

## **Stand der weltweiten Klimaforschung - Ergebnisse des aktuellen IPCC-Berichtes**

von: Helmut Selinger, 12.02.2008

Da das Klimasystem auf der Erde in Zeit und Raum riesig und in den Details hochkompliziert ist, spielt die Wissenschaft als Basis der Erkenntnis und der notwendigen Entscheidungen eine außerordentlich große Rolle. Deshalb ist es für die interessierte politische Öffentlichkeit und die Zivilgesellschaft von elementarer Bedeutung, eine vernünftige Einschätzung des wissenschaftlichen Gehaltes und der Verlässlichkeit der wissenschaftlichen Aussagen zu bekommen. Wir wollen hier den Versuch machen, die wichtigsten Aussagen der globalen wissenschaftlichen Gemeinschaft im Bereich der Klimaforschung zusammenzufassen und einige Aspekte in dieser Diskussion beizutragen.

### **Was ist das IPCC?**

Die Klimaforschung hat weltweit mit der Diskussion um einen anthropogenen Treibhauseffekt erst seit den 80-er Jahren des 20. Jahrhunderts einen starken Aufschwung genommen. In dieser Zeit wurde wissenschaftlich immer breiter diskutiert, dass die unabwiesbare Tatsache der kontinuierlichen CO<sub>2</sub>-Erhöhung wahrscheinlich eine große Auswirkung auf das zukünftige Klima auf der Erde haben wird. Deshalb wurde 1988 unter der Schirmherrschaft der Vereinten Nationen das Zwischenstaatliche Expertengremium über Klimaänderungen, englisch Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), auch als Weltklimarat bezeichnet, vom Umwelt-Programm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) eingerichtet.

Das IPCC betreibt selbst keine eigene Forschung, sondern trägt die Ergebnisse vieler tausender weltweit tätiger Forscher in öffentlich zugänglichen Berichten, den „IPCC Assessment Reports (IPCC AR)“ zusammen. Das Vorgehen ist vorbildlich transparent und diskursiv: Hunderte Forscher haben sich mit Kommentaren und Kritik an der Diskussion beteiligt, unabhängige Review Editors achten darauf, dass die Endfassung alles angemessen berücksichtigt. Öffentlich besonders stark beachtet sind die sog. „Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger“ (Summary for Policymakers). Bei deren Endredaktion bestimmen auch politische Vertreter der beteiligten Länder mit. Durch diese Vorgehensweise wurde z.T. durch einige Regierungen (insbes. USA) eine deutliche Abschwächung im Sinne einer Verharmlosung der drohenden Gefahren der von den Wissenschaftlern vorgelegten Entwürfe der Zusammenfassungen durchgesetzt. Trotzdem verdient u.E. insbesondere der naturwissenschaftliche Teil der IPCC-Wissenschaftler-Gemeinde hohes Vertrauen und ist ein erfreuliches Beispiel eines noch nicht von fremden Interessen beherrschten Forschungsbereiches. Fragwürdiger sehen wir die Situation bei dem eher wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Teil der IPCC-Wissenschaftler (Arbeitsgruppe III). Eine isw-Einschätzung des IPCC-Berichtes AR4 wird am Ende dieser Zusammenfassung gegeben.

Bisher gab es vier umfassende IPCC-Berichte, 1990, 1996, 2001 und 2007. Der aktuellste IPCC-Bericht, der vierte Sachstandsbericht (AR4), besteht aus den Veröffentlichungen der drei Arbeitsgruppen (WG = Working group):

- WG I „Wissenschaftliche Grundlagen“
- WG II „Auswirkungen, Anpassung und Verletzlichkeit,“
- WG III „Verminderung der Klimaänderung“.

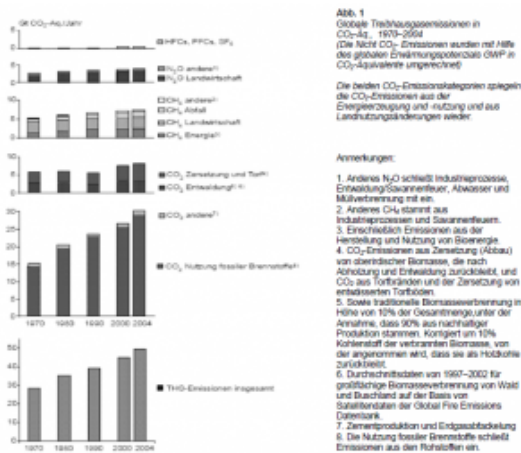
Um die Wahrscheinlichkeit der wissenschaftlichen Ergebnisse auszudrücken, werden dieselben Begriffe verwendet wie im IPCC-Bericht.

## I. Reaktion des globalen Klimasystems auf die erhöhten Treibhausgase (THG)

In diesem Kapitel werden im wesentlichen IPCC-Aussagen der WG I und z.T. der WG III (bzgl. THG-Emissionen) aus dem entsprechenden “Summary for Policymakers“, z.T. leicht modifiziert, wiedergegeben. Das wichtigste Einzelergebnis des aktuellen IPCC-Berichtes ist, dass der derzeitige und in naher Zukunft prognostizierte weltweite Klimawandel mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf anthropogene Ursachen zurückzuführen ist. Diese über lange Jahre geführte Diskussion in der Klimaforschung ist damit endgültig wissenschaftlich entschieden.

### I.1 Bisherige Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen und THG-Konzentrationen

#### Treibhausgas-Emissionen



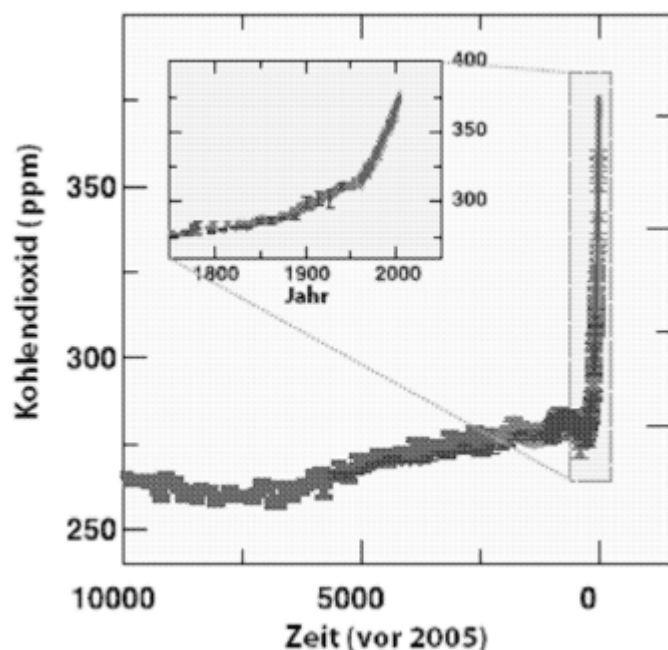
Die weltweiten Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) haben seit der Zeit vor der Industrialisierung erheblich zugenommen. Zwischen 1970 und 2004 stiegen die globalen THG-Emissionen um 70% von 28,7 auf 49 Gigatonnen (Gigatonnen = Milliarden Tonnen = Mrd t) Kohlendioxidäquivalente (Gt CO<sub>2</sub>-Äq.) (CO<sub>2</sub>-Äq. Erläuterung s. Kap. B.3). Zwischen 1990 und 2004 betrug der Anstieg 24%. (s. Abb. 1). Der Ausstoß von CO<sub>2</sub>, das quantitativ bedeutendste THG, stieg von 1970 bis 2004 um 80% auf 37 Gt CO<sub>2</sub> (1990 bis 2004: 28%). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprachen 77% der gesamten anthropogenen THG-Emissionen im Jahr 2004.

Die Industrienationen (=Annex I Länder lt. UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change = Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen)) verursachten 2004 mit einem Anteil von 20% an der Weltbevölkerung 46% der

globalen THG- Emission (inkl. derer aus Landnutzung). Die Region mit den höchsten THG-Emissionen pro-Kopf (Nord Amerika) mit 5 % der Weltbevölkerung emittiert 19,4% der THG, während Süd Asien mit einer Bevölkerung von 30,3% 13,1% der THG emittierten. D.h. die durchschnittliche THG-Emission pro Kopf liegt z.B. in den USA bei 26 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent, während dieser pro Kopf- Wert in Südasien lediglich bei einem Zehntel dieses Wertes liegt. Der größte Zuwachs an weltweiten THG-Emissionen zwischen 1970 und 2004 stammte aus dem Energieversorgungssektor (ein Anstieg von 145%). Der Anstieg direkter Emissionen (Direkte Emissionen aus jedem Sektor beinhalten nicht die Emissionen aus dem Stromsektor für den verbrauchten Strom) in diesem Zeitraum betrug für den Verkehr 120%, für die Industrie 65% und für Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft 40% (Die mit Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft verbundenen Kohlendioxidemissionen betragen in den 1990er Jahren ca. 5,9 GtCO<sub>2</sub> pro Jahr.).

	Gt-CO <sub>2</sub> -Äq.	%
<b>Energieversorgung</b>	12,7	25,9
<b>Industrie</b>	9,5	19,4
<b>Forstwirtschaft, Entwaldung</b>	8,5	17,4
<b>Landwirtschaft</b>	6,6	13,5
<b>Transport</b>	6,4	13,1
<b>Gebäude</b>	3,9	7,9
<b>Abfall u. Abwasser</b>	1,4	2,8
	49,0	100,0

Tab. 1 Globale THG-Emissionen 2004 nach Sektoren (direkte Emissionen)



### Treibhausgas-Konzentrationen

- Die globalen atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas sind als Folge menschlicher Aktivitäten seit 1750 markant gestiegen und übertreffen heute die aus Eisbohrkernen für viele Jahrtausende bestimmten

vorindustriellen Werte bei weitem.

- Die globale atmosphärische Kohlendioxidkonzentration ist von einem vorindustriellen Wert von etwa 280 ppm auf 379 ppm im Jahre 2005 angestiegen (siehe Abb. 2).
- Vor 1750 blieb die CO<sub>2</sub>-Konzentration für 10.000 Jahre ziemlich konstant zwischen 260 und 280 ppm.
- siehe dazu: *Abb. 2 Atmosphärische Konzentrationen von Kohlendioxid in den letzten 10.000 Jahren 14 (große Grafik) und seit 1750 (eingefügte Grafik)*.
- Neueste Eisbohrkernstudien zeigen, dass die heutige CO<sub>2</sub>-Konzentration (und die von Methan) seit mindestens 11 650.000 Jahren, d.h. seit 6 Eiszeit/Warmzeit-Zyklen nicht auf der Erde vorgekommen ist. Während dieser Zeiten blieb die CO<sub>2</sub>-Konzentration zwischen 180 und 300ppm und die von Methan zwischen 320 und 790 ppp (part per billion).
- Die globale atmosphärische Methan-Konzentration ist von einem vorindustriellen Wert von etwa 715 ppb auf 1732 ppb in den frühen 1990er Jahre gestiegen und liegt 2005 bei 1774 ppb.
- Der weltweite Anstieg der Kohlendioxidkonzentration ist primär auf den Verbrauch fossiler Brennstoffe zurückzuführen, sekundär auch auf Landnutzungsänderungen, während derjenige von Methan und Lachgas primär durch die Landwirtschaft verursacht wird.
- Von 1958, dem Jahr des Beginns der kontinuierlichen direkten atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrations-Messungen, bis 1995 stieg die Kohlendioxidkonzentration um knapp 1 ppm im Jahresdurchschnitt. In den letzten 10 Jahren bis 2005 verdoppelte sich der Anstieg auf 1,9 ppm pro Jahr.

## **I.2 Heute schon beobachtete Klimaänderungen**

- In den Letzten 100 Jahren hat sich die Erde im Mittel um 0,74°C erwärmt. Die Aussage im IPCC-Bericht von 2001, plus 0,6°C, wurde damit noch verschärft. Die IPCC-Forscher sind sich nun noch sicherer, dass dieser Temperaturanstieg durch die anthropogenen Treibhausgasemissionen verursacht ist. Sie können nun von einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit sprechen, vor 6 Jahren sprachen Sie nur von einer wahrscheinlichen Aussage.
- Elf der letzten zwölf Jahre (1995–2006) gehören zu den zwölf wärmsten Jahren seit Beginn der instrumentellen Messung der globalen Erdoberflächentemperatur (seit 1850).
- Paläoklimatische Informationen stützen die Interpretation, dass die Wärme des letzten halben Jahrhunderts für mindestens die letzten 1300 Jahre ungewöhnlich ist.
- Der lineare Erwärmungstrend über die letzten 50 Jahre beträgt 0,13 °C pro Jahrzehnt. Wenn über die Jahre 1990- 2005 gemittelt wird, so ergibt sich sogar ein Erwärmungstrend von 0,2 °C pro Jahrzehnt.
- Die beobachteten Muster der Erwärmung, einschließlich der größeren Erwärmung über dem Land als über dem Ozean sowie deren Änderungen im Verlauf der Zeit, können nur durch Modelle nachgebildet werden, die den anthropogenen Einfluss miteinbeziehen.
- Der durchschnittliche atmosphärische Wasserdampfgehalt ist mindestens seit den 1980er Jahren sowohl über dem Land und den Ozeanen als auch in der oberen Troposphäre angestiegen.
- Die Beobachtungen seit 1961 zeigen, dass die durchschnittliche Temperatur des

Weltozeans bis in Tiefen von mindestens 3000 m angestiegen ist und dass der Ozean mehr als 80% der dem Klimasystem zugeführten Wärme absorbiert hat. Diese Erwärmung führt zu einer Ausdehnung des Meerwassers und trägt zum Anstieg des Meeresspiegels bei.

- Die durchschnittlichen Temperaturen in der Arktis sind in den letzten 100 Jahren fast doppelt so schnell gestiegen wie im globalen Mittel.
- Die Temperaturen an der Obergrenze der Dauerfrostschrift sind in der Arktis seit den 1980er Jahren allgemein gestiegen (um bis zu 3 °C). Die maximale Ausdehnung der Fläche mit saisonal gefrorenem Boden hat in der Nordhemisphäre seit 1990 um etwa 7% abgenommen.
- In den letzten 50 Jahren wurden weit verbreitete Änderungen bei den Temperaturextremen beobachtet. Kalte Tage, kalte Nächte und Frost sind weniger häufig geworden, während heiße Tage, heiße Nächte und Hitzewellen häufiger geworden sind.
- Die Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs hat vom 19. zum 20. Jahrhundert zugenommen. Der gesamte Anstieg im 20. Jahrhundert beträgt geschätzte 0.17m.
- Der Salzgehalt im Wasser der mittleren und hohen Breiten nimmt ab, während er im Wasser der niedrigen Breiten zunimmt. Damit ändern sich Niederschlag und Verdunstung über den Ozeanen.
- Die Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen hat über den meisten Landflächen zugenommen, im Einklang mit der Erwärmung und der beobachteten Zunahme des atmosphärischen Wasserdampfs.
- Seit den 1970er Jahren wurden insbesondere in den Tropen und Subtropen intensivere und länger andauernde Dürren über größeren Gebieten beobachtet.
- Die Westwinde in den mittleren Breiten sind in beiden Hemisphären seit den 1960er Jahren stärker geworden.
- Beobachtungen belegen eine zunehmende Aktivität starker tropischer Wirbelstürme im Nordatlantik seit ungefähr 1970, verbunden mit einem Anstieg der tropischen Meeresoberflächentemperaturen.

