

Die für die Veröffentlichung als Vorwort zur Meteorologischen Tagung 1989 eingesetzten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Deutschen Wetterdienstes sind für den Inhalt der Vorwort verantwortlich. Die Verantwortlichkeit der Zusammenfassungen nimmt eine spätere Ausgabe der Vorwort und eine Veröffentlichung durch die Autoren an andere Ziele nicht vor.

Vorwort 1

Herausgeber

Annalen der Meteorologie

26

G. SIEDLER, IM Kiel

Beobachtung A. Atmosphärische und ozeanische Fronten

G. KRÄUSEL und G. BLOEUS, DLR Bonn-Rheine
Ozeanische Fronten in der Nordsee und im Nordpazifik
Übersichtswortung 3

R. DUNKEN und B. KLEIN, DLR Esch
Skizzen der Westwindjets in der Kapverden-Region 5

H. LEACH, IM Kiel
Synoptikalage Dynamik in der Nordatlantik-Region 7

R. K. SMITH, Universität Münster
An quasi-steady state model of large-scale atmospheric circulation 11

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

K. P. HOINKA, DLR Oberpfaffenhofen
Die Deutsche Frontogenese 15

M. KÜRZ, Deutscher Wetterdienst Garmisch-Partenkirchen
Beziehungen zwischen Zyklogenese und Frontogenese während einer typischen
Zyklonalentwicklung 19

Atmosphäre, Ozeane, Kontinente

H. MALBERG und K. NIKETTA, Freie Universität Berlin
Minimale biologische Kenngrößen von Kalifornien im westpazifischen Brauneis 20

A. KHODIN und M. DUNST, Universität Hamburg
Die Umgestaltung von Hochzirkulation durch reibungsbedingte Grenzschichteffekte 23

J. KERSMANN und K. KHULBE, Universität Bonn
Simulation der Ekman-Strömung atmosphärisch beeinflusster Fronten mit einem Prognostik-Modell 25

L. BISCHOPF-GAUSS und F. WITTMANN, T.H. Darmstadt
Der Nischkopf im Kalifornien und Dichtegradienten - ein ozeanischer Vergleich 28

R. G. PETERSON, IM Kiel
Fronten im oberen Ozean und Wasserhaare der Tropen im westlichen Südpazifik 30

J. WEFERS, Ch. BEHN und R. BEHN, Universität zu Köln
Diagnostik der Vertikalwindprofile im Kalifornien - ein Ergebnis aus FLETTNER 32

B. MÜLLER, DLR Oberpfaffenhofen
Einige Aspekte der Frontogenese in der Tropenregion 35

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

NUMERISCHE MODELLIERUNG OFFENER ZELLULARKONVEKTION IN EINEM KALTLUFTAUSBRUCH

Stephan Bakan

Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

1. Einleitung

Die konvektive Bewölkung in den vor allem über den Ozeanen der mittleren Breiten häufig auftretenden Kaltluftausbrüchen ist gewöhnlich in Form von sogenannten offenen Zellen organisiert. Dabei handelt es sich um mehr oder weniger regelmäßige Wolkenringe bei denen der aufsteigende Ast der Sekundärzirkulation den bewölkten Rand und das kompensierende Absinken die wolkenfreie Zellmitte verursachen. Größere Gebiete mit solchen offenen Zellen werden zum einen hinter den Kaltfronten synoptischer Störungen gefunden. Zum anderen stellen sie bei Kaltluftabflüssen von Land oder vom Eis das Ende einer Entwicklung dar, in deren Verlauf küstennah auftretende Konvektionsrollen bzw. Wolkenstrassen stromabwärts ihren gegenseitigen Abstand vergrößern, um dann in Zellform überzugehen. Auch bei diesen Zellen nimmt der Durchmesser im Laufe der weiteren Entwicklung zu. Trotz vieler theoretischer und einiger experimenteller Untersuchungen bleibt die Ursache vor allem dieser Zellverbreiterung aber auch des Übergangs der Rollen in die zellulare Strömungsform weitgehend unverstanden. Es wurde deshalb versucht, in einem 3-dimensionalen numerischen Modell diese Übergänge nachzuvollziehen.

2. Das Modell

Dazu wurden die hydrostatisch approximierten primitiven Bewegungsgleichungen mit einem upstream-Schema räumlich diskretisiert. Um die zeitliche Entwicklung des Phänomens besser verfolgen zu können, wird das

Modellgebiet mit der mittleren Strömung mitgeführt. Temperatur und spezifische Feuchte werden prognostisch berechnet, während Flüssigwasser an einem Gitterpunkt nur bei Überschreiten der Sättigungsfeuchte auftritt. Die Bodenflüsse von Impuls, Wärme und Feuchte werden entsprechend der Monin-Obuchow-Theorie stabilitätsabhängig berechnet. In der Atmosphäre sind die subskaligen Vertikalflüsse durch einen Austauschkoeffizienten-Ansatz beschrieben, der sowohl von der Deformation des Strömungsfeldes als auch von der thermischen Schichtung abhängt. Die Strahlungsabkühlung im oberen Teil der Wolken wird mit Hilfe eines einfachen Strahlungsschemas parameterisiert.

Am Unterrand verschwindet die Windgeschwindigkeit, die relative Feuchte wird zu 100% angesetzt und die Oberflächentemperatur nimmt mit der Zeit zu. Am Oberrand werden alle Variablen zeitlich konstant angesetzt und an den seitlichen Rändern des Modellgebietes werden periodische Randbedingungen vorgeschrieben.

Zu Beginn einer 15-stündigen 1-dimensionalen Initialisierungsphase wird der Horizontalwind vertikal konstant angesetzt, während die potentielle Temperatur mit der Höhe zu- und die relative Feuchte abnimmt. Die Initialisierung dient zur weitgehenden Entfernung der Trägheitsschwingung und der gegenseitigen Einstellung aller Variablen. Am Ende dieser Phase wird eine sehr kleine Temperaturstörung ($< 10^{-3}$ K) im untersten Gitterniveau eingeführt, deren Entwicklung im Laufe der anschließenden dreidimensionalen Integration untersucht wird. Zur Überprüfung der Stabilität des anfänglich auftretenden

Konvektionsmodes wird bei jedem Zeitschritt eine räumlich statistisch verteilte Störung der Temperatur ($< 10^{-8}$ K) addiert.

3. Resultate

Damit wird eine Situation simuliert, die etwa einem südwärts gerichteten Kaltluftausbruch vom Eis entspricht. Dazu werden zu Beginn der Initialisierungsphase ein Temperatursprung von 5 K zwischen Boden und Luft und eine anfängliche Bodentemperatur von 270 K angesetzt. Der geostrophische Wind wird in allen Höhen zu 15 m/s in Richtung Süd angenommen. Da das Modellgebiet mit der mittleren Strömung mitschwimmt, entspricht die angenommene zeitliche Änderung der Temperatur des unteren Modellrandes von $8 \cdot 10^{-5}$ K/s einem Horizontalgradienten der Bodentemperatur von ca. 5.5 K/1000 km.

Zunächst führt während der Initialisierungsphase der kräftige vertikale Austausch zu einer gut durchmischten Schicht, die am Ende der Initialisierungsphase 1000 m hoch reicht. Etwa nach 12 Stunden bildet sich eine Wolkenschicht von ca. 400 m Mächtigkeit aus, die infolge der Strahlungsabkühlung die Grenzschicht instabiler macht, oberhalb der Wolke aber die Inversion verstärkt. Infolge der nach 15 Stunden eingeführten Anfangsstörung bilden sich nach ca. 3 Stunden Grenzschichtrollen und Wolkenstrassen aus, in deren verhältnismäßig schmalen Aufwindästen die Vertikalgeschwindigkeit bis zu 1 m/s beträgt, die Absinkgeschwindigkeiten bleiben aber kleiner als 0.3 m/s. Entsprechend herrschen im aufwärtsgerichteten Strömungssast auch ein Temperatur- und ein Feuchteüber-

schuß, während im Absinkbereich diese Größen negative Anomalien zeigen. Der Bedeckungsgrad stellt sich auf unter 50% ein. In einer kurzen Übergangsphase deutet sich eine Halbierung der Anfangswellenlänge an, die aber bald wieder verschwindet. Nach weiteren 2 Stunden beginnen sich die Wolkenstrassen in Einzelwolken aufzulösen. Diese vergrößern mit der Zeit ihren gegenseitigen Abstand und etwa 10 Stunden nach Einführung der Anfangsstörung läßt sich die Rollenstruktur nicht mehr erkennen. Vielmehr tritt eine zellulare Struktur mit unterschiedlichen Durchmesser der einzelnen offenen Gebiete auf. Diese wachsen im Lauf der Zeit an und betragen gegen Ende der Integration etwa 20-50 km. Die dabei gefundenen Vertikalprofile von Impuls, Temperatur und Feuchte, sowie von deren Varianzen und Kovarianzen, sind in vernünftiger Übereinstimmung mit Beobachtungen, wie sie z.B. aus dem KonTur-Experiment vorliegen. Wird eine stationäre Strömungssituation angenommen, so entspricht die hier erhaltene zeitliche Abfolge der räumlichen Anordnung von Strömungsmustern, die zumindest qualitativ mit der Beobachtung in Kaltluftausbrüchen gut übereinstimmt.

Es zeigt sich, daß diese Rollenphase nur dann auftritt, wenn die Anfangsstörung rasch (d.h. innerhalb von 2-3 Stunden) zu einer Sekundärzirkulation der oben angedeuteten Stärke anwächst. Dauert die Anwachsphase wesentlich länger, so tritt nur eine zellulare Sekundärströmung auf.

Ein rasches Anwachsen der Störungen wird beobachtet, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Luft hoch ist (> 7 K). Entwickelt sich eine Wolkenschicht, so wird

die Entwicklung der Störung auch bei geringeren Temperaturdifferenzen erheblich beschleunigt. Offenbar erhöht die in der Wolkenschicht freiwerdende latente Wärme im aufwärts gerichteten Ast der Sekundärzirkulation den Auftrieb, was zu einer weiteren Verstärkung der Entwicklung führt, d.h. es existiert eine positive Rückkopplung zwischen Sekundärzirkulation und Freisetzung latenter Wärme in der Wolkenschicht.

Die Ursache für den Übergang der Rollen in Zellen ist unklar. Er tritt umso später ein, je größer die Windgeschwindigkeit ist, je kleiner die Oberflächentemperatur und die Temperaturdifferenz sind und je trockener die Atmosphäre ist.