilfsprogramme beschrieben.

- Abschnitt 6 fasst die Ergebnisse der für den Strömungsteil von MISKAM ausgeführten Validierungsrechnungen nach VDI-Richtlinie 3783/9 zusammen.

Verifikations- und Validierungsrechnungen werden darüber hinaus in wissenschaftlichen Veröffentlichungen sowie durch Offenlegung der Ergebnisse auf den Internetseiten der Firma Lohmeyer GmbH & Co KG dokumentiert.

Die Eingabedaten und Ergebnisse sämtlicher im Handbuch dokumentierter Beispielrechnungen befinden sich auf der MISKAM-CD.

Wackernheim, 4. April 2014

Dr. Joachim Eichhorn

Softwarelizenz

Dieses Softwareprodukt wird sowohl durch das Urheberrecht und internationale Urheberrechtsverträge geschützt als auch durch andere Gesetze und Verträge über geistiges Eigentum. Das Softwareprodukt wird nicht verkauft, sondern lizenziert.

Sie sind berechtigt, entweder eine Kopie des Softwareproduktes oder an dessen Stelle jede vorhergehende, für dasselbe Betriebssystem bestimmte Version auf einem einzelnen Computer zu installieren und zu benutzen. Der/die ursprüngliche Benutzer/in des Computers, auf dem das Softwareprodukt installiert ist, ist berechtigt, eine zweite Kopie für seine/ihre exklusive Benutzung auf einem Heimcomputer oder einem tragbaren Computer herzustellen.

Sie sind ebenfalls berechtigt, eine Kopie des Softwareproduktes auf einer Speichereinheit, wie z.B. einem Netzwerk-Server, zu speichern oder zu installieren, sofern dieser nur dazu benutzt wird, das Softwareprodukt über ein internes Netzwerk auf Ihren anderen Computern zu installieren oder auszuführen. Sie sind jedoch verpflichtet, für jeden Computer, auf dem das Softwareprodukt von der Speichereinheit installiert oder ausgeführt wird, eine Lizenz zu erwerben, die speziell für diesen Computer gilt. Eine Lizenz für das Softwareprodukt darf nicht von mehreren Benutzern geteilt oder gleichzeitig an verschiedenen Computern genutzt werden.

Sie sind nicht berechtigt, das Softwareprodukt zurückzuentwickeln (Reverse Engineering), zu dekompileieren oder zu disassemblieren. Dies gilt jedoch nur insoweit, wie das jeweils anwendbare Recht ungeachtet dieser Begrenzung eine solche Möglichkeit nicht ausdrücklich erlaubt.

Das Softwareprodukt wird als einzelnes Produkt lizenziert. Sie sind nicht berechtigt, dessen Komponenten zu trennen, um sie an mehr als einem Computer zu benutzen.

Sie sind nicht berechtigt, das Softwareprodukt zu vermieten oder zu verleasen.

Sie sind berechtigt, alle Ihre Rechte aus diesem Lizenzvertrag dauerhaft zu übertragen, vorausgesetzt, Sie behalten keine Kopien zurück, Sie übertragen das vollständige Softwareprodukt (einschließlich aller Komponenten, der Medien und des gedruckten Materials, aller Updates dieses Lizenzvertrages und, sofern anwendbar, des Echtheitszertifikats), und der Empfänger stimmt den Bedingungen dieses Lizenzvertrages zu. Sofern das Softwareprodukt ein Update ist, muß jede Übertragung auch alle vorhergehenden Versionen des Softwareproduktes umfassen.

Ungeachtet anderer Rechte ist **giese-eichhorn** berechtigt, diesen Lizenzvertrag zu kündigen, wenn Sie gegen seine Bestimmungen und Bedingungen verstoßen. In diesem Falle sind Sie verpflichtet, alle Kopien des Softwareproduktes und all seine Komponenten zu vernichten.

Sofern das Softwareprodukt ein Update eines anderen Produktes ist, sei es von **giese-eichhorn** oder einem anderen Lieferanten, so sind Sie nur dann berechtigt das Softwareprodukt zu übertragen, wenn dies in Verbindung mit dem upgedateten Produkt geschieht, es sei denn, Sie vernichten das upgedatete Produkt. Sofern das Softwareprodukt ein Update eines **giese-eichhorn**-Produktes ist, so sind Sie jetzt verpflichtet, das upgedatete Produkt nur in Übereinstimmung mit diesem Lizenzvertrag zu benutzen. Sofern das Softwareprodukt ein Komponenten-Update eines Softwarepaketes ist, das Sie als ein einzelnes Produkt lizenziert erhalten haben, so darf das Softwareprodukt nur als Teil dieses einzelnen Produktpakets benutzt und übertragen werden und darf nicht getrennt werden, um an mehr als einem Computer benutzt zu werden.

Das Eigentum und das Urheberrecht an dem Softwareprodukt, dem gedruckten Begleitmaterial und sämtlichen Kopien des Softwareproduktes liegen bei **giese-eichhorn** oder deren Lieferanten. Das Softwareprodukt wird durch das Urheberrecht und Bestimmungen internationaler Verträge geschützt. Das Softwareprodukt ist daher von Ihnen wie jedes andere urheberrechtlich geschützte Material zu behandeln mit der Ausnahme, dass Sie entweder (a) eine einzige Kopie des Softwareproduktes ausschließlich zu Sicherungs- oder Archivierungszwecken machen oder (b) das Softwareprodukt auf einem einzigen Computer installieren dürfen, sofern Sie das Original ausschließlich zu Sicherungs- und Archivierungszwecken aufbewahren. Sie sind nicht berechtigt, die dem Softwareprodukt beiliegenden gedruckten Materialien zu kopieren.

Es kann sein, dass Sie die Software auf mehr als einem Speichermedium erhalten. Unabhängig von Typ oder Größe der erhaltenen Medien sind Sie lediglich berechtigt, ein Medium zu benutzen, das zu Ihrem einzelnen Computer passt. Sie sind nicht berechtigt, ein anderes Medium an eine/n andere/n Benutzer/in zu verleihen, zu vermieten, zu verleasen oder anderweitig an ihn/sie zu übertragen, es sei denn, als Teil einer dauerhaften Übertragung des Softwareproduktes (wie oben beschrieben).

Garantie und Gewährleistung

giese-eichhorn garantiert, für einen Zeitraum von 90 Tagen beginnend mit dem Tage der Anlieferung bei Ihnen, dass (a) das/die Medium/Medien auf denen das Produkt ausgeliefert wird, frei von Materialfehlern ist und (b) bei normaler Benutzung im wesentlichen gemäß der Beschreibung im begleitenden Handbuch funktioniert. Diese Garantie übernimmt **giese-eichhorn** als Hersteller der Software. Etwaige gesetzliche Gewährleistungs- oder Haftungsansprüche gegen den Händler, von dem Sie die Software bezogen haben, werden durch diese Bestimmung weder eingeschränkt noch ersetzt.

Im Garantiefall besteht Ihr Anspruch in der Lieferung von Ersatz bzw. Nachlieferung fehlender Teile der Software, die den beschränkten Garantieb Bestimmungen von **giese-eichhorn** nicht genügt und die zusammen mit einer Kopie der Rechnung an **giese-eichhorn** zurückgegeben wird. Diese beschränkte Garantie gilt nicht, wenn der Funktionsmangel der Software auf Unfall, Missbrauch oder unsachgemäße Benutzung zurückzuführen ist. Für eine Ersatzsoftware übernimmt **giese-eichhorn** eine Garantie von 30 Tagen oder der Restlaufzeit der ursprünglichen Garantie, je nachdem welcher Zeitraum länger ist.

giese-eichhorn schließt für sich jede weitere Gewährleistung bezüglich der Software und der begleitenden Literatur (in gedruckter oder elektronischer Form) aus.

Weder **giese-eichhorn** noch die Lieferanten von **giese-eichhorn**-Produkten sind für irgendwelche Schäden (uneingeschränkt eingeschlossen sind Schäden aus entgangenem Gewinn, Betriebsunterbrechung, Verlust geschäftlicher Informationen oder Daten oder aus anderem finanziellen Verlust) ersatzpflichtig, die aufgrund der Benutzung dieser Software oder der Unfähigkeit, diese Software zu verwenden, entstehen. Das gilt auch, wenn **giese-eichhorn** von der Möglichkeit eines solchen Schadens unterrichtet worden ist. Auf jeden Fall ist die Haftung von **giese-eichhorn** auf die Höhe des tatsächlichen Kaufpreises beschränkt. Dieser Ausschluß gilt nicht für Schäden, die durch Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit seitens **giese-eichhorn** verursacht wurden. Ansprüche, die auf unabdingbaren gesetzlichen Vorschriften zur Produkthaftung beruhen, bleiben ebenfalls unberührt.

Sollten einzelne Punkte aufgrund gesetzlicher Regelungen unwirksam sein, so bleiben die weiteren Bestimmungen dieser Bestimmungen davon unberührt.

1 Kurzinformationen

Modellname

MISKAM

Version

6.3 (Stand November 2013)

Autor

Dr. Joachim Eichhorn
Institut für Physik der Atmosphäre
Johannes Gutenberg Universität
55099 Mainz
Tel.: 06131-3922866
Fax: 06131-3925567
Email: eichhorn@uni-mainz.de

Modelltyp

Nichthydrostatisches, dreidimensionales, hindernisauflösendes Strömungsmodell;
Dreidimensionales Euler'sches Ausbreitungsmodell.

Anwendungsbereich, Gebietsgrößen und Auflösung

Strömungs- und Ausbreitungsrechnungen in bebautem Terrain,
Gebietsgrößen bis ca. $1000 \times 1000 \times 300$ m,
Gitterauflösungen von ca. 1 bis 10 m.

Anwendungsgrenzen

Nicht anwendbar in steilen Topographien, bei labiler themischer Schichtung,
bei Übersättigung (Kondensation).

Lösungsverfahren

Modellgleichungen:

- Dreidimensionale Bewegungsgleichungen, anelastisch boussinesq-approximiert
- E - ε -Turbulenzmodell
- Patinos-Splitting
- Advektions-Diffusionsgleichung für Massenkonzentrationen

Numerische Lösung unter Verwendung der folgenden Schemata:

- Zeitliche Vorwärtsdifferenzen
- Upstream-Advektion,
optional McCormack-Schema (Impuls) und Smolarkiewicz-Schema (Skalare)
- ADI-Verfahren für Diffusionsgleichungen
- SOR-Verfahren für Poisson-Gleichung

Eingabegrößen

Modellgeometrie: Kartesische Koordinaten, Orientierung des Modellgebietes, Position und Höhe von Gebäuden, Rauigkeitslängen für den Erdboden (alternativ: Oberflächentypen pro Gitterzelle) und für Gebäudeflächen, optional durchströmbare Bereiche von Gebäuden

Meteorologie: Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Schichtung

Steuerparameter für den Programmablauf: Anzahl zu rechnender Zeitschritte, Abbruchkriterien, Steuerung der Advektionsberechnung

Ausgabegrößen

Strömungsmodell: Dreidimensionale Felder der kartesischen Windkomponenten, der dynamischen Druckstörungen, der kinetischen Turbulenzenergie, der Energiedissipation und der Diffusionskoeffizienten

Ausbreitungsmodell: Massenkonzentrationen, gegebenenfalls Trockendepositionsrate

Bisherige Evaluierung

Folgende Überprüfungen des Modells wurden vorgenommen:

- Evaluierung des Strömungsmodells gemäß VDI-Richtlinie 3783 Blatt 9 (Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle), interne Konsistenzüberprüfungen sowie Vergleiche mit Windkanaldaten.
- Überprüfung des Ausbreitungsmodells anhand von Windkanaldaten und Naturdaten (Göttinger Straße, Hannover).
- Überprüfung des Strömungs- und Ausbreitungsmodells durch Vergleich mit Windkanaldaten zum Mock Urban Setting Test (Yea und Bilitoft, 2004).

Hard- und Softwareanforderungen

Handelsüblicher PC

ca. 10 MB Festplattenspeicherplatz für die Grundinstallation, einige Hundert MB bis eineige GB für Modellergebnisse,

32 Bit-Betriebssystem (empfohlen WindowsXP oder neuer, [64 Bit-Version auf Anfrage](#), Linux-Versionen auf Anfrage)

Verfügbarkeit

Folgende Versionen sind erhältlich:

- Grundversion (Executable, Handbuch, Hilfsprogramme), lauffähig unter WindowsXP oder neuer. Bezug über **giese-eichhorn, Wackernheim**.
- WinMISKAM (Grundversion + Windows-Benutzeroberfläche), Bezug über **Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe**.
- Soundplan-Modul, Bezug über **Braunstein + Berndt, GmbH, Backnang**.

Literaturhinweise

siehe Abschnitt **7**.

2 Einführung

2.1 Über MISKAM

Die Vorhersage zu erwartender verkehrsbedingter Immissionen gewinnt im Zusammenhang mit der derzeitigen Diskussion neuer gesetzgeberischer Richtlinien (z.B. Bundes-Immissionsschutzverordnung, VDI-Richtlinien) zunehmend an Bedeutung.

Es ist praktisch keine planerische Maßnahme, sei es im städtebaulichen Bereich oder im Bereich der Straßenplanung, denkbar, bei der auf Aussagen über Immissionsbelastungen (Jahresmittelwerte, Spitzenbelastungen) verzichtet werden könnte. Eine wichtige Rolle bei der Beurteilung bestehender Belastungen spielt dabei die Messung der wichtigsten Luftschadstoffe, wobei Meßprogramme aufgrund der relativ hohen Kosten jedoch stets nur eine geringe räumliche Auflösung gestatten, ebenso können Messungen meist nur über eng begrenzte Zeitspannen ausgeführt werden.

Seit einigen Jahren wird als Ergänzung und Erweiterung der Möglichkeiten von Messprogrammen auch die Entwicklung numerischer Methoden zur Immissionsprognose vorangetrieben. Die rasante technische Entwicklung auf dem Hardware-Sektor ermöglicht heute den Betrieb anspruchsvoller numerischer Modelle auf Standard-PCs. Hierfür waren noch vor wenigen Jahren Hochleistungsrechner erforderlich. Umso erstaunlicher ist es, dass in bisherigen Richtlinien wie beispielsweise der TA-Luft bis vor wenigen Jahren lediglich der Einsatz von Gaußmodellen mit ihren bekannten Schwächen und Einschränkungen für die Ausbreitungsberechnung verlangt wurde und dass auch in der jetzt gültigen TA-Luft lediglich ein diagnostisches Strömungsmodell verwendet wird.

Das Modell MISKAM (Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell) ist einer der vom physikalischen Inhalt her anspruchsvolleren Vertreter einer ganzen Reihe inzwischen verfügbarer Modelle. Es wurde am Institut für Physik der Atmosphäre der Universität Mainz entwickelt. Dieses Institut befasst sich seit mehreren Jahren mit der Entwicklung regionaler und lokaler Klima- und Ausbreitungsmodelle.

Der Aufgabenbereich von MISKAM liegt im Bereich kleinräumiger Ausbreitungsprozesse mit typischen Modellausdehnungen von einigen 100 m. MISKAM ist somit ein Instrument, welches speziell für die eingangs genannten Aufgabenstellungen (Straßenbau, Stadtplanung) geeignet ist, da es gerade denjenigen physikalischen Prozessen Rechnung trägt, die in der unmittelbaren Umgebung von Gebäuden Einfluss auf den Schadstofftransport ausüben.

MISKAM ist ein dreidimensionales nicht-hydrostatisches numerisches Strömungs- und Ausbreitungsmodell zur kleinräumigen Prognose von Windverteilungen und Immissionskonzentrationen in Straßen bis hin zu Stadtteilen. Es wurde ursprünglich zur Behandlung von mikroklimatischen Problemen konzipiert (Eichhorn, 1989), erst durch den von Anwenderseite vorgetragenen Wunsch nach einer PC-fähigen Lösung zur Immissionsprognose in Straßen wurde die Entwicklung der jetzt vorliegenden Modellversion vorangetrieben. MISKAM ermöglicht die explizite Behandlung von Gebäuden in Form von rechtwinkligen Blockstrukturen, so dass die Besonderheiten des Strömungsgeschehens in der Umgebung von Gebäuden realistisch modelliert werden können. Desweiteren wurde angestrebt, ein Modell hohen physikalischen Anspruchs zu erstellen, welches auf die Verwendung empirisch-diagnostischer Beziehungen weitestgehend verzichtet.

Die physikalische Grundlage von MISKAM bilden daher die vollständigen dreidimensionalen Bewegungsgleichungen (sog. primitive Gleichungen) zur Simulation der Strömungsverhältnisse, sowie die Advektions-Diffusions-Gleichung zur darauf aufbauenden Ausbreitungsberechnung für dichteneutrale Substanzen.

2.2 Warum prognostische Modellierung?

Auch unter Ausnutzung aktuellster Hardware-Ressourcen ist die Anwendung prognostische Strömungs- und Ausbreitungsmodelle immer noch mit einem erheblichen Rechenaufwand, verglichen mit diagnostischen Modellen, verbunden. Bei diagnostischen Strömungsmodellen wird zunächst eine Schätzung des Windfeldes vorgenommen, in die empirische Vorgaben über Strömungsmuster (Lee-Zirkulationen, Ablösung an Kanten etc.) eingehen. Anschließend wird dieses geschätzte Feld mittels eines Iterationsverfahrens von Strömungsdivergenzen befreit. Man erhält damit massenerhaltende Windfelder auch in großen Gebieten mit vielen Strömungshindernissen nach relativ kurzen Rechenzeiten. Für eine prognostische Windfeldberechnung wie in MISKAM muss eine 10 bis 20 mal längere Rechenzeit einkalkuliert werden. Dennoch sprechen verschiedene Argumente für die prognostische Modellierung:

- Prognostische Modelle liefern Informationen über das Wind- und Turbulenzfeld, während bei diagnostischen Modellen eine konsistente Turbulenzberechnung nicht möglich ist. Insbesondere die wechselseitige Beeinflussung von Wind und Turbulenz wird in diagnostischen Modellen nicht erfasst.
- Komplexe Hindernisstrukturen werden in diagnostischen Modellen aus Einzelhindernissen zusammengesetzt, die Überlagerung der Strömungseffekte der einzelnen Hindernisse entspricht aber häufig nicht den realen Strömungsverhältnissen.
- Die für lufthygienische Untersuchungen wichtigen Schichtungseffekte, insbesondere die

Auswirkungen einer stabil geschichteten Atmosphäre, können mit diagnostischen Modellen nicht berücksichtigt werden

2.3 Anwendungsbereiche und -grenzen

Aus Sicht des Anwenders erscheint die Möglichkeit, mittels eines validierten numerischen Modells gesicherte Aussagen über zu erwartende Luftbelastungen zu gewinnen, vielversprechend. Einerseits lassen sich hierdurch kostenintensive Messkampagnen reduzieren, andererseits bieten numerische Modelle ein flächen- bzw. raumdeckendes Informationsgefüge, das meist wesentlich umfangreicher ist als die vom Gesetzgeber verlangten Aussagen über einzelne Immissionspunkte.

Sofern das verwendete numerische Modell noch über einen nach heutigen Maßstäben angemessenen Bedienungskomfort verfügt, ergibt sich die auf den ersten Blick verlockende Perspektive, mittels weniger Aktionen am PC zu Bewertungen zu gelangen, die vorher nur durch ein komplexes Zusammenspiel von Messungen, Rechnungen und meteorologischem Fachwissen zu gewinnen waren.

Wie aus diesen Formulierungen bereits deutlich wird, birgt eine derartige Denkweise aber Gefahren. Wird dem Anwender von einem Modell – bzw. von der Modellsoftware – zuviel Arbeit abgenommen, so kann der Effekt eintreten, dass Modellergebnisse überbewertet oder unkritisch hingenommen werden. Daher ist es wichtig, die Grenzen des Anwendungsbereichs eines numerischen Modells klar abzustecken. Zu diesem Zweck dient dieser Abschnitt.

2.3.1 Anwendungsbereiche

MISKAM ist für die folgenden Anwendungen geeignet.

- Berechnung quasi-stationärer Windfelder in der Umgebung isolierter Gebäude oder im Bereich komplex strukturierter Bebauung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Bebauungsstrukturen nur mit einer begrenzten Genauigkeit, nämlich derjenigen, die sich aus der Wahl des Diskretisierungsgitters ergibt, erfasst werden können.
- Simulation der Ausbreitung dichteneutraler, nicht-reaktiver Substanzen bei beliebig vorgegebener Quellverteilung in vorab berechneten Windfeldern.
- Abgleich berechneter Konzentrations-Mittelwerte und -Perzentile gegen Richt- und Grenzwerte.

Bei der Berechnung von Windfeldern können die dynamischen Effekte diverser Bodenbeschaffenheiten über die Rauigkeitslänge berücksichtigt werden. Die Festlegung von Rauigkeits-

werten zu den einzelnen Gitterflächen erfolgt dabei entweder durch Vorgabe eines konstanten Wertes für das gesamte Modellgebiet, oder aber durch Eingabe eines zweidimensionalen Feldes von Kenngrößen, die jeder Gitterzelle einen bestimmten Oberflächentyp (niedrige oder hohe Vegetation, Asphalt, nicht explizit aufgelöste Bebauung etc.) zuweisen. Im letzteren Fall wird die Zuordnung von Rauigkeitslängen zu den einzelnen Bodentypen modellintern vorgenommen.

Als weitere für das jeweilige Strömungsgeschehen maßgebliche Größe kann die thermische Schichtung berücksichtigt werden. Diese wird im Modellgebiet als konstant betrachtet, sie wird in Form des Vertikalgradienten der potentiellen Temperatur vorgegeben. Der Einfluß der thermischen Schichtung besteht in einer Reduktion des turbulenten Austauschs bei stabilen sowie einer Intensivierung bei labilen Verhältnissen.

Die Simulation der Schadstoffausbreitung berücksichtigt neben der Quellverteilung auch den Effekt der Sedimentation, so dass zumindest näherungsweise auch Aussagen über nicht dichte-neutrale Substanzen möglich sind, sowie der Deposition. Beide Prozesse werden durch Vorgabe konstanter charakteristischer Geschwindigkeiten erfaßt.

Die Sedimentationsgeschwindigkeit wird bei der Advektionsberechnung der Vertikalkomponente des Windfeldes hinzugefügt. Die Depositionsgeschwindigkeit gibt denjenigen Anteil der transportierten Substanz an, der am Erdboden bzw. auf Gebäudeoberflächen deponiert, also der Atmosphäre entzogen wird. Beide Geschwindigkeiten sind als Stoffkonstanten zu verstehen und vom Anwender geeignet vorzugeben.

Die oben genannten Einsatzmöglichkeiten machen das Modell MISKAM zu einem vielseitigen Hilfsmittel im Zusammenhang mit städte- und straßenbaulichen Planungsmaßnahmen.

Dabei ist das Modell jedoch nicht als black box zu verstehen, vielmehr erfordert die Bedienung einen nicht zu unterschätzenden Arbeits- und Denkaufwand des Anwenders. Dies ist durchaus beabsichtigt, um eine zu unkritische Anwendung des Modells zu unterbinden. Die folgenden Teilarbeiten zur Durchführung von numerischen Modellsimulationen werden daher von MISKAM *nicht* automatisch absolviert:

- Erzeugung eines optimal an das Untersuchungsgebiet angepassten Diskretisierungsgitters.
- Positionierung von Quellen und Festlegung des Quelltyps.
- Festlegung von Emissionsraten.
- Konstruktion von Statistiken aus mehreren MISKAM-Läufen.
- Umrechnung berechneter Immissionsfelder in planungsrelevante Kenngrößen (Jahresmittelwerte, 98-Perzentile etc.).

Für die Umsetzung des gewählten Gitters, der darin enthaltenen Gebäude sowie der Schadstoffquellen in eine dem Programm angepaßte Eingabedatei steht dem Anwender das Hilfsprogramm KONFIG zur Verfügung. Dieses fragt alle erforderlichen Angaben ab, führt eine weitgehende Überprüfung der Daten auf Plausibilität durch und erstellt letztlich die gewünschte MISKAM-lesbare Eingabedatei.

Für einige der oben genannten Aufgaben stehen bereits ausgereifte Instrumente zur Verfügung, wie z.B. das Emissionsfaktoren-Handbuch, das im Auftrag des Umweltbundesamtes entwickelt wurde. Zur komfortableren Arbeit mit MISKAM existieren darüberhinaus verschiedene Implementationen des Modells als Teil übergreifender Programmpakete.

Zum einen bietet die Firma Lohmeyer GmbH & Co. KG (Karlsruhe) das Programm WINMISKAM an, das den MISKAM-Kern um eine komfortable Windows-Oberfläche erweitert. Diese dient sowohl zur Konstruktion der erforderlichen Eingabedateien als auch zur grafischen Darstellung der Ergebnisse bis hin zur statistischen Auswertung und Ermittlung der wichtigsten Kenngrößen.

Desweiteren wurde MISKAM in das weit verbreitete Programmpaket SoundPLAN (Braunstein + Berndt GmbH, Backnang) integriert, wobei SoundPLAN-Anwender zur Dateneingabe und -auswertung die ihnen vertraute Programmoberfläche verwenden können.

Nähere Informationen zu beiden Implementationen können direkt bei den Vertriebsfirmen oder bei **giese-eichhorn** angefordert werden.

2.3.2 Anwendungsgrenzen

Neben den im vorigen Abschnitt genannten Anforderungen an den MISKAM-Anwender existiert eine Reihe weiterer Einschränkungen prinzipieller Art, da in MISKAM verschiedene Vorgänge generell nicht simuliert werden. [Weiterhin ergeben sich gewisse Einschränkungen bedingt durch die gewählten Modellansätze und ihre numerische Umsetzung.](#)

- Thermodynamische Prozesse (Energieumsätze an der Erdoberfläche und an Wänden bzw. Dächern von Gebäuden, Wärmeausbreitung, Auftrieb, Wasserhaushalt) werden nicht behandelt, da damit ein für den PC-Betrieb des Modells nicht mehr verantwortbarer Anstieg des Rechen- und Speicheraufwandes verbunden wäre.
- MISKAM berücksichtigt keine chemischen Prozesse. Von besonderem Interesse im Zusammenhang mit dem Straßenverkehr sind die Umwandlungen von NO_x zu NO_2 , für die auch verschiedene empirische Beziehungen zur Verfügung stehen. Auf eine Einarbeitung in die Modellgleichungen wurde verzichtet, da zum einen die allgemeine Gültigkeit dieser Beziehungen fraglich ist, zum anderen aber eine nachträgliche Berücksichtigung durch entsprechende Umrechnung der Immissionskonzentrationen möglich ist.

- Bei der Approximation von Dachschrägen durch Treppenstrukturen sind die Ergebnisse im Nahfeld des Daches kritisch zu prüfen (vgl. auch Eichhorn, 2003).

Bei Gebäudeüberströmungen ist festzustellen, dass die Höhe von Rezirkulationszonen generell von MISKAM unterschätzt wird. Dies ist begründet in der verwendeten E - ε -Turbulenzschließung, die eine realistische Simulation der Strömungsablösung an luvseitigen Kanten nicht zulässt. Dieser Mangel des E - ε -Modells ist bekannt und akzeptiert, da das Modell ansonsten einen vernünftigen Kompromiss aus Genauigkeit und Anwendbarkeit darstellt.

Für Immissionsberechnungen z.B. aufgrund von Straßenverkehrsemissionen ist die beschriebene Eigenschaft des Turbulenzmodells unerheblich. Für Berechnungen von Immissionen aufgrund von Emissionen im Dachniveau ist jedoch von einer Anwendung von MISKAM abzuraten, solange die Emission nicht bekanntermaßen außerhalb des möglichen Rezirkulationsbereichs erfolgt. Insbesondere ist das Modell nicht geeignet, um eine optimale Mindesthöhe eines Emittenten festzulegen. Hierzu müssen anderweitige Daten, z.B. aus Windkanalmessungen, oder mit Hilfe aufwändigerer Rechenmodelle (LES-Modelle) gewonnenen Resultate herangezogen werden.

Der Verzicht auf die Berücksichtigung der Thermodynamik schränkt die Anwendbarkeit des Modells zwar ein, da unter bestimmten Umständen die thermischen Einflüsse auf das Strömungsfeld nicht vernachlässigt werden dürfen (z.B. Straßenschluchtsituationen mit ausgeprägt asymmetrischer Sonneneinstrahlung). Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich derartige Effekte im Jahresmittel kaum noch identifizieren lassen, so dass einer der wichtigsten Anwendungsbereiche des Modells von dieser Einschränkung nicht betroffen wird.

Ebenso können die thermischen Effekte bei Episodenrechnungen im allgemeinen ausgeschlossen werden, da es sich dabei meist um Rechnungen für lufthygienisch kritische Fälle (sogenante *worst case* - Studien) handelt. Der für die bodennahen Immissionen wichtigste thermische Einflussfaktor, die Schichtung, wird bei der Berechnung der turbulenten Diffusionskoeffizienten berücksichtigt.

Diese Auflistung legt zunächst den Schluss nahe, MISKAM sei nur für ein enges Anwendungsspektrum geeignet. Jedoch umfasst dieses Spektrum praktisch alle für Planer wichtigen lufthygienischen Aspekte, wie Jahresmittelwerte, Perzentile und Spitzenbelastungen. Allerdings erwartet MISKAM dabei eine kompetente und sorgfältige Mitarbeit des Anwenders, es liefert letztlich Ergebnisse, die unter den gegebenen Voraussetzungen vertrauenswürdig sind.

3 Theorie

3.1 Vorbemerkungen

Jedes numerische Prognosemodell für die Atmosphäre besteht im wesentlichen aus einem gekoppelten System von Differentialgleichungen zur Prognose der Zustandsvariablen (Wind, Temperatur, Luftzusammensetzung). Diese Differentialgleichungen ergeben sich formal aus den bekannten physikalischen Erhaltungssätzen für Impuls (\Rightarrow Bewegungsgleichungen), Masse (\Rightarrow Kontinuitätsgleichungen) und Energie (\Rightarrow Wärmeleichung). Je nach Komplexität der Aufgabenstellung und Ausdehnung des Modellgebietes sind dabei verschiedene Vereinfachungen bzw. Vernachlässigungen möglich.

Der Aufgabenbereich von MISKAM besteht in der Berechnung von Windfeldern und Immissionsverteilungen. In MISKAM werden daher der Wärmetransport sowie hydrologische Prozesse außer Acht gelassen. Somit reduziert sich das Ensemble der Prognosegrößen auf die Komponenten des Windvektors sowie die Massenkonzentrationen der zu behandelnden Substanzen.

Die Elimination von Schallwellen, sowie der Dichte als unabhängiger Prognosegröße, wird mit Hilfe der Boussinesq-Approximationen vorgenommen. Des weiteren werden die Gleichungen einer Mittelung unterzogen, so dass im folgenden alle Variablen als mikroturbulente Mittelwerte anzusehen sind. Als Folge der Mittelung enthalten die Gleichungen subskalige Prozesse in Form der turbulenten Transporte von Impuls, Wärme und Masse. Die verwendete Turbulenzschließung erfordert zusätzlich die prognostische Berechnung der turbulenten kinetischen Energie sowie der Energiedissipation.

Auf eine detaillierte Herleitung des Gleichungssystems wird an dieser Stelle verzichtet. Einzelheiten zu den Boussinesq-Approximationen sowie zur Mittelungsprozedur können in Eichhorn (1989) nachgelesen werden.

3.2 Die Bewegungsgleichungen

Das Prognosesystem des Strömungsteils von MISKAM besteht aus den kartesischen Komponenten der Bewegungsgleichungen in Boussinesq - approximierter Form. Aufgrund der geringen Ausdehnung des Modellgebietes wird die Corioliskraft vernachlässigt. Des weiteren werden Auftriebseffekte nicht berücksichtigt.

Der turbulente Impulstransport wird mittels einer Schließung erster Ordnung berechnet, wobei

keine Unterscheidung zwischen horizontalen und vertikalen Austauschkoeffizienten vorgenommen wird.

Mit diesen Voraussetzungen lautet die Bewegungsgleichung:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_k u_i}{\partial x_k} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[K_m \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) \right] - c_d n L \mathbf{v} u_i \quad (3.1)$$

mit

$x_i = x, y, z$	Kartesische Koordinaten	[m]
$u_i = u, v, w$	Kartesische Komponenten des Windvektors	[m/s]
t	Zeit [s]	
ρ_0	Konstante Referenzdichte in der bodennahen Atmosphäre	[kg/m ³]
p'	Dynamischer Stördruck	[Pa]
K_m	Austauschkoeffizient für Impuls	[m ² /s]
c_d	dimensionsloser Widerstandskoeffizient	
n	dimensionsloser „Vegetationsbedeckungsgrad“	
L	einseitige Blattflächendichte	[m ² /m ³]
\mathbf{v}	Betrag der Windgeschwindigkeit	[m/s]

Der letzte Term auf der rechten Seite beschreibt die Abbremsung der Strömung durch Vegetation, d.h. durch Reibung an Blattflächen innerhalb der Gitterzellen.

In der Bewegungsgleichung wurde von der üblichen Summenkonvention Gebrauch gemacht, d.h. über gleich lautende Indizes ist jeweils von 1 bis 3 zu summieren.

Dieses Gleichungssystem wird ergänzt durch die Forderung nach Divergenzfreiheit des Windfeldes, die an die Stelle der ursprünglichen Kontinuitätsgleichung für die Gesamtmasse tritt:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.2)$$

Um die Divergenzfreiheit sicherzustellen, ist zusätzlich zur Lösung der prognostischen Gleichungen zu jedem Zeitschritt eine elliptische Differentialgleichung für die dynamischen Druckstörungen (Verträglichkeitsbedingung) zu lösen. Dieser nicht unerhebliche rechnerische Mehraufwand erlaubt aber erst die Verwendung ökonomischer Zeitschritte, da durch die Forderung nach einem divergenzfreien Windfeld gleichzeitig Schallwellen aus dem System eliminiert werden.

3.3 Das Turbulenzmodell

Das in Vorgängerversionen noch zur Verfügung gestellte, aus der klassischen Grenzschichttheorie hervorgehende K -Modell berechnete die benötigten Diffusionskoeffizienten diagnostisch aus

dem dreidimensionalen Windfeld und der vorgegebenen thermischen Schichtung sowie der sogenannten Mischungslänge.

Im Rahmen eines im PEF¹-Programm geförderten Projektes (Röckle und Richter, 1995) wurden für eine Reihe damals verfügbarer Modelle, darunter eine frühere Version von MISKAM, Validierungsrechnungen vorgenommen. Vergleichsgrundlage bildeten dabei Windkanaldaten, zum einen für die Umströmung eines einzelnen U-förmigen Gebäudes, zum anderen für eine komplexe Anordnung mehrerer Gebäude, die einen Ausschnitt des BASF-Werksgeländes in Ludwigshafen darstellte. MISKAM lieferte bei der Umströmung des Einzelgebäudes teilweise unbefriedigende Resultate, deren Ursache in der oben genannten diagnostischen Turbulenzbehandlung zu suchen ist. Daher wurde bei der Weiterentwicklung des Modells auf eine aufwändigere Schließungsmethode, die sogenannte E - ε -Schließung, zurückgegriffen. Auf die nicht mehr zeitgemäße diagnostische Schließung wird seit Version 4 von MISKAM verzichtet.

Durch die E - ε -Schließung erhalten die Modellresultate ein wesentlich verbessertes physikalisches Fundament. Bei dieser werden Austausch- bzw. Diffusionskoeffizienten aus den jeweiligen lokalen Werten der kinetischen Turbulenzenergie und der turbulenten Energiedissipation ermittelt. Deren Felder müssen durch die Lösung zweier zusätzlicher Prognosegleichungen bereitgestellt werden.

Man umgeht mit dieser Schließung das im Zusammenhang mit dem K -Modell bestehende Mischungswegproblem, lediglich zur Initialisierung der turbulenten Energiedissipation wird weiterhin der Bodenabstand der einzelnen Gitterpunkte benötigt. Als externe Vorgabegrößen müssen des weiteren einige empirische Konstanten spezifiziert werden, hierfür stehen weitgehend gesicherte Literaturwerte zur Verfügung.

