

# Entwicklung einer Parametrisierung für subskalige turbulente Flüsse in einem mikroskaligen Strömungs- und Transportmodell für die Hindernisschicht

Förderkennzeichen: 07TFS10/LT1-B.3

Christof Lüpkes, Simon Lopez

Jahresbericht 1997

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

## 1 Projektziele

Zur Berechnung des Schadstofftransports in der städtischen Hindernisschicht wird in Zusammenarbeit mit anderen Instituten ein mikroskaliges Modell (MITRAS) entwickelt. Das vom AWI durchgeführte Teilprojekt hat zum Ziel, geeignete Parametrisierungen zur Berechnung subskaliger Flüsse von Impuls, Wärme und von Schadstoffen für die Mikroskala zu entwickeln, im Modell MITRAS anzuwenden und dessen Ergebnisse mit Windkanal- und Naturmessungen zu vergleichen.

## 2 Durchgeführte Arbeiten

Das Projekt konnte wie im vorhergehenden Berichtszeitraum ohne Verzögerungen durchgeführt werden. Während in der ersten Projektphase (1996) Rechnungen mit MITRAS für Strömungen über ebenem Gelände erfolgten, konzentrierten sich die Arbeiten nun auf erste Anwendungen von MITRAS zur Berechnung von Gebäudeumströmungen. Dabei wurden sowohl die bereits in der ersten Phase eingebauten Turbulenzparametrisierungen (Smagorinsky-Mischungsweg-Ansatz, Schließung über turbulente kinetische Energie und Mischungsweg (TKE)) getestet als auch eine weitere, aufwendigere TKE-Schließung (TKE-DIS) eingebaut. Im einzelnen wurden die folgenden Arbeiten durchgeführt.

### a) Einbau und Test der TKE-DIS-Schließung

In der bisher benutzten TKE-Schließung wurde der Diffusionskoeffizient als Funktion der TKE und eines Mischungsweges berechnet. Um die Unsicherheiten zu vermeiden, die mit der Bestimmung des Mischungsweges einhergehen, wurde die TKE-Schließung um eine prognostische Gleichung für die Dissipationsrate erweitert und der Diffusionskoeffizient über den sog. Prandtl-Kolmogorov-Ansatz als Funktion der TKE und der Dissipationsrate bestimmt. Diese Schließung wurde zunächst, wie alle anderen Schließungen, in die 1D-Version des Modells eingebaut und für verschiedene äußere Bedingungen (Windgeschwindigkeit, Grenzschichthöhe etc.) getestet. Schließlich erfolgte der Einbau in die 3D-Version, wobei zunächst Testrechnungen ohne Gebäude durchgeführt wurden.

Weitere Arbeiten zielten darauf ab, die bereits in der letzten Projektphase benutzten Parametrisierungen zu verbessern. So wird der Mischungsweg nun als Funktion des Gebäudeabstandes berechnet. In der bisher benutzten TKE-Schließung wurde der Impulsfluß berechnet, ohne eine bei mikroskaligen Modellanwendungen sonst übliche Korrektur des Spannungstensors vorzunehmen. Der für die Flußberechnung notwendige Zusatzterm wurde nun berücksichtigt und dessen Auswirkungen auf die Modellergebnisse untersucht.

### b) Gebäudeumströmung

Das Modell wurde zur Simulation der Umströmung eines einzelnen, quer zur Windrichtung stehenden Gebäudes (Balken) angewendet, das sich vom linken bis zum rechten Modellrand erstreckt, so daß es seitlich nicht umströmt werden kann. Durch diese Konfiguration war es möglich, eine quasi-zweidimensionale Modellierung vorzunehmen, in der das Stömungsfeld quer zum Wind homogen ist. Die Durchführung von Testrechnungen wurde auf diese Weise wesentlich erleichtert, da

im Vergleich zur Strömungsmodellierung um ein frei stehendes Gebäude weniger Speicher und Rechenzeit benötigt wird. Diese ersten Modellläufe mit Gebäudekonten zur Abstimmung mit den in Hamburg durchgeführten Windkanalmessungen (Festlegung der Messpunkte) genutzt werden.

### c) 1D-Vergleich mit Windkanal

In Teilprojekt B.2 gewonnene Windkanal-datensätze für eine homogene Strömung ohne Gebäude konnten genutzt werden, um einen ersten Vergleich zwischen 1D-Modellergebnissen und Meßdaten durchzuführen.

### d) Fortran-90 Version

Die beschriebenen Rechnungen wurden noch mit der ersten, von der Universität Hamburg bereitgestellten Modellversion (Fortran-77) durchgeführt, in der z.B. die vom IFT Leipzig (Teilprojekt B.4) vorgenommenen Änderungen numerischer Verfahren noch nicht enthalten waren. In enger Zusammenarbeit mit den Teilprojekten B.4 und B.1 wurde zum Ende der Projektphase auch die neue und gegenüber der Fortran 77 Version verbesserte Fortran 90 Version von MITRAS betrieben. Hierzu wurden die Turbulenzparametrisierungen in den Fortran 90 Quellcode eingebaut und auch hierin getestet.

## 3 Erzielte Ergebnisse und daraus abgeleitete Schlußfolgerungen

In der ersten Projektphase (siehe Jahresbericht 1996) konzentrierten sich die Modellanwendungen auf die Überströmung einer ebenen, aber thermisch inhomogenen Oberfläche. Es war gezeigt worden, daß die Ergebnisse empfindlich auf die damals bereits eingebauten Turbulenzparametrisierungen (Smagorinsky und TKE-Schließung) reagieren. In der vergangenen Projektphase zeigten sich nun auch drastische Unterschiede zwischen diesen beiden früheren Schließungen und der neu eingebauten TKE-Schließung mit prognostischer Gleichung für die Dissipation (TKE-DIS). Dies zeigt Abbildung 1 für eine 1D-Modellierung. Man sieht, daß sich die mit beiden Methoden gewonnen Profile des Windes, der Diffusionskoeffizienten und der TKE stark voneinander unterscheiden. Die TKE-DIS-Schließung liefert eine wesentlich höhere TKE und dementsprechend höhere Diffusionskoeffizienten. Die Grenzschicht ist mit 600m um ca. 200m höher als bei der reinen TKE-Schließung.

Große Unterschiede zwischen den Modellergebnissen ergeben sich auch bei den

Rechnungen mit Gebäude, die ebenfalls für alle drei Schließungen durchgeführt wurden. Dies betrifft sowohl die turbulenten Flüsse als auch das Strömungsfeld, das in Abbildung 2 für ein 50m hohes Hindernis für die TKE- und die Smagorinsky-Schließung dargestellt ist. Bei beiden Schließungen wird im Lee des Gebäudes ein Wirbel modelliert, der bei der TKE-Schließung jedoch wesentlich ausgeprägter ist. Enorme Unterschiede ergeben sich über dem Gebäude. Die TKE-Schließung ermöglicht die Simulation eines aus Messungen bekannten Dachwirbels, während dieser Wirbel bei den Ergebnissen mit Smagorinsky-Schließung nur schwach angedeutet ist. Das entsprechende, hier nicht abgebildete Resultat für die TKE-DIS-Schließung lieferte ebenfalls keinen Dachwirbel, der Leewirbel ist aber stärker ausgeprägt als bei der Smagorinsky-Schließung und beeinflusst die Strömung noch in wesentlich größerem Gebäudeabstand. Die Ergebnisse der TKE-DIS-Schließung hängen stark von nur empirisch bestimmbar Konstanten ab, die in der prognostischen Gleichung für die Dissipation auftreten. Detering (1985) bestimmte diese Konstanten durch Anpassung von Ergebnissen eines mesoskaligen Modells an Messungen. Bei unseren Testrechnungen zeigte sich jedoch, daß die von ihm angegebenen Werte für die Mikroskala nicht benutzbar sind, da das mikroskalige Modell nach wenigen Zeitschritten instabil wurde. Brauchbare Ergebnisse wurden nur mit Konstanten nach Beljaars et al. (1986) erzielt. Es ist zu erwarten, daß die Windkanalmessungen wichtige Anhaltspunkte zur genaueren Bestimmung der Konstanten geben werden.

Aus den ersten Vergleichen mit den Windkanalmessungen für homogenes Gelände zeigte sich sehr bald, daß für die weiteren Windkanalsimulationen, anders als bisher üblich, sehr kleine Rauigkeiten (Rauigkeitslänge unter 2 cm) eingestellt werden müssen, um die Vergleichbarkeit zwischen Modell und Windkanal zu gewährleisten. Abbildung 3 zeigt das erste Ergebnis eines solchen verbesserten Datensatzes aus dem Windkanal und das zugehörige Modellergebnis. Dargestellt sind sowohl das Windprofil als auch der turbulente Impulsfluß. Beide gemessenen und modellierten Profile stimmen offenbar gut überein. Da das Modell entsprechend den Bedingungen des Windkanals keine Corioliskraft berücksichtigt, sind die modellierten Flüsse höhenkonstant, genauso wie es das Ergebnis des Windkanals zeigt. Es stellte sich heraus, daß die Qualität der Übereinstimmung stark von der im Modell benutzten Obergrenze des Mischungsweges abhängt. In der kommenden Projektphase sollen die Windkanal-Messungen auch für eine Festlegung dieser oberen Grenze des Mischungsweges bei Gebäudeumströmungen genutzt werden.

