

## **Zusammenstellung wichtiger Erkenntnisse aus dem IPCC-Bericht 2007, Arbeitsgruppe 1 („Wissenschaftliche Grundlagen“)**

*ProClim, Forum for Climate and Global Change, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT*

Diese Zusammenstellung wurde nicht vom IPCC verfasst. Für Zitate sollte auf den offiziellen Wortlaut der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger Bezug genommen werden, siehe [www.proclim.ch/products/ipcc07/ipcc07\\_WGI\\_D.pdf](http://www.proclim.ch/products/ipcc07/ipcc07_WGI_D.pdf)

### **Einleitung**

Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen IPCC wurde von der Welt-Meteorologie-Organisation WMO und vom Umweltprogramm der UNO (UNEP) 1988 gegründet. Er hat die Aufgabe, in einem offenen und transparenten Prozess die nötigen wissenschaftlichen, technischen und sozioökonomischen Informationen zusammenzutragen für das Verständnis der Risiken der menschenverursachten Klimaänderung, deren Folgen und der Optionen zur Vermeidung und Anpassung. Der Bericht ist in drei Teile gegliedert: Wissenschaftliche Grundlagen (Arbeitsgruppe I), Auswirkungen (Arbeitsgruppe II) und Anpassung und Verminderung (Arbeitsgruppe III). Der in diesem Jahr veröffentlichte vierte Sachstandsbericht (AR4) fasst die Forschungsergebnisse der letzten 5-6 Jahre, d.h. seit dem dritten Bericht von 2001 (TAR), sowie sich daraus ergebende Schlussfolgerungen zusammen. Nachfolgend sind die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Bericht der Arbeitsgruppe 1 zusammengefasst, d.h. Ergebnisse zum physikalischen Verständnis des Klimasystems und zur Klimamodellierung.

### **Wesentliche Fortschritte**

Die Klimaforschung hat seit dem letzten Bericht wesentliche Fortschritte beim Verständnis der Klimaänderung allgemein und dem Einfluss des Menschen im Besonderen erzielt. Die Daten sind räumlich besser verteilt, sie erfassen längere Zeiträume und wurden eingehender analysiert. Die Unsicherheitsfaktoren sind nun besser bekannt und ihre Wirkung auf das Klima konnte stärker eingegrenzt werden. Darüber hinaus stehen deutlich zahlreichere und wesentlich verbesserte Klimamodelle zur Verfügung.

### **Ungewöhnliche Erwärmung**

Die Beobachtungen des Anstiegs der mittleren globalen Temperaturen in der Luft und im Ozean, der Anstieg des Meeresspiegels und der verbreitete Rückgang von Schnee und Eis zeigen eindeutig eine Erwärmung des Klimasystems. Die mittlere globale Temperatur hat über die letzten 100 Jahre an der Erdoberfläche um etwa 0.75°C

zugenommen. Der Anstieg erfolgte in den letzten 50 Jahren viel schneller als im Durchschnitt über das ganze Jahrhundert. Auch die unteren Schichten der Atmosphäre bis in einige Kilometer Höhe und die Ozeane bis in mindestens 3000 m Tiefe haben sich erwärmt. Mindestens seit den 1980er Jahren ist auch der Wasserdampfgehalt in der Luft angestiegen. Wärmere Luft kann mehr Wasser aufnehmen und enthält deshalb bei gleichbleibender Feuchtigkeit mehr Wasserdampf. Der Anstieg des Meeresspiegels hat sich in den letzten 10 Jahren beschleunigt. Er ist um über 3mm pro Jahr gestiegen, während der Durchschnitt seit 1961 unter 2mm pro Jahr liegt. Auch in einzelnen Regionen und bei verschiedenen weiteren Faktoren des Klimasystems wurden Veränderungen beobachtet, wie z.B. bei der Eisbedeckung in der Arktis, bei den Niederschlagsmengen, einzelnen Windmustern, Trockenheit und Starkniederschlägen sowie Hitzewellen.

Die Erwärmung im letzten Jahrhundert ist ungewöhnlich. Elf der letzten zwölf Jahre gehören zu den zwölf wärmsten Jahren seit Beginn der instrumentellen Temperaturmessungen Mitte des 19. Jahrhunderts. Indirekte Klimainformationen aus der Vergangenheit zeigen, dass die gegenwärtige Wärme für mindestens die letzten 1300 Jahre ungewöhnlich ist. Das letzte Mal, als es wegen Abweichungen in der Erdumlaufbahn vor allem in den Polargebieten deutlich wärmer war als heute, nämlich vor rund 125'000 Jahren, führte das Abschmelzen der polaren Eismassen zu einem Meeresspiegelanstieg von 4 bis 6 Metern.

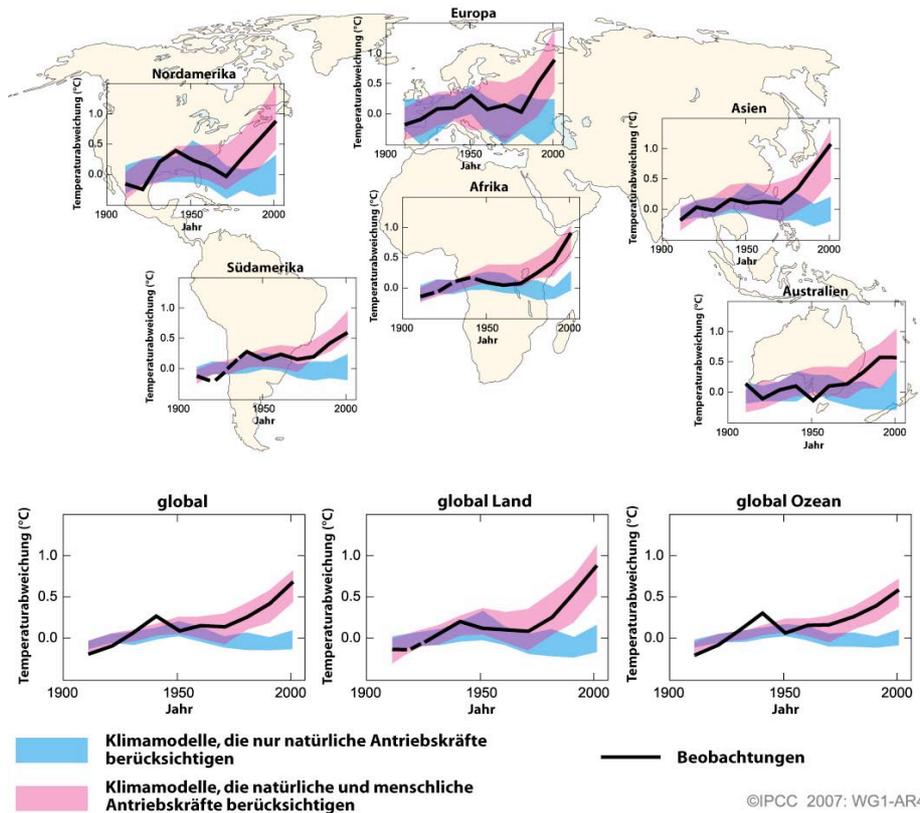
### **Anthropogene Emissionen als Ursache**

Aufgrund der neuen Erkenntnisse erachtet es der neue Bericht nun als "sehr wahrscheinlich", d.h. mit über 90-prozentiger Sicherheit, dass der grösste Teil der Erwärmung in den letzten 50 Jahren auf den vom Menschen verursachten Anstieg der Treibhausgase zurückzuführen ist. Der Grund für den markanten Anstieg der Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Lachgas in der Atmosphäre liegt im Falle des Kohlendioxids hauptsächlich beim Verbrauch fossiler Brennstoffe und für Methan und Lachgas primär bei der

Landwirtschaft. Wahrscheinlich hätte der Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen allein eine noch stärkere Erwärmung verursacht, wenn nicht Aerosole bzw. Luftpartikel aus industriellen Emissionen und Vulkanausbrüchen einen Teil der Erwärmung aufgehoben hätten. Die beobachtete Entwicklung der Temperatur entspricht auf allen

Kontinenten dem Muster, das die Klimamodelle aufgrund der Wirkung der zusätzlichen Treibhausgase voraussagen (siehe Abb. 1). Es gibt keine Modelle, welche die Erwärmung in den letzten 50 Jahren ohne den Einfluss der Treibhausgase auch nur annähernd erklären können.

## Globale und kontinentale Temperaturänderungen



**Abbildung 1:** Beobachtete und modellierte Änderungen der Erdoberflächentemperatur global und auf den Kontinenten relativ zum Mittel von 1901-1950. Mit den Modellen wurde einerseits die Entwicklung nur aufgrund natürlicher Einflussfaktoren (blau schattierte Bänder) und andererseits aufgrund natürlicher und menschlicher Einflussfaktoren (rot schattierte Bänder) berechnet. Die schattierten Bänder zeigen den Bereich, der 90% der verschiedenen Modellrechnungen enthält.

### Weitere Erwärmung erwartet

Der von 1990-2005 beobachtete Anstieg der globalen Temperatur um 0.2 °C pro Jahrzehnt stimmt gut mit dem im ersten IPCC-Bericht von 1990 projizierten Anstieg von 0.15-0.3 °C pro Jahrzehnt überein. Für die nächsten 20 Jahre wird – unabhängig vom Emissionsszenario – ein weiterer Temperaturanstieg von 0.2 °C pro Jahrzehnt erwartet. Für die weitere Entwicklung im 21. Jahrhundert ermöglichen die Fortschritte in der Klimamodellierung die Abschätzung der Temperaturentwicklung für individuelle Emissionsszenarien. Dabei kann für jedes Emissionsszenario eine *beste Schätzung* und die *wahrscheinliche Bandbreite* angegeben werden (siehe Tab. 1 und Abb. 2), wobei die *beste Schätzung* die wahr-

scheinlichste Entwicklung angibt und die Temperaturänderung mit 90-prozentiger Sicherheit innerhalb der *wahrscheinlichen Bandbreite* liegt.

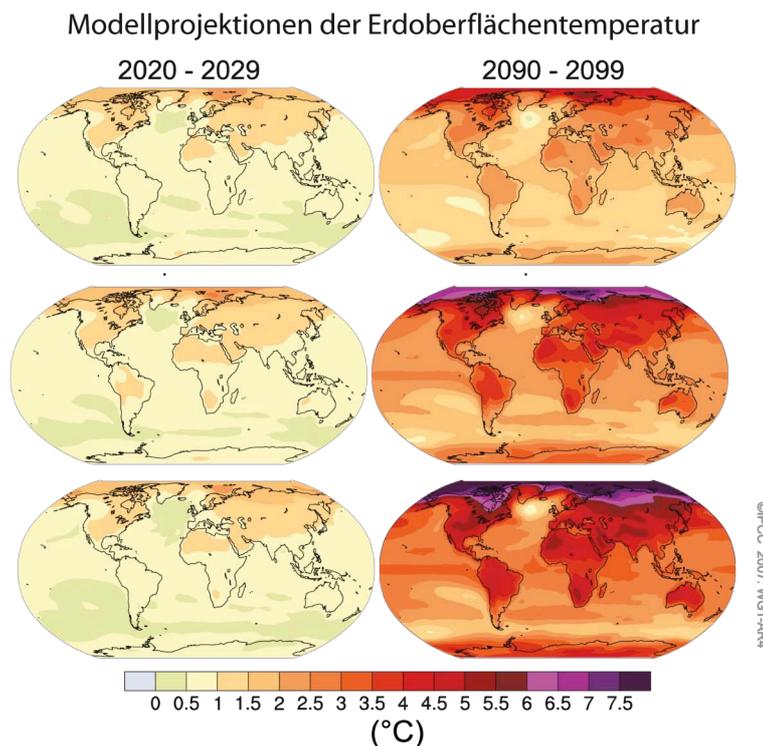
### Weitere zukünftige Veränderungen

Neben der Temperatur können nun auch weitere zukünftige Veränderungen, vor allem bezüglich Niederschlägen, grossräumigen Windmustern und einigen Aspekten von Extremereignissen mit grösserer Sicherheit beurteilt werden. So werden mit über 99-prozentiger Sicherheit über den meisten Landflächen

- warme Tage und Nächte zunehmen sowie kalte Tage und Nächte abnehmen und
- heisse Tage und Nächte noch wärmer werden und häufiger auftreten.