Instationäre Phänomene, wie z.B. das instationäre Ablösen von Leewirbeln und die Ausbildung sogenannter Wirbelschleppen, können mit dieser Methode nicht erfasst werden. Zu deren Simulation erforderliche Modelle sind zwar prinzipiell verfügbar, jedoch würde ihr Einsatz auch auf heute aktuellen Personal-Computern zu kaum noch akzeptablen Rechenzeiten führen. Zur Simulation quasi-stationärer Verhältnisse, also einem zeitlichen Mittelwert des Strömungsregimes, erweist sich die E - ε -Schließung als geeignet (siehe z.B. Paterson und Appelt, 1986, 1989), allerdings ist der rechnerische Aufwand gegenüber dem K -Modell merklich erhöht.

3.3.1 Berechnung der Diffusionskoeffizienten

Bei der E - ε -Schließung berechnen sich die Diffusionskoeffizienten für den Impulstransport K_m gemäß:

$$K_m = c_\mu \frac{E^2}{\varepsilon} \quad (3.3)$$

¹PEF = Projekt Europäisches Forschungszentrum

mit

$$\begin{aligned} E & \text{ kinetische Turbulenzenergie} & [\text{m}^2/\text{s}^2] \\ \varepsilon & \text{ turbulente Energiedissipation} & [\text{m}^2/\text{s}^3] \\ c_\mu & = 0.09 \text{ dimensionslose empirische Konstante} \end{aligned}$$

Für den Diffusionskoeffizienten für Wärme K_h wird der Einfachheit halber stets die für neutrale Schichtung gültige Beziehung

$$K_h = 1.35K_m \quad (3.4)$$

verwendet.

3.3.2 Die Prognosegleichungen für E und ε

Zur Bestimmung der kinetischen Turbulenzenergie und der Energiedissipation sind die folgenden prognostischen Gleichungen zu lösen:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial u_k E}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(K_m \frac{\partial E}{\partial x_k} \right) + P_{E,m} + P_t - \varepsilon + c_d n L \mathbf{v}^3 - 4c_d n L \mathbf{v} E \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial u_k \varepsilon}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{K_m}{\sigma} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} \right) + c_1 \frac{\varepsilon}{E} (P_{\varepsilon,m} + P_t) - c_2 \frac{\varepsilon^2}{E} + \frac{3}{2} \frac{\varepsilon}{E} c_d n L \mathbf{v}^3 - 6c_d n L \mathbf{v} \varepsilon \quad (3.6)$$

mit

$$\begin{aligned} c_1 & = 1.44 \text{ dimensionslose empirische Konstante} \\ c_2 & = 1.92 \text{ dimensionslose empirische Konstante} \\ \sigma & = 1.3 \text{ dimensionslose empirische Konstante} \end{aligned}$$

Die Zahlenwerte der empirischen Konstanten entsprechen dem „klassischen“ $E - \varepsilon$ -Modell (z.B. Rodi, 1980), ihre Gültigkeit für atmosphärische Turbulenzberechnungen wurde z.B. in einer Arbeit von Ramanathan (1995) bestätigt.

Die Terme $P_{E,m}$ und $P_{\varepsilon,m}$ bezeichnen die mechanische Produktion der kinetischen Turbulenzenergie bzw. der turbulenten Energiedissipation. In MISKAM können unterschiedliche Berechnungsmethoden hierfür verwendet werden.

Im klassischen Modell berechnen sich beide Größen identisch aus der Deformation des Windfeldes:

$$P_{E,m} = P_{\varepsilon,m} = c_{\mu}\varepsilon S^2 \quad (3.7)$$

mit der Deformation S gemäß

$$S = \frac{E}{\varepsilon} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2}$$

Diese Version der $E-\varepsilon$ -Schließung ist dafür bekannt, dass sie die Turbulenzenergie und damit auch die Diffusionskoeffizienten in der Umgebung luvseitiger Hinderniskanten überschätzt. Kato und Launder (1993) schlugen vor, die Produktionsterme aus Deformation und Rotation des Windfeldes zu berechnen:

$$P_{E,m} = P_{\varepsilon,m} = c_{\mu}\varepsilon S\Omega \quad (3.8)$$

mit

$$\Omega = \frac{E}{\varepsilon} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2}$$

Hierdurch werden die Produktionsterme in Kantennähe reduziert, allerdings wirkt sich diese Reduktion gleichermaßen auf E und ε aus. Lopez et al. (2005) verwenden stattdessen die Kato-Launder-Formel nur in der E -Gleichung und belassen die Produktionsrate der Dissipation in der ursprünglichen Form:

$$P_{E,m} = c_{\mu}\varepsilon S\Omega; \quad P_{\varepsilon,m} = c_{\mu}\varepsilon S^2 \quad (3.9)$$

In Vergleichsrechnungen zur Überströmung einfacher Hindernisse erzielen Lopez et al. mit dieser Schließung die besten Resultate. Daher wird die Form (3.9) auch für die Anwendung von MISKAM empfohlen, die Standardschließung (3.7) und die Kato-Launder-Schließung (3.8) stehen jedoch optional ebenfalls zur Verfügung.

Der Term P_t bezeichnet die thermische Produktion der Turbulenzvariablen und trägt der Tatsache Rechnung, dass stabile Schichtung turbulenzhemmend, labile Schichtung turbulenzfördernd wirkt:

$$P_t = -K_h \frac{g}{\Theta_0} \frac{\partial \Theta}{\partial x_k} \delta_{3k} \quad (3.10)$$

Es ist zu beachten, dass diese Schließung bei geforderter Stationarität nur für neutrale oder stabile thermische Schichtung plausible Ergebnisse liefern kann. Bei labiler Schichtung führt die thermische Produktion zu einem stetigen Anwachsen der Turbulenzenergie und der Diffusionskoeffizienten. Dies widerspricht aber der Voraussetzung quasi-stationärer Verhältnisse, wie auch in der Realität labile Schichtungen aufgrund des verstärkten Austauschs nicht längere Zeit aufrecht erhalten bleiben. **Labile Schichtung wird daher bei Rechnungen mit MISKAM nicht zugelassen sondern auf neutrale Schichtung zurück gesetzt.**

Die jeweils letzten beiden Terme beinhalten wieder die Parametrisierung des Vegetationseinflusses. Die Terme mit positivem Vorzeichen beschreiben die erhöhte mechanische Produktion von Turbulenzenergie und Dissipation durch das Blattwerk. Die letzten Terme entstammen einem Vorschlag von Greene (1992), bei Einbeziehung dieser Terme ergibt sich eine wesentlich bessere Übereinstimmung simulierter und gemessener Windfelder in Baumbeständen (siehe z.B. Lauerbach und Eichhorn, 2004).

In der jeweils untersten Gitterzelle werden E und ε aus

$$E_1 = \frac{u_*^2}{\sqrt{c_\mu}} \quad (3.11)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{u_*^3}{\kappa z_1} \quad (3.12)$$

mit Hilfe der Schubspannungsgeschwindigkeit u_* diagnostisch berechnet. Dabei ist z_1 die Höhe des ersten Gitterpunktes über dem Erdboden bzw. dem Gebäude. An senkrechten Wänden werden formal gleiche Beziehungen verwendet, wobei jedoch an Stelle von z_1 die Rauigkeitslänge der Gebäudewände eingesetzt wird.

Diese Randbedingungen sind streng nur für neutrale Schichtung gültig. Der Einfluß der thermischen Schichtung auf die Turbulenz an den horizontalen Grenzflächen wird über die Berechnung von u_* einbezogen. Diese ergibt sich zu

$$u_* = \frac{|v_{||}(\zeta)|}{C_m\left(\frac{\zeta+z_0}{z_0}, \frac{\zeta+z_0}{\lambda}\right)} \quad (3.13)$$

C_m ist die Clarke-Funktion für Impuls, deren Werte aus vorliegenden Tabellen (Panhans und Schrodin, 1980) entnommen werden. Mit ζ wird der Minimalabstand des betrachteten Gitterpunktes zur festen Modellberandung bezeichnet, λ ist eine Stabilitätslänge. Details zu den Clarke-Funktionen sind in Eichhorn (1989) zu finden. Zur Berechnung von u_* an Gebäudewänden wird von neutraler Schichtung, also von einem logarithmischen Windprofil senkrecht zur Wand, ausgegangen.

3.4 Das Splitting-Verfahren nach Patrinos

Zur Lösung des Prognosesystems wird das Splitting-Verfahren nach Patrinos und Kistler (1977) verwendet. Dabei werden die Bewegungsgleichungen zunächst unter Vernachlässigung der Druckstörungen numerisch gelöst, hieraus resultieren vorläufige Windkomponenten \tilde{u} , \tilde{v} , \tilde{w} :

$$\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial t} = \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial x_i} \quad (3.14)$$

Durch Divergenzbildung und zeitliche Vorwärtsdiskretisierung dieser Gleichung erhält man

$$\frac{\partial \tilde{u}_k^{n+1}}{\partial x_k} - \frac{\partial \tilde{u}_k^n}{\partial x_k} = \frac{\Delta t}{\rho_0} \frac{\partial^2 p'}{\partial x_k^2} \quad (3.15)$$

Hierin ist Δt der Zeitschritt, mit n und $n + 1$ werden die Zeitpunkte t und $t + \Delta t$ bezeichnet. Zu Beginn eines jeden Zeitschrittes muß die Verträglichkeitsbedingung erfüllt sein, daher fällt der zweite Term der linken Seite heraus und es verbleibt die folgende Poisson-Gleichung für den Stördruck

$$\frac{\partial^2 p'}{\partial x_k^2} = \frac{\rho_0}{\Delta t} \frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k} \quad (3.16)$$

Nach deren Lösung und Einsetzen in

$$u_i = \tilde{u}_i \frac{\Delta t}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial x_i} \quad (3.17)$$

erhält man schließlich das gewünschte divergenzfreie Geschwindigkeitsfeld.

3.5 Das Ausbreitungsmodell

3.5.1 Die Prognosegleichung

Im wesentlichen besteht das Ausbreitungsmodell aus der Prognosegleichung für eine dichte-neutrale Luftbeimengung der Massenkonzentration m :

$$\frac{\partial m}{\partial t} + \frac{\partial u_k m}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(K_h \frac{\partial m}{\partial x_k} \right) + Q \quad (3.18)$$

Mit Q wird die Summe der Quellen und Senken der betrachteten Luftbeimengung bezeichnet. Der Austauschkoefizient für Wärme K_h wird wie üblich auch für den Massentransport verwendet.

3.5.2 Sedimentation und Deposition

Zur Berücksichtigung der Sedimentation von Substanzen, deren Dichte größer als diejenige der Luft ist, kann eine konstante Sedimentationsgeschwindigkeit vorgegeben werden, diese wird bei der Berechnung der Advektion dem Vertikalwind zugeschlagen.

Trockene Deposition auf horizontalen Flächen kann durch Vorgabe einer Depositionsgeschwindigkeit einbezogen werden. Die pro Zeiteinheit am Boden deponierte Masse wird proportional zu dieser Depositionsgeschwindigkeit sowie zur Massenkonzentration in der darüber liegenden Gitterzelle angesetzt.

Beide Geschwindigkeiten werden als Stoffkonstanten der betrachteten Luftbeimengung angesetzt, Zahlenwerte sind der Literatur zu entnehmen.

3.5.3 Impulsbehaftete Quellen

Für Punktquellen kann eine feste Vertikalgeschwindigkeit (Austrittsgeschwindigkeit der Luft, z.B. aus einem Kamin) vorgegeben werden. Diese wird bereits in die Strömungsberechnung einbezogen, so dass das Wind- und Turbulenzfeld in der Nähe des Kaminausgangs auf den zusätzlichen Impulseintrag reagieren kann. Mit diesem Verfahren ergeben sich wesentlich realistischere Schadstoff-Fahnen als ohne Berücksichtigung einer Austrittsgeschwindigkeit oder durch Verwendung einer effektiven Quellhöhe.

3.6 Anfangs- und Randbedingungen

3.6.1 Initialisierung des Strömungsmodells

Den dreidimensionalen Modellrechnungen wird jeweils eine eindimensionale Initialisierung vorgeschaltet. Dabei werden Wind- und Turbulenzprofile bis zu einer Höhe von 2000 m berechnet.

Für die anschließende Umsetzung auf das MISKAM-Modellgebiet werden die eindimensionalen Profile während der Initialisierung dergestalt umgerechnet, dass die in der verwendeten Anemometerhöhe simulierte Windgeschwindigkeit stets mit dem vorgegebenen Wert übereinstimmt.

Vor dem Start der 3D-Simulation werden die Profile der Windgeschwindigkeit und der Turbulenzenergie homogen auf das dreidimensionale Modellgebiet übertragen. Um die erhöhte Energiedissipation in Gebäudenähe bereits in der Anfangsverteilung angenähert zu erfassen, erfolgt bei der Umsetzung der Dissipation eine Erhöhung in Abhängigkeit vom Abstand zur festen Modellberandung:

$$\varepsilon_{3D}(x, y, z) = \varepsilon_{1D}(z) \frac{z}{\xi(x, y, z)} \quad (3.19)$$

ε_{3D} stellt dabei die als Startverteilung der 3D-Simulation verwendete Energiedissipation, ε_{1D} das vorab simulierte eindimensionale Profil dar. ξ ist der Minimalabstand des jeweiligen Aufpunktes zur festen Modellberandung.

3.6.2 Randbedingungen für das Strömungsmodell

Die aus der 1D-Initialisierung resultierenden Profile der Windkomponenten und der Turbulenzvariablen werden auf den Einströmflächen und am Oberrand zeitlich fest gehalten.

An den seitlichen Ausströmflächen gelten sogenannte no-flux-Randbedingungen, d.h. es wird jeweils das Verschwinden der Normalgradienten auf den Randflächen verlangt.

Bei der Lösung der Poisson-Gleichung für den dynamischen Stördruck werden die Ausströmrandwerte dergestalt korrigiert, dass im gesamten Modellgebiet stets die Erhaltung der Gesamt-

masse gewährleistet ist. Eine ausführliche Besprechung der Randbedingungen ist in Eichhorn (1989) bzw. Eichhorn et al. (1997) zu finden.

Am Unterrand sowie an den Gebäudewänden verschwinden alle Windkomponenten. Dies bedingt, dass dort, wie auch am Oberrand, auch das Verschwinden der jeweiligen Flächennormalen des Druckgradienten gefordert werden muß.

Untere Randwerte für die Diffusionskoeffizienten werden, wie bereits erwähnt, unter Verwendung der Clarke-Funktionen berechnet. Diese liefern auch die jeweilige Schubspannungsgeschwindigkeit u_* , die wiederum zur Berechnung der Randwerte von Turbulenzenergie und Dissipation herangezogen werden.

3.6.3 Initialisierung des Ausbreitungsmodells

Zur Initialisierung von Ausbreitungsrechnungen ist lediglich ein vorab berechnetes Windfeld inklusive der Austauschkoeffizienten einzulesen. Die Massenkonzentrationen werden zu Beginn der Simulation auf Null gesetzt.

Ein eventuell gegebener Hintergrundwert wird während der Simulation nicht berücksichtigt, sondern lediglich zu den Endergebnissen addiert.

3.6.4 Randbedingungen für das Ausbreitungsmodell

Bei den seitlichen Randbedingungen für die Massenkonzentrationen wird zwischen Ein- und Ausströmzellen unterschieden. An den Einströmrändern wird jeweils von Reinluft außerhalb des Modellgebietes ausgegangen, d.h. der Konzentrationswert wird auf dem Anfangswert 0 festgehalten.

Für Ausströmzellen wird der Randwert aus dem inneren Feld extrapoliert, wobei angenommen wird, dass der Konzentrationsgradient entlang der Flächennormalen konstant bleibt.

Die Massenkonzentration am unteren Modellrand wird bei nicht verschwindender Depositionsgeschwindigkeit zu jedem Zeitschritt diagnostisch berechnet, ansonsten gilt am Boden und an den Wänden jeweils $m = 0$.

4 Numerische Verfahren

4.1 Diskretisierung und Gitterbelegung

In MISKAM wird ein geschachteltes Diskretisierungsgitter vom Typ Arakawa C verwendet. Hierbei werden die Komponenten des Windvektors jeweils auf den Zellflächen definiert, wobei die Komponente u_i jeweils auf den Mittelpunkten der zur Richtung i senkrecht orientierten Zellflächen gegeben ist. Alle skalaren Prognosevariablen (p' , E , ε) sowie die Austauschkoefizienten sind auf den Zellmittelpunkten definiert. Zur Veranschaulichung der Gitterbelegung dient Abbildung 4.1

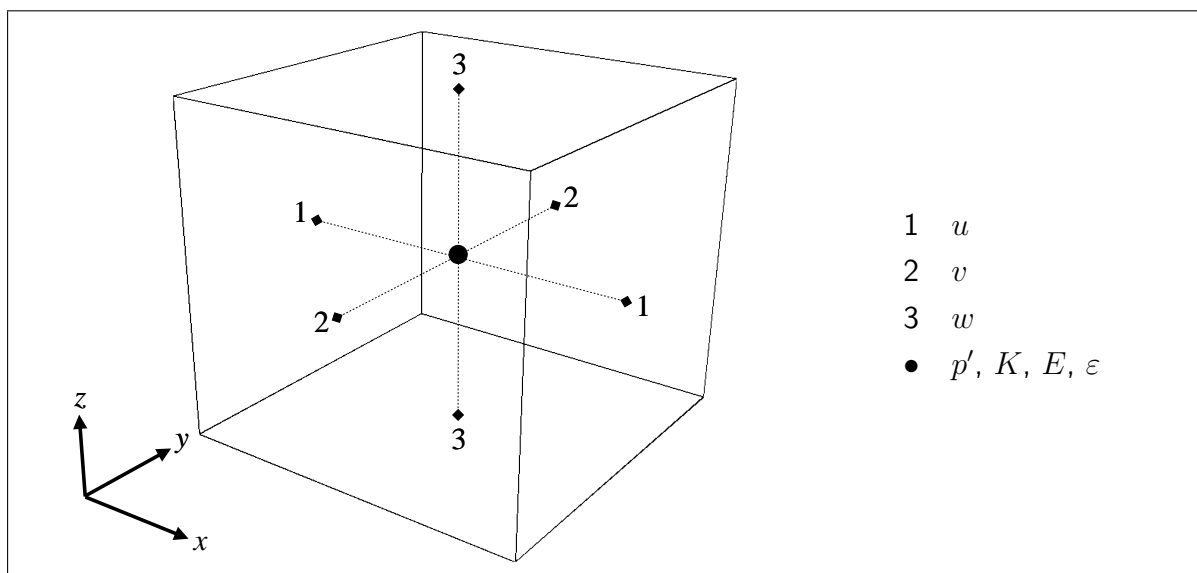


Abbildung 4.1: Gitterbelegung

Die gewählte Gitterstruktur erlaubt eine einfache Handhabung von Strömungshindernissen. Unter der Voraussetzung, dass eine Gitterbox entweder vollständig frei oder aber vollständig innerhalb eines Hindernisses liegt, genügt es, Felder von Multiplikatoren zu definieren, die angeben, ob eine Zellwand zu einem Hindernis gehört (Multiplikatorwert 0) oder nicht (1). Diese Multiplikatoren werden auf die Kartesischen Windkomponenten sowie auf die Druckgradienten angewandt und sorgen damit dafür, dass die Windkomponenten auf Gebäudeflächen stets verschwinden.

