

**Der Klimawandel. Stefan Rahmsdorf, Hans Joachim Schellnhuber. Diagnose, Prognose, Therapie. C.H. Beck Verlag , Auflage: 8 (14. November 2018)**

Welche Faktoren sind für das Klima verantwortlich. Die Autoren geben einen Überblick über den Stand des Wissens und zeigen Lösungswege.

Stefan Rahmsdorf: Professor für Physik der Ozeane an der Uni Potsdam, Hans Joachim Schellnhuber Gründer des Potsdam Instituts für Klimaforschung.

Der Müller Gletscher auf der Südinsel Neuseelands schmilzt zusammen wie die meisten Gletscher der Erde.

Der Klimawandel hat Auswirkungen auf uns Menschen, ist eine Bedrohung für Leib und Leben, Gegenmassnahmen erfordern grosse Investitionen. Es ist keine theoretische Bedrohung aus unsicheren Modellrechnungen, es sind jedoch Messdaten und physikalisches Verständnis. Der Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre ist eine Tatsache, durch Nutzen der fossilen Energie sind wir dafür verantwortlich. Daten aus antarktischen Eisbohrkernen zeigen, nie zuvor seit 1 Mio. Jahren war der CO<sub>2</sub> Gehalt so hoch, wie in den letzten 100 Jahren.

CO<sub>2</sub> erwärmt das Klima, CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre verursacht eine Zunahme der langwelligen Strahlung auf die Erdoberfläche, die Jahre 2016, 2017 und 2015 waren laut meteorologischer Weltorganisation WMO in Genf die 3 wärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen im 19. Jh. Die Gletscher gehen zurück, das Klima wird so warm wie vor 1000 Jahren nicht.

**1. Lernen wir aus der Klimageschichte.** Das Klima auf der Erde wandelte sich immer wieder. Kreidezeit vor 140-65 Mio. Jahren: riesige Saurier lebten in subtropischer Vegetation selbst in arktischen Breiten, der CO<sub>2</sub> Gehalt war viel höher als heute. Dann folgte eine Abkühlung, und seit 2-3 Mio. Jahren folgten regelmässige Eiszeiten und Warmzeiten. **Ist der Klimawandel von uns wesentlich mitverursacht, oder Teil der natürlichen Klimazyklen?**

**Klimaarchive.** Forscher gewinnen Klimadaten aus Sedimenten am Meeresgrund, Schneeschichten auf Gletschern, Stalaktiten in Höhlen, Wachstumsringen in Korallen und Bäumen, sie messen die Isotopenzusammensetzung von Schnee, zählen mit Mikroskop winzige Kalkschalen. Gletscher, Eispanzer von 1000en m Dicke in Grönland und Antarktis durch Schneefall, der nicht wieder auftaut wegen der Kälte, der ältere Schnee wird zusammengepresst zu Eis. Mit der Zeit fliesst das Eis an den Rändern und nach unten ab, und es wird neues Eis gebildet. In zunehmender Tiefe ist immer älteres Eis, man kann in Grönland sogar einzelne Jahresschichten erkennen.

Ist wenig Schneefall, lagert sich Staub auf dem Eisschild ab, die Schicht ist dunkler.

Grönland: das Eis reicht bis 120 000 Jahre in die Vergangenheit zurück. Antarktis: über 800 000 Jahre altes Eis. Im Eis ist das Sauerstoff Isotop 18 zu messen, das ist abhängig von der Temperatur. Sind im Eis kleine Luftbläschen eingeschlossen, kann ich in der Atmosphäre von damals den Gehalt von CO<sub>2</sub>, Methan und von anderen Gasen bestimmen. Im 350 000 Jahre Temperaturverlauf im Wostok Eiskern sind 3 Eiszeitzyklen erkennbar.

**Was bestimmt das Klima?** Das Klima ist das Ergebnis einer Energiebilanz: die ins All abgestrahlte Wärmestrahlung muss die absorbierte Sonnenstrahlung ausgleichen. Ozean und Atmosphäre verteilen die Wärme innerhalb des Klimasystems.

1. Die ankommende Sonnenstrahlung kann durch Änderung der Umlaufbahn um die Sonne, und die Sonnen selbst variieren. 2. Der ins All zurückgespiegelte Anteil kann sich ändern, beträgt heute 30%, ist abhängig von Eisbedeckung, Landnutzung und Verteilung der Kontinente. 3. Die abgestrahlte Wärme wird durch Treibhausgase in der Atmosphäre und Partikeln in der Luft (Aerosolen) beeinflusst. **Zu unterschiedlichen Zeiten dominierten stets unterschiedliche Faktoren. Wetter wird stark durch Zufallsschwankungen geprägt, Klima nicht.**

**Die Frühgeschichte der Erde.** Sonnensystem entstand vor 4,5 Mrd. Jahren aus einem interstellaren Nebel, am Rand der Milchstrasse, und damit die Erde. Die Sonne im Zentrum ist Fusionsreaktor,

die Energie die sie abstrahlt, entspringt einer Kernreaktion, H Kerne verschmelzen zu He. Die Sonne dehnt sich mit der Zeit aus und strahlt heller. 1950 er Jahre Fred Hoyle: die Sonne hat zu Beginn der Erdgeschichte 25-30% schwächer gestrahlt als heute. Damals war das globale Klima ca. 20° kälter, unter dem Gefrierpunkt. Albedo – Eismassen dehnen sich aus, ein grosser Teil der Sonneneinstrahlung wird reflektiert, es wird kälter, Wasserdampf, eines der wichtigsten Treibhausgase in der Atmosphäre, nimmt bei kälterem Klima ab. Die Erde war während der ersten 3 Mrd. Jahre komplett vereist. Es war aber fließendes Wasser vorhanden, d.h. der Treibhauseffekt muss früher stärker gewesen sein, um die schwächere Sonneneinstrahlung auszugleichen. CO<sub>2</sub> und Methan verursachten den Treibhauseffekt, waren in der Atmosphäre in höherer Konzentration. **Hat ein globaler Regelkreis die Treibhausgase reguliert ?**

**Kohlenstoffkreislauf:** Durch Verwitterung von Gestein an Land und im Gebirge wird CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre gebunden, gelangt durch Sedimentation teilweise in die Erdkruste. Durch die Kontinentaldrift wird der Meeresgrund ins Erdinnere gedrückt, bei den hohen Temperaturen wird CO<sub>2</sub> freigesetzt und entweicht durch Vulkane zurück in die Atmosphäre.

Erwärmt sich das Klima, gibt es schnellere chemische Verwitterung, CO<sub>2</sub> wird aus der Atmosphäre entfernt, wirkt weiterer Klimaerwärmung entgegen >> daher hat sich trotz veränderter Sonnenhelligkeit das Klima nicht aus dem lebensfreundlichen Bereich bewegt. Erdkrusten Gestein, Sedimente, enthalten fast 100 000 mal mehr Kohlenstoff als die Atmosphäre. Der Regelkreis kann schnellere Klimaänderungen nicht abdämpfen, dafür ist der Austausch von CO<sub>2</sub> zwischen Erdkruste und Atmosphäre zu langsam.

Die Eis-Albedo Rückkopplung wirkt dagegen schnell, hat in der Erdgeschichte oft zu einer Katastrophe geführt: zu fast kompletter Vereisung - „Snowball Earth“ vor 600 Mio. Jahren. Kontinente waren mit Eispanzern bedeckt, die Ozeane mit 100m dicker Eisschicht. Die Verwitterung unter dem Eis kommt zum Erliegen, Vulkanismus bleibt bestehen, CO<sub>2</sub> Konzentration der Atmosphäre steigt in Mio. von Jahren an, bis der Treibhauseffekt so stark wird, dass die Eismassen schmelzen >> die Erde kommt aus dem Gefrierschrank in den Backofen: die hohe CO<sub>2</sub> Konzentration führt bis zu 50°C. Auf die Schneeball Episoden folgen Phasen grosser Hitze, das ist vielleicht die Ursache für die folgende Evolution und Vielfalt moderner Lebensformen.

**Klimawandel über Jahrmillionen.** In den letzten 500 Mio. Jahren ist die Position von Kontinenten und Ozeanen bekannt. Aus den Sedimenten lässt sich das Auf und Ab des Klimas rekonstruieren. Kaltphasen mit Eisbedeckung wechseln sich mit eisfreien Klimaphasen ab.

Schwankungen im CO<sub>2</sub> Gehalt der Atmosphäre werden verursacht durch den langsameren Kohlenstoffkreislauf, die Kontinentaldrift ist langsam, Kontinente kollidieren und türmen hohe Gebirge auf, dadurch wird die Verwitterung stark beschleunigt. In den vergangenen Millionen von Jahren war der CO<sub>2</sub> Gehalt niedrig, und vor 300 Mio. Jahren, sonst war der CO<sub>2</sub> Gehalt wesentlich höher. Grössere Eisvorkommen fallen zusammen mit niedriger CO<sub>2</sub> Konzentration, während hoher CO<sub>2</sub> Konzentration war die Erde weitgehend eisfrei.

Kreidezeit: Warmphase 140-65 Mio. Jahren vor Christus. Dinosaurier lebten auch in polaren Breitengraden. Nachher ist der CO<sub>2</sub> Gehalt gesunken. Vor 2-3 Mio. Jahren war ein neues Eiszeitalter, in dem wir bis heute leben. Die Pole der Erde bleiben bedeckt, auch in der relativ warmen Phase wie jetzt im Holozän. In Kaltphasen breiten sich gigantische Eispanzer auf den Kontinenten des Nordens aus.

**Plötzliche Warmphase** vor 55 Mio. Jahren, Kohlenstoff gelangte in die Atmosphäre in kurzer Zeit, die Temperatur stieg um 5-6°C. Die Konzentration von dem Isotop C<sup>13</sup> nahm ab, die Quelle können Methaneis-vorkommen am Meeresgrund, oder starke Vulkane oder der Einschlag eines Meteoriten sein.

Das Klima kann sich rasch um mehrere Grad erwärmen, wenn grosse Mengen von Kohlenstoff in

die Atmosphäre gelangen, ähnlich wie es durch die derzeit ablaufende Freisetzung von Kohlenstoff auf der Erdkruste durch Menschen erwartet wird.

Vor 1-2 Mio. Jahren: vertraute Geographie der Erde, Kontinente und Gebirgszüge entsprechen der heutigen Situation, auch Tiere und Pflanzen sind uns vertraut. Vor 1,6 Mio. Jahren Homo erectus von Afrika und S-O Asien, Vor 400 000 Jahren Hominiden, Neandertaler und Homo Sapiens auch in Europa. **Das Klima ist geprägt von zyklischen Eiszeiten.**

Höhepunkt einer Eiszeit vor 20 000 Jahren, unsere Vorfahren schufen Werkzeuge. Eiszeitzyklen sind die sogenannten **Milankovitch Zyklen** der Bahn der Erde um die Sonne – serbischer Astronom stellte Schwankungen der Erdumlaufbahn fest, und die veränderte Sonneneinstrahlung verursachen Wachsen und Schmelzen von Kontinentaleismassen.

23 000, 41 000, 100 000, 400 000 Perioden der Erdbahnzyklen.

Änderung des Neigungswinkels der Erdachse – lange Warmzeiten gibt es, wenn die Erdbahn fast kreisrund ist – vor 400 000 Jahren., die nächste Eiszeit käme erst in 50 000 Jahren.

Das wird ernsthaft in Frage gestellt, weil der von uns verursachte Anstieg von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre so lange nachwirken könnte, dass die natürlichen Eiszeitzyklen für mehrere 100 000 Jahre verstärkt würden. Es hätte eine neue erdklimatische Epoche begonnen: das Antropozän.

Rückkopplungsprozesse – wenn Schnee im Norden liegen bleibt, nicht abschmilzt, reflektiert er die Sonneneinstrahlung und kühlt das Klima weiter ab. Die Eismassen wachsen auf mehrere 1000m Dicke, aber die Südhalbkugel hat mehr Sonneneinstrahlung, CO<sub>2</sub> ist im Eis eingeschlossen. Fällt die Temperatur, fällt der CO<sub>2</sub> Gehalt der Luft, dies verstärkt die Abkühlung. Dreht man am CO<sub>2</sub> wie wir heute, steigt wenig später die Temperatur. Es kam über 20 mal zu plötzlichem Klimawechsel in der letzten Eiszeit, In Grönland stieg die Temperatur bis zu 12°C an, blieb mehrere Jahrhunderte warm. „Dansgaard-Oeschinger-Ereignisse“ (DO Events) , es sind sprunghafte Änderungen der Meeresströme im Nordatlantik, die Wärme in den nördlichen Atlantikraum bringen.

Heinrich Ereignisse: zu erkennen an den Tiefseesedimenten aus dem Nordatlantik, eine Schicht von schweren Steinchen, die nur von schmelzenden Eisbergen auf den Meeresgrund gefallen sein können. Eisberge, Bruchstücke des nordatlantischen Kontinentaleises sind über den Atlantik getrieben. Dadurch kam die Atlantikströmung vorübergehend zum Erliegen, und es kühlte im Mittelmeerraum ab.

**Holozän** – Klima in der Warmzeit seit 10 000 Jahren, stabiles Klima, wir konnten die Landschaft erkunden und sesshaft werden. Vor 8200 Jahren schwache Kältephase (8k Event). Durch Abschmelzen der letzten Eisreste der Eiszeit entstand ein Schmelzwassersee über Nordamerika, der Eisdamm brach, die Atlantikströmung wurde gestört. Die Sahara wandelte sich in eine besiedelte Savanne mit Wasserflecken in einer Wüste, verursacht durch Veränderung der Monsun Zirkulation, die vom 23 000 jährigen Erdbahn - Zyklus ausgelöst werden.

Durch veränderte Windrichtungen oder Meeresströmungen können grosse Klimaschwankungen auftreten. Grossräumige Mittelwerte sind wichtig.

2017 98 Forscher haben im Projekt PAGES 2k globalen Mittelwert der Temperatur seit Christi Geburt errechnet: die moderne Erwärmung hat Jahrtausende der Abkühlung in 100 Jahren wettgemacht.

Das Klima ist ein nicht lineares System, das zu sprunghaften Änderungen neigt. Klimaforscher bekommen ein immer besser werdendes Verständnis von Ursache und Wirkung der Klimaveränderungen. **Die wichtige Rolle von CO<sub>2</sub> als Treibhausgas ist bestätigt.**

[https://www.amazon.de/gp/product/B07JP3DDMC/ref=oh\\_aui\\_d\\_asin\\_title\\_o06\\_?ie=UTF8&psc=1](https://www.amazon.de/gp/product/B07JP3DDMC/ref=oh_aui_d_asin_title_o06_?ie=UTF8&psc=1)