### **I.3 Zukünftig prognostizierte Klimaänderungen**

Ein wichtiger Fortschritt dieses Sachstandsberichts gegenüber 2001 stellt die große Zahl von Simulationen mit unterschiedlichen Modellen dar. Sie bieten zusammen mit zusätzlichen Informationen von Beobachtungen eine quantitative Basis für die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit von vielen Aspekten der zukünftigen Klimaänderung.

#### **Beschreibung der verschiedenen Emissionsszenarien, methodische Aspekte der Klimamodellierung**

Die im aktuellen IPCC-Bericht behandelten Emissionsszenarien beziehen sich auf die im [IPCC- SRES- Sonderbericht aus dem Jahr 2000](#) beschriebenen Emissionsszenarien. Sie beinhalten keine spezifischen Klimainitiativen, sie wurden damals vom Ausschuss Zeile für Zeile verabschiedet.

#### **Die Emissions-Szenarien des IPCC-SRES 2000:**

- A1. Die A1-Szenarien-Familie beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem

Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung, und rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. Wichtige Aspekte sind Annäherung von Regionen, Verringerung regionaler Unterschiede der Pro-Kopf-Einkommen sowie zunehmende kulturelle und soziale.

- Die A1-Szenarien-Familie teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen technologischer Änderungen im Energiesystem beschreiben:
  - nichtfossile Energiequellen (A1T) oder eine
  - ausgewogene Nutzung aller Quellen (A1B) (d.h. keine allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle und ähnliches Verbesserungspotential für alle Energieversorgungs- und -verbrauchstechnologien).
  - fossil-intensiv (A1FI),
- A2. Die A2-Szenarien-Familie beschreibt eine sehr heterogene Welt. Hauptaspekt ist Autarkie und Bewahrung lokaler Identitäten. Regionale Bevölkerungsentwicklungsmuster konvergieren nur sehr langsam, was eine stetig zunehmende Bevölkerung zur Folge hat. Die wirtschaftliche Entwicklung ist vorwiegend regional orientiert, das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und technologische Veränderungen sind langsamer als in anderen Szenarien.
- B1. Die B1-Szenarien-Familie beschreibt eine sich näher kommende Welt, mit der gleichen, Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung wie in der A1- Modellgeschichte, jedoch mit raschen Änderungen der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft, bei gleichzeitigem Rückgang des Materialverbrauchs und Einführung von sauberen und ressourcen-effizienten Technologien. Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich erhöhter sozialer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen.
- B2. Die B2-Szenarien-Familie beschreibt eine Welt mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. Es ist eine Welt mit einer stetig, jedoch langsamer als in A2 ansteigenden Weltbevölkerung, wirtschaftlicher Entwicklung auf mittlerem Niveau und weniger raschem, dafür vielfältigerem technologischem Fortschritt als in den B1- und A1- Modellgeschichten.

### Kurzcharakterisierung der 4 SRES Szenario-Familien:

	<b>Wirtschaftsorientiert (ökonomisch ausgerichtet)</b>	<b>Umweltorientiert (ökologisch ausgerichtet)</b>
Globalisierung (homogene Welt) Bandbreitender Temperaturprognose	<b>A1</b> (Hohes Wachstum) (Gruppen: <b>A1T/A1B/A1FI</b> ) <b>+1,4-6,4°C</b>	<b>B1</b> (Globale Nachhaltigkeit) <b>+1,1-2,9°C</b>
Regionalisierung (heterogene Welt)		
Bandbreitender Temperaturprognose	<b>A2</b> (Regionalisierte Wirtschaftsentwicklung) <b>+2,0-5,4°C</b>	<b>B2</b> (Regionale Nachhaltigkeit) <b>+1,4-3,8°C</b>

Die z.Zt. verwendeten Modelle beinhalten weder Klima-Kohlenstoffkreislauf-

Rückkopplungen noch die vollen Auswirkungen von Änderungen des Eisschildflusses, da z.Zt. noch eine entsprechend belastbare Grundlage in der publizierten Literatur fehlt.

a) kurz- bis mittelfristige Prognosen

- Für die nächsten zwei Jahrzehnte wird für eine Reihe der o.g. Emissions-Szenarien<sup>17</sup> eine Erwärmung von 0,2 °C pro Jahrzehnt projiziert. Selbst wenn die Konzentrationen aller Treibhausgase und Aerosole auf dem Niveau des Jahres 2000 konstant gehalten würden, wäre eine weitere Erwärmung von 0,1 °C pro Jahrzehnt zu erwarten.
- Seit dem ersten IPCC-Bericht von 1990 deuteten die geschätzten Projektionen für 1990-2005 auf einen mittleren globalen Temperaturanstieg von etwa 0,15 bis 0,3 °C pro Jahrzehnt hin. Dies stimmt recht gut mit den beobachteten Werten von ca. 0,2 °C pro Jahrzehnt überein.
- Fortschritte in der Modellierung der Klimaänderung ermöglichen nun noch bessere Schätzungen und die Angabe von engeren Unsicherheitsbereichen für die projizierte Erwärmung.
- Die für die o.g. verschiedenen Emissionsszenarien projizierten global gemittelten Temperaturzunahmen an der Erdoberfläche für das Ende des 21. Jahrhunderts (2090-2099) verglichen mit 1980-1999 sind in Tabelle 2 dargestellt. So liegt die Schätzung für das „günstigste“ Szenario (B1) bei 1,8 °C (wahrscheinliche Bandbreite von 1,1 °C bis 2,9 °C) und die beste Schätzung für das „hohe“ Szenario (A1FI) beträgt 4,0 °C (wahrscheinliche Bandbreite von 2,4 °C bis 6,4 °C).

Fall	Temperaturveränderung („C: 2090-2099 verglichen mit 1980-1990)“		Meeresspiegelanstieg (m; 2090-2099 verglichen mit 1980-1999)
	Beste Schätzung	Wahrscheinliche Bandbreite	Modellbasierte Bandbreite ohne zukünftige rapide Änderung des Eisflusses
Konstante Jahr-2000	0,6	0,3-0,9	NA
B1-Szenario	1,8	1,1-2,9	0,18-0,38
A1T-Szenario	2,4	1,4-3,8	0,20-0,45
B2-Szenario	2,4	1,4-3,8	0,20-0,43
A1B-Szenario	2,8	1,7-4,4	0,21-0,48
A2-Szenario	3,4	2,0-5,4	0,23-0,51
A1F1-Szenario	4,0	2,4-6,4	0,26-0,59

Tab. 2 Projizierte mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche und Meeresspiegelanstieg am Ende des 21. Jahrhunderts für verschiedene SRES-Emissionsszenarien

- Eine Erwärmung führt tendenziell zu einer Verringerung der Aufnahme atmosphärischen Kohlendioxids durch Land und Ozeane, wodurch der Anteil der in der Atmosphäre verbleibenden anthropogenen Emissionen erhöht wird. Diese Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplung erhöht beispielsweise für das A2-Szenario die entsprechende mittlere globale Erwärmung im Jahr 2100 um mehr als 1 °C.

