

ERKUNDUNGEN AM HIMMEL

Die Atmosphärenphysiker Bernadett Weinzierl und Leonhard Scheck berichten, warum selbst die besten Computer bis heute an einer genauen Wettervorhersage scheitern

INTERVIEW | MIRIAM AKKERMANN

JAM: Leonhard, wie würden Sie Ihre Forschungsarbeit beschreiben?

Leonhard Scheck: In meiner Arbeit geht es darum, Satellitenbilder für die Verbesserung der Wettervorhersage zu nutzen. Eine ganze Reihe von Wettersatelliten senden alle paar Minuten Bilder von der Erde, die sehr viele Daten über Wolken, Luftfeuchtigkeit und Temperatur enthalten. Teilweise werden diese Daten bereits genutzt und fließen mittels der sogenannten Datenassimilation in die Wettervorhersage ein. Dieser wichtige Schritt der Wettervorhersage, der aufwendige Berechnungen auf Hochleistungsrechnern erfordert, nutzt die Ergebnisse von Messungen, um den aktuellen Zustand der Atmosphäre präziser festzustellen. Je genauer dieser bekannt ist, desto besser werden im Allgemeinen die Vorhersagen. Satellitenbilder im infraroten Wellenlängenbereich haben sich dabei als besonders relevant herausgestellt, da sie für die ganze Erde Auskunft über Luftfeuchtigkeit und Temperatur geben. Auch Satellitenbilder im sichtbaren Wellenbereich enthalten wichtige Informationen, die nicht in den Infrarotbildern enthalten sind. Sie zeigen Wolken und deren Eigenschaften, etwa die vorherrschende Tröpfchengröße und ob es sich um Wasser oder Eiskristalle handelt. Anders als bei den Infrarotaufnahmen lassen sich diese Informationen jedoch noch nicht so leicht aus den Bildern gewinnen. Deswegen gehen sie auch noch nicht in die Wettervorhersage ein. Momentan berechne ich aus den Daten, die das Wettervorhersagemodell liefert, synthetische Satellitenbilder. Diese werden anschließend mit den tatsächlichen Satellitenbildern abgeglichen. Aus den Unterschieden lässt sich schließen, wie der Zustand der Atmosphäre im Computermodell geändert werden muss, damit

er sich der Realität annähert. Letztlich sollte sich dadurch zum Beispiel die Vorhersage von Gewittern verbessern.

JAM: Bernadett, was ist der Schwerpunkt Ihrer Forschung?

Bernadett Weinzierl: Aktuell untersuchen mein Team und ich den Einfluss von Aerosolpartikeln auf die Atmosphäre und das Klima. Wir bereiten gerade die groß angelegte Flugzeugmesskampagne A-LIFE vor, die im Frühjahr 2017 über Zypern stattfinden wird. Um Daten aus verschiedenen Höhen erhalten zu können, optimieren wir Messgeräte, die wir in ein Forschungsflugzeug bauen. Damit fliegen wir in die Atmosphäre, wo wir beispielsweise in der Troposphäre (zwischen etwa null und zwölf Kilometern über der Erdoberfläche) Schichten mit erhöhten Mineralstaub- oder Rußkonzentrationen vorfinden. Diese stammen aus der Sahara, gelangen von großen Waldbränden in den USA oder Kanada oder aus großen Ballungsräumen zu uns. Nach dem Ausbruch des Eyjafjallajökull-Vulkanes haben wir 2010 gemessen, in welcher Höhe wie viel Vulkanasche aus Island zu uns transportiert wurde. Grundsätzlich tragen sowohl natürliche als auch vom Menschen verursachte Quellen zur Partikelbelastung in der Atmosphäre bei. Man geht davon aus, dass circa 20 bis 40 Prozent der sogenannten optischen Dicke – einem Maß für die Trübung der Atmosphäre durch Aerosolpartikel – aus anthropogenen Quellen kommen. In einem sich wandelnden Klima könnten sich die Emissionen von natürlichen Aerosolpartikeln stark ändern. Jedoch kommen verschiedene Studien zu widersprüchlichen Aussagen. Es ist unklar, ob in einem wärmeren Klima beispielsweise die Emission von Mineralstaub ab- oder zunimmt.



Leonhard Scheck forscht am Hans-Ertel-Zentrum für Datenassimilation des Meteorologischen Instituts der LMU München.



Bernadett Weinzierl, Mitglied der Jungen Akademie seit 2014, ist Professorin für Aerosol- und Clusterphysik und Leiterin der Aerosol- und Umweltphysik an der Fakultät für Physik der Universität Wien.

DIE ATMOSPÄRENPHYSIKER

JAM: Könnte das auch Auswirkungen auf die Wettervorhersagbarkeit haben?

Bernadett Weinzierl: Durchaus. Wenn etwa in Wien oder München viel Saharastaub über der Stadt liegt, stimmt die Wettervorhersage in der Regel nicht mehr. Ein Grund dafür ist, dass die meisten Prognosemodelle den Effekt der Aerosolpartikel auf die Atmosphäre noch nicht berücksichtigen. Deshalb ist es wichtig, dass wir Messungen durchführen, um Staubeigenschaften wie Größe, Form und chemische Zusammensetzung der Partikel sowie deren Veränderungen während des Transportes zu untersuchen und die daraus gewonnenen Daten in die Wettervorhersage einbeziehen.

JAM: Was machen Sie mit dieser Unmenge an Daten, die heute zur Verfügung stehen?

Leonhard Scheck: Durch Fortschritte bei den Datenassimilationsmethoden und die Weiterentwicklung der Hochleistungsrechner kann zumindest ein Teil dieser Unmenge an

Beobachtungsdaten verarbeitet werden und fließt in die Wettervorhersage ein. Einige der weltweit schnellsten Supercomputer werden dazu eingesetzt, und das zahlt sich aus: Allein durch die Assimilation von Satellitenbeobachtungen hat sich die Wettervorhersage in den vergangenen Jahrzehnten deutlich verbessert. Zusammen mit Verbesserungen an den Vorhersagemodellen hat das dazu geführt, dass eine 5-Tages-Vorhersage im Schnitt heute schon so genau ist wie es eine 3-Tages-Vorhersage vor 20 Jahren war. Trotz der verbesserten Hochleistungsrechner können jedoch nicht alle Daten genutzt werden. Denn durch Fortschritte bei den Messinstrumenten wächst auch die Flut an Beobachtungsdaten stetig an. Daher versucht man sich bei der Assimilation auf den Teil der Daten zu beschränken, der am stärksten zur Verbesserung der Vorhersage beiträgt. Einige Beobachtungen, wie die schon erwähnten sichtbaren Satellitenbilder, werden aus einem anderen Grund nicht assimiliert: Ihre Interpretation ist extrem aufwendig und würde mit herkömmlichen Methoden auch auf den nächsten Generationen von Hochleistungsrechnern zu lange dauern. In diesen Fällen ist Hochleistung auf einem anderem Gebiet notwendig, nämlich auf jenem der Entwicklung



Scheck arbeitet mit Daten des EUMETSAT Meteosat Second Generation

wesentlich effizienterer Methoden. Diese werden dazu führen, dass in Zukunft ein größerer Anteil der Datenflut genutzt werden kann.

JAM: Macht es trotzdem Sinn, mehr Daten zu sammeln, als man derzeit verwenden kann?

Bernadett Weinzierl: Ja, denn mit der Weiterentwicklung von Analysealgorithmen kann man die erhobenen Daten immer schneller und umfassender auswerten und oft stellen sich bei der Auswertung von Datensätzen neue Fragen, die mit den zusätzlich erhobenen Daten untersucht werden können. In der Regel beginnt man aber ein Projekt mit einer konkreten Forschungsfrage, überlegt sich, welche Daten man zur Beantwortung dieser Frage erheben muss und arbeitet mit dem erhobenen Datensatz an der gestellten Forschungsfrage. In einem gut geplanten Projekt lässt sich die Mehrheit der Daten auswerten. Bei einem Saharastaub-Projekt der DFG-Forschergruppe SAMUM war der Datensatz so hervorragend, dass wir innerhalb der Forschergruppe mehr als siebenzig Publikationen veröffentlichen konnten und selbst zehn Jahre nach dem Flugzeugexperiment noch mit den damals erhobenen Daten arbeiten. Zuweilen lassen sich aber nicht alle Daten auswerten, weil bereits ein neues Projekt ansteht.

JAM: Wie eng sind Forschung und praktische Anwendung miteinander verknüpft?

Leonhard Scheck: Das Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung arbeitet eng mit dem Deutschen Wetterdienst zusammen. Wir betreiben Grundlagenforschung im Bereich der Datenassimilation und entwickeln Methoden, die die Wettervorhersage verbessern sollen. Unser Ziel besteht darin, diese Methoden für den operationellen Wettervorhersagebetrieb nutzbar zu machen. Bei der Assimilation sichtbarer Satellitenbilder gibt es derzeit noch viele grundsätzliche Fragen zu klären, aber in einigen Jahren sollte das Verfahren so weit ausgereift sein, dass es von den Wetterdiensten benutzt werden kann.

Bernadett Weinzierl: Viele Entwicklungen der Forschung finden zu einem Zeitpunkt statt, an dem noch nicht klar ist, welche praktische Anwendung die Entdeckung haben wird. Manchmal kommen grundlegende Methoden schnell zur Anwendung. Als 2010 der Eyjafjallajökull auf Island ausbrach, haben wir sehr von unserer Grundlagenforschung zum Saharastaub und den dabei entwickelten Messmethoden profitiert und waren dadurch in der Lage, schnell Informationen zur Ausbreitung und den Eigenschaften der Vulkanasche zu liefern. Vulkanasche ist in einigen Aspekten dem Saharastaub ähnlich und hat ebenfalls eine recht große Teilchengröße zwischen zehn bis 30 Mikrometer. Zum Vergleich: Das menschliche Haar hat einen Durchmesser von hundert Mikrometern.

JAM: Wo liegen die Grenzen der Vorhersagbarkeit?



Weinzierl nutzt oft Messungen des DLR-Forschungsflugzeug Dassault Falcon 20E

Leonhard Scheck: Großwetterlagen lassen sich eine Woche im Voraus ganz gut prognostizieren. Wenn es aber im Sommer zu Gewittern kommt, kann man selbst Stunden vorher kaum sagen, wo genau und wie stark sie niedergehen werden. Je kleiner die Skalen, desto geringer ist die Vorhersagbarkeit. Das Gegenbeispiel sind Klimasimulationen: Da geht es um Statistiken auf größeren räumlichen und zeitlichen Skalen, zum Beispiel wie oft welche Großwetterlage auftritt und wie hoch die monatliche Durchschnittstemperatur ist. Die Vorhersagbarkeit dafür ist viel höher und die Änderung des Klimas kann daher über Jahrzehnte hinweg berechnet werden.

Dass sich die Großwetterlage nicht weiter als etwa 14 Tage vorhersagen lässt, liegt nicht an den Methoden, sondern vor allem an der Natur: Die Gleichungen, welche die Atmosphäre beschreiben, sind chaotisch. In einem chaotischen System können kleinste Abweichungen im Anfangszustand enorme Änderungen im Endzustand hervorrufen. Wenn ich also eine Vorhersage mache und es stimmt am Anfang an irgendeinem Punkt die Temperatur nur um ein Grad nicht, dann kann mein Vorhersagemodell noch so gut sein: In den kommenden zwei Wochen wird das Wetter in einer unvorhersehbaren Weise von der Prognose abweichen. Da trifft die Meteorologen keine Schuld.

Im Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung stellen wir uns die Frage, wie nah man mit Wettervorhersagemodellen an diese Grenze der Vorhersagbarkeit heranrücken kann. Um näher an diese Grenze zu kommen, braucht es zum einen verbesserte

Assimilationsmethoden, um mehr Beobachtungen besser nutzen zu können. Zum anderen muss berücksichtigt werden, dass in den Modellen diverse Vereinfachungen stecken. Ohne diese wäre es auch auf Hochleistungsrechnern nicht möglich, eine Vorhersage schnell genug zu berechnen. Sie führen aber auch zu unvermeidlichen Fehlern, die in der Datenassimilation berücksichtigt werden müssen und in weiterentwickelten Modellen reduziert werden sollten.

Bernadett Weinzierl: Mein Blick richtet sich mehr auf die Grenzen der Messbarkeit. Wir haben kürzlich mit der NASA zusammen ein Projekt durchgeführt, das sich damit beschäftigte, inwieweit sich Biotreibstoffe auf die Emissionen von Flugzeugen auswirken – und zwar im Vergleich zu herkömmlichen Jettreibstoffen. Um die Veränderungen der Partikelemissionen in Abhängigkeit vom Treibstoff zu messen, muss man in die Abgase von Flugzeugen hineinfliegen, was der Crew Hochleistungen abverlangt. Denn man muss einem vorausfliegenden Flugzeug in einem Abstand von weniger als hundert Metern folgen. Beträgt der Abstand jedoch einige hundert Meter, dann können die Turbulenzen so stark werden, dass das Messflugzeug gefährdet wäre. Durch eine gute Planung der Messflüge erreichen wir zwar unsere wissenschaftlichen Ziele, minimieren aber die Risiken für die Crew. ❁

Das Gespräch führte Miriam Akkermann. Sie ist Musikwissenschaftlerin und seit 2015 Mitglied der Jungen Akademie.