

**Annalen  
der Meteorologie**

(Neue Folge)

**Nr. 23**

**Deutsche Meteorologen-Tagung  
1986**

Offenbach am Main 1986

Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Andreas Chlond

Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

## 1 EINLEITUNG

Atmosphärische Grenzschichtströmungen zeigen neben den turbulenten Bewegungen vielfach die Tendenz sich selbst zu geordneten Strukturen zu organisieren. Unter diesen räumlichen Strukturen sind Wolkenstrassen besonders augenfällig als äußeres Kennzeichen eines rollenähnlichen Konvektionsmusters. Bereits eine einfache lineare Theorie erklärt dieses Phänomen. Sie zeigt, daß sich in Strömungen mit ursprünglich turbulentem Austausch bei kritischen Dichtegradienten oder bestimmten Krümmungen des vertikalen Geschwindigkeitsprofils Störbewegungen relativ kleiner Wellenzahlen ausbilden müssen, die auch in Gegenwart statistischer Turbulenz den weitaus größten Teil der vertikalen Transporte leisten und so für eine gute Durchmischung der Grenzschicht sorgen (siehe z.B. BROWN, 1980). Die Dimension der Rolle stimmt nach Theorie und Beobachtung etwa überein. Der horizontale Durchmesser der Rolle ist etwa dreimal so groß wie ihre vertikale Erstreckung. Die lineare Theorie vermag allerdings nur den Einsatz der Konvektion zu beschreiben, sie kann aber nicht die zeitliche Entwicklung der Rollen beschreiben und läßt keine quantitativen Aussagen über die mit ihnen verbundenen Transporte von Impuls und Energie und deren Änderung mit der Höhe zu. Daher wurde ein zweidimensionales Spektralmodell entwickelt, mit dem die nichtlineare Dynamik von Rollen in einer von unten beheizten und von oben durch eine Inversion abgeschlossenen Grenzschicht untersucht werden kann. Das Ziel der Modellierung besteht zum einen darin, die Bedingungen zu untersuchen, die zur Bildung konvektiver Strömungsmuster führen, zum zweiten die raumzeitlichen Strukturen der Konvektion

im Bereich oberhalb der kritischen Werte vorauszusagen und außerdem die damit verbundenen Transporte von Eigenschaften zu bestimmen.

## 2 MODELLBESCHREIBUNG

Grundlage der mathematisch-physikalischen Betrachtung sind die boussinesqapproximierte Bewegungs-, Kontinuitäts- und Wärmeleitungsgleichung, die in Form von Bilanzgleichungen für einen horizontal homogenen Grundstrom und für eine Sekundärzirkulation geschrieben werden. Subskalige Prozesse werden mit einem Gradientansatz parameterisiert. Bei der Beschreibung rollenartiger Bewegungen wird von der zweidimensionalen Näherung Gebrauch gemacht, so daß die Rollen explizit in einer Ebene, die hinsichtlich der Richtung des geostrophischen Windes eine beliebige Orientierung aufweisen kann, modelliert werden können.

Für die räumliche Darstellung der Feldvariablen, die die Sekundärzirkulation beschreiben, wird die spektrale Methode und für die der Grundstromgrößen die Gittermethode benutzt, so daß die Bilanzgleichungen für Impuls und Temperatur in gewöhnliche Differential- bzw. Differenzgleichungen übergeführt werden können. Zur numerischen Zeitintegration wird das Runge-Kutta-Verfahren benutzt. Eine vollständige Beschreibung des Modells findet man bei CHLOND (1986).

### 3 ERGEBNISSE

Um die Abhängigkeit der Dynamik und der Struktur der Rollen vom Verhältnis von Auftriebs- zu Scherkräften studieren zu können, wurden Rechnungen für atmosphärische Grenzschichten mit verschiedenen Temperaturschichtungen durchgeführt.

Zunächst wurde mit Hilfe einer linearisierten Version des Modells gezeigt, daß die Bildung von Wirbeln mit horizontaler Rotationsachse zum einen durch die Wendepunktsinstabilität und zum anderen bei labiler Dichteschichtung durch thermische Instabilität ausgelöst werden kann. Außerdem wurden numerische Integrationen der nichtlinearen Gleichungen durchgeführt. Die Rechnungen ergeben, daß sich Zellstrukturen mit einem Aspektverhältnis von ca. drei entwickeln, die durch Rückkoppelungsprozesse die instabilen Grundstromprofile so verändern, daß sie in Verbindung mit der Sekundärzirkulation eine stabile Konfiguration darstellen.

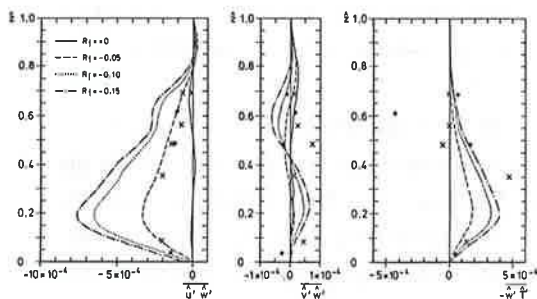


Abb. 1: Berechnete und gemessene Profile der dimensionslosen Vertikaltransporte von Impuls und Temperatur.

Bei den Berechnungen wird neben der qualitativen und quantitativen Beschreibung der Strömungs- und Temperaturfelder ein besonderes Augenmerk auf die spektrale Energetik der Rollen geworfen, die direkte Einblicke in die Instabilitätsmechanismen und in die Struktur der nichtlinearen Transportvorgänge ermöglicht. Es

kann gezeigt werden, daß bei labiler Dichteschichtung die Rollen primär durch die durch Auftrieb produzierte Energie und sekundär durch die durch Scherung produzierte Energie gespeist werden.

Einen Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Höhenprofilen der dimensionslosen Vertikaltransporte von longitudinalem und lateralem Impuls sowie von Temperatur in der Rollenskala zeigt Abb. 1. Die Meßdaten sind mit Punkten und Kreuzen markiert und beziehen sich auf Flugzeugmessungen mit der FALCON bzw. der HERCULES, die am 20. Sept. 1981 während des KonTur-Experimentes durchgeführt wurden. Hinsichtlich der Profilform weisen die bei instabiler Schichtung berechneten Vertikaltransporte eine gute Übereinstimmung mit den Meßdaten auf. Allerdings werden vom Modell bei der für den 20. Sept. 1981 als repräsentativ erachteten Richardsonzahl von  $Ri = -0,10$  wegen der angenommenen Zweidimensionalität der Rollen die Beträge der longitudinalen Impulstransporte als zu groß vorhergesagt.

### 4 LITERATUR

BROWN, R.A.: Longitudinal instabilities and secondary flows in the planetary boundary layer: a review. *Rev. of Geophys. and Space Phys.*, 18 (1980), S. 683-697.

CHLOND, A.: Numerische Untersuchungen mit Spektralmodellen zur Stabilität und Dynamik von Rollen in einer durch eine Inversion abgeschlossenen atmosphärischen Grenzschicht. *Hamburger Geophysikalische Einzelschriften* (1986), in Vorbereitung.