

## Ein einfaches analytisches Modell für die Entstehung nicht-sichtbarer Cirrus-Wolken durch homogenes Gefrieren

E. J. Spreitzer and P. Spichtinger

Johannes Gutenberg University Mainz, Institute for Atmospheric Physics, Mainz, Germany

In der Tropopausenregion treten häufig nicht-sichtbare oder optisch dünne Cirrus-Wolken auf, die in der Regel durch sehr geringe Eiskristall-Anzahlkonzentrationen gekennzeichnet sind und eine wichtige Rolle für das Strahlungsbudget der oberen Troposphäre spielen. Die Entstehungsmechanismen für solche dünnen Cirrus-Wolken sind nicht hinreichend bekannt. Es wird meist angenommen, dass sie durch heterogenes Gefrieren entstehen. Feste Partikel, an denen heterogenes Gefrieren stattfinden kann, sind jedoch nicht in jedem Luftpaket enthalten, Lösungströpfchen, die potentiell homogen gefrieren können, sind hingegen meist in großer Anzahl vorhanden.

In dieser Studie untersuchen wir einen Bildungsmechanismus, der auf homogenem Gefrieren beruht. Betrachtet wird ein aufsteigendes Luftpaket, das Lösungströpfchen enthält und bzgl. Eis übersättigt ist. Es können drei mikrophysikalische Prozesse stattfinden: homogenes Gefrieren, Diffusionswachstum der Eiskristalle und Sedimentation. Bei geringen Vertikalgeschwindigkeiten ( $< 5$  cm/s) und recht warmen Temperaturen von etwa 190 K bis 230 K sind die Gefrieraten sehr klein. Dadurch stellt sich ein Gleichgewichtszustand mit geringen Eiskristallkonzentrationen und bei hoher Eisübersättigung (relative Feuchte über Eis  $> 130$  %) ein.

Unter stark vereinfachenden und idealisierten Annahmen wurde ein analytisches Boxmodell für dünne Cirrus-Wolken entwickelt, das auf dem von Spichtinger und Gierens (2009) vorgestellten Wolkenmodell beruht. In erster Linie geht es darum, dieses reduzierte Modell soweit wie möglich mathematisch anhand seiner Gleichungen zu analysieren, ohne notwendigerweise eine Simulation durchzuführen. Die Mikrophysik und die Dynamik sind soweit vereinfacht, dass ein autonomes System aus gewöhnlichen Differentialgleichungen übrigbleibt.

Dieses dynamische System kann mathematisch analysiert und durch seine kritischen Punkte charakterisiert werden. In Abhängigkeit der Parameter des Systems werden Attraktoren, Grenzzyklen und Bifurkationspunkte identifiziert.

Die Ergebnisse des einfachen analytischen Boxmodells werden qualitativ und quantitativ mit anderen, komplexeren Simulationen sowie Beobachtungen verglichen. Trotz der starken Vereinfachungen und Idealisierungen werden realistische Ergebnisse erzielt und es zeigt sich, dass sich das entwickelte Boxmodell zur qualitativen Analyse verschiedener Prozesse eignet. Zudem stellt das entwickelte Gleichungssystem einen ersten Versuch für Untersuchungen wolkenphysikalischer Modelle mit den klassischen Mitteln zur Charakterisierung dynamischer Systeme dar, die künftig auf komplexere Systeme angewandt werden sollen.