

An der Gewitterfront

„Das Wettersystem ist und bleibt chaotisch“: Der Meteorologe George Craig sucht nach numerischen und statistischen Methoden, die zuverlässigere Prognosen möglich machen.

Interview: Huber Filser

Warum ist Vorhersage so schwierig? Eigentlich will man doch nur wissen, wie warm es wird und ob die Sonne scheint oder es eher regnet.

Craig: Kurzfristig ist das Wetter zwar nur abhängig von Vorgängen in unserer näheren Umgebung. Doch will man eine Woche in die Zukunft schauen, wird es kompliziert. In diesem Zeitraum beeinflusst die Atmosphäre der gesamten Erde, was bei uns passieren wird.

Wie weit können Meteorologen heute nach vorn blicken?

Craig: Manchmal sind gute Vorhersagen bis zu zwei Wochen möglich, manchmal sind sie bereits nach drei Tagen falsch. Der Zeitraum ist von der aktuellen Wetterlage abhängig. Wird das Wetter wie oft im Sommer von lokalen Gewittern bestimmt, werden die Vorhersagezeiten kürzer. Im Winter dominieren meist stabile, große Tiefdruckgebiete über dem Atlantik das Wettergeschehen. Dann sind langfristige Aussagen möglich. Der Winter ist für Meteorologen eh die einfachste Jahreszeit.

Einfacher als der Sommer?

Craig: Ja, eben wegen der lokalen Gewitter im Sommer. Solche kleinräumigen Ereignisse sind tückisch.

Aktuell gibt es 11.000 landgestützte Mess-einrichtungen, zudem übermitteln 2800 Handelsschiffe, 750 Driftbojen und Flugzeuge Wetterdaten. Würden denn noch mehr Messdaten helfen, die Vorhersagen zu verbessern?

Craig: Teilweise. Bei sehr labilen Wettersituationen wie der Phase vor einem großen Gewitter stoßen wir bei der Beobachtung an die Grenzen. Könnten wir hier kleine Störungen besser erfassen, würden die Vorhersagen auch besser werden.

Welche Daten brauchen Sie für die Vorhersage?

Craig: Wir messen Druck, Temperatur, Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen über den gesamten Globus, weltweit

Datenaustausch selbst im Kalten Krieg

parallel zu ganz bestimmten Uhrzeiten. Das ist eigentlich unglaublich. Überall steigen zur gleichen Zeit Wetterballone auf und senden ihre Daten an die Wetterzentren. Dazu kommen die Dauerbeobachtungen von Satelliten. Damit können wir nun globale Messungen machen. Über den Ozeanen und im tropischen Afrika etwa gibt es allerdings kaum Wetterstationen.

Wer koordiniert den weltweiten Austausch der Daten?

Craig: Die Weltmeteorologische Organisation in Genf. Das ist kaum bekannt, dabei handelt es um eine der am besten funktionierenden internationalen Kooperationen

in der Geschichte, mit Datenzentren in China, Russland, Europa und Amerika. Selbst in Zeiten des Kalten Krieges tauschten die meteorologischen Organisationen aller Länder immer ihre Daten aus.

Wie fasst man all die riesigen Datenmengen in den Simulationen zusammen?

Craig: Das ist sehr kompliziert. Die Simulation basiert auf Statistik, einem Bündel von mathematischen und physikalischen Formeln aus der Strömungsmechanik, die beschreiben, wie sich Gase und Flüssigkeiten in der Atmosphäre verhalten. Die Kenngrößen sind Luftdruck, Temperatur und Wind, der Gehalt von Wasserdampf in der Atmosphäre und die Wolkeneigenschaften. Die differenziellen Gleichungen zu lösen, ist ziemlich anspruchsvoll, das geht nur mit numerischen Methoden und mit Hochleistungsrechnern.

Letztlich müssten Sie in immer höherer Auflösung auch Prozesse der Wolkenphysik und Phänomene wie Konvektion berücksichtigen.

Craig: Theoretisch könnte man das machen, aber die Rechner, die man heute hat oder in den nächsten Jahrzehnten haben wird, reichen dafür nicht. Wolkenphysik ist sehr kompliziert. Das ist auch numerisch ein schwieriges Problem, weil die Wolkentropfen, in denen Kondensation stattfindet, viel zu klein sind für eine genaue Lösung der Strömungsgleichungen.

Bis in welche Höhe muss man Wetterphänomene simulieren?





Überrascht vom Wolkenbruch. Foto: Henning Kaiser/dpa/Picture Alliance

Craig: Die wichtigste Zone liegt im Bereich bis zu zehn Kilometern, also etwa bis zur Reiseflughöhe von Verkehrsflugzeugen. Aber weil auch in den Luftschichten darüber Dinge passieren, die das Geschehen beeinflussen können, muss man die Simulationen fast bis zum Rand der Atmosphäre in 100 Kilometern Höhe ausdehnen.

Das klingt, als würde der Rechenaufwand künftig weiter steigen.

Craig: Ja. Wir gehen immer bis zur Grenze des Möglichen.

Warum sind manchmal die Vorhersagen trotzdem schlecht?

Craig: Das Wetter ist und bleibt chaotisch. Klassischerweise gibt es sehr schlechte Vorhersagen für Europa, wenn es fünf Tage zuvor heftige Gewitter in Nordamerika gab. Das stört die großen Wellenmuster, die zu uns kommen.

Wer also wissen will, ob die Vorhersage etwas taugt, sollte schauen, wie fünf Tage zuvor das Wetter in den USA war.

Craig: So in etwa, das wäre mein Tipp. Man erhält so Hinweise auf die Zuverlässigkeit der Prognose.

Wie lässt sich die Genauigkeit weiter steigern?

Craig: Wir wissen inzwischen, dass es die perfekte Vorhersage nicht gibt. Das Wetter reagiert viel zu sensibel auf kleine Störungen. Die können zu winzigen Fehlern in den Anfangsbedingungen führen, die sich zu einem riesigen Fehler in der Vorhersage auswachsen. Die Revolution in der modernen Wettervorhersage ist, dass wir nun die Unsicherheiten in die Modelle einbauen.

Wie geht das?

Craig: Wir gehen dazu über, nicht wie früher eine einzige Vorhersage zu machen, sondern 30 bis 50 Szenarien gleichzeitig zu berechnen. Dafür verwenden wir unterschiedliche Ausgangssituationen, die sich

nur geringfügig unterscheiden. Am Ende hat man eine Reihe unterschiedlich wahrscheinlicher Szenarien, wie das Wetter in zehn Tagen aussehen könnte.

Kommen Sie da an die Grenzen der Genauigkeit?

Craig: Ja, allmählich. Für eine perfekte Vorhersage müssten wir die Position und die Geschwindigkeit jedes einzelnen Moleküls

Am fünften Tag versagte die Vorhersage völlig

in der Atmosphäre kennen. Das wird man aber nie genau genug erfassen können, deswegen werden wir immer einen Fehler im Anfangszustand haben. Mithilfe der genauen statistischen Methoden kann man aber den Fehler abschätzen, den man macht.

Sie sprachen von winzigen Störungen, die große Auswirkungen haben können. Was genau meinen Sie damit?

Craig: Es gibt bestimmte Zustände, in denen schon eine leichte Störung über Shanghai ausreichen könnte, um Tage später das Wetter in New York zu verändern. Nach der reinen Lehre der Chaostheorie könnte da schon der Flügelschlag eines Schmetterlings genügen.

Den berühmten Schmetterlingseffekt, den der Amerikaner Edward Lorenz beschrieben hat, gibt es also wirklich?

Craig: Ja, aber Lorenz war eben auch sehr bemüht zu sagen, dass dieser Fall zwar denkbar, aber nicht eben von hoher Wahrscheinlichkeit ist. Aber zurück zu den sensiblen Wetterlagen: Wie man sie besser erkennen kann, ist im Moment wirklich eine heiße Frage. Ich hatte schon die Zeit vor

dem Ausbruche eines Gewitters erwähnt oder den Zyklon am Äquator. Da kann selbst eine kleine Störung viel ausmachen.

Was können kleine Störungen bewirken?

Craig: Sie können zu einer großen Störung werden, wenn sie beispielsweise genau am richtigen Ort die Aufwärtsströmung warmer Luft so ablenken, dass sich ein Gewitter entwickelt. Wenn dann dieses Gewitter am richtigen Ort im Vergleich zu den Hoch- und Tiefdruckgebieten liegt, kann es diese stören. Diese Störungen wachsen dann und fünf Tage später hat man eine schlechte Vorhersage auf der anderen Seite der Welt, weil man die minimale Störung am Anfang sozusagen nicht auf dem Zettel hatte. Und dass ein Gewitter alle Modelle bei der Vorhersage für den Tag fünf danach alt aussehen lässt, dieses Szenario tritt maximal an ein paar Tagen pro Monat auf. Wir nennen das Bust.

Ein paar Tage pro Monat – das ist nicht gerade selten.

Craig: Stimmt. Erst kürzlich haben wir bemerkt, dass diese Busts den über die ganze Saison gemittelten Durchschnittsfehler dominieren können. Im Mittel sind unsere Vorhersagen schon sehr gut, so dass wir bei einigen Genauigkeitsmaßen heute bei fast 90 Prozent liegen. Selbst wenn wir die modernen Beobachtungsnetze ausbauen, werden sie vielleicht noch um einige Prozent besser, nicht mehr. Wichtiger ist es, sich um die seltenen, schlechten Fälle, die Totalausfälle zu kümmern.

Ein Beispiel bitte.

Craig: Es gibt einen sehr genau untersuchten Fall in Europa. Zwischen dem 08. und 11. April 2011 war die Vorhersagequalität praktisch bei null. Alle Wetterzentren der Welt waren damals trotz unterschiedlicher Wettermodelle gleich schlecht.

Was war der Grund dafür?

Craig: Überall hatten die Modelle rückblickend vier Tage lang tolle Vorhersagen

gemacht, nur am fünften Tag nicht. So kam man darauf, dass es fünf Tage zuvor große Gewitter über Amerika gegeben hatte. Die Anfangsszenarien der Simulationen berücksichtigen solche Gewitter nur unzureichend, Gewitter sind nämlich klein, schnell und schwierig exakt zu erfassen.

Was heißt klein?

Craig: Das Gewittersystem damals war 100 Kilometer groß, in meteorologischen Maßstäben ist das klein. Sturmgebiete in mittleren Breiten sind 1000 Kilometer groß. Offenbar hatte sich das Gewitter in den Tagen darauf auf die großen Rossby-Wellen ausgewirkt. Eine kleine Instabilität war also die Ursache für die schlechte Vorhersage.

Was sind Rossby-Wellen?

Craig: Hier in den mittleren Breiten Europas sind sie das dominante Wetterphänomen. Man kann sie nicht direkt sehen, sie besitzen eine Wellenlänge von mehreren Tausend Kilometern und laufen normaler-

Eine kleine Instabilität kann die Ursache sein

weise von West nach Ost durch die Atmosphäre. Sie reichen vom Boden bis in 15 Kilometer Höhe und stören die Atmosphäre von den Subtropen bis zum 70. Breitengrad im Norden.

Also laufen bei uns hier gerade diese Wellen durch?

Craig: Ja. Um sie sehen zu können, messen wir Wind und Luftdruck an vielen Punkten auf der ganzen Welt so genau.

Schwappen diese Luftwellen sozusagen über die Erdkugel – wie Wellen im Meer?

Craig: Genau. So wie Wasserwellen vom Wind nach oben und dann von der Schwerkraft nach unten gedrückt werden und damit eine Oszillation in Gang kommt, ist es bei der Luft auch. Wenn Luft beispielsweise nach Norden verschoben wird, wirkt dem aufgrund der Erdrotation die Coriolis-Kraft entgegen, lenkt sie immer weiter nach rechts ab, bis sie schließlich in Richtung Süden strömt. Dort wird die Luftströmung in die andere Richtung gebogen und fließt wieder nach Norden. Das führt insgesamt zu einer Oszillation, zu einer großflächigen Schwingung der Luft. Das sind die Rossby-Wellen.

Der von Ihnen geleitete Sonderforschungsbereich heißt denn auch „Waves to Weather“, was auf die Rossby-Wellen hinweist.

Craig: Ja, die großen Stürme, die starken Tiefdruckgebiete, die starken Wetterfronten, sie sind eigentlich brechende Rossby-Wellen. Bei ruhigem Wetter hat man schön glatte, langsam schwingende Wellen wie auf dem Ozean. Bei einem Sturm oder Zyklon brechen die Wellen und verursachen Wirbel. Wir können das am Himmel beobachten, wenn eine Kaltfront naht. Zunächst ist der Himmel blau, plötzlich naht ein Wolkenband und innerhalb einer Stunde kommt ein Wolkenbruch. In Wirklichkeit brechen dort oben die Rossby-Wellen.

Welche neuen Einflüsse auf die Rossby-Wellen hat man entdeckt?

Craig: Zusätzlich zum Einfluss von Wolken und Gewittern, der unser Hauptfokus ist, könnten die Wellen in unseren Breiten auch von der Stratosphäre, also von oben, oder von den Tropen oder vom Polargebiet modifiziert werden. Wir müssen die seltenen kleinen Störungen identifizieren, von denen das ausgehen kann.

Rückt die Stratosphäre, also die nächsthöhere Etage nach der Troposphäre, neu in den Fokus?

Craig: In der Stratosphäre ist immer etwas los. Da oben, in 18 Kilometern Höhe, gibt es eine sehr starke Strömung. Die Luft dort ist zwar sehr, sehr dünn, hat also wenig Energie, aber sie strömt mit bis zu 150 Metern pro Sekunde. In der Troposphäre erreichen wir meist deutlich weniger. Störungen aus der Stratosphäre können also einen Einfluss auf die Troposphäre haben. Darüber wird aktuell viel geforscht.

Was könnte die Störungen in der Stratosphäre auslösen?

Craig: Wir denken, dass Zyklone und Wirbelstürme in der Troposphäre zunächst den Jetstream in der Stratosphäre stören, die Störungen sich dort aufschaukeln und zu Instabilitäten führen, die wiederum manchmal die Troposphäre beeinflussen. Weil sie wenig Energie haben, können sie nur eine kleine Störung bewirken. Aber kommen sie zum richtigen Zeitpunkt, können auch sie gravierende Auswirkungen haben.

Und der Einfluss der Polarregionen?

Craig: Die Luft über Land oder Eis ist hier sehr viel kälter als die über den Ozeanen. Die kalte, dichtere Luft will immer unter die wärmere Luft, das kann schnell zu Turbulenzen und instabilen Zuständen führen, und wie bei Gewittern kann das die Rossby-Wellen beeinflussen.

Wird dieses neue Wissen die Wettervorhersage verbessern?

Craig: Ja, denn manche Vorhersagefehler sind auch mit Fehlern im Modell verbunden, wir sind bei Weitem nicht perfekt. Und wir verstehen auch die Fehlerwachstumsprozesse immer besser, das macht die Modelle genauer. Die große Herausforderung ist es, die Grenzen der Vorhersagbarkeit in verschiedenen Situationen zu identifizieren.

Was hat man davon, dass ein Meteorologe Fehler besser versteht?

Craig: Man bekommt auch Informationen über diese Fehler. Bei einer Regenwahr-



Kleine Gewitterzellen können die großen Muster der Rossby-Wellen, die um die Welt gehen, stören, sagt George Craig. Foto: LMU

scheinlichkeit von 90 Prozent weiß man: Ok, man muss das Picknick absagen. Bei 50 Prozent sollte man den Regenschirm mitnehmen und vielleicht hat man Glück. Informationen über Wahrscheinlichkeit helfen im Alltag. Es gibt viele Bereiche, für die Wahrscheinlichkeiten wertvoll sind.

Welche?

Craig: Im Energiesektor können Stromversorger damit die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien wie Photovoltaik und Windkraft besser planen. Der Katastrophenschutz kann besser abschätzen, ob ein Hochwasser oder ein Waldbrand droht, und sich dagegen rüsten.

Könnte man nicht verstärkt solche zusätzlichen Informationen auch für die Allgemeinheit besser aufbereiten?

Craig: Ja. Wir arbeiten mit Informatikern zusammen, die an anderen Arten der Visualisierung arbeiten. Animationen wie ein Regenradar etwa sind schon ein Fortschritt, sie nehmen die zeitliche Entwicklung mit auf.

Es gibt immer mehr Apps für Smartphones. Wäre das auch ein Markt für neue Visualisierungen?

Craig: Ja. Sicher, alles was sich auf einem Bildschirm darstellen lässt, ist für Apps geeignet. Man könnte zum Beispiel die Entstehungsgeschichte eines Gewitters zeigen, die Entstehung von Wolken dreidimensional darstellen. Für einen Meteorologen die allerschlimmste Darstellung ist dieses platte Bildchen mit einer Wolke, einer lächelnden Sonne und einem Wert für die Temperatur.

Zum Schluss: Für welche Region kann man das Wetter am besten vorhersagen?

Craig: Das sind wohl die Tiwi-Inseln im tropischen Norden Australiens. Sie liegen rund 80 Kilometer nordwestlich von Darwin. Dort bildet sich zu bestimmten Jahreszeiten jeden Tag um die gleiche Uhrzeit ein Gewitter über den Inseln. Es blitzt und donnert heftig, gewaltige Wolkentürme ragen bis in die Tropopause in 17 Kilometern Höhe. Das ist so markant, dass sich sogar Piloten daran orientieren.

Ist das für Meteorologen nicht langweilig?

Craig: Ganz im Gegenteil. Man kann dort den Transport von Luftmassen in die obere Atmosphäre besonders gut beobachten. Es bilden sich ja verlässlich mächtige Gewitter, die Spurenstoffe in kurzer Zeit bis in die Stratosphäre tragen können. Diese Substanzen wie FCKW oder Stickoxide beeinflussen Ozonschicht und Strahlungshaushalt der Erde. Wir können immer dazulernen.

Prof. Dr. George Craig

ist Inhaber des Lehrstuhls für Theoretische Meteorologie an der LMU und forscht auch am Institut für Physik der Atmosphäre, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen. Craig, Jahrgang 1961, studierte Mathematik und Physik und promovierte in Physik an der University of Toronto, Kanada, forschte und lehrte an der University of Reading, Großbritannien, bevor er 2003 nach München kam. Er ist Sprecher des neuen Sonderforschungsbereiches „Waves to Weather“, den die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanziert.