

Werner Ebeling

Klimaschwankungen aus der Sicht der statistischen Physik und Chaostheorie

Beitrag zum Workshop der Leibniz-Sozietät am 14.11.2014

Aus der Sicht der Physik ist die Dynamik des Klimas ein stochastischer bzw. chaotischer Prozess, der sich durch starke Schwankungen der relevanten Parameter, z.B. des CO₂-Gehaltes und der Temperatur der Atmosphäre auszeichnet. Eine seriöse wissenschaftliche Prognose muss die Grundsätze der statistischen Physik und Chaostheorie beachten und die natürlichen Schwankungen, die in den letzten Millionen Jahren beobachtet wurden, in die Analyse einbeziehen. Im Beitrag werden einige der vorliegenden Daten (Zeitreihen) aus der Erdgeschichte (nicht nur wie meist nur für die letzten 150 Jahre) aus stochastischer Sicht analysiert. Die Auswertung längerer Zeitreihen der Temperatur zeigt, dass die Fluktuationsbreite in Plus- und Minus-Richtung plus/minus 5-6 Grad beträgt. Die Schwankungen, die wir in den letzten 100 Jahren beobachten, erscheinen auf dieser Skala als klein (Behringer, 2007).

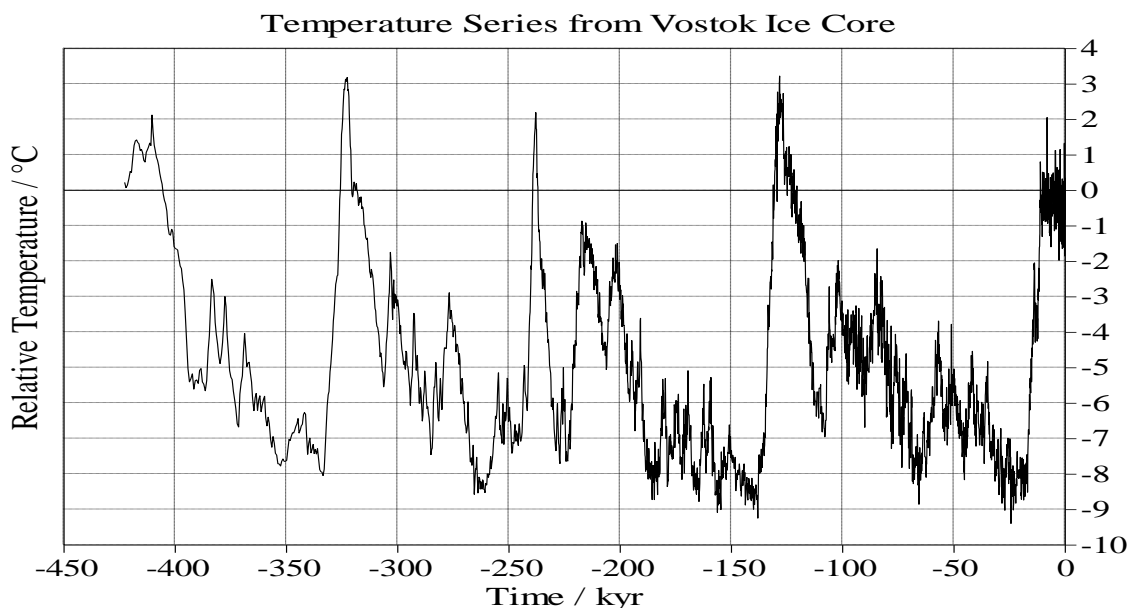


Fig. 1 Temperatur in der Antarktis während der letzten halben Million Jahre nach Eisbohrungen der Russisch-Französischen Station "Vostok" (Abb. nach Feistel und Ebeling, 2011; adaptiert nach Behringer, 2010)

Die Minima der Temperaturkurve in Fig. 1 entsprechen den Eiszeiten, die Maxima den heißen und trockenen Zeiten. Unsere Epoche, wir meinen damit die letzten 5000-10000 Jahre, liegt relativ hoch, fällt aber noch keineswegs aus dem Rahmen, so dass ein Schluss auf eine dramatische Änderung des Temperaturregimes der Erde aus dieser Sicht nicht möglich ist. Kurz davor war noch eine Eiszeit mit drastisch kleineren Temperaturen. Dieses Wechselspiel wiederholte sich mehrere Male. Es ging in der letzten Million Jahre der Evolution auf unserer Erde immer Auf und Ab mit der Temperatur, und das Leben fand Wege, sich darauf einzurichten. Die Schwankungen des CO₂-Gehaltes betragen etwa plus/minus 50 ppmv. Geht man in der Zeit noch weiter zurück, so erweist sich, dass die CO₂ Variationen noch weit größer waren. Vor 2-3 Milliarden Jahren war die Erde von einer reduzierenden Atmo-

sphäre umgeben, in der CO₂ dominierte und in der Sauerstoff nur in oxidischer Form vorkam. Erst nach der Erfindung der Photosynthese und der Ausbildung des Pflanzenreiches bildete sich die heutige Zusammensetzung der Atmosphäre mit geringen CO₂-Konzentrationen heraus. Eine wichtige Erkenntnis besteht darin, dass die Photosynthese der grünen Pflanzen und Meeresalgen in der Lage ist, die Zusammensetzung der Atmosphäre in großem Maßstab und nachhaltig umzubauen. Die Wälder, Wiesen und Meeresalgen sind die wichtigsten CO₂ Speicher und O₂-Generatoren für das Klima, und sie versorgen Tiere und Menschen mit Nahrung und Brennstoff. Trotz dieser wichtigen Erkenntnis konzentriert sich Menschheit derzeit zu sehr auf die fossilen Ressourcen und geht mit der Ressource Pflanzen und Algen unverantwortlich nachlässig um, sie werden in den meisten Diskussionen nicht einbezogen. Wegen des Bedarfs wurde in den letzten Jahrhunderten weltweit der Wald abgeholzt und verbrannt. Auch wurden immer mehr Grünflächen mit Sand, Zement und Asphalt überzogen. Gegen diese gefährlichen Tendenzen gibt es leider nur Widerstände in Erklärungen, aber kaum wirkungsvolle Maßnahmen. Nach wie vor reduziert sich jedes Jahr die Waldfläche um mehr als 2000 Quadratkilometer, wobei Indonesien heute an der Spitze steht und Europa zu den größten Importeuren gehört. Wir sehen kritisch, dass eine nachhaltige Nutzung des Waldes, der Wiesen und Felder sowie der Meeresalgen im Vergleich zu anderen Faktoren nicht als Priorität gesehen wird. Global gesehen verliert die Erde jedes Jahr Grünflächen, d.h. photosynthetisierende Flächen, die Verluste sind sehr hoch. Allein im Laufe des letzten Jahrhunderts wurde der Planet um rund 1,5 Millionen Quadratkilometer Wald ärmer, die FAO geht von einer jährlichen weltweiten Waldzerstörung von rund 15 Millionen Hektar, insbesondere in den Tropen, aus. Derzeit sind noch 30% der Landfläche der Erde bewaldet, obwohl diese Zahl ständig kleiner wird und einige Kontinente, wie z.B. Europa mit maximaler Waldzerstörung und noch etwa 6 % intaktem Wald, wovon 90% in Russland liegen, ein sehr schlechtes Beispiel gegeben haben. In Spanien und in Island sind die Wälder nahezu vollständig vernichtet worden. Wir können davon ausgehen, dass die photosynthetisierende Grünfläche 50% der Landfläche der Erde nicht übersteigen dürfte. Damit hat die Fähigkeit unseres Planeten zur Selbstregulierung eines gesunden CO₂-Gehaltes der Atmosphäre erheblich abgenommen.

Die drastische Verringerung der Photosynthese bei gleichzeitiger starker Erhöhung der industriellen CO₂-Produktion ist letztlich für die starke Vergrößerung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre in letzter Zeit verantwortlich. Die jüngst von bestimmten politischen Gruppen verbreitete Behauptung, die Landwirtschaft und insbesondere die Tierproduktion wäre einer der wichtigsten CO₂-Produzenten überhaupt, entbehrt jeder wissenschaftlichen Grundlage und zeigt, dass die Rolle der Photosynthese nicht verstanden wurde. Soweit sich die Ressourcen der Landwirtschaft über Photosynthese reproduzieren, sind sie klimaneutral, da sich die CO₂-Produktion der Nutztiere mit dem CO₂-Verbrauch der Pflanzen die Waage halten. Im Übrigen folgen wir dem berühmten Physiker Dyson, der schon vor langer Zeit festgestellt hat, dass das Pflanzen und die Pflege eines Baumes im Garten hinter dem Hause eine sinnvollere, weil weitaus effektivere Investition in Klimaschutz ist, als in eine häusliche Photovoltaik, d.h. die Bedeckung des Daches mit Siliziumscheiben. Bäume erfordern praktisch keinen Materialeinsatz, sie haben eine viel größere Auffangfläche als Dächer und sind in Bezug auf die Effektivität der Umwandlung von Sonnenenergie in nutzbare Materialien und Brennstoffe unschlagbar. Aus dieser Sicht muss man auch annehmen, dass die Wiederaufforstung ehemals bewaldeter Flächen in Südeuropa und Nordafrika wesentlich effektiver wäre als der Bau materialintensiver und teurer Photovoltaikanlagen in der Sahara. Die drastische Erhöhung der CO₂-Konzentration der Atmosphäre gehört sicher zu den wesentlichen Faktoren des Klimawandels. Allerdings sind die Zusammenhänge zwischen Temperatur und CO₂-Gehalt keineswegs linear, wie eine Analyse des Verlaufes der CO₂-Kurven über der Zeit und der T-Kurven über der Zeit für die letzten 500 000 Jahre zeigt. Zwar sind Korrelationen beider Größen offensichtlich, aber die Kausalketten sind noch weitgehend unklar (Behringer, 2007; Feistel und Ebeling, 2011). Die bisherigen Modelle berücksichtigen andere wichtige Faktoren wie z.B. den Wasserdampf noch nicht in befriedigender Weise und sind vom Standpunkt einer allgemeinen Theorie her gesehen noch sehr unvollständig und unbefriedigend. Im UNO-Klimabericht wird konstatiert, es gebe „geringes Vertrauen“, dass die Wolken angemessen simuliert werden (Bojanowski, 2013). Wie auch immer diese Frage von den Forschern beantwortet wird, das systematische Wachstum des CO₂-Gehalts ist mit Sicherheit einer der wich-