Durch dieses Verfahren ist in MISKAM auch eine Modellierung überhängender Hindernisse (Brücken, Toreinfahrten o.ä.) möglich, da die gesamte Information über im Modellgebiet befindliche Hindernisse in den Multiplikatoren enthalten ist. Es muß lediglich dafür gesorgt wer-

den, dass die Konfiguration vom Modell bzw. Rechenprogramm eindeutig erkannt wird, dies geschieht über Eingabedateien, die nach festen Richtlinien zu erstellen sind. Näheres hierzu ist in Kapitel 5 zu finden.

4.2 Behandlung der Advektionsterme

4.2.1 Impulsadvektion

Zur Diskretisierung der Advektionsterme in den Bewegungsgleichungen wurden bis zur Version 5 einfache sogenannte Upstream-Differenzen verwendet. Das Upstream-Verfahren besitzt zwar bekanntermaßen eine hohe numerische Diffusion, ist aber bei der Zielsetzung von MISKAM - Simulation quasi-stationärer Strömungsfelder - durchaus akzeptabel und aufgrund des geringen rechnerischen Aufwandes gerade auf schwächeren Rechnerplattformen den verfügbaren numerisch exakteren aber weitaus aufwändigeren Verfahren vorzuziehen.

Eine deutliche Verbesserung der Genauigkeit der Impulsadvektionsberechnung kann mit Hilfe des Prädiktor-Korrektor-Verfahrens von McCormack (1969) erzielt werden. Bei diesem wird die jeweilige Advektionslösung als arithmetischer Mittelwert aus der Lösung eines Upstream-Schrittes und einer anschließenden Downstream-Berechnung ermittelt.

4.2.2 Advektion skalarer Größen

Zur Berechnung der Advektion positiv definiter skalarer Variablen (Turbulenzenergie, Dissipation, Massenkonzentrationen) kann anstelle des Upstream-Schemas der MPDATA-Algorithmus (Smolarkiewicz und Grabowski, 1989) verwendet werden. Bei diesem folgen auf den Upstream-Schritt optional ein oder mehrere Korrekturschritte, welche die numerische Diffusion teilweise wieder rückgängig machen, allerdings wird die Zahl der Korrekturschritte bei der Turbulenzberechnung auf 1 limitiert, um den Rechenzeitbedarf überschaubar zu halten.

Für Ausbreitungsrechnungen wird speziell bei der Behandlung von Punktquellen zur Verwendung des MPDATA-Schemas geraten, für Linienquellen (z.B. Straßen) genügt in der Regel das Upstream-Schema.

Bei Strömungs- und Ausbreitungsberechnungen in komplexen Konfigurationen (Balczó und Eichhorn, 2009) ergab sich die insgesamt beste Modellperformance bei Verwendung der Kombination aus McCormack- und MPDATA-Schema im Strömungsteil, während die Unterschiede zwischen Upstream- und MPDATA-Schema im Ausbreitungsteil weniger deutlich ins Gewicht fielen.

4.3 Behandlung der Diffusionsterme

Die numerische Auswertung der Diffusionsterme erfolgt mit dem ADI (Alternating Direction Implicit)-Verfahren von Douglas und Rachford (1956). Dabei werden die Werte einer Variablen Ψ zum Zeitpunkt $n+1$ über zwei Zwischenlösungen Ψ^* und Ψ^{**} berechnet. Bei jedem der drei Teilschritte wird in einer Raumrichtung implizit gerechnet, d.h. die Ableitungen der Variablen Ψ nach der entsprechenden Ortskoordinate sind zum neuen Zeitpunkt anzusetzen. Das Schema kann in der folgenden Form dargestellt werden:

$$\begin{aligned} \frac{\Psi^* - \Psi^n}{\Delta t} &= \Delta_z(\Psi^*) + \Delta_x(\Psi^n) + \Delta_y(\Psi^n) + R^\Psi \\ \frac{\Psi^{**} - \Psi^*}{\Delta t} &= \Delta_x(\Psi^{**}) - \Delta_x(\Psi^n) \\ \frac{\Psi^{n+1} - \Psi^{**}}{\Delta t} &= \Delta_y(\Psi^{n+1}) - \Delta_y(\Psi^n) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Die Abkürzungen Δ_x , Δ_y , Δ_z stehen für die jeweiligen auf die Größe Ψ anzuwendenden Differentialoperatoren. Die verbleibenden Anteile der Prognosegleichung werden zu dem Restterm R^Ψ zusammengefasst.

Prinzipiell ist die Abarbeitungsreihenfolge der Raumrichtungen ohne Belang. Die hier angegebene Reihenfolge wird verwendet, da in der Vertikalen formal andere Randbedingungen (geschlossene Ränder, d.h. Prognosegrößen werden vorgeschrieben) als an den seitlichen Rändern (offene Ränder) verwendet werden.

Zur Berechnung der einzelnen Zwischenlösungen ist jeweils nur die Invertierung einer tridiagonalen Matrix erforderlich, hierfür wird ein einfacher Standard-Algorithmus verwendet.

4.4 Lösung der Poisson-Gleichung

Zur Lösung der Poisson-Gleichung wird ein so genanntes *Red-Black-SOR*-Verfahren herangezogen. Bei der Diskretisierung des Laplace-Operators im verwendeten Arakawa-C-Gitter werden bekanntlich zusätzlich zum Druckwert der betrachteten Gitterzelle die Werte der sechs direkten Nachbarzellen benötigt. Löst man die diskretisierte Gleichung nach dem Druckwert der zentralen Gitterzelle auf, so erhält man:

$$p'_{i,j,k} = \frac{A_x p'_{i-1,j,k} + B_x p'_{i+1,j,k} + A_y p'_{i,j-1,k} + B_y p'_{i,j+1,k} + A_z p'_{i,j,k-1} + B_z p'_{i,j,k+1} + D}{A_x + B_x + A_y + B_y + A_z + B_z} \quad (4.2)$$

mit

$$D = \frac{\rho_0}{\Delta t} \frac{\partial \tilde{u}_k}{\partial x_k}$$

Die Koeffizienten A_x , B_x , A_y , ... ergeben sich aus der Diskretisierung des Laplace-Operators,

sie enthalten die in Abschnitt 4.1 beschriebenen Multiplikatoren, um das Verschwinden der Normalgradienten des Stördrucks an und in Hindernissen sicherzustellen.

Zur Lösung wird zunächst eine Anfangsnäherung des Stördrucks auf der rechten Seite von Gleichung (4.2) eingesetzt. Zu Beginn der Simulation wird dabei das Druckfeld gleich Null gesetzt. Bei den weiteren Zeitschritten fungiert jeweils das im vorherigen Zeitschritt berechnete Druckfeld als Anfangsnäherung.

Die Lösung selbst erfolgt bei jedem Iterationsschritt ν in zwei Halbschritten. Im ersten Schritt werden neue Druckwerte für jeden zweiten Gitterpunkt berechnet, dabei werden diejenigen Gitterpunkte mit neuen Druckwerten belegt, die im zweiten Halbschritt die Rolle der Nachbarwerte auf der rechten Seite von Gleichung (4.2) übernehmen. Der Name des Verfahrens beruht auf der schachbrett-artigen Anordnung der in den Halbschritten mit neuen Werten belegten Zellen, warum allerdings *red* und nicht *white* verwendet wird, ist dem Autor unbekannt.

Die beiden Halbschritte liefern eine Zwischenlösung p^* , die mit dem Druckfeld aus dem vorherigen Iterationsschritt $\nu - 1$ gemäß

$$p^\nu = \omega p^{*(\nu)} + (1 - \omega)p^{(\nu-1)} \quad (4.3)$$

kombiniert wird. ω ist ein dimensionsloser Relaxationsparameter, dessen optimaler Wert von der Gittergeometrie abhängt. Die Iteration wird beendet, wenn die maximale Divergenz des unter Verwendung der berechneten Druckwerte korrigierten Windfeldes einen zuvor festgelegten Schwellenwert unterschreitet. Während der Simulation wird dieser Schwellenwert sukzessive verkleinert, um so die Genauigkeit der Windfeldberechnung zu erhöhen.

5 Bedienungsanleitung

5.1 Konventionen

In den folgenden Abschnitten werden gesonderte Schriftarten für die folgenden Bezeichnungen / Aktionen verwendet:

Kommandozeilen	<i>cd miskam</i>
Optionale Argumente in Kommandozeilen	[...]
Datei-, Verzeichnisnamen	NAME.INI

Mit MISKAM wird das Modell selbst sowie die Gesamtumsetzung in ein Programmpaket bezeichnet. Die ausführbaren Einzelprogramme sind **MISKAM?.EXE**¹ und **KONFIG.EXE**. Zusätzlich ist die Datei **MISVIS-D.EXE** (Demoversion des Visualisierungsprogramms **MISVIS**, siehe Abschnitt 5.9.2) Bestandteil des Pakets.

5.2 Hardware- und Softwarevoraussetzungen

Zum Betrieb von MISKAM ist ein 32Bit-Betriebssystem zwingend erforderlich, empfohlen wird Windows 7. [Eine 64Bit-Version ist auf Anfrage ebenfalls erhältlich.](#)

Der verfügbare Arbeitsspeicher limitiert die maximale Anzahl zu verarbeitender Gitterpunkte. Beispielsweise ermöglichen 2 GByte Arbeitsspeicher die Bearbeitung von Konfigurationen mit maximal ca. 200 × 200 × 50 Gitterpunkten.

5.3 Die MISKAM-CD

Die MISKAM-CD enthält alle zum Betrieb des Modells MISKAM benötigten Dateien in dem selbstextrahierenden ZIP-Archiv **M?SETUP.EXE**.

Die Eingabedateien sowie die Ergebnisse weiterer Beispielrechnungen sind in den Verzeichnissen **BEISPIEL\EIN** bzw. **BEISPIEL\AUS** im Installationsverzeichnis zu finden. Die PDF-Dateien enthalten Visualisierungen der Simulationsergebnisse, die mit dem Programm **MISVIS** erstellt wurden.

Die Dateien **GOETTING.*** enthalten die Eingabedaten sowie Ergebnisse eines Rechenlaufs

¹Das ? im Programmnamen steht für die bei Drucklegung aktuelle Versionsnummer.

für die Göttinger Straße (Hannover), die Eingabedatei entspricht im Wesentlichen derjenigen, die im bereits erwähnten PEF-Projekt verwendet wurde. Die Gitterauflösung wurde hierbei relativ grob gewählt, für eine realistische Anwendung mit heutiger Hardwareausstattung ist eine deutlich feinere Auflösung angebracht.

Die unter dem Namen **QUERU.*** gespeicherten Ergebnisse beinhalten das Strömungs- und Konzentrationsfeld in der Umgebung eines Einzelgebäudes mit einer Durchströmung (z.B. Tor-einfahrt). Die Datei **QUER.INP** beschreibt die Grundkonfiguration, die Position der Durchströmung wird in **QUER.001** definiert.

In den Dateien **BAUM.*** sind Ergebnisse für die Simulation der Strömung durch eine Baumkrone zusammengestellt.

Im Verzeichnis **VALIDIERUNG** sind schließlich die Eingabedateien sowie die wichtigsten Ergebnisse aller Validierungsrechnungen nach VDI-Richtlinie 3783/9 zusammengestellt, wobei für jeden gerechneten Fall ein separates Unterverzeichnis angelegt wurde. Beschreibungen und Auswertungen der einzelnen Rechnungen befinden sich in Kapitel 6.

5.4 Installation

5.4.1 Extrahieren der Programmdateien

Für eine Neuinstallation unter Windows sind die folgenden Schritte erforderlich:

1. Start von **M?SETUP.EXE** im Stammverzeichnis der MISKAM-CD.
2. Angabe eines Zielverzeichnisses zum Entpacken der Programmdateien.

Beim Entpacken werden unterhalb des Zielverzeichnisses weitere Verzeichnisstrukturen angelegt. Das Verzeichnis **MISKAM** enthält die ausführbaren Programme sowie die erforderlichen Steuerungsdateien, darunter werden die Unterverzeichnisse **MISKAM\EIN** für Eingabedateien und **MISKAM\AUS** für Modellergebnisse erzeugt. Eine Kopie des vorliegenden Handbuchs wird im Verzeichnis **MISKAM\DOC** als PDF-File abgelegt.

5.4.2 Installierte Dateien

Nach dem Ausführen von **M?SETUP.EXE** nach obiger Anweisung befinden sich die in Tabelle 1 aufgelisteten Dateien in den MISKAM-Verzeichnissen, wobei o.B.d.A. von einer Installation auf dem Laufwerk **C:** sowie im Verzeichnis **MISKAM** ausgegangen wird.

Die Dateien **STROEM1.INI** und **STROEM0.INI** enthalten die notwendigen Startinformationen für Strömungsrechnungen (**STROEM1**: neuer Lauf, **STROEM0**: Anschlusslauf unter

Dateiname	Erklärung
C:\MISKAM\MISKAM?.EXE	MISKAM - Hauptprogramm
C:\MISKAM\MSTOP.BAT	Batch-Programm zum vorzeitigen Beenden von MISKAM-Läufen
C:\MISKAM\STOPTXT	Hilfsdatei für MSTOP.BAT
C:\MISKAM\KONFIG.EXE	Erzeugung von INP-Dateien
C:\MISKAM\MISVIS-D.EXE	Visualisierungsprogramm (Demoversion)
C:\MISKAM\README.TXT	Allgemeine Informationen zu MISKAM
C:\MISKAM\STROEM1.INI	Startdatei für Strömungsrechnung, Neustart
C:\MISKAM\STROEM0.INI	Startdatei für Strömungsrechnung, Folgelauf
C:\MISKAM\AUSBR1.INI	Startdatei für Ausbreitungsrechnung, Neustart
C:\MISKAM\AUSBR0.INI	Startdatei für Ausbreitungsrechnung, Folgelauf
C:\MISKAM\EIN\KONFIG.INP	Beispiel für Konfigurationsdatei
C:\MISKAM\AUS\STROEM.PRS	Ergebnisse von Beispielrechnungen, Protokolldatei Strömungsrechnung
C:\MISKAM\AUS\STROEM.UVW	Ergebnisse von Beispielrechnungen, Tabelle Windkomponenten, Druckstörungen
C:\MISKAM\AUS\STROEM.TUR	Ergebnisse von Beispielrechnungen, Tabelle Turbulenzvariablen
C:\MISKAM\AUS\STROEM.ZWU	Ergebnisse von Beispielrechnungen, Binärdatei Windfeld
C:\MISKAM\AUS\STROEM.ZWT	Ergebnisse von Beispielrechnungen, Binärdatei Turbulenzfeld
C:\MISKAM\AUS\AUSBR.PRA	Ergebnisse von Beispielrechnungen, Protokolldatei Ausbreitungsrechnung
C:\MISKAM\AUS\AUSBR.KON	Ergebnisse von Beispielrechnungen, Tabelle Massenkonzentrationen
C:\MISKAM\AUS\AUSBR.ZWK	Ergebnisse von Beispielrechnungen, Binärdatei Konzentrationsfeld
C:\MISKAM\DOC\HANDBUCH.PDF	MISKAM-Handbuch

Tabelle 5.1: Inhalt des selbstextrahierenden Archivs **M?SETUP.EXE**

Verwendung vorheriger Ergebnisse), **AUSBR1.INI** und **AUSBR0.INI** sind die entsprechenden Startdateien für Ausbreitungsrechnungen.

In der Datei **README.TXT** sind die wichtigsten Informationen zu Installation und Bedienung von MISKAM in Kurzform enthalten. Programmänderungen, die nach der Drucklegung des Handbuchs implementiert wurden, werden in der Textdatei **WHATSNEW.TXT** beschrieben.

5.5 Die Konfigurationsdateien *.INP

MISKAM benötigt Informationen über die Gitterstruktur und die Belegung des Modellgebietes mit Hindernissen (Gebäuden). Diese Informationen sind in Form einer ASCII-Datei (**NAME.INP**, **NAME** beliebig, DOS-Konformität ist erforderlich) vorgeschriebener Struktur bereitzustellen. In diesem Abschnitt werden Form und Inhalt der Konfigurationsdateien detailliert beschrieben.

5.5.1 Aufbau der Konfigurationsdateien

In der folgenden Abbildung 5.1 wird exemplarisch die Datei **KONFIG.INP** aus dem selbstextrahierenden Archiv **M?SETUP.EXE** dargestellt, weitere Beispiele für Konfigurationsdateien befinden sich, wie schon erwähnt, nach der Installation im Verzeichnis **BEISPIEL\EIN** sowie in den diversen Unterverzeichnissen im Verzeichnisbaum **VALIDIERUNG**.

Die einzelnen Abschnitte der Konfigurationsdatei enthalten die folgenden Informationen:

Kartesisches Gitter: Die ersten 4 Zeilen der Konfigurationsdatei definieren die Anzahl zu verarbeitender Gitterboxen sowie die Gitterauflösung.

Die Anzahl der Gitterboxen in jeder der drei Raumrichtungen (Reihenfolge x, y, z) wird in der ersten Zeile angegeben, die vierte Zahl in dieser Zeile stellt den Winkel zwischen der x -Achse des Modellgebietes und der Nordrichtung dar. Die drei Folgezeilen enthalten die Kartesischen Koordinaten der Zellwände in den drei Raumrichtungen. In jeder Zeile ist demnach ein Wert mehr anzugeben als der jeweiligen Richtung Gitterboxen zugeordnet wurden.

