

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 1998

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 anzuwenden und dessen Ergebnisse mit Windkanal- und Naturmessungen zu vergleichen.

2 Durchgeführte Arbeiten

Während in den ersten Projektphasen der Einbau unterschiedlicher Turbulenzparametrisierungen (Mischungswegschließung, TKE-l- und TKE- ϵ -Schließung) im Mittelpunkt stand, konzentrierten sich die durchgeführten Arbeiten nun auf den Einbau von neuen Randbedingungen an den Gebäudewänden und auf Vergleiche der verschiedenen Turbulenzparametrisierungen mit Windkanalmessungen des Meteorologischen Instituts der Universität Hamburg (Teilprojekt B.2). Im einzelnen wurden folgende Arbeiten durchgeführt.

2.1 Einbau und Test neuer Gebäuderandbedingungen

Bisher wurden zur Berechnung der turbulenten Flüsse an den Gebäudewänden lineare Profile für die wandparallelen Windkomponenten zwischen den ersten neben dem Gebäude liegenden Gitterpunkten und den im Gebäude liegenden Gitterpunkten angenommen. Dies bedeutete, daß die Geschwindigkeit direkt an der Wand verschieden von Null war und zudem stark von der Gitterweite abhing. In der Natur bildet sich jedoch an den Gebäudewänden eine interne Grenzschicht aus, wobei der Betrag des wandparallelen Windes in der für das Gebäude typischen Rauigkeitslänge verschwindet. Dem wird nun durch ein neues Verfahren Rechnung getragen, indem zur Berechnung der turbulenten Impulsflüsse an der Wand analog zur Monin-Obukhov Theorie logarithmische Profile in Wandnähe angenommen werden. Auch die Berechnung der Energiedissipationsrate sowie der Turbulenzenergie an den wandnächsten Gitterpunkten wurde an das neue Verfahren, das zunächst nur für eine neutrale Temperaturschichtung an der Gebäudewand gilt, angepasst. Die modifizierten Randbedingungen beeinflussen somit die Diffusionskoeffizienten, die Impulsflüsse, die turbulente kinetische Energie und die Energiedissipationsrate.

2.2 Vergleich von Modellergebnissen mit Windkanalmessungen

a) 1D-Modellierung

In der vergangenen Projektphase (siehe Jahresbericht 1997) waren bereits Vergleiche zwischen 1D-Modell und Windkanalmessungen durchgeführt worden, wobei die TKE-l-Schließung benutzt worden war. Ähnliche Rechnungen erfolgten nun unter Verwendung der TKE- ϵ -Schließung.

b) 3D-Modellierung

Zur Überprüfung der eingebauten Turbulenzschließungen wurde das Modell angewendet, um eine im Windkanal simulierte Umströmung eines Balkens zu berechnen. Ziel war es insbesondere, die Auswirkungen der neuen Randbedingungen zu untersuchen sowie in den Schließungen noch offene Konstanten zu bestimmen. 2.3 Fortran-90 Version In Zusammenarbeit mit den Teilprojekten B.1 und B.4 wurde die verbesserte Fortran-90 Version für das 1D- und das 3D-Modell vollständig implementiert. Alle in dieser Projektphase entwickelten Programmteile sind nur noch im neuen Quellcode verfügbar. Die Fortran77 Version wird nicht mehr benutzt.

3 Erzielte Ergebnisse und daraus abgeleitete Schlussfolgerungen

3.1 1D-Modellierung

Die Gleichungen für die TKE sowie für die Energiedissipationsrate enthalten nur anhand von Messungen bestimmbare Konstanten, auf deren Werte die Modellergebnisse empfindlich reagieren. So geht beispielsweise in die Gleichungen zur Bestimmung der Turbulenzenergie und der Dissipationsrate am unteren Rand eine Konstante c_m ein, die sich aus den in Projekt B.2 durchgeführten Windkanalmessungen bestimmen läßt. Abbildung 1 zeigt den Einfluß unterschiedlicher Werte für c_m auf die mit dem 1D-Modell unter Verwendung der TKE- ϵ -Schließung berechneten Profile. Nur der aus dem Windkanal bestimmte Wert $c_m = 0.65$ liefert zufriedenstellende Ergebnisse.

