

## Wie realistisch ist die klimapolitische 2-Grad-Grenze?

Christian-D. Schönwiese, Universität Frankfurt a.M.

Der globale Klimawandel findet sowohl in der Wissenschaft als auch in der Öffentlichkeit große Beachtung. Er lässt sich am einfachsten durch die global gemittelte bodennahe Lufttemperatur, kurz Globaltemperatur, repräsentieren. Solche Daten sind seit 1850 durch eine (CRU, 2016), seit 1880 durch drei Datenquellen verfügbar (IPCC, 2014). Die Unterschiede sind bei diesen Rekonstruktionen trotz etwas unterschiedlicher Datenbasis (unter Nutzung ursprünglich an einzelnen Stationen durchgeführter Messungen) und Datenbearbeitung (Korrekturen, Interpolationen) äußerst gering. So lässt sich seit 1880 einheitlich ein Langfristtrend von rund 0,9 °C angeben, mit einem neuen deutlichen Wärmerekord im Jahr 2015. Dieser Trend ist jedoch von kürzerfristigen Fluktuationen überlagert. Weitgehende Einigkeit besteht in der Wissenschaft darin, dass der Langfristtrend im Wesentlichen anthropogen ist (IPCC, 2014). Der Ausstoß diverser klimawirksamer Spurengase, u.a. von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) durch die Nutzung fossiler Energieträger und indirekt auch durch Waldrodungen, verstärkt nämlich den sog. Treibhauseffekt, d.h. die Bilanz aus solarer Einstrahlung und terrestrischer Ausstrahlung, was sich in einer bodennahen Erwärmung und simultan stratosphärischen Abkühlung zeigt (vgl. Lehrbücher der Klimatologie, u.a. Schönwiese, 2013). Diverse aufwändige Klimamodellrechnungen bestätigen das (IPCC, 2014). Dagegen sind die überlagerten Fluktuationen überwiegend natürlichen Ursprungs.

Da der globale Klimawandel mit vielen negativen Auswirkungen wie einem Meeresspiegelanstieg, regionalen Hitzewellen, Niederschlagsumverteilungen mit teils mehr Starkniederschlägen und Unwettern, teils aber auch vermehrten Dürren usw. verknüpft ist, gibt es schon lange wissenschaftliche Appelle, ihn durch wesentliche Verringerung des menschlichen Einflusses einzudämmen. Einer der ersten Mahner war der schwedische Physikochemiker Svante Arrhenius (1896), der damals sogar schon versucht hat, die globale Erwärmung aufgrund der Kohlenutzung auch für die Zukunft abzuschätzen. Die erste Weltklimakonferenz (Genf, 1979) hat dann einen Aufruf an alle Nationen der Erde gerichtet, das Problem anthropogener Klimaänderungen zu erkennen und diese Änderungen zu verhindern. Einer der weiteren Meilensteine war die UN-Konferenz über Umwelt und Entwicklung (Rio de Janeiro, 1992), die ein als Klimarahmenabkommen (Framework Convention on Climate Change, FCCC) bezeichnetes Dokument beschlossen hat, das seit 1994 völkerrechtlich verbindlich ist. Es besagt im Kern, dass, eine Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen ist, das eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert (vgl. dazu jeweils Schönwiese, 2013)..

Aber was ist in diesem Zusammenhang gefährlich und welche Maßnahmen sollten konkret realisiert werden? Dieser Frage widmen sich die seit 1995 jährlich stattfindenden Vertragsstaatenkonferenzen (Conferences of Parties, COP) zum Klimarahmenabkommen. Wie Schellnhuber (2015) ausführlich berichtet, hat er in Orientierung an den Klimawandel der letzten Jahrhunderttausende bereits ab 1993 die Vorstellung entwickelt, dass ein Anstieg der Globaltemperatur um mehr als 2 °C über das vorindustrielle Niveau hinaus (d.h. ungefähr gegenüber 1800/1850) als gefährlich angesehen werden sollte; denn beispielsweise war es in der Eem-Warmzeit mit Höhepunkt vor ca. 125 000 Jahren im globalen und langzeitlichen Mittel „nur“ ungefähr 1,5 °C wärmer als heute, genauer als im Holozän-Mittel der letzten ca. 10 000 Jahre (Details dazu siehe z.B. Schönwiese, 2013). Eine andere Überlegung orientiert sich an den sog. Kippschalterprozessen, d.h. Vorgängen, die ab Erreichen eines bestimmten Ausmaßes der globalen Erwärmung eintreten und dann nicht oder kaum mehr aufzuhalten sind. Ein Beispiel dafür ist das Schmelzen des Grönland-Eisschildes. Dabei tauchen als kritische Schwellenwerte globale Erwärmungen ab ca. 2 °C auf (Lenton et al., 2008). Über den Wissenschaftlichen Beirat Globale Umweltveränderungen (WBGU) der Bundesregierung hat Schellnhuber die 2-Grad-Idee in die klimapolitische Diskussion getragen, so dass sie bald in der EU und sogar schon bei COP1 (1. Vertragsstaatenkonferenz, Berlin, 1995) Beachtung gefunden hat (Schellnhuber, 2015). Dann hat es allerdings bis 2009 (COP15, Kopenhagen) gedauert, bis bei