Gebäudeanordnung: Die Größe des nächsten Datenblocks richtet sich nach der zuvor vereinbarten Anzahl von Gitterboxen in x - und y - Richtung. Die folgenden Zeilen stellen eine Draufsicht auf das Modellgebiet dar, wobei für jede horizontale Gitterfläche die Anzahl der in der Vertikalen von Strömungshindernissen (Gebäuden) ausgefüllten Zellen angegeben wird, 0 bedeutet demnach kein Hindernis.

Rauhigkeitslängen: In MISKAM kann wahlweise ein einheitlicher Wert für die Rauhigkeitslänge z_0 des Erdbodens, oder aber ein zweidimensionales Feld von Bodentypen,

Kennzahl	Flächennutzungstyp	z_0 in cm
0	Gebäudedach	$z_{0,w}$
1	Asphalt o.ä. ohne Hindernisse	1
2	Wiese	5
3	Wiese mit Einzelbäumen, Gebüsch	10
4	Dichtere niedrige Vegetation	25
5	Niedrige nicht explizit aufgelöste Bebauung	50
6	Höhere nicht explizit aufgelöste Bebauung	100

Tabelle 5.2: Bodentypen und Rauigkeitslängen in MISKAM. Für $z_{0,w}$ wird der eingelesene Wert für Wände und Dächer verwendet.

denen dann modellintern bestimmte Rauigkeitslängen zugeordnet werden, vorgegeben werden. Zusätzlich sind in jedem Fall Rauigkeitslängen für Gebäudewände und -dächer anzugeben, diese sind für alle im Modellgebiet erfassten Gebäude identisch.

Zur Vorgabe einer einheitlichen Rauigkeitslänge ist in der Folgezeile nach der Gebäudekonfiguration „j“ einzutragen, die nächste Zeile enthält dann die Rauigkeitslängen für den Erdboden, sowie für Gebäudeflächen. *In den vorherigen Versionen (bis 5.x) wurde nicht zwischen Gebäudewänden und -dächern unterschieden. Diese Inkonsistenz wurde in MISKAM 6 beseitigt, der z_0 -Wert für Dächer ist als dritte Zahl neben demjenigen für Wände einzutragen. Zur Sicherstellung der Abwärtskompatibilität werden aber auch Konfigurationsdateien verarbeitet, die nur einen Wert für Gebäuderauhigkeiten enthalten, in diesen Fällen werden für Wände und Dächer identische Werte verwendet. Alle z_0 -Werte sind in cm anzugeben.*

Für inhomogene Rauigkeitsverteilungen ist in der auf die Gebäudekonfiguration folgenden Zeile „n“ einzutragen, in der nächsten Zeile müssen dann nur die Rauigkeitslängen der Gebäudeflächen angegeben werden.

Anschließend folgt ein zweidimensionales Datenfeld, in welchem jeder Gitterfläche eine Kennzahl zwischen 0 und 6 zugeordnet wird. Die den Kennzahlen entsprechenden Bodentypen sowie die für diese Typen verwendeten Rauigkeitslängen sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Quellverteilung: Im Anschluß an die Hindernisgeometrie sowie die Angaben zur Bodenrauigkeit werden in der INP-Datei die zu berücksichtigenden Schadstoffquellen aufgelistet.

Dabei sind zunächst der Name der betrachteten Substanz, ihr Hintergrundwert (in mg/m^3) sowie eventuelle Depositions- und Sedimentationsgeschwindigkeiten (jeweils in m/s , eine positive Sedimentationsgeschwindigkeit bedeuten Absinken der betreffenden Substanz!) anzugeben.

Anschließend folgt eine Tabelle, die den Quelltyp, die Gitterpositionen sowie die Stärke der Quellen angibt. Straßen werden üblicherweise als Linienquellen dargestellt. Dabei ist jedoch Vorsicht geboten, falls die betrachtete Straße nicht parallel zu einer der horizontalen Koordinatenachsen verläuft. In solchen Fällen müssen entsprechend korrigierte Emissionen angesetzt werden, da eine Darstellung als achsenparallel verlaufende Quelle sonst zu einer zu großen Gesamtausdehnung der Quelle führt. Alternativ können die Quellstärken auch in Punktquellen umgerechnet werden und entsprechend in der Konfigurationsdatei eingetragen werden.

Es ist zu beachten, dass in ein und derselben Gitterzelle auch mehrere Quellen definiert werden können. Die Quellstärken werden modellintern in Volumenquellen umgerechnet, bei Vorhandensein von mehreren Quellen werden diese addiert.

Anstelle der punkweisen Definition von Quellen können auch Gitterpunktbereiche angegeben werden, für die dann jeweils die selbe Quellstärke verwendet wird. Dazu ist in der Zeile zur Definition der Substanz als weiterer Eintrag der Buchstabe *m* (für "mehrere") anzufügen. In der anschließenden Tabelle müssen dann statt drei jeweils sechs Gitterpunktindizes anzugeben (*links*, *rechts*, *vorne*, *hinten*, *unten*, *oben*). Die Datei **QUER.INP** enthält ein Beispiel für diese Quelldefinition.

5.5.2 Genauigkeitsanforderungen

Bei der Festlegung der Gebäudekonfiguration sind die folgenden Vorgaben unbedingt einzuhalten:

- Die Höhe des höchsten Gebäudes darf ca. 30 % der Modellhöhe nicht überschreiten.
- Der Verbauungsgrad (Verhältnis der angeströmten Hindernisflächen zur gesamten Einströmfläche) darf 10 % nicht überschreiten.
- Untersuchungspunkte, also Punkte für die z.B. Aussagen gemäß 23. BImSchV aus den Modellergebnissen abgeleitet werden sollen, sollten einen Mindestabstand von 10 Gitterzellen zu jedem seitlichen Rand aufweisen.
- Untersuchungspunkte dürfen nicht in Gitterzellen mit Quellen sowie in den benachbarten Zellen liegen.
- Untersuchungspunkte dürfen nicht in unmittelbaren Nachbarzellen von Gebäuden liegen und müssen einen Mindestabstand von zwei Gitterzellen vom Erdboden aufweisen.
- Relevante Straßenschluchten sind quer zu Ihrer Längsachse in mindestens 6, wenn möglich 8 Gitterboxen aufzuteilen.

- Im Untersuchungsgebiet ist eine genaue Rasterung der Gebäude erforderlich, in den Randzonen können gewisse Ungenauigkeiten in Kauf genommen werden. Im Untersuchungsgebiet sollte die Gebäudegeometrie mit einer Genauigkeit von ≤ 1 m erfasst werden, um den bei der Umsetzung in das kartesische Gitter entstehenden Fehler möglichst klein zu halten.

Die Dachformen können im Rahmen der möglichen Gitterauflösungen bei der Gebäuderasterung berücksichtigt werden.

- Die geometrischen Abmessungen der Bebauung im Vorlaufgebiet sind mit einer Genauigkeit von ≤ 20 % zu bestimmen. Es ist nicht erforderlich - und bei den im Vorlaufgebiet größeren Gitterauflösungen auch nicht möglich - die Dachformen zu berücksichtigen, die Gebäude können als Quader mit einer Höhe der mittleren Traufhöhe angesetzt werden.

Die genannten Einschränkungen für die Position von Untersuchungspunkten bedingen, dass etwa für Untersuchungen gemäß der 23. BImSchV eine bodennahe Gitter rasterung von z.B. 0.5 m - 0.6 m - 0.8 m - 1.1 m verwendet werden kann, um zu gewährleisten, dass ein Zellmittelpunkt in einer Höhe von 1.5 m vorliegt und zwischen diesem und dem Erdboden zwei weitere Gitterzellen liegen.

5.5.3 Abspeichern des minimalen Bodenabstandes

Nach dem erstmaligen Einlesen einer INP-Datei wird der Minimalabstand eines jeden Gitterpunktes zur festen Modellberandung berechnet, benötigt wird diese Größe zur Initialisierung des Turbulenzmodells. Diese Berechnung kann für komplexe Konfigurationen relativ zeitaufwändig sein. Daher werden die Bodenabstände nach der Berechnung in eine zusätzliche Datei **NAME.XXL** geschrieben. Bei weiteren Simulationen, z.B. für andere Windrichtungen, wird dann nur noch diese Datei gelesen. Dadurch wird die Startphase des Strömungsmodells erheblich verkürzt.

Wenn an der Konfigurationsdatei Änderungen (Koordinaten oder Gebäudeanordnung) vorgenommen wurden, erfolgt automatisch eine Neuberechnung der Bodenabstände.

5.6 Zusätzliche Konfigurationsdateien

MISKAM erkennt bis zu 999 zusätzliche Konfigurationsdateien, deren Name sich aus dem Präfix der INP-Datei, sowie der Endung nnn ($001 < nnn < 999$) zusammensetzt. Über diese Dateien werden dem Modell zusätzliche Informationen über die Konfiguration übergeben. Seit MISKAM 5 können auf diese Weise Durchströmungen bzw. überhängende Hindernisse, Vegetation sowie impulsbehaftete Quellen definiert werden.

In MISKAM 6 kann des weiteren der Gitterpunktbereich, für den die Stationarität der Strömungsvariablen überprüft wird, auf ein Kerngebiet eingeschränkt werden.

5.6.1 Durchströmung

Die hierfür zu verwendende Konfigurationsdatei Datei muss in der ersten Zeile zwingend den String „Durchstroemung“ enthalten. In den Folgezeilen können beliebig viele durchströmbare Zellbereiche festgelegt werden. In der senkrecht zur Richtung der Durchströmung gelegenen Ebene muß die Ausdehnung der durchströmbaren Bereiche mindestens zwei Gitterzellen in jeder Richtung betragen.

Das folgende Beispiel definiert eine Durchströmung in x -Richtung, diese soll sich über die Gitterzellen 6 bis 8 in x -, 4 bis 7 in y - und 1 bis 4 in z -Richtung erstrecken. Die entsprechende Eingabedatei sieht dann wie folgt aus:

Durchstroemung						
x	6	8	4	7	1	4

Abbildung 5.2: Konfigurationsdatei zur Definition eines durchströmbaren Bereichs

Die Angabe der Richtung der Durchströmung ist wichtig für die korrekte programminterne Verarbeitung, da von dieser Richtung abhängt, welche Zellwände wieder freigelegt werden müssen.

In den Dateien **BEISPIEL\AUS\QUER-1.*** sind die Ergebnisse mit Berücksichtigung der durch die Datei **BEISPIEL\EIN\QUER.001** definierten Durchströmung zu finden, die Dateien **BEISPIEL\AUS\QUER-2.*** enthalten die entsprechenden Modellresultate für ein nicht durchströmbares Gebäude.

5.6.2 Vegetation

Bislang konnte der Einfluss der Vegetation nur über die Rauigkeitslänge z_0 im Modell berücksichtigt werden. Dieses Vorgehen führt aber nicht zu realistischen Ergebnissen, da der von Vegetationseffekten beeinflusste Bereich von MISKAM explizit aufgelöst wird, über z_0 aber nur diejenigen Oberflächenrauigkeiten erfasst werden, die nicht direkt als Strömungshindernisse dargestellt werden können. Das nunmehr implementierte Konzept simuliert den Einfluss der Vegetation über eine zusätzliche Widerstandskraft in den Bewegungsgleichungen, sowie über modifizierte Produktionsraten der turbulenten kinetischen Energie und der Energiedissipation. Damit wird eine realistische Simulation der Strömungsabbremmung und der Turbulenzerhöhung in Baumkronen oder Hecken erreicht.

Vom Benutzer sind in einer zusätzlichen Input-Datei (Namenskonvention wie bei Durchströmungen, also name.00x, x im Bereich 1...5) Angaben über die Positionen der Laub enthaltenden Gitterzellen, den Vegetationsbedeckungsgrad (Draufsicht) sowie die Blattflächendichte in (m² Blattfläche)/(m³ Luft) zu machen. Werte für die Blattflächendichten verschiedener Baumarten finden sich in der Literatur, siehe z.B. Groß (1993).

Beispieldateien für einen explizit aufgelösten Einzelbaum (**BAUM1.INP**, **BAUM1.001** in \BEISPIEL\EIN) werden mitgeliefert. Die folgende Tabelle zeigt einen Ausschnitt aus der Datei **BAUM1.001**. Der Eintrag „Vegetation“ in der ersten Zeile ist zwingend vorgeschrieben. Die Spalten der weiteren Zeilen enthalten folgende Informationen:

- 1. Spalte Vegetationstyp, hier ist zwingend „L“ oder „I“ einzutragen.
- 2. + 3. Spalte Index-Bereich in x-Richtung
- 4. + 5. Spalte Index-Bereich in y-Richtung
- 6. + 7. Spalte Index-Bereich in z-Richtung
- 8. Spalte Blattflächendichte in (m² Blattfläche)/(m³ Luft) für den in den Spalten 2–7 definierten Zellbereich
- 9. Spalte Vegetationsbedeckungsgrad für den selben Zellbereich.

Vegetation								
L	22	22	19	19	6	6	8.400	1.000
L	23	23	25	25	7	7	0.781	1.000
...

Abbildung 5.3: Konfigurationsdatei zur Definition von Zellbereichen mit Vegetation

5.6.3 Impulsbehaftete Quellen

Für Punktquellen kann eine feste Vertikalgeschwindigkeit (Austrittsgeschwindigkeit der Luft, z.B. aus einem Kamin) vorgegeben werden. Diese wird bereits in die Strömungsberechnung einbezogen, so dass das Wind- und Turbulenzfeld in der Nähe des Kaminausgangs auf den zusätzlichen Impulseintrag reagieren kann.

Mit diesem Verfahren ergeben sich wesentlich realistischere Schadstoff-Fahnen als ohne Berücksichtigung einer Austrittsgeschwindigkeit oder durch Verwendung einer effektiven Quellhöhe.

Zu beachten:

- Die Ergebnisse sind nicht mehr unabhängig von der Anströmgeschwindigkeit, da das quellnahe Windfeld direkt von der Austrittsgeschwindigkeit, bzw. von deren Verhältnis zur ungestörten Strömungsgeschwindigkeit abhängt.

- Die benötigten Rechenzeiten zum Erreichen eines stationären Windfeldes können erheblich ansteigen.

Zur Festlegung der Austrittsgeschwindigkeit wird eine weitere Eingabedatei benötigt, die Dateien **KONFIG.INP** und **KONFIG.001** enthalten ein Beispiel. Die Zusatzdatei muss als ersten Eintrag „Quellen“ enthalten, danach können einzelnen Gitterzellen (Spalten 1 bis 3 enthalten die Gitterindizes in x -, y - und z -Richtung) Austrittsgeschwindigkeiten (Spalte 4, angegeben in m/s) zugewiesen werden. Es ist auf Konsistenz der Quellpositionen mit denjenigen in der .INP-Datei zu achten (siehe Quellposition in **KONFIG.INP**).

```
Quellen
14  15  11  5.0
```

Abbildung 5.4: Konfigurationsdatei zur Definition von impulsbehafteten Quellen

5.6.4 Einschränkung der Stationaritätsprüfung auf Kerngebiet

Die Rechenzeiten bis zur Stationarität der Strömungsvariablen kann unter Umständen deutlich reduziert werden, indem die Stationaritätsabfrage auf den inneren Bereich des Modellgebietes beschränkt wird. Dazu ist in einer zusätzlichen Konfigurationsdatei nach üblichem Muster der Koordinatenbereich in x - und y -Richtung anzugeben, für den die Stationaritätsüberprüfung ausgeführt werden soll.

```
Kerngebiet
250 750 200 800
```

Abbildung 5.5: Konfigurationsdatei zur Definition eines Kerngebietes für die Stationaritätsabfrage, Koordinatenangaben in m.

In diesem Beispiel würde die Stationarität in einem Kerngebiet von 500×600 m Größe überprüft.

Tests mit der Konfigurationsdatei für die Göttinger Straße in Hannover haben ergeben, dass sich die Rechenzeiten in diesem Fall auf ca. 50 % reduzieren lassen, ohne dass sich Ergebnisse im Kerngebiet ändern. Im Einzelfall kann die Rechenzeitersparnis noch höher oder auch geringer ausfallen, eine allgemein anwendbare Faustregel gibt es nicht. Daher sind Tests durch den Anwender unerlässlich.

```

Voreinstellungen fuer Stroemungsrechnungen      N E U S T A R T
-----
Steuerparameter (s: Stroemungsmodell, a: Ausbreitungsmodell) ..... s
Konfigurationsdatei (prefix) ..... konfig
istart (1: Neustart, 0: Folgelauf) ..... 1
isteps (Anzahl Zeitschritte bis Zwischenspeicherung) ..... 1000
z0ein (Rauhigkeitslaenge fuer 1d-Initialisierung in cm) ..... 10.0
zanem (Anemometerhoehe in m) ..... 10.0
uv0 (Windgeschwindigkeit in m/s in Anemometerhoehe) ..... 5.0
winku (Windrichtung in Grad gegen N in Anemometerhoehe) ..... 225.
dtdz (Schichtung in K/100m, 0: neutral, >0: stabil, <0: labil) ..... 0.
eeps (Schliessung, e: E-eps-Modell, k: K-Modell) ..... e
abbr (Abbruchkriterium, s fuer Stationaritaet oder Sekundenzahl) ... s
Ausgabedateien (prefix) ..... stroem
Eingabedateiverzeichnis .....
Ausgabedateiverzeichnis .....

Bei Aenderung der Voreinstellungen darauf achten,
dass die einzelnen Werte immer in der 70. Spalte beginnen!      ^

```

Abbildung 5.6: Beispiel einer MISKAM-Initialisierungsdatei für Strömungsrechnung. Die Angabe von Ein- und Ausgabedateiverzeichnissen ist optional.

5.7 Programmtechnische und meteorologische Steuerparameter

MISKAM benötigt eine Reihe von Steuerparametern zur Regelung des Programmablaufs sowie zur meteorologischen Initialisierung. Im folgenden Abschnitt 5.7.1 werden diese Parameter erläutert, des weiteren werden „Vertrauensbereiche“ für die einzelnen Größen angegeben.

Für die Definition seitlicher Einström- und Auslaufzonen werden programmintern Voreinstellungen vorgegeben. Diese Voreinstellungen können über eine weitere Steuerdatei modifiziert werden, diese wird im Abschnitt 5.7.2 beschrieben.

