

# greenpeace magazin.

6.20 November - Dezember  
werbefrei.  
leserfinanziert.

**EXKLUSIV**

Der Klimawandel  
ist eine Erfindung  
von Britney Spears  
und Bill Gates!

**WAHRHEIT**

Wissen, was wirklich ist



**Was wir wirklich  
übers Klima  
wissen.**

**Und was wir nie  
wissen werden.**

Text Toralf Staud Infografiken Ela Strickert

# Die Wissenschaft sei sich über die Erderhitzung noch uneins, behaupten Klimawandelleugner. In der Tat gibt es in der Forschung Unsicherheiten über Details. Aber auch den breiten Konsens, dass wir dringend handeln müssen

Rainer Kraft, 46, ist nicht nur Bundestagsabgeordneter der AfD und klimapolitischer Sprecher seiner Fraktion, sondern auch Doktor der Chemie. Eigentlich also müsste er wissen, wie Wissenschaft funktioniert. Dennoch steht er an einem Dienstagnachmittag im September 2018 am Rednerpult im Bundestagsplenum und wettet gegen „unseriöse Kaffeesatzleserei“.

In Broschüren des Umweltministeriums, moniert Kraft, würden „mögliche Szenarien“ zum Klimawandel als „zweifelsfrei eintretende Fakten präsentiert“. Dabei könne doch niemand beweisen, dass durch menschengemachte Emissionen von Treibhausgasen tatsächlich ein Temperaturanstieg von zwei Grad Celsius drohe. Dann zitiert Kraft aus einem Report des Weltklimarates IPCC, um seine Kritik zu stützen: Das Klima sei ein „nichtlineares, chaotisches System“ und „eine Langzeitvorhersage von zukünftigen Klimazuständen nicht möglich“. Er hebt beide Zeigefinger und wiederholt im englischen Original: „not possible“!

Mit diesem Auftritt führte Kraft – wie in vielen seiner Reden – typische Methoden der Desinformation vor. So war das verlesene Zitat zwar wörtlich korrekt. Doch erstens stammte es aus einem fast zwanzig Jahre alten, längst nicht mehr aktuellen IPCC-Bericht. Zweitens war es irreführend aus dem Zusammenhang gerissen. Im Report folgt direkt darauf ein Satz, der erklärt, wie trotz der Besonderheiten des Klimasystems mithilfe von Computermodellen doch robustes Wissen gewonnen werden kann (mehr dazu später). Drittens tat Kraft, was einer der beliebtesten Tricks von Klimademagogen ist. Er forderte, was die Forschung gar nicht liefern kann: absolute Gewissheit.

Angriffe auf die Klimaforschung – aber zum Beispiel auch auf Epidemiologen in der Coronakrise – machen sich gern eine wichtige Eigenschaft von Wissenschaft zunutze: Praktisch alles Wissen ist nur vorläufig. Im Prinzip kann jede Erkenntnis durch eine neue Erkenntnis ersetzt werden, zumindest in den empirischen, also auf Beobachtung basierenden Wissenschaften (auch dazu später mehr). Streng wissenschaftlich betrachtet ist selbst so etwas wie die

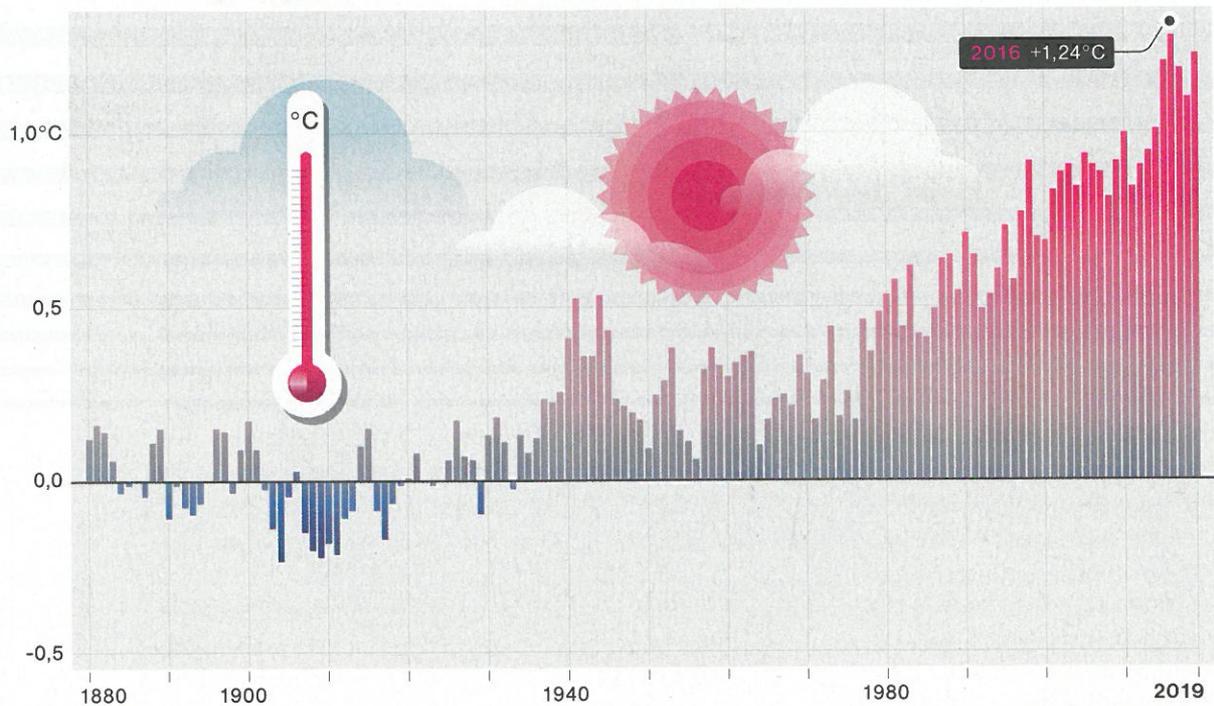
Schwerkraft „nur“ eine Theorie – allerdings eine sehr gut belegte. Wenn Leugner des Klimawandels deshalb einen Forscher fragen, ob er „absolut sicher“ über irgendetwas ist, dann kann der eigentlich nur mit „nein“ antworten. Punkt für seine Gegner.

Wenn ein Forscher auf einem Kongress eine Kollegin in ihrem Vortrag über Unsicherheiten reden hört, dann sieht er darin einen Beleg sorgfältigen Arbeitens. Laien hingegen (miss-)verstehen oft: Eigentlich wisse man noch gar nichts. Auch die Berichte des IPCC bieten immer wieder Stoff für dieses Aneinander-Vorbeireden. Die Reports tragen penibel den weltweiten Stand der Klimaforschung zusammen, in jahrelanger Kleinarbeit werten Hunderte von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern Tausende von Einzelstudien aus. In verwickelten E-Mail-Diskussionen und manchmal nächtelangen Sitzungen ringen da Spezialisten des jeweiligen Fachgebiets um jedes Wort, und ihre Textentwürfe werden dann noch mal in mehreren Stufen von anderen Fachleuten gegengelesen. Am Ende ist zu jeder einzelnen Aussage angegeben, wie verlässlich eine Erkenntnis ist – also wie viele Forschungsbefunde es zu einer Frage gibt, wie gut diese belegt sind und wie sehr sie übereinstimmen. So hieß es im letzten Report von 2014, es sei „extrem wahrscheinlich“, dass der Mensch die Hauptursache des aktuellen Klimawandels ist. Für Wissenschaftler ist das eine äußerst starke Aussage – doch Laien können heraushören, es sei eben immer noch nicht ganz sicher.

Zurück zum AfD-Mann Rainer Kraft: Wenn er betont, es gebe in der Klimaforschung „Unschärfen“, dann stimmt das – und führt doch in die Irre. Denn die Wissenschaft wird zum Beispiel nie auf mehrere Nachkommastellen genau angeben können, wie stark sich die Erde aufheizen wird. Aber dass der ungebremste Ausstoß von Treibhausgasen das Klimasystem erhitzt und die Erde auf dem Pfad zu weit mehr als zwei Grad Erwärmung ist, ist keine „Kaffeesatzleserei“ – sondern praktisch sicher. Andere Fragen dagegen sind noch offen, manche schlicht nicht zu beantworten. Wir geben einen Überblick über die wichtigsten:



Veränderung der globalen Durchschnittstemperatur (Vergleichszeitraum 1880-1910)



## Was wir sicher über den Klimawandel wissen ...

Das Prinzip des Treibhauseffekts ist simpel: Sonnenstrahlung erwärmt die Erdoberfläche, die ihrerseits Wärme Richtung All abstrahlt. Bestimmte Spurengase in der Lufthülle nehmen einen Teil dieser Infrarot-Rückstrahlung auf und halten so die Energie in der Atmosphäre. Mehr dieser Spurengase bedeuten eine wärmere Erde. 1824 hat der französische Mathematiker Joseph Fourier diesen Mechanismus erstmals beschrieben. Es folgten die US-Erfinderin Eunice Foote, der schwedische Chemiker Svante Arrhenius und zahllose andere, die die Treibhauswirkung von Spurengasen belegten und maßen - anfangs in einfachsten Laboren, heute mit hochsensiblen Infrarotspektrometern.

Rund dreißig davon stehen in Forschungsstationen überall auf der Welt, zum Beispiel auf einem Campus des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) am Rand von Garmisch-Partenkirchen. Bei wolkenlosem Himmel öffnet sich dort eine Observatoriumskuppel. Zwei computergesteuerte Spiegel folgen dem Stand der Sonne und lenken einen armdicken Strahl ihres Lichts auf die Sensoren. Sonnenlicht besteht aus Strahlung vieler Wellenlängen, jedes Treibhausgas absorbiert eine bestimmte Frequenz - bei Kohlendioxid vor allem Lichtwellen von 15 Mikrometern. Die Sensoren mes-

sen präzise, wie viel Strahlung welcher Wellenlänge auf der Erde ankommt. Das Ergebnis ist eine gleichmäßige Kurve, in der es tiefe Kerben gibt - jene bei 15 Mikrometer zeigt zweifelsfrei die Absorption durch CO<sub>2</sub>. Aus der Tiefe dieser „Fingerabdrücke“ lässt sich sogar errechnen, wie viele CO<sub>2</sub>-Moleküle dem Sonnenstrahl beim Gang durch die Atmosphäre im Weg waren. Seit 2007 laufen die Messungen in Garmisch - in diesen 13 Jahren stieg der CO<sub>2</sub>-Gehalt von 380 Teilchen pro Million Luftmoleküle (ppm) auf rund 410 ppm.

Ruft man Ralf Sussmann an, der die Station leitet, erklärt er alles geduldig und sagt: „Die Treibhauswirkung von CO<sub>2</sub> ist grundlegende Physik!“ Hat er eine Idee, warum Leute daran zweifeln? Er lacht kurz, überlegt, sagt dann: „Mein Gefühl ist, sie verstehen es eigentlich - aber behaupten das Gegenteil.“

Auch über das Klima weit zurückliegender Erdzeitalter hat die Forschung in den vergangenen Jahrzehnten immer mehr herausgefunden. Paläoklimatologie heißt dieser Zweig der Klimawissenschaften. Zu seinen Erkenntnisquellen gehören geologische Klimaarchive, sogenannte Proxies (Stellvertreter). Mit Spezialmaschinen bohren Forscher zum Beispiel tiefe Löcher in die Panzer von Grönland und Antarktis und

fördern Eis zutage, in dem bis zu 800.000 Jahre alte Luftbläschen eingeschlossen sind. Daraus lässt sich die Zusammensetzung der damaligen Atmosphäre rekonstruieren. Sedimentablagerungen in Seen, die Jahresringe versteinertes Baumstämme, Tropfsteine – aus unzähligen Quellen und mit detektivischem Spürsinn haben Wissenschaftler ein Bild der Vergangenheit zusammengesetzt.

Ja, das Klima hat sich immer schon gewandelt, fanden sie heraus – aber auch die Ursachen dieser natürlichen Veränderungen: minimale Ungleichmäßigkeiten der Erdumlaufbahn, Vulkanausbrüche, Schwankungen der Sonnenaktivität. Die Erdgeschichte belegt auch die Macht des Klimagases Kohlendioxid: Die Schwankungen der äußeren Einflüsse allein wären viel zu schwach, um Kalt- und Warmzeiten, das An- und Abschwellen der Eispanzer zu verursachen – diese Vorgänge sind nur durch Kettenreaktionen im Klimasystem und die Treibhauswirkung von CO<sub>2</sub> erklärbar. Weil die Gründe für frühere Klimawechsel so gut verstanden sind, ist auch klar, dass der aktuelle Wandel auf die Aktivitäten der Menschen zurückgeht. Veränderungen der Sonnenaktivität fallen als Ursache aus: Ihre Leuchtkraft nimmt seit fünfzig Jahren leicht ab, während die Erdtemperatur stark steigt.

Die Menge an Kohlendioxid und anderen Klimagasen wie Methan in der Atmosphäre hat seit Beginn der Industrialisierung drastisch zugenommen. Vergleicht man aktuelle CO<sub>2</sub>-Messungen mit Luftbläschen aus Eisbohrkernen, dann zeigt sich, dass die Konzentration so hoch ist wie nie seit Hunderttausenden von Jahren. Man hat sogar den menschlichen Fingerabdruck gefunden: Ultrasensible Messgeräte zeigen, dass der Anteil von <sup>13</sup>C und <sup>14</sup>C in der Atmosphäre

abnimmt. Das sind Varianten des Kohlenstoffatoms, die vor allem in der belebten Natur vorkommen, aber kaum in Kohle oder Öl. Das hinzugekommene CO<sub>2</sub> stammt also eindeutig aus fossilen Brennstoffen.

## ... und wie er sich bereits auswirkt

Folgerichtig steigen die Temperaturen auf der Erde seit Beginn der Industrialisierung – besonders schnell in den vergangenen Jahrzehnten (Grafik Seite 23). Dies belegen Milliarden von Wetterdaten aus allen Teilen der Welt. Die globale Mitteltemperatur liegt bereits rund ein Grad Celsius höher als Ende des 19. Jahrhunderts. Seit 1985 war weltweit jeder Monat wärmer als der Durchschnitt des 20. Jahrhunderts. Wer jünger als 35 Jahre ist, verbringt also bereits sein gesamtes Leben auf einer erhitzten Erde.

Die sichtbaren Folgen des Temperaturanstiegs: Das Meereis rings um den Nordpol schwindet. Die Dauerfrostgebiete schrumpfen, die Gletscher weltweit verlieren an Masse, und die Meeresspiegel steigen immer schneller, wie Satellitendaten zeigen. Ins Bild der sich erheizenden Erde passen die zunehmenden Extremereignisse: infernalisches Waldbrände in Australien und den USA, Hitzewellen und Dürren in Afrika oder Europa, Wirbelstürme von außergewöhnlicher Stärke.

Kombiniert man das Wissen über die Wirkung von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen mit den Beobachtungen, was sie in der Erdgeschichte bewirkt haben, mit der Menge der Emissionen und mit den schon sichtbaren Folgen – dann ist klar, dass die Menschheit auf eine Katastrophe zuläuft, wenn sie nicht umsteuert.

## Was wir noch nicht sicher wissen ...

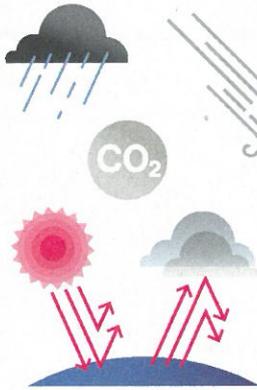
Natürlich gibt es rund ums Klima viele offene Fragen – nicht umsonst wird mit großem Aufwand zum Thema geforscht. Eine der Hauptquellen von Unsicherheit sind Wolken. Sie reflektieren Sonnenstrahlung ins All, halten aber auch Wärmerückstrahlung der Erde auf; der Nettoeffekt hängt von Wolkentyp und -höhe ab. Der Klimawandel dürfte die Verteilung und Menge der Wolken verändern. Wahrscheinlich wird dies unterm Strich die Erwärmung verstärken, eine dämpfende Wirkung ist aber nicht ausgeschlossen. Die These mancher Leugner, dies könne die Erderhitzung ausgleichen, entbehrt allerdings jeder Grundlage.

Wegen der Wolken und anderer komplexer Faktoren ist auch nicht klar, wie groß die exakte Erwärmungswirkung einer bestimmten Menge Treibhausgase letztlich ist – die Fachleute sprechen von „Klimasensitivität“. Sie wird oft als jene Temperatur angegeben, um die sich die Erde erwärmt, wenn der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre verdoppelt wird. Die direkte Folge davon wäre ein Anstieg um rund ein Grad Celsius – doch im Klimasystem gibt es zahlreiche Rückkopplungen. Die größte: Eine wärmere Atmosphäre speichert mehr Wasser, und Wasserdampf ist selbst ein starkes Treibhausgas. Diese Rückkopplung

## Wie Klimamodelle entstehen und welche Parameter einfließen

### ATMOSPHÄRE

- Sonnenstrahlung
- Wärmerückstrahlung
- Temperatur
- Luftdruck
- Wasserdampf und Wolken
- Treibhausgaskonzentration



```

82° 1194° 0.20° 1898° 0.24° 1698° 0.
09° 1897° 0.10° 1890° 0.87° 1899° 0.
18° 1800° 0.07° 1801° 0.18° 1808° 0.
88° 1808° 0.37° 1804° 0.46° 1808° 0.
88° 1808° 0.81° 1807° 0.28° 1808° 0.
48° 1808° 0.48° 1810° 0.61° 1811° 0.4
4° 1818° 0.54° 1818° 0.88° 1814° 0.18
1° 1818° 0.08° 1818° 0.38° 1811° 0.46°
1818° 0.30° 1818° 0.88° 1880° 0.38°
1811° 0.18° 1888° 0.84° 1888° 0.84°
    
```

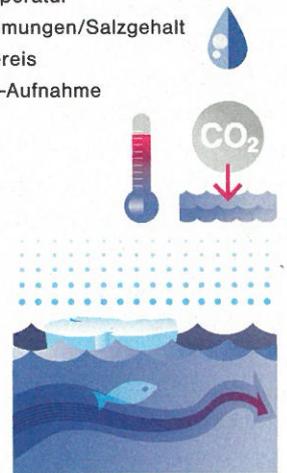
### KONTINENTE

- Vegetation
- Permafrost
- Eisschilde von Grönland und Antarktis



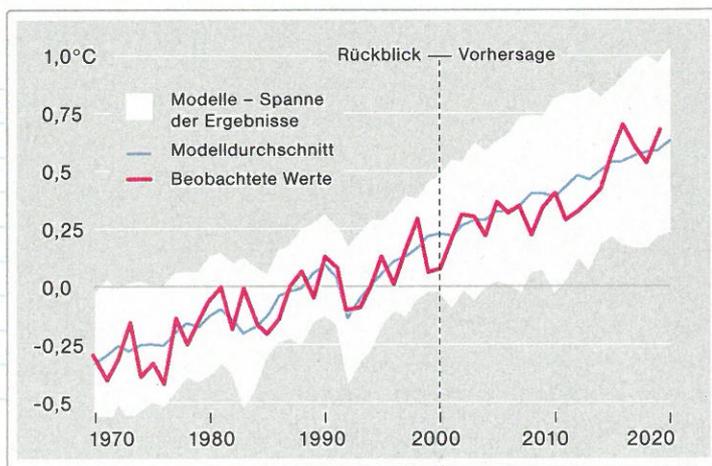
### OZEANE

- Temperatur
- Strömungen/Salzgehalt
- Meereis
- CO<sub>2</sub>-Aufnahme



## Klimaprojektion und Wirklichkeit

Der bis heute eingetretene globale Temperaturanstieg bewegt sich im Korridor, den die Wissenschaft mithilfe von Klimamodellen vorhergesagt hat. Gezeigt sind die Prognosen der Modelle, die im 4. Sachstandsbericht des Weltklimarates (IPCC) von 2007 verwendet wurden, verglichen mit der beobachteten Temperaturveränderung (gegenüber dem Zeitraum 1980-1999).



erhöht die Klimasensitivität also stark, andere können (leicht) dämpfend wirken. Unterm Strich erwartet die Forschung, dass die Klimasensitivität zwischen 1,5 und 4,5 Grad liegt, wahrscheinlich bei rund drei Grad.

Ein wichtiges Hilfsmittel der Forschung sind Klimamodelle. In diesen riesigen Computerprogrammen ist die Erde in Millionen kleine Kästchen zerlegt. Jedes einzelne bildet ein (vereinfachtes) Stück Luft, Boden oder Ozean nach - und wie es auf bestimmte Einflüsse reagiert. In Minuten- oder Stundenschritten werden dann für jedes Kästchen Temperatur, Luftdruck und andere Parameter berechnet. Die Ergebnisse dienen als Ausgangswerte für den nächsten Rechenschritt für dieses und die Nachbarkästchen und so weiter. So entsteht ein dynamisches Abbild der Erde. Und weil die Eingangsdaten immer besser werden, immer mehr Elemente des Klimasystems abgebildet und die Großrechner immer leistungsfähiger sind, werden auch die Modelle immer genauer. Sie können zwar keine Wettervorhersagen für die Zukunft liefern (siehe unten). Aber wenn man sie immer wieder laufen lässt und dabei die Eingangsdaten minimal variiert, dann kann man aus den Ergebnissen ableiten, wie der Durchschnitt des Wetters, eben das Klima, sein wird.

Die Verlässlichkeit ihrer Modelle überprüfen die Forscher ständig, etwa durch Blicke zurück: Sie simulieren per Computer das Klima der Vergangenheit, für das man ja die CO<sub>2</sub>-Konzentration kennt, und vergleichen die Resultate mit den Temperaturen, die damals herrschten. Tatsächlich können Modelle inzwischen das Klima der letzten Jahrzehnte gut nachbilden – und sogar bis zu drei Millionen Jahre Klimageschichte. Man kann also getrost davon ausgehen, dass sie auch beim Blick nach vorn richtig liegen.

Dank besserer Klimamodelle gibt es inzwischen auch fundierte Antworten auf eine Frage, die immer

wieder gestellt wird, wenn es eine Hitzewelle gibt, eine Flut oder ein anderes Extremwetter: „Ist das schon der Klimawandel?“ Ganz sicher sagen lässt sich das nicht, weil es Wetterextreme immer schon gab. Die sogenannte Attributionsforschung, einer der jüngsten Zweige der Klimawissenschaften, kann mit Computerhilfe aber ermitteln, ob die Wahrscheinlichkeit eines Wetterextrems zugenommen hat oder nicht. Die Hitzewelle vom Juli 2019 zum Beispiel, die in Deutschland die Temperatur auf über vierzig Grad trieb, ist durch den Klimawandel etwa zehnmal wahrscheinlicher geworden und wäre andernfalls etwa 1,5 bis 3 Grad schwächer ausgefallen.



Abschmelzen des Grönland-Eisschildes



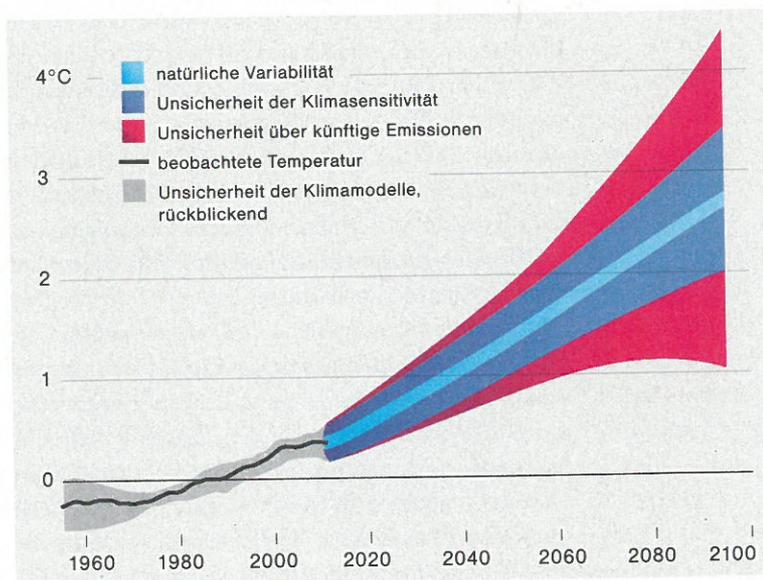
Abschwächung des Golfstromsystems

## ... und was die Forschung niemals wird liefern können

In seiner Bundestagsrede forderte der AfD-Mann Kraft, die Klimaforschung müsse „dringend auf die Unschärfe der postulierten Ereignisse hinweisen“. Das tut sie längst. Und natürlich wird kein Computermodell je das Wetter der Zukunft vorausberechnen können, sagen wir am 16. Juli 2073 in Neuruppin. Modelle können auch nicht vorhersagen, wie viel Regen im Juli 2073 im Landkreis Ostprignitz-Ruppin fallen wird. Aber sie zeigen klar, dass die Sommer in Brandenburg Ende des Jahrhunderts viel heißer und trockener sein werden als jetzt.

Laien wundern sich oft, dass die Forschung bei Aussagen über künftige Entwicklungen große Spann-

breiten angibt. Der letzte große Sachstandsbericht des IPCC von 2013 (der nächste erscheint im kommenden Jahr) nennt für Ende des 21. Jahrhunderts einen möglichen Temperaturanstieg von 0,3 bis 4,8 Grad gegenüber Ende des 20. Jahrhunderts. Der Grund ist, dass sich in den Modellrechnungen mehrere Quellen von Ungewissheiten summieren (Grafik unten). Da sind erstens natürliche Schwankungen – so wie in der Vergangenheit wird es auch künftig mal wärmere Jahre geben, mal kühlere. Aber diese Schwankungen bewegen sich im Bereich von Zehntelgraden, sind also viel kleiner als die menschengemachte Erhitzung.



### Unsicherheiten der Klimaprojektionen

Das Wissen übers Klimasystem nimmt zu, und die Modelle werden immer besser, dennoch gibt der Weltklimarat IPCC für den Temperaturanstieg bis Ende des Jahrhunderts eine große Spanne an. In der Abbildung sind die Gründe dieser Unsicherheit („layers of uncertainty“) schematisch dargestellt. Zu natürlichen Schwankungen im Klimasystem kommen Unsicherheiten über die „Klimasensitivität“, da einige physikalische Prozesse und Rückkopplungen sich nur schwer berechnen lassen. Die größte Unsicherheit aber liegt im Verhalten der Menschen.

## Die Klima-Achillesfersen: Kippelemente im Erdsystem



Zweiter Posten sind die Unsicherheiten bei der oben beschriebenen Klimasensitivität: Sie können bis zum Jahr 2100 mit rund einem Grad mehr oder weniger Temperaturanstieg ins Gewicht fallen. Die mit Abstand größte Ungewissheit aber ist das Verhalten der Menschheit, also ob sie den Treibhausgasausstoß senkt und wenn ja, wie stark. Alle anderen Variablen kann die Forschung versuchen einzugrenzen, diese ist unberechenbar.

Ebenso wenig können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler exakt vorhersagen, bei welcher Temperaturschwelle welche Folge eintritt - etwa wann welche Tierart ausstirbt. Zu viele Einflüsse auch jenseits des Klimawandels spielen dabei eine Rolle. Seit Jahren warnt die Forschung vor sogenannten Kippelementen (Abbildung oben). Das sind Teile des Klimasystems, die sich nicht langsam und gleichmäßig verändern, sondern bei einer bestimmten Temperaturschwelle abrupt und dann unumkehrbar. Der kilometerdicke Grönländische Eisschild zum Beispiel: Seine Oberfläche liegt in einer Höhe, wo es - wie im Hochgebirge - natürlicherweise kälter ist. Beim Schmelzen sinkt die Oberkante in wärmere Luftschichten ab, irgendwann ist der Eispanzer selbst mit bestem Klimaschutz nicht mehr zu retten. Wo genau dieser Kippunkt liegt, ist ungewiss - aber sicher ist, dass er nicht mehr weit entfernt ist. Und möglicherweise haben wir ihn sogar bereits überschritten.

Wissenschaftsleugner betonen gern, der Klimawandel sei „nicht bewiesen“, die Warnungen der Forschung basierten „nur auf Theorien“. Auch dahinter steckt ein (absichtliches) Missverständnis von Wissenschaft. „Beweise“ im engeren Sinne gibt es nur in wenigen Disziplinen, etwa in der Mathematik. In den empirischen Naturwissenschaften - wie Physik, Biologie und eben auch der Klimaforschung - geht es stets nur darum, Sachverhalte zu beobachten, zu untersuchen, Theorien zu ihrer Erklärung zu entwickeln und dafür Indizien zu sammeln, sie zu bestätigen oder zu widerlegen. So wächst Wissen - das (theoretisch) durch neue Beobachtungen umgestoßen werden kann. Empirische Forschung kann deshalb nie „Beweise“ liefern, sondern nur Belege und schließlich einen Konsens unter den Fachleuten. Dieser entsteht nicht durch geheime Absprachen, sondern weil zahllose unabhängige Untersuchungen zum gleichen Ergebnis gekommen sind.

Es ist daher ein demagogischer Trick, von der Klimaforschung präzise Zahlen und letzte Beweise zu fordern - und vollkommen unvernünftig. Es ist, als säße man in einem Auto, das auf eine Mauer zurast, auf dem Beifahrersitz ein Wissenschaftler, der ruft: „Bremsen, bremsen!“ Wer käme auf die Idee, von ihm zu verlangen, doch erst einmal exakt zu berechnen (und zu beweisen), in welcher Zehntelsekunde sich bei einem Aufprall welcher Teil der Motorhaube wie verformt und welche Knochen der Passagiere brechen werden? ●