diesen Konferenzen die 2-Grad-Grenze wieder zumindest erwähnt worden ist. Nun, nach einigen Zwischenschritten, ist sie seit 2015 (COP21, Paris) definitiv im UN-Vertragstext verankert, wobei COP21 sogar möglichst nur 1,5 °C realisiert sehen möchte. Dazu kommen diverse Beschlüsse hinsichtlich der Treibhausgas-Emissionen und -Konzentrationen, die dies gewährleisten sollen (FCCC, 2015).

Doch wie realistisch sind solche Zielsetzungen aus wissenschaftlicher Sicht? Zunächst ist dabei von wesentlicher Bedeutung, dass in der Klimapolitik anscheinend der Unterschied zwischen der transienten und der Gleichgewichtsreaktion des Klimas unbekannt zu sein bzw. zu wenig beachtet zu werden scheint. Die Temperaturreaktion auf die Emission von Treibhausgasen und die daraus resultierende atmosphärische Konzentrationsveränderung weist nämlich eine erhebliche Zeitverzögerung auf: Transient meint dabei die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt, z.B. bis jetzt, eingetretene Reaktion, während die aufgrund der entsprechenden im Klimasystem angelegten Störung letztendlich eintretende Reaktion die Erfüllung eines Gleichgewichts erfordert. Im speziellen Fall der Treibhausgasemissionen sind dabei vor allem die atmosphärischen Verweilzeiten sowie die ozeanische Trägheit von Bedeutung. Für den speziellen Fall der Verdoppelung der atmosphärischen Kohlendioxid(CO<sub>2</sub>)-Konzentration gegenüber dem vorindustriellen Niveau (ca. 1800/1850) liegt dazu eine Vielzahl von Klimamodellrechnungen vor, die – einschließlich empirischer Abschätzungen – laut IPCC (2014) im Gleichgewicht Erwärmungsbeträge von 1,5 bis 4,5 °C simulieren (Globaltemperatur). Diese Ergebnisse werden als Klimasensitivität bezeichnet, wobei für die Globaltemperatur die einfache Beziehung

$$\Delta T = \lambda \cdot S$$

gilt, mit  $\Delta T$  = Temperaturreaktion,  $S$  = Strahlungsantrieb und  $\lambda$  = Sensitivitätsparameter. Ebenfalls laut IPCC (2014) liegen bei solchen Simulationen die transienten Reaktionen im Mittel um ca. 1,5 °C niedriger als die Gleichgewichtsreaktionen.

Der Strahlungsantrieb ist in der Klimatologie und insbesondere Klimamodellierung von fundamentaler Bedeutung. Er gibt an, welche Änderung der Bilanz aus solarer Einstrahlung und terrestrischer Ausstrahlung in der Troposphäre (genauer an deren Obergrenze, der Tropopause, die in der Normatmosphäre in 11 km Höhe liegt) durch bestimmte Prozesse zustande kommt wird. Bei steigenden atmosphärischen Konzentrationen der Treibhausgase bewirkt deren partielle Absorption der terrestrischen Ausstrahlung (und allseitigen Re-Emission, also zum Teil auch zurück zur Erdoberfläche, der anthropogene Zusatz-Treibhauseffekt) einen positiven Strahlungsantrieb, der für den oben genannten Fall der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationsverdoppelung gegenüber dem vorindustriellen Niveau i.a. mit 4,4 Wm<sup>-2</sup> angegeben wird. Mit Hilfe der oben angegebenen Gleichung und den ebenfalls oben genannten Temperaturreaktionen zwischen 1,5 und 4,5 °C (IPCC) kommt man dann zu Werten des Klimasensitivitätsparameters  $\lambda$  zwischen rund 1/3 und 1. Empirisch, und zwar paläoklimatologisch, lässt sich dieser Wert jedoch auf ca. 3/4 eingrenzen, da der mittlere Temperaturunterschied zwischen der letzten Eiszeit (Tiefpunkt vor ca. 18 000 Jahren) und dem darauf folgenden Holozän (seit rund 10 000 Jahren, vgl. oben) bei ca. 5 °C liegt, mit einem Strahlungsantrieb von ca. 6,5 Wm<sup>-2</sup> (interessanterweise hauptsächlich durch Rückkopplungseffekte; Hansen et al., 2008; siehe auch Kasang, 2016).