## 4 Literatur

**Detering, H. W. (1985):** Mischungsweg und turbulenter Diffusionskoeffizient in atmosphärischen Simulationsmodellen, Berichte des Instituts für Meteorologie u. Klimatologie, Universität Hannover Nr.25, 211 S.

**Beljaars, A. C. M., J. L. Walmsley, P. A. Taylor (1986):** A mixed 3d spectral finite-difference model for neutrally stratified boundary-layer flow over roughness changes and topography, Boundary-Layer Meteorol. 38, 273-303

# 5 Abbildungen

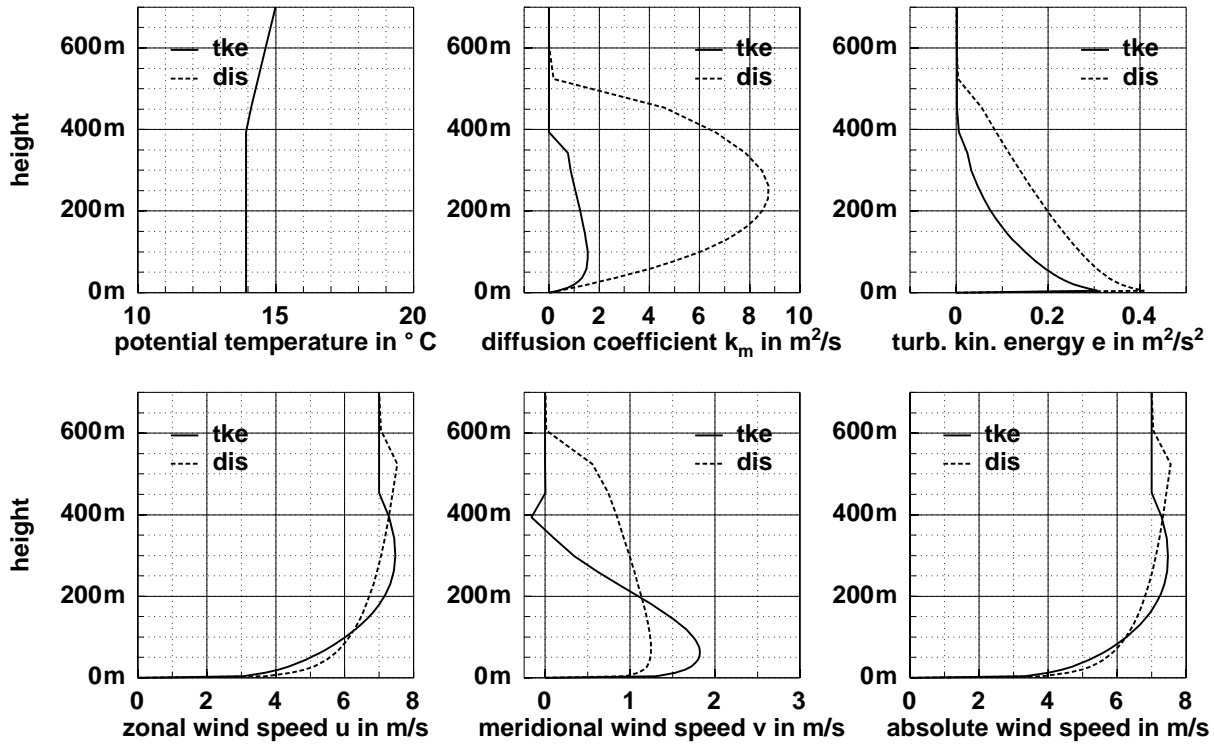


Figure 1: Mit dem 1D-Modell berechnete Profile (TKE-und TKE-DIS-Schließung).