- Steigende atmosphärische Kohlendioxidkonzentrationen führen zu einer zunehmenden Versauerung der Ozeane. Die auf den SRES-Szenarien basierenden Projektionen zeigen über das 21. Jahrhundert Abnahmen des mittleren globalen Meeresoberflächen-pHs von 0,14 bis 0,35 Einheiten, zusätzlich zur bisherigen Abnahme von 0,1 Einheiten seit der vorindustriellen Zeit.
- Die größte Erwärmung wird über dem Land und in den meisten hohen nördlichen Breiten erwartet, die kleinste über dem südlichen Ozean und über Teilen des Nordatlantischen Ozeans.
- Es wird eine Abnahme der Schneebedeckung projiziert. Die Projektionen zeigen weit verbreitete Zunahmen der Auftautiefe in den meisten Permafrostregionen.
- In einigen Projektionen verschwindet in der Arktis im letzten Teil des 21. Jahrhunderts das Meereis im Spätsommer fast vollständig.
- Heiße Extreme, Hitzewellen und Starkniederschlags-Ereignisse werden sehr wahrscheinlich weiterhin zunehmen.
- Es ist, basierend auf einer Auswahl von Modellen, wahrscheinlich, dass zukünftige tropische Wirbelstürme (Taifune und Hurrikane) in Verbindung mit dem laufenden Anstieg der tropischen Meeresoberflächentemperaturen intensiver werden, mit höheren Spitzenwindgeschwindigkeiten und mehr Starkniederschlägen. Der sichtbare Anstieg des Anteils an sehr intensiven Stürmen in einigen Regionen seit 1970 ist viel größer als von den damals aktuellen Modellen für diesen Zeitraum berechnet.
- Die Niederschlagsmengen nehmen in höheren Breiten sehr wahrscheinlich zu, während Abnahmen über den meisten subtropischen Landregionen wahrscheinlich sind.
- Basierend auf aktuellen Modellrechnungen ist es sehr wahrscheinlich, dass sich die atlantische meridionale Umwälzungsströmung (=Meridional Overturning Circulation MOC; ein Teilsystem des MOC ist der Golfstrom) während des 21. Jahrhunderts abschwächen wird. Es ist jedoch sehr unwahrscheinlich, dass die MOC im 21. Jahrhundert eine große abrupte Änderung erfahren wird.

## **b) langfristige Prognosen**

- Die anthropogene Erwärmung und der Meeresspiegelanstieg werden aufgrund der Zeitskalen, die mit Klimaprozessen und Rückkopplungen verbunden sind, über Jahrhunderte andauern, selbst wenn die Treibhausgaskonzentrationen stabilisiert würden.
- Falls im Jahr 2100 eine Stabilisierung auf B1- oder A1B-Niveau erreicht werden würde, wäre immer noch ein weiterer Anstieg der mittleren globalen Temperatur um etwa 0,5 °C zu erwarten, größtenteils bis ins Jahr 2200.
- Die thermische Ausdehnung des Meerwassers würde aufgrund der für den Wärmetransport in die Tiefen des Ozeans benötigten Zeit über viele Jahrhunderte andauern.
- Ein fortgesetzter Massenverlust des grönländischen Eisschildes über Jahrhunderte könnte zu einer praktisch vollständigen Elimination und zu einem daraus folgenden Anstieg des Meeresspiegels von etwa 7 m führen. Die entsprechenden zukünftigen Temperaturen in Grönland wären vergleichbar mit den für die letzte Zwischeneiszeit vor 125.000 Jahren geschätzten Temperaturen.
- Mit dem Eisfluss verbundene dynamische Prozesse, die in den aktuellen Modellen nicht berücksichtigt sind, aber durch neueste Beobachtungen nahegelegt werden,



könnten die Anfälligkeit der Eisschilde gegenüber Erwärmung und damit den Meeresspiegelanstieg drastisch erhöhen.

## **II. Reaktion der natürlichen und menschlichen Umwelt auf die Klimaänderungen.**

Der [Bericht der IPCC-Arbeitsgruppe II](#) spiegelt den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand zu den Auswirkungen von Klimaänderungen auf natürliche, bewirtschaftete und menschliche Systeme, ihrer Anpassungsfähigkeit und ihrer Verwundbarkeit wider. Über 29.000 durch Beobachtung erhobene Datenreihen aus 75 Studien zeigen eine signifikante Veränderung in zahlreichen physikalischen und biologischen Systemen. Hiervon stehen mehr als 89 % im Einklang mit dem Trend, der als Reaktion auf die Erwärmung zu erwarten war. Aus der Fülle der Beobachtungen und Prognosen kann hier nur ein kleiner Teil erwähnt werden.

### **II.1 Heute schon beobachtete Änderungen**

Folgende Auswirkungen werden in hydrologischen Systemen beobachtet:

- Erhöhter Abfluss und früher eintretende Abflusshöchstmengen im Frühling bei zahlreichen von Gletschern und Schnee gespeisten Flüssen
- Erwärmung von Seen und Flüssen in vielen Regionen mit Auswirkungen auf die thermische Struktur und die Wasserqualität.

Bei terrestrischen biologischen Systemen gehen laut IPCC sehr wahrscheinlich u.a. folgende Veränderungen auf die schon eingetretene Erwärmung zurück:

- Verschiebung der geografischen Verbreitungsgebiete von Pflanzen- und Tierarten polwärts und in höhere Lagen; früheres Eintreten von Frühlingsereignissen wie z. B. Blattentfaltung, Vogelzug und Eiablage; dadurch mögliche Überforderung der Anpassungsfähigkeit ökologischer Systeme.
- Verschiebungen geografischer Verbreitungsgebiete sowie Veränderungen des Auftretens von Algen, Plankton und Fischen in den Ozeanen der hohen Breiten
- Zunahme der Algen- und Zooplanktonmengen in höher gelegenen Seen sowie in Seen der hohen Breiten
- Veränderungen der Verbreitungsgebiete und frühzeitigere Wanderungen von Fischen in den Flüssen

Die jüngsten Klimaänderungen und -schwankungen beginnen sich auf zahlreiche andere natürliche und menschliche Systeme auszuwirken:

- Für Siedlungen in Gebirgsregionen besteht - infolge des Abschmelzens der Gletscher - ein erhöhtes Risiko durch Fluten nach Gletscherseeausbrüchen.
- Im Sahelgebiet Afrikas haben wärmere und trockenere Bedingungen zu einer Verkürzung der Vegetationszeiten geführt, mit nachteiligen Auswirkungen auf die Ernte.
- Im südlichen Afrika sind längere Trockenperioden und größere Unsicherheit bezüglich der Regenfälle Anlass zu Anpassungsmaßnahmen
- In zahlreichen Gebieten tragen der Anstieg des Meeresspiegels und die menschliche Entwicklung gemeinsam zu Verlusten von Küstenfeuchtgebieten und Mangroven

sowie in zahlreichen Gebieten zu zunehmenden Schäden infolge von Küstenüberflutungen bei

## **II.2 Zukünftig prognostizierte Änderungen, in verschiedenen Sektoren und Regionen.**

Genauere Informationen bezüglich der Art zukünftiger Auswirkungen sind nun für eine breite Palette von Systemen und Sektoren – einschließlich einiger Bereiche, die in früheren Bewertungen nicht erfasst waren – verfügbar.