5.7.1 Die Initialisierungsdatei MISKAM.INI

Die zu verwendenden Parameterwerte werden MISKAM über die Datei **MISKAM.INI** mitgeteilt. In Abbildung 5.6 ist als Beispiel die Datei **STROEM1.INI** aus dem Installations-Archiv dargestellt. Die aus den angegebenen Programmeinstellungen resultierenden Ergebnisse entsprechen den installierten Dateien **EIN\STROEM.***.

Die Bedeutung der einzelnen Parameter, einschließlich derer aus den anderen möglichen INI-Dateien, ist im folgenden aufgelistet. Ein dem Text vorangestelltes S bezeichnet dabei Parameter, die ausschließlich für Strömungsberechnungen benötigt werden, ein A entsprechend solche, die nur für Ausbreitungsberechnungen erforderlich sind.

Steuerparameter (s: Stroemungsmodell, a: Ausbreitungsmodell)

Selbsterklärend, Festlegung ob eine Strömungs- oder Ausbreitungsrechnung durchgeführt werden soll.

Zur Verwendung der verschiedenen Advektionsschemata bei Strömungsrechnungen kann anstelle von „s“ auch „s1“ oder „s2“ angegeben werden. Es bedeuten

„s“: Verwendung des Upstream-Schemas für Impuls- und Turbulenzadvektion

„s1“: Verwendung des McCormack-Schemas für die Impulsadvektion und des Upstream-Schemas für die Turbulenzadvektion

„s2“: Verwendung des McCormack-Schemas für die Impulsadvektion und des MPDATA-Schemas für die Turbulenzadvektion

Konfigurationsdatei (prefix):

Festlegung der zu verwendenden INP-Datei, diese muss im Verzeichnis **EIN** unter dem Namen **PREFIX.INP** liegen, sofern kein anderes Verzeichnis für Eingabedateien angegeben wird (siehe unten).

Neustart (1) oder Folgelauf (0):

Mit diesem Parameter wird dem Programm mitgeteilt, ob eine Neuberechnung aller Felder erfolgen soll (eindimensionale Initialisierung beim Strömungsmodell, Start mit „sauberer“ Atmosphäre beim Ausbreitungsmodell), oder ob ein dann noch zu spezifizierender Satz von bestehenden Ergebnisdateien eines vorherigen Laufs eingelesen werden soll.

Andere Werte als 0 oder 1 sind nicht zugelassen.

Anzahl zu rechnender Zeitschritte bis zur Zwischenspeicherung:

Spätestens nach der hier vorzugebenden Anzahl von Zeitschritten werden Binärdateien erzeugt und die Rechnung beendet. Eine frühere Beendigung der Rechnung erfolgt, wenn zuvor das vorgegebene Abbruchkriterium erreicht wird.

Turbulenzschließung (e, ek oder es):

Dieser Parameter steuert, welche Version des E - ϵ -Modells verwendet werden soll. Für das vom MISKAM-Entwickler empfohlene Turbulenzmodell mit der modifizierten Kato-Launder-Schließung nach Lopez et al. (2005) ist „e“ anzugeben. Alternativ kann mit „ek“ oder „es“ die Kato-Launder-Version bzw. das Standard- E - ϵ -Modell verwendet werden.

In seltenen Fällen können numerische Instabilitäten bei der Berechnung der Turbulenzvariablen auftreten. Bislang konnten alle Instabilitäten durch eine Modifikation des Zeitschrittsplittings für das Turbulenzmodell beseitigt werden. Voreingestellt ist eine Abarbeitung der Prognosegleichungen für die Turbulenzvariablen in zwei Halbschritten. Eine

Aufspaltung in vier Halbschritte kann eingestellt werden, indem die im Installationsverzeichnis liegende Datei **MISKAM_SPL** in **MISKAM.SPL** umbenannt wird.

Rauhigkeitslänge für 1D-Initialisierung:

Diese wird zur Berechnung des eindimensionalen Windprofils verwendet, welches nach der erforderlichen Skalierung auf das dreidimensionale Modellgebiet übertragen wird.

Wie schon erwähnt, werden an den seitlichen Modellrändern jeweils fünf zusätzliche Gitterzellen programmintern angefügt. Den äußeren drei dieser Zellen wird der z_0 -Wert aus der 1D-Initialisierung zugewiesen, für die beiden inneren Gitterzellenreihen erfolgt eine Interpolation zum ersten im eigentlichen Modellgebiet verwendeten Wert.

Die Rauhigkeitslänge ist in cm vorzugeben.

Anströmrichtung:

Hier ist der Winkel der vorgegebenen Anströmung nach der in der Meteorologie üblichen Notation ($N = 0^\circ$, $O = 90^\circ$ usw.) anzugeben.

Anströmgeschwindigkeit:

Windgeschwindigkeit in Anemometerhöhe, Eingabe in m/s. Prinzipiell genügt es in den meisten Fällen, für eine einzige Anströmgeschwindigkeit zu rechnen und Immissionsverteilungen für andere Geschwindigkeiten durch entsprechende Normierung zu bestimmen, da die mit MISKAM berechneten Konzentrationswerte umgekehrt proportional zur Windgeschwindigkeit sind.

Anemometerhöhe:

Durch die explizite Vorgabe einer Anemometerhöhe (Eingabe in m) ist die Berücksichtigung eventuell vorhandener Windmessungen (z.B. Messung im Dachniveau) bei den Modellrechnungen möglich. Das vorab berechnete eindimensionale Windprofil wird so skaliert, dass die Vorgaben für Windgeschwindigkeit und Anemometerhöhe eingehalten werden.

Thermische Schichtung:

Die Schichtung wird angegeben als Vertikalgradient (K/100m) der potentiellen Temperatur. Der Wert 0 entspricht neutralen Verhältnissen, positive Werte charakterisieren stabile Schichtung.

Besondere Sorgfalt ist bei der Vorgabe nichtneutraler thermischer Schichtung erforderlich, um physikalisch sinnvolle Kombinationen von Windgeschwindigkeit und Schichtung zu erzeugen. Schwierigkeiten können entstehen, wenn stabile thermische Schichtung mit relativ hohen bodennahen Windgeschwindigkeiten (z.B. > 1 m/s in 2 m Höhe) kombiniert werden, da dann in größerer Höhe unrealistisch hohe Windgeschwindigkeiten produziert werden. Sinnvoll ist es, im Falle stabiler Schichtung entweder geringe bodennahe Windgeschwindigkeiten anzusetzen, oder aber eine große Anemometerhöhe, z.B.

den Modelloberrand, vorzugeben. Der Gradient der potentiellen Temperatur sollte nicht mehr als 1 K/100m betragen.

Negative Werte für den Temperaturgradienten (labile Schichtung) werden programmiert auf 0 (neutrale Schichtung) zurückgesetzt, da wie bereits erwähnt die Kombination labile Schichtung \Leftrightarrow Stationarität physikalisch nicht sinnvoll ist.

Korrekturschritte für Advektionsberechnung:

A Zur Berechnung der Massenadvektion im Ausbreitungsmodell kann wahlweise das einfache upstream-Schema oder das Schema nach Smolarkiewicz und Grabowski (1989) verwendet werden, bei dem numerische Diffusionseffekte durch einen oder mehrere Korrekturschritte teilweise rückgängig gemacht werden.

Bei Angabe von 0 wird das upstream-Schema verwendet, maximal können 2 Korrekturschritte gerechnet werden. Angaben > 2 werden auf 2 zurückgesetzt.

Zur Behandlung von Verkehrsemissionen (Linienquellen) ist im allgemeinen die Verwendung des upstream-Schemas gerechtfertigt. Es ist zu beachten, dass jeder Smolarkiewicz-Korrekturschritt den Rechenaufwand für die Ausbreitungsrechnung um etwa 80 % erhöht.

Abbruchkriterium („s“ oder „s2 “ oder Sekundenzahl):

Sowohl für Strömungs- als auch für Ausbreitungsrechnungen können optional unterschiedliche Abbruchkriterien für die Simulationen verwendet werden.

Das Abbruchkriterium feste Zeit wird in beiden Teilmodellen identisch gehandhabt, vom Anwender ist jeweils eine Sekundenanzahl vorzugeben. In den INI-Dateien wird diese Anzahl direkt als Abbruchkriterium eingetragen (siehe Beispiele auf den Distributionsdisketten).

Die Vorgabe einer festen Zeit empfiehlt sich insbesondere bei Ausbreitungsrechnungen, bei denen z.B. verschiedene Bebauungsvarianten verglichen werden sollen, da damit gewährleistet wird, dass bei jeder Modellrechnung dieselbe Gesamtmasse emittiert wird.

Das Abbruchkriterium Stationarität wird je nach Simulationsart unterschiedlich ausgewertet:

Bei Strömungsrechnungen erfolgt der Abbruch der Simulation, wenn die folgenden Einzelkriterien erfüllt sind:

- Das Maximum der relativen Änderungen (Änderung pro Zeitschritt / Einströmwindgeschwindigkeit in 10 m Höhe) der drei Windkomponenten,
- sowie die maximale Änderung der Diffusionskoeffizienten, ebenfalls bezogen auf den Einströmwert in 10 m Höhe

müssen 0.1 % unterschreiten. Nach diesem Stationaritätskriterium sollte üblicherweise

nach ca. 200 bis 2000 Zeitschritten, je nach Komplexität des Modellaufbaus, Stationarität erreicht werden.

Für Ausbreitungsrechnungen bewirkt die Angabe „s“ eine Beendigung der Rechnung, sobald die Konzentrationsänderung in keiner Gitterzelle größer als 0.01 % des maximalen Konzentrationswertes beträgt. Hierfür wird gewöhnlich eine ähnliche Anzahl von Zeitschritten wie bei Strömungsrechnungen benötigt. Mit diesem Kriterium ist gewährleistet, dass keine Konzentrationsänderungen mehr in Quellnähe auftreten. Es eignet sich daher z.B. falls Aussagen über Immissionskonzentrationen in der Nähe von Straßen gefordert sind.

Bei der Untersuchung von Schadstoffkonzentrationen in größerer Entfernung von den Quellen ist dieses Kriterium nicht ausreichend, daher kann durch Angabe von „s2“ ein schärferes Kriterium verwendet werden. In diesem Fall erfolgt der Abbruch, wenn sich der Konzentrationswert in keiner Zelle um mehr als 0.1 %, bezogen auf den Wert in der Zelle selbst, ändert. Für dieses Kriterium sind ca. 2 bis 4 mal mehr Zeitschritte, abhängig von der Gebäudekonfiguration, erforderlich.

Ausgabedateien (prefix):

Festlegung des Namens, unter dem die Ergebnisse (Dateien **.PRS .UVW .TUR .ZWU .ZWT** bei Strömungs- bzw. **.PRA .KON .ZWK** bei Ausbreitungsrechnungen) gespeichert werden. Die Dateien werden im Verzeichnis **AUS** angelegt, **sofern kein anderes Verzeichnis für Ausgabedateien (siehe unten) angegeben wird.**

Eingabedateiverzeichnis (prefix):

Optionale Angabe eines Verzeichnisses, in welchem die zum Modelllauf gehörige Konfigurationsdatei liegt. Es kann ein relativer oder absoluter Pfad angegeben werden, wobei der Verzeichnisname unbedingt mit einem `\` abzuschließen ist. Namen, die Leerzeichen enthalten, sind in Anführungszeichen einzuschließen.

Ausgabedateiverzeichnis (prefix):

Optionale Angabe eines Verzeichnisses für die Ergebnisdateien, Eingabe wie bei Eingabedateiverzeichnis.

5.7.2 Die Steuerdatei MISKAM.BND

Als Voreinstellung wird bei MISKAM-Simulationen eine aus jeweils fünf Gitterpunktzeilen bestehende zusätzliche seitliche Randzone verwendet. Die Gitterauflösung wird dabei aus dem Modellgebiet heraus extrapoliert, die äußersten drei Gitterzellen sind äquidistant. Alle Randzellen sind frei von Hindernissen. Unter bestimmten Umständen können andere Einstellungen für die seitlichen Ränder sinnvoll sein. So sind beispielsweise zusätzliche Randzellen nicht

erforderlich, wenn im eigentlichen Modellgebiet bereits ausreichende Einström- und Auslaufzonen vorhanden sind. Auch kann es angebracht sein, die Strömungshindernisse über die seitlichen Ränder hinaus zu verlängern, also als quasi unendlich ausgedehnt zu betrachten (z.B. Straßenschlucht-Situationen, die wegen vorhandener Straßen-Einmündungen nicht zweidimensional betrachtet werden können, approximative Berücksichtigung der Topographie). Um in solchen Fällen die Voreinstellungen zu überschreiben, dient die Datei **MISKAM.BND**, die im MISKAM-Programmverzeichnis liegt. Der Aufbau der Datei ist in Abbildung 5.7 dargestellt.

```
# Verarbeitung der Seitenraender
# =====
#
# Extrapolation der Gitterabstaende
# =====
# xyfact = 0 <==> 1 zusaetzliche Randzelle wie in MISKAM3.6
# xyfact = 1 <==> aequidistante Fortsetzung des Gitters ueber 5 Zellen
# xyfact > 1 <==> gespreizte Fortsetzung des Gitters ueber 5 Zellen
# xyfact wird programmintern auf maximal 2 begrenzt.
#
# Extrapolation der Hindernisstruktur
# =====
# igeb = 0 <==> keine Hindernisse auf den Raendern
# igeb = 1 <==> letzte innere Hindernishoehe wird auf Raender umgesetzt.
# igeb sollte NUR zur Approximation der Topographie auf 1 gesetzt werden.
# Ausnahme sind zweidimensionale Rechnungen, dabei wird automatisch igeb=1
#
xyfact    1.2
igeb      0
#
Ende
```

Abbildung 5.7: Datei **MISKAM.BND** zur Einstellung der Seitenränder.

Im gezeigten Beispiel wird den ersten drei zusätzlichen Gitterzellen ein jeweils um den Faktor 1.2 erhöhter Gitterpunktabstand zugewiesen, die vierte und fünfte Zelle übernimmt die Auflösung der dritten Zelle. Die Randzellen wären in diesem Fall frei von Strömungshindernissen. Die Variable **igeb** regelt nicht nur die Umsetzung der Hindernishöhen sondern auch der Bodenrauigkeit und der Schadstoffquellen auf die Seitenränder, bei **igeb=1** werden diese Größen ebenfalls „ins Unendliche“ fortgesetzt.

In der Voreinstellung bleiben die Randzellen frei von Quellen. Die Bodenrauigkeit wird für die äußersten drei Zellen auf den Wert fest gesetzt, der auch für die eindimensionale Initialisie-

rung der Strömungsrechnungen verwendet wird, diese Zellen sollen also repräsentativ für die ungestörte Umgebung sein. Für die beiden verbleibenden Zellreihen wird die Rauigkeitslänge zwischen dem Initialisierungswert und dem Wert der angrenzenden Zelle des inneren Modellgebietes interpoliert.

Bei zweidimensionalen Rechnungen wird die Variable **igeb** nur für die x -Richtung ausgewertet, in y -Richtung werden homogene Verhältnisse angenommen.

Um wieder zu den Voreinstellungen zurück zu kehren ist die Datei **MISKAM.BND** beliebig umzubenennen oder in ein anderes Verzeichnis zu verschieben.

5.8 Bedienungsschritte

Der Start von Modellrechnungen mit MISKAM geschieht über die Windows-Eingabeaufforderung. Notwendige Informationen über Programmsteuerung und Meteorologie erhält das Programm wie schon erwähnt aus der Datei **MISKAM.INI**. Ergebnisse werden in Binärdateien und in ASCII-Tabellen abgelegt. Da zum Start keinerlei interaktive Prozesse abgearbeitet werden müssen, kann MISKAM auch zum Batch-Betrieb, z.B. zur Erstellung von Statistiken, verwendet werden.

5.8.1 Initialisierung und Programmstart

Bevor MISKAM gestartet werden kann, ist zunächst die für den geplanten Rechenlauf passende INI-Datei zu erstellen. Als „Vorlagen“ hierfür werden bei der Installation die Dateien **STROEM1.INI**, **STROEM0.INI**, **AUSBR1.INI** und **AUSBR0.INI** in das Programmverzeichnis kopiert. Der Verwendungszweck einer Initialisierungsdatei ist der jeweiligen Kopfzeile zu entnehmen.

Das Kommando zum Starten des Modells MISKAM lautet

[installpfad\MISKAM? [„inipfad\iname“]

Für „?“ ist die im Namen der EXE-Datei enthaltene Versionsnummer einzusetzen. MISKAM kann aus jedem beliebigen Verzeichnis gestartet werden, sofern der Installationsort über den optionalen Parameter *installpfad* angegeben wird. Über das zweite optionale Kommandozeilenargument *inipfad\iname* wird dem Programm mitgeteilt, welche INI-Datei verwendet werden soll. Falls die INI-Datei in einem anderen als dem aktuellen Verzeichnis liegt, ist *inipfad* entsprechend anzugeben. Falls das optionale Argument weggelassen wird, sucht MISKAM beim Start nach einer Datei **MISKAM.INI** im Installationsverzeichnis.

Verzeichnisse können jeweils als relative oder absolute Pfade angegeben werden.

Beispiele:

- Start von MISKAM? aus dem Installationsverzeichnis **C:\PROGRAMME\MISKAM** mit der INI-Datei **MISKAM.INI** im selben Verzeichnis

```
cd PROGRAMME\MISKAM
```

```
MISKAM?
```

- Start von MISKAM? aus dem Verzeichnis **C:\PROJEKTDIR**, EXE-Datei liegt in **C:\PROGRAMME\MISKAM**, Verwendung der INI-Datei **FLOWSTART.INI**, die im Verzeichnis **C:\PROJEKTDIR\FLOW** liegt:

```
cd PROJEKTDIR
```

```
C:\PROGRAMME\MISKAM\MISKAM? FLOW\FLOWSTART
```

Je nach Aufgabenstellung werden unterschiedliche Parameter benötigt (siehe 4.7), daher ändert sich auch die Struktur der INI-Datei. Beispiele werden beim Entpacken des Archivs **MISKAM-INSTALL.ZIP** in das Installationsverzeichnis kopiert. Namen und Inhalte der Beispieldateien sind selbsterklärend, daher wird an dieser Stelle auf eine eingehendere Beschreibung verzichtet. Die Bedeutung der einzelnen Parameter wurde bereits in Abschnitt 5.7.1 erläutert.