tigsten Faktoren für die Klimaentwicklung. Allerdings sind die bisher größten Schwankungen wahrscheinlich von erdgeschichtlichen Katastrophen wie Einschlägen von Meteoriten und Vulkaneruptionen ausgelöst worden. Wir zählen einige der letzten klimarelevanten großen Ausbrüche in der Reihenfolge ihres Abstandes zu unserer Zeit auf:

- Krakatau-Ausbruch vor ca. 150 Jahren (Rang 4)
- Tambora-Ausbruch vor ca. 200 a (Rang 2)
- Thora-Ausbruch vor ca. 385 a (Rang 3)
- Vesuv-Ausbruch vor ca. 2100 a (Rang 6)
- Toba-Ausbruch vor ca. 74000 a (Rang 1)

Der Rang bezieht sich auf die Stärke des vulkanischen Ereignisses, gemessen am Ausstoß. Es fällt auf, dass die wirklich großen Ausbrüche vor relativ langer Zeit erfolgten, die Hunderte oder Tausende von Jahren zurückliegen, als wissenschaftliche Aufzeichnungen noch sehr beschränkt waren. Trotz der kleinen Wahrscheinlichkeit, dass ein starker Ausbruch noch in unserer Lebenszeit erfolgt, sollte eine verantwortliche Politik diesen Faktor, der kaum kontrollierbar ist, nicht außer Acht lassen. Vulkan-Ausbrüche zählen zu den starken klimarelevanten Faktoren, die jederzeit und an vielen vulkanischen Standorten akut werden können und praktisch nicht beeinflussbar sind, man kann nur ihre Folgen beeinflussen. Wie dramatisch diese Folgen sein können, haben die erdgeschichtlich gesehen relativ schwachen Ausbrüche von Fokushima und Island gezeigt. Die relativ starke Tambora Eruption von 1815, die ca. 30 Kubikkilometer Material ausgestoßen hat, hat nachweislich ernste globale klimatische Effekte gehabt, so sank im Folgejahr die globale Durchschnittstemperatur um 1°C, und es wurde über weltweite Schlechtwetterperioden mit Missernten und folgenden Hungersnöten berichtet (Self, 2006). Der schwächere Ausbruch des Laki in Island hat 30 Jahre vorher noch dramatischere Klimafolgen für Europa gehabt und soll mit zu den Faktoren gehört haben, die zum Aufstand des hungernden französischen Volkes 1789 geführt haben. Auch wenn der UNO-Bericht 2013 zum Klima zu dem Schluss gelangt ist, dass natürliche Faktoren in letzter Zeit einen geringeren Einfluss auf das Klima gehabt haben, so wäre es unverantwortlich, daraus zu schließen, dass das weiterhin immer so sein wird. Die Schwankungen der natürlichen Faktoren arbeiten ständig, aber auf längeren Zeitskalen, Eruptionen der Stärke von Tambora könnten sich alle 10 – 100 Jahre wiederholen. Man sollte daher u. E. durchaus auf eine größere Eruption in der nächsten Zeit vorbereitet sein, während der Einschlag eines großen Meteoriten für weniger wahrscheinlich gehalten wird (Self, 2006). Vergleichbare Klimafaktoren sind möglicherweise die Bombenkriege der letzten 100 Jahre, bei denen immer mehr Sprengkraft eingesetzt wurde. Moderne nichtnukleare Bomben haben eine Sprengkraft von 1 - 50 TNT. Im Irakkrieg, der die USA nach Stiglitz ca. 3 Billionen Dollar gekostet hat, wurden geschätzt ca. 30000 Bomben u.a. Sprengkörper eingesetzt, entsprechend mindestens 30000 TNT. Nimmt man konservativ geschätzt an, dass 1 TNT einen Würfel 10*10*10 Meter zerstört, d.h. etwa 1000 Kubikmeter Gebäude, kommen wir auf über 10 Millionen Kubikmeter Material, das im Irakkrieg in die Luft gesprengt wurde. Obwohl es zu den Klimafolgen bisher, sicher wegen der brisanten Interessenlage, keine verlässlichen Untersuchungen gibt, zeigt unsere grobe Abschätzung, dass die Folgen in der Größenordnung der Tambora-Eruption liegen könnten. Es ist unverantwortlich, dass dieser stark klimarelevante Faktor in den journalistischen und politischen Diskussionen unserer Tage gegenüber zweitrangigen Faktoren ganz vernachlässigt wird.

