

# Komplexe Atmosphäre

Forschung zu Wolkenbildung und Schwerewellen am Institut für Atmosphäre und Umwelt

Wasser, Schwefelsäure, und damit hat sich's – davon gingen Atmosphärenforscher früher aus. Aber der Kreis der Verdächtigen hat sich deutlich erweitert: „Vor ein paar Jahren dachte man, Wolken entstehen in der Atmosphäre, wenn Wassermoleküle auf Partikel aus Sulfat treffen und zu Flüssigkeit kondensieren, und dass ein großer Teil dieser Sulfatpartikel sich in der Atmosphäre neu gebildet hat, indem Schwefelsäure und Wassermoleküle sich zusammenlagern. Heute wissen wir, dass das Szenario viel komplexer ist“, sagt Joachim Curtius, Professor für experimentelle Atmosphärenforschung an der Goethe-Universität. Er zählt auf: „In der Atmosphäre wurden auch Molekülanhäufungen, so genannte Cluster, aus verschiedenen organischen Substanzen als Kondensationskeime nachgewiesen.“ Wissenschaftler aus seiner Arbeitsgruppe haben zusammen mit einem internationalen Forscherteam jetzt in einem Laborexperiment nachgewiesen, dass das Clusterwachstum entscheidend erleichtert wird, wenn nicht nur Schwefelsäure-, sondern zugleich Dimethylamin (DMA)-Moleküle in die Cluster eingebaut werden.

## »Superklebstoff« für die Atmosphäre

In einem Beitrag für die amerikanische Fachzeitschrift „Proceedings of the National Academy of Sciences“ berichten die Wissenschaftler um Curtius zunächst, wie sie ein bewährtes Messverfahren in einem wesentlichen Punkt weiterentwickelt haben: Dieses Messverfahren, ein spezielles Massenspektrometer, eignet sich nämlich für den Nachweis elektrisch geladener Teilchen. Im unteren Teil der Atmosphäre, wo Wolken entstehen, kommt es aber vor allem auf neutrale (ungeladene) Cluster an. Der Trick von Curtius und seinen Mitarbeitern bestand darin, dass sie diese neutralen Cluster mit Hilfe einer eigens dafür entwickelten Ionenquelle in geladene Teilchen umwandeln; anschließend konnten sie Größe und Zusammensetzung der ursprünglich neutralen Cluster bestimmen.

Mit dem neuen Messverfahren konnten die Forscher das Clusterwachstum direkt beobachten – und sie stellten fest, dass das Wachstum in Anwesenheit von DMA extrem begünstigt ist: Während Cluster, die nur aus Schwefelsäure bestehen, erst von einer bestimmten Mindestgröße an stabil sind, bestand diese Barriere nicht, wenn zusätzlich DMA-Moleküle in die Cluster eingebaut wurden.

„Das bedeutet: Wenn DMA beteiligt ist, bleibt jedes weitere Schwefelsäure-Molekül, das mit dem Cluster zusammenstößt, daran kleben und vergrößert das

Cluster“, erläutert Curtius. „Wir haben unser Experiment am CERN in Genf gemacht, und zwar unter Bedingungen, wie sie tatsächlich in der Atmosphäre herrschen. Das heißt vor allem: Die Konzentrationen an Schwefelsäure und DMA waren extrem gering. Nur eines von tausend Milliarden Teilchen war ein DMA- oder Schwefelsäuremolekül, da ist es entscheidend, dass die Moleküle aneinander kleben bleiben und nicht wieder auseinanderfliegen, wenn sie sich schon mal treffen.“

DMA entsteht in der Landwirtschaft, gasförmige Schwefelsäure entsteht aus Schwefeldioxid, das beispielsweise bei der Verbrennung fossiler Materialien gebildet wird. Ihr Zusammenwirken wurde zwar unter atmosphärischen Bedingungen, aber eben doch nur im Laborexperiment am Boden nachgewiesen. Allerdings könnte das Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) dazu beitragen, dass aufgeklärt wird, welche Vorgänge tatsächlich bei der Partikelneubildung in der Atmosphäre ablaufen. HALO wird vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) betrieben, verschiedene Forschungsinstitutionen nutzen es gemeinsam, und Curtius koordiniert zusammen mit Forschern aus Leipzig und Dresden das HALO-Forschungsprogramm der DFG.

Die jüngste HALO-Messkampagne führte ins brasilianische Amazonasgebiet, wo die Entstehung und Entwicklung tropischer Gewitterwolken untersucht wurde. „Zur Partikelneubildung sind aktuell keine HALO-Messungen geplant“, schränkt Curtius ein, „aber wir würden uns einen großen Erkenntnisgewinn davon erhoffen, wenn wir sie eines Tages durchführen könnten. Wir vermuten, dass auch in der freien Troposphäre, also in einer Höhe oberhalb von zwei Kilometern, Cluster entstehen und neue Partikel gebildet werden, allerdings dort eher aus Schwefelsäure, Ammoniak und Wasser, da das DMA nur nahe an den Quellen am Boden vorkommt. In jedem Fall interessiert uns, inwieweit die Partikelkonzentrationen in der Atmosphäre durch die Neubildung beeinflusst werden. Das kann großen Einfluss auf die Struktur und das Reflexionsverhalten von Wolken haben und wirkt sich somit auf unser Klima aus.“

