

## Themen für Master-/Diplomarbeiten in der AG Theoretische Wolkenphysik

### 1. Parcelmodell für Eisphysik

Man ist an einer theoretischen Betrachtung von flacher Konvektion in Eiswolken interessiert. Zu diesem Zweck soll ein einfaches Luftpaketmodell für Eisphysik entwickelt werden. Dabei soll das klassische Paketkonzept genutzt werden, d.h. es soll auch eine Ankoppelung an gegebene Hintergrundprofile mit explizitem Auftriebsterm durchgeführt werden. Allerdings muss statt der üblichen Gleichgewichtsannahme bei Sättigung (korrekt für Wasserwolken) für den Fall der Eiswolken sinnvoll modifizieren. Zur Erstellung des Modells soll eine vereinfachte Mikrophysik zur Darstellung der Wolkenprozesse verwendet werden, die eventuell später weiterverfeinert werden kann. Anhand des neu entwickelten Modelles sollen theoretische Analysen durchgeführt werden (z.B. Abschätzung von CAPE) und im Vergleich mit hochaufgelösten Simulationen Abschätzungen zum möglichen Entrainment/Detrainment bei Eiswolken gegeben werden. Optional soll das Modell noch für vertikale Bewegungen der Hintergrundprofile erweitert werden.

### 2. Wechselwirkung von Turbulenz und Eiswolken

Neben der Dynamik auf synoptischen Skalen und der Mesoskala (z.B. Schwerewellen) treten in der oberen Troposphäre auch kleinskalige Bewegungen und insbesondere Turbulenz auf. Diese entsteht vor allem durch brechende Schwerewellen. Die Wechselwirkung von Turbulenz und Prozessen in Eiswolken ist nicht klar und soll in diesem Projekt genauer untersucht werden. Dabei wird in idealisierten Simulationen Turbulenz von brechenden Schwerewellen erzeugt. Dies geschieht dadurch, dass man in einem zyklischen Modellbereich sinusartige Berge überströmen lässt und zusätzlich im Hintergrundprofil der horizontalen Geschwindigkeit ein kritisches Niveau (Wechsel von positiver zu negativer Horizontalgeschwindigkeit) einbaut. Dadurch entsteht Turbulenz von einer typischen, reproduzierbaren Struktur; zusätzlich werden eisübersättigte Schichten eingebaut, so dass Zirren erzeugt werden. Dabei können nun die Wechselwirkungen zwischen Turbulenz und Zirren untersucht werden. Es ist bereits eine gewisse Anzahl an Simulationen verfügbar, gegebenenfalls können mit Hilfe des vorhandenen Setups weitere Simulationen auf dem Großrechner des ECMWF bzw. der JGU Mainz durchgeführt werden.

### 3. Turbulenz in der oberen Troposphäre (zusammen mit Holger Tost)

In vielen Modellen werden die Wolkenparameterisierungen durch subskalige Vertikalgeschwindigkeiten angetrieben. daher müssen diese Geschwindigkeiten in irgendeiner Form aus den aufgelösten prognostischen Variablen diagnostiziert bzw. abgeleitet werden. Seit einigen Jahren hat es sich eingebürgert, die vertikalen Geschwindigkeiten aus der sogenannten turbulenten kinetischen Energie (TKE) abzuleiten. Diese Größe ist eigentlich zur Bestimmung der subskaligen Turbulenz in der planetaren Grenzschicht gedacht, für diese troposphärische Schicht werden auch die TKE-Schemata ausgerichtet und "getunt". Die Schemata laufen zwar in den Modellen auch in anderen Höhen der Troposphäre mit, allerdings weiss man nicht so genau, was diese Schemata dort genau berechnen bzw. repräsentieren. Trotzdem werden aus der TKE subskalige Vertikalgeschwindigkeiten abgeleitet, die dann in den jeweiligen Wolkenmikrophysikroutinen (versehen mit Tuningfaktoren) verwendet werden. Es gab ein paar Statistiken, die eine ähnliche Wahrscheinlichkeitsverteilung wie bei Messungen zeigte, genauer wurden die produzierten Vertikalgeschwindigkeiten jedoch nie untersucht.

In diesen Projekt sollen Daten aus dem allgemeinen Zirkulationsmodell ECHAM bezüglich TKE und anderen, theoretisch fundierten Stabilitätsindices ausgewertet werden. Grundlage dafür ist eine Studie aus den letzten Jahren an der ETH Zürich, in der Daten des Europäischen Zentrums für Mittelfristwettervorhersage (ECMWF) ausgewertet wurden (Jaeger und Sprenger, 2007). Die Daten des Modells ECHAM werden dabei bereitgestellt; das Modell wird dabei zum einen mit ECMWF-Reanalysen angetrieben (sogenanntes nudging), um klar definierte Umgebungsbedingungen zu schaffen, die ebenfalls analysiert werden. Zum anderen lässt man das Modell frei laufen, und vergleicht dann diese Daten mit den angetriebenen Modellläufen.

