

Die Klimaszenarien des Weltklimarates und der IEA

Nach Ansicht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (Weltklimarat, IPCC) ist die Erderwärmung eindeutig und ist vorwiegend auf den Ausstoss von Treibhausgasen (THG) der Menschheit zurückzuführen. Sie erfordert bis 2020–2030 einschneidende Massnahmen, um die Emissionen zu stabilisieren und anschliessend zu senken. Andernfalls drohe «die Anpassungsfähigkeit von natürlichen, bewirtschafteten und menschlichen Systemen» zu versagen. Die Internationale Energieagentur (IEA) hält die derzeitige Entwicklung ebenfalls für nicht nachhaltig und schlägt deshalb Szenarien zur Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration vor. Für die IEA ist es entscheidend, dass die Klimaverhandlungen zu sofortigen, entschlossenen und koordinierten Massnahmen gegen die globale Erwärmung führen.

1 Assessment Report AR4 des IPCC (Englisch): www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/RE4/syr/RE4_syr.pdf. Eine deutsche Fassung ist zu finden unter: www.bmbf.de/pub/IPCC2007.pdf.



Vincent Beuret
Ressort Energieversorgung, Bundesamt für Energie BFE, Bern



Die meisten Länder möchten den durchschnittlichen Anstieg der Erdoberflächentemperatur auf 2° C gegenüber dem Stand vor der Industrialisierung begrenzen. Allerdings erlauben nur die ehrgeizigsten Stabilisierungsszenarien des IPCC, dieses Ziel zu erreichen. Im Bild: Ein wegen Voranschreitens der Wüste aufgegebenen Landwirtschaftsbetrieb in Australien.

Bild: Keystone

Hintergrund

Vom 7. bis 18. Dezember 2009 kommen in Kopenhagen die Vertreter der 192 Unterzeichnerstaaten des Protokolls von Kyoto zur 15. Tagung der Vertragsstaatenkonferenz der UN-Klimarahmenkonvention zusammen. Das Kyoto-Protokoll läuft im Jahr 2012 aus, und es geht darum, neue Ziele für die Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2020 und 2050 festzulegen. Die meisten Länder möchten den durchschnittlichen Anstieg der Erdoberflächentemperatur auf 2° C gegenüber dem Stand vor der Industrialisierung begrenzen. Allerdings erlauben nur die ehrgeizigsten Stabilisierungsszenarien des IPCC, dieses Ziel zu erreichen. Die Szenarien erfordern sofortiges Handeln; denn je länger die Massnahmen zur Reduzierung des Treibhausgasausstosses aufgeschoben werden, umso teurer und technisch aufwendiger werden sie sein. In Kopenhagen wird es darum gehen, möglichst viele Länder zum Handeln zu bewegen – jedes nach seinen Möglichkeiten und unabhängig von seiner Grösse. Auf dem Spiel steht nicht nur der Klimaerhalt, sondern auch die drohende Erschöpfung der fossilen Brennstoffe sowie die Versorgungssicherheit der Energie importierenden Länder.

Ziele des Weltklimarates

Der 1988 unter dem Dach der UNO eingerichtete IPCC hat die Aufgabe, die vorhandenen wissenschaftlichen, technischen und sozioökonomischen Informationen über die anthropogenen Klimaänderungen zu begutachten, die dadurch entstehenden Risiken und Folgen abzuschätzen und die Möglichkeiten zu beurteilen, diese abzumildern oder entsprechende Anpassungen vorzunehmen. Jeder IPCC-Bericht fasst den zum Zeitpunkt seiner Veröffentlichung vorhandenen weltweiten Kenntnisstand der Wissenschaft über Klimafragen zusammen. Bisher hat das IPCC vier solche Sachstandsberichte veröffentlicht, den dritten im Jahr 2001 (Third Assessment Report, TAR) und den vierten 2007 (AR4¹). Jeder Bericht diente als Grundlage für die weiteren Verhandlungen im Rahmen der UN-Klimarahmenkonvention. Der nächste Bericht (AR5) ist für 2014 angekündigt.

IPCC-Referenz- bzw. Reduktions-/ Stabilisierungsszenarien

Die künftigen Treibhausgasemissionen hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab, die untereinander wiederum in hoch kom-

plexen Wechselwirkungen stehen. Fachleute entwickeln daher Szenarien, anhand deren sie verschiedene mögliche «Zukunftsbilder» beschreiben und analysieren, die Auswirkungen der einzelnen Faktoren auf die klimaschädlichen Emissionen bewerten und die Möglichkeiten der Emissionsminderung oder der Anpassung untersuchen können. 1992 entwarf das IPCC die ersten globalen Szenarien mit Emissionsprojektionen für alle THG (IS92). Eine weitere Szenarienreihe folgte 1996 (SRES²). Diese Szenarien enthalten weder Vorhersagen noch Hochrechnungen, sondern beschreiben so plausibel wie möglich, wie sich das Klima im 21. Jahrhundert unter genau definierten Annahmen (demografische Entwicklung, wirtschaftliche und gesellschaftliche Veränderungen, technologischer Fortschritt) entwickeln könnte. Dabei schliessen sie keine zusätzlichen klimapolitischen Massnahmen ein, die über die aktuellen hinausgehen – daher die Bezeichnung Emissions- bzw. Referenzszenarien.

Da bestimmte Folgen des Klimawandels als unabwendbar zu betrachten sind, schätzt das IPCC, dass «langfristig wahrscheinlich die Anpassungsfähigkeit von natürlichen, bewirtschafteten und menschlichen Systemen überfordert sein wird», wenn nichts unternommen wird, um die Erwärmung zu bremsen. Dies umso mehr, wenn von einer hohen Treibhausgassensitivität des Klimas ausgegangen wird (siehe *Kasten 1*). Auch im Falle einer Senkung der Treibhausgaskonzentration wird indes die Trägheit der klimatischen und sozioökonomischen Systeme dazu führen, dass die globale Erwärmung der Erdoberfläche und das Ansteigen der Meeresspiegel durch thermische Ausdehnung über Jahrzehnte oder sogar Jahrhunderte hinweg weitergehen würden.

Zur Bekämpfung der Erderwärmung erstellt das IPCC Minderungsszenarien für die Emissionen von THG. Die Rede ist auch von Stabilisierungs- oder Konzentrationsszenarien, da sie Emissionsziele festlegen. Diese werden für einen Zeithorizont (z.B. 2100) und bestimmte Konzentrationen an CO₂ oder THG in Parts per million (ppm) ausgedrückt. Anhand mathematischer Modelle wird für jedes Jahr bis zum Zieljahr die Emissionsmenge errechnet, die die Erreichung des Zieles erlaubt. Die Ergebnisse werden in Emissionskurven aufgezeichnet.

Zwischen dem dritten (TAR 2001) und dem vierten Sachstandsbericht (AR4 2007) wurden die Rechenmodelle für die Treibhausgasemissionen deutlich verfeinert, sodass es möglich wurde, das Minderungspotenzial nicht nur für die CO₂-Emissionen, sondern auch für den Ausstoss aller wichtigen THG genauer abzuschätzen. So lag im TAR der

niedrigste Zielwert für die CO₂-Konzentration am Ende des 21. Jahrhunderts noch bei 450 ppm, während der AR4 mit zwei neuen Szenariengruppen (I und II) aufwartet, die jeweils Stabilisierungsziele von 380 bzw. 420 ppm für CO₂, und 450 bzw. 500 ppm für alle THG ausweisen. Der zeitliche Emissionsverlauf für diese Szenariengruppen ist in *Grafik 1 (links)* dargestellt. Die Szenarien der Gruppe III entsprechen dem niedrigsten Ziel des TAR (Stabilisierung der CO₂-Konzentration bei 450 ppm und der gesamten THG bei 550 ppm CO₂-Äquivalent). Die *Grafik 1 (rechts)* zeigt, dass einzig die Stabilisierungsszenarien der Gruppe I eine Begrenzung des mittleren Temperaturanstiegs der Erdoberfläche um +2°C erlauben. Bei den Szenarien der Gruppen III bis VI würde die Erwärmung bei der wahrscheinlichsten Klimasensitivität zwischen rund +3 und +6°C betragen (dunkelblaue Linie). Um die CO₂-Konzentration im Jahr 2100 bei ca. 380 ppm und diejenige der gesamten THG bei 450 ppm zu stabilisieren (was den heutigen Werten entspräche), wie es die Szenarien der Gruppe I vorsehen, müsste der weltweite CO₂-Ausstoss spätestens 2015 seinen Höhepunkt erreichen, um dann bis 2050 um 50% bis 80% gegenüber 2000 zurückzugehen.

Skeptische Stimmen

Zwar stellt sich die grosse Mehrheit der Wissenschaftler hinter die Thesen des Weltklimarates. Doch sind auch skeptische Stimmen zu hören, namentlich aus dem Nongovernmental International Panel on Climate Change und vom Oregon Institute of Science and Medicine. Diese widersprechen den Positionen des IPCC und zweifeln auch an der Dringlichkeit von Gegenmassnahmen. Andere Kritiker stellen nicht die Erderwärmung und deren anthropogene Ursache in Frage, sondern das Kosten-Nutzen-Verhältnis der vom IPCC vorgeschlagenen Mittel zu ihrer Eindämmung. So schlägt der Kopenhagener Konsens vor, die Folgen der Klimaerwärmung mit Mitteln der Geotechnik zu bekämpfen (siehe *Kasten 2*), eine Option, die im Falle eines Scheiterns der Verhandlungen in Kopenhagen eine Alternative bieten könnte. Allerdings ist sie mit massiven Ungewissheiten und Risiken belastet, wie die Royal Society in einer Anfang September in London vorgestellten Studie betont. Bisher hatten die internationalen Klimaabkommen (Rio 1992 und Kyoto 1997) kaum Auswirkungen auf den Ausstoss von THG, vielmehr hat dieser seit der Jahrtausendwende stark zugenommen. Einige Experten sind deshalb der Meinung, internationale Übereinkommen zur Finanzierung von Forschung und

Kasten 1

Klimasensitivität

Die Klimaentwicklung ist das Ergebnis der Schwankungen der einzelnen Faktoren, die die globale mittlere Erdoberflächentemperatur beeinflussen. Bei einer Verdoppelung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre (und nachfolgender Stabilisierung) steigt die mittlere Erdoberflächentemperatur an und pendelt sich einige Grade über dem vorherigen Wert ein. Das IPCC definiert diese Erwärmung als *Gleichgewichtsklimasensitivität*. Diese liegt zwischen 2°C und 4,5°C (siehe *Grafik 1, rechts*), unter Berücksichtigung der Rückkopplungsmechanismen zwischen den Klimafaktoren. Als wahrscheinlichster Wert gilt 3°C. Für sehr unwahrscheinlich hält das IPCC eine Klimasensitivität von weniger als 1,5°C (immer bei einer Verdoppelung der CO₂-Konzentration).

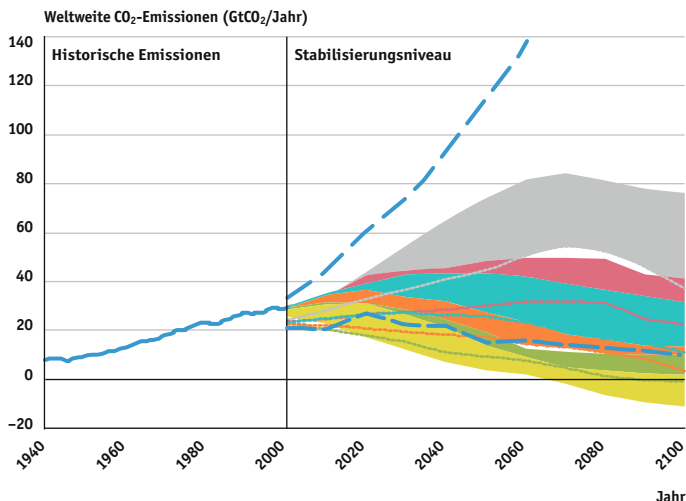
2 IPCC-Sonderbericht über die Emissionsszenarien (Englisch): www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf.
3 World Energy Outlook 2008: www.worldenergyoutlook.org/2008.asp.

Grafik 1

CO₂-Emissionen und Gleichgewichtstemperaturanstiege für eine Bandbreite an Stabilisierungsszenarien

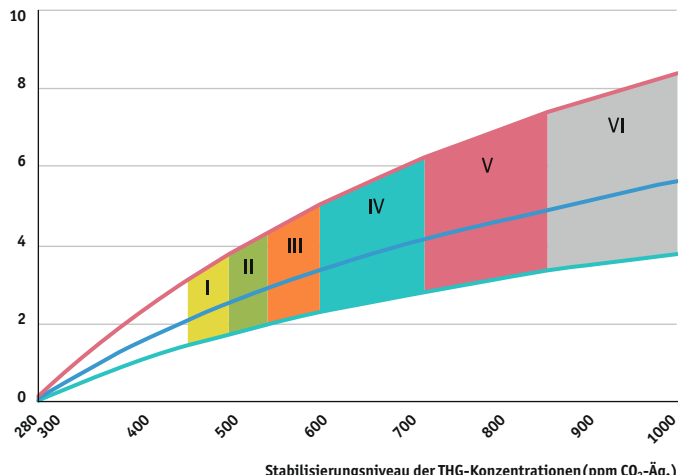
- I : 445–490 ppm CO₂-Äq.
- II : 490–535 ppm CO₂-Äq.
- III : 535–590 ppm CO₂-Äq.
- IV : 590–710 ppm CO₂-Äq.
- V : 710–855 ppm CO₂-Äq.
- VI : 855–1130 ppm CO₂-Äq.
- Post-SRES-Bandbreite

CO₂-Emissionsbandbreiten gemäss den 6 Stabilisierungsszenarien des AR4



Stabilisierungsniveau der THG-Konzentration und erwartete Erwärmung gemäss den erwähnten Szenarien

Anstieg der globalen mittleren Temperatur über den vorindustriellen Wert (°C) bis zum Erreichen des neuen Klimagleichgewichts



Quelle: World Energy Outlook 2009; Beuret / Die Volkswirtschaft

Entwicklung im Bereich der fossilen Energien würden bessere Ergebnisse erzielen.

Die Klimaszenarien der IEA

Wie das IPCC sieht auch die Internationale Energieagentur in der Klimaerwärmung eine ernsthafte Gefahr für die Menschheit. Gemäss IEA sind die derzeitigen Trends bei Energieangebot und -nachfrage nicht nachhaltig und deshalb dringende und global abgestimmte Massnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen, die zu 64% vom Energiesektor verursacht werden (CO₂ 61%; Methan 3%) notwendig. In ihrem World Energy Outlook 2008³ entwirft die IEA zwei Klimaszenarien für die Zeit nach 2012, mit einem Stabilisierungsziel für die Treibhausgaskonzentration von jeweils 450 bzw. 550 ppm CO₂-Äquivalent. Diese Szenarien sind mit denjenigen der Gruppen I und III des vierten IPCC-Sachstandsberichts kompatibel.

In einem Referenzszenario stellt die IEA zunächst fest, dass ohne zusätzliche klimapolitische Massnahmen der weltweite Energiebedarf bis 2030 um 45% steigt, wobei 81% dieses Anstiegs auf fossile Energieträger entfallen – eine Vorstellung, die von einigen Kritikern aufgrund der Begrenztheit der fossilen Vorräte als unrealistisch beurteilt wird. Global würden die energiebedingten CO₂-Emissionen ebenfalls um 45% anwachsen.

Im 550-ppm-Szenario wird die Zunahme des weltweiten Energieverbrauchs bis 2030 auf +32% begrenzt (d.h. 9% weniger als im

Referenzszenario), im 450-ppm-Szenario auf +22% (16% weniger). Während im ersten Szenario der Verbrauch fossiler Energien immer noch um 23% zunimmt, wird er im zweiten stabilisiert. Trotzdem decken im 450-ppm-Szenario die fossilen Energieträger im Jahr 2030 immer noch 67% des Weltenergieverbrauchs ab (gegenüber derzeit 80%).

Notwendige Voraussetzungen

Beide Szenarien setzen für die kommenden Jahrzehnte eine weltweite energietechnologische Revolution voraus, welche die gesamte Energiekette von der Produktion bis zum Endverbrauch erfasst: weltweiter Ausbau der erneuerbaren Energien, Ausbau der Kernkraft, beschleunigte Umsetzung der CO₂-Abtrennung und -Speicherung und Energieeffizienz. Letztere ist mit einem Anteil von ca. 55% an der Minderung des CO₂-Ausstosses gegenüber dem Referenzszenario viel bedeutender als die neuen erneuerbaren Energien und Biokraftstoffe mit 23%.

Diese Szenarien setzen ein Mitmachen der Länder ausserhalb der OECD voraus. Wenn die OECD-Länder die Stabilisierungsziele alleine zu erreichen hätten, müssten sie ihre energiebedingten CO₂-Emissionen bis 2020 um 27% gegenüber dem Referenzszenario senken. Im 550-ppm-Szenario müsste diese Minderung bis 2030 58% erreichen; im strengerer 450-ppm-Szenario wäre das Ziel auch mit einer Reduzierung des Ausstosses auf Null nicht erreichbar. Umso wichtiger sind die Beschleunigung des Technologie-

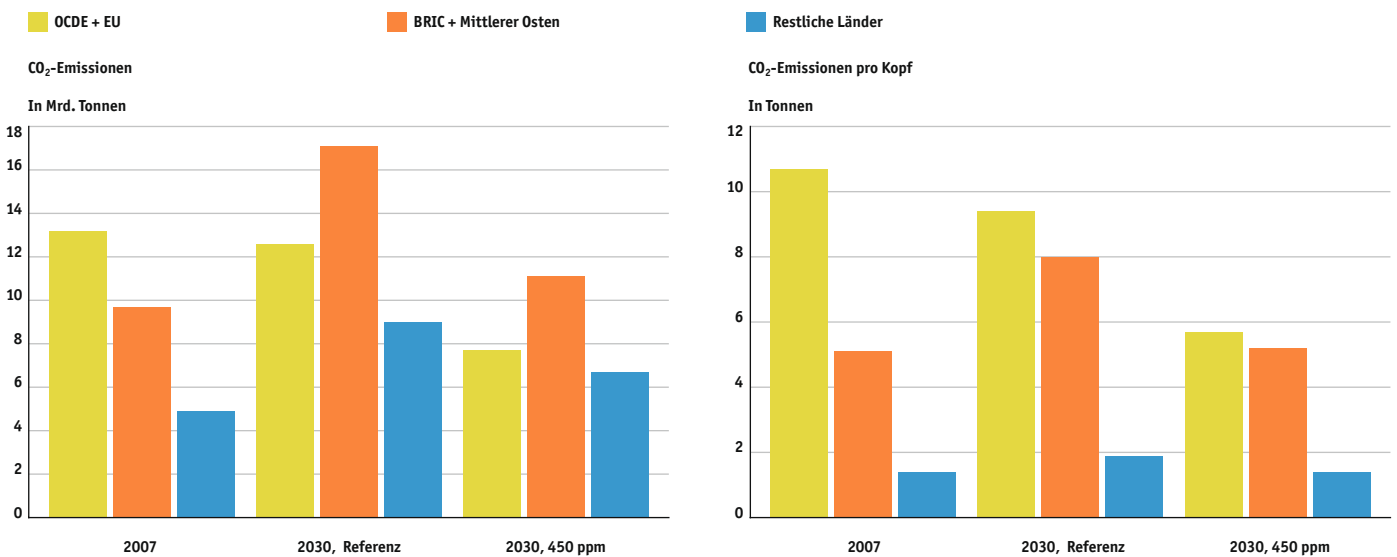
Kasten 2

Geo-Engineering gegen Klimaerwärmung

Die meisten Techniken des Geo-Engineering stecken noch in den Kinderschuhen. Während manche durchaus schon als wirtschaftlich gelten, sind doch alle mit Ungeheimnissen und erheblichen Gefahren behaftet. Als die zwei wichtigsten Techniken gelten die Entfernung von Kohlendioxid aus der Atmosphäre (Carbon Dioxide Removal, CDR) und die Beeinflussung der Sonneneinstrahlung durch Solar Radiation Management (SRM). CDR ist weniger risikobehaftet; doch die Techniken zur CO₂-Abtrennung befinden sich im Frühstadium und sind teuer; die langfristige Lagerung der THG ist umstritten. Eine SRM-Technik sieht die massive Versprühung von Schwefelpartikeln in die Stratosphäre vor, um den gleichen Effekt wie bei einem grossen Vulkanausbruch, ähnlich demjenigen des Pinatubo 1991, zu erzielen. Dieser führte damals allerdings nicht nur zu einer allgemeinen Abkühlung von ca. 0,6° C über 2 bis 3 Jahre, sondern auch zu einer bedenklichen Zerstörung der Ozonschicht und zur Entstehung von saurem Regen.

Grafik 2

CO₂-Emissionen nach Weltregionen: Total (links) und pro Kopf (rechts)



Quelle: Beuret / Die Volkswirtschaft

transfers und substanzieller Finanzhilfen, um die Länder ausserhalb der OECD dazu zu bewegen, sich ebenfalls zu einer Reduzierung der Emissionen zu verpflichten. Hier liegt denn auch die grösste Hürde, die es bei den Klimaverhandlungen zu nehmen gilt. Wie werden die künftigen Emissionsrechte möglichst gerecht und unter Berücksichtigung des industriellen Nachholbedarfs der Entwicklungsländer auf die einzelnen Staaten verteilt? Wie sind die Emissionen der Vergangenheit einzuberechnen (historische Verantwortung)? Soll die Finanzierung vorrangig von den Verantwortlichen (Verursacherprinzip) oder von den Zahlungskräftigsten getragen werden? Mit Sicherheit sind es die Industrieländer, die die tiefgreifendsten Massnahmen ergreifen müssen. Sie haben die Mittel dazu und sind weitgehend verantwortlich für die heutige Erderwärmung. Vor allem aber wird ihr Pro-Kopf-Ausstoss noch viele Jahre über demjenigen der Entwicklungs- und Schwellenländer liegen (siehe Grafik 2).

sparungen auf der Gesamtenergierechnung noch weiter. Beide Szenarien erhöhen ausserdem die Versorgungssicherheit der Verbraucherländer, vermindern die Anfälligkeit ihrer Volkswirtschaften für Preisschwankungen und reduzieren die Umweltverschmutzung.

Abschätzung der Umsetzungsmöglichkeiten

Eine massive Reduktion der globalen Treibhausgasemissionen ist für die IEA nur auf der Grundlage einer strukturierten Vereinbarung denkbar, die die Annahme und Umsetzung wirksamer Mechanismen und Massnahmen international regelt. Beide Szenarien (Stabilisierung bei 450 bzw. 550 ppm) verlangen sowohl nationale energiepolitische Massnahmen (Gebäude etc.) und internationale sektorielle Vereinbarungen (Verkehr, Industrie, Stromerzeugung) als auch eine Globalisierung des Emissionshandels. Das 450-ppm-Szenario würde darüber hinaus in allen Ländern ein extrem dezidiertes Vorgehen der öffentlichen Hand, revolutionäre Durchbrüche in der Technologie und eine konsequente Abtrennung und Speicherung des CO₂ erfordern. Seine Realisierbarkeit ist angesichts der notwendigen Anstrengungen deshalb ungewiss. Im AR4 kommt das IPCC zum Schluss, dass «die Bandbreite der bewerteten Stabilisierungsniveaus [...] durch die Anwendung eines Portfolios an heute verfügbaren Technologien und solchen, die wahrscheinlich in den nächsten Jahrzehnten auf den Markt kommen, erreicht werden» kann. Eine Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration bei 450 ppm setzt allerdings voraus, dass der Klimaschutz zur globalen Priorität erhoben wird.

Kasten 3

World Energy Outlook 2009

Am 10. November veröffentlichte die IEA ihren neuen World Energy Outlook.^a Darin wurde das Referenzszenario um die Auswirkungen der Wirtschaftskrise aktualisiert. Diese führt dazu, dass die zur Erreichung der Ziele des 450-ppm-Szenarios notwendigen Anstrengungen im Hinblick auf den Verbrauch fossiler Energien und auf die CO₂-Emissionen rund 5% tiefer liegen als 2008 prognostiziert. Auch die Nettokosten dürften niedriger ausfallen.

a World Energy Outlook 2009: www.worldenergyoutlook.org/2009.asp.

Kosten-Nutzen-Analyse

Das 550-ppm-Szenario erfordert Zusatzinvestitionen in einer Grössenordnung von 4100 Mrd. US-Dollar über den Zeitraum 2010 bis 2030. Das entspricht 0,25% des globalen Bruttosozialprodukts (BSP) oder 17 US-Dollar pro Welteinwohner pro Jahr. Im Gegenzug würden Energiesparmassnahmen und sinkende Preise für fossile Energien die Kosten weltweit bis 2030 um mehr als 7000 Mrd. US-Dollar senken. Das 450-ppm-Szenario geht mit 9300 Mrd. US-Dollar Zusatzinvestitionen (0,55% des BSP oder fast 40 US-Dollar pro Einwohner) und 5800 Mrd. US-Dollar Ein-