

DER SPIEGEL, Nr. 13 / 23. März 2019

Wissenschaft

## Eine neue Strategie

**Klima** Noch immer sind die Vorhersagen zur globalen Erwärmung erstaunlich ungenau. Mithilfe schnellerer Supercomputer und künstlicher Intelligenz wollen Forscher jetzt endlich das größte Problem der heutigen Klimamodelle in den Griff bekommen.

Es ist eine schlichte Zahl, doch wird sie das Schicksal dieses Planeten bestimmen. Sie ist leicht zu beschreiben, doch vertrackt schwierig zu berechnen. Die Forscher nennen sie: »Klimasensitivität«.

Sie gibt an, um wie viel sich die Durchschnittstemperatur auf der Erde erwärmt, wenn sich die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre verdoppelt. Schon in den Siebzigerjahren wurde sie mithilfe primitiver Computermodelle ermittelt. Die Forscher kamen zu dem Schluss, dass ihr Wert vermutlich irgendwo zwischen 1,5 und 4,5 Grad liegen dürfte.

An diesem Ergebnis hat sich bis heute, rund 40 Jahre später, nichts geändert. Und genau darin liegt das Problem.

Die Rechenleistung der Computer ist auf das Vielmillionenfache gestiegen, aber die Vorhersage der globalen Erwärmung ist so unpräzise wie eh und je. »Es ist zutiefst frustrierend«, sagt Björn Stevens vom Hamburger Max-Planck-Institut für Meteorologie.

Seit mehr als 20 Jahren forscht er nun schon auf dem Feld der Klimamodellierung. Er hat miterlebt, wie die Modell-Erde, auf der die Wissenschaftler das Klima simulieren, immer komplizierter und realistischer wurde. Die Forscher setzten Meeresströme in den Ozeanen in Bewegung, und sie ließen Wälder auf den Kontinenten wachsen. Stevens hat selbst viel beigetragen zum Fortschritt. Und doch musste er sich immer wieder aufs Neue eingestehen, dass seine Zunft, was die Vorhersage des Klimawandels betrifft, auf der Stelle tritt.

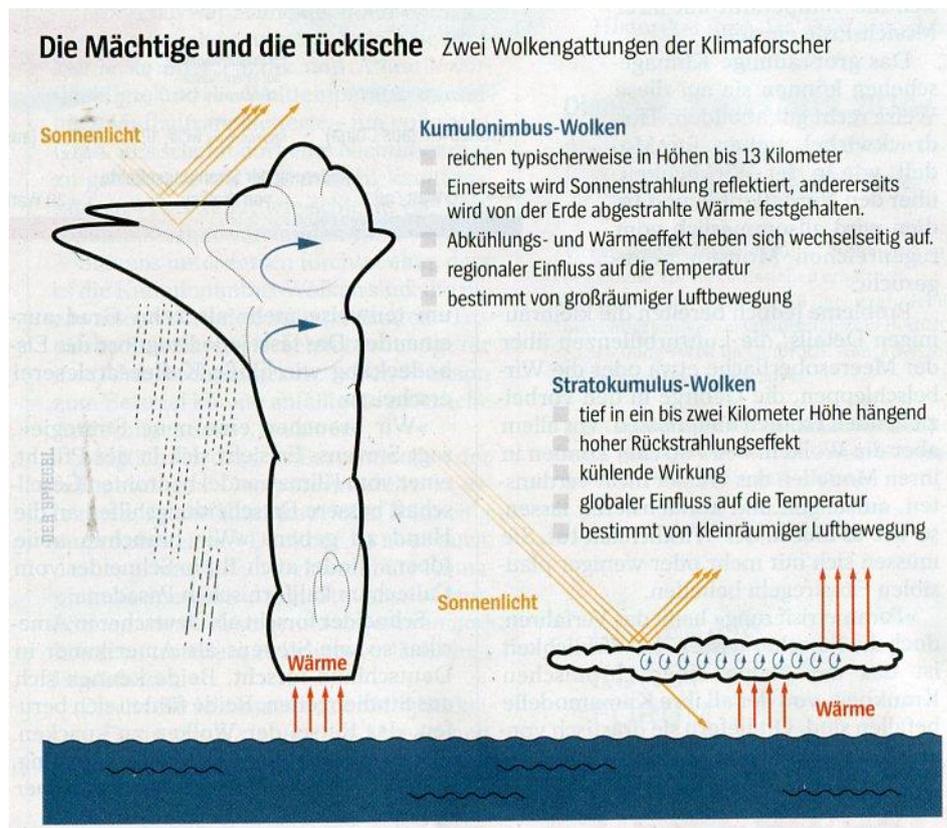
Es ist nicht leicht, dieses Versagen der Öffentlichkeit zu vermitteln. Stevens will ehrlich sein, er will keine Probleme vertuschen. Trotzdem möchte er nicht, dass die Leute denken, die jüngsten Jahrzehnte der Klimaforschung seien umsonst gewesen.

»Die Genauigkeit der Vorhersagen ist nicht besser geworden, aber unser Vertrauen in sie ist gewachsen«, sagt er. Die Forscher hätten alles geprüft, was der globalen Erwärmung vielleicht entgegenwirken könnte. »Nun sind wir sicher: Sie kommt.«

Genau das, meint Stevens, sei die Botschaft gewesen, welche die Politiker gebraucht hätten, um sich auf das Pariser Klimaabkommen einigen zu können. »Wir haben da einen entscheidenden Beitrag geleistet«, sagt er.

Um sich jedoch konkret auf das Kommende vorzubereiten, taugten die Modelle der Klimaforscher nicht. Als Entscheidungshilfe beim Bau von Deichen und Entwässerungskanälen seien sie ungeeignet. »Unsere Computer sagen nicht einmal mit Sicherheit voraus, ob die Gletscher in den Alpen zu- oder abnehmen werden«, erklärt Stevens.

Die Schwierigkeiten, denen sich er und seine Forscherkollegen gegenübersehen, lassen sich in ein Wort fassen: **Wolken**. Die träge über den Himmel ziehenden Gebirge aus Wasserdampf sind der **Fluch aller Klimaforscher**.



Zunächst ist es die enorme Vielfalt ihrer Erscheinungsformen, die **Wolken so unberechenbar** macht. Mal bilden sie zarte Streifen, mal treiben sie in Herden bauschiger Gebilde dahin, oder sie türmen sich zu kilometerhohen Unwetterfronten auf. Einige wabern hoch oben als lichtdurchlässige Schleier am Himmel, andere schließen sich zu einer dichten, tief hängenden Decke zusammen. Und auch in ihrer Zusammensetzung unterscheiden sie sich: Die einen bestehen aus winzigen Wassertropfchen, andere enthalten viele kleine Körnchen aus Eis.

Jeder dieser Wolkentypen wirkt anders auf das Klima ein. Und vor allem: Sie wirken kräftig.

Selbst Laien kennen den Effekt. Sobald sich eine Wolke vor die Sonne schiebt, wird es kühler. Umgekehrt liegen die Wolken im Winter oft wie ein Deckel über dem Land, was die Wärme am Boden hält.

**Natürliche Prozesse im Computer zu simulieren wird immer dann besonders heikel, wenn kleine Ursachen große Wirkung hervorbringen. Für keinen anderen Faktor im Klimageschehen gilt das so sehr wie für die Wolken.** Alles Gewölk am Himmel zusammengenommen würde, zu Wasser kondensiert, die Erde mit einem Film von gerade einmal 0,1 Millimeter Dicke bedecken. Diese winzige Menge Wasser reicht aus, das Klima massiv zu beeinflussen.

Das verdeutlicht eine weitere Zahl: **Verringerte sich der Anteil der tief hängenden Wolken auf Erden auch nur um vier Prozentpunkte, würde es weltweit schlagartig um rund zwei Grad wärmer.** Der gesamte Temperatureffekt, der im Pariser Abkommen als gerade noch hinnehmbar bewertet wurde, wird also verursacht durch vier Prozent einer 0,1 Millimeter dünnen

Schicht - kein Wunder, dass da verbindliche Vorhersagen nicht leicht zu treffen sind.

Es kommt hinzu, dass die Bildung von Wolken stark von den jeweiligen Bedingungen vor Ort abhängt. Die Wetterküche ist bestimmt von Wirbeln, die wenige Kilometer, oftmals sogar nur einige Hundert Meter oder weniger messen. Selbst die modernsten Klimamodelle aber, die ja den gesamten Planeten abbilden, sind für so kleinräumige Prozesse noch immer blind.

Die Modellrechnungen der Wissenschaftler sind im Verlauf der vergangenen 50 Jahre immer komplexer geworden, das Prinzip jedoch ist dasselbe geblieben: Die Forscher programmieren eine möglichst originalgetreue Erde in ihre Computer ein und geben vor, wie stark die Sonne in welcher Weltregion strahlt. Dann schauen sie, wie sich die Temperatur auf ihrer Modell-Erde einstellt.

Das großräumige Klimageschehen können sie auf diese Weise recht gut abbilden. Tiefdruckwirbel ziehen im Modell, wie in der Wirklichkeit, über den Nordatlantik, und Indien wird allsommerlich vom regenreichen Monsun heimgesucht.

Probleme jedoch bereiten die kleinräumigen Details: die Luftturbulenzen über der Meeresoberfläche etwa oder die Wirbelschleppen, die Gebirge in den vorbeiziehenden Fronten hinterlassen. Vor allem aber die Wolken: Die Forscher können in ihren Modellen das Wasser nicht verdunsten, aufsteigen und kondensieren lassen, so wie es dies in der Wirklichkeit tut. Sie müssen sich mit mehr oder weniger plausiblen Faustregeln behelfen.

»Parametrisierung« heißt das Verfahren, doch die Forscher wissen: In Wirklichkeit ist das der Name einer chronischen Krankheit, von der all ihre Klimamodelle befallen sind. Oft liefern sie drastisch voneinander abweichende Ergebnisse. Die Temperaturen in der Arktis zum Beispiel klaffen in den verschiedenen Modellen um teilweise mehr als zehn Grad auseinander. Das lässt jede Prognose der Eisbedeckung wie bloße Kaffeesatzleserei erscheinen.

»Wir brauchen eine neue Strategie«, sagt Stevens. Er sieht sich in der Pflicht, einer vom Klimawandel bedrohten Gesellschaft bessere Entscheidungshilfen an die Hand zu geben. »Wir brauchen neue Ideen«, findet auch Tapio Schneider vom Caltech im kalifornischen Pasadena.

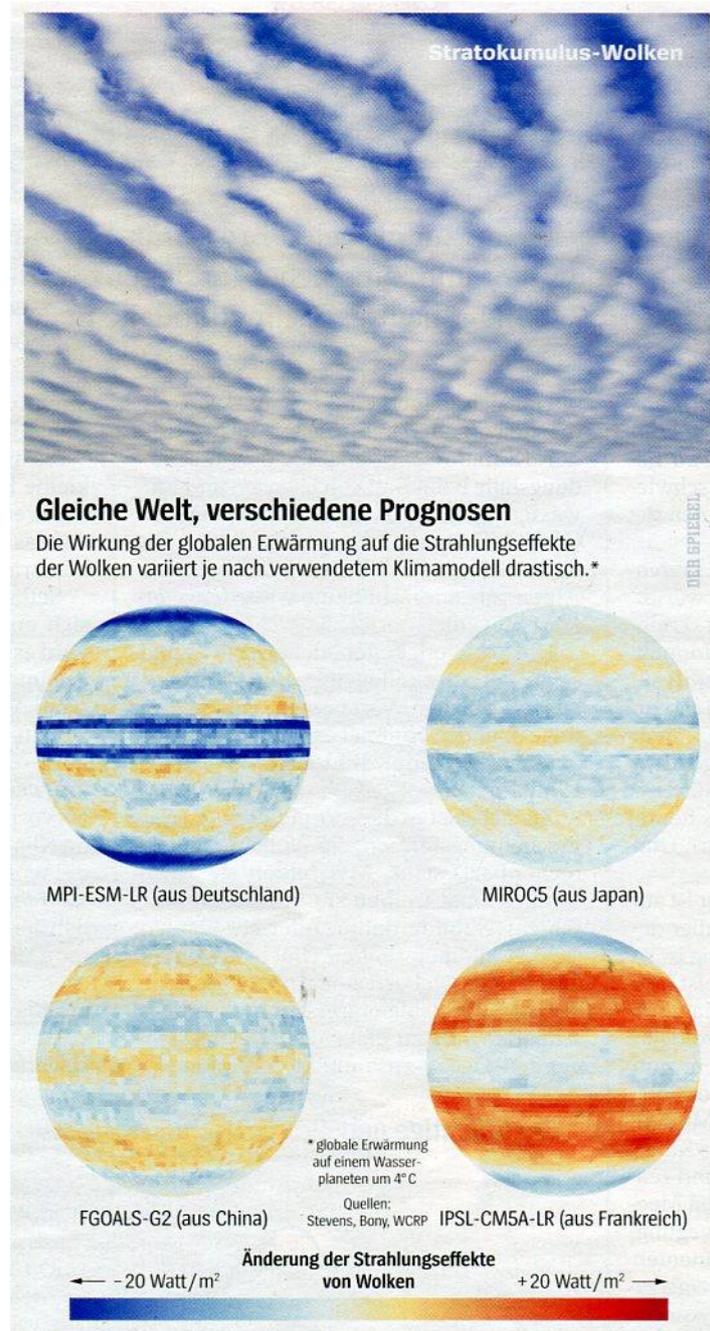
Schneider forscht als Deutscher in Amerika, so wie Stevens als Amerikaner in Deutschland forscht. Beide kennen sich aus Studienzeiten. Beide fühlen sich berufen, das Rätsel der Wolken zu knacken. Doch sind sie unterschiedlicher Meinung, welcher Weg ans Ziel führen wird. Über diese Frage haben sie sich zerstritten.

Zusammen mit Kollegen vom Jet Propulsion Laboratory und vom MIT hat Caltech-Klimatologe Schneider eine Forscherallianz geschmiedet. Ihr Ziel: die »Klimamaschine« zu bauen. So nennen Schneider und seine Mitstreiter ihr neues Computermodell, das vor allem die tückischste Wolkengattung ins Visier nehmen soll: die Stratokumuli.

Es handelt sich um den häufigsten Typ von Wolken auf der Erde. Vor allem in den Subtropen hängen Stratokumuli vielerorts in geschlossenen Decken tief über den Ozeanen. Für das Klima sind sie von herausragender Bedeutung. Sie sind eine Art Thermostat der Erde.

Stratokumulus-Wolken reflektieren einen großen Teil des einfallenden Sonnenlichts, deshalb haben sie eine stark kühlende Wirkung. So sitzt am Himmel über den subtropischen

Meeren eine der wichtigsten Stellschrauben der Welttemperatur: Wenn sich hier neue Stratokumulus-Wolken bilden, wird es kälter auf Erden - und wärmer, wenn sie sich auflösen.



Doch ausgerechnet dieser Wolkentyp ist rechnerisch besonders schwer in den Griff zu bekommen. Denn die Stratokumulus-Dynamik ist bestimmt von kleinräumigen Turbulenzen. Wer diese originalgetreu simulieren will, braucht Rechenmodelle mit wenigen Metern Auflösung. »Das liegt weit jenseits der Möglichkeiten heutiger Computer«, sagt Schneider. »Wenn wir warten, bis die nötige Rechenkapazität bereitsteht, wird der Klimawandel, den wir vorhersagen wollen, längst eingetreten sein.«

Er hofft, den Weg mit seiner Klimamaschine abkürzen zu können. Er will den Computer lehren, einige wenige Regionen der Erde mit hoher Auflösung zu simulieren, um dann diese Ergebnisse in großräumige Modelle einzufüttern. Die Zeit dafür sei reif, meint er. Erstmals

seien die Computer leistungsstark genug, um klein- und großräumige Simulationen miteinander verschränken zu können.

Künstliche Intelligenz (KI) soll diese hochkomplexe Aufgabe erleichtern. In der Tat könnte es scheinen, als wären die Herausforderungen der Klimaforschung wie geschaffen für die Anwendung von KI-Systemen. Denn die Meteorologen stellen gewaltige Datenkonvolute bereit, in denen die Computer selbstständig nach Mustern suchen könnten. Genau darin liegt die Stärke der KI-Programme, die beispielsweise auch für Gesichtserkennung eingesetzt werden.

Bisher allerdings waren die Ergebnisse enttäuschend. Die Computer, so zeigte sich, tun sich schwer damit, Muster, die sie anhand des heutigen Klimas erlernt haben, in demjenigen der Zukunft wiederzuerkennen. Auch fehlen wichtige Daten, etwa über die Feuchtigkeit und die Strömungen innerhalb der Wolken. Schneider jedoch glaubt zu wissen, wie er solcherlei Probleme umschiffen kann.

Stevens wünscht seinem Freund in Pasadena viel Glück mit seiner Klimamaschine. »Wir können jeden Fortschritt brauchen«, sagt er. An einen Durchbruch aber mag er nicht recht glauben. Auch Stevens hat sich lange mit dem Stratokumulus-Problem befasst und ist dabei zu der Überzeugung gelangt, dass es sich derzeit mit Klimamodellen noch nicht knacken lasse.

Der Hamburger Max-Planck-Forscher hat sich deshalb einem anderen Typ Wolken zugewandt, den Kumulonimbussen. Das sind mächtige Gewitterwolken, die sich mitunter, dunkel und bedrohlich, höher als jedes Gebirge bis an den Rand der Stratosphäre emporrecken.

Zwar habe diese Wolkengattung auf die Durchschnittstemperatur der Erde einen vergleichsweise geringen Einfluss, erklärt Stevens. Denn sie reflektieren ungefähr ebenso viel Sonnenstrahlung ins All, wie sie andererseits von der Erde abgestrahlte Wärme festhalten. Doch auch Kumulonimbusse sind ein wichtiger Klimafaktor. Denn diese Wolken transportieren Energie. Verändert sich ihre Zahl oder ihre Verteilung, dann kann dies zur Verschiebung großer Wettersysteme oder ganzer Klimazonen beitragen.

Vor allem eine Eigenschaft macht die wuchtig-spektakulären Kumulonimbus-Wolken für Stevens interessant: Sie sind beherrscht von kräftigen Konvektionsströmen, die großräumig genug wirbeln, um für moderne Supercomputer berechenbar zu sein. Große Hoffnungen setzt der Forscher auf eine neue Generation von Klimamodellen, die gerade an den Start gehen.

Während die meisten ihrer Vorgänger für Berechnungen ein Raster mit einer Auflösung von rund hundert Kilometern über die Erde legen, haben diese neuen Modelle die Maschenweite auf fünf oder sogar noch weniger Kilometer verringert. Um ihre Verlässlichkeit zu testen, hat Stevens, zusammen mit Kollegen in Japan und den USA, eine erste Vergleichssimulation durchgeführt.

Dabei zeigte sich, dass diese Modelle die tropischen Sturmsysteme recht gut abbilden. Es scheint also, als würde dieser kritische Teil des Klimageschehens künftig besser vorhersagbar sein. Allerdings belief sich der simulierte Zeitraum zunächst nur auf 40 Tage. »40 Tage und 40 Nächte, für Klimaforscher hat das Symbolwert«, sagt der Hamburger Forscher - so lange trieb Noah mit der Arche durch die Sintflut. Aber natürlich weiß Stevens: Um den Klimawandel darzustellen, muss er die Modelle für die Dauer von 40 Jahren laufen lassen. Bis dahin ist es noch ein weiter Weg.

Globale Vorhersagen aus Pasadena, regionale aus Hamburg - es wäre schön, wenn alles so klappte, wie es sich die beiden Kontrahenten vorstellen. Einstweilen allerdings ist nur gewiss, dass die Menschheit noch einige Zeit auf handfestere Klimaprognosen warten müssen.

Und selbst wenn sich die Wolken irgendwann den Gleichungen der Forscher fügen, wird die Welt dann sicher vor Überraschungen sein? Keiner der beiden Forscher mag da Entwarnung geben. »Wir betreten unkartiertes Terrain«, sagt Schneider. »Da gibt es keine Gewissheiten.«

Gerade hat er ausgerechnet, was passiert, falls sich die Stratokumulus-Wolken über den subtropischen Ozeanen großflächig auflösen sollten. Seinen Modellrechnungen zufolge würde das zwar erst bei einer Kohlendioxidkonzentration von 1200 ppm geschehen. Dieser Wert liegt dreimal so hoch wie der heutige, selbst in den düstersten Treibhausszenarien gilt es als unwahrscheinlich, dass er erreicht wird.

Trotzdem war Schneider überrascht, als er sah, wie sich in seinem Modell die Wolkendecke über Pazifik und Atlantik verflüchtigte und die Welttemperatur daraufhin unaufhaltsam kletterte - um volle acht Grad. »Es scheint dort eine Nichtlinearität zu geben, die wir bisher nicht kannten«, sagt er. »Das zeigt, wie schlecht die Stratokumuli bisher verstanden sind.«

Stevens unterdessen fürchtet eher, dass es die Kumulonimbus-Wolken sind, die unerwartet Unfrieden stiften könnten. Tropische Sturmsysteme seien berüchtigt für ihre Unberechenbarkeit. »Der Monsun zum Beispiel könnte anfällig für plötzliche Änderungen sein«, meint er.

Möglich sei, dass die Berechnungen der feinmaschigen Computermodelle es erlaubten, solche Klimakapriolen frühzeitig zu prophezeien. »Denkbar ist aber auch, dass es prinzipiell unvorhersehbare Klimaphänomene gibt«, sagt Stevens. »Dann können wir noch so genau simulieren und kommen trotzdem zu keinen verlässlichen Ergebnissen.«

Das ist die schlimmste aller Möglichkeiten. Denn dann steuert die Menschheit auch weiterhin ins Ungewisse.

Johann Grolle