



Doctoral Thesis

## **Modeling in-cloud scavenging a comparison of measurements and modeling results**

**Author(s):**

Orb, Joachim

**Publication Date:**

1998

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-002017514> →

**Rights / License:**

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

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 12853

# Modeling In-Cloud Scavenging A Comparison of Measurements and Modeling Results

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY (ETH)  
ZÜRICH

for the degree of  
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by

JOACHIM ORB

DEA Sc. Atmos. Université Blaise Pascal Clermont-Ferrand  
born 27 September 1967  
citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. A. Waldvogel, examiner

Dr. J. Staehelin, co-examiner

Prof. Dr. H. R. Pruppacher, co-examiner

Zürich, 1998

# Abstract

An integral knowledge on clouds and their chemistry through field measurements is difficult to obtain since cloud properties vary strongly in space and time and any field measurement allows only a limited number of discrete samples.

Models, on the other hand, are a suitable tool to describe the temporal and spatial distribution of the physical and chemical properties of clouds. However, the predictive capability of any model is always open to question. A hopeful approach to understand complex physico-chemical cloud processes comes therefore through a combination of modelling and fieldwork.

Within the scope of this work, we use a model approach to focus on the physical and chemical mechanisms in clouds on the scale of populations of aerosol particles and hydrometeors. The theoretical simulation is handled in three steps: first the atmospheric flow modified by a complex terrain is determined by means of a non-hydrostatic numerical model, and the back trajectory of an air parcel is derived from the resulting wind field. In a second step, the trajectory is used to drive a box model with explicit microphysics which simulates cloud microphysics and chemistry in the parcel. In the last step the process of riming is added to the model framework by using a continuous model for collection growth.

The results of our model are compared with the observations derived from a field campaign at Mount Rigi in central Switzerland in 1991. The virtues and the shortcomings of the model framework are discussed and improvements are proposed and included in the program code. The method of comparing measured and simulated data lead to the following main results:

**Cloud Microphysics** The agreement between the model-predicted cloud droplet distribution and the one observed could be improved significantly by the introduction of a numerical scheme simulating homogeneous mixing. This caused the droplet size spectrum to broaden due to the entrainment of air and the activation of fresh aerosol particles. It also flattened due to the detrainment of cloud droplets into the surrounding air.

**Cloud Chemistry** The S(VI)-chemistry of the orographic cloud of our case study is well represented by the chemical solver of the cloud model. The prediction

of the pH-value as well as of the concentration of  $\text{NH}_4^+$  could be improved by a more detailed cloud chemistry scheme. Our results for species other than  $\text{SO}_4^{2-}$  are not satisfactory. In agreement with other theoretical and experimental studies, we also found cloud droplet concentrations varying with droplet size.

**Precipitation Formation** Modeling precipitation chemistry was improved by introducing a model simulating precipitation enhancement due to riming and the associated transformation of chemical constituents from the cloud into precipitation. The bulk properties of the precipitation and its chemistry are satisfactorily represented by the continuous model of riming. The relationship observed by Baechmann and co-workers between drop size and the concentration of chemical species inside the drops can also be explained by precipitation formation due to riming.

**Model Framework** For the first time, a complete and tested, process focussed model simulating cloud and precipitation chemistry over complex terrain has been established. The model framework includes cloud dynamics, cloud microphysics, cloud chemistry and precipitation formation. Further improvements to our model can be achieved by including a complete cloud chemistry scheme as well as a space resolving scheme for the continuous model of riming.

# Zusammenfassung

Die starke räumliche und zeitliche Variabilität von Wolkenparametern und die Beschränkung von Feldmessungen auf Stichproben machen es schwierig, sich alleine mit Hilfe von Feldmessungen ein umfassendes Bild über Wolkeneigenschaften zu machen.

Numerische Modelle sind hingegen die passenden Hilfsmittel, um die Verteilung von physikalischen und chemischen Wolkeneigenschaften in Raum und Zeit zu beschreiben. Die Aussagekraft der Modelle wird jedoch häufig angezweifelt. Der Vergleich von Modellier- und Feldarbeit erscheint somit als ermutigender Ansatz, die komplexen physikalisch-chemischen Wolkenprozesse zu verstehen.

