

Klima gestern, heute und morgen - Fakten und Projektionen

Klaus Grosfeld, Alfred-Wegener-Institut für Polar und Meeresforschung, Bremerhaven

Der Klimawandel und die Auswirkungen auf unseren unmittelbaren Lebensbereich sind in den vergangenen Jahren zunehmendes Thema in der öffentlichen Diskussion geworden. Begleitet von Extremwetterereignissen und Naturkatastrophen hat sich das Bild eines sich verändernden Planeten in den Alltag der Menschen eingepreßt. Konsequenzen für das gesellschaftliche wie politische Handeln sind unabdingbar. Nicht zuletzt seit dem Klimabericht des Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimafragen der Vereinten Nationen (IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change) im Jahre 2007 ist das Thema *Klima und Klimaveränderung* in der breiten Öffentlichkeit angekommen.

Um sich jedoch ein Bild über den Grad der Veränderung machen zu können ist es notwendig, das Klima in seiner Langzeitentwicklung zu betrachten, um den anthropogenen, d.h. den vom Menschen verursachten Einfluss auf das Klima, von der natürlichen Variabilität unterscheiden zu können. Untersuchungen an Eisbohrkernen aus der Antarktis zeigen, dass sich seit Beginn der Industrialisierung im 18. Jahrhundert die Zusammensetzung der Atmosphäre, insbesondere der Gehalt an Treibhausgasen, wie Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) durch menschliche Aktivitäten signifikant erhöht hat. Beim Kohlendioxid geht diese Entwicklung primär auf fossile Brennstoffe und Landnutzungsänderungen zurück, wie beispielsweise die Abholzung vieler Wälder. Der Anstieg der Methan- und Lachgaskonzentrationen geht in erster Linie auf die intensivierete Landwirtschaft zurück. Zudem hat der Mensch durch die Landwirtschaft sowie den Bau von Städten und Kommunikationswegen den Charakter der Landoberfläche entscheidend verändert.

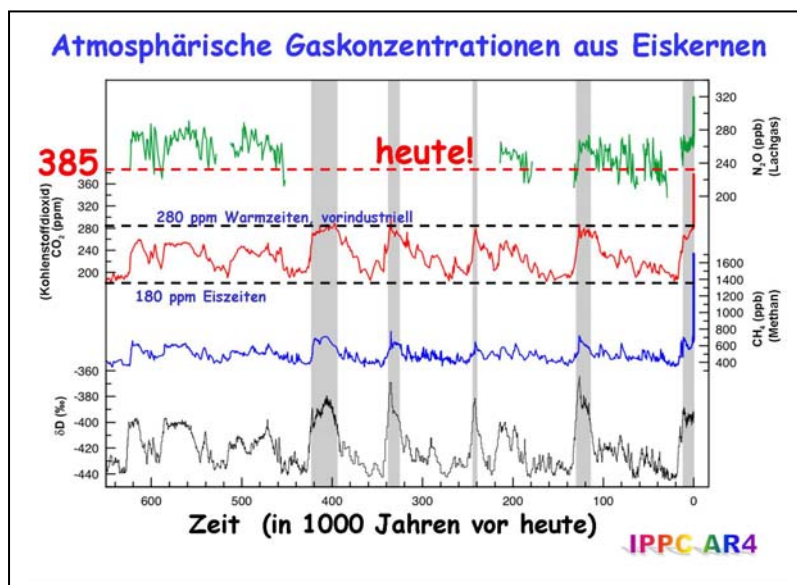


Abbildung 1: Atmosphärische Gaskonzentration der letzten 650.000 Jahre aus einem Eiskern der Antarktis.

Die Ergebnisse aus der Analyse von Eisbohrkernen zeigen, dass die atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid während der letzten 650.000 Jahre (neue Messungen gehen bis ca. 900.000 Jahre zurück) bis ca. 1750 in einem Konzentrationsband von 180 ppm (*parts per million*, das heißt 180 CO₂-Moleküle auf eine Million Luftmoleküle) bis 280 ppm stabil gewesen ist. Der Wechsel von Eiszeiten zu Warmzeit auf einer Zeitskala von ca. 100.000 Jahren gab hier den Antrieb für die Langzeitvariation vor.

Nach 1750 ist die globale atmosphärische Kohlendioxid-Konzentration jedoch von ihrem vorindustriellen Wert auf 385 ppm im Jahre 2008 angestiegen, was einer Veränderung in der Größenordnung des Eiszeit/Warmzeitunterschieds von ca. 100 ppm entspricht, dies jedoch in einem Zeitraum von nur 250 Jahren gegenüber ursprünglich 100.000 Jahren. In den letzten Jahren stellten Wissenschaftler außerdem eine Beschleunigung des Anstiegs der

CO₂- und N₂O-Konzentrationen fest. Änderungen der atmosphärischen Konzentrationen der Treibhausgase und Aerosole (kleine, schwebende, feste und flüssige Partikel in der Atmosphäre), der Sonneneinstrahlung und der Beschaffenheit der Landoberfläche ändern die Strahlungs- und Energiebilanz an der Erdoberfläche und haben Auswirkungen auf den Wasserkreislauf. Auf der Grundlage einer Fülle von Beobachtungsdaten und Modellrechnungen kommen die Wissenschaftler aus aller Welt daher zu dem Schluss, dass der größte Anteil an der beobachteten globalen Erwärmung der letzten 50 Jahre den menschlichen Aktivitäten zugeschrieben werden kann, und diese Veränderungen zukünftig weiter zunehmen werden, wenn nicht schnellstmöglich Gegenmaßnahmen beschlossen und umgesetzt werden. Als Folge der Erwärmung schmelzen beispielsweise Gebirgsgletscher, Eisschilde und das Meereis, insbesondere in der Arktis, mit Auswirkungen für Umwelt und Mensch.

Die Beobachtungsdaten der vergangenen 150 Jahre zeigen deutlich, dass sich das Klima erwärmt. Zwischen 1906 und 2005 stieg die globale bodennahe Mitteltemperatur um 0,74°C. Gebirgsgletscher und Schneebedeckung nahmen im Mittel auf der Nord und Südhalbkugel ab. Der lineare Erwärmungstrend über die letzten 50 Jahre (1956-2005) ist mit etwa 0.6°C jedoch fast doppelt so hoch wie derjenige über die letzten 100 Jahre, wobei sich eine besonders deutliche Erwärmung in der Arktis zeigt (etwa 1.1°C in den letzten 50 Jahren). Insbesondere das sommerliche Meereisminimum zeigt einen dramatischen Rückgang, was sich neben der Fläche auch in der mittleren Meereisdicke feststellen lässt. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf die Strahlungsbilanz und führt so durch das veränderte Reflexionsvermögen der arktischen Regionen zu einer zunehmenden Erwärmung.

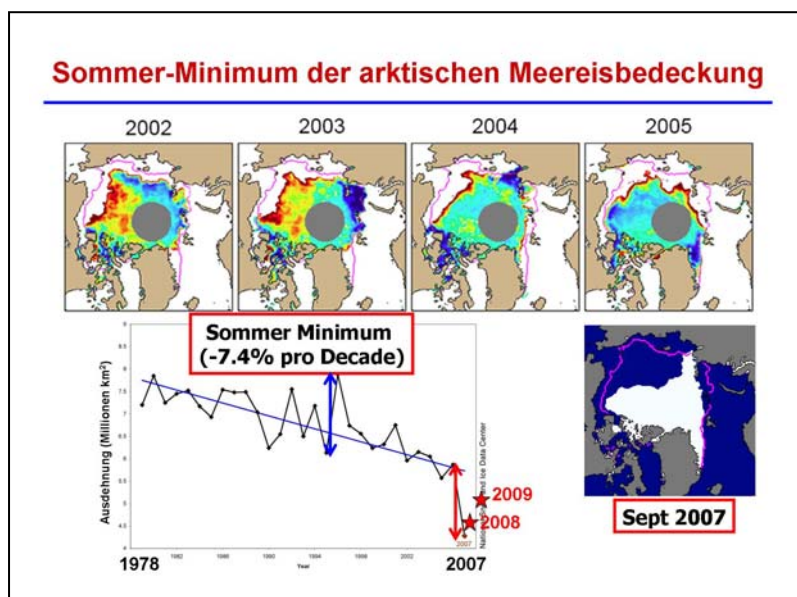


Abbildung 2: Trend des Septemberminimums der sommerlichen Meereisausdehnung in der Arktis. Im Jahr 2007 wurde die geringste Meereisausdehnung seit Beginn der kontinuierlichen Beobachtungen registriert.

Im Einklang mit einer derartigen Erwärmung und seinen Folgen für das Klimasystem steht der Anstieg des Meeresspiegels. Er stieg im 20. Jahrhundert um etwa 17 Zentimeter (0,12 – 0,22 Meter) im globalen Mittel. Im Zeitraum 1993 bis 2003 betrug der Anstieg jedoch schon etwa 3,1 (2,4 - 3,8) mm pro Jahr. Grund dafür sind die thermische Ausdehnung des Ozeans (etwa 57%) sowie schmelzende Gletscher, Eiskappen und Eisschilde (etwa 28%). Der Rest ist noch durch Unsicherheiten in der Bestimmung der glazialen Abflüsse begründet. Neueste Studien zeigen jedoch einen deutlich erhöhten Beitrag durch die Eisschmelze.

Um die beobachteten Veränderungen in einen globalen Kontext stellen zu können werden Klimamodelle verwendet, die die Zusammenhänge und Wechselwirkungen im Klimasystem auf mathematisch-physikalischer Grundlage berechnen und im Vergleich mit Beobachtungsdaten, Bewertungen potentieller Ursachen der Veränderungen ermöglichen. Hierdurch können unterschiedliche Einflussgrößen wie beispielsweise Sonnenaktivität, Treibhausgase,

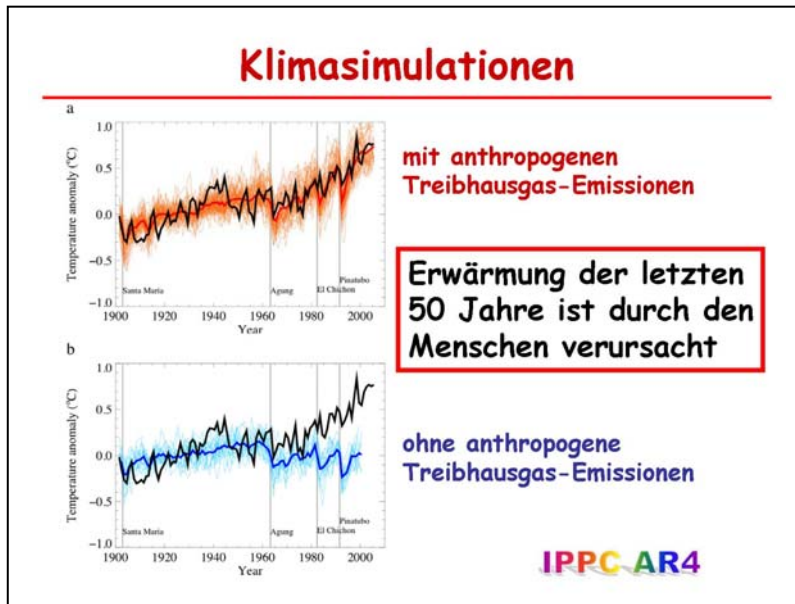


Abbildung 3: Vergleich der mittleren globalen Oberflächentemperatur aus Beobachtungsdaten (schwarze Kurve) mit Simulationsergebnissen aus Klimamodellen für den Fall (a) mit natürlichen und anthropogenen Einflussgrößen, und (b) nur mit natürlichen Einflussgrößen (ohne anthropogene Treibhausgas-Emissionen).

Vulkane, etc. separat studiert und in ihrer Bedeutung für die Klimaentwicklung beurteilt werden.

Auf dieser Grundlage und dem wissenschaftliche Verständnis der natürlichen und vom Menschen verursachten erwärmenden sowie abkühlenden Einflüsse auf das Klima kommen die Wissenschaftler zu dem Ergebnis, das der größte Teil des Anstiegs der mittleren globalen Temperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts **sehr wahrscheinlich** (das heißt zu über 90 Prozent) auf den Anstieg der vom Menschen verursachten Treibhausgas-konzentrationen zurückzuführen ist.

Mit Hilfe dieser Klimamodelle und angenommener Szenarien über die wirtschaftliche und bevölkerungspolitische Entwicklung auf der Erde können Emissionsszenarien für Treibhausgase entwickelt werden, die Aussagen für die zukünftige Klimaentwicklung zulassen. Basierend auf derartigen Modellen werden drei deutlich unterschiedliche Szenarien unterschieden: B1 – niedriges, A1B – mittleres, und A2 – hohes Emissionsszenario.

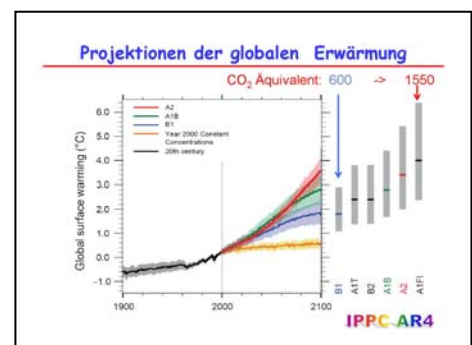
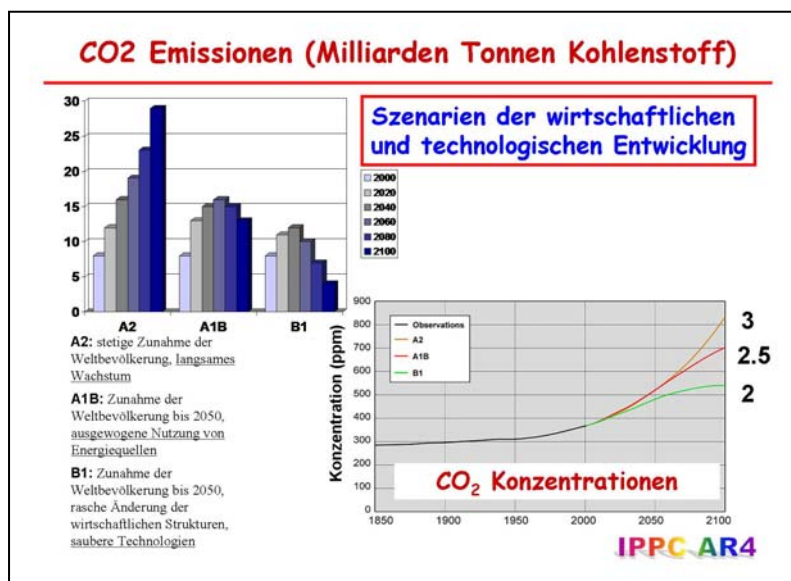


Abbildung 4: Projektionen der anthropogenen CO₂ Emissionen für verschiedene zukünftige wirtschaftliche und bevölkerungspolitische Entwicklungen und ihre Auswirkungen auf die globale mittlere Temperatur.

Im Fall des ungebremsten Anstiegs der Treibhausgase wird demnach die atmosphärische CO₂-Konzentration bis zum Ende des 21. Jahrhunderts auf etwa den 3-fachen Wert des vorindustriellen Wertes ansteigen. Und selbst mit einer engagierten wirtschaftlichen und

ressourcenschonenden Wirtschaftsentwicklung bei einem gleichzeitigen langsamen Rückgang der Weltbevölkerungszahl ab Mitte des 21. Jahrhunderts wird sich die Treibhausgaskonzentration noch verdoppeln. Die **Auswirkungen auf die globale Temperaturentwicklung** zum Ende des 21. Jahrhunderts (2090-2099) variieren je nach Szenario **zwischen 1,8°C (1,1-2,9°C) und 4,0°C (2,4-6,4°C)** Erwärmung gegenüber dem Vergleichszeitraum 1980-1999. Und selbst wenn die Konzentration aller Treibhausgase und Aerosole auf dem Niveau des Jahres 2000 konstant gehalten werden könnten, wäre für die nächsten zwei Jahrzehnte eine weitere Erwärmung um etwas 0,1°C pro Jahrzehnt zu erwarten, danach ein weiterer leichter Anstieg.

Für den globalen **Meeresspiegel** bedeutet dies ein **Anstieg von 18-28 cm bis hin zu 26-59 cm** in den nächsten einhundert Jahren. Dies erscheint zunächst wenig, kann sich regional jedoch stärkerer auswirken. Insbesondere die Unsicherheiten aufgrund eines zunehmenden Eisabflusses von Grönland und der Antarktis können die oberen Abschätzungen noch weiter erhöhen.

Auf regionaler Skala wird sich in allen Szenarios die projizierte Erwärmung im 21. Jahrhundert besonders stark in den hohen nördlichen Breiten auswirken. Eine Abnahme der Schneebedeckung, ein zunehmendes Auftauen der Permafrostböden mit Potential für verstärkte Emission von Methangas, ein Rückgang des arktischen Meereises bis hin zu einer sommerlich eisfreien Arktis im letzten Drittel des 21. Jahrhunderts können projiziert werden. Für mittlere Breiten sind heiße Extreme, Hitzewellen und Starkniederschläge als sehr wahrscheinlich einzustufen, mit generell nasserem Wintern und trockeneren Sommern für Westeuropa.

Auch wenn das Klima der Erde als nicht konstant anzusehen ist und es Kalt- und Warmphasen (Eis- und Warmzeiten) immer gegeben hat, so ist doch eines klar: der Mensch hat in den letzten 250 Jahren deutlichen Einfluss auf das Klima der Erde genommen und die atmosphärische Konzentration der Treibhausgase übertrifft heute die aus Eisbohrkernen über viele Jahrtausende bestimmten Werte bei Weitem. Die Veränderungen sind im Vergleich zur natürlichen Variabilität in einer recht kurzen Zeit erfolgt und die Anpassung bei einer steigenden Weltbevölkerung stellt sich als zunehmend schwierig dar. Es ist daher dringend Zeit zu handeln, um den Grad der zukünftigen Erwärmung in einem Bereich zu halten, der für Mensch und Umwelt gleichermaßen ausreichende Lebensbedingungen bietet.

Weiterführende Literatur:

Homepage: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

<http://www.ipcc.ch/index.htm>

Klimaänderungen 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger

http://www.bmu.bund.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ipcc_entscheidungstraeger_agi.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Ergebnisse des *Fourth Assessment Report* (AR4) der Arbeitsgruppe 1: Wissenschaftliche Grundlagen

http://www.awi.de/de/aktuelles_und_presse/ausgewahlte_themen/klimawandel/ipcc_bericht_2007/zusammenfassung/

Zur Klimakonferenz in Kopenhagen: „Ein heute außergewöhnlich heißer Sommer wird in 60 Jahren ein kühler sein. (Texte und Podcasts)

http://www.awi.de/de/aktuelles_und_presse/hintergrund/klimawandel/

The Copenhagen Diagnosis: Updating the world on the latest climate Sciences 2009

<http://www.copenhagendiagnosis.org/default.html>

Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (die wichtigsten neuen Ergebnisse 2009) <http://www.copenhagendiagnosis.org/default.html>