

1.1 Die Erde ist wärmer geworden

An der Erderwärmung besteht kein Zweifel mehr: Die Erde hat sich in den letzten 100 Jahren um 0,74 °C erwärmt; die Erwärmung in den letzten 50 Jahren dieses Zeitraums war doppelt so stark wie die in der ersten Hälfte, und 11 der letzten 12 Jahre waren die wärmsten seit Beginn der flächendeckenden Temperaturmessung (im Jahr 1850). Auch die Ozeane wurden wärmer, und zwar mindestens bis in 3000 m Tiefe. Dabei haben sie 80 Prozent der insgesamt durch die Zunahme des Treibhauseffektes entstandenen Wärme absorbiert. Durch die Erwärmung dehnen die Ozeane sich aus, wodurch sie dazu beitragen, dass der Meeresspiegel ansteigt: Insgesamt stieg er im 20. Jahrhundert um 17 cm an; im Zeitraum von 1993 bis 2003 sogar um 3,1 mm pro Jahr. Neben den wärmeren Ozeanen trugen schmelzende Gletscher und schmelzendes Eis zum Anstieg des Meeresspiegels bei.

Diese Erderwärmung hat weitere klimatische Folgen: In Nordeuropa, Nord- und Südamerika hat es mehr geregnet, im Mittelmeerraum, in der Sahelzone, in Südafrika und Teilen Südasiens ist es dagegen trockener geworden; die Westwinde sind sowohl auf der Nord- als auch auf der Südhalbkugel stärker geworden. Die Häufigkeit von Starkregen hat zugenommen, Hitzewellen sind häufiger geworden und tropische Stürme wurden heftiger - ein klarer Trend zur Zunahme ihrer Häufigkeit ist dagegen nicht zu erkennen. Entgegen manchen Befürchtungen gibt es auch keinen Trend zum Rückgang des antarktischen See-Eises.

Eine Warnung aus der Klimageschichte: Untersuchungen zur Klimageschichte zeigen, dass es zumindest in den letzten 1.300 Jahren auf der Erde nie so warm gewesen ist wie heute. Vor 125.000 Jahren, als es während einer Warmzeit das letzte Mal in den Polarregionen für längere Zeit wärmer war als heute (um 3 - 5 °C), stieg der Meeresspiegel um 4 bis 6 Meter an - wahrscheinlich verursacht vom Tauen der Eisschicht auf Grönland und anderer arktischer Eisfelder.

1.2 Die Verursacher der Erderwärmung

Die Energiebilanz der Erde und damit das Klimasystem werden von Änderungen der ankommenden Sonnenstrahlung, der Konzentration von Treibhausgasen und Aerosolen (Partikeln) in der Atmosphäre sowie von Änderungen der Eigenschaften der Erdoberfläche verändert. Inzwischen sind die Erkenntnisse besser geworden, welchen Anteil an der Erderwärmung die einzelnen Faktoren haben. [...].

Der größte Teil der Erderwärmung ist vom Menschen verursacht. Weit-aus wichtigste Ursache sind Treibhausgase, die den Treibhauseffekt um 2,3 Watt pro m² erhöhten. Ohne die Aerosole (Partikel) in der Luft wäre die Erwärmung sogar noch stärker ausgefallen; aber diese haben einen abkühlenden Effekt auf das Klima. In der Summe hat der Mensch mit seinen Aktivitäten den Treibhauseffekt um 1,6 Watt pro m² verstärkt; Änderungen der Sonneneinstrahlung hatten dagegen seit 1750 nur eine Änderung von 0,12 Watt pro m² zur Folge. Dass die Erderwärmung auch ohne menschliche Aktivitäten stattgefunden hätte, ist nach Stand der Wissenschaft „extrem unwahrscheinlich“.

Das wichtigste Treibhausgas ist Kohlendioxid. Die Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre ist von vorindustriellen 280 ppm auf 379 ppm (2005) angestiegen; weit mehr als jemals in den letzten 650.000 Jahren, in denen die Kohlendioxidkonzentration aus Eisbohrkernen bekannt ist (und sich immer zwischen 180 und 300 ppm bewegte). Wichtigste Ursache dieses Anstieges ist die Verbrennung fossiler Brennstoffe - im Zeitraum von 2000 bis 2005 setzte sie jedes Jahr durchschnittlich 26,4 Milliarden Tonnen Kohlendioxid frei. Ebenfalls bedeutsam sind Änderungen der Landnutzung, die 5,9 Milliarden Tonnen Kohlendioxid pro Jahr freisetzen.