Das IPCC prognostiziert bei allen heute schon beobachteten Änderungen eine weitere Zunahme und Verschärfung bis zur Mitte des Jahrhunderts.

- So wird die Wasserverfügbarkeit für trockene Gebiete in den mittleren Breiten z.B. Sahelzone, Südeuropa, Nordchina sowie für trockene Tropengebiete, die derzeit schon unter Wassermangel leiden, um 10-30% abnehmen. Die Dürregebiete werden sich weiter ausdehnen.
- In anderen Gebieten (z.B. Kanada, Mittel- u. Nordeuropa, Nordasien und einigen feuchten Tropengebieten wie z.B. Kongo- Amazonasbecken) werden sich Niederschläge und Überschwemmungsrisiken erhöhen.
- Die Widerstandsfähigkeit zahlreicher Ökosysteme wird in diesem Jahrhundert aufgrund einer noch nie da gewesenen Kombination von Klimaänderung, und anderen Störungen (z.B. Landnutzungsänderungen, Verschmutzung, Übernutzung) überschritten.
- Wenn der Anstieg der mittleren globalen Temperatur 1,5- 2,5°C pro Jahrhundert überschreitet, ist ein erhöhtes Aussterberisiko für ca. 20-30 % der bisher untersuchten Tier- und Pflanzenarten wahrscheinlich und die Struktur und Funktion von Ökosystemen sowie die ökologischen Interaktionen werden sich dramatisch, z.T. noch nicht vorhersehbar, verändern.
- Die Nettoaufnahme von Kohlenstoff durch terrestrische Ökosysteme wird wahrscheinlich vor der Mitte dieses Jahrhunderts einen Höchststand erreichen, anschließend schwächer werden – oder sich sogar umkehren – und dadurch eine Verstärkung der Klimaänderung bewirken. Dieser Rückkopplungseffekt ist derzeit noch kaum in den Prognosen berücksichtigt, stellt aber ein extremes Risiko dar.
- In niedrigeren Breiten, insbesondere in saisonal trockenen und Tropengebieten, wird für das Ernteertragspotenzial eine Abnahme projiziert, was ein erhöhtes Hungerrisiko zur Folge hat.
- Aufgrund des Anstiegs des Meeresspiegels wird projiziert, dass viele Millionen Menschen mehr pro Jahr, vor allem in den Großdeltas Asiens und Afrikas von Überschwemmungen betroffen sein werden. Die kleinen Inseln sind in besonderem Maße verwundbar. Die Anpassung in Küstengebieten wird für Entwicklungsländer kaum möglich sein.
- Korallen werden durch Hitzestress und die zunehmende Ozeanversauerung vermehrt von Korallenbleiche betroffen sein und großräumig absterben. Küstenfeuchtgebiete – einschließlich Salzmarschen und Mangroven – werden durch den Anstieg des Meeresspiegels z.T. verschwinden.
- Durch Klimaänderungen werden sich der Gesundheitszustand von Millionen von Menschen – vor allem der Armen – verschlechtern: Wachsende Unterernährung und Folgeerkrankungen, erhöhte Sterblichkeit aufgrund von Hitzewellen, Überschwemmungen, Stürmen, Bränden und Dürren, erhöhte Belastung durch

Durchfallserkrankungen, eine veränderte räumliche Verbreitung der Übertragung von Infektionskrankheiten sind projiziert.

Die beschriebenen künftigen Auswirkungen des Klimawandels werden im IPCC-Bericht für die verschiedenen Großregionen der Erde **spezifischer dargestellt**. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die negativen Auswirkungen vor allem in südlichen und armen Regionen auf der Erde besonders stark und dramatisch ausfallen werden. D.h. vor allem viele der armen Regionen, die kaum zu den THG-Emissionen beigetragen haben, werden mit hoher Wahrscheinlichkeit am meisten unter den Risiken der Erderwärmung leiden. So werden z.B. in Afrika bis 2020 zwischen 75 und 250 Mio Menschen zusätzlich unter Wasserknappheit leiden.

### **II.3 Anpassung an die beobachtete und projizierte Klimaänderung, Verwundbarkeiten.**

Selbst durch strikteste Minderungsmaßnahmen wird man nicht in der Lage sein, weitere Auswirkungen der Klimaänderung in den nächsten Jahrzehnten zu vermeiden. Deshalb sind Anpassungsmaßnahmen - vor allem zur Bewältigung kurzfristiger Folgen - unerlässlich.

- Es bedarf jedoch einer umfangreicheren Anpassung als derzeit, um die Verwundbarkeit gegenüber künftigen Klimaänderungen zu verringern.
- Bei zunehmenden Klimaänderungen verringern sich die Möglichkeiten für eine erfolgreiche Anpassung, und die damit verbundenen Kosten steigen.

Die Palette der möglichen Anpassungsmaßnahmen, die den menschlichen Gesellschaften zur Verfügung steht, ist nach Auffassung der IPCC-Forscher zwar prinzipiell sehr umfangreich und reicht von rein technologischen (z.B. Schutzbauten am Meer) über verhaltensbezogene (z. B. Änderungen bei der Auswahl von Verkehrsmitteln und Freizeitbeschäftigungen) bis hin zu Bewirtschaftungsmaßnahmen (z.B. Änderungen der landwirtschaftlichen Praxis) und zur Politik (z. B. Planungsbestimmungen). Es besteht aber ein gravierendes Defizit an einer umfassenden und konsequenten Strategie, um die Klimaänderung zu begrenzen und den Risiken durch die nicht mehr abwendbare Klimaänderung durch Anpassungsmaßnahmen zu begegnen.

### **III. Lässt sich der Klimawandel noch vermindern bzw. stabilisieren - durch welche Maßnahmen?**

Mit dieser Frage beschäftigte sich die IPCC-Arbeitsgruppe III21. Diesen Teil des IPCC-Berichtes sieht das isw trotz vieler anerkennenswerter Arbeiten im Detail vor allem im Hinblick auf Schlussfolgerungen und empfohlene Konsequenzen eher kritisch (s.u. isw-Einschätzung des IPCC-Berichtes). Verschiedene ökonomisch/politische Szenarien und Vorschläge zur Verminderung des Klimawandels werden in den später folgenden Kapiteln des vorliegenden isw-Heftes (isw-report 73) diskutiert. In diesem Zusammenhang wird auch auf Szenarien des WEC22 und der IEA23, auf die sich die Arbeitsgruppe III des IPCC bezieht, Stellung genommen.

#### **III.1 Projizierte Emissionsentwicklungen bis 2030 und 2100.**

Das IPCC prognostiziert, dass bei den derzeitigen „Klimaschutzpolitiken“ die globalen Emissionen von Treibhausgasen über die nächsten Jahrzehnte weiterhin zunehmen werden (s. Abb 3).

- Die SRES-Szenarien (s.o.) projizieren einen Anstieg der Referenzwerte globaler THG Emissionen in einer Bandbreite von 9,7 Gt CO<sub>2</sub>-Äq. bis 36,7 Gt CO<sub>2</sub>-Äq. (25-90%) zwischen 2000 und 2030.
- In diesen Szenarien wird projiziert, dass die Dominanz fossiler Brennstoffe im weltweiten Energiemix bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus anhält. Über diesen Zeitraum wird für die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energieverbrauch ein Wachstum von 40-110% projiziert. Zwei Drittel bis drei Viertel dieses Zuwachses an CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energieverbrauch werden laut IPCC-Projektionen im wesentlichen aus Entwicklungs- und Übergangsländer stammen.
- Die durchschnittlichen Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energieverbrauch werden aber laut Projektion bis 2030 bei den Industrienationen nach wie vor wesentlich höher bleiben (9,6-15,1 tCO<sub>2</sub>/Kopf) als bei den übrigen Regionen (2,8-5,1 tCO<sub>2</sub>/Kopf).

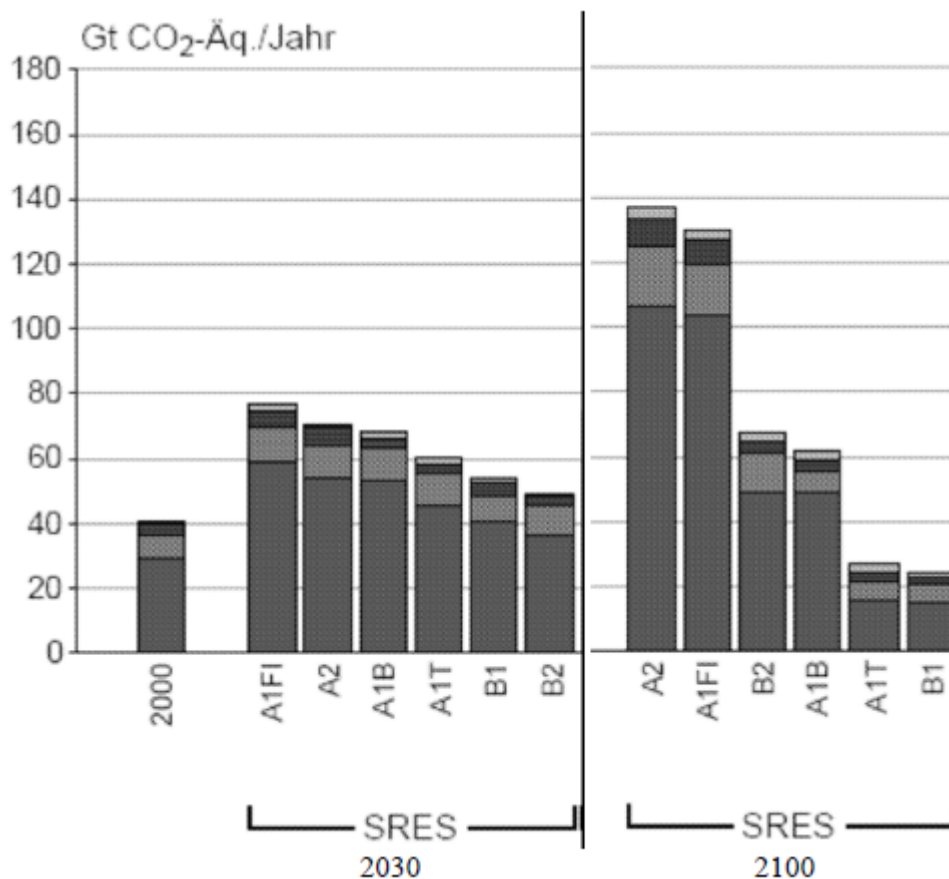


Abb. 3 *Weltweite THG-Emissionen* im Jahr 2000 und projizierte Emissionen für 2030 und 2100. Diese Abbildung zeigt die Emissionen aus den sechs beispielhaften SRES-Szenarien. (=Referenzszenarien aus dem IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien - SRES, Beschreibung s.o.).

### Stabilisierung des Klimawandels bei welchem THG-Emissionsniveau?

IPCC-Modellstudien legen nahe, dass eine über das 21. Jahrhundert kumulierte

Emission von ungefähr 1800 GtCO<sub>2</sub> mit einer Stabilisierung bei 450 ppm CO<sub>2</sub> kompatibel wäre. Dies würde wahrscheinlich zu einer globalen Temperaturerhöhung im Gleichgewicht von 2,1 °C führen. Eine über das 21. Jahrhundert kumulierte Emission von 4030 Gt CO<sub>2</sub> würde dagegen zu einer Gleichgewichtskonzentration bei 1000 ppm Kohlendioxid (entsprechend +5,5 °C) führen.

### III.2 Emissionsminderungsmöglichkeiten, Kosten und Maßnahmen.

#### Emissionsminderungspotenziale bei unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Preisen

Die Untersuchungen, auf die sich das IPCC stützt, weisen darauf hin, dass ein signifikantes wirtschaftliches Potenzial für die Minderung von globalen Treibhausgasemissionen über die nächsten Jahrzehnte besteht, das den projizierten Zuwachs globaler Emissionen kompensieren oder die Emissionen unter die aktuellen Werte senken könnte. Das für diesen Bericht abgeschätzte wirtschaftliche Emissionsminderungspotenzial im Jahr 2030 bei unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Preisen ist nachfolgend in Tabelle 3 dargestellt. Zum Vergleich: Die THG-Emissionen im Jahr 2000 betragen ca. 43 Gt CO<sub>2</sub>-Äq.

Kohlendioxidpreis	Wirtschaftl. Emissionsminderungspotenzial	Verringerung im Vgl. zu SRES A1B (68 GtCO)	Verringerung im Vgl. zu SRES (B2 (49 GtCO <sub>2</sub> -eq/yr)
(US-\$/tCO <sub>2</sub> -Äq.)	(GtCO <sub>2</sub> -Äq./Jahr)	(%)	(%)
0	5-7	7-10	10-14
20	9-17	14-25	19-35
50	13-26	20-38	27-52
100	16-31	23-46	32-63

Tab. 3 Geschätztes weltweites wirtschaftliches Emissionsminderungspotenzial im Jahr 2030 bei unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Preisen.

Das sektorale wirtschaftliche Potenzial zur weltweiten Emissionsminderung im Jahr 2030 wird bei einem Kohlendioxidpreis von 50-100 US-\$/tCO<sub>2</sub>-Äq. folgendermaßen abgeschätzt („Geschätztes weltweites sektorales wirtschaftliches Emissionsminderungspotenzial im Jahr 2030 bei einem CO<sub>2</sub>-Preis <100 US-\$/tCO<sub>2</sub>-Äq.“):

- Gebäude: 5,3-6,7 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr, davon in den OECD-Ländern ca. 2,0 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr
- Industrie: 2,5-5,5 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr, davon in den OECD-Ländern ca. 0,8Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr
- Energievers.: 2,4-4,7 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr, davon in den OECD-Ländern ca. 1,4 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr
- Verkehr: 1,6-2,5 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr, inkl. internat. Flugverkehr
- Abfall: 0,4-1,0 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr, davon in den OECD-Ländern ca. 0,2 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr
- Landwirtschaft: 2,3-6,4 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr, davon in den OECD-Ländern ca. 0,9 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr
- Forstwirtschaft: 1,3-4,2 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr, davon in den OECD-Ländern ca. 0,7 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr
- Summe: 15,7-31,0 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr

Bei Betrachtung der Kosten im Vergleich zu anderen Versorgungsmöglichkeiten kann Elektrizität aus erneuerbaren Energien, die 2005 18% der Stromversorgung ausmachte, bei Kohlendioxidpreisen von bis zu 50 US-\$ /t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 einen Anteil von 30-35% an der **gesamten Stromversorgung erreichen**.