5.8.2 Programmabbruch

Laufende MISKAM-Rechnungen können mit Hilfe der mitgelieferten Textdatei **STOPTEXT** sowie der batch-Datei **MSTOP.BAT**, die beide bei der Installation in das MISKAM-Verzeichnis gestellt werden, kontrolliert abgebrochen werden. Durch Ausführen der batch-Datei während eines MISKAM-Laufs wird bewirkt, dass der Lauf nach der nächsten Bildschirmausgabe (also nach maximal 10 weiteren Zeitschritten bei Strömungsrechnungen, maximal 100 weiteren Zeitschritten bei Ausbreitungsrechnungen) beendet wird, die Ergebnisse werden in die üblichen Ausgabedateien geschrieben.

5.8.3 Ergebnisausgabe

Bei Beendigung einer Modellrechnung werden alle für Anschlußläufe (z.B. Fortsetzung einer Simulation, bei der das Stationaritätskriterium noch nicht erreicht wurde) erforderlichen Daten in unformatierte Binärdateien gespeichert. Für Ausbreitungsrechnungen dienen die Binärdateien einer vorherigen Strömungsrechnung als Eingabedateien.

Die Binärdateien enthalten jeweils die gesamte Koordinaten- und Gebäudekonfiguration, die Rauigkeitsverteilung und die Positionen und Intensitäten der Schadstoffquellen. In den Dateien

***.ZWU** wird darüber hinaus das vollständige Wind- und Stördruckfeld gespeichert, in den Dateien ***.ZWT** die Diffusionskoeffizienten, die kinetische Turbulenzenergie und die turbulente Energiedissipation. Massenkonzentrationen und gegebenenfalls Depositionsraten werden in den Binärdateien ***.ZWK** abgespeichert.

Zusätzlich erfolgt eine „lesbare“ Ergebnisausgabe in Form von ASCII-Tabellen.

In den Dateien ***.UVW** werden die kartesischen Windkomponenten, der Betrag der Windgeschwindigkeit sowie der dynamische Stördruck in Form von Horizontalschnitten gespeichert. Die Dateien ***.TUR** enthalten die Variablen des Turbulenzmodells (Diffusionskoeffizienten, Turbulenzenergie und Energiedissipation). In den Dateien ***.KON** werden schließlich die errechneten Massenkonzentrationen gespeichert.

Bei allen Ausgabegrößen mit Ausnahme der Windkomponenten wird eine Skalierung durchgeführt, die dafür sorgt, dass der jeweils größte im Feld auftretende Wert der jeweiligen Variablen als vierstellige Zahl ausgegeben wird. Die Windkomponenten sowie der Windgeschwindigkeitsbetrag werden generell in mm/s ausgegeben.

Zur Kontrolle des Programmablaufs erzeugt MISKAM desweiteren die Protokolldateien ***.PRS** (Strömungsmodell) bzw. ***.PRA** (Ausbreitungsmodell), in denen alle Informationen zum Simulationsablauf (Ein- und Ausgabedateien, Parametereinstellungen, Informationen zu den gerechneten Zeitschritten) festgehalten werden.

5.8.4 Kontrollausgaben

Die Protokollierung von Strömungsrechnungen wurde in MISKAM 5 erheblich verbessert. Zur Steuerung der Kontrollausgabe dient die Datei **MISKAM.PRO**, die im MISKAM-Verzeichnis liegen muss.

Wenn **MISKAM.PRO** nicht existiert, wird die Protokolldatei **NAME.PRS** wie gewohnt erstellt. Bei Vorhandensein von **MISKAM.PRO**, wobei deren Dateinhalt irrelevant ist, wird ein detaillierteres Protokoll, ebenfalls unter der Bezeichnung **NAME.PRS**, erstellt. In der Tabelle werden neben der maximalen Restdivergenz auch die Einzeländerungen der drei Windkomponenten sowie des turbulenten Diffusionskoeffizienten zusammen mit deren jeweiliger Gitterposition ausgegeben. Ein Zuschalten dieser detaillierten Protokollierung ist dann sinnvoll, wenn es zu Konvergenzproblemen kommen sollte (die bei komplexen, umfangreichen Gebäudekonfigurationen nach wie vor nicht generell auszuschließen sind).

Als weitere Online-Kontrolle der Modellergebnisse können Zeitreihen der Modellvariablen an einzelnen Gitterpunkten ausgegeben werden. Dazu ist im MISKAM-Verzeichnis eine Datei namens **MISKAM.CTR** abzulegen. In dieser Datei können die Gitterpunktindizes von bis zu neun Gitterpunkten aufgelistet werden, für jeden Gitterpunkt werden dann die Zeitreihen von u , v , w , p' , E , ε und K_m in eine eigene Datei **CONTROL-n.OUT** geschrieben. Die Dateien

werden nummeriert, die **n**-te Datei enthält die Ergebnisse des **n**-ten Gitterpunktes aus der Eingabedatei **MISKAM.CTR**.

```
# MISKAM-Kontrollausgabe
# -----
#
# Es können bis zu 9 Tripel (i,j,k) angegeben werden,
# dabei MUSS jede Zahl rechtsbündig vierstellig eingetragen werden.
#
 25   7  10
 25   8  12
 25   9  11
# ENDE
```

Abbildung 5.8: Datei **MISKAM.CTR** zur Kontrollausgabe von Zeitreihen, im Beispiel für drei Gitterpunkte.

5.9 Hilfsprogramme

5.9.1 KONFIG: Interaktive Erstellung von Konfigurationsdateien

Das mit MISKAM gelieferte Programm **KONFIG** ermöglicht die Erstellung von INP-Dateien ohne den Umweg über einen ASCII-Editor.

KONFIG ist ein Dialogprogramm, welches die notwendigen Angaben zur Konstruktion einer MISKAM-gerechten Eingabedatei sukzessive abfragt. Dabei erfolgt eine weitgehende Plausibilitätsüberprüfung der eingegebenen Daten. Folgende Eingaben werden abgewiesen bzw. in Frage gestellt:

- Nicht streng monoton wachsende Koordinaten der Zellwände (neue Eingabe erforderlich)
- Änderung der Gitterauflösung von einer zur nächsten Zelle um mehr als einen Faktor 2 (Rückfrage des Programms, ob der Anwender sich der Sache sicher ist)
- Nur zwei freie Gitterboxen über einem Hindernis (neue Eingabe erforderlich)
- Weniger als 6 freie Gitterboxen über einem Hindernis (Rückfrage)

5.9.2 MISVIS: Visualisierung von MISKAM-Ergebnissen

In den vorhergehenden MISKAM-Versionen konnten unter MS-DOS rudimentäre Grafikfunktionen genutzt werden, um Modellergebnisse und Eingabedateien zu visualisieren. Nachdem die dafür verwendeten Programmbibliotheken mittlerweile nicht mehr angeboten werden, wurde mit dem Umstieg auf eine 32-Bit Windows-Umgebungen die Neuentwicklung eines Visualisierungsprogramms erforderlich. Resultat dieser, von **giese-eichhorn** durchgeführten Entwicklung ist das Programm MISVIS. Zu dessen Erstellung wurde die Grafik-Bibliothek DISLIN² verwendet.

Das Programm MISVIS kann über **giese-eichhorn** bezogen werden, es steht wahlweise als 32Bit- oder 64Bit-Version zur Verfügung.

MISVIS liest binäre Ergebnisdateien (*.ZWU *.ZWT *.ZWK) und ermöglicht die grafische Darstellung folgender Daten:

- Dreidimensionale Ansicht der Modellkonfiguration aus einstellbaren Blickwinkeln. Bei Auswertung von Ausbreitungsrechnungen werden auch die Positionen von Quellen angezeigt.
- Strömungsrechnungen:
 - Windvektoren
 - Konturplots der Kartesischen Windkomponenten
 - Konturplots der absoluten Windgeschwindigkeit
 - Konturplots des Stördrucks
 - Stromlinien
 - Konturplots des Diffusionskoeffizienten
 - Konturplots der turbulenten kinetischen Energie
 - Konturplots der turbulenten Energiedissipation
- Ausbreitungsrechnungen
 - Konturplots der Zusatzbelastung
 - Konturplots der Gesamtbelastung (Zusatz- + Hintergrundbelastung)
 - Konturplots der am Boden deponierten Masse

Alle Darstellungen können für Horizontalschnitte sowie Vertikalschnitte in $x - z$ - oder $y - z$ -Richtung erstellt werden, wobei jeweils die gesamte Schnittebene oder durch den Anwender auszuwählende Ausschnitte ausgewertet werden können.

²www.dislin.com

Die folgenden Abbildungen zeigen einen Screenshot des Programms MISVIS sowie Beispiele diverser damit erstellter Visualisierungen.

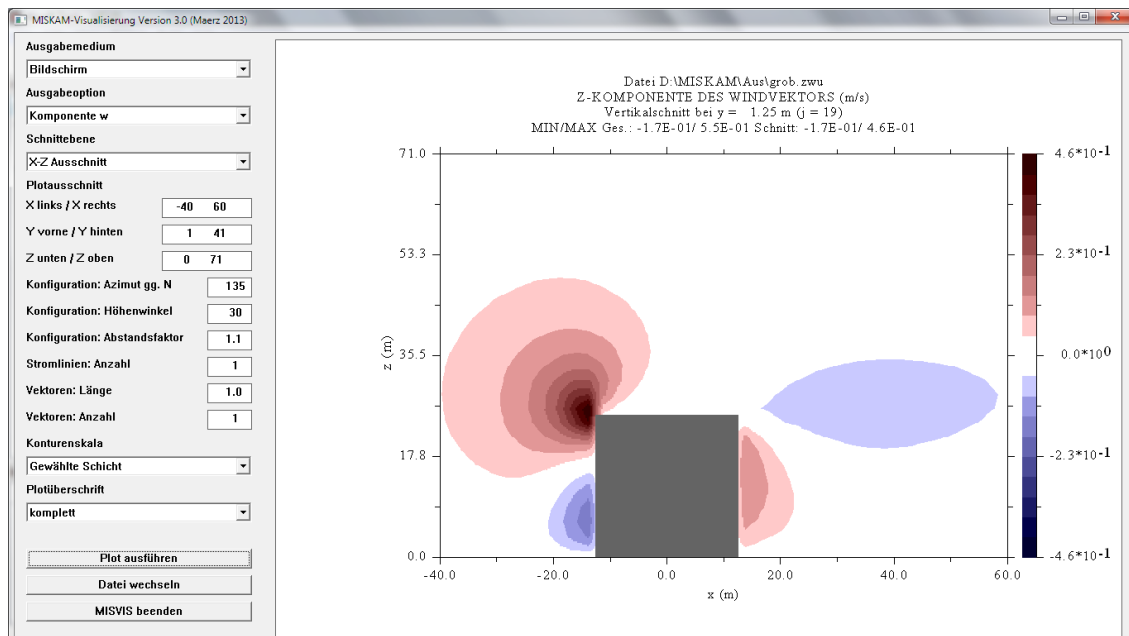


Abbildung 5.9: Screenshot des Programms MISVIS, gezeigt ist eine Ausschnittsvergrößerung des Vertikalwindes bei Überströmung eines Einzelhindernisses.

Datei D:\MISKAM\Tests\Goettfin\Goettfin.zwk
KONFIGURATIONSANSICHT
Blickrichtung aus 135 Grad (0=N)

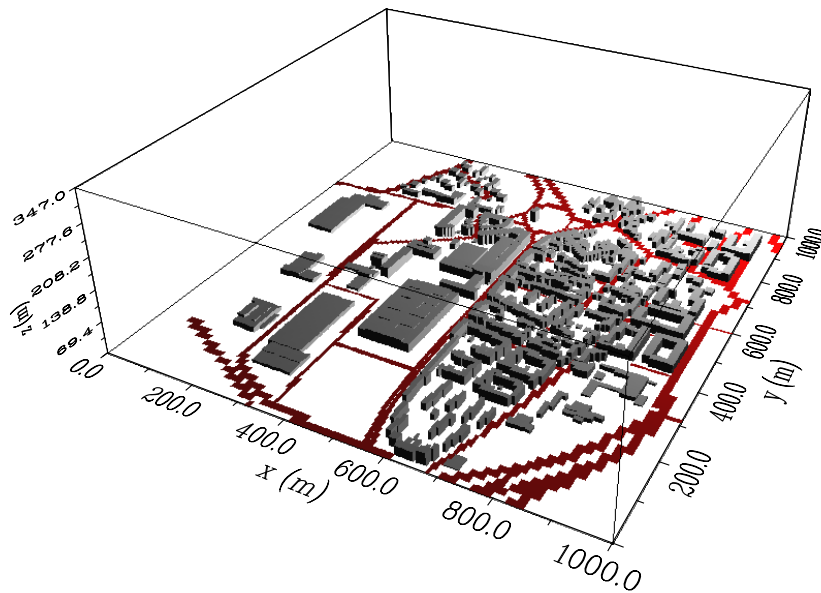
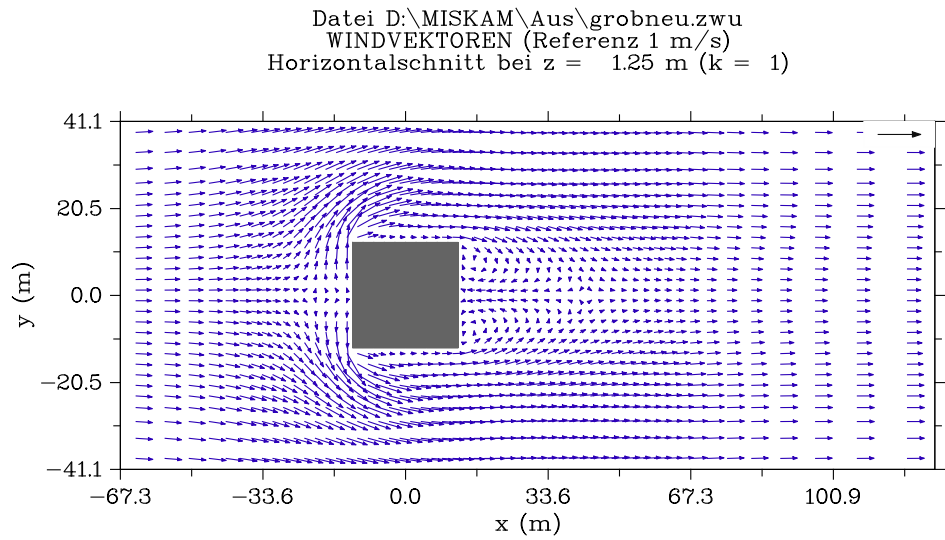


Abbildung 5.10: Beispiel für MISVIS-Grafik: 3D-Darstellung einer Konfigurationsdatei, hier: Göttinger Straße, Hannover.

(a)



(b)

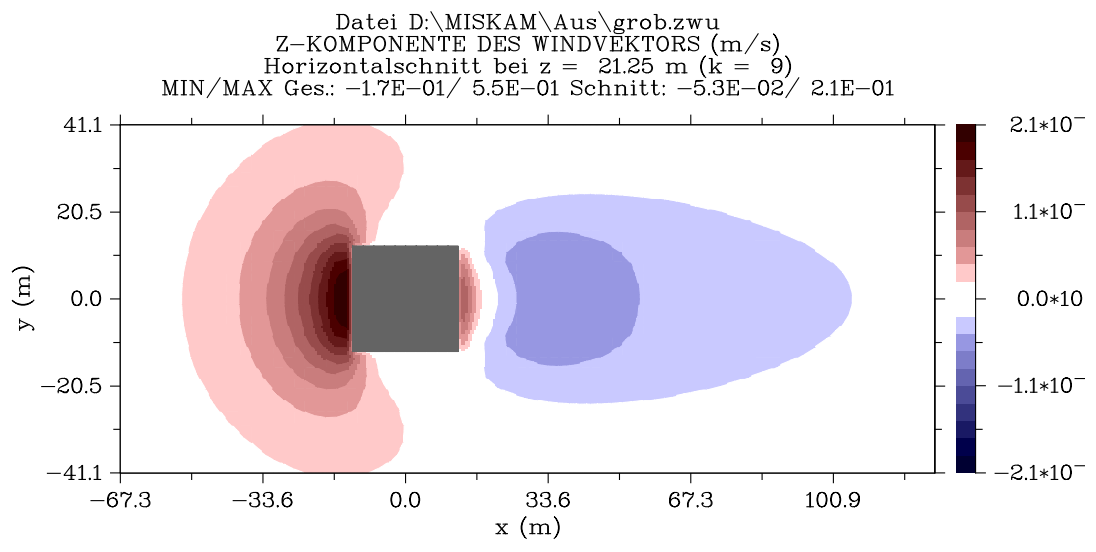


Abbildung 5.11: Beispiel für MISVIS-Grafik: Windvektoren (a) und Vertikalwind (b) bei der Umströmung eines Einzelhindernisses.

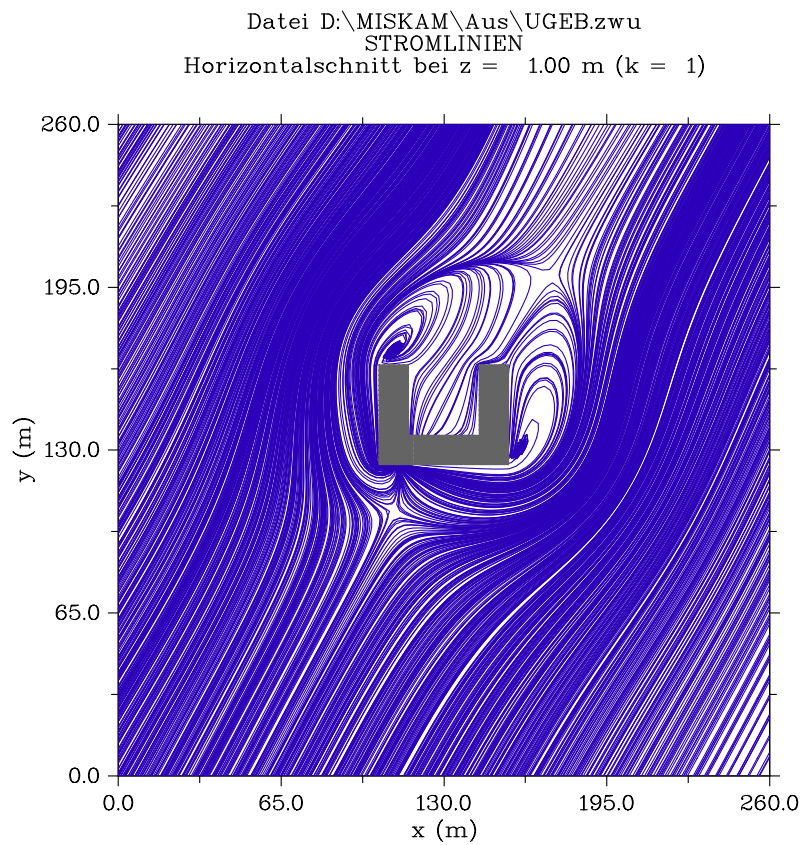


Abbildung 5.12: Beispiel für MISVIS-Grafik: Stromlinien für die Umströmung eines Einzelhindernisses.

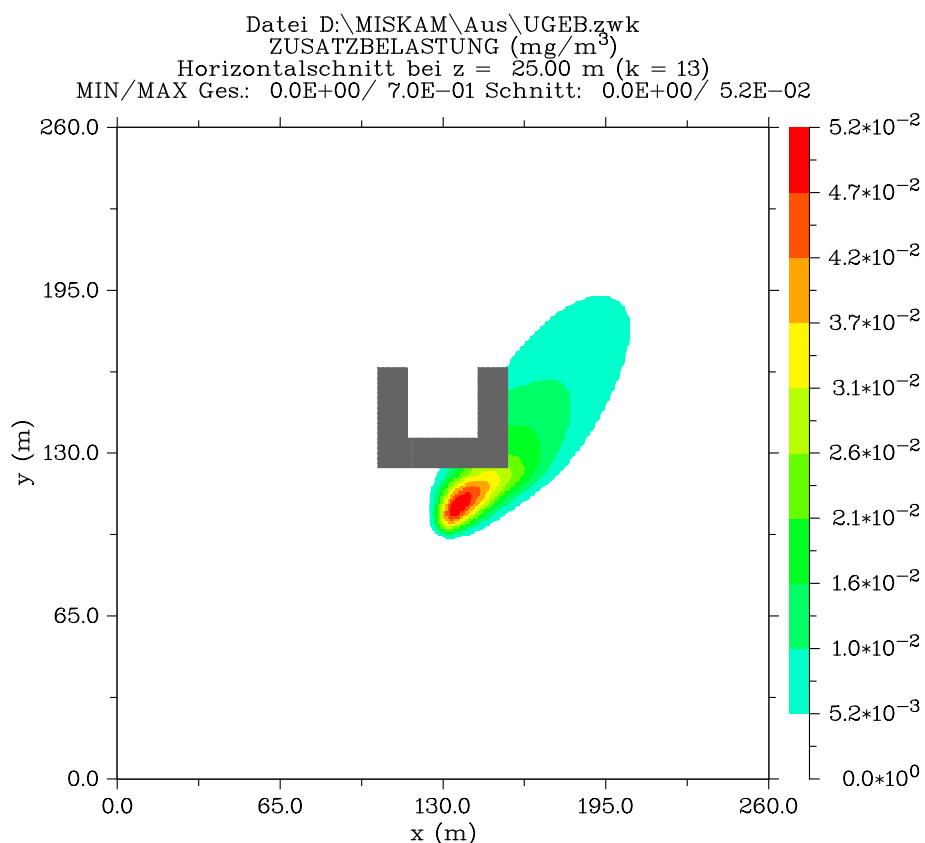


Abbildung 5.13: Beispiel für MISVIS-Grafik: Ausbreitung eines Tracers aus Punktquelle im Luv eines Einzelhindernisses.

6 Verifikation und Validierung

6.1 Vorbemerkungen

Ein wesentlicher Aspekt bei der Bewertung der Qualität eines numerischen Modells ist die Eindeutigkeit und Belastbarkeit der Ergebnisse. Die VDI-Richtlinie 3783/9 “Umweltmeteorologie – Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle – Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung” stellt ein umfangreiches Paket von Validierungsmaßnahmen für Strömungsmodelle zur Verfügung. MISKAM wurde allen in der Richtlinie geforderten Überprüfungen, sofern diese auf das Modell anwendbar sind, unterzogen und erfüllt die vorgegebenen Kriterien für eine erfolgreiche Validierung.

Die Ergebnisse aller Simulationen gemäß VDI-Richtlinie 3783/9 befinden sich auf der MISKAM-CD. In diesem Abschnitt werden die ermittelten Trefferquoten aufgelistet. Die Vergleichsdaten können an dieser Stelle nicht veröffentlicht werden, da sie Bestandteil der Richtlinie sind. Die Richtlinie kann über den VDI beim Beuth-Verlag (<http://www.beuth.de>) bezogen werden.

Systematische Überprüfungen des Ausbreitungsmodells liegen noch nicht im selben Umfang vor. Ergebnisse des Vergleichs von MISKAM-Simulationen für den Mock Urban Setting Test (MUST) sind in der Veröffentlichung von Balczo und Eichhorn (2009) zu finden.

6.2 Validierung nach VDI-RL 3783/9

Die Validierungsrechnungen sind unterteilt in Konsistenzüberprüfungen sowie Vergleiche mit Windkanaldaten. Im Einzelnen gehören die im Folgenden aufgeführten Testfälle zur Richtlinie. Die Modellergebnisse befinden sich in Unterverzeichnissen des Ordners VALIDIERUNG auf der CD. Die Unterverzeichnisse sind nach den jeweiligen Testfallkennzeichnungen gemäß der Richtlinie benannt. Für eine detailliertere Beschreibung der Testfälle (Gitter, Hinderniskonfiguration etc.) wird auf die Richtlinie verwiesen.

In den beiden Tabellen am Ende dieses Abschnitts werden die von MISKAM erreichten Trefferquoten aller Testfälle zusammengestellt.

Alle Rechnungen, mit Ausnahme der Homogenitäts-Tests (B1-6) wurden sowohl mit Upstream-Advektion als auch mit der Kombination aus MacCormack- und MPDATA-Advektion ausgeführt, die Ergebnisdateien wurden entsprechend benannt. Die in den Tabellen aufgeführten Trefferquoten betreffen die Upstream-Advektion, die Änderungen bei Wechsel zu den verbes-

serten Advektionsschemata sind unerheblich (siehe Eichhorn, 2009).

Bei den simulierten Balkenüberströmungen (A1, A2, C1, C2) wurde von den Vorgaben der Richtlinie geringfügig abgewichen. Gefordert wird eine 3D-Simulation mit einem quer zur Strömungsrichtung unendlich ausgedehnten Hindernis. Durch vorab durchgeführte Testrechnungen wurde geprüft, dass die zweidimensionale Version von MISKAM in diesen Fällen identische Ergebnisse liefert. Daher wurden die Rechnungen für die genannten Testfälle mit der erheblich weniger Rechenzeit benötigten der 2D-Version durchgeführt.

6.2.1 Konsistenzüberprüfungen

Testfall A1: Skalierbarkeit Simuliert wird die Überströmung eines zweidimensionalen Balkens mit zwei verschiedenen Anströmgeschwindigkeiten (1 m/s bzw. 10 m/s in Referenzhöhe). Die Ergebnisse sollen sich im Idealfall an allen Gitterpunkten exakt um den Faktor 10 unterscheiden, gefordert wird eine Übereinstimmung von 95 % der Gitterpunkte bei einer maximalen relativen Abweichung von 5 %.

A2: Stationarität Grundlage ist der Referenzlauf zu A1 bis zum Erreichen des modellinternen Stationaritätskriteriums. Als Vergleichslauf wird die selbe Überströmung mit gegenüber dem Referenzlauf verdoppelter Anzahl von Zeitschritten berechnet. Wiederum wird eine 95 % Übereinstimmung bei maximal 5 % relativer Abweichung gefordert.

A3: Symmetrie, Unabhängigkeit von der Gitterauflösung Hierzu werden zwei Simulationen der Umströmung eines Würfels mit unterschiedlichen Gitterauflösungen (2.5 m bzw. 1.25 m in Hindernisnähe) durchgeführt. Der mit grober Auflösung gerechnete Lauf dient zur Überprüfung der Symmetrie der berechneten Ergebnisse (A3-1). Zum Test der Gitter(un)abhängigkeit werden die Ergebnisse des fein aufgelösten Vergleichslaufs auf die Gitterpositionen des Referenzlaufs interpoliert und mit dessen Ergebnissen verglichen (A3-2). Für beide Teile dieses Tests gelten die gleichen Kriterien wie bei A1 und A2.

A4: Gitterorientierung Eine Diagonalanströmung eines Würfels wird einmal durch Drehen der Anströmung, zum anderen durch Drehung des Gitters im Modell realisiert. Die Felder sollen möglichst weitgehend übereinstimmen, wobei aufgrund der je nach Gitterorientierung unterschiedlich starken numerischen Diffusion ein weniger stringentes Kriterium (66 % Übereinstimmung bei maximal 25 % relativer Abweichung) gilt als bei den vorherigen Tests.

B1 – B6: Homogenität Windfelder über homogenem Gelände ohne Strömungshindernisse müssen zeitlich konstant bleiben und unabhängig von der Windrichtung sein. Dazu werden Simulationen für ein hindernisfreies Gebiet und für sechs verschiedene Anströmrichtungen durchgeführt. Die Ergebnisse sollen für alle Richtungen identisch sein, gefordert sind wieder 95 % Übereinstimmung bei maximal 5 % relativer Abweichung.

Die von MISKAM erreichten Trefferquoten für die Konsistenzüberprüfungen sind in Tabelle

6.1 zusammengestellt, zusätzlich zu den schon genannten erlaubten relativen Abweichungen sind für jeden Fall auch die erlaubten absoluten Abweichungen zwischen Referenz- und Vergleichsläufen aufgelistet.

Testfall	D	W	Trefferquoten			
			u	v	w	K_m
B1 – B6	0.05	0.01	100	100	./.	100
A1	0.05	0.01	100	./.	100	./.
A2	0.05	0.01	100	./.	100	./.
A3-1	0.05	0.01	100	./.	100	./.
A3-2	0.05	0.05	99	100	99	./.
A4	0.25	0.06	82	79	87	./.

Tabelle 6.1: Trefferquoten (%) für Konsistenzüberprüfungen. D ist die maximal zugelassene relative Abweichung, W die maximal zugelassene absolute Abweichung zwischen Referenz- und Vergleichswerten. Geforderte Trefferquote: 66 % für Fall A4, 95 % für alle anderen Fälle.

6.2.2 Vergleiche mit Windkanaldaten

Den Vergleichen mit Windkanalmessungen liegen zum Teil Berechnungen zu Grunde, die bereits für die Konsistenzüberprüfungen erstellt wurden. Für alle Vergleiche werden 66 % Treffer bei einer maximalen relativen Abweichung von 25 % gefordert. Die erlaubte absolute Abweichung ergibt sich aus der für den jeweiligen Windkanaldatensatz angegebenen Wiederholpräzision, die Werte sind in Tabelle 6.2 zu finden.

Die zur VDI-Richtlinie gehörigen Windkanaldaten basieren auf den frei verfügbaren CEDVAL¹-Daten des Meteorologischen Instituts der Universität Hamburg.

C1: Balkenüberströmung 1 Hierfür wird der Referenzlauf aus A1 bzw, A2 verwendet und punktweise mit den Windkanaldaten verglichen.

C2: Balkenüberströmung 2 Da sich der verfügbare Windkanaldatensatz als nicht geeignet erwiesen hat, wurde dieser Testfall auf den Vergleich der Länge des Nachlaufwirbels reduziert. Der Wirbel muss im Fall C2 (gegenüber C1 reduzierte Bodenrauigkeit) vergrößert sein.

C3: Würfelumströmung, 270° Hierzu wird die Simulation aus A3 (grobe Auflösung) verwendet.

C4: Würfelumströmung, 225° Dieser Vergleich erfolgt anhand der Simulationsergebnisse von Fall A4.

C5: Quaderumströmung, 270° Neuberechnung, nicht in Konsistentests enthalten.

¹<http://www.mi.uni-hamburg.de/CEDVAL-Val.427.0.html>

TestFall	D	W	Trefferquoten		
			u	v	w
C1	0.25	0.06	87 (71)	./.	95 (90)
C3	0.25	0.06	93 (90)	97 (95)	93 (89)
C4	0.25	0.07	84 (74)	76 (63)	80 (66)
C4-1	0.25	0.07	84 (74)	79 (66)	81 (66)
C4-2	0.25	0.07	84 (76)	81 (68)	81 (67)
C5	0.25	0.07	77 (74)	90 (86)	87 (79)
C6	0.25	0.10	93	66	81

Tabelle 6.2: Trefferquoten (%) für Vergleiche mit Windkanaldaten. Geforderte Trefferquote: 66 % für alle Testfälle. Werte für das Nahfeld (außer für Fall C6) in Klammern. C4-1: gemessene Windvektoren um 2° gedreht; C4-2: simulierte Anströmrichtung 223°.

C6: Array aus 21 Hindernissen, 270° Ebenfalls Neuberechnung mit modifiziertem Modell-Setup. Die Umströmungen von Einzelhindernissen wurden jeweils mit offenen Seitenrändern durchgeführt. Für diesen Fall wurden, um Analogie zum Aufbau im Windkanal zu gewährleisten, durch Wände geschlossene Seitenränder implementiert.

Für alle Fälle außer C6 werden zusätzlich zur Auswertung aller Messpunkte auch Trefferquoten für den Nahbereich, die direkte Umgebung des Strömungshindernisses, angegeben, Details hierzu in der Richtlinie.

Beim Fall C4 fällt die niedrige Trefferquote der Querkomponente v im Nahbereich auf. Eine Überprüfung der Messdaten ergab, dass die Anströmung im Windkanal nicht exakt diagonal erfolgte. Sowohl bei einer Drehung der simulierten Anströmung als auch bei einer Drehung der gemessenen Vektoren verbessert sich die Trefferquote auf Werte, die das Kriterium der Richtlinie für eine erfolgreiche Validierung erfüllen.

7 Literaturverzeichnis

- Balczó, M. und J. Eichhorn, 2009:** Refined MISCAM simulations of the Mock Urban Setting Test. Proceedings of the XXIII. MicroCAD International Scientific Conference, Miskolc / Hungary, pp. 7-12; ISBN 978-963-661-866-7.
- Douglas, J. und H. Rachford, 1956:** On the numerical solution of heat conduction problems in two and three space variables. *Trans. Amer. Math. Soc.*, **82**, 421–439.
- Eichhorn, J., 1989:** Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima-Modells. Dissertation, Universität Mainz.
- Eichhorn, J., 1996:** Validation of a microscale pollution dispersal model. In: *Air Pollution Modeling and its Application IX*, Plenum PRes, New York.
- Eichhorn, J., K. Cui, M. Flender, T. Kandlbinder, W.-G. Panhans, R. Ries, J. Siebert, T. Trautmann, N. Wedi und W.G. Zdunkowski, 1997:** A three-dimensional viscous topography mesoscale model. *Beitr. Phys. Atmosph.*, **70/4**, 301–317.
- Eichhorn, J., 2003:** Numerical Simulation of Effects of Roof Shape on Microscale Flow: Extension of the Numerical Model MISCAM. 4th International Conference on Urban Air Quality, Prague/Czech Republic).
- Eichhorn, J., 2009:** Modell-Evaluierung nach VDI-RL 3783/9 und COST 732 - Erfahrungen mit MISCAM, METTOOLS VII, Hamburg/Germany.
- Eichhorn, J. und A. Kniffka, 2010:** The Numerical Flow Model MISCAM: State of Development and Evaluation of the Basic Version. *Meteorol. Zeitschrift*, **19/1**, 81–90.
- Green, S.R., 1992:** Modeling turbulent air flow in a stand of widely-spaced trees. The PHOENICS Journal of Computational Fluid Dynamics and its Application 5, 294–312, Wimbledon.
- Groß, G., 1993:** Numerical Simulation of Canopy Flows (Springer Series in Physical Environment), Springer-Verlag, Heidelberg.
- Kato, M. und B.E. Launder, 1993:** The modelling of turbulent flow around stationary and vibrating square cylinders. Proceedings of the 9th Symposium on Turbulent Shear Flows, Kyoto, August 1993, pp. 10.4.1-10.4.6.

- Lauerbach, H. und J. Eichhorn, 2004:** Flow Through Deciduous Tree Crowns - Comparison of Measurements and High Resolution Numerical Modelling. NATO Advanced Study Institute „Flow and Transport Processes in Complex Obstructed Geometries“, 4–15 Mai 2004, Kiew, Ukraine.
- Lopez, S.D., Lüpkes, C. und K.H. Schlünzen, 2005:** The effect of different $k-\varepsilon$ closures on the results of a microscale model for the flow in the obstacle layer. *Meteorol. Zeitschrift*, **14**, 839–848.
- Panhans, W. G. und R. Schrodin, 1980:** A one-dimensional circulation and climate model and its application to the lower atmosphere. *Beitr. Phys. Atmosph.*, **53**, 264–294.
- Paterson, D. A. und C. J. Apelt, 1986:** Computation of wind flows over three-dimensional buildings. *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **24**, 193–213.
- Paterson, D. A. und C. J. Apelt, 1986:** Simulation of wind flow around three-dimensional buildings. *Building and Environment*, **24**, 39–50.
- Patrinos, A. N. A. und A. L. Kistler, 1977:** A numerical study of the Chicago lake breeze. *Boundary Layer Meteor.*, **12**, 93–123.
- Ramanathan, N., K. Srinivasan und B. V. Seshasayee, 1995:** Numerical simulation of boundary layer variables using $e-\varepsilon$ closure scheme. *J. Appl. Meteor.*, **34**, 542–548.
- Röckle, R. und C. J. Richter, 1995:** Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen. Abschlussbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Rodi, W., 1980:** Turbulence Models and Their Application in Hydraulics - A State of the Art Review. Iahr Monograph Series, A. A. Balkema, Delft.
- Smolarkiewicz, P. K. und W. W. Grabowski, 1989:** The multidimensional positive definite advection transport algorithm: Nonoscillatory option. *J. Compu. Physics*, **86**, 355–375.
- VDI, 2005:** Umweltmeteorologie - Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle - Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung. – VDI-Richtlinie 3783, Blatt 9; Beuth-Verlag, Berlin, 53 pp.
- Yee, E., Biltoft, C.A., 2004:** Concentration fluctuation measurements in a plume dispersing through a regular array of obstacles. – *Boundary-Layer Meteorol.*, **111**, 363–415.