Wir wollen im Rahmen dieser Arbeit die physikalischen und chemischen Mechanismen in Wolken mit Hilfe von numerischen Modellen beleuchten. Dabei wollen wir uns auf die Prozessabläufe die im Grössenbereich von Aerosolpartikeln und Hydrometeoren dominieren konzentrieren. Die Simulationen erfolgen in drei Schritten: Zuerst wird die vom Gebirge geprägte atmosphärische Strömung mit Hilfe eines nicht-hydrostatischen numerischen Modells bestimmt. Aus dem drei-dimensionalen Windfeld wird eine Rückwärtstrajektorie berechnet. Diese Trajektorie treibt in einem zweiten Schritt ein Boxmodell mit expliziter Mikrophysik zur Simulation von Wolkenmikrophysik und Wolkenchemie an. Schliesslich wird ein kontinuierliches Modell, das den Einfangprozess von Wolkentröpfchen durch Eispartikel beschreibt in den Modellrahmen eingefügt.

Die Modellergebnisse werden mit Beobachtungsdaten einer Feldkampagne auf der Rigi (Zentralschweiz) aus dem Jahre 1991 verglichen. Die Stärken und Schwächen des Modellieransatzes werden diskutiert und Verbesserungen werden vorgeschlagen und in die Modelle eingearbeitet. Aus dem Vergleich von gemessenen und simulierten Daten ergaben sich folgende Resultate:

**Wolkenmikrophysik** Die Übereinstimmung zwischen der vom Modell vorhergesagten und der beobachteten Wolkentröpfchenverteilung konnte durch die Einführung eines numerischen Schemas zur Simulation des homogenen Einmischens beträchtlich verbessert werden. Die Verbreiterung des Spektrums folgte aufgrund des Einmischens von Luft aus der Wolkenumgebung in das Luftpaket und der sich daran anschliessenden Aktivierung von frischen Aerosolpartikeln. Darüber hinaus flachte die Verteilung durch das Ausmischen von Tröpfchen aller Grössenklassen aus

der Wolke ab.

**Wolkenchemie** Die S(VI)-Konzentrationen in der orographischen Wolke werden vom Wolkenmodell gut wiedergegeben. Durch die Einführung eines detaillierteren Schemas zur Beschreibung der Wolkenchemie konnte die Vorhersage der  $\text{NH}_4^+$ -Konzentrationen und des pH-Werts verbessert werden. Jedoch sind die Ergebnisse - mit Ausnahme der  $\text{SO}_4^{2-}$ -Konzentrationen - noch nicht zufriedenstellend. In Übereinstimmung mit anderen theoretischen und experimentellen Studien stellen auch wir eine Änderung der Konzentration in den Wolkenröpfchen mit der Tropfengrösse fest.

**Niederschlagsbildung** Die Modellierung der Niederschlagschemie konnte mit Hilfe eines Modells zur Simulation des Rimings und der damit verbundenen Überführung von Spurenstoffen aus der Wolke in den Niederschlag verbessert werden. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Niederschlags werden von dem kontinuierlichen Rimingmodell zufriedenstellend wiedergegeben. Der von Baechmann und Mitarbeitern beobachtete Zusammenhang zwischen der Tropfengrösse und den chemischen Inhaltsstoffen in den Niederschlagstropfen kann mit der Niederschlagsbildung durch Riming erklärt werden.

**Modellsystem** Es wurde ein vollständiges, getestetes, prozessorientiertes Modellsystem aufgestellt, das die Wolken- und Niederschlagschemie über Gebirge simuliert. Das Modellsystem beinhaltet eine Beschreibung der Wolkendynamik, der Wolkenmikrophysik und Wolkenchemie, sowie der Niederschlagsbildung. Weitere Verbesserungen des Systems können durch den Einbau eines vollständigen Wolkenchemieschemas, sowie eines raum aufgelösten Rimingmodells erzielt werden.