**Tabelle 1:** Projektionen der Entwicklung der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur im 21. Jahrhundert für verschiedene sozioökonomische Entwicklungen und die entsprechenden Treibhausgasemissionen.

Szenario	Sozioökonomische Entwicklung	Temperaturänderung in °C 1990 - 2095	
		Beste Schätzung	Wahrscheinliche Bandbreite
B1	Rückläufige Weltbevölkerung ab Mitte 21. Jh.; Entwicklung in Richtung Dienstleistungs- und Informationswirtschaft; Einführung von sauberen und ressourceneffizienten Technologien; keine zusätzlichen Klimainitiativen	1.8	1.1 - 2.9
A1T	Rasches Wirtschaftswachstum; rückläufige Weltbevölkerung ab Mitte 21. Jh.; Annäherung der Regionen; Verringerung regionaler Unterschiede im Pro-Kopf-Einkommen; Energienutzung primär aus nicht-fossilen Quellen	2.4	1.4 - 3.8
B2	Schwergewicht auf lokalen Lösungen für Nachhaltigkeit; langsamer stetiger Anstieg der Weltbevölkerung; mittlere Wirtschaftsentwicklung; mittlerer technologischer Fortschritt	2.4	1.4 - 3.8
A1B	wie A1T, jedoch andere Energienutzung: ausgewogene Nutzung aller Quellen	2.8	1.7 - 4.4
A2	Heterogene Welt; Bewahrung lokaler Identitäten; stetig zunehmende Weltbevölkerung; regional orientierte Wirtschaftsentwicklung; geringer technologischer Fortschritt	3.4	2.0 - 5.4
A1FI	wie A1T jedoch andere Energienutzung: intensive Nutzung fossiler Quellen	4.0	2.4 - 6.4



**Abbildung 2:** Projizierte Änderungen der Erdoberflächentemperatur für 2020-2029 (links) und 2090-2095 (rechts) im Vergleich zu 1980-1999 für die drei Emissions-Szenarien B1 (oben), A1B (Mitte) und A2 (unten) (Angaben zu den Szenarien siehe Tab. 1).

Zudem werden mit über 90-prozentiger Sicherheit

- Wärmeperioden und Hitzewellen über den meisten Landflächen häufiger und
- die Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen und der Anteil dieser Ereignisse am Gesamtniederschlag wird zunehmen.

Wahrscheinlich werden auch

- von Dürren betroffene Flächen zunehmen und
- die Aktivität intensiver tropischer Wirbelstürme ansteigen.

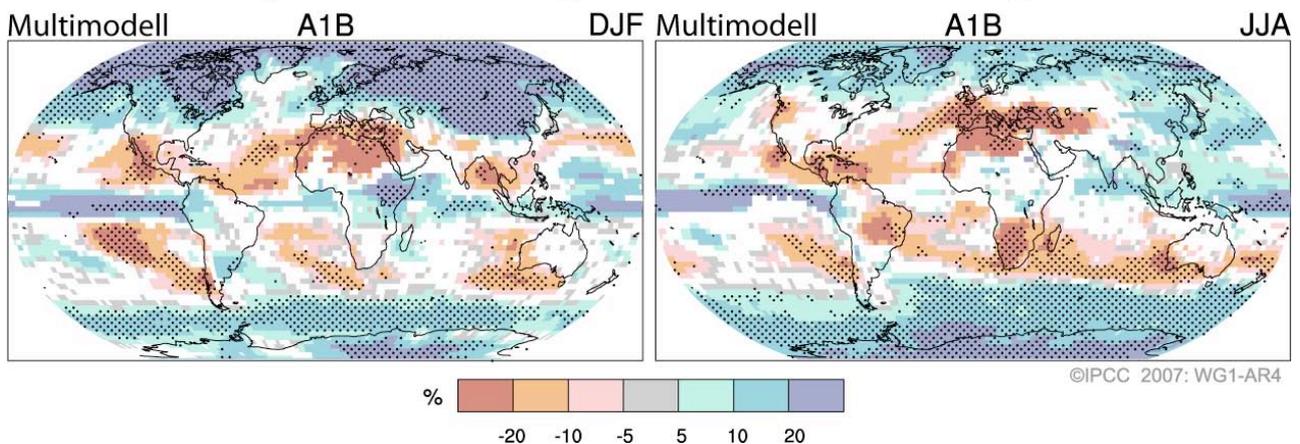
Im Weiteren ist mit einer weit verbreiteten Abnahme der Gletscher und der Schneebedeckung und einem Rückgang des Meereises zu rechnen. In einigen Projektionen verschwindet das arktische Meereis im letzten Teil des 21. Jahrhunderts im Spätsommer fast vollständig.

