

Die für die Veröffentlichung als *Annalen der Meteorologie* zur Verfügung gestellten Beiträge sind in der Reihenfolge der Abgabe der Manuskripte abgedruckt. Die Verantwortung für die Richtigkeit der Angaben über die Abgabe der Manuskripte liegt bei den Autoren. Die Verantwortung für die Richtigkeit der Angaben über die Abgabe der Manuskripte liegt bei den Autoren. Die Verantwortung für die Richtigkeit der Angaben über die Abgabe der Manuskripte liegt bei den Autoren.

Vorwort 1

Festvortrag **Annalen der Meteorologie**

G. SIEDLER, IM Kiel
Die Zirkulation des Ozeans — eine Frage der vertikalen Struktur des Ozeans

26

Beobachtung A. Atmosphärische und ozeanische Fronten

G. KRÄUSEL und G. BL. DEUS, GMI Bremerhaven
Ozeanische Fronten in der Nordatlantischen Ozean
Übersichtsbeitrag

F. LUNKEN und B. KLEIN, IM Kiel
Muster der Westwindstöße in der Kapverden-Region

W. LEACH, IM Kiel
Synoptikalage Dynamik in der Nordatlantischen Ozean

B. K. SMITH, University Missouri
An ocean model of the El Niño phenomenon

Deutsche Meteorologen-Tagung 1989
vom 16. bis 19. Mai 1989 in Kiel

K. F. HOPKA, DLR Oberpfaffenhofen
Die Deutsche Festkörperphysik

M. KURZ, DLR Oberpfaffenhofen
Die Entwicklung der Zyklogenese und Frontogenese während einer tropischen Zyklonenentwicklung

Atmosphäre, Ozeane, Kontinente

H. MALBERG und K. NIKETTA, Free University Berlin
Mittlere Indizes der Energieflüsse von Kalifornien an nordwestlichen Breiten

A. KHODIN und M. PUNNET, University Hawaii
Die Umgestaltung von Hochdruckzellen durch zeitveränderliche Grenzschichtflüsse

J. KERNMANN und K. SCHULZ, Universität Bonn
Charakteristika der Regenerationsbedingungen bei kalten Fronten mit einem Prozess-Modell

L. BUCHHOFF-GAUS und F. WITTMANN, T.M. Darmstadt
Der Energiehaushalt in Kalifornien und die Dynamik — ein energetischer Vergleich

H. G. PETERSON, IM Kiel
Fronten im oberen Ozean und Wassermassen der Tropen im westlichen Nordatlantik

J. WEFER, Ch. BEHN und B. ZIEGLER, Universität zu Köln
Diagnostik der Vertikalstruktur in Kalifornien — von Experimenten zum Modell

H. MÜLLER
Mittlere Indizes der Energieflüsse von Kalifornien an nordwestlichen Breiten

Offenbach am Main 1989
Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes
ISSN 0072-4122

Die für die Veröffentlichung als Vorabdruck zur Meteorologentagung 1989 eingereichten Manuskripte stellen erweiterte Zusammenfassungen oder Kurzfassungen der Vorträge dar. Für ihren Inhalt sind die Verfasser verantwortlich. Die Wiedergabe der Zusammenfassungen nimmt eine spätere ausführliche Darstellung der Vorträge und ihre Veröffentlichung durch die Autoren an anderer Stelle nicht vorweg.

ISSN 0072-4122

ISBN 3-88148-247-4

Herausgeber und Verlag:
Deutscher Wetterdienst, Zentralamt
Frankfurter Straße 135
D-6050 Offenbach a. M.

Redaktionsschluß: 7. März 1989

MESOTURBULENTE FLÜSSE UND FLUSSDIVERGENZEN IN DER HORIZONTAL INHOMOGENEN, NEUTRALEN BODENNAHEN ATMOSPÄRE

Martin Claussen

Forschungszentrum Geesthacht, Postfach 1160, D-2054 Geesthacht

1 EINLEITUNG

Numerische Simulationsmodelle der Atmosphäre benötigen eine Parameterisierung sogenannter subskaliger Transporte, d.h. Transporte, die durch Bewegungen hervorgerufen werden, deren charakteristische Längenskala kleiner als die des numerischen Gitter des Modells ist, so daß eine direkte Wechselwirkung zwischen den subskaligen und den größerskaligen Bewegungen nicht mehr beschrieben werden kann. Herkömmliche Parameterisierungsschemata subskaliger Transporte beruhen auf Ähnlichkeitstheorien und Skalierungsgesetzen, die für eine horizontal homogene, stationäre, bodennahe Atmosphäre gültig sind. Diese Parameterisierungen sind nicht mehr anzuwenden bei Simulationen von Luftströmungen über einer inhomogenen Oberfläche. In diesem Fall können Luftbewegungen entstehen, die u.U. ein völlig anderes Energiespektrum zeigen als die Strömung über einer homogenen Fläche; zumindest ist es fraglich, ob jene durch Oberflächeninhomogenitäten induzierte Bewegungen und damit verbundenen Transporte von Impuls und Energie den bekannten Ähnlichkeitsgesetzen gehorchen. Im folgenden werden die durch Oberflächeninhomogenitäten hervorgerufenen subskaligen Luftbewegungen kurz 'Mesoturbulenz', die subskaligen Bewegungen über einer homogenen Oberfläche 'Mikroturbulenz' genannt. (Der Ausdruck 'Mesoturbulenz' wurde von F. Wippermann während des Mesoskala Seminars 1987 in Oberpfaffenhofen vorgestellt.)

Flächengemittelte Flüsse an einer inhomogenen Oberfläche wurden bereits von Mahrt (1987) (Wärmeflüsse) und von Claussen (1989a) (Stoff- und Impulsflüsse) untersucht.

Der hier zusammenfassend diskutierte Aufsatz (Näheres siehe Claussen, 1989b) behandelt die vertikale Verteilung der mesoturbulenten Stoff- und Impulsflüsse sowie der mesoturbulenten Flußdivergenzen, die durch Änderungen der Bodenrauigkeit und des Widerstandes gegen den Eintrag eines Stoffes in den Boden hervorgerufen werden.

2 FORMULIERUNG

Der Übersicht wegen werden hier nur die Gleichungen für die Ensemblemittelwerte \bar{U} und \bar{W} der longitudinalen und vertikalen Komponente einer mittleren Strömung betrachtet, wobei die Druckgradientterme, die Corioliskräfte und die Auftriebskräfte vernachlässigt werden.

$$\begin{aligned} \bar{U} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \bar{W} \frac{\partial \bar{U}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{U}'U'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}'W'}{\partial z} &= 0 \\ \bar{U} \frac{\partial \bar{W}}{\partial x} + \bar{W} \frac{\partial \bar{W}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{U}'W'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{W}'W'}{\partial z} &= 0 \end{aligned}$$

x und z sind die horizontalen und vertikalen Koordinaten, U' und W' sind die Abweichungen des aktuellen Wertes vom Ensemblemittel und $\bar{U}'W'$... deren Kovarianzen.

In einem numerischen Modell läßt sich jedes Ensemblemittel aufspalten in einen Gittermittelwert - gekennzeichnet durch $\{\dots\}$ - und die subskalige Abweichung - mit einem hochgestellten + versehen:

$$\bar{U}(x, z) = \{\bar{U}\} + \bar{U}^+(x, z)$$

Vorausgesetzt, die Reynoldsschen Axiome gelten auch für die Gittermittelung (siehe dazu Wyngaard, 1982), dann ergibt sich für die Bewegungsleichungen:

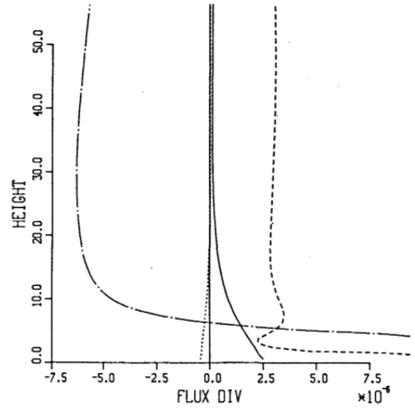
$$\begin{aligned} \{\bar{U}\} \frac{\partial \{\bar{U}\}}{\partial x} + \{\bar{W}\} \frac{\partial \{\bar{U}\}}{\partial z} + \left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{U}^+}{\partial x} \right\} + \left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{W}^+}{\partial z} \right\} \\ + \left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{U}^+}{\partial x} \right\} + \left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{W}^+}{\partial z} \right\} = 0 \\ \{\bar{U}\} \frac{\partial \{\bar{W}\}}{\partial x} + \{\bar{W}\} \frac{\partial \{\bar{W}\}}{\partial z} + \left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{W}^+}{\partial x} \right\} + \left\{ \frac{\partial \bar{W}^+ \bar{W}^+}{\partial z} \right\} \\ + \left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{W}^+}{\partial x} \right\} + \left\{ \frac{\partial \bar{W}^+ \bar{W}^+}{\partial z} \right\} = 0 \\ \left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{U}^+}{\partial x} \right\} \dots \text{ sind die mikroturbulenten und } \left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{U}^+}{\partial x} \right\} \\ \dots \text{ die mesoturbulenten Flußdivergenzen.} \end{aligned}$$

3 ERGEBNISSE

Die mikroturbulenten und mesoturbulenten Flüsse sowie Flußdivergenzen wurden mit Hilfe eines numerischen Modells berechnet, wobei das gesamte oder ein Teil des gesamten Lösungsgebietes dieses Modells als eine gröberskalige Gitterzelle interpretiert wurde.

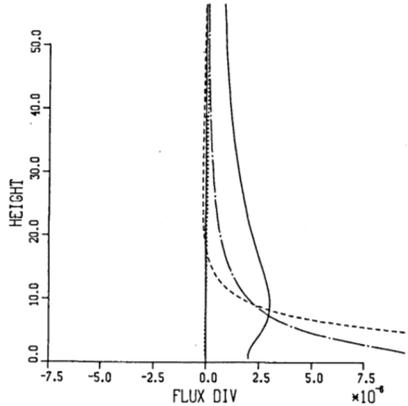
Die Strömungssituation ist folgende: Die bodennahe Luft strömt über eine 5 km weite Strecke, auf der alle 100 m die Bodenrauigkeit zufällig geändert wird. Die Verteilung der Rauigkeitslängen genügt einer gleichförmigen Verteilung mit dem Erwartungswert $\{z_0\} = 0.15\text{m}$. Hier sind nur die für die Impulsbilanz interessanten mikroturbulenten (Abbildung 1) und mesoturbulenten (Abbildung 2) Flußdivergenzen (Dimension: m/s^2) dargestellt. Die Gitter- (oder '{...}'-) integration wurde in der Horizontalen stets über das gesamte, 5km weite Strömungsgebiet des feinmaschigen Modells durchgeführt, die vertikale Obergrenze der gedachten gröberskaligen Gitterzelle wurde variiert. Die Abszisse der Abbildungen 1 und 2 gibt daher Höhe der gedachten Gitterzelle an.

Die mikroturbulente Vertikaldiffusion des Horizontal- und Vertikalimpulses ($\left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{W}^+}{\partial z} \right\}$, gestrichelte Linie und $\left\{ \frac{\partial \bar{W}^+ \bar{W}^+}{\partial z} \right\}$, strichpunktierte Linie) überwiegen die mikroturbulenten Horizontaldiffusionsterme ($\left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{U}^+}{\partial x} \right\}$, ausgezogene Linie und $\left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{W}^+}{\partial x} \right\}$, gepunktete Linie). (Siehe Abbildung 1.)



- Abbildung 1 -

Die mesoturbulenten Flußdivergenzen $\left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{W}^+}{\partial z} \right\}$, $\left\{ \frac{\partial \bar{W}^+ \bar{W}^+}{\partial z} \right\}$ und $\left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{U}^+}{\partial x} \right\}$ sind von etwa gleicher Größenordnung wie die mikroturbulenten Vertikaldiffusionsterme - allerdings nur, falls die gedachte Gitterzelle hinreichend flach bleibt. (Siehe Abbildung 2.)



- Abbildung 2 -

Das bedeutet: Ist die gedachte, größerskalige, bodennahe Gitterzelle hoch genug - größenordnungsmäßig etwa so hoch wie die sogenannte Diffusionshöhe (siehe Claussen, 1989a) - dann können die durch mesoturbulente Bewegungen induzierten Flußdivergenzen gegenüber den mikroturbulenten getrost nachlässigt werden. Eine Ausnahme bildet die mesoturbulente Horizontaldiffusion $\left\{ \frac{\partial \bar{U}^+ \bar{V}^+}{\partial z} \right\}$. Dieser Term braucht u.U., wie in dem gezeigten Beispiel, auch für hohe Gitterzellen nicht vernachlässigbar klein zu werden. Bisher wurde an Hand der Rechnungen beobachtet, daß in solchen Fällen die mesoturbulente und die mikroturbulente Horizontaldiffusion das gleiche Vorzeichen zeigen. Die Mesoturbulenz kann also für eine zusätzliche, effektive Horizontaldiffusion sorgen.

Bezüglich des mikro- und mesoturbulenten Stofftransportes wurden ähnliche Ergebnisse gefunden.

LITERATUR

CLAUSSEN, M.: Computation of surface fluxes in a neutrally stratified, horizontally inhomogeneous atmosphere. Eingereicht bei Atmospheric Environment (1989a).

CLAUSSEN, M.: Subgrid-scale fluxes and flux divergences in a neutrally stratified, horizontally inhomogeneous surface-layer. Eingereicht bei Beitr. Phys. Atmosph. (1989b).

MAHRT, L.: Grid-averaged surface fluxes. Mon. Wea. Rev. 15 (1987), 1550-1560.

WYNGAARD, J.C.: Boundary-layer modeling. in: Nieuwstadt, F.T.M and VanDop, H. (Hsg.), Atmospheric turbulence and air pollution modelling (1982), 69-107.