Und nun wird es interessant. Laut IPCC (2014) liegt der industrielle Strahlungsantrieb (dort bezogen auf die Zeitspanne 1750-2011) der Treibhausgase bei rund 3,3 Wm<sup>-2</sup> (mit einem CO<sub>2</sub>-Anteil von knapp 60 %). Mit Hilfe wiederum der oben genannten Gleichung und dem empirischen Wert der Klimasensitivität ergibt sich dafür eine Gleichgewichtsreaktion von etwa 2,5 °C. So viel ist also im Klimasystem aufgrund der bisherigen anthropogenen Treibhausgasemissionen bereits angelegt, auch wenn transient, d.h. bisher (genauer 1880-2015) erst eine Erwärmung von ca. 0,9 °C eingetreten ist (vgl. oben; die Erwärmung zwischen 1750 und 1880 ist demgegenüber gering, wobei es um 1850 sogar ein relatives Minimum gegeben hat.) Die Situation gewinnt zudem noch dadurch an Brisanz, dass eine Gleichgewichtsreaktion dieses Ausmaßes nur eintreten würde, wenn ab sofort überhaupt keine Treibhausgasemissionen mehr stattfinden würden. Da dies offensichtlich nicht der Fall ist, schiebt sich die Gleichgewichtsreaktion zeitlich immer weiter hinaus und erreicht

notwendigerweise dabei sogar noch höhere Werte als 2,5 °C Erwärmung. Nur wenn die unterste Modellschätzung der Klimasensitivität ( $\lambda = 1/3$ ) richtig wäre und zudem die Treibhausgas-Emissionen ab sofort drastisch reduziert würden, könnten wir darunter bleiben. Dann läge nämlich die Gleichgewichtsreaktion bei ca. 1,1 °C. Das ist aber sehr unwahrscheinlich, weil dieser Wert schon fast erreicht ist, so dass die empirische Klimasensitivität realistischer zu sein scheint.

Eine gewisse Entspannung der Situation ist allerdings darin zu sehen, dass es nicht nur eine globale anthropogene Erwärmung, sondern auch Abkühlung gibt, und zwar durch die Bildung von Aerosolen, z.B. Sulfatpartikeln, die aus der Schwefeldioxid-Emission stammen (Luftverschmutzung). Auch natürliche Vorgänge wie der Vulkanismus tragen gelegentlich zu Abkühlungen bei, die jedoch vergleichsweise kurzzeitig sind (beim Vulkanismus i.a. 1-3 Jahre). Berücksichtigt man in den obigen Berechnungen auch den Aerosol-Strahlungsantrieb, der (seit 1750) bei knapp  $-1 \text{ Wm}^{-2}$  liegt (also negativ ist), so reduziert sich die industrielle Temperaturngleichgewichtsreaktion von ca. 2,5 °C auf ca. 1,8 °C – aber auch dies nur dann, falls die Treibhausgasemissionen ab sofort eingestellt würden. Doch aufgrund der Szenarien dieser Emissionen, die meist bis zum Jahr 2100 vorgegeben werden, und den daraus resultierenden Klimamodellprojektionen, würde der derzeitige Pfad transient zu einer Erwärmung von 2,6 - 4,8 °C führen. Selbst bei den in Paris (COP21) zugesagten Planungen wären immer noch 2,4 - 2,8 °C Erwärmung zu erwarten (jeweils nach Climate Action Tracker, 2015; dies ist eine konzertierte Aktion mehrerer Forschungseinrichtungen, einschließlich des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung). Und bei alledem gilt wiederum, dass die Gleichgewichtsreaktionen deutlich höher liegen würden. Hinzu kommt, dass in der Klimapolitik bei der Frage, welche Maßnahmen das Einhalten einer 2-Grad- (bzw. 1,5-Grad-)Grenze ermöglichen sollen, meist nur das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) im Blickpunkt steht. Bei anderen wichtigen Treibhausgasen wie z.B. dem Methan (CH<sub>4</sub>) sind Emissionsminderungen noch problematischer als beim CO<sub>2</sub>, weil dabei die Welternährung zur Disposition steht. Das ist ein weiteres Argument dafür, dass die bei COP21 (Pariser Vertragsstaatenkonferenz) hinsichtlich der 2-Grad-Grenze gefassten Zielsetzungen und Beschlüsse unrealistisch sind (hinsichtlich der 1,5-Grad-Grenze sowieso).

