

Stefan Rahmstorf

Chronik einer missachteten Gewissheit

Schon seit 150 Jahren kennen Wissenschaftler den Treibhauseffekt. Ausmaß und Folgen der Erderwärmung werden seitdem immer genauer beschrieben. Doch Politik, Wirtschaft und Gesellschaft haben alle Warnungen nicht ernst genug genommen. Heute sind die Optionen für eine klimafreundlichere Gewinnung und Nutzung von Energie klarer denn je – aber die Zeit für ihre Umsetzung läuft davon.

Es war der 10. Juni 1859, ein halbes Jahr, bevor Charles Darwin seinen „Ursprung der Arten“ veröffentlichte. In den holzgetäfelten Räumen der Royal Society in London demonstrierte der britische Physiker John Tyndall eine Reihe bemerkenswerter Experimente. Die denkwürdige Versammlung wurde von Prinz Albert geleitet. Aber weder er noch Tyndall dürften geahnt haben, wie sehr die Ergebnisse dieser Experimente die Welt 150 Jahre später in Atem halten würden.

Im Dezember 2009 trafen sich über 40.000 Menschen aus aller Welt, darunter rund 120 Staatschefs, in Kopenhagen – und scheideten vorerst bei dem Versuch, die entscheidende Konsequenz aus Tyndalls Messungen zu ziehen und den Ausstoß klimaschädlicher Gase wirksam zu begrenzen.

Doch die Geschichte beginnt bereits vor Tyndall, mit dem französischen Genie Joseph Fourier. Als Waise, der von Mönchen erzogen wurde, hatte Fourier bereits im Alter von 18 Jahren den Professorentitel inne. Er wurde Napoleons Gouverneur in Ägypten, widmete sich später aber wieder ganz der

Wissenschaft. Im Jahr 1824 entdeckte er, weshalb unsere Welt so warm ist – Dutzende Grade wärmer, als eine einfache Berechnung der Energiebilanz nahelegt. Die Sonne bringt die Wärme, und die Erde strahlt sie, unsichtbar für unser Auge, in alle Richtungen ins All hinein. Aber die Zahlen summierten sich nicht zu Null, denn sonst hätte sich die Erde dramatisch abkühlen müssen. Fourier verstand, weshalb das nicht geschieht: Gase in unserer Atmosphäre fangen die abgestrahlte Wärme ab. Er nannte diese Entdeckung „l'effet de serre“: den Treibhauseffekt. Ohne ihn wäre unser Planet kalt und unbelebt.

Es war Tyndall, der diese Ideen dann durch Laborversuche untermauerte. Er bewies, dass einige Gase Strahlungswärme absorbieren – just die Wellenlängen, die die Erde abstrahlt. Eines davon war Kohlendioxid. Tyndall beschrieb 1859 den Treibhauseffekt in unübertroffener Klarheit: „The atmosphere admits of the entrance of solar heat, but checks its exit; and the result is a tendency to accumulate heat at the surface of the planet.“ Die Atmo-

sphäre lässt Sonnenwärme hinein, aber behindert ihren Abfluss; das Ergebnis ist die Tendenz, Wärme an der Oberfläche des Planeten anzusammeln.

Im Jahr 1896 rechnete Svante Arrhenius, der einige Jahre später den Nobelpreis erhielt, zum ersten Mal aus, welche globale Erwärmung eine Verdoppelung der CO₂-Menge in der Luft verursachen würde. Er kam auf 4 bis 6°C – etwas mehr also als die 2 bis 4°C, die zahlreiche moderne Studien übereinstimmend ergeben. Für eine ganz korrekte Berechnung fehlten Arrhenius damals noch einige Zutaten.

Arrhenius war nicht besorgt über eine Erwärmung, im Gegenteil. Er schlug sogar vor, Kohleflöze anzuzünden, damit es möglichst bald wärmer werde. Er stellte sich ein wärmeres Klima angenehm vor – vielleicht, weil er Schwede war. Aber all das blieb akademische Spekulation und nackte Theorie. Niemand verfügte über die nötigen Messungen, um einen CO₂-Anstieg in der Luft überhaupt nachzuweisen.

Das änderte sich erst in den späten 1950er Jahren, als Charles Keeling mit bis dahin unerreichter

Die Sommereisfläche auf dem Arktischen Ozean ist in den letzten Jahrzehnten um 40 Prozent geschrumpft.





Präzision CO₂-Messreihen in der Antarktis und auf dem Mauna Loa auf Hawaii begann – weit weg von allen CO₂-Quellen. Schon 1960 gelang ihm der Nachweis, dass die CO₂-Konzentration in der freien Atmosphäre tatsächlich ansteigt.

Es dauerte dann nur bis 1965, bis der erste von vielen Expertenberichten den damaligen US-Präsidenten Lyndon B. Johnson vor der drohenden globalen Erwärmung warnte: „Bis zum Jahr 2000 wird die Zunahme der CO₂-Menge rund 25 Prozent betragen. Das könnte ausreichen, um messbare, vielleicht deutliche Klimaänderungen zu verursachen.“ Im Jahr 1972 wurde eine spezifischere

Prognose in der führenden Fachzeitschrift *Nature* veröffentlicht: bis im Jahr 2000 würden die Temperaturen um ein halbes Grad steigen. Diese Prognose ist umso bemerkenswerter, da sie zu einer Zeit gemacht wurde, als die Temperaturen seit Jahrzehnten stagnierten. Aber die physikalischen Zusammenhänge waren bekannt. 1979 läutete die US National Academy of Sciences in einem Bericht als erste große Wissenschaftsorganisation die Alarmglocken wegen der drohenden Erwärmung.

Mitte der 1980er Jahre begannen auch die Messdaten der weltweiten Wetterstationen, den

Der weltweite Rückgang der Gletscher (im Bild der Nigardsbreen in Norwegen) ist eines der Symptome der globalen Erwärmung.

Erwärmungstrend zu zeigen. Im Jahr 1988 wurde das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) gegründet, und im Jahr 1992 unterzeichneten die Staatsführer der Welt in Rio de Janeiro ein historisches Abkommen: die Klimarahmenkonvention. Ihr Ziel: „die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auf einem Niveau, das eine gefährliche menschliche Störung des Klimasystems verhindert“.

Anfang der 1990er Jahre waren die globalen Temperaturen im Vergleich zum Beginn des 20. Jahrhunderts bereits um 0,5°C gestiegen – seit dem Erdgipfel von Rio sind nochmals 0,3°C hinzugekommen. Und sie steigen weiter. Nach den globalen NASA-Daten war Mai 2009 bis April 2010 die wärmste 12-Monats-Periode seit Beginn der Datenreihe im Jahr 1880, Tendenz weiter steigend. Und das obwohl die Sonne schwächelt: Die Leuchtkraft unseres Sterns verharrt seit einigen Jahren auf dem tiefsten Stand seit Beginn der Satellitenmessungen in den 1970ern.

Wer vom Weltall aus auf die Erde blickt, kann es deutlich sehen: Die Eisdecke auf dem arktischen Ozean schrumpft. In den letzten Jahren

ging sie im Sommer auf rund fünf Millionen Quadratkilometer zurück – kaum mehr als halb so groß wie noch in den 1970ern. Im Jahr 2007 war erstmals seit Menschengedenken die Nordwestpassage eisfrei; 2008 dann sogar die Nordwest- und die Nordostpassage. Letztere wurde von Frachtschiffen der Bremer Reederei Beluga Shipping erstmalig im Sommer 2009 durchfahren.

Der globale Meeresspiegel steigt immer schneller an. Um 17 cm im 20. Jahrhundert, und seit Beginn der Satellitenmessungen im Jahr 1993 schon mit der doppelten Rate, nämlich um 3,4 cm pro Jahrzehnt. Die beiden großen Kontinentaleismassen in Grönland und der Antarktis tragen dazu beide nicht unerheblich bei: im Zeitraum 2003 bis

2008 waren ihre zunehmenden Zerfallerscheinungen für 40 Prozent des gemessenen Meeresspiegelanstiegs verantwortlich.

Die Klimageschichte warnt uns. Auf Veränderungen seiner Strahlungsbilanz hat der Planet stets sehr empfindlich reagiert, man denke nur an die großen Eiszeiten. Wir nutzen solche erdgeschichtlichen Daten in der Forschung, um die „Klimasensitivität“ zu bestimmen, das zentrale Maß für die Empfindlichkeit des Klimas gegenüber Störungen. Alles spricht dafür, dass

In einem wärmeren Klima steigt die Gefahr von Überschwemmungen, da wärmere Luft mehr Wasserdampf aufnehmen und abregnen kann.



der Planet auch dieses Mal heftig reagieren wird, wo der Mensch den wärmenden Treibhauseffekt verstärkt.

Und auch die Folgen von scheinbar moderaten Temperaturänderungen waren massiv und tiefgreifend. Der Höhepunkt der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren war im globalen Mittel nur 4 bis 7°C kälter als das jetzige Klima, aber der Planet war ein anderer. Die Ökosysteme auf den Kontinenten waren völlig andere, der Meeresspiegel 120 Meter niedriger. Am Ende dieser Eiszeit verlor die Erde durch die Erwärmung den größten Teil der damaligen Eismassen. Als die große Schmelze vor rund 5.000 Jahren zu Ende ging, war noch ein Drittel des Eises übrig. Wie viel davon wird wohl abschmel-

zen, wenn wir die Erde um weitere drei, vier oder gar sieben Grad aufheizen? Der neue Schmelzprozess hat bereits begonnen.

In den 18 Jahren seit dem Erdgipfel in Rio sind kaum konkrete Erfolge erreicht worden. 2008 lag der Ausstoß von Treibhausgasen 40 Prozent höher als im Jahr 1990. Warum ist es so schwer, diesen Trend zu brechen? Kohle, Erdöl und Erdgas mit ihrer fantastischen Energiedichte haben in den vergangenen Jahrhunderten die industrielle Revolution befeuert und Teilen der Welt einen unglaublichen materiellen Wohlstand ermöglicht. Autos, Flugzeuge, Computer, Handys – Joseph Fourier oder John Tyndall würden aus dem Staunen nicht herauskom-

men, könnten sie unsere Gegenwart besuchen. Wir waren clever und extrem erfolgreich.

Nun müssen wir noch cleverer sein. Wir haben keine andere Wahl, wenn wir unseren Kindern und Enkeln nicht versinkende Küstentäler, versauernde Ozeane, brennende Wälder und verdorrte Erde hinterlassen wollen.

Eine offensichtliche Lösung ist die unerschöpfliche Energiequelle, die auch unser Klimasystem antreibt: die Sonne. Sie badet uns ständig in einem mehr als reichlichen Photonenstrom. Eine Stunde Sonneneinstrahlung reicht aus, um

Die Windenergie hat in Deutschland inzwischen einen Anteil von acht Prozent am Stromverbrauch erreicht.



Alle Fotos: Rahmstorf

(also ohne weiteren Anstieg) hätten wir dieses Kontingent in weniger als 20 Jahren verbraucht. Diese Zahlen machen deutlich, dass wir uns in einem Wettlauf gegen die Zeit befinden. Mit jedem Jahr, in dem die Emissionen weiter steigen, schwinden die Chancen, die Erwärmung noch unterhalb von 2°C zu stoppen.

Vor 150 Jahren haben Tyndalls Messungen gezeigt, dass CO₂ Wärmestrahlung einfängt und so das Klima aufheizt. Seit 50 Jahren wissen wir, dass wir die CO₂-Menge in der Luft nach oben treiben. Seit Jahrzehnten schreitet die Erwärmung wie vorhergesagt voran. Wie lange werden wir noch zaudern?

Klimaschutz ist eine globale Herausforderung: Die berechtigten Bedürfnisse der Menschen nach Entwicklung und Mobilität müssen künftig mit geringeren Treibhausgasemissionen erfüllt werden.

die ganze Menschheit mehr als ein Jahr lang mit Energie zu versorgen. In der Sonne haben wir bereits den perfekt zuverlässig funktionierenden Fusionsreaktor, in einem beruhigenden Sicherheitsabstand von rund 150 Millionen Kilometern.

Wir müssen ihren Energiestrom nur entschlossener und effektiver nutzen. Technologien dafür haben wir bereits: Windräder, Fotovoltaik und solarthermische Kraftwerke, um nur einige zu nennen. Vieles muss und wird zweifellos noch verbessert werden: intelligente Netze, Speichertechniken, Elektrofahrzeuge. Angesichts der erfreulichen technologischen Fortschritte könnte man ganz entspannt und optimistisch in die Zukunft blicken. Wenn nur ein Problem nicht wäre: Die Zeit läuft uns inzwischen davon.

Seit Rio sind so viele Jahre mit stetig steigenden Emissionen vergangen, dass die in Kopenhagen immerhin beschlossene Begrenzung der Erderwärmung auf höchstens zwei Grad nur noch mit einer sofortigen und entschlossenen Kehrtwende zu erreichen ist. Wegen der langen Lebensdauer von CO₂ in der Atmosphäre (ein großer Teil wird auch in tausend Jahren noch in der Luft sein) bedeutet die Begrenzung der Erwärmung automatisch eine Begrenzung der Menge an CO₂, die noch ausgestoßen werden kann. Und zwar nicht pro Jahr, sondern insgesamt.

Wollen wir die Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von 75 Prozent unter 2°C halten, können bis 2050 noch rund 700 Milliarden Tonnen CO₂ freigesetzt werden. Schon bei den heutigen Emissionen



Prof. Dr. Stefan Rahmstorf

ist Professor für „Physik der Ozeane“ an der Universität Potsdam und Leiter der Abteilung „Erdsystemanalyse“ am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

Adresse:
Abteilung Erdsystemanalyse
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
Telegraphenberg A62, 14473 Potsdam
E-Mail: stefan.rahmstorf@pik-potsdam.de

DFG-Förderung im Rahmen
des Sonderforschungsbereichs SFB 555

► „Komplexe nichtlineare Prozesse: Analyse
– Simulation – Steuerung – Optimierung“

<http://sfb555.physik.hu-berlin.de/>
www.pik-potsdam.de/~stefan