

## Wolkenforschung mit HERZ

Kleinräumig oder hochreichend, einzeln oder in Gruppen, zufällig verteilt oder organisiert, auf so vielfältige Weise kann man Cumulus-Wolken am Sommerhimmel vorfinden. Aber warum organisieren sich Wolken manchmal? Warum erreichen einzelne von ihnen große Höhen? Ist es Zufall, wenn eine kleine Wolke in die Höhe wächst, oder was steckt dahinter? Sind externe Faktoren wie z.B. die Besonderheiten der darunter liegenden Landoberfläche wichtig für die Entwicklung und Organisation solcher Wolken? Haben kleinskalige Störungen durch die Anwesenheit von Wolken Einfluss auf die zukünftige Entwicklung des größerskaligen Zustands der Atmosphäre? Und wie können wir diese Phänomene in Wetter- und Klimamodellen darstellen? Die numerischen Maschen der Klimamodellgitter sind oft zu weit – die Wolken fallen zu Beginn ihres Lebenszyklus hindurch, d.h. es müssen zu ihrer Darstellung statistische Algorithmen (Parametrisierungen) entwickelt werden.

Die Hans-Ertel-Zentrum (HERZ) Forschungsgruppe in der Abteilung „Atmosphäre im Erdsystem“ am Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) widmet sich mit den Gruppenleitern Dr. Cathy Hohenegger (MPI-M) und Dr. Axel Seifert (DWD – Deutscher Wetterdienst) genau diesen Fragestellungen. Die HERZ-Gruppe wird sowohl vom MPI-M als auch vom DWD unterstützt. Das gesamte Hans-Ertel-Zentrum mit fünf Forschungsgruppen in Deutschland ist eine Initiative des DWD [6].

Wolken als kondensierter Wasserdampf lieben eine feuchte Atmosphäre und feuchten durch Mischung mit der umgebenden Luft selbst die Atmosphäre an. Dadurch kann ein positives Feedback entstehen, in dem erste kleine Wolken die Atmosphärensäule graduell anfeuchten und sich dadurch vergrößern. Das entspricht auch der typischen Wolkenentwicklung, die an einem Sommertag beobachtet werden kann, mit kleinen Wolken am Morgen und hohen, ausregnenden Cumulonimbi am Nachmittag. Detaillierte Untersuchungen dieses Feedbacks zwischen den Wolken haben jedoch gezeigt, dass dieser Anfeuchtungsprozess zu langsam ist um die beobachtete Wolkenentwicklung zu erklären [1]. Das starke Wachsen der Wolken muss seine Ursache in Zirkulationen haben, die größer sind als die der einzelnen Wolken, und die sowohl die Feuchte in speziellen Gebieten konzentrieren als auch die Luft zum Aufsteigen anregen.

Die Entstehungsmechanismen für solche Zirkulationen sind vielfältig und ihre Effekte auf die Wolkenentwicklung nicht vernachlässigbar, wie in verschiedenen Studien gezeigt wird [4,5]. Zum Beispiel kann der Übergang zu hochreichender Konvektion durch darunterliegendes uneinheitliches Gelände fast zweimal schneller sein.

Ein anderes wichtiges Beispiel ist die Organisation von Wolken, sogar flacher Wolken. Beobachtungen zeigen, dass sich Cumulus-Wolken in der Passatwindzone oftmals parallel zur Windrichtung in Wolkenstraßen organisieren und quer zur Windrichtung mesoskalige Bögen bilden. Bisher konnten numerische Simulationen diese Strukturen nicht wiedergeben, oftmals weil einfach die Rechenleistung für die entsprechenden Prozesse gefehlt hat. Axel Seifert (DWD) und Thijs Heus (PostDoc in der HERZ-Gruppe, jetzt an der Universität zu Köln) haben mit Hilfe von Large Eddy Simulationen (LES) alle wichtigen Merkmale dieser Wolkenstrukturen reproduziert [3]. Die Selbstorganisation in Bögen zum Beispiel lässt sich auf die Abkühlung und Anfeuchtung der Luft durch Niederschlag aus den Wolken („cold pools“) zurück führen; die kalte Luft breitet sich in Form von Böenfronten aus und löst dabei an ihrer Grenzlinie die Entwicklung neuer Wolken aus. Diese Organisation geht mit einem klaren Skalenwachstum (von klein zu mesoskalig) einher. Sowohl die Organisation als auch das Skalenwachstum sind eine Herausforderung für die Parametrisierung.