Ein drittes Argument ist, dass die Globaltemperatur nur ein sehr grober Aspekt des Klimawandels ist. Alle Datenanalysen der Vergangenheit und Klimamodellprojektionen der Zukunft weisen nämlich ganz erhebliche räumlich-zeitliche Strukturen auf, wobei die globalen Mittelwerte regional-jahreszeitlich erheblich überschritten, teilweise natürlich auch unterschritten werden. Und hinsichtlich der Klimafolgen, die letztlich für die Menschheit und mit ihr für alles Leben auf unserem Planeten entscheidend sind, ist der Niederschlag oft viel wichtiger als die Temperatur, ganz besonders was die Extremereignisse betrifft (Starkniederschläge und Dürren, aber beispielsweise auch regionale sommerliche Hitzewellen, Hagel und Tornados). Hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels, der bereits jetzt existierenden und in Zukunft zu erwartenden Belastung und Gefährdung der Menschheit ist somit die globale Mitteltemperatur zwar eine einfache zusammenfassende, aber eigentlich keine sehr geeignete Zielgröße. Nur leider sind Niederschlag, Stürme usw., und insbesondere eben auch die damit verbundene Extremereignisse, in den Klimamodellrechnungen wesentlich unzuverlässiger als die großräumig gemittelte Temperatur. Das gilt sogar auch für die Beobachtungsdaten, u.a. wegen der großen zeitlich-räumlichen Variabilität von Niederschlag und Wind. Trotz dieser Probleme sollte jedoch die Diskussion von Klimaschutzmaßnahmen und somit die Klimapolitik über die bloße Betrachtung der Globaltemperatur wesentlich hinausgehen.

Will man trotzdem weiter mit der globalen 2-Grad-Grenze operieren, so ist sie – sofern uns nicht viele Vulkanausbrüche und wieder verstärkte Luftverschmutzung in Richtung einer überlagerten Abkühlung „helfen“ (was natürlich keinesfalls wünschenswert ist) – eventuell nur dann noch erreichbar, wenn die Treibhausgasemissionen relativ bald negativ werden, d.h. die Senken größer als die Quellen werden. Im Fall von CO<sub>2</sub> bedeutet das, keine weiteren anthropogenen Emissionen (Quellen), sondern stattdessen erhöhte CO<sub>2</sub>- Bindung (Senken), beispielsweise durch Vermehrung der Vegetation, insbesondere der Wälder, die ja in der Wachstumsphase CO<sub>2</sub> aufnehmen. Schließlich ist das folgende Argument nicht ganz von der Hand zu weisen: Die klimapolitische 2-

Grad-Grenze ist zwar eine sehr stark vereinfachte und unrealistische Zielsetzung, aber immer noch besser als gar keine; denn so wird vielleicht letztlich eine (schmerzliche!) 3- oder 4-Grad-Grenze eingehalten, ohne klimapolitische Zielsetzung jedoch möglicherweise selbst das nicht. Auch wenn Klimawissenschaftler sachlich bleiben und emotionale Kraftausdrücke vermeiden sollten, könnte man in einem solchen Fall dann doch von einer „Klimakatastrophe“ reden.

## Literatur

Arrhenius, S. (1896): On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosoph. Mag and J. Sci., Series 5*, **41** (251, 237-276).

Climate Action Tracker (2015): Effect of current pledges and policies on global temperature. <http://climateactiontracker.org/global.html> (Abruf 20.11.2015).

CRU (Climatic Research Unit, University of East Anglia, UK): Global temperature anomalies. <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/HadCRUT4-gl.dat>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker, T.F., et al., eds., 2014): *Climate Change 2013. The Physical Science Basis (Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report)*. Cambridge Univ. Press, Cambridge (UK).

FCCC (2015): UN Framework Convention on Climate Change, Conference of the Parties (21), Paris (11.12.2015), Adoption of the Paris Agreement. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1 (Distr. 12. Dec. 2015).

Hansen, J.E., et al (2008): Target atmospheric CO<sub>2</sub>: Where should humanity aim? [http://www.columbia.edu/~jeh1/2008/TargetCO2\\_20080407.pdf](http://www.columbia.edu/~jeh1/2008/TargetCO2_20080407.pdf)

Kasang, D. 2016: Das Quartär. Hamburger Bildungsserver (Abruf 13.4.2016). <http://www.bildungsserver.hamburg.de/klimageschichte/2047086/das-quartaer/>

Lenton, T.M., et al. (2008): Tipping elements in the Earth's climate system. *PNAS (Proc. Nat. Ac. Sci., USA)*, **105**, 1786-1793.

Schellnhuber, H.J. (2015): *Selbstverbrennung*. C. Bertelsmann, München.

Schönwiese, C.D. (2013): *Klimatologie* (4. Aufl.). Ulmer (UTB), Stuttgart.

*2. Entwurf 1.7.2016.*

*Ich danke allen meinen Fach-Kolleginnen und -Kollegen, die durch konstruktive Kritik zur Verbesserung dieses Texts beigetragen bzw. durch Zustimmung mich in meiner Intention bestärkt haben.*