Ferdinand-Porsche-Gymnasium
Zuffenhausen

Verein für Schule und Umwelt am FPGZ

Klimawandel zum Anfassen



Ausstellung
10. bis 15. März 2008
Rathaus Stuttgart

Herzlich Willkommen!

Wir laden Sie ein, sich über den Klimawandel und über Klimaschutz zu informieren!

Wir, Schüler und Lehrer aus dem Ferdinand-Porsche-Gymnasium Zuffenhausen, haben fächer- und klassenübergreifend das Thema bearbeitet, gründlich recherchiert und diese Ausstellung gestaltet. Unterstützt werden wir vom Verein „Schule und Umwelt am Ferdinand-Porsche-Gymnasium Zuffenhausen e.V.“

Unser besonderes Anliegen ist, das Thema erlebbar zu machen. Hierzu haben wir **40 Stationen mit einfachen Experimenten und Anschauungsobjekten** aufgebaut, an denen Sie selbst Aspekte des Klimawandels und Klimaschutzes erfahren können. Tafeln klären über Hintergründe und Zusammenhänge auf. Der eilige Besucher findet das Wichtigste unter der Überschrift „Fazit“.

Die Ausstellung unterteilt sich in drei Bereiche:

I „Wir heizen das globale Treibhaus auf“
Ursachen und Szenarien der Erderwärmung

II Die Welt von morgen?
Auswirkungen des Klimawandels

III „Zeit, dass was passiert!“
Maßnahmen zur Begrenzung des Klimawandels

Folgen Sie einfach den nummerierten Stationen!

Wir empfehlen Ihnen unseren **Ausstellungsführer**, der das hier Ausgestellte vertieft, und den wir Ihnen gerne gegen eine Spende abgeben.

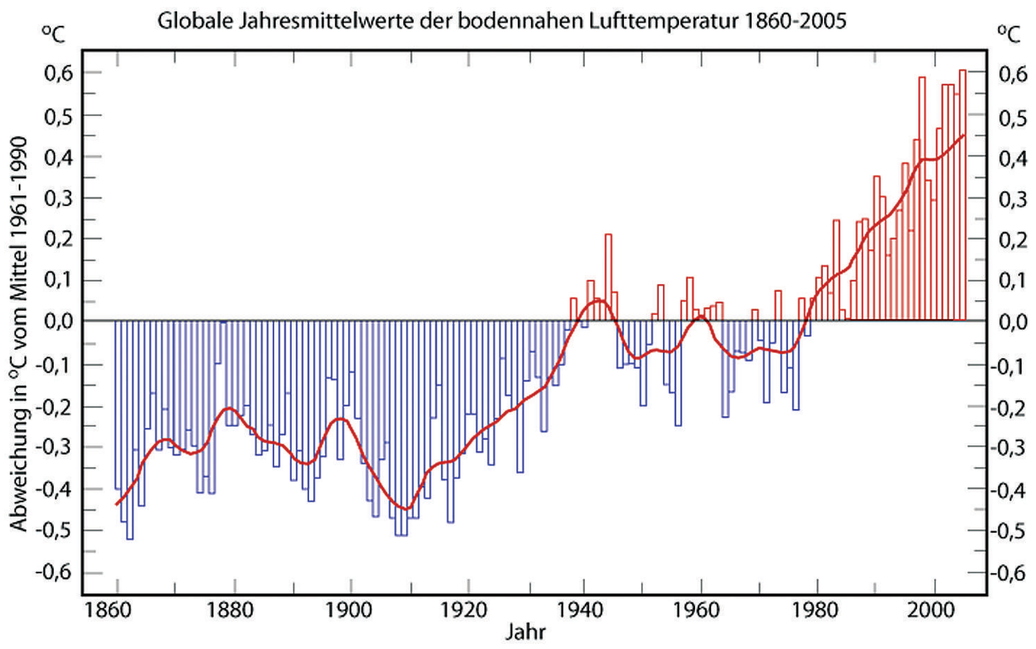
Das Kleingedruckte:
Unsere Ausstellung stützt sich auf Veröffentlichungen namhafter Klimaforscher und Autoren, etwa Rahmstorf, Schellnhuber, Grassl, Latif, Wicke, Alt und Flannery, ergänzt durch Recherchen u. a. in Zeitungen und Zeitschriften sowie im Internet. Häufig genutzt wurden selbstverständlich die Veröffentlichungen des Intergovernental Panel on Climate Change (IPCC). Diese auch Weltklimarat genannte Institution wurde 1988 von der Welt-Meteorologie-Organisation WMO und dem UN-Umweltprogramm UNEP eingesetzt. Alle fünf bis sechs Jahre, zuletzt 2007, verständigen sich viele hundert wissenschaftliche Autoren aus fast allen Staaten der Erde auf einen gemeinsamen Sachstandsbericht. Dieser wird von 15 leitenden Autoren auf der Basis aktueller wissenschaftlicher Veröffentlichungen zum Klimasystem und auf der Basis von Modellergebnissen zusammengestellt und gilt in Fachkreisen als fundiertester und zuverlässigster Überblick über den Kenntnisstand zur Klimaentwicklung. An den „Zusammenfassungen für Politiker“ sind zusätzlich auch Vertreter von Regierungen beteiligt, mit Saudi-Arabien, den USA und China sitzen auch der jeweils größte Erdölexporteur, Erdöl- und Kohleverbraucher mit am Tisch. Da die Verabschiedung dieser Zusammenfassungen Einstimmigkeit verlangt, halten manche Kritiker diese für weichgespült.
Gedankt sei der Schulleitung und allen Kolleginnen und Kollegen, ohne deren wertvolle Unterstützung Ausstellung und Ausstellungsführer nicht realisierbar gewesen wären, insbesondere Frau Häußler.
Ein herzliches Dankeschön allen beteiligten Schülern, Eltern und den Aktiven des Vereins „Schule und Umwelt am FPGZ e.V.“ und der Stadtbücherei Zuffenhausen.
Vielen Dank dem Rathaus Stuttgart für die gute Zusammenarbeit und dem Bezirksbeirat Zuffenhausen für die freundliche Unterstützung. Ebenso ein herzlicher Dank allen Spendern und den Sponsoren:

GühringSolar · Schöner baden besser heizen! HESSEL Sanitär Heizung · Solar Kundendienst · medialink GMBH Medien & Produktion Stuttgart · FORMAT DruckGmbH · solar fabrik · versiko Nachhaltige Vermögensberatung

1 Es wird wärmer!

Unser Klima ändert sich

Extreme Wetterereignisse wie Hitzewellen, Dürren und heftige Niederschläge sind häufiger, tropische Stürme intensiver geworden. **In den letzten hundert Jahren hat sich die Erdoberfläche im Mittel um 0,74 Grad** [um 0,56-0,92°C] **erwärmt** (vgl. Abb.).



Die Hockeyschlägerkurve



Das Klima der letzten Tausend Jahre hat der Klimawissenschaftler Mann für die Nordhalbkugel in einem Diagramm dargestellt, das in seinem Verlauf einem **Hockeyschläger** ähnelt. Für die jüngere Vergangenheit stand ihm hierzu ein Netz an Wetterstationen zur Verfügung, für die Zeit davor nutzte er u. a. Eisbohrkerne aus Grönland und der Antarktis, die Rückschlüsse auf das Klima erlauben. Der 2007 erschienene IPCC-Weltklimabericht bestätigt Mann: „Die mittleren **Temperaturen in der Nordhemisphäre waren in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wahrscheinlich die höchsten in zumindest den letzten 1300 Jahren.“**

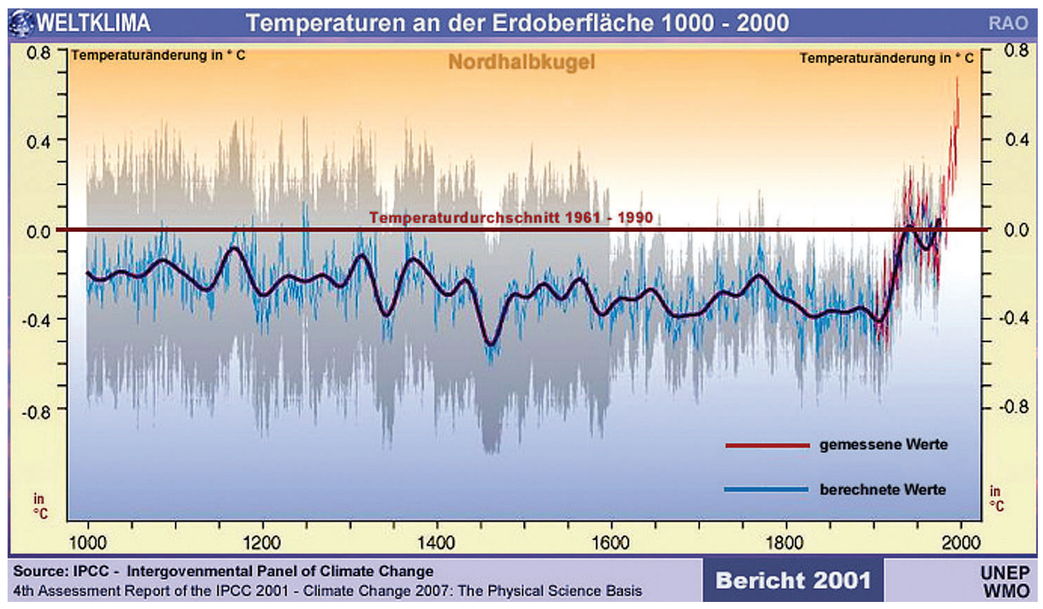


Abb.: Die Hockeyschläger-Kurve für die Temperaturen auf der Nordhalbkugel nach Mann. Die grauen Flächen markieren Unsicherheitsbereiche.

Der fundamentale Unterschied zwischen Wetter und Klima

Unter **Wetter** versteht man den **momentanen Zustand der Atmosphäre an** einem bestimmten Ort der Erdoberfläche. Dieser tritt u. a. als Sonnenschein, Bewölkung, Regen, Wind, Hitze, Kälte und Luftdruck in Erscheinung.

Das **Klima** beschreibt die Statistik des Wetters über eine längere Zeit von z. B. 30 Jahren, ausgedrückt in **Durchschnittswerten**, etwa der Temperatur oder des Niederschlags.

Das Wetter ist von chaotischen Prozessen abhängig und daher bestenfalls einige Tage im Voraus vorhersagbar. **Klimaprognosen** sind langfristig möglich: Der Sommer wird bei uns auch in fünfzig Jahren wärmer als der Winter sein, aufgrund des vorhersagbaren Sonnenstands. Auch die Wirkung von Treibhausgasen ist erforschbar und ermöglicht in gewissen Rahmen Klimaprognosen, wenn man die zukünftige Entwicklung der Treibhausgaskonzentrationen abschätzt (Station 8).

Fazit:

Die globale Mitteltemperatur hat sich **in den letzten hundert Jahren** etwa **um ein dreiviertel Grad** erhöht. **Die letzten fünfzig Jahre** waren auf der Nordhalbkugel wahrscheinlich der **wärmste Fünfzigjahreszeitraum der letzten 1300 Jahre.**
Klima als Statistik des Wetters ist **mit Einschränkungen langfristig vorhersagbar.**

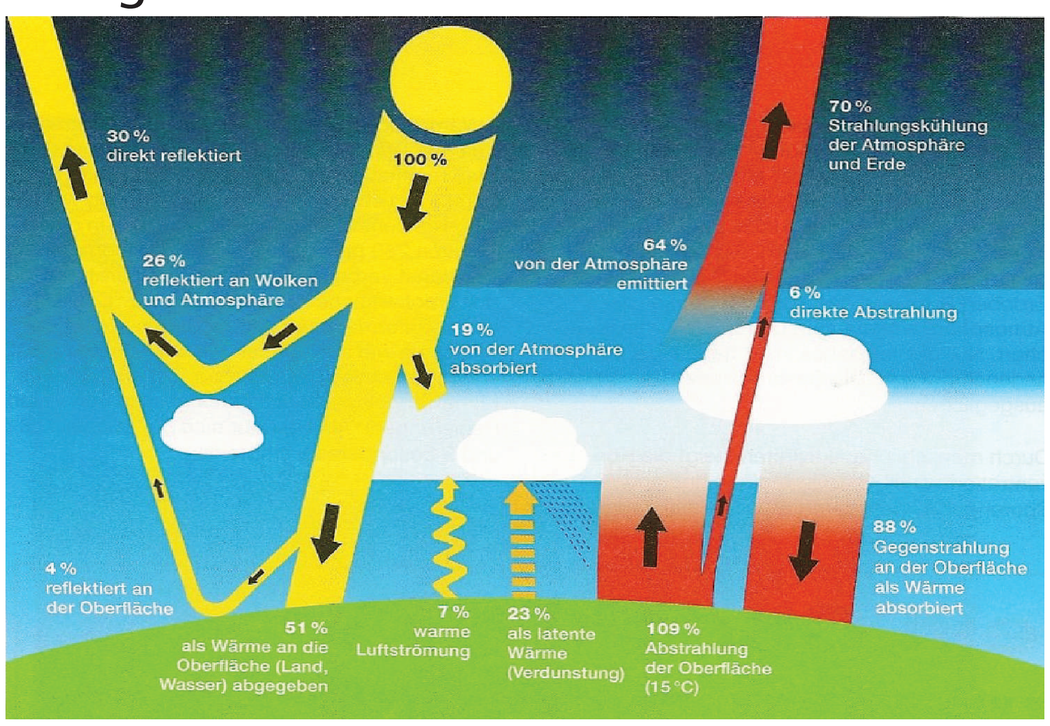
2 Gas, nicht Glas:

Das globale Treibhaus

Versuch

Sie sehen zwei Glasbehälter, die von einer Lichtquelle angestrahlt werden. Der eine Glasbehälter enthält Luft, der andere das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO_2). Vergleichen Sie die Temperatur in den beiden Behältern!

Energiebilanz der Erde im Weltall



Das Sonnenspektrum enthält viele Wellenlängen

Wärmestrahlung

Abb.: Energiebilanz der Erde.
Die dargestellten Energieströme sind mittlere gegenwärtige Werte auf die mittlere Einstrahlung S_0 bezogen. S_0 = 342 W/m² = 100%

Der natürliche Treibhauseffekt

Was Sie hier im Kleinen sehen, funktioniert auch im Großen: Die Spurengase Wasserdampf, CO_2 und Ozon in der Erdatmosphäre wirken in gewisser Weise wie ein **Treibhaus** und machen unsere Erde überhaupt erst zu einem wohnlichen Planeten (vgl. Abb.): **Treibhausgase** nehmen von der Erde ausgestrahlte Wärmestrahlung (letztlich Sonnenenergie) auf und strahlen einen Teil davon zurück zur Erde. Dank dieses **natürlichen Treibhauseffekts** ist es auf der Erde durchschnittlich statt -18°C etwa +14°C warm.

Menschen verstärken den Treibhauseffekt

In den letzten 150 Jahren ist es auf der Erde um etwa **0,76°C wärmer** geworden. **Klimamodelle, die nur natürliche Einflüsse**, etwa Veränderungen in der Sonnenstrahlung und Vulkanausbrüche, **beinhalten, können den Temperaturanstieg seit etwa 1970 nicht erklären.** Dagegen erklären Klimamodelle, die natürliche und menschliche Einflüsse berücksichtigen, den Temperaturanstieg sehr gut. (Vgl. Abb.)

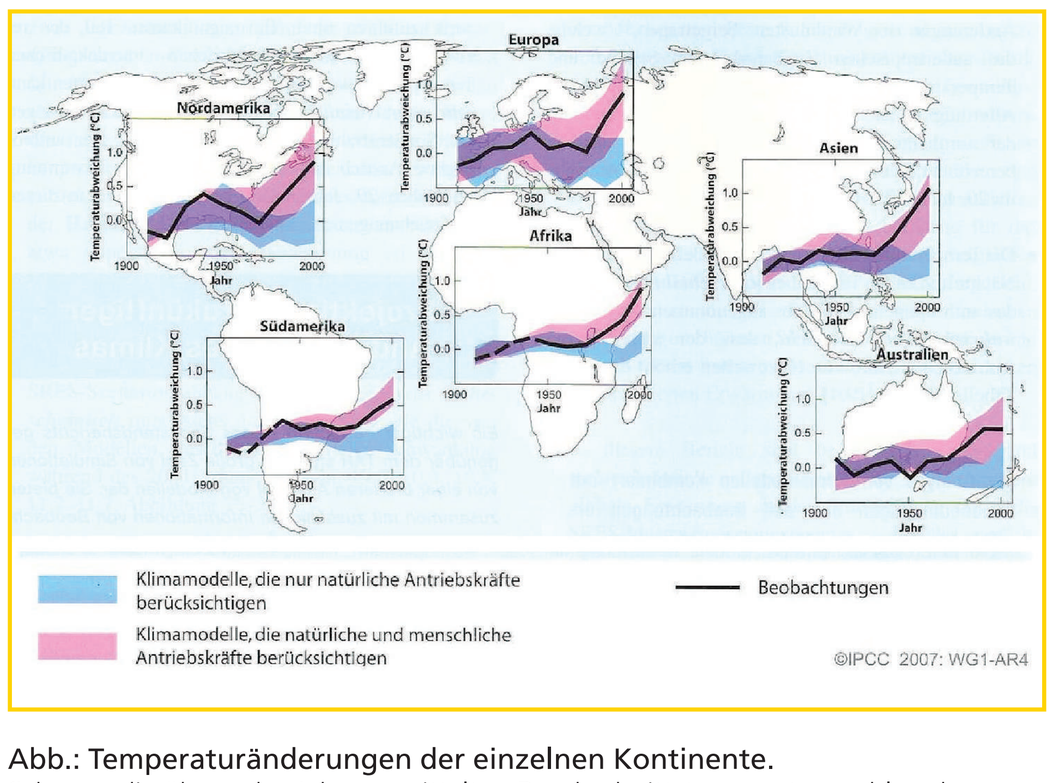


Abb.: Temperaturänderungen der einzelnen Kontinente.
Schwarz die über zehn Jahre gemittelten Durchschnittstemperaturen, blau der Temperaturbereich von Klimamodellen ohne anthropogenen Treibhauseffekt, rot der Temperaturbereich von Klimamodellen, die den Einfluss des Menschen berücksichtigen.

Fazit:

Die Klimawissenschaftler des Weltklimarats IPCC stellen in ihrem vierten Sachstandsbericht 2007 klar: **„Der größte Teil des beobachteten Anstiegs der globalen Temperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist sehr wahrscheinlich durch den beobachteten Anstieg der globalen Treibhausgaskonzentrationen verursacht."**



3 Die Kurve geht nach oben

Wir treiben die Kurve in die Höhe...

Kohlendioxid entsteht beim Verbrennen

Wann immer wir mit Kohle, Erdöl oder Erdgas heizen, mit Diesel, Benzin oder Super Auto fahren, eine Flugreise unternehmen oder aus fossilen Brennstoffen gewonnenen Strom nutzen, entsteht dabei jedes Mal das unsichtbare **Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO_2)**, dessen Gehalt in der Atmosphäre dadurch zunimmt.

Schätzen Sie!

Wie viel Kohlendioxid entsteht, wenn man die 80 ml Benzin im ausgestellten Gefäß verbrennt? Betrachten Sie für die Antwort den ausgestellten Karton.

Immer mehr Treibhausgas

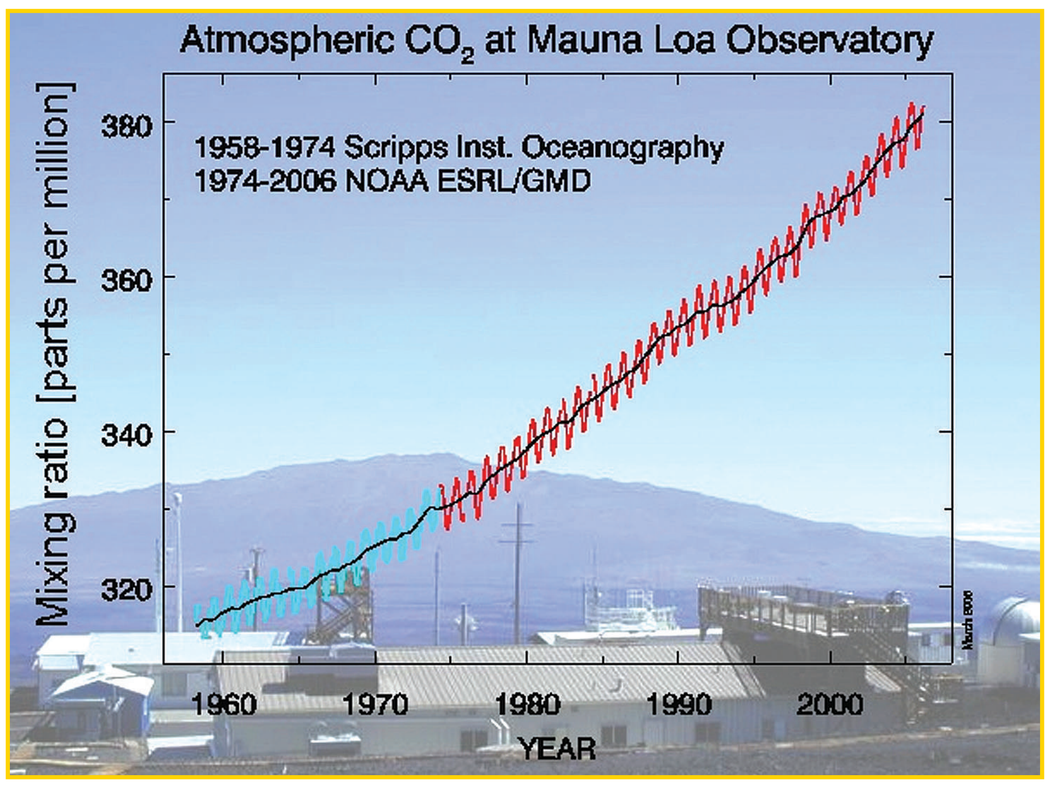


Abb.: Der Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre in den Jahren 1958 bis 2006. Am Mauna Loa Observatorium auf Hawaii wird seit vielen Jahrzehnten der Kohlendioxidgehalt der Luft gemessen. Der Kohlendioxidgehalt nimmt im Jahresmittel kontinuierlich zu, schwankt jedoch mit der Jahreszeit, weil während des Sommers auf der Nordhalbkugel Pflanzen viel CO_2 aufnehmen.

Kohlendioxid ist das wichtigste vom Menschen verursachte Treibhausgas. Seine Konzentration in der Atmosphäre wird in **ppm** (parts per million) gemessen und gibt an, wie viele CO_2-Moleküle sich unter einer Million Luftmoleküle befinden.

- Die Kohlendioxidkonzentration ist von einem **vorindustriellen Wert** von etwa **280 ppm** auf rund **380 ppm im Jahr 2005 angestiegen.**
- Sie nimmt derzeit um zwei ppm pro Jahr zu.
- Sie **übertrifft die aus Eisbohrkernen bestimmte natürliche Bandbreite der letzten 650.000 Jahre (190 bis 300 ppm) bei Weitem.**
- Der Ausstoß an Kohlendioxid kletterte von **2000 bis 2004** mit jährlich plus drei Prozent **dreimal so schnell wie in den 1990er Jahren**.
- In jedem Kubikmeter Luft befinden sich inzwischen knapp zwei Trinkgläser reines Kohlendioxid.

Nur etwa die Hälfte des durch den Menschen emittierten Kohlendioxids verbleibt in der Atmosphäre, den Rest nehmen Ozeane und die Vegetation auf.
Die Atmosphäre ist viel kleiner als wir glauben mögen: Der weitaus größte Teil aller Luftteilchen befindet sich in den untersten zehn Kilometern, der Troposphäre, in der unser Wetter abläuft. **Pro Mensch** steht aber **kaum ein Kubikkilometer Troposphärenluft** zur Verfügung, weniger als ein gedachter Würfel, der 1km lang, breit und hoch ist.

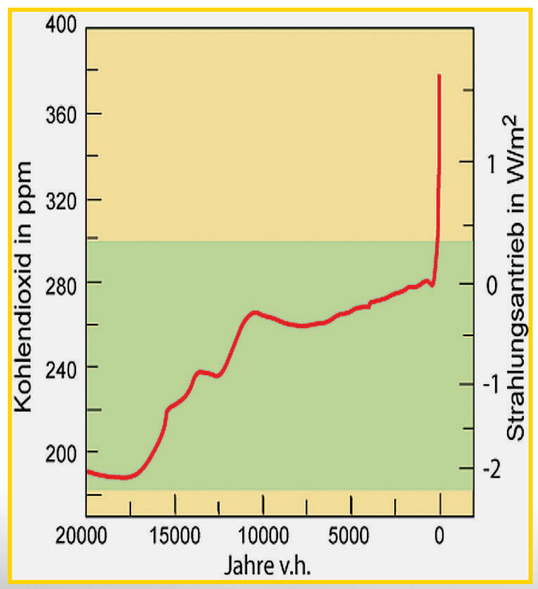


Abb.: Die Kohlendioxidkonzentration der letzten 20 000 Jahre. Die Abbildung zeigt die atmosphärische Kohlendioxidkonzentration seit dem Höhepunkt der letzten Kaltzeit. Der grün hinterlegte Bereich markiert die natürliche Schwankungsbreite der letzten 650.000 Jahre. Mit Beginn der Industrialisierung stieg sie rasant auf aktuell 380 ppm an, ein Wert, der wahrscheinlich in den letzten 20 Millionen Jahren nicht übertroffen wurde. Quelle: Abb. verändert nach IPCC (2007)

Fazit:

Das Treibhausgas **Kohlendioxid** entsteht beim Verbrennen fossiler Brennstoffe. Seine Konzentration in der Atmosphäre ist von einem **vorindustriellen Wert** von etwa **280 ppm** auf rund **380 ppm im Jahr 2005 angestiegen**, den wahrscheinlich höchsten Wert seit mindestens 20 Millionen Jahren.

4 Die Treibhausgase...

holen sich Verstärkung

Versuch:
Hauchen Sie den Spiegel an! Was beobachten Sie?

Der Spiegel beschlägt, weil die warme, feuchte Atemluft abkühlt. Kalte Luft kann nicht so viel Wasserdampf halten wie warme. Deshalb kondensiert ein Teil des unsichtbaren Wasserdampfs zu feinen Wassertröpfchen. Umgekehrt kann warme Luft mehr Wasserdampf als kalte aufnehmen. Diesen Effekt nutzen wir beim Föhnen.

Das Treibhausgas Wasserdampf verstärkt den Treibhauseffekt

Ein Mehr an Kohlendioxid in der Atmosphäre heizt die Luft auf. Die erwärmte Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen: Um **zehn Grad erwärmte Luft** kann **doppelt so viel Wasserdampf** enthalten. Das Problem dabei: Auch **Wasserdampf** wirkt als **Treibhausgas: Das Mehr an Wasserdampf heizt die Erde weiter auf.**
Man spricht von einer verstärkenden oder **positiven Rückkopplung** im Klimasystem.