**Mögliche Schlüsseltechnologien und -praktiken.**

Die gesamte Herausforderung der Emissionsminderung kann selbstverständlich nicht von einem Sektor oder mit einer Technologie alleine angegangen werden, alle bewerteten Sektoren müssen zum Gesamtergebnis beitragen. Einige Schlüsseltechnologien zur Emissionsminderung für die jeweiligen Sektoren fassen die IPCC-Forscher in Tabelle 5 zusammen.

<b>Sektor</b>	<b>Aktuell auf dem Markt befindliche Schlüsseltechnologien und Praktiken zur Emissionsminderung.</b>	<b>Schlüsseltechnologien und -Praktiken zur Emissionsminderung, die laut Projektionen bis 2030 auf den Markt kommen.</b>
<b>Energie-versorgung</b>	Erhöhte Versorgungs- und Verteilungseffizienz; Brennstoffwechsel von Kohle zu Gas; Kernenergie; erneuerbare Energien für Wärme und Strom (Wasserkraft, Solarenergie, Windkraft, Erdwärme und Biomasse); Kraft-Wärme-Kopplung; frühe Anwendung von CO <sub>2</sub> -Abtrennung und -speicherung (CCS; z.B. Speicherung von aus Erdgas entferntem CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> -Abtrennung und -speicherung (CCS) für gas-, bio-masse- oder kohlebetriebene Stromkraftwerke; weiterentwickelte Kernenergie; weiterentwickelte erneuerbare Energien, einschl. Gezeiten- und Wellenkraftwerke, solarthermische Energie (CSP - concentrating solar power) und solare Photovoltaik
<b>Verkehr</b>	Treibstoffeffizientere Fahrzeuge; Hybridfahrzeuge; „saubere“ Dieselfahrzeuge; Biotreibstoffe; modale Verlagerung vom Straßenverkehr auf die Schiene und öffentliche Verkehrssysteme; schnelle öffentliche Verkehrssysteme, nicht-motorisierter Verkehr (Fahrradfahren, Zufußgehen); Landnutzungs- und Verkehrsplanung	Biotreibstoffe zweiter Generation; effizientere Flugzeuge; weiterentwickelte Elektro- und Hybridfahrzeuge mit stärkeren und zuverlässigeren Batterien
<b>Gebäude</b>	Effiziente Beleuchtung und Ausnutzung des Tageslichts; effizientere Elektrogeräte und Heiz- und Kühlvorrichtungen; weiterentwickelte Kochherde; bessere Wärmedämmung; passive und aktive Solararchitektur für Heizung und Kühlung; alternative Kühlflüssigkeiten, Rückgewinnung und Wiederverwertung von fluorierten Gasen	Integrale Energiekonzepte für Geschäftsgebäude einschließlich Technologien wie z.B. intelligente Zähler, die Rückkopplung und Steuerung ermöglichen; in Gebäude integrierte Photovoltaik
<b>Industrie</b>	Effizientere elektrische Endverbraucherausüstung; Wärme- und Stromrückgewinnung; Materialwiederverwertung und -ersatz; Emissionsminderung von Nicht-CO <sub>2</sub> -Gasen; sowie ein breites Spektrum an prozessspezifischen Technologien	Weiterentwickelte Energieeffizienz; CCS bei Zement-, Ammoniak- und Eisenherstellung; inerte Elektroden für die Aluminiumherstellung
<b>Landwirtschaft</b>	Verbessertes Management von Acker- und Weideflächen zur Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung im Boden; Renaturierung von kultivierten Torfböden und degradierten Boden; verbesserte Reisanbautechniken sowie Vieh- und Düngermanagement zur Verringerung von CH <sub>4</sub> -Emissionen; verbesserte Stickstoffdüngung zur Verringerung von N <sub>2</sub> O-Emissionen; gezielter Anbau von Energiepflanzen als Ersatz für fossile Brennstoffe; erhöhte Energieeffizienz	Verbesserung der Ernteerträge
<b>Forstwirtschaft</b>	(Wieder-)Aufforstung; Forstwirtschaft; reduzierte Entwaldung; Regulierung von Holzprodukten; Nutzung von Forstprodukten für Bioenergie als Ersatz für fossile Brennstoffe	Weiterentwicklung von Baumarten zur Steigerung der Biomasseproduktivität und Kohlenstoffspeicherung. Verbesserte Fernerkundungstechnologien für die Analyse des Potenzials zur Kohlendioxidaufnahme durch Vegetation/Boden und für die Kartierung von Landnutzungsänderungen

<b>Abfall</b>	Rückgewinnung von Methan aus Deponien; Müllverbrennung mit Energierückgewinnung; Kompostierung organischer Abfälle; kontrollierte Abwasserbehandlung; Recycling und Abfallminimierung	Methanoxidationsschicht (Biocover) und Biofilter für optimierte CH <sub>4</sub> -Oxidation
---------------	---	--

Tab. 5: *Schlüsseltechnologien und -praktiken zur Emissionsminderung nach Sektoren. Nicht-technologische Praktiken, wie z.B. Änderungen im Lebensstil, sind nicht in dieser Tabelle enthalten.*

Etwa 65% des gesamten Emissionsminderungspotenzials im forstwirtschaftlichen Sektor liegen in den Tropen, und etwa 50% könnte durch die Minderung von Emissionen aus Entwaldung erreicht werden.

### Langfristige Emissionsminderungsmöglichkeiten.

- Um die Konzentration an Treibhausgasen in der Atmosphäre zu stabilisieren, müssten die Emissionen nach dem Erreichen eines Maximalwerts abnehmen. Es ist zu beachten, dass sich die mittlere globale Gleichgewichtstemperatur aufgrund der Trägheit des Klimasystems von der erwarteten mittleren globalen Temperatur zum Zeitpunkt der Stabilisierung von THG-Konzentrationen unterscheidet. In den meisten der bewerteten Szenarien tritt die Stabilisierung der **THG-Konzentrationen erst zwischen 2100 und 2150 ein**.
- Tabelle 6 fasst die benötigten Emissionsniveaus für verschiedene Gruppen von Stabilisierungskonzentrationen und die damit verbundenen Anstiege der mittleren globalen Temperatur im Klimagleichgewicht zusammen.
- Um den mittleren globalen Gleichgewichtstemperaturanstieg über die vorindustriellen Werte auf 2,0 - 2,4 °C zu stabilisieren bzw. zu begrenzen (nach 2100), dürfte die CO<sub>2</sub> Konzentration nur noch max. auf 400 ppm (die CO<sub>2</sub> - Äq.-Konzentration max. auf 490 ppm) steigen. Um dies zu erreichen müssten sich die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2050 um mindestens 50 - 85 % reduziert haben, im Vergleich zu den Emissionen im Jahr 2000.
- Bei einer um 90 bis 140% höheren THG-Emission im Jahr 2050 im Vergleich zu 2000 würde ein Temperaturanstieg im globalen Mittel um 4,9 - 6,1 °C und eine Stabilisierungs- CO<sub>2</sub> Konzentration von 660 - 790 ppm (d.h. CO<sub>2</sub> -Äq.-Konzentration von 855-1130 ppm) prognostiziert.

Kategorie	Strahlungs-antrieb (W/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> Konzentration (ppm)	CO <sub>2</sub> -Äq.-Konzentration (ppm)	Mittlerer globaler Gleichgewichtstemperatur-anstieg*	Jahr maximaler CO <sub>2</sub> -Emissionen	Änderung der globalen CO <sub>2</sub> -Emissionen im Jahr 2050	Anzahl bewerteter Szenarien
I	2,5-3,0	350-400	445-490	2,0-2,4	2000-2015	-85 to -50	6
II	3,0-3,5	400-440	490-535	2,4-2,8	2000-2020	-60 to -30	18
III	3,5-4,0	440-485	535-590	2,8-3,2	2010-2030	-30 to +5	21
IV	4,0-5,0	485-570	590-710	3,2-4,0	2020-2060	+10 to +60	118
V	5,0-6,0	570-660	710-855	4,0-4,9	2050-2080	+25 to +85	9
VI	6,0-7,5	660-790	855-1130	4,9-6,1	2060-2090	+90 to +140	5
Gesamt							177

\*über die vorindustriellen Werte unter der Verwendung einer „bestmöglichen Abschätzung“ der Klimasensitivität °C

Tab. 6: *Kenndaten verschiedener Stabilisierungsszenarien*

- Rückkopplungen zwischen dem Kohlenstoffkreislauf und der Klimaänderung beeinflussen die benötigte Emissionsminderung für ein bestimmtes Stabilisierungsniveau der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration. Die IPCC- Forscher erwarten, dass diese Rückkopplungen den in der Atmosphäre verbleibenden Anteil

an anthropogenen Emissionen erhöhen werden, während sich das Klimasystem erwärmt. Da die Kenntnis derartiger Rückkopplungen noch zu unsicher ist, sind sie nicht in den Modellrechnungen berücksichtigt. Daher sind die notwendigen Emissionsreduktionen zur Erreichung eines bestimmten Stabilisierungsniveaus hier eher unterschätzt.

### **Zukünftige globale Kosten einer Reduzierung.**

Für das Jahr 2030 liegen die Schätzungen der gesamtwirtschaftlichen Kosten für eine Multi-Gas- Emissionsminderung, die einer Stabilisierung bei 450 ppm CO<sub>2</sub>-Äq. entspricht, bei einer weltweiten BIP-Reduzierung von 3% im Vergleich zum Referenzszenario, für das Jahr 2050 bis ca. 5,5% des globalen BIP<sub>33</sub>. Für bestimmte Länder und Sektoren können die Kosten beträchtlich vom weltweiten Mittel abweichen.

Das IPCC warnt, dass verzögerte Emissionsminderungen zu Investitionen führen, die emissionsintensivere Infrastrukturen und Entwicklungspfade festschreiben („Lock-In-Effekt“). Dies schränkt die Möglichkeiten, niedrigere Emissionsniveaus zu erreichen, signifikant ein und erhöht das Risiko für schwerwiegendere Auswirkungen der Klimaänderung.

### **Allgemeine Aussagen zu möglichen Politiken und Maßnahmen.**

Das IPCC benennt **vier Hauptkriterien für die Bewertung von Politiken und Instrumenten**: Umweltwirksamkeit, Kosteneffizienz, Verteilungsgerechtigkeit und institutionelle Machbarkeit. Viele Aussagen über die Effizienz von Maßnahmen und mögliche Politiken sind **eher allgemein und wenig pointiert**, sie werden deshalb hier nicht im Einzelnen wiedergegeben.

### **isw-Einschätzung des IPCC-Berichtes AR4**

1. Insbesondere der naturwissenschaftliche Teil des IPCC-Berichtes AR4 verdient hohes Vertrauen. Dieser Bericht repräsentiert nahezu die gesamte relevante globale Scientific Community in den entsprechenden naturwissenschaftlichen Themengebieten (Atmosphären-Physik, -Chemie, Geospären-, Biosphären-Forschung, Klimatologie, Paläoklimatologie, Glaciologie usw.). Hier ist ein erfreuliches Beispiel eines Wissenschaftsbereiches zu konstatieren, der sich bisher relativ konsequent gegen Beeinflussung und Verharmlosung durch politische oder ökonomische Interessen gewehrt hat. Die globale Zivilgesellschaft kann sich - z.Zt. noch - auf diese Wissenschafts-Gemeinschaft verlassen.
2. Trotz der vornehmen und immer redlichen wissenschaftlichen Zurückhaltung in der Ausdrucksweise wird klar, dass sich die alarmierenden Ergebnisse und Warnungen des Klimawandels seit Mitte der 1980-er Jahre immer mehr verschärft haben.
3. Die relativ gute Übereinstimmung der heutigen Messungen mit geschätzten Projektionen aus dem ersten IPCC-Bericht (von 1990 ) für 2005 beweist, dass die bisherigen IPCC-Prognosen aus früheren Berichten seit 1990 nun schon durch Messungen und Beobachtungen bestätigt werden und keineswegs Panikmache darstellten.

Eher das Gegenteil ist richtig: Manche Prognosen von damals für heute



- dokumentieren die wissenschaftliche Vorsicht und Redlichkeit und müssen schon jetzt auf Grund von Messungen und Beobachtungen verschärft werden.
4. Aus der wissenschaftlich zwar redlichen Zurückhaltung bei der Nichtberücksichtigung noch nicht gut verstandener Prozesse, insbes. Rückkopplungsprozesse, resultiert eher eine Untertreibung der zukünftigen Veränderungen im Klimasystem und der resultierenden weiteren Gefahren.
  5. Leider kann dasselbe Vertrauen und hohe Lob nicht für den sozialökonomischen und politischen Teil des Berichtes - d.h. insbes. für den Teilbericht der Arbeitsgruppe III - ausgesprochen werden. (Trotz dieser Kritik wird jedoch auch in diesem Teilbericht die Fülle wertvoller Studien und Informationen gewürdigt).
  6. Schon die Bestandsaufnahme der THG-Emissionsentwicklung wird zu neutral dargestellt und kaum die besondere Last der Hauptemittenten - der Industrieländer - in der Vergangenheit bis heute dargestellt und deutlicher thematisiert.
  7. Eine Darstellung der THG-Emissions-Intensität, die sich auf das BIP bezieht, ist systemverschleiern und inhuman. Die mit humanistischem Menschenrecht einzig vereinbare Darstellung muss sich auf eine Pro Kopf - Emissions-Intensität beziehen.
  8. Eine systemkritische Diskussion bei der Bestandsaufnahme der heutigen Situation und der bisherigen Entwicklung fehlt völlig.
  9. Die „Blindheit“ bzgl. grundsätzlich anderen Alternativ-Szenarien der globalen Ökonomie und Politik ist auch bei den Untersuchungen zu zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten zu konstatieren.
  10. Bei der „Definition“ von möglichen zukünftigen Emissionsszenarien wird schon ein ambitioniertes Emissions-Reduktionsszenarium im bestehenden globalen kapitalistischen System ausgeklammert, ganz zu schweigen von einem Szenarium mit systemkritischem Ansatz.
  11. Bei Aussagen zur Kostenabschätzung zukünftiger Szenarien wird deutlich, dass die globale kapitalistische Ordnung vorausgesetzt wird und lediglich theoretische Szenarien in diesem Rahmen untersucht werden.
  12. Mutige Entwürfe für zukünftige Entwicklungspfade aus der Klimakrise heraus werden nicht gegeben. Die erwähnten Maßnahmen und Politikvorschläge bewegen sich in moderaten Bahnen, z.T. können beschriebene Szenarien als Rechtfertigung nur halbherziger Klimapolitik herangezogen werden.
  13. In wichtigen Bereichsfragen zu zukünftigen politischen und technologischen Maßnahmemöglichkeiten bleibt der Bericht z.T. nichtssagend allgemein oder sogar unkritisch befürwortend. Dies betrifft z.B. Aussagen zur zukünftigen Rolle der Kernenergie, der Biokraftstoffe und der Kohlenstoffspeicherung (CCS).