Zweitwichtigstes Treibhausgas ist Methan. Die Methankonzentration in der Atmosphäre ist von vorindustriellen 715 ppb auf 1774 ppb (2005) angestiegen, ebenfalls weit über den Werten der letzten 650.000 Jahre (die zwischen 320 und 790 ppb schwankten). Ursachen für diesen Anstieg sind die Landwirtschaft und die Verbrennung fossiler Brennstoffe.

Wie das Klima auf die Treibhausgase reagiert: Eine Verdoppelung der vorindustriellen Konzentration von Kohlendioxid hätte nach den vorliegenden Daten eine Erwärmung um 3 °C zur Folge; wobei die mögliche Spanne 2 bis 4,5 °C beträgt - diese Spanne liegt vor allem daran, dass die Auswirkungen von Wolken auf den Strahlungshaushalt der Erde unsicher sind.

Welche weitere Erwärmung in Zukunft auf uns zukommt, hängt neben den Annahmen über die Temperaturerhöhung bei einer Kohlendioxid-Verdoppelung von den Annahmen über künftige Emissionen an Treibhausgasen und - davon abhängig - ihre künftige Konzentration in der Atmosphäre ab. Aber selbst wenn die Konzentration ab sofort gleich bliebe, würde die Temperatur weiter ansteigen - um 0,1 °C pro Jahrzehnt für die nächsten beiden Jahrzehnte, und dann langsamer [...]. Dieser Anstieg liegt vor allem an der langsamen Reaktion der Ozeane auf die Treibhausgase. Gleichbleibende oder ansteigende Emissionen und der damit einhergehende Anstieg an Treibhausgasen in der Atmosphäre führen zu stärkeren Temperaturerhöhungen, am wahrscheinlichsten liegt diese zunächst bei 0,2 °C pro Jahrzehnt. Danach unterscheiden sich die Emissionen je nach Emissionszenario gewaltig.

Das 21. Jahrhundert wird wärmer: Je nach Szenario liegt die mögliche Erwärmung im 21. Jahrhundert zwischen 1,1 und 6,4 °C. Die niedrigste Temperaturerhöhung (1,1 - 2,9 °C, am wahrscheinlichsten 1,8 °C) würde eintreten, wenn durch schnellen Strukturwandel und die Einführung sauberer und effizienter Technologien der Anstieg der Treibhausgase auf etwa 600 ppm CO₂ beschränkt würde. Aber selbst wenn danach die Konzentration an Treibhausgasen nicht weiter ansteigen würde, würde die Temperatur wegen der Trägheit des Klimasystems im folgenden Jahrhundert um mindestens weitere 0,5 °C ansteigen. Dieses Szenario berücksichtigt allerdings keine weiteren expliziten Maßnahmen zum Klimaschutz (das heißt: bei Durchführung solcher Maßnahmen kann der Temperaturanstieg auch niedriger bleiben). Den höchsten Temperaturanstieg (um 2,4 - 6,4 °C, am wahrscheinlichsten 4,0 °C) erwartet der IPCC, wenn bei anhaltendem Wirtschaftswachstum der Weg der Verbrennung fossiler Brennstoffe nicht verlassen wird.

Quelle: <http://www.oekosystem-erde.de/html/ipcc-4.html>

2. Auswirkungen des Klimawandels

Die Erderwärmung verändert bereits heute Ökosysteme

Zu den Veränderungen, die bereits heute zu beobachten sind, gehören Änderungen in der Eis- und Schneedecke in den kalten Regionen der Erde. Diese äußern sich zum Beispiel darin, dass Gletscherseen zahlreicher und größer werden und die von Gletschern gespeisten Flüsse mehr Wasser führen. Arktische und antarktische Ökosysteme ändern sich, betroffen sind auch die Jäger am Ende der Nahrungskette.

Die Änderungen treffen aber nicht nur die kalten Regionen; überall tritt der Frühling (Ereignisse wie Blattaustrieb, Vogelzug, Eiablage) früher auf; außerdem verschieben sich die Verbreitungsgebiete von Tieren polwärts oder in höhere Bereiche in den Bergen. Ebenso verschieben sich die Verbreitungsgebiete von Algen, Plankton und Fischen in den Weltmeeren; Algen und Zooplankton nehmen in hohen Breiten und in hochgelegenen Seen zu. Die Fischwanderungen in den Flüsse finden ebenfalls früher statt. [...].

