

Ein zweidimensionales Modell mit variabler horizontaler Auflösung zu Simulationen von Cumuluswolken Aufbau und Anwendungen

Doctoral Thesis

Author(s):

Bader, Juerg Dieter

Publication date:

1993

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000928794>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss.ETH Nr.10165

**EIN ZWEIDIMENSIONALES MODELL MIT
VARIABLER HORIZONTALER AUFLÖSUNG
ZU SIMULATIONEN VON CUMULUSWOLKEN:
AUFBAU UND ANWENDUNGEN**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

vorgelegt von

JUERG DIETER BADER

Dipl.Math.ETH-Zürich

geboren am 3.Juni 1958

von Holderbank(SO)

Angenommen auf Antrag von:

Prof Dr.A.Waldvogel

Prof.Dr.H.C. Davies

Zürich 1993

Zusammenfassung

Zur Untersuchung der komplizierten dynamischen und mikrophysikalischen Vorgänge - wie sie in Regenwolken und Gewitterstürmen vorkommen - sind numerische Modelle zu Computer-Simulationszwecken ein geeignetes Hilfsmittel. Mit Hilfe solcher Modelle lassen sich die konvektiven Windströmungsfelder wie auch Regen- und Hagelbildung berechnen. Man unterscheidet ein-, zwei- (2D) oder dreidimensionale (3D) Modelle, je nach Komplexität des zugelassenen Strömungsfeldes. Des weiteren unterscheiden sich diese in der Detailliertheit der Darstellung der mikrophysikalischen Prozesse (Prozesse wie Kondensation und Regenbildung).

In dieser Arbeit wird ein zweidimensionales achsensymmetrisches Modell entwickelt. Das besondere Merkmal des numerischen Modells besteht in der Möglichkeit nichtgleichabständige horizontale Gitterlängen zu wählen und kann als Verallgemeinerung der sogenannten $1\frac{1}{2}$ D-Modelle betrachtet werden. Letztere ergeben sich, wenn die Systemgleichungen über ein horizontales Gebiet gemittelt werden, und nur noch in der Vertikalen (wichtigste Dimension bei tiefer Konvektion) die volle Auflösung beibehalten wird. Wie diese ist das vorliegende Modell sehr sparsam im Rechenaufwand, im Gegensatz zu den gängigen 2D- oder 3D-Modellen. Die $1\frac{1}{2}$ D-Modelle haben aber den Nachteil, dass sie die Entwicklung einer gewöhnlichen Gewitterzelle nicht korrekt wiedergeben.

Somit ist eine Hauptfragestellung die, bis zu welchem Grad die radiale Gitterauflösung reduziert werden kann, ohne spezifische Charakteristiken der simulierten Wolke zu verändern. Es zeigt sich, dass $1\frac{1}{2}$ D-Modelle von der Form, wie sie Asai & Kasahara (1967) zuerst formulierten, zwar noch nicht genügend sind, aber nur unwesentlich erweitert werden müssen, um befriedigende Resultate zu liefern. Insbesondere sind offene Modellgrenzen erforderlich.

Die weiteren wesentlichen Charakteristiken des Modells sind:

- a) Es benützt die anelastische Grundannahme und ist nichthydrostatisch.
- b) Eine sogenannte Kesslerparametrisierung für die mikrophysikalischen Variablen mit Einbezug eisbildender Prozesse (Das Schema von Lin *et al.*, 1983).
- c) Eine Turbulenzparametrisierung 2. Ordnung für Impulsgleichungen und 1. Ordnung für die Temperatur und die mikrophysikalischen Variablen
- d) Berechnung der vertikalen Advektion und des turbulenten Diffusionsterms gemeinsam durch ein implizites Schema, wenn die Variable negative wie positive Werte annehmen kann. Für nur positive Variablen wird die vertikale Advektion gesondert durch das Smolarkiewicz-Schema (Smolarkiewicz, 1983) berechnet.

Die numerischen Algorithmen und Methoden werden ausführlich beschrieben und einige Besonderheiten, wie die Turbulenzparametrisierung, werden durch Modelltests überprüft (Kap. 4).

Die Achsensymmetrie reduziert die Anwendbarkeit des Modells auf Situationen ohne Windscherung. Ohne Schwierigkeiten kann aber das Konzept auf stabsymmetrische Modelle übertragen werden, wodurch der Miteinbezug von Windscherung möglich wird.

Ein weiterer Teil dieser Arbeit besteht in Vergleichen von Modellresultaten mit Messungen (Kap. 5), insbesondere Radarmessungen, aus zwei Feldstudien. Dabei werden berechnete Werte Messungen und sofern möglich auch Ergebnissen von anderen Modellen gegenübergestellt (dies für den ersten Fall, ein Gewitter beobachtet am 19.7.1981 nordwestlich von Miles City in Montana, USA, s. Dye *et al.*, 1986). Neu in diesem Zusammenhang ist der Vergleich von Radargrößen sogenannter stationärer Zellen (Fortbewegung < 4 m/s) des 9.7.1981 - ein Impftag des Hagel-Unterdrückungs-Experiments Grossversuch IV - mit Simulationswerten (der zweite Fall). Für die hohen Reflektivitätsstufen ergeben sich Diskrepanzen in Ausdehnung und Lokalisation zwischen gemessenen Konturen und Modellkonturen, die auf Unzulänglichkeiten des Mikrophysik-Schemas zurückzuführen sind. Sonst zeigt sich aber die Eignung des Modells, auch quantitativ gute Vergleichswerte zu liefern und wesentliche charakteristische Größen, wie Wolkenunter- und Obergrenze, bei repräsentativen Startwerten korrekt wiederzugeben (dies auch bei grober horizontaler Auflösung). Die Sparsamkeit im Rechenaufwand würde somit auch einen operationellen Einsatz erlauben.