#### 4. LIDAR-Messungen von Zirren im Vergleich zu Simulationen (zusammen mit Martin Wirth/DLR)

Selbst in dynamisch stabilen Schichten stellt man oft eine interne Struktur der Zirren fest. Dies sieht man besonders eindrücklich im Rückstreuungssignal von LIDAR-Messungen sowie in den Vertikalprofilen des Wasserdampfes. Dabei ist die Entstehung dieser Strukturen nicht klar, man vermutet aber, dass diese durch die Scherung des Horizontalwindes und der dadurch entstehenden kleinskaligen Variationen bzw. Wirbel angetrieben werden. In diesem Projekt sollen zum einen LIDAR-Daten aus einem Messflug (HALO-TECHNO Mission, Herbst 2008) im Zusammenhang mit ECMWF Daten ausgewertet werden. Zum anderen sollen idealisierte Simulationen mit dem Large-Eddy-Simulation (LES) Modell EULAG durchgeführt werden (2D/3D) und mit den Signaturen der LIDAR-Messungen verglichen werden. Optional können weitere, kompliziertere Fälle untersucht werden.

#### 5. Austauschprozesse planetare Grenzschicht und freie Troposphäre

Der Oberrand der planetaren Grenzschicht ist durch eine starke Inversion gekennzeichnet. Dadurch ist eine scharfe Abgrenzung zwischen der gut durchmischten (meist neutral geschichtete) Grenzschicht und der (meist) stabil geschichteten freien Troposphäre gegeben. Diese Grenzfläche stellt auch eine starke Barriere für den Transport dar. Für den Transport von Aerosolen sowie Spurenstoffen und -gasen mit Quellen am Boden (bzw. in der Grenzschicht) in die freie Troposphäre sind Austauschprozesse an der Grenzschicht von entscheidender Bedeutung. Dabei ist jedoch nicht klar, welcher Anteil der ursprünglichen Konzentrationen tatsächlich in die freie Troposphäre eingemischt wird und welche Prozesse hier die dominante Rolle spielen. Dabei wird oft Konvektion als massgeblicher Prozess vermutet, allerdings sind auch dynamische Instabilitäten, die turbulente Mischung induzieren oder auch brechende Wellen mögliche Kandidaten. In diesem Projekt soll mit Hilfe des Large-Eddy-Simulation (LES) Modell EULAG idealisierte Studien (2D/3D) bezüglich der möglichen Prozesse und deren Auswirkungen auf den Transport durchgeführt werden.

#### 6. Strahlungseigenschaften von Cirrostratus-Wolken

Wolken stellen eine wichtige Modifikation des Energiebudgets des Systems Erde-Atmosphäre dar. Dennoch ist die genaue Auswirkung dabei relativ unsicher, insbesondere für Wolken die teilweise oder vollständig aus Eiskristallen bestehen. Für hochgelegene reine Eiswolken (sogenannte Zirren) ist der Strahlungsantrieb, d.h. der Einfluss auf das Energiebudget nicht gut bekannt; es wird angenommen, dass diese Wolken eine positive Nettoerwärmung induzieren, bestätigt ist dies jedoch bisher nicht. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass die Strahlungseigenschaften von Zirren stark durch mikrophysikalische Größen (Anzahldichte, Eiswassergehalt, Gestalt der Kristalle) bestimmt werden, die selbst von lokaler Dynamik und thermodynamischen Hintergrundfeldern abhängen. Eine wichtige Klasse von Zirren stellen die Schichtwolken (cirrostratus) dar; diese entstehen meist in einer stabil geschichteten Umgebung bei niedrigen Auftriebsgeschwindigkeiten assoziiert mit Fronten. In diesem Projekt sollen bereits vorliegende Simulationen von cirrostrati unter verschiedenen Bedingungen mit Hilfe eines Strahlungsmodell untersucht werden. Dabei muss zuerst eine allgemeine Modellumgebung erstellt werden, um die vorliegenden Daten mit Hilfe eines offline Strahlungsmodells zu untersuchen. Gegebenenfalls können mit Hilfe des Large-Eddy-Simulation (LES) Modell EULAG weitere Fälle simuliert und untersucht werden.