3.2 3D-Modellierung

a) Einfluß des maximalen Mischungsweges (TKE- l Schließung)

In der TKE- l -Schließung wird der Mischungsweg l als Funktion des Gebäudeabstandes bestimmt, wobei ein maximaler Mischungsweg l_{max} festzulegen ist. Die Modellergebnisse reagieren empfindlich auf den Wert von l_{max} . Dies zeigt Abbildung 2, wobei die Modellergebnisse für den turbulenten Impulsfluß im Vergleich mit Windkanalmessungen (Projekt B.2) dargestellt sind. Die beste Übereinstimmung mit Messungen im Nahbereich des Gebäudes wurde mit einem Wert $l_{max} = 20m$ erzielt. Dagegen muß für das vom Gebäude unbeeinflusste Anströmprofil ein wesentlich größerer Wert benutzt werden, um eine gute Übereinstimmung mit Messungen zu erzielen. Der Grund dafür ist, daß das Modell im Lee des Gebäudes wirbelauffösend rechnet, während weit vor dem Gebäude alle für den Energietransport maßgeblichen Wirbel durch die subskalige Parametrisierung erfaßt werden müssen.

b) Einfluß der Gebäuderandbedingungen (TKE- ϵ -Schließung)

Der Einbau neuer Randbedingungen beeinflusst das Windfeld und die turbulenten Flüsse sowohl im Luv als auch im Lee des Gebäudes. So erzeugen die neuen Randbedingungen im Lee des Gebäudes ein stärker ausgeprägtes Maximum des Horizontalwindes, in der Nähe der Gebäudewände wird die Windgeschwindigkeit reduziert. Besonders deutlich erkennt man die Unterschiede an den Impulsflüssen (Abbil-

dung 3). Im Lee des Gebäudes ergibt sich bei Verwendung der neuen Randbedingungen eine etwas bessere Übereinstimmung mit den Windkanalmessungen. Im Luv des Gebäudes fällt das vor allem bei Verwendung der neuen Randbedingung entstehende starke Maximum des Impulsflusses auf, das in dieser Intensität nicht beobachtet wird. Dieses Ergebnis wird von Murakami (1993, 1997) bestätigt, der ein mit MITRAS vergleichbares Modell auf eine Balkenumströmung anwendet und anhand von Windkanalmessungen testet. Da das Maximum bei Benutzung der alten Randbedingung weniger stark ausgeprägt ist, könnte eine Kombination beider Gebäuderandbedingungen für eine Verbesserung der Ergebnisse erfolgversprechend sein.

Im Verlauf des Projektes konnte gezeigt werden, daß das in Projekt B.4 neu implementierte Advektionsschema aufgrund einer schwächeren numerischen Diffusion Auswirkungen auf die turbulenten Flüsse hat. Inwiefern dieses neue Schema sowie eine Modifizierung der horizontalen Impulsflüsse die Intensität des Maximums beeinflussen, soll im weiteren Verlauf des Projektes untersucht werden.

4 Literatur

Beljaars, A. C. M. et al., 1986: 'A mixed Spectral finite-Difference Model for Neutrally Stratified Boundary-Layer Flow over Roughness Changes and Topography', *Boundary-Layer Meteorology* (38), pp. 273-303

Murakami, S., 1993: 'Comparison of various Turbulence Models applied to a Bluff Body', *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 46&47, pp. 21-36.