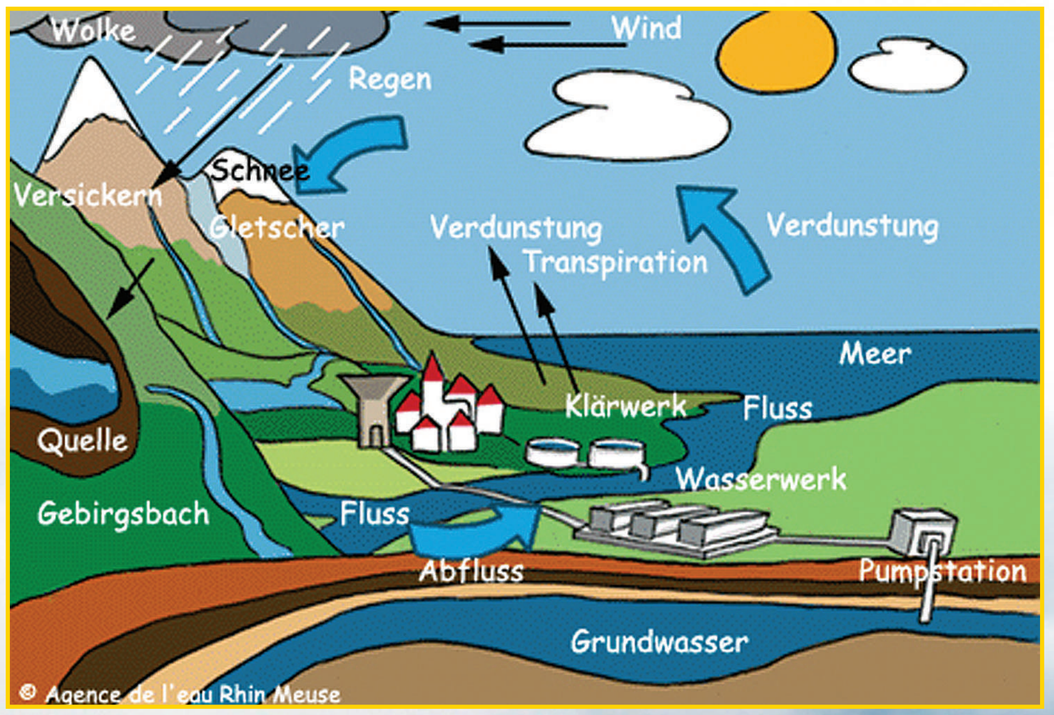


Abb.: Der Wasserkreislauf

Die Rolle der Wolken bei der Erderwärmung

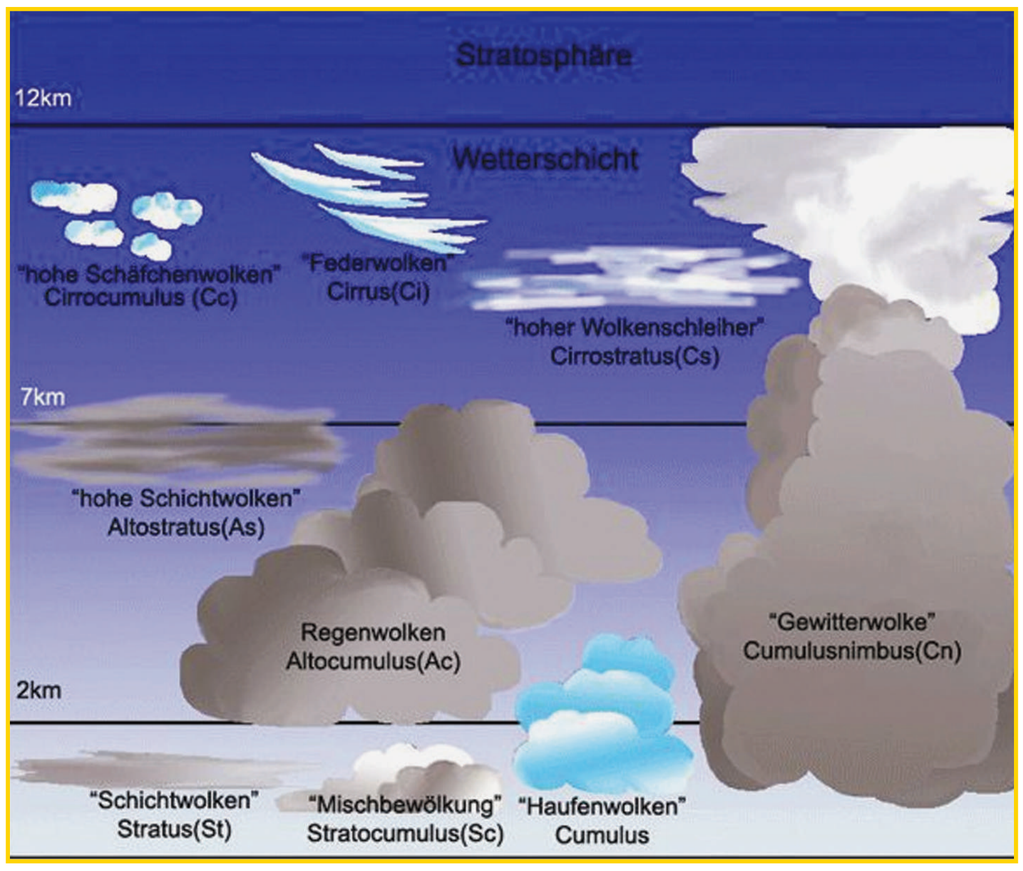


Abb.: Wolkenarten

Mehr Wasserdampf in der Luft ermöglicht auch ein **Mehr an Bewölkung.** Dies führt zu **zwei entgegengesetzten Wirkungen:**

- Die Wassertröpfchen und Eiskristalle der Wolken wirken wie Treibhausgase, dadurch wird es wärmer.
- Aber sie dämpfen die Erderwärmung auch, indem sie einen Teil des Sonnenlichts zurück ins Weltall reflektieren. Dadurch erreicht weniger Sonnenlicht die Erdoberfläche und diese heizt sich weniger stark auf. Dies ist eine hemmende, **negative Rückkopplung.**

Je nachdem, welcher Effekt vorherrscht, verstärken oder dämpfen Wolken den Treibhauseffekt:

- **Hohe Wolken** lassen Sonnenlicht gut durch, absorbieren aber Wärmestrahlung, sie **verstärken tendenziell den Treibhauseffekt.** Dies gilt auch für die **Kondensstreifen** von Flugzeugen (Station 32).
- **Tiefe, meist dunkle Wolken dämpfen eher den Treibhauseffekt.**

Kein einzelner anderer Faktor birgt jedoch mehr Unsicherheiten bei der Vorhersage des zukünftigen Klimawandels als der Einfluss von Wolken.

Fazit:

Wird es wärmer, kann die Luft **mehr Wasserdampf** enthalten, der seinerseits **als Treibhausgas die Erwärmung verstärkt (Selbstverstärkungseffekt).** Hohe Wolken verstärken ebenfalls den Treibhauseffekt, tiefe dämpfen ihn.

5 Weil es wärmer wird...

wird es wärmer

Versuch

Sie sehen ein angestrahltes **Geländemodell** mit einer teilweise vergletscherten Landschaft. Messen Sie die Temperatur über dem hellen Gletscher und über den dunklen Flächen! Thermometer erhalten Sie bei der Aufsicht.



Helle Gletscher und dunkle Felsen nahe dem Ortler. Foto: Bareis

Unterschiedlich starke Reflektion und ihre Folgen

Helle Flächen wie Schnee und Eis haben ein hohes **Rückstrahlvermögen (Albedo, vgl. Tab.):** Sie reflektieren einen großen Teil des einfallenden Sonnenlichts zurück ins Weltall und absorbieren entsprechend wenig, so dass es weniger warm wird. Deshalb streichen die Menschen im Mittelmeerraum auch oft ihre Häuser weiß.

Art der Erdoberfläche	Typische Albedo
Neuschnee	0,80 – 0,95
dichte Wolkendecke	0,50 – 0,80
Altschnee	0,45 – 0,80
Erde samt Atmosphäre (gemittelt)	0,30
grünes Grasland	0,15 – 0,20
Waldgebiete	0,05 – 0,15
Dunkler Ackerboden	0,05 – 0,10
Wasserflächen	0,03 – 0,10

Tab.: Durchschnittliche Albedo bei nicht allzu tief stehender Sonne.
Die Albedo ist ein Maß für das Vermögen, Licht durch Streuung oder Reflektion zurückzustrahlen, ausgedrückt in Prozent. Eine (nur theoretisch mögliche) Albedo von 1 entspricht einer Rückstrahlung von 100%, eine Albedo von 0 bedeutet die vollständige Absorption von Strahlung. Je dunkler eine Fläche, desto kleiner ihr Albedo.

Ein Selbstverstärkungseffekt

Schmelzen infolge der Erderwärmung in den Polgebieten und Hochgebirgen Schnee und Eis, treten vom Weltall aus **dunkel erscheinendes Meerwasser** oder **Gestein** zutage. Beide **streuen weniger Sonnenlicht zurück**. Dadurch wird es **noch wärmer.** In der Tat sind die durchschnittlichen Temperaturen in der Arktis und in den Alpen in den letzten 100 Jahren fast doppelt so schnell gestiegen wie im globalen Mittel. (Stationen 12 und 13) Wäre die Erde vollständig vom Meer bedeckt, hätte sie eine mittlere Temperatur von 32^0 C (statt 14^0 C). Würde man sie komplett in weißes Papier wickeln, ergäbe sich eine Temperatur von ca. – 63^0 C.

Wie stark wirkt Kohlendioxid als Treibhausgas?

Doppelt so viel Kohlendioxid in der Atmosphäre würde bei sonst unveränderten Bedingungen die Erdoberfläche im Mittel um ca. 1,2°C erwärmen.
Berücksichtigt man jedoch die Rückkopplungen im Klimasystem, insbesondere die Wasserdampf-, und die Wolkenrückkopplung sowie die veränderte Albedo, gelangt man zu einer **mittleren globalen Erwärmung,** die wahrscheinlich in der Bandbreite von 2 bis 4,5°C liegt, mit einem besten Schätzwert **von etwa 3°C (Klimasensitivität des Kohlendioxids).**
Würden wir den CO_2-Gehalt der Atmosphäre auf 560 ppm erhöhen, müssten wir also damit rechnen, dass es langfristig im globalen Mittel ca. 3°C wärmer werden würde als vor Beginn der Industrialisierung. Da die Menschen jedoch auch für ein Mehr an Methan und anderen Treibhausgasen gesorgt haben, wird es bereits bei einer **CO_2-Konzentration von ca. 450 ppm um drei Grad wärmer** werden.
Wir sind bei etwas über 380 ppm angelangt, und pro Jahr kommen derzeit 2 ppm dazu.

Fazit:

Schmelzen Schnee und Eis, treten vom Weltall aus **dunkel erscheinendes Meerwasser** oder **Gestein** zutage. Beide streuen weniger Sonnenlicht zurück **und es wird noch wärmer** (ein weiterer **Selbstverstärkungseffekt**). Bei einer **Verdoppelung des CO_2-Gehalts** der Atmosphäre wird es langfristig im globalen Mittel um **ca. drei Grad wärmer.**



6 Geringe Konzentration

große Wirkung

Schauen Sie durch den seitlichen Schlitz in den Karton

Durch ihn sehen Sie die 1 m² große Kartoninnenfläche, die von einer Drei-Watt-Glühbirne bestrahlt wird. Die Glühbirne gibt so viel Energie ab wie der durch den Menschen verursachte Treibhauseffekt im Mittel Tag und Nacht zusätzlich auf jeden Quadratmeter der Erdoberfläche gelangen lässt.

Klimafaktor Mensch

Der gegenwärtige und prinzipiell jeder Klimawandel ist **Folge von Änderungen der Energiebilanz des Klimasystems**. Die Änderung der Energiebilanz wird in Form des **Strahlungsantriebs in Watt** pro m² ausgedrückt. **Die untenstehende Abbildung** zeigt die Abschätzung der Strahlungsantriebe einzelner Klimafaktoren durch den Weltklimarat IPCC für das Jahr 2005, bezogen auf vorindustrielle Werte von 1750. Der **Strahlungsantrieb aufgrund der erhöhten Konzentration der langlebigen Treibhausgase Kohlendioxid, Methan, Lachgas und Halogenkohlenwasserstoffe** beträgt etwa **+2,7 W pro m²**. Der Anteil des CO_2 beträgt 60%. Hinzu kommt noch das mit 0,35 W/m² wirkende, kurzlebige bodennahe **Ozon**, dessen Konzentration jedoch räumlich und zeitlich stark variiert. Es entsteht insbesondere als **Sommersmog** an heißen Tagen aus den Abgasen u. a. von Kraftwerken und Autos. **Vernachlässigbar** ist die **Abwärme**, die aus Millionen heißer Motoren, Ölbrennern, Hochöfen und Kraftwerken entweicht, ihr Beitrag liegt bei 0,03 W/m².

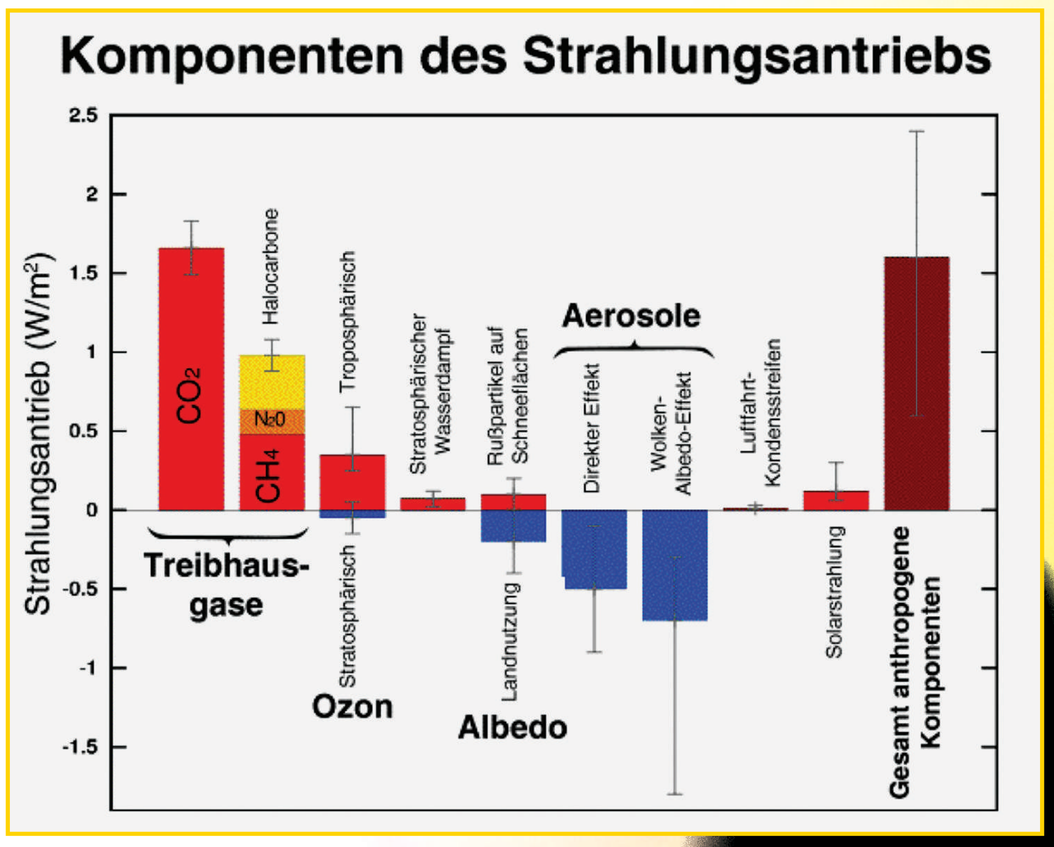


Abb.: Komponenten des Strahlungsantriebs.
Die grauen Linien an den Balken geben die Unsicherheitsbereiche an. Nach IPCC 2007

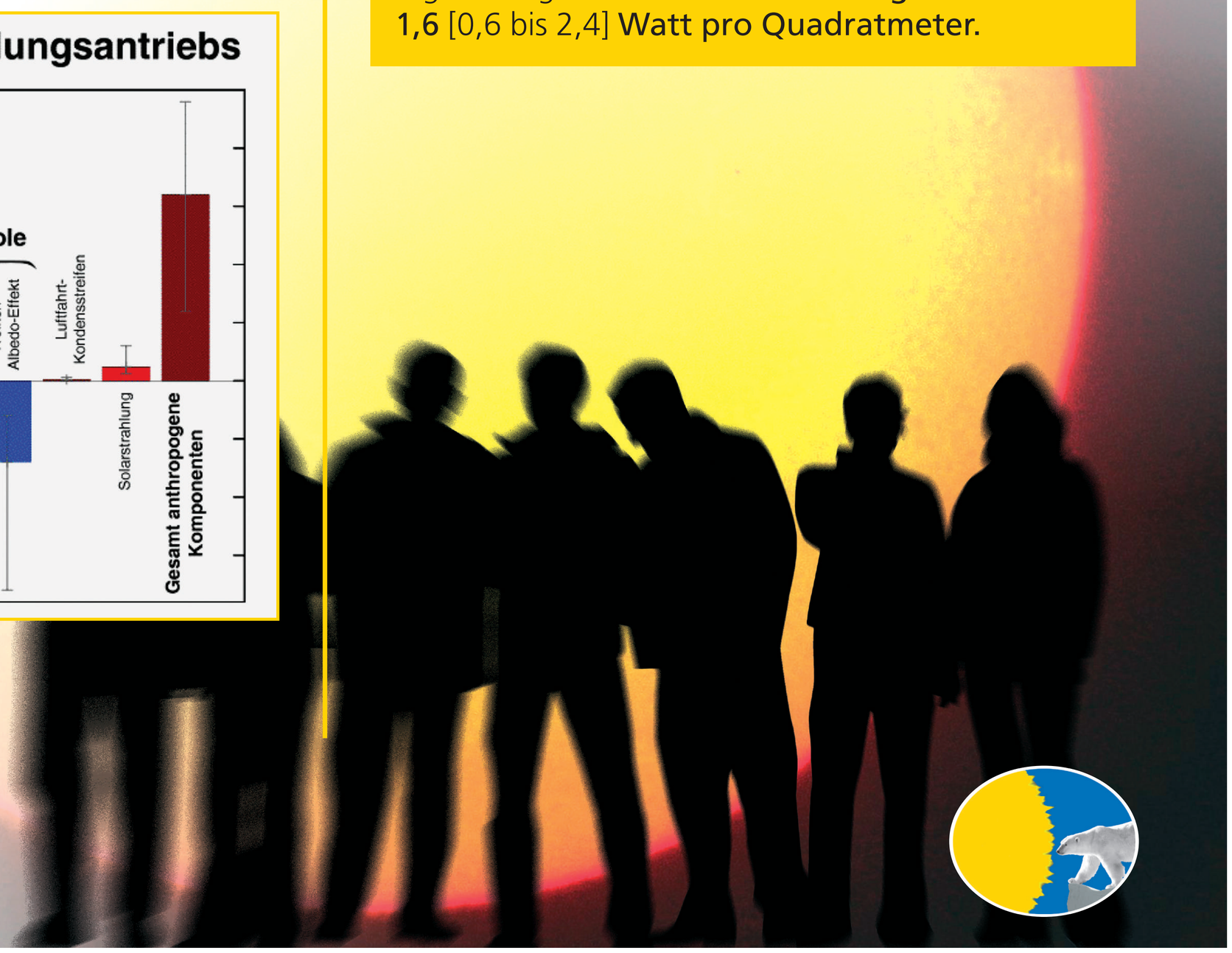
Menschen sorgen auch für Emissionen von Asche, Ruß, Staub und Sulfat, so genannten **Aerosolen**. Diese stellen die **dominierende Unsicherheit im Strahlungsantrieb** dar. Unumstritten ist ihr **kühlender Effekt**. Von oben betrachtet erhöhen Aerosole die Helligkeit der Erde, mehr Sonnenlicht wird in den Weltraum zurückgestreut, die Erdoberfläche kühlt ab. Zusätzlich führen Aerosole als Kondensationskeime zu mehr Bewölkung, die ebenfalls Sonnenstrahlen ins Weltall reflektiert. Lufttrübung und Wolkenbildung durch Aerosole maskieren also einen Teil der globalen Erwärmung.

Ist es der Mensch oder doch die Sonne?

Aus den Daten des Weltklimarats IPCC ergibt sich: **Der vom Menschen verursachte Beitrag zur Erderwärmung** ist mit sehr hohem Vertrauen **zwei bis 40 Mal (wahrscheinlichster Wert: 13 Mal) so groß wie der Beitrag der Sonne.**
In den letzten 25 Jahren, der Zeit der stärksten Erwärmung, hat die Sonne **nichts** zur Erwärmung beigetragen.

Fazit:

Mit dem Ausstoß der **Treibhausgase Kohlendioxid, Methan, Lachgas und Halogenkohlenwasserstoffe** verursacht der Mensch den weit überwiegenden Teil der Erderwärmung. Der **Ausstoß von Asche-, Ruß- und Schwefelteilchen maskiert einen Teil der Erderwärmung.** Der Einfluss des Menschen ergibt insgesamt einen **Strahlungsantrieb von 1,6** [0,6 bis 2,4] **Watt pro Quadratmeter.**



7 Gezinkter Wetterwürfel?

Machen Sie den Würfeltest!

Ist der vorliegende Würfel regulär oder wurde er gezinkt, manipuliert, so dass er mehr Sechsen liefert? Finden Sie es heraus! Falls Sie hier keinen Würfel vorfinden, erhalten Sie ihn bei der Aufsicht.

Was hat der Klimawandel mit einem gezinkten Würfel zu tun?

Der Klimatologe Mojib Latif vergleicht den Einfluss des Menschen auf das Klima mit dem Zinken eines Würfels, der dadurch mehr „Sechsen“ hervorbringt: Beim normalen Würfel ist die Wahrscheinlichkeit, eine Sechs zu würfeln, ein Sechstel. **Der nicht gezinkte Würfel entspricht dem vom Menschen unbeeinflussten Klima**. Dieses sorgte auch in der vorindustriellen Zeit für Wetterextreme, z. B. Hitzesommer, milde Winter, Dürren, Überschwemmungen oder Stürme. So wie man auch mit einem ungezinkten Würfel immer mal wieder eine „Sechs“ würfelt.

Das Zinken des Würfels erhöht die Wahrscheinlichkeit für eine Sechs. Ähnlich **nimmt durch die immer höheren Konzentrationen der Treibhausgase in unserer Atmosphäre die Wahrscheinlichkeit für Wetterextreme zu** (Stationen 10 und 11).



Es ist jedoch prinzipiell nicht möglich, einzelne Wetterextreme wie die Elbeflut des Jahres 2002, den Rekordsommer 2003 oder den Hurrikan Katrina im Jahr 2005 **dem menschengemachten Treibhauseffekt zuzuschreiben**, genau so wenig wie man eine bestimmte Sechs dem Zinken des Würfels zuordnen kann. Denn auch ein normaler Würfel liefert gelegentlich eine Sechs.

Fazit:

Ähnlich wie durch das Zinken die Wahrscheinlichkeit für eine Sechs beim Würfeln zunimmt, steigt durch das **Mehr an Treibhausgasen** in unserer Atmosphäre **die Wahrscheinlichkeit für Wetterextreme**.



8 Das Klima der Zukunft

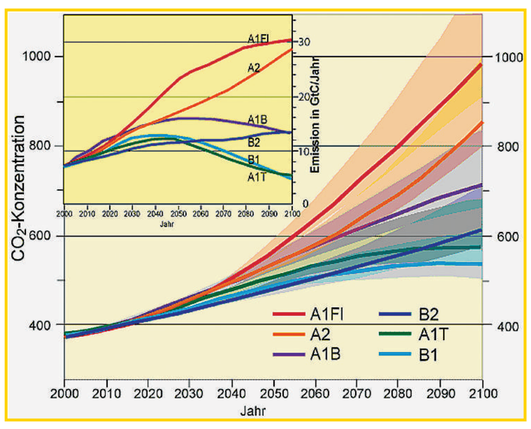
Denken Sie nach!

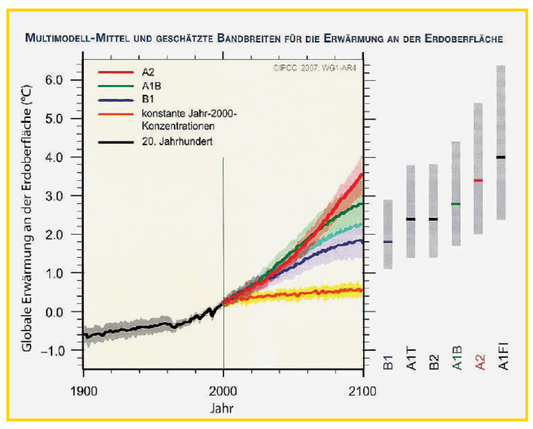
Vor Ihnen stehen **zwei Sanduhren.** In welcher könnte eine Ameise am Gefäßboden das Herunterströmen von Sand vom oberen Behälter überleben?

Vom Emissions- zum Klimaszenario

Da niemand weiß, wie viel an Treibhausgasen die Menschheit in Zukunft ausstoßen wird, stellen Klimawissenschaftler **Emissionsszenarien mit unterschiedlichen Annahmen über die Entwicklung der Menschheit** auf, z. B. über die Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung. **Keines dieser Szenarien berücksichtigt spezielle Klimaschutzanstrengungen.** Mit den Szenarien werden verschiedene **Klimamodelle** angetrieben und die Entwicklung des Klimas bis 2100 untersucht.

Die Prognosen





Die beiden **Diagramme** zeigen **szenarioabhängig** den **Verlauf der atmosphärischen CO_2-Konzentration und der mittleren Temperatur für die nächsten hundert Jahre:**

Die beste Schätzung für das **niedrige Szenario B1** ist eine Erwärmung von 1,8°C allein im Laufe des 21. Jahrhunderts mit einer wahrscheinlichen Bandbreite von 1,1 bis 2,9°C.

Die beste Schätzung für ein **hohes Szenario (A1FI)** ist eine **Erwärmung allein im 21. Jahrhundert um 4,0°C** mit einer wahrscheinlichen Bandbreite von 2,4 bis 6,4°C.

Die Kurve in Orange zeigt, dass es bis 2100 selbst dann um 0,6°C wärmer wird, wenn man die Treibhausgase und Aerosole auf dem Niveau des Jahres 2000 konstant halten könnte. Dies ist hauptsächlich auf die **langsame Reaktion der Ozeane** zurückzuführen.

Generell gilt für Klimaprognosen bei gegebenen Emissionspfaden, dass **globale Klimaprognosen zuverlässiger als regionale** sind, **langfristige zuverlässiger als kurzfristige** und **Temperaturvorhersagen zuverlässiger als solche zu Niederschlägen.**

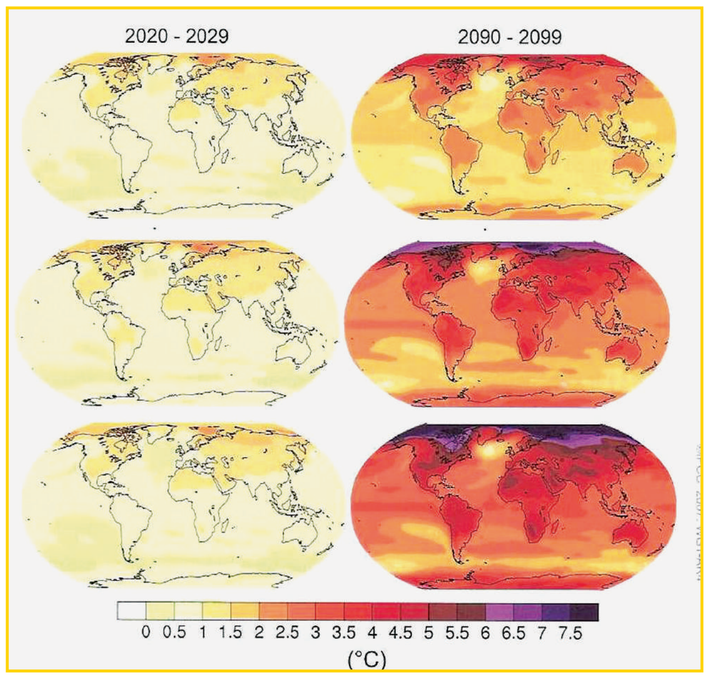
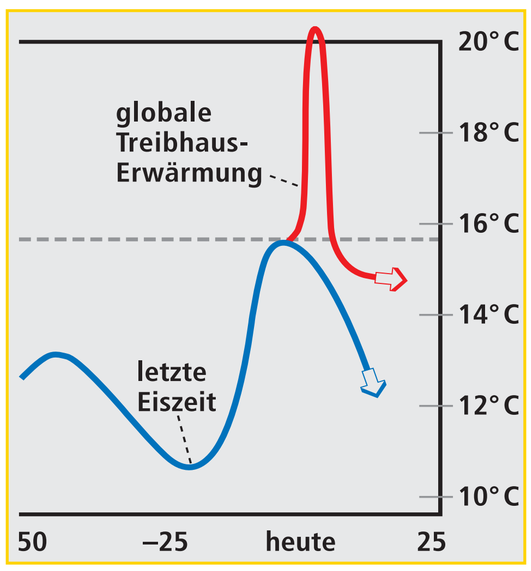


Abb.: Veränderungen des globalen Klimas bis 2100.
Die Abb. zeigt projizierte Änderungen der Oberflächentemperatur für das frühe und späte 21. Jahrhundert im Verhältnis zu 1980-1999 nach **drei Szenarien**. Während sich die Ergebnisse im frühen 21. Jahrhundert kaum voneinander unterscheiden, sind die Unterschiede zwischen den Szenarien gegen Ende des Jahrhunderts markant. Während in den polaren Breiten der Nordhalbkugel nach dem Szenario B1 eine Erwärmung um 4°C zu erwarten ist, beträgt der Wert für das Szenario A2 hier das Doppelte. Auffällig ist das geographische Erwärmungsmuster: Die Kontinente und die hohen Breiten der Nordhalbkugel erwärmen sich deutlich stärker als die übrigen Gebiete. Quelle: verändert nach IPCC (2007).

Der Temperaturanstieg verläuft außergewöhnlich schnell

Wenn nichts gegen den Treibhauseffekt unternommen wird, droht eine drastische Erderwärmung. Die **Temperaturen könnten im Verlauf des 21. Jahrhunderts** im globalen Mittel **um 5°C ansteigen, was dem gesamten Temperaturanstieg nach der letzten Eiszeit entspricht** (vgl. Abb.).

Die **Veränderung erfolgt** jedoch **je nach Klimapolitik bis zu hundertmal schneller** als zum Ende der Eiszeit. Geschwindigkeit und Ausmaß der Klimaänderung würden sich heftig auf die Natur und den Menschen auswirken, bis hin zum Aussterben zahlreicher Arten, dem verbreiteten Mangel an Trinkwasser und Nahrungsmitteln und dem Zusammenbruch von Wirtschaften und Staaten (Stationen 10 bis 21). Man kann das mit einer Ameise am Boden einer Sanduhr vergleichen, die verschüttet wird, wenn zu viel Sand auf einmal auf sie herniedergeht.



Fazit:

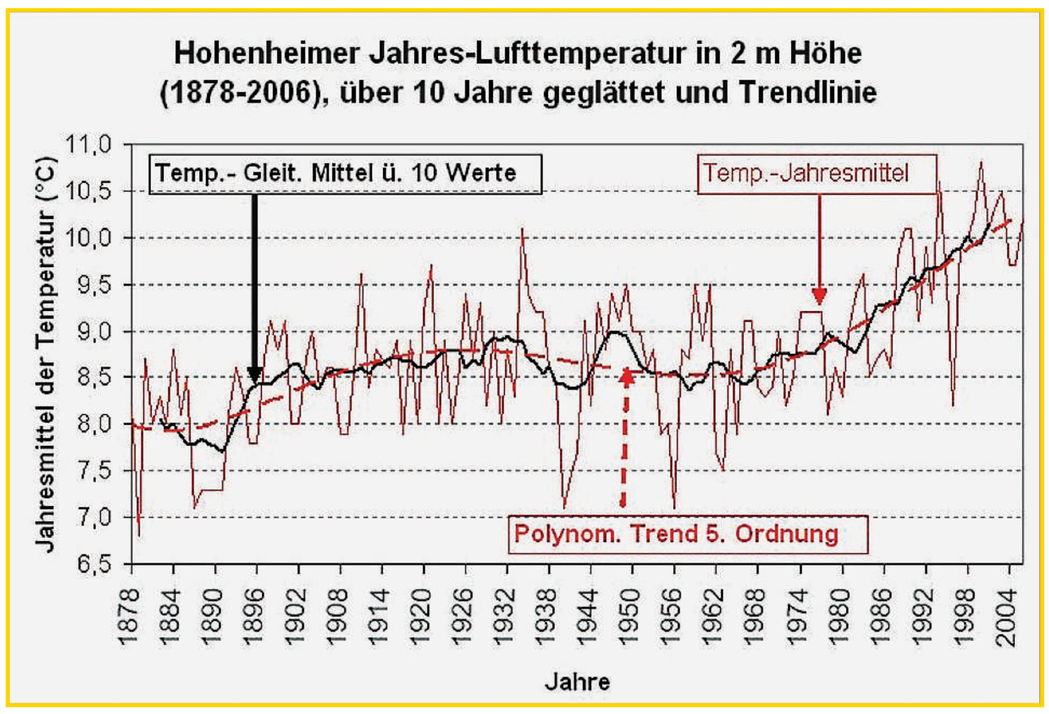
Ausgehend von **Emissionsszenarien** erstellen Klimaforscher mit Rechnern **Klimaszenarien.** Ohne Klimaschutzanstrengungen wird es im 21. Jahrhundert im globalen Mittel voraussichtlich um **1,4 bis 6,4 °C wärmer werden.** Die Erwärmung könnte ein **Ausmaß wie im Übergang von einer Eiszeit zur Warmzeit** erreichen, würde aber **bis zu hundertmal schneller** ablaufen.



9 Das Klima in Stuttgart?

Welches Klima bekommt Stuttgart?

Ein Blick zurück



In Baden-Württemberg ist es allein **im Zeitraum von 1951 bis 2000** je nach Region **um 0,6°C bis 1,5°C wärmer geworden**. Die Niederschläge haben im „Ländle" seit 1951 im Mittel um fast zehn Prozent zugenommen. Es gibt im Schnitt **30 Frosttage weniger**, aber **zusätzliche 20 Sommertage** mit Höchsttemperaturen von 25 Grad und mehr.

Blick in die Zukunft

Die Zukunft wird noch wärmer werden. Allerdings bieten Klimaszenarien umso weniger Sicherheit, je kleiner der betrachtete Raum ist. Und natürlich hängen die Prognosen davon ab, wie viel Treibhausgase zukünftig emittiert werden. In Baden-Württemberg werden dank häufigerer Westwetterlagen insbesondere die Winter wärmer werden. Die KLIWA-Studie prognostiziert schon für den Zeithorizont 2021-2050 im Winterhalbjahr (hier: November bis April) einen Anstieg um ca. 2°C im Vergleich zu den Jahren 1971-2000, im Sommerhalbjahr einen Anstieg um ca. 1,4°C. Die Anzahl der Tage mit zeitweiligem Frost wird etwa in Karlsruhe von 61 auf 36, die der Eistage mit Dauerfrost von 11 auf 5 Tage zurückgehen. Die Anzahl der Sommertage dürfte dagegen deutlich steigen, in Karlsruhe von 58 auf 82 Tage. Ebenso dürfte es mehr heiße Tage mit 30°C und mehr geben, in Karlsruhe mit 32 Tagen doppelt so viele wie gegenwärtig. Zahlen für Stuttgart sind in der Studie nicht genannt.

Doch der Klimawandel wird 2050 nicht zu Ende sein „Wir sehen nach 2050 wesentlich heftigere Effekte als in der Zeit vorher", sagte ein Klimaexperte des Umweltministeriums Baden-Württemberg. Die Auswirkungen werden alle Menschen betreffen. Hitzewellen dürften zu deutlich mehr Hitzeopfern führen.

So warm könnte es in Stuttgart werden!

Damit Sie sich das Ausmaß eines möglichen Temperaturanstiegs für Stuttgart besser vorstellen zu können, vergleichen wir das heutige Klima von Stuttgart mit dem anderer Städte.

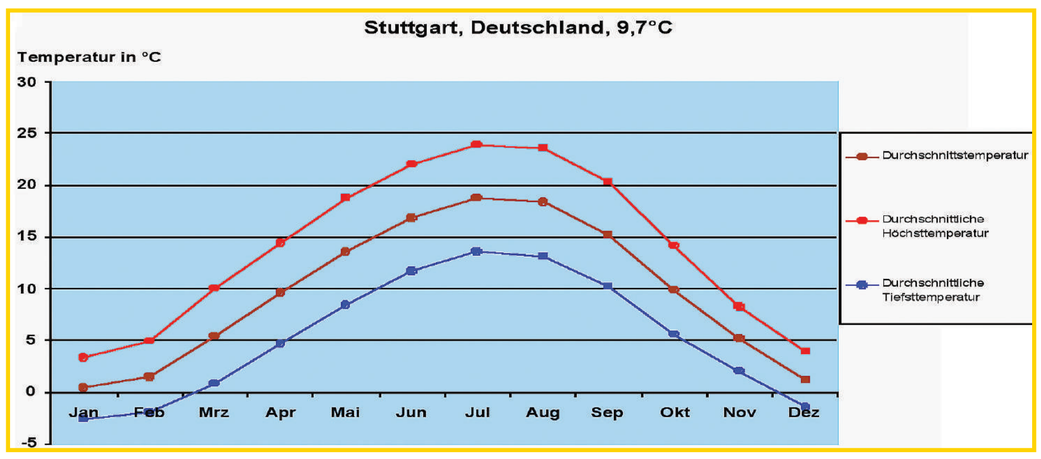


Abb.: So warm ist es in Stuttgart: Dargestellt ist das Monatsmittel der täglichen Durchschnittstemperatur (im Diagramm die mittlere Kurve), der täglichen Höchsttemperatur (obere Kurve) und Tiefsttemperatur (untere Kurve).

Erhöht sich die Temperatur in Stuttgart um...	so erhalten wir die Temperaturen von...
1,9°C	Lyon
4,4°C	Istanbul
5,1°C	Pisa
6,4°C	Rom

Fazit:

Die **Erwärmung** wird in Baden-Württemberg stärker als im globalen Mittel ausfallen, im **Winterhalbjahr stärker als im Sommer**. Die Anzahl der Sommer- und Hitzetage wird weiter steigen.



10

Das Wasser:

Mal zu viel, mal zu wenig





Hochwasser

Wenn Flüsse nach Starkregen über die Ufer treten, können sie weite Landstriche überschwemmen und hohe Schäden verursachen. Dies geschah in den letzten Jahren auch in Mitteleuropa häufig: 1997 an der Oder, 1999 und 2005 in den Nordalpen und 2002 an Elbe und Donau. Beim Elbe-Hochwasser entstanden Schäden von über neun Milliarden Euro, mit 353 mm wurde in Zinnwald-Georgenfeld die höchste je in Deutschland über 24 Stunden gemessene Niederschlagsmenge verzeichnet, und der Pegel der Elbe erreichte in Dresden mit 9,4 m den höchsten Stand seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1275.
Dem Klimawandel zuordnen lassen sich jedoch keine einzelnen Extremereignisse, sondern nur deren Häufung (Station 7).





Dürren

Das Ausbleiben von Niederschlägen sorgt oft für noch größere Probleme. Im südlich an die Sahara angrenzenden Sahel hat es in den letzten Jahren noch weniger als sonst geregnet. Das Land dorrte z. B. in der sudanesischen Region Darfur aus. Den Nomaden im Norden blieb nichts anderes übrig, als ihre Viehherden auf die Äcker der Bauern in den etwas feuchteren Süddarfur zu treiben. Dies führte zu einem Bürgerkrieg mit über Hunderttausend Toten und mehr als einer Million Flüchtlingen. Neuere Untersuchungen zeigen die Hauptursache für die immer intensiveren Dürren im Sahel: nicht die Überweidung durch zu große Viehherden, sondern die von Treibhausgasen verursachte Erwärmung des Indischen Ozeans. Diese hat die Bedingungen, unter denen sich der Sommerregen des Sahels bildet, abgeschwächt.

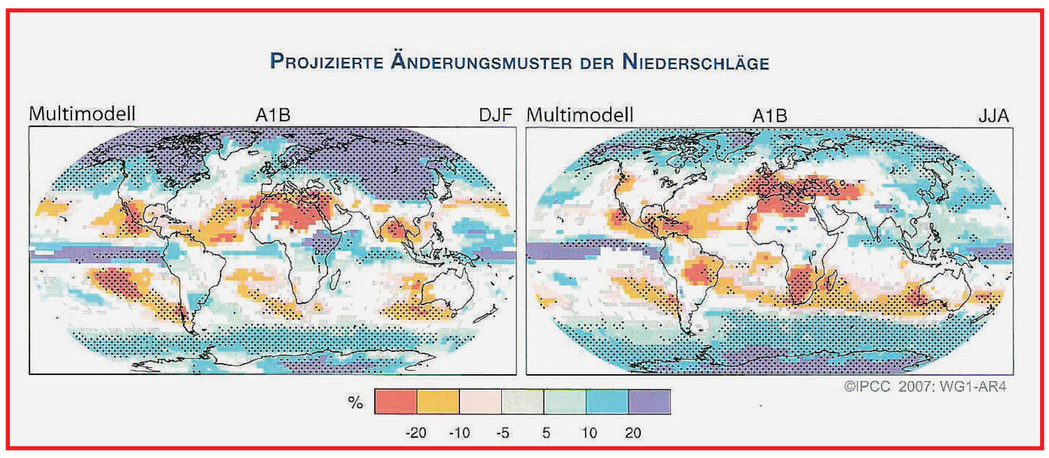


Abb.: Relative Änderungen im Niederschlag (in%) für den Zeitraum 2090-2099
gegenüber dem Zeitraum 1980-1999 für die Monate Dezember bis Februar (links) und Juni bis August (rechts). Die Berechnungen beruhen auf Mittelwerten aus zahlreichen Modellen. Die schwarz gepunkteten Bereiche markieren hohe Übereinstimmung der Modelle (>90%), die weißen Bereiche geringe Übereinstimmung (<66%). Quelle: IPCC

Fazit:

Prognosen des Weltklimarats IPCC:
„Heiße Extreme, Hitzewellen und Starkniederschlagsereignisse, die Überschwemmungen bringen, werden sehr wahrscheinlich weiterhin zunehmen. Die **Niederschlagsmengen** nehmen in höheren Breiten sehr wahrscheinlich zu, während **Abnahmen über den meisten subtropischen Landregionen** wahrscheinlich sind. Es ist wahrscheinlich, dass sich **von Dürre betroffene Gebiete** flächenmäßig **ausdehnen**.
Es wird projiziert, dass allein in Afrika bis zum Jahr 2020, 75 bis 250 Millionen Menschen aufgrund der Klimaänderung unter zunehmender **Wasserknappheit** leiden. In einigen Ländern könnten sich die **Erträge aus der** vom Regen abhängigen **Landwirtschaft bis 2020 um bis zu 50 % reduzieren.“**



11 Wirds stürmischer?

Versuch

Welches Tuch ist kühler, das trockene oder das feuchte? Messen Sie die Temperatur! Ein Thermometer erhalten Sie bei der Aufsicht.

Wasserdampf ist Treibstoff für Stürme

Wenn Wasser verdunstet, braucht das Verdunstungsenergie, die der Umgebung entnommen wird. Deshalb ist das nasse Tuch kühler.
Steigt feuchte Luft auf, kühlt sie ab und es kondensieren große Mengen an Wasserdampf zu Wolken. Hierbei wird die Verdunstungsenergie wieder freigesetzt, sie kann Stürme anheizen. Deshalb gilt **Wasserdampf als Treibstoff für Stürme.** Die globale Erwärmung führt nachweislich zu mehr Wasserdampf in der Atmosphäre (Station 4) und liefert damit mehr Treibstoff für Stürme.

Jahrhundert-Hurrikane

Als der Hurrikan Ivan 2004 durch den Golf von Mexiko tobte, unterbrach er die Ölförderung mit den höchsten je in der Region gemessenen Wellen. Unterwasserpipelines wurden zerrissen. Die Ölindustrie schätzte Ivan als etwas ein, das sich nur alle 2500 Jahre ereignet. Im Jahr darauf kamen die Hurrikane Katrina und Rita. **„Wir sehen Jahrhundertereignisse alle paar Jahre passieren“** sagte ein Ölmanager.
Als sich der **Hurrikan Katrina** New Orleans näherte, war er bereits in die zweithöchste Kategorie zurückgestuft. Doch die Schäden waren gewaltig, 80 Prozent des Stadtgebiets wurden überflutet, über eine Million Menschen obdachlos, mehr als 1000 Menschen starben.
Erstmals trat 2004 ein **Hurrikan im Südatlantik** auf, genau in einer Ozeanregion, für die zuvor mittels Simulationsrechnungen das Auftreten solcher Hurrikane infolge des menschengemachten Treibhauseffekts prognostiziert worden war.

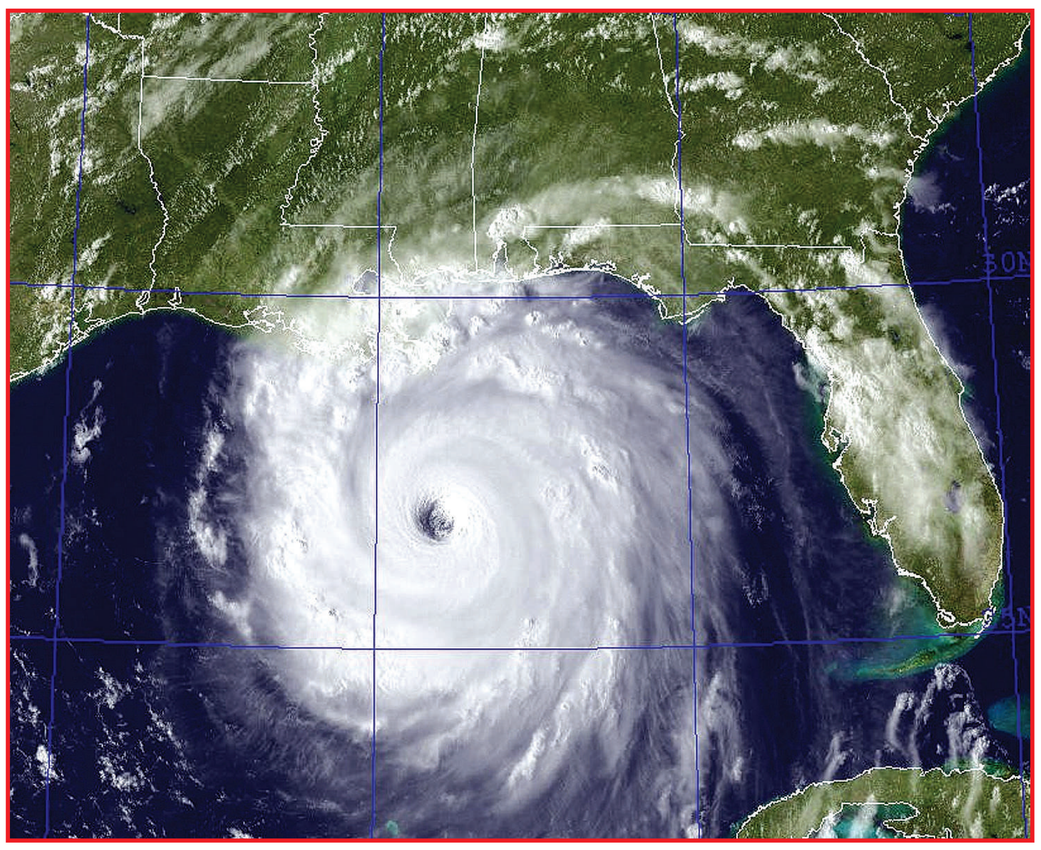


Abb.: Hurrikan Katrina überdem Golf von Mexiko. Gut sichtbar ist das Auge des Hurrikans, in dem es windstill ist.

Fazit:

Nicht häufiger, aber heftiger: Tropenstürme verstärken sich nur dann zu Hurrikanen, wenn die **Oberflächentemperatur des Meeres bei über 26°C liegt.** Erst dann steht genügend Wasserdampf als Hurrikan-Treibstoff zur Verfügung. Hier kommt der Klimawandel ins Spiel, der die Ozeane aufheizt und andere, zyklische Effekte überlagert. Die weltweit von tropischen Wirbelstürmen freigesetzte Gesamtenergie hat in den letzten beiden Jahrzehnten um 60 Prozent zugenommen. Der