



## Klimawandel: Warum 2°C?

Die Auswirkungen des Klimawandels sind bereits in allen Teilen der Welt spürbar und werden sich weiter verstärken. Diese Veränderungen bergen ernste Gefahren für unsere Gesellschaften. Der Menschheit bleibt nur ein kleines Zeitfenster, um der Herausforderung Klimawandel angemessen zu begegnen und Maßnahmen zu ergreifen, die den globalen Temperaturanstieg auf maximal 2°C begrenzen können.

### Das CO<sub>2</sub>-Globalbudget

Zur Begrenzung des global gemittelten Temperaturanstiegs auf 2°C ist eine radikale Senkung der Treibhausgasemissionen notwendig. Modellergebnisse zeigen, dass die 2°C-Leitplanke mit einer Wahrscheinlichkeit von zwei Dritteln eingehalten werden kann, wenn bis zum Jahr 2050 nicht mehr als 750 Mrd. t CO<sub>2</sub> aus fossilen Energieträgern emittiert werden. Der WBGU schlägt vor, eine solche Obergrenze für die bis 2050 insgesamt zu emittierende Menge an CO<sub>2</sub> aus fossilen Quellen international verbindlich zu vereinbaren. Ergänzend müssen die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Landnutzung, etwa aus der fortschreitenden Entwaldung, sowie die Emissionen anderer Treibhausgase gesenkt werden. Nach 2050 ist eine weitere Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis auf Null erforderlich.

### Die Botschaften des WBGU im Überblick

- Es ist wissenschaftlich gesichert, dass ein Anstieg von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre zu einer globalen Erwärmung führt.
- Zu den Folgen gehören der Anstieg des Meeresspiegels, die Zunahme von Wetterextremen, der beschleunigte Verlust von Arten und Ökosystemen sowie die Versauerung der Ozeane. Kippvorgänge im Klimasystem, etwa das abrupte Abreißen von Meeresströmungen, können zu irreversiblen ökologischen „Großunfällen“ führen.
- Der Klimawandel kann die Wasserversorgung und die Nahrungsmittelproduktion beeinträchtigen, er birgt Gesundheitsrisiken, kann Migration forcieren und zu Sicherheitsproblemen führen. Er hat damit das Potenzial, tiefe Gesellschafts- und Wirtschaftskrisen auszulösen.
- Eine Erderwärmung um mehr als 2°C würde unsere Zivilisation vor beispiellose Herausforderungen stellen, und bedeutet daher eine „gefährliche Störung des Klimasystems“. Um diese zu vermeiden, sollten die kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 auf 750 Mrd. t begrenzt werden.

### Wie stark beeinflusst der Mensch das Klima?

Aufgrund unserer bisher erfolgten Treibhausgasemissionen würde schon die heutige Zusammensetzung der Atmosphäre längerfristig zu einer Erwärmung von insgesamt 1,3°C führen. Davon sind wegen der Trägheit des Klimasystems bisher erst rund 0,8°C zu beobachten.

Es ist wissenschaftlich gesichert, dass ein Anstieg von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre zu einer globalen Erwärmung führt. Seit Ende der 1950er Jahre ist nachgewiesen, dass die CO<sub>2</sub>-Menge in der Luft durch vom Menschen verursachte, d.h. anthropogene Emissionen ansteigt. Sie hat sich seit der vorindustriellen Zeit von 280 ppm (280 Millionstel Volumenanteile an der Luft) auf 384 ppm erhöht. Das ist die bei weitem höchste Konzentration seit mindestens zwei Millionen Jahren.

Natürliche Ursachen können das Klima zusätzlich beeinflussen. So hat eine leichte Abnahme der Leuchtkraft der Sonne, die durch Satellitenmessungen belegt ist, in den vergangenen 25 Jahren eine kühlende Wirkung gehabt. Im Vergleich zur Wirkung der anthropogenen Treibhausgasemissionen spielen die natürlichen Ursachen in diesem Zeitraum aber nur eine sehr geringe Rolle. Rund 85% der Erwärmung seit 1900 und fast 100% der Erwärmung seit 1980 sind auf menschliche Ursachen zurückzuführen.

## Wie hängen Emissionen und Temperaturanstieg zusammen?

Vom Menschen verursachte Treibhausgasemissionen haben die Strahlungsbilanz unseres Planeten bereits deutlich verändert. Die erwärmende Wirkung der Treibhausgase wird gegenwärtig zum Teil noch durch die kühlende Wirkung regionaler Luftverschmutzung kompensiert.

Die bestimmende Größe für die globale Mitteltemperatur ist die Bilanz aus Sonneneinstrahlung und Abstrahlung der Erde, eine Bilanzänderung heißt Strahlungsantrieb. Dies ist analog zur Temperatur in einem Haus, die von der Leistung der Heizung und den Wärmeverlusten nach draußen bestimmt wird.

Menschliche Aktivitäten haben den Strahlungsantrieb der Erde bislang um 1,6 Watt pro m<sup>2</sup> erhöht. Dabei trägt der CO<sub>2</sub>-Anstieg +1,7 W pro m<sup>2</sup> bei, der Anstieg anderer Treibhausgase weitere +1,3 W pro m<sup>2</sup>. Luftverschmutzung mit Partikeln bewirkt dagegen mit -1,4 W pro m<sup>2</sup> einen abkühlenden Effekt. Zwar enthält die Atmosphäre neben abkühlenden Aerosolpartikeln wie Sulfaten auch erwärmende Rußpartikel, alle Partikel zusammen verursachen netto jedoch eine Abkühlung. Dieser Effekt kompensiert derzeit also fast die Hälfte der „programmierten“ globalen Erwärmung durch Treibhausgase.

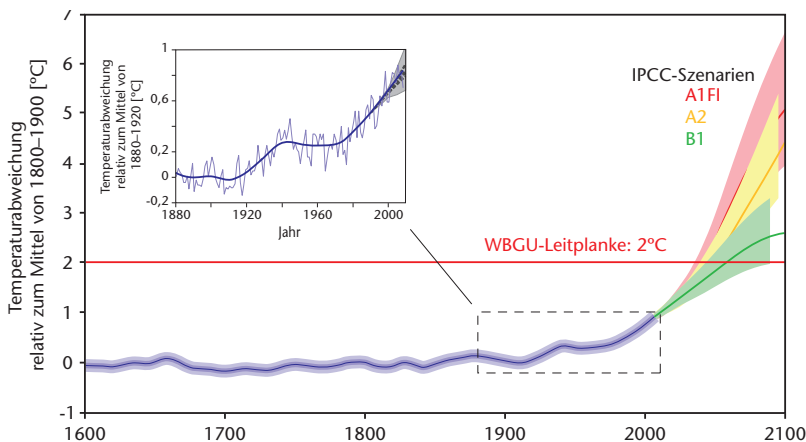
Während die Treibhausgase sehr langlebig sind, sind die kühlenden Stoffe relativ kurzlebig. Die wünschenswerte Reduktion der Luftverschmutzung würde daher das Problem der Erderwärmung schnell verstärken, so dass die Treibhausgasemissionen dann noch drastischer reduziert werden müssen.

Die Klimasensitivität bestimmt die Temperaturänderung, die sich aus dem Strahlungsantrieb ergibt. Die beste Abschätzung der Klimasensitivität beträgt 0,8°C pro W pro m<sup>2</sup>. Dies entspricht einer Erwärmung um 3°C bei einer Verdopplung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration.

Der derzeitige Strahlungsantrieb von 1,6 W pro m<sup>2</sup> führt demnach auf Dauer zu einer Erwärmung um 1,3°C. Bislang wird nur eine Erwärmung um 0,8°C beobachtet, da die thermische Trägheit der Ozeane eine Verzögerung um einige Jahrzehnte verursacht.

## Wie rasch werden die Temperaturen steigen?

Die weitere Erwärmung wird vor allem durch die künftigen anthropogenen Emissionen bestimmt. Diese hängen unter anderem von Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum ab, können aber durch Klimaschutzmaßnahmen gezielt verringert werden.



**Abbildung 1**

Gezeigt sind drei verschiedene Emissionsszenarien (B1, A2 und A1FI); die farbigen Bereiche sind die dazugehörigen klimatologischen Unsicherheitsspannen. Ohne erfolgreiche Klimaschutzmaßnahmen würde selbst beim optimistischsten Emissionsszenario (B1) die 2°C Leitplanke überschritten. Einsatzgrafik: Vergleich der beobachteten Temperaturen mit Projektionen von 2001.

Quelle: WBGU, modifiziert nach Rahmstorf et al., 2007

Auf der Grundlage plausibler Annahmen für künftige Emissionen können Klimaforscher die Bandbreite des globalen Temperaturanstiegs abschätzen. Dabei zeigt sich, dass bei hohen Treibhausgasemissionen die globale Mitteltemperatur bis 2100 um 3–7°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau steigen kann (Abb. 1). Szenarien, die von niedrigeren Emissionen ausgehen, führen immer noch zu einem Temperaturanstieg von 2–3°C. Nur mit einer ambitionierten und wirksamen Klimaschutzpolitik kann die Erwärmung noch auf unter 2°C begrenzt werden. Überdurchschnittlich stark fällt die Erwärmung über den Kontinenten und insbesondere in den Polarregionen aus.

Die menschliche Hochkultur hat sich in den letzten Jahrtausenden in einem relativ stabilen Weltklima entwickelt. In den vergangenen 2000 Jahren schwankte die globale Temperatur um deutlich weniger als 1°C. Unsere Infrastruktur ist auf eine rasche und starke Klimaveränderung nicht vorbereitet.

## Wie wirkt der Klimawandel auf die Natur?

Selbst bei der mäßigen, bisher gemessenen Erwärmung von 0,8°C sind die Auswirkungen des Klimawandels in allen Teilen der Welt spürbar. Ungebremster Klimawandel jenseits der 2°C-Leitplanke birgt hohe Risiken. Die negativen Folgen würden die Menschheit vor beispiellose Herausforderungen stellen.

Die Erderwärmung hat folgende konkrete Konsequenzen:

- Der **Meeresspiegel** steigt durch die Ausdehnung des Meerwassers und durch den Zufluss von Schmelzwasser in die Ozeane, und zwar immer schneller, je wärmer es wird. Seit 1880 ist er global um rund 20 cm gestiegen. Bis 2100 könnte er um 50–150 cm ansteigen, bis 2300 sogar um mehrere Meter. Das Destabilisieren der Eisschilde in Grönland und der Antarktis hätte unumkehrbar über viele Jahrhunderte steigende Meeresspiegel zur Folge.
- Eine **Zunahme von Wetterextremen** wie Hitzewellen, Dürren, Starkregen, Überflutungen und intensiveren Tropenstürmen wurde in vielen Regionen bereits beobachtet. Eine weitere Häufung dieser Wetterextreme ist zukünftig zu erwarten.
- Bei fortschreitender globaler Erwärmung über 2°C droht der beschleunigte **Verlust**

**von genetischer Vielfalt, Arten und Ökosystemen**, da in vielen Weltgegenden klimatische Bedingungen erreicht werden, die es seit mehreren Jahrmillionen nicht gegeben hat. Dies würde die Anpassungs- und Regenerationsfähigkeit der Natur überfordern.

- Die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen führen heute bereits zu einer messbaren **Versauerung der Ozeane**. Das Wachstum der wichtigen kalkbildenden Meeresorganismen (z.B. Korallen) wird dadurch behindert.
- Im Klimasystem gibt es eine Reihe sogenannter **Kippelemente**, deren Aktivierung zu ökologischen „Großunfällen“ führen kann. Zu den bedeutendsten Risiken gehören das abrupte Abreißen von Meeresströmungen, der Kollaps des Amazonasregenswaldes, Veränderungen im Monsunsystem oder eine Destabilisierung großer Eismassen.

## Wie wirkt der Klimawandel auf die Gesellschaften?

Der Klimawandel hat das Potenzial, Gesellschafts- und Wirtschaftskrisen auszulösen. Arme Bevölkerungen sind besonders gefährdet, aber auch reiche Staaten sind nicht immun. Dies gilt insbesondere bei einer Temperaturerhöhung von mehr als 2°C.

Mit folgenden Wirkungen muss bei ungebremstem Klimawandel gerechnet werden:

- Die **Wasserversorgung** wird vielerorts durch Wetterextreme, veränderte Niederschlagsmuster und den Rückgang der Gebirgsgletscher gefährdet.
- Die **Nahrungsmittelproduktion** wird bei einer Erwärmung um 2–4°C voraussichtlich weltweit sinken, nicht zuletzt durch die Zunahme von Dürren und Bodendegradation. Dies kann regionale Ernährungskrisen auslösen und die ökonomische Leistungsfähigkeit betroffener Staaten untergraben.
- Über 2°C steigt das Risiko, dass innerhalb der nächsten Jahrhunderte ein irreversibler Meeresspiegelanstieg von mehreren Metern ausgelöst wird. **Inseln, dicht besiedelte küstennahe Regionen und Megastädte** wie z.B. London, Mumbai oder New York wären mitsamt Infrastruktur und Kulturgütern unmittelbar gefährdet.
- Die Erwärmung verstärkt **Gesundheits-**

**risiken** durch die mögliche Ausbreitung von Infektionskrankheiten und Kreislauferkrankungen sowie Gefährdungen durch Extremwetterereignisse.

- Die **wirtschaftliche Leistungsfähigkeit** vieler Länder, besonders in der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft, ist vom Klimawandel direkt und indirekt negativ betroffen. Auch der beschleunigte Verlust biologischer Vielfalt und der damit verbundenen Ökosystemleistungen wird weltweit erhebliche Kosten verursachen.
- Der Klimawandel gefährdet also die Lebensgrundlagen vieler Menschen in nahezu allen Weltregionen. Diese Folgen eines ungebremsten Klimawandels würden die Anpassungsfähigkeit vieler Länder überfordern, zu politischer und wirtschaftlicher Destabilisierung beitragen und zusätzliche **Umweltmigration** auslösen. Somit wird der Klimawandel zunehmend auch zu einem **Sicherheitsrisiko**.

## Was ist zu tun?

Um den mittleren Temperaturanstieg mit einer Wahrscheinlichkeit von zwei Dritteln auf 2°C zu begrenzen, dürfen bis zur Jahrhundertmitte weltweit nur noch rund 750 Mrd. t CO<sub>2</sub> ausgestoßen werden. Beim derzeitigen Emissionsniveau wird dieses Globalbudget schon in etwa 25 Jahren ausgeschöpft sein – bei weiter steigenden Emissionen sogar noch schneller.

Das Zurückfahren der Emissionen muss so rasch wie möglich beginnen – jede Verzögerung führt zu später kaum noch zu bewältigenden Reduktionsanforderungen. Bei einer sofortigen Trendwende müssten die globalen Emissionen bis 2050 um 50–80% unter das Niveau von 1990 gesunken sein – mit weiteren Reduktionen bis hin zur Nullemission danach.

Schon eine leicht verzögerte Trendwende im Jahr 2015 würde jährliche globale Emissionsminderungen von bis zu 5% (bezogen auf 2008) erfordern (Abb. 2). Die Welt müsste dann pro Jahr Reduktionsleistungen in einer Größenordnung erbringen, für die im Kioto-Protokoll für die Industriestaaten über zwei Jahrzehnte vorgesehen sind. Eine Verzögerung der Trendumkehr bis 2020 könnte kaum mehr realisierbare globale Minderungsraten von bis zu 9% pro Jahr erfordern. Es ist daher notwendig, die beobachtete weltweite Steigerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen möglichst umgehend zu stoppen und zu global sinkenden Emissionen überzugehen. Jeder weitere Zeitverlust führt zu Kostensteigerungen des Klimaschutzes und zum Durchbrechen der 2°C-Leitplanke.

Bereits 2006 hat der Stern-Review gezeigt, dass heutige Investitionen in den Klimaschutz zu weit geringeren globalen volkswirtschaft-

lichen Kosten sowie Wohlstandseinbußen führen als eine Business-as-usual-Strategie mit ungebremstem Klimawandel. Demnach ist es volkswirtschaftlich deutlich günstiger, heute in Vermeidung zu investieren als morgen in Anpassung an einen gefährlichen Klimawandel.

Die Analyse verdeutlicht, welche Herausforderung die gegebene Konstellation – extremer Problemdruck bei sich rasch schließenden Handlungszeitfenstern – für die internationale Politik bedeutet, in der Entscheidungen in der Regel zeitaufwändig im Konsens getroffen werden. Sollte es der internationalen Staatengemeinschaft nicht gelingen, sich umgehend auf die erforderlichen kurz- und mittelfristigen Emissionsbegrenzungen zu einigen und diese umzusetzen, gäbe es später kaum noch klimapolitischen Handlungsspielraum.

Der WBGU hat in seinem Sondergutachten 2009 einen Vorschlag entwickelt, wie dieser Herausforderung global begegnet werden könnte: Der Budgetansatz definiert ein globales CO<sub>2</sub>-Emissionsbudget für den Zeitraum bis 2050, das in nationale Emissionsbudgets aufgeteilt wird. Außerdem werden zur Umsetzung zusätzliche Institutionen und Instrumente skizziert, so dass wirksamer Klimaschutz und nachhaltige Entwicklung vereinbar sind.

### Der WBGU

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) ist ein unabhängiges wissenschaftliches Beratungsgremium der Bundesregierung, das 1992 im Vorfeld des Erdgipfels von Rio de Janeiro eingerichtet wurde. Der interdisziplinäre WBGU erarbeitet auf der Grundlage wissenschaftlicher Analysen Handlungs- und Forschungsempfehlungen für die Politik.

Das Sondergutachten 2009 „Kassensturz für den Weltklimavertrag – Der Budgetansatz“ steht unter [www.wbgu.de](http://www.wbgu.de) zum Download bereit.

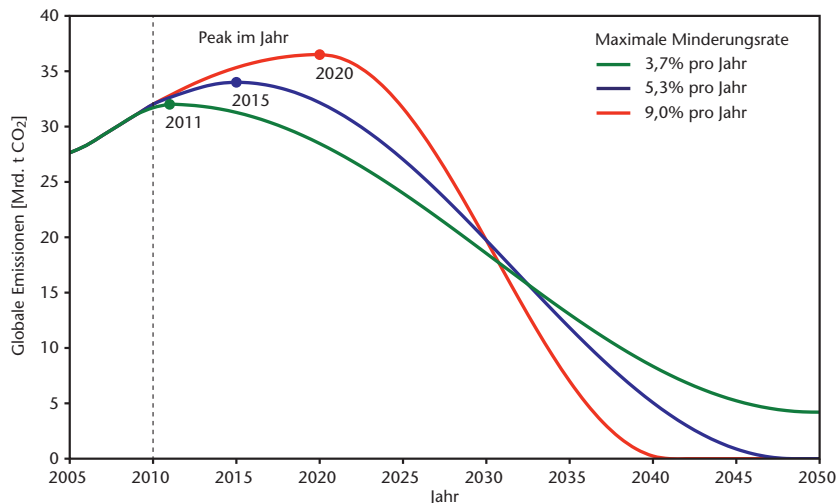
Geschäftsstelle WBGU  
Reichpietschufer 60–62  
10785 Berlin  
Tel: (030) 263948 30  
Fax: (030) 263948 50  
Email: [wbgu@wbgu.de](mailto:wbgu@wbgu.de)  
Internet: [www.wbgu.de](http://www.wbgu.de)

Abbildungen: WBGU

ISBN 3-936191-32-5

November 2009

Dieses Factsheet ist unter einer Creative Commons License veröffentlicht.



**Abbildung 2**

Beispiele für fiktive globale Emissionsverläufe im Zeitraum 2010–2050, bei denen global 750 Mrd. t CO<sub>2</sub> emittiert werden. Bei dieser Emissionsmenge kann die 2°C-Leitplanke mit einer Wahrscheinlichkeit von 67% eingehalten werden. Dargestellt sind verschiedene Varianten mit Maxima in den Jahren 2011 (grün), 2015 (blau) und 2020 (rot). Um diese Kurven einzuhalten, wären in den frühen 2030er Jahren jährliche Reduktionsraten von bis zu 3,7% (grün), 5,3% (blau) bzw. 9,0% (rot) notwendig (bezogen auf 2008).

Quelle: WBGU