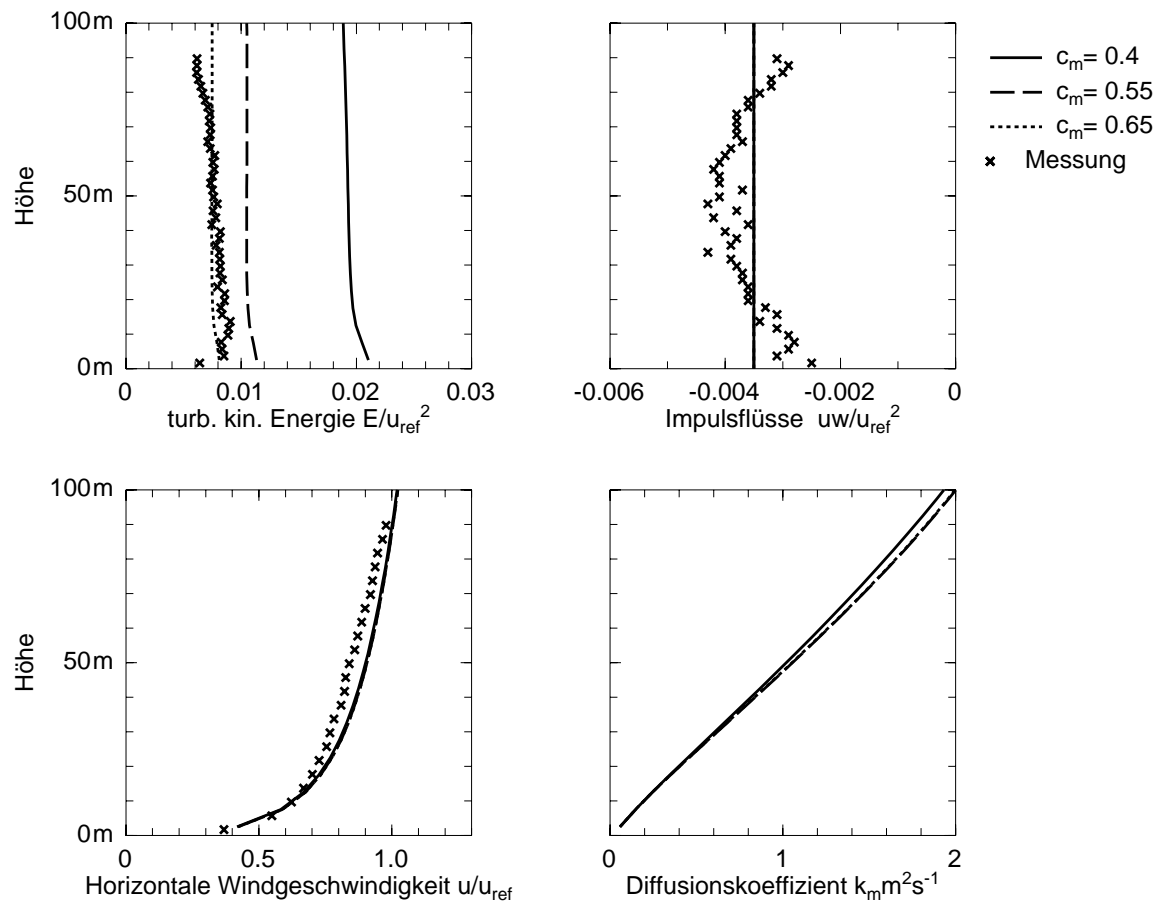
Murakami, S. et al. 1997: Development of new k-e Model for flow and pressure Fields around Bluff Body', *Comp. Wind Engineering II*, Elsevier Abbildungen

Abbildung 1. 1D-Simulation mit TKE- ϵ verglichen mit Windkanalmessung.

Abbildung 2. Impulsflüsse in (m/s) TKE-Schliessung, alte Randbedingung.

Abbildung 3. Impulsflüsse in (m/s) TKE- ϵ -Schliessung.

5 Abbildungen

Figure 1: 1D-Simulation mit TKE- ϵ verglichen mit Windkanalmessung.