Unsere Schlussfolgerung lautet, dass Klimaprognosen eine umfassende Einbeziehung aller starken Faktoren, auch der schwer vorhersehbaren erfordern. Demgemäß sollte eine verantwortungsvolle Politik immer ein breites Möglichkeitsfeld abdecken, auch auf dramatische klimatische Ereignisse vorbereitet sein und nicht einseitigen Prognosen oder Wunschdenken folgen. Verantwortungsvolle Planung sollte immer ein breites Möglichkeitsfeld unter Einbeziehung der günstigsten und ungünstigsten Varianten einbeziehen und Entscheidungen nicht nur auf Prognosen von Mittelwerten gründen, denn die Schwankungsbreite ist sehr groß. Insofern sollten Strategien nicht primär auf die Steuerung von Schwankungen, sondern besonders auf eine rasche Anpassung an Veränderungen gerichtet werden. In der längerfristigen Geschichte der Menschheit war die wichtigste Strategie der Menschheit bei dramatischen Klimaschwankungen bisher immer die Völkerwanderung. Die Berliner

Akademie hat bei der Erforschung solcher Prozesse eine große Tradition, die auch in die Überlegungen einbezogen werden sollte (Herrmann, 1982). Vielleicht kann man die heute heiß diskutierte Wanderungsbewegungen in Europa, die wir beobachten, als den Beginn einer neuen großen Völkerwanderung in der Welt deuten.

Aus der Sicht einer langfristig orientierten stochastischen Analyse ist die Klimaentwicklung Teil einer globalen Entwicklung unseres Planeten, die in der Vergangenheit immer sehr starken Schwankungen unterworfen war und das auch weiterhin sein wird. Wir sollten der Illusion entgegentreten, dass die Wissenschaft und die Politik heute alles vorhersagen und alles richten können. Zufällige Faktoren sind nicht zu vermeiden und daher sollten neben Strategien zur Verringerung negativer Klimafaktoren aus Haushalt, Verkehr, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Industrie, zur Vergrößerung der Photosyntheseflächen und der Ächtung von Bombenkriegen auch systematisch Strategien der raschen Anpassung an unvorhergesehene Veränderungen entwickelt sein. Wie die Erfahrungen der langen Geschichte der Menschheit zeigen, muss man immer auf rasche Temperaturänderungen in positiver oder negativer Richtung, Änderungen des Spiegels der Ozeane und große Wanderungsbewegungen vorbereitet sein und durch Anpassung rasch reagieren können.

Literatur:

W. Behringer, Kulturgeschichte des Klimas. Von der Eiszeit bis zur globalen Erwärmung, C.H. Beck, München 2007; engl. Übersetzung Cambridge 2010

A. Bojanowski, Zum UNO-Bericht, Spiegel-Online 27. Sept., 2013

A. Bunde, J.Kropp, H.J.Schellnhuber (eds), The science of disaster , Springer 2002

W. Ebeling, Über das Gedächtnis des Zufalls, Sitzungsberichte der Leibniz Sozietät, Bd. 118 (2014)

R. Feistel, W. Ebeling: Physics of self-organization and evolution, Wiley Weinheim 2011

J. Herrmann: Wikinger und Slawen, zur Frühgeschichte der Ostseevölker. Akademie-Verlag Berlin 1982

K. Hasselmann, Is climate predictable, In: A. Bunde et al., l.c.

S. Self, Phil. Trans. R. Soc. A 364, 2073-2097 (2006)

Adresse des Verfassers: Werner_Ebeling@web.de