Womit untersuchen die Forscher diese Wolken, wenn die aktuellen Klimamodelle sie nicht auflösen können? Detaillierte Information über kleinskalige Prozesse kann man aus Large-Eddy-Simulationen (LES, d.h. Grobstruktursimulationen, da nur die größten Turbulenzwirbel aufgelöst werden) gewinnen, die eine Gitterauflösung von 10-100 m haben, und daher Zirkulationen in Skalen von Wolken erfassen können. LES sind als Verfahren zur numerischen Berechnung von turbulenten Wirbelstrukturen bzw. Strömungen in der Meteorologie und den Ingenieurwissenschaften etabliert. Die HERZ-Gruppe benutzt dafür ein Modell, das von Prof. Bjorn Stevens, Direktor der Abteilung „Atmosphäre im Erdsystem“, an der University of California, Los Angeles (UCLA) entwickelt wurde. Dieses wurde am MPI-M um die Eis-Mikrophysik, die Landoberfläche, Zugbahnen und Lagrangesche Partikel erweitert. Damit können ganze Lebenszyklen von konvektiven Wolken im Detail, einschließlich der Wechselwirkungen mit der heterogenen Landoberfläche, untersucht werden. In Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen des MPI-M, speziell mit der Klimamodellierungsgruppe, der Klimadynamikgruppe und auch mit der Gruppe für Turbulente Mischungsprozesse, kann so dasselbe Phänomen über das ganze Skalen-Spektrum erforscht werden.

Mit den Ergebnissen dieser LES-Studien und in enger Zusammenarbeit mit dem DWD werden neue Ideen entwickelt bzw. vorhandene Ideen überarbeitet, um Wolken in Modellen zu parametrisieren; so werden zum Beispiel empirische Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen formuliert, um die Wolkenbedeckung zu parametrisieren [2], oder es wird gerade ein stochastisches, skalenadaptives Schema für flache Konvektion entwickelt. In so einem Modell wird eine Population subskaliger Wolken durch einen stochastischen Prozess erzeugt, und diese Wolken können dann mit der größerskaligen Strömung wechselwirken, wie dem Atmosphärenmodell. Eine Herausforderung hierbei ist es, die Organisation der Wolken mit einzubeziehen und richtig wiederzugeben, da dies fundamental für deren Lebenszyklen und die Eigenschaften der Atmosphäre insgesamt ist.

**Weitere Informationen:**

<http://www.mpimet.mpg.de/wissenschaft/atmosphaere-im-erdsystem/arbeitsgruppen/wolken-und-konvektive-prozesse.html>

<http://www.dwd.de/ertel-zentrum>

**Veröffentlichungen**

[1] Hohenegger, C. and B. Stevens: Preconditioning deep convection with cumulus congestus. *J. Atmos. Sci.*, 70, 448-464 (2013).

[2] Naumann, A. K., A. Seifert, and J.-P. Mellado: A refined statistical cloud closure using double-Gaussian probability density functions. *Geo. Mod. Dev.*, 6, 1641-1657 (2013).

[3] Seifert, A and T. Heus: Large-eddy simulation of organized precipitating trade wind cumulus clouds. *Atmos. Chem. Pys.*, 13, 5631-5645 (2013).

Research

[4] Rieck M, C Hohenegger and C. C. van Heerwaarden: The influence of land surface heterogeneities on cloud size development. *In print for Mon. Wea. Rev.* (2014).

[5] Schlemmer L and C Hohenegger: The formation of wider and deeper clouds as a result of cold-pool dynamics. *In print for J. Atmos. Sci.* (2014).

[6] Weissmann M., M. Göber, C. Hohenegger, T. Janjic, J. Keller, C. Ohlwein, A. Seifert, S. Trömel, T. Ulbrich, K. Wapler, C. Bollmezer and H. Deneke: Initial phase of the Hans-Ertel Centre for Weather Research - A virtual centre at the interface of basic and applied weather and climate research. *In print for Meteor. Z.* (2014).

**Kontakt:**

Dr. Cathy Hohenegger  
Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Tel.: 040 41173 302  
E-Mail: [cathy.hohenegger@mpimet.mpg.de](mailto:cathy.hohenegger@mpimet.mpg.de)

Dr. Axel Seifert  
Deutscher Wetterdienst  
Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Tel.: 040 41173 179  
E-Mail: [axel.seifert@mpimet.mpg.de](mailto:axel.seifert@mpimet.mpg.de)