

# 4. Sachstandsberichts (AR4) des IPCC (2007) über Klimaänderungen

## Wissenschaftliche Grundlagen

### Kurzzusammenfassung

Der Bericht der Arbeitsgruppe I des IPCC ist der erste von insgesamt 3 Teilbänden des 4. Sachstandsberichtes (AR4). Er stellt den aktuellen Kenntnisstand zu den wissenschaftlichen Grundlagen der Klimaänderung dar. Seit dem 3. Sachstandsbericht des IPCC (TAR) 2001 hat die Forschung wesentliche Fortschritte beim Verständnis der aktuellen Klimaänderungen erzielt: Die räumliche und zeitliche Datengrundlage wurde erweitert, die Datenanalysen verbessert, die Erde geografisch breiter erfasst und bisherige Unsicherheitsfaktoren besser verstanden und hinsichtlich ihrer Klimawirksamkeit eingegrenzt. Insbesondere wurden auch mehr und bessere Modelle verwendet. Der 4. Sachstandsbericht bestätigt, bekräftigt oder präzisiert zentrale TAR-Aussagen:

### 1. Kernaussagen

**Beobachtungen und Messungen** lassen keinen Zweifel, dass das Klima sich ändert: Die globale Erwärmung und der Meeresspiegelanstieg hat sich beschleunigt, ebenso das Abschmelzen der Gletscher und Eiskappen.

In den letzten 100 Jahren hat sich die Erde im Mittel um 0,74°C erwärmt. Elf der letzten 12 Jahre (1995-2006) waren unter den zwölf wärmsten Jahren seit Beginn der Beobachtungen.

Es gilt als „gesichertes Erkenntnis“, dass im weltweiten Durchschnitt **menschliches Handeln** seit 1750 das Klima erwärmt hat – vorrangig durch den fossilen Brennstoffverbrauch, die Landwirtschaft und eine geänderte Landnutzung.

Das heutige Niveau der Treibhausgase (THG) liegt deutlich höher als das natürliche Niveau in den letzten 650.000 Jahren.

**regionale Klimamuster** ändern sich: Viele langfristigen Veränderungen wurden beobachtet, etwa bei Temperatur und Eis in der Arktis, Niederschlägen, Salzgehalt im Ozean und Winden.

**Extreme Wetterereignisse** wie Hitzewellen, Dürren, heftige Niederschläge sind häufiger geworden und die Intensität tropischer Stürme hat sich erhöht.

Werden die **THG-Emissionen** nicht verringert, ist eine Zunahme von 0,2°C pro Dekade für die nächsten 30 Jahre sehr wahrscheinlich<sup>1</sup>. Werden Treibhausgase weiter im aktuellen Ausmaß oder in noch höheren Mengen freigesetzt, wird eine weitere Erderwärmung verursacht. Es würden dann im Verlauf des 21. Jahrhunderts Änderungen im globalen Klimasystem eintreten, die sehr wahrscheinlich<sup>1</sup> die im 20. Jahrhundert übertreffen.

Selbst wenn die Treibhausgas-Konzentrationen bis 2100 stabilisiert werden sollten: Das Klima wird sich **über das 21. Jahrhundert hinaus** ändern und insbesondere der Meeresspiegel weiter steigen.

**Fortschritte in der Klimamodellierung:** Im 4. Sachstandsbericht konnten im Vergleich zum TAR mehr Modelle mit zunehmender Komplexität und Realitätsnähe, sowie verbesserte Erkenntnisse über Rückkopplungen im Kohlenstoffkreislauf genutzt werden.

**Globale Erwärmung:** Mit diesen Modellen wurde die globale Temperaturentwicklung für verschiedene Emissionsszenarien mit unterschiedlichen Annahmen unter anderem zur Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung untersucht. Diese Szenarien enthalten jedoch keine Maßnahmen zum

Klimaschutz. Die beste Schätzung für ein niedriges Szenario ist eine Erwärmung von 1,8°C im Laufe des 21. Jahrhunderts, mit einer Schwankungsbreite von 1,1 bis 2,9°C. Die beste Schätzung für ein hohes Szenario ist 4,0°C (Schwankungsbreite: 2,4 bis 6,4°C). Diese Spannen sind weitestgehend konsistent mit der im TAR projizierten Spanne (1,4 – 5,8°C). Die oberen Grenzen der abgeschätzten Schwankungsbreiten ist höher als im TAR, hauptsächlich wegen der jetzt höher abgeschätzten Rückkopplungseffekte im Kohlenstoffkreislauf.

**Meeresspiegelanstieg:** Unter den gleichen Annahmen zur Emissionsentwicklung zeigen die Modelle im Laufe des Jahrhunderts einen Meeresspiegelanstieg von 18-38 cm für ein niedriges Szenario und 26 bis 59 cm für ein hohes Szenario. Die im TAR veröffentlichte Spanne (9 bis 88 cm) wäre ähnlich ausgefallen, wenn Unsicherheiten, die jetzt besser abgeschätzt werden können, auf gleiche Art und Weise berücksichtigt worden wären. Aktuelle Beobachtungen zeigen eine beschleunigte Eisdynamik in polaren Gebieten, die nicht in den Klimamodellen berücksichtigt wird. Diese Beobachtungen und paläoklimatische Erkenntnisse lassen eher einen höheren Meeresspiegelanstieg erwarten als in derzeitigen Modell-Projektionen angenommen.

## 2. Der 4. IPCC-Bericht verbessert und erweitert die Erkenntnislage

Aerosole, Rückkopplungsmechanismen, solare Schwankungen, regionale Klimaänderungen, die Bedeutung des Ozeans: Das IPCC liefert zu vielen Teilbereichen neue bzw. erweiterte Aussagen:

Die Sicherheit der Aussagen zum menschlichen Anteil an den beobachteten Klimaänderungen hat sich erhöht: 2007 urteilt das IPCC: „Sehr wahrscheinlich“<sup>1</sup> seien die anthropogen bedingten THG-Zuwächse die **Ursache für die beobachtete globalen Temperaturerhöhung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts**. Im TAR hieß es noch: „Wahrscheinlich“<sup>1</sup>. Der menschliche Einfluss ist jetzt nicht nur in der globalen Temperaturentwicklung nachweisbar, sondern in Temperaturmitteln der Kontinente und Ozeane sowie in Temperaturextremen und Windmustern.

Die noch im TAR beschriebenen **Diskrepanzen** zwischen erdnahen und atmosphärischen Temperaturmessungen bestehen nicht mehr.

**Solare Schwankungen / Strahlungsantrieb**<sup>2</sup>: Seit TAR werden die anthropogenen und natürlichen Ursachen von Klimaänderungen besser verstanden. Dies wurde durch verbesserte Messungen vor Ort, Satelliten und leistungsfähigere Modellierungsverfahren erreicht. Seit 1750 hat menschliches Handeln eine globale Erwärmung bewirkt, die einem Strahlungsantrieb von 1,6 Watt/m<sup>2</sup> entspricht. Dieser Netto-Wert ist wesentlich größer als der durch solare Strahlungsschwankungen verursachte. Letzterer wird mit 0,12 Watt/m<sup>2</sup> veranschlagt (weniger als die Hälfte des TAR-Schätzwertes).

### **Beschleunigte Entwicklungen:**

- Temperatur: Der aktualisierte lineare 100-Jahrestrend (1906 bis 2005) von 0,74° C ist größer als der entsprechende Trend von TAR (0,6° C im Zeitraum von 1901-2000). Die Erwärmungsrate für die letzten 50 Jahre ist nahezu doppelt so groß wie die für die vergangenen 100 Jahre.

- Meeresspiegel: Er stieg von 1961 bis 2003 mit einer jährlichen Durchschnittsrate von 1,8 mm; diese Rate erhöhte sich zwischen 1993 und 2003 auf 3,1 mm pro Jahr.

- Eisschmelze: Gebirgsgletscher und Schneebedeckung der Erde haben sich verringert. Gletscher- und Eiskappenschwund (ohne Grönland und Antarktis) haben den Meeresspiegel zwischen 1961 und 2003 um 0,50 mm pro Jahr und von 1993 bis 2003 um 0,77 mm pro Jahr steigen lassen.

Die Forscher beobachteten viele **Klimaänderungen, die ganze Kontinente und Meeresbecken betreffen** – Modelle zeigen, dass sich diese Trends auch im 21. Jahrhundert fortsetzen:

- Arktis: Die durchschnittlichen Temperaturen stiegen in den vergangenen 100 Jahren doppelt so schnell wie im globalen Durchschnitt. Seit den 1980er Jahren stieg die Temperatur auf arktischen Dauerfrostböden im Allgemeinen um 3°C.

- Meereis: Satellitendaten zeigen seit 1978, dass die durchschnittliche jährliche Ausdehnung um 2,7% pro Jahrzehnt geschrumpft ist, im Sommer um 7,4%.
- Niederschläge: Langfristige Trends wurden von 1900 bis 2005 in vielen Regionen beobachtet, zum Beispiel eine deutliche Zunahme in den östlichen Teilen Nord- und Südamerikas, in Nordeuropa und in Nord- und Zentralasien. Austrocknen in Westafrika (Sahel), im Mittelmeerraum, im südlichen Afrika und in Teilen Südasiens. Die Dürren in den Tropen und Subtropen haben sich seit den 1970er-Jahren verlängert und sind intensiver geworden.
- Stark-Niederschläge: Die Häufigkeit hat zugenommen und stimmt mit der erwärmungs-bedingten Zunahme des Wasserdampfgehalts der Lufthülle überein.
- Temperaturextreme: Zunahme in den letzten 50 Jahren. Kalte Tage, kalte Nächte und Frost sind seltener und heiße Tage, heiße Nächte und Hitzewellen häufiger geworden. Es gilt als „praktisch sicher“, dass dieser Trend sich im 21. Jahrhundert fortsetzt.

**Versauerung des Weltozeans:** Die zunehmende CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre hat zu einem gesteigerten CO<sub>2</sub>-Eintrag in den Ozean geführt, der zunehmend versauert. Diese Versauerung löst Kohlenstoffsedimente auf. Betroffen sind etwa Korallenriffe und einige Planktonorganismen (Nahrungskette).

**Die Abschätzung der Klimasensitivität (Maß für die Stärke der Reaktion des Klimasystems auf menschliche Einflüsse) hat sich im Vergleich zum TAR verbessert:** Bei Verdoppelung der Kohlendioxid-Konzentration steigt die globale Durchschnittstemperatur um 2,0 bis 4,5°C (TAR: 1,4 bis 4,5°C); die beste Schätzung liegt bei etwa 3,0°C (frühere Schätzung; 2,5°C). Eine Erwärmung unter 1,5°C ist sehr unwahrscheinlich<sup>1</sup>, eine über 4,5°C nicht auszuschließen.

**regionale Klimaänderung:** Das Vertrauen in regionale Klimaprojektionen ist größer, da die Modelle besser geworden sind und größere Rechenkapazitäten genutzt werden können. Die räumliche Verteilung des Erwärmungstrends der letzten 50 Jahre wird sich ohne Klimaschutz fortsetzen, insbesondere die Landmassen und die hohen nördlichen Breiten sind betroffen. Danach steigen die Temperaturen dort stärker als im globalen Durchschnitt. Damit würde die für den **grönländischen Eisschild** kritische Temperaturschwelle erheblich überschritten; er würde bei anhaltend hoher Erwärmung komplett abschmelzen und den Meeresspiegel langfristig um 7 Meter steigen lassen. Die paläoklimatische Information hierzu ist verlässlich: Eine ähnlich hohe Temperatur herrschte in dieser Region vor 125.000 Jahren in der letzten Zwischeneiszeit. Gerade aus der paläoklimatischen Perspektive hat die jüngste, rasche Erwärmung binnen 150 Jahren einen „unnatürlichen Charakter“.

<sup>1</sup>Zur Angabe der bewerteten Wahrscheinlichkeit eines Ausgangs oder Resultats sind die verwendeten Begriffe wie folgt definiert: *Praktisch sicher* > mit 99% Wahrscheinlichkeit zutreffend oder eintretend / *Extrem wahrscheinlich* > 95% / *Sehr wahrscheinlich* > 90% / *Wahrscheinlich* > 66% / *Eher wahrscheinlich* > 50% / *Unwahrscheinlich* < 33% / *Sehr unwahrscheinlich* < 10% / *Extrem unwahrscheinlich* < 5%

<sup>2</sup>Veränderungen der Konzentration von Treibhausgasen und Aerosolen in der Atmosphäre, der solaren Einstrahlung und der Beschaffenheit der Erdoberfläche wirken sich auf die Absorption, Streuung und Emission von Strahlung in der Atmosphäre und auf der Erdoberfläche aus. Die aus diesen Faktoren resultierenden positiven (erwärmenden) oder negativen (abkühlenden) Veränderungen in der Energiebilanz werden als Strahlungsantrieb ausgedrückt. Er misst den Einfluss eines Klimafaktors auf die in der Erdatmosphäre eintreffende und von ihr ausgehende Energie. Der Strahlungsantrieb-Wert eines Faktors ist somit ein Index für seine potenzielle klimabeeinflussende Bedeutung. Im vorliegenden Bericht stehen die Strahlungsantrieb-Werte für Veränderungen im Verhältnis zu den auf 1750 datierten präindustriellen Bedingungen, und sie werden in Watt pro Quadratmeter (Wm<sup>-2</sup>) ausgedrückt.