## DFG-Forscherguppe zu Schwerewellen

2016 wird HALO im Auftrag des DLR abheben und dabei auch Messungen zu so genannten Schwerewellen ausführen. Mit diesen Schwerewellen wird sich eine Forschergruppe unter Federführung der Goethe-Universität befassen, die von der DFG kürzlich ein-



Das „CLOUD-Experiment“ in der Kernforschungseinrichtung CERN (Oktober 2013). Foto: © CERN

gerichtet wurde. Daran beteiligt sind noch zehn weitere deutsche Institutionen, so etwa die Universität Mainz, das Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg, das DLR bei München und der Deutsche Wetterdienst (DWD) in Offenbach. In den nächsten drei Jahren planen die Wissenschaftler Laborexperimente und Messkampagnen; außerdem sollen Theorien entwickelt und Computersimulationen berechnet werden. Sprecher der neuen DFG-Forscherguppe ist Ulrich Achatz, Professor für theoretische Atmosphärenforschung an der Goethe-Universität.

Er erläutert: „Schwerewellen entstehen aus dem Wechselspiel von Schwerkraft und Druckgradientenkraft: Weiter unten, also näher an der Erdoberfläche, ist der Luftdruck größer. Das treibt die Luftpakete nach oben, und die Luft kühlt sich ab. Hat ein Luftpaket eine Höhe erreicht, in der es dichter und schwerer als seine Umgebung ist, wird es durch die Schwerkraft wieder nach unten gezogen, und die Luft erwärmt sich wieder.“ Auf diese Weise bestünden Schwerewellen abwechselnd aus Bereichen absinkender und aufsteigender Luft, charakterisiert durch periodische Veränderungen von Windgeschwindigkeit, Druck, Dichte und Temperatur.

## Nordwind in Frankfurt

Achatz nennt ein Beispiel, das Frankfurtern vertraut sein dürfte: „Wenn der Wind in Frankfurt aus Norden kommt, streichen die Luftmassen über den Taunus hinweg. Dabei entstehen Schwerewellen, und wenn die Luft in diesen Schwerewellen aufsteigt und ab-

sinkt, ist das an den Wolkenbändern sichtbar, die dann beispielsweise über Niederursel oder dem Riedberg auftauchen.“

Schwerewellen entstehen aber nicht nur, wenn Luftmassen Gebirge überströmen, sondern auch in Gewittern, weil diese stets mit einem vertikalen Lufttransport verbunden sind – das ist beispielsweise erkennbar an den charakteristischen, amboßförmigen „Cumulonimbuswolken“, die sich oft kilometerhoch auftürmen, wenn ein Gewitter ‚in der Luft liegt‘. Schließlich werden Schwerewellen von den Hoch- und Tiefdruckgebieten abgestrahlt. Achatz erklärt dazu: „Schon von der Wetterkarte her kennen wir die Tatsache, dass sich Luft um die Hoch- und Tiefdruckgebiete herum bewegt, entlang den Linien konstanten Drucks. Einerseits werden nämlich die Luftmoleküle vom hohen zum niedrigen Luftdruck getrieben, und andererseits wird diese Bewegung durch die Erdrotation beeinflusst. Den daraus resultierenden Zustand, in dem sich die Luft entlang der Isobaren bewegt, strebt die Natur mit Macht an. Wenn das äußerst komplexe System der Atmosphäre dieses Gleichgewicht verlässt, etwa durch ‚Überschießen‘ der eigenen Dynamik, dann versucht sie, diesen Zustand wieder herzustellen, indem Schwerewellen abgestrahlt werden.“

Viele der Ursachen für Schwerewellen sind erst unzureichend verstanden – ihre Auswirkungen auf Wetter und Klima aber noch weniger. Ein Hauptproblem: Die Datenpunkte, an denen beispielsweise der DWD mit seinen Modellen die konkreten Vorhersagewerte be-

rechnet, liegen so weit auseinander, dass sich in einer Schwerewelle die vertikale Luftbewegung zwischen den Punkten mehrmals umkehrt. Das heißt, dass Wettermodelle diesen Wechsel zwischen Aufsteigen und Absinken ignorieren, obwohl sein Einfluss auf das Wetter in Wirklichkeit dramatisch sein kann. Und manchmal geht es nicht nur darum, in den nächsten Tagen das Wetter beispielsweise im Rhein-Main-Gebiet vorherzusagen, sondern es werden größere Gebiete betrachtet, oder es geht um Klimamodelle, die die Entwicklung im Laufe der Jahrzehnte, Jahrhunderte beschreiben – dann liegen die Datenpunkte noch wesentlich weiter auseinander.

Achatz' Ziel ist es also, im Rahmen der neuen DFG-Forscherguppe einen Baustein für Wetter- und Klimamodelle zu entwickeln, eine sogenannte Parametrisierung, die den Benutzern eines Modells angibt, wie sich die Schwerewellen auf Wetter und Klima auswirken, obwohl sie sich auf so kleinen Gebieten abspielen, dass sie für das Modell nicht „sichtbar“ sind. Außerdem streben die Atmosphärenforscher der Goethe-Universität an, die Zusammenarbeit mit dem DWD weiter zu vertiefen und verstärkt die Meteorologie der unteren bis zwei Kilometer, der „atmosphärischen Grenzschicht“, zu erforschen. Auch davon erhoffen sie eine bessere Modellierung von Wetter und Klima. *Stefanie Hense*