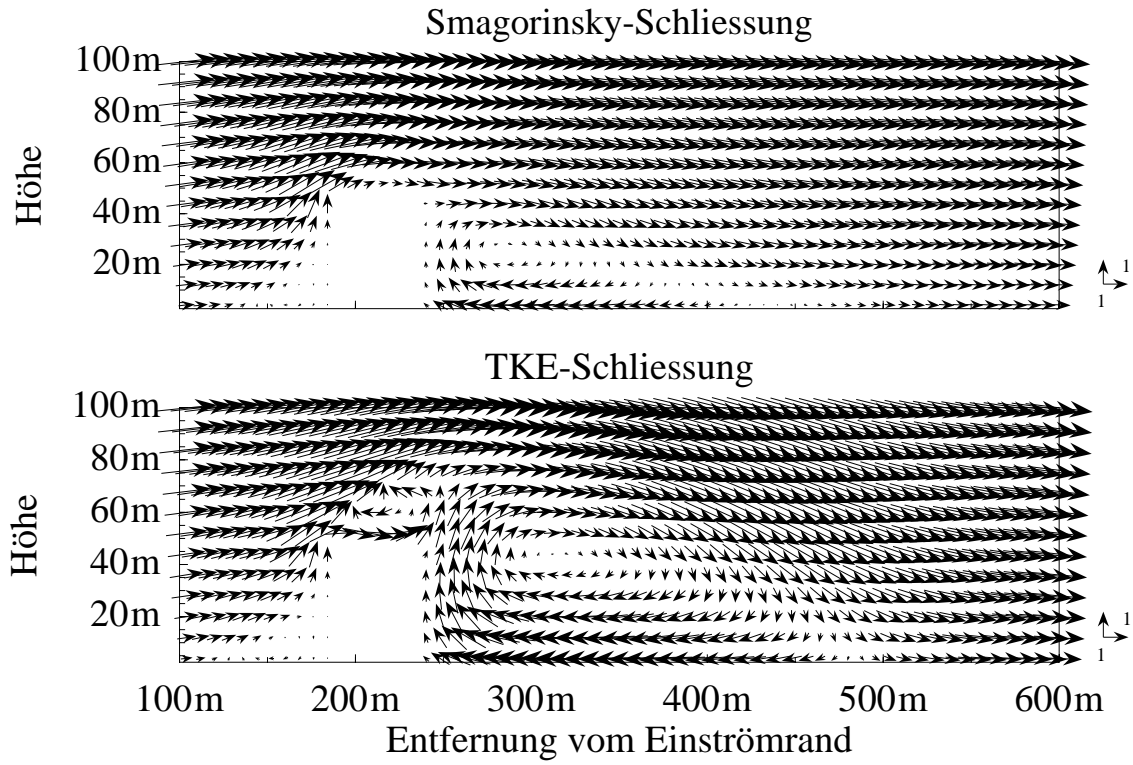


Figure 2: Vektordarstellung des Strömungsfeldes (Einheit: m/s), berechnet mit verschiedenen Schließungen.

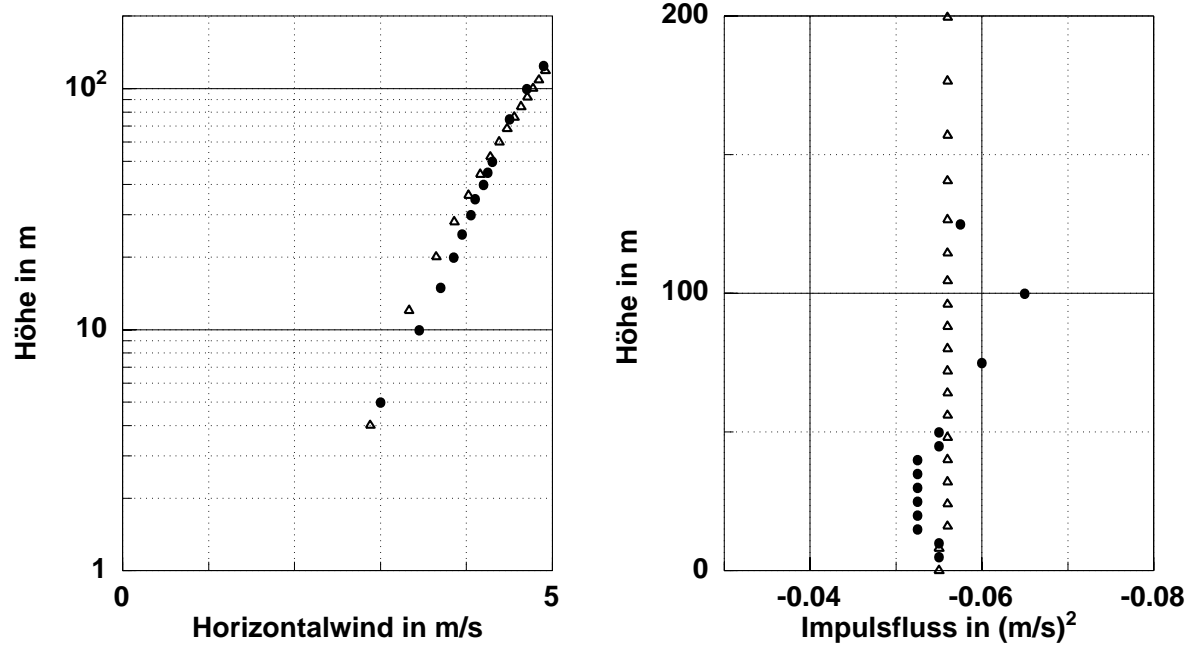


Figure 3: Profile der Windgeschwindigkeit und der Impulsflüsse, im Windkanal gemessen (Punkte) und mit dem 1D-Modell modelliert (Dreiecke).