Ferner wird anhand des zweiten Falles eine Impfeffekthypothese im Zusammenhang mit dem Hagelunterdrückungs-Experiment Grossversuch IV (Der 9.7.81 ist ein Impftag) zumindest qualitativ diskutiert. Eine eingehendere Untersuchung in diese Richtung wird aber vorderhand nicht gemacht, erfordert dies doch eine noch detailliertere Darstellung der Mikrophysik im Modell.

In zukünftigen Arbeiten ist einerseits vorgesehen, Resultate eines 3D-Modells mit dem vorliegenden zu vergleichen. Des weiteren sollen unter anderem Verbesserungen an der Numerik wie auch am Mikrophysikschema vorgenommen werden.

Ferner soll untersucht werden, ob das Miteinbeziehen von Aufwindrotation in diesem Modell möglich ist. Falls ja, ergäben sich bestimmte Anwendungen in der Simulation von sogenannten Superzellen (eine Klasse von intensiven Gewitterstürmen).

Als weitere zukünftige Anwendung wäre beispielsweise das Austesten einer umfangreicheren Modell-Mikrophysik - mit spektraler Darstellung der Niederschlagsgrößenverteilung - denkbar. Dies würde auch der ursprünglichen Absicht hinter dieser Arbeit entsprechen.

Abstract

Computer simulations with numerical models are a useful tool for examining the complex dynamical and microphysical processes occurring in rainclouds and thunderstorms. With the aid of such models one can calculate convective wind fields as well as rain and hail formation. The models differ in the dimensionality of the simulated flow field. Therefore one speaks of one-, two- (2D) or three-dimensional (3D) models. They differ also in the complexity of the modelled microphysics (Usually 3D-models use a simpler microphysical scheme as 2D because of computation requirements).

The purpose of this work is the development and application of a 2D numerical cloud model. The particular characteristic of that model consists in the possibility to choose irregular horizontal gridintervals. It can be viewed as a generalisation of the so called 1 $\frac{1}{2}$ D models. The latter are formed by laterally integrating over a horizontal domain keeping full resolution in the vertical dimension (the principal dimension in deep convection). As the 1 $\frac{1}{2}$ D models the present model is cheap in computer requirements, but it is known that the former do not simulate correctly the dynamics of simple thunderstorms.

Therefore a key question relates to how far the horizontal resolution may be reduced without changing the main characteristics of the simulated cloud. The usual 1 $\frac{1}{2}$ dimensional model of Asai & Kasahara (1967) with closed boundary shows a significant deviation in the dynamics compared to higher resolution models with open boundary conditions. It is shown that using open boundary condition reasonable results are obtained with relatively low horizontal resolution.

The other principal characteristics of the model are:

- a) It is nonhydrostatic and uses the anelastic approximation.
- b) Use of a Kessler-like parametrisation for the microphysics with including the ice formation processes (allowing the scheme of Lin *et al.*, 1983).
- c) Use of a second order turbulence parametrisation for the momentum equation and first order for the temperature and all microphysical variables.
- d) Calculation of vertical advection and numerical diffusion by an implicit scheme for variables whose domain extends over the whole real axis. For the advection of positive definite variables the Smolarkiewicz scheme (Smolarkiewicz, 1983) is used.

The utilized numerical algorithms and methods are described in some depth, and some specific ingredients, e.g. the turbulence parametrisation, are subject to tests.

The principal applications of the numerical model are limited to meteorological situations without wind shear. However the model concept can be adopted to allow for wind shear by using a slab symmetric formulation.

The second part of the work is dedicated to the question how far model behavior and reality corresponds. In two case studies field measurements (mainly radar measurements) are

compared with results of simulation initialized with available radio soundings. For the first case, a thunderstorm observed near Miles City, Montana, USA on 19.7.1981 (Dye *et al.* 1986), results of the present model are compared with the output from other cloud models. For the first time radar reflectivities of so called stationary thunderstorms (movement < 4 m/s) - observed on 9.7. 1981 during Grossversuch IV, a hail suppression experiment in Central Switzerland (1977-82) - are compared with calculated reflectivity values (the second case). For higher reflectivity levels discrepancies occur in location and spatial extension between simulated and calculated contours. This is the result of deficiencies in the microphysical scheme in use. Generally the model is able to reproduce the main characteristics of single cell thunderstorms (i.e lifetime, cloud top and bottom, etc.) quantitatively in good agreement with observations at least when the initial conditions are representative for the case in study. Therefore the low computational requirements of the present model allow for operational use.

Additionally, based on the second case, a seeding effect hypothesis is qualitatively discussed, bearing in mind the limiting microphysical scheme used in the present model.

Future studies will include the comparison of 3D-model output with simulation results of this model. Improvements of the numerics and the microphysical schemes are planned.

An open question is, if upwind rotation can be incorporated in some parametrised form into the model. Such a possibility would produce a fast running alternative to 3D-models for simulation of some aspects of so called supercells (a class of large thunderstorms).

A further example of an application could be to test out a detailed microphysical scheme for instance with spectral resolution of the precipitation particles (including ice processes). That would correspond to the first intention of this work.