Entwicklungen, die diesen erwarteten Trends entsprechen, wurden bereits in den letzten Jahrzehnten, in den meisten Fällen seit etwa 1960, beobachtet. Bei zukünftig gleichbleibenden oder zunehmenden Treibhausgasemissionen sind im 21. Jahrhundert Veränderungen zu erwarten, die sehr wahrscheinlich grösser sind als die im 20. Jahrhundert beobachteten.

### Räumliche Veränderungen

Gegenüber dem letzten IPCC-Bericht hat sich auch das Verständnis der groben räumlichen Muster einiger Veränderungen deutlich verbessert, insbesondere für den Niederschlag. So nehmen die Niederschlagsmengen in den hohen Breiten sehr wahrscheinlich zu, über den meisten subtropischen Landregionen hingegen wahrscheinlich ab (siehe Abb. 3). Überdies wird mit einer Nordwärts-Verschiebung der Zugbahnen der Stürme in den mittleren Breiten gerechnet. Auch diese Trends stimmen mit den beobachteten Entwicklungen der letzten Jahrzehnte überein.

## Projizierte Änderungsmuster der Niederschläge



**Abbildung 3:** Relative Änderungen der Niederschläge (in Prozent) für die Periode 2090-2099 im Vergleich zu 1980-1999, basierend auf dem A1B-Szenario (vgl. Tab. 1). Die Werte geben die Mittel der Resultate der verschiedenen Klimamodelle an, links für Dezember bis Februar und rechts für Juni bis August). Flächen mit konsistenten Projektionen (über 90% der Modelle zeigen einen Trend mit dem gleichen Vorzeichen) sind punktiert, Flächen mit widersprüchlichen Projektionen (weniger als zwei Drittel der Modelle zeigen das gleiche Vorzeichen) sind weiss.

### Meeresspiegelanstieg

Die Projektionen zum erwarteten Anstieg des Meeresspiegels sind seit dem letzten Bericht unsicherer geworden, vor allem aufgrund der jüngsten Beobachtung rascher Veränderungen im Zusammenhang mit der Dynamik der grossen Eisschilder in Grönland und der Antarktis. Die im aktuellen Bericht angegebene Bandbreite von 18-59 cm Meeresspiegelanstieg bis 2095 ist gegenüber dem letzten Bericht (2001) kleiner, weil einige Unsicherheiten eingeschränkt werden konnten und die Rahmenbedingungen etwas verändert wurden (Zeithorizont, Wahrscheinlichkeitsbereich). Bei vergleichbaren Voraussetzungen sind die Werte im neuen Bericht denjenigen im vorangehenden Bericht sehr ähnlich. Im neuen Bericht wurde auf eine Beurteilung von Einflussfaktoren mit grossen Unsicherheiten (Rückkopplung Kohlenstoffkreislauf, dynamische Prozesse in den Eisschildern) verzichtet, weil das gegenwärtige Verständnis der dynamischen Prozesse in den

Eisschildern Grönlands und der West-Antarktis zu gering ist, um eine beste Schätzung oder eine obere Grenze für den erwarteten Meeresspiegelanstieg angeben zu können.

### Veränderungen gehen über Jahrhunderte weiter

Die Änderungen des Klimas gehen auch bei einer Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen zum Teil noch über Jahrhunderte weiter, weil Teile des Klimasystems, insbesondere die Ozeane und verschiedene Rückkopplungsmechanismen (z.B. biologische Veränderungen), erst mit unterschiedlicher zeitlicher Verzögerung auf äussere Einflüsse reagieren. So wird bei einer Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen im Jahr 2100 auf A1B- oder B1-Niveau (siehe Tab. 1) die globale Temperatur auch nach 2100 um weitere ca. 0.5 °C ansteigen. Das Abschmelzen der Eisschilder wird noch über Jahrhunderte weitergehen.