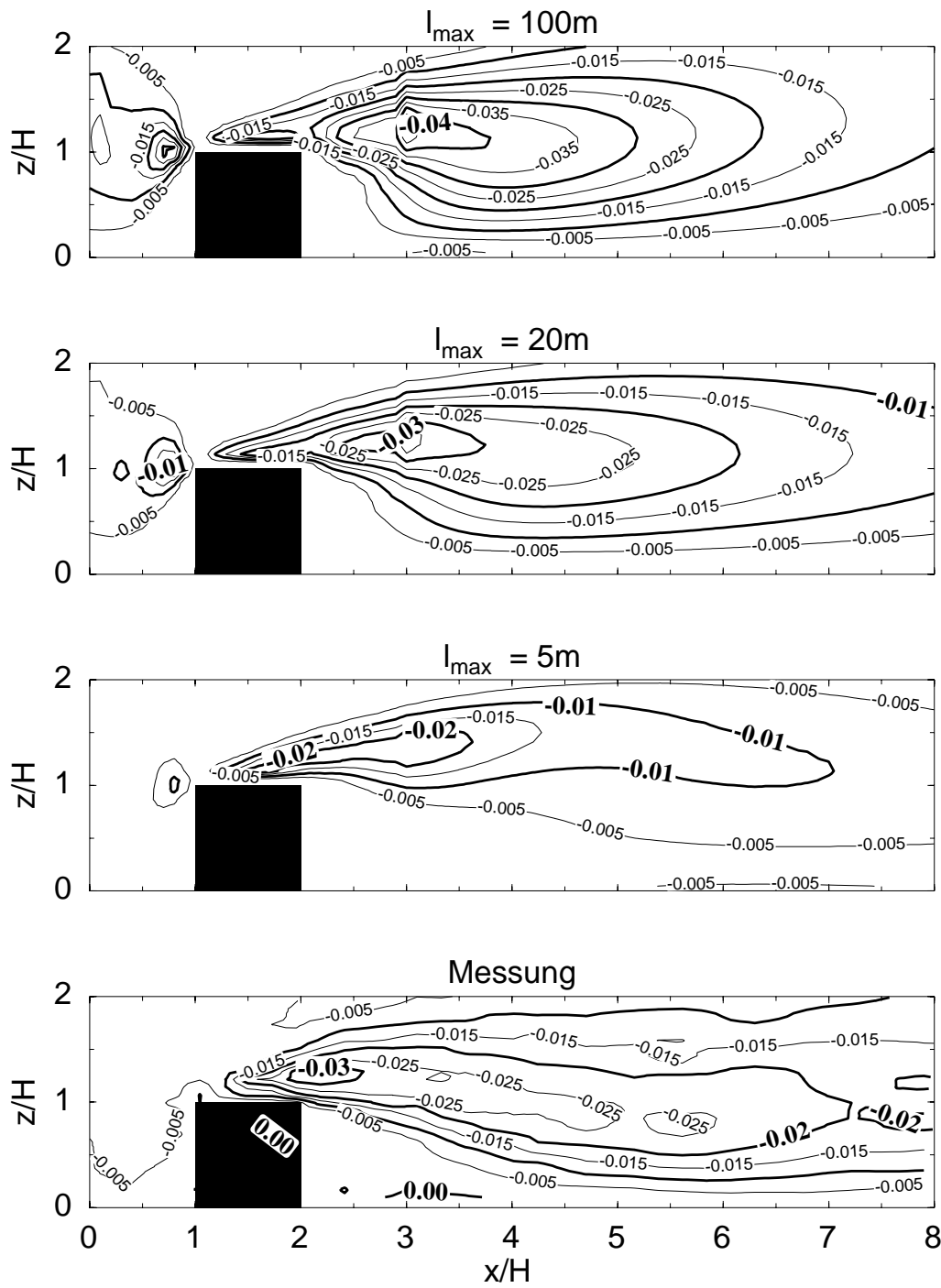


Figure 2: Impulsflüsse in $(\overline{u'w'}/u_{ref}^2)$ TKE-Schliessung, alte Randbedingung.

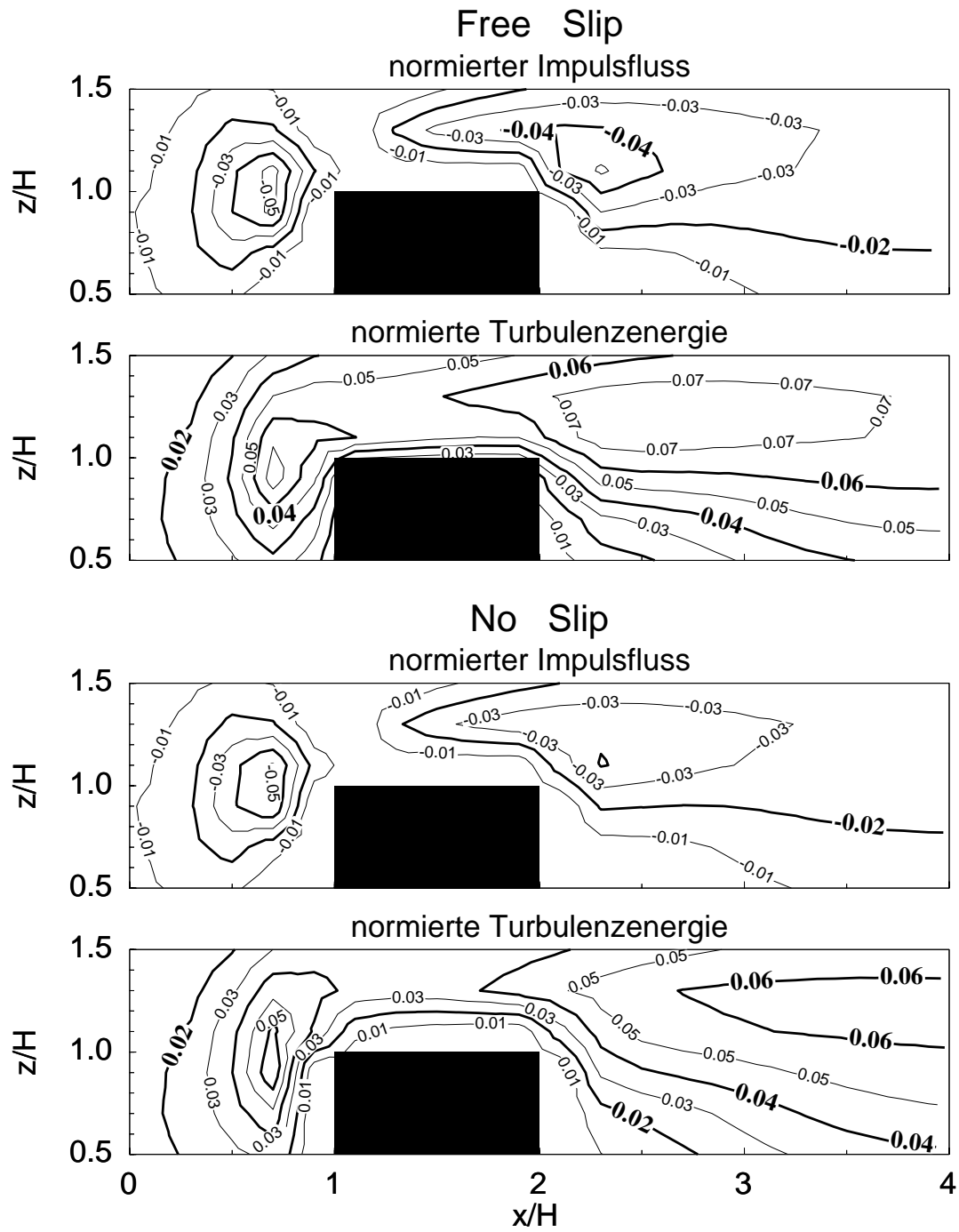


Figure 3: Impulsflüsse und TKE ($\overline{u'w'}/u_{ref}^2$ resp. $\overline{u'^2}/u_{ref}^2$) TKE- ϵ -Schliessung.