Was wir heute über zukünftige Auswirkungen wissen

Gegenüber früheren Berichten haben die Kenntnisse über künftige Auswirkungen des Klimawandels auf viele Systeme und Sektoren zugenommen.

Frischwasser: Die Flüsse in hohen Breiten und feuchten tropischen Regionen werden 10 bis 40 Prozent mehr Wasser führen, in den trockenen Regionen der mittleren Breiten und der Tropen aber 10 bis 30 Prozent weniger Wasser. Dürreperioden und Überschwemmungen durch Starkregen werden beide zunehmen. In Regionen, die von Gletscherwasser aus den Bergen abhängen (wo gegenwärtig ein Sechstel der Weltbevölkerung lebt), wird Wasser knapper werden.

Ökosysteme: Die Auswirkungen des Klimawandels werden die Widerstandsfähigkeit vieler Ökosysteme übersteigen. Wahrscheinlich wird gegen Mitte des Jahrhunderts die Aufnahme von Kohlendioxid durch die Ökosysteme zurückgehen, wodurch sich der Klimawandel verstärken würde. Für 20 bis 30 Prozent der Tier- und Pflanzenarten steigt das Aussterberisiko bei einem Temperaturanstieg von 1,5 bis 2,5 °C. Die Auswirkungen auf die Ökosysteme haben überwiegend schädliche Auswirkungen auf biologische Vielfalt und von den Ökosystemen geleistete Dienstleistungen, wie Wasser- und Nahrungsmittelversorgung.

Nahrungsmittel, Faser- und Holzproduktion: Mit hoher Wahrscheinlichkeit werden Dürren und Überschwemmungen die Nahrungsmittelproduktion reduzieren, insbesondere bei der Subsistenz-Landwirtschaft in niedrigen Breiten (mit anderen Worten: bei den Bauern, die in den Tropen für sich und ihre Familien Nahrungsmittel anbauen). Die Vorkommen von Fischarten werden sich weiter verschieben, mit negativen Folgen für Fischerei und Fischzucht. Weitere Folgen sind wahrscheinlich: In hohen Breiten könnte die Nahrungsproduktion zunächst leicht steigen, in niedrigen Breiten abnehmen - hier könnte dies zu Hunger führen. Ebenso könnte die Holzproduktion zunächst leicht steigen.

Küsten und Flachländer: Küsten sind durch die Erderwärmung höheren Risiken, etwa durch Erosion, ausgesetzt; der Effekt wird durch zunehmende Belastung durch den Menschen noch verschärft. Korallen werden vermutlich in Zukunft noch verstärkt ausbleichen und absterben, und Ökosysteme wie Salzmarschen und Mangroven werden besonders vom Klimawandel betroffen sein. Von Fluten infolge des ansteigenden Meeresspiegels werden viele Millionen Menschen betroffen sein, insbesondere in den Mega-Deltas Asiens und Afrikas und auf kleinen Inseln.

Industrie, Siedlungen und Gesellschaft: Die Auswirkungen des Klimawandels werden in der Summe negativ sein; und dies besonders in Küstennähe und in Überschwemmungsgebieten und für Sektoren, die von Rohstoffen abhängen, die vom Klimawandel und extremen Wetterereignissen betroffen sind. Arme Gemeinschaften

werden aufgrund ihrer geringeren Möglichkeit zur Anpassung stärker betroffen sein.

Gesundheit: Der Klimawandel wird Auswirkungen auf die Gesundheit von Millionen Menschen haben, etwa durch zunehmende Unterernährung und ihre Folgen, Hitzewellen, Stürme, Überschwemmungen und Dürren, zunehmende Durchfallerkrankungen und die Ausbreitung von Krankheitsüberträgern. Positive Effekte (weniger Kältetode in hohen Breiten) werden durch negative Effekte mehr als ausgeglichen. Vorsorge, Gesundheitserziehung, Infrastruktur und wirtschaftliche Entwicklung werden in Zukunft zentrale Faktoren für die Gesundheit von Bevölkerungsgruppen sein.

Im Vergleich zu früheren Berichten haben die Kenntnisse über die spezifischen regionalen Auswirkungen zugenommen:

In **Afrika** werden bis 2020 durch den Klimawandel zwischen 75 bis 220 Millionen Menschen unter zunehmendem Wassermangel leiden. Die Anbaufläche für Nahrungsmittel und die Erträge werden abnehmen (in manchen Regionen bis um 50 Prozent bis 2020); die Unterernährung wird zunehmen.

In **Asien** wird die Verfügbarkeit von Wasser in den großen Flussbecken abnehmen, bis Mitte des Jahrhunderts könnten hiervon mehr als eine Millionen Menschen betroffen sein. In den Schwellenländern mit schneller Verstädterung und Industrialisierung könnte der Klimawandel die nachhaltige Entwicklung gefährden. Fluten und Dürren könnten Durchfallerkrankungen zunehmen lassen, steigende Wassertemperaturen die Cholera fördern.

In **Europa** werden fast alle Regionen unter dem Klimawandel leiden; etwa durch Überschwemmungen, zunehmende Stürme und Verluste an Artenvielfalt und Ökosystemen. Südeuropa wird unter zunehmender Trockenheit und geringeren Erträgen in der Landwirtschaft leiden; auch in Mittel- und Osteuropa könnten Trockenzeiten häufiger werden. Auch in Nordeuropa dürften die Schäden (etwa Überschwemmungen) die Vorteile überwiegen.

In **Lateinamerika** könnte zunehmende Trockenheit dazu führen, dass die Regenwälder im östlichen Amazonasgebiet durch eine Savannenvegetation ersetzt werden. In den Tropen besteht die Gefahr des Verlustes an biologischer Vielfalt; in den trockenen Regionen könnte es zur Wüstenbildung kommen und zur Abnahmen der landwirtschaftlichen Erträge kommen. Änderungen der Niederschlagsverteilung könnten Wasserversorgung und Energiegewinnung beeinträchtigen.

In **Nordamerika** könnte die Wasserknappheit im Westen durch weniger Schnee in den Bergen verschärft werden; sehr wahrscheinlich werden auch Feuer und Schädlingsbefall in den Wäldern zunehmen. Hitzewellen werden in den Städten, die schon heute darunter leiden, zunehmen. Küstenstädte und -ökosysteme werden durch den Klimawandel - in Zusammenspiel mit Bebauung und Verschmutzung - besonders leiden. Die Auswirkungen auf die Landwirtschaft sind regional sehr unterschiedlich, vom Regen abhängige Kulturen könnten besser wachsen, Bewässerungskulturen unter zunehmender Trockenheit leiden.

In den **Polarregionen** werden Dicke und Ausmaß der Gletscher und Eisschichten weiter zurückgehen, und die Ökosysteme sich verändern. Dies wird Seevögel und Säugetiere negativ betreffen. Die traditionelle Lebensweise der Bewohner der Arktis ist gefährdet.

Kleine Inseln sind besonders vom ansteigenden Meeresspiegel und seine Auswirkungen auf die Küsten betroffen, der zudem Fischerei und Tourismus schädigen könnte; außerdem gefährdet der Klimawandel insbesondere in der Karibik und im Pazifik die Wasserversorgung.

Quelle: <http://www.oekosystem-erde.de/html/ipcc-4-wg2.html>

3. Maßnahmen gegen den Klimawandel

Kurz- und mittelfristige Maßnahmen

Es gibt eine ganze Reihe wirtschaftlicher Maßnahmen, die den Ausstoß an Treibhausgasen verringern könnten. Welche Maßnahme wirtschaftlich ist, hängt davon ab, welchen Preis man für die Vermeidung einer Tonne Kohlendioxid-Äquivalent ansetzt [...]. Mögliche Maßnahmen finden sich in allen Sektoren, hier sind einige davon:

Energie	Verbesserte Effizienz bei der Energieverteilung Übergang von Kohle auf Gas erneuerbare Energiequellen Kraft- Wärmekoppelung
Transport	Effizientere Fahrzeuge Hybridautos Biotreibstoffe Übergang von Straßentransport auf Schiene und öffentliche Verkehrssysteme bessere Verkehrsplanung
Gebäude	Effiziente Beleuchtung und Tageslichtnutzung effizientere elektrische Geräte bessere Isolierung Solarenergienutzung für Heizung und Kühlung alternative Kühlflüssigkeiten
Industrie	Effizientere Stromnutzung Wärmerückgewinnung Materialrecycling und -wiederverwendung prozessspezifische Technologien
Landwirtschaft	Verbesserte Nutzung zur Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung verbesserter Reisanbau verbesserte Nutzung von Stickstoffdünger gesteigerte Energieeffizienz
Forstwirtschaft	Aufforstungen, weniger Abholzung Nutzung von Forstprodukten als Treibstoffersatz
Abfall	Methanrückgewinnung Abfallverbrennung zur Energienutzung Kompostierung organischer Abfälle Abfallminimierung

Die Maßnahmen, die nötig wären, um den Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre [...] zu begrenzen, würden im schlimmsten Fall das durchschnittliche weltweite jährliche Wirtschaftswachstum um 0,12 Prozent reduzieren (wobei die regionalen Auswirkungen größer sein können). Die Maßnahmen hätten aber weitere positive Auswirkungen, wie weniger Luftverschmutzung und verbesserte Energiesicherheit, die unabhängig vom

Klimaschutz ohnehin Investitionen erfordern würden. Ebenso haben Investitionen in Energie-Infrastruktur in Entwicklungsländern und die Erneuerung der Infrastruktur in den Industrieländern eine langfristige Auswirkung auf den Klimaschutz; oft ist eine Investition in bessere Energieeffizienz wirtschaftlicher als eine in neue Kraftwerke - und reduziert neben dem Klimawandel auch die Luftverschmutzung und schafft Arbeitsplätze. Der Ausbau der Atomenergie wird aufgrund von Sicherheitsbedenken, der Gefahr der Verbreitung von Atomwaffen und des ungelösten Abfallproblems beschränkt bleiben.

Langfristiger Klimaschutz

Um den Anstieg der Erdtemperatur auf 2 bis 2,4 °C zu begrenzen, dürfte die Konzentration an Treibhausgasen 445 bis 490 ppm nicht überschreiten: Die Wende bei der Emission von Treibhausgasen müsste spätestens bis zum Jahr 2015 eingeleitet werden. Bis zum Jahr 2050 müssten die Emissionen um 50 bis 80 Prozent zurückgehen. Alle anderen Szenarien führen zu einem höheren Temperaturanstieg. Das Ziel kann erreicht werden, wenn heute die bereits verfügbaren Technologien angewendet werden und in Zukunft dann diejenigen, deren Verfügbarkeit in den nächsten Jahrzehnten erwartet wird. Neben Energieeffizienz spielen bei der Begrenzung auf dem oben genannten niedrigen Niveau vor allem kohlenstofffreie Energiequellen eine entscheidende Rolle, in Zukunft auch die Abscheidung von Kohlendioxid aus den Abgasen von Kraftwerken. Damit kohlenstofffreie Energiequellen ihre angemessene Rolle auch wirklich spielen können, müssen Forschung und Entwicklung in diesem Bereich verstärkt werden. Die Kosten für die notwendigen Maßnahmen entsprechen auch langfristig beim anspruchsvollsten Szenario [...] einem um 0,12 Prozent reduziertem Wirtschaftswachstum. Diesen Kosten müssen die Risiken einer weltweiten Temperaturerhöhung gegenübergestellt werden (vgl. hierzu Teil 2 des Klimaberichtes).

Klimapolitik

Der Klimapolitik stehen zahlreiche Instrumente zur Verfügung, um die notwendigen Emissionsreduzierungen zu erreichen. Eines der wichtigsten: Der Ausstoß von Treibhausgasen muss Geld kosten. Ein Preis von 20 bis 50 US-\$ pro Tonne Kohlendioxid-Äquivalent würde viele Optionen wirtschaftlich lohnend machen; Subventionen von fossilen Brennstoffen schaden dagegen dem Klima. Daneben können Regierungen etwa mit Steuererleichterungen oder strengen Standards die Anwendung effizienter Techniken fördern und mittels Technologietransfer die Anwendung moderner Techniken auch in anderen Ländern fördern. Auch eine grundsätzliche Entscheidung für eine nachhaltige Entwicklung (von der der Klimaschutz ein Bestandteil ist) hätte positive Auswirkungen auf den Klimawandel, etwa der verbesserte Schutz von Wäldern; ebenso erleichtert der Klimaschutz die nachhaltige Entwicklung, etwa durch verringerte Emissionen und größere Energiesicherheit. In anderen Sektoren müssen die Alternativen sorgfältig geplant werden, sonst könnten z.B. Biotreibstoffe auf Kosten der Ernährungssicherheit gewonnen werden.

Quelle: <http://www.oekosystem-erde.de/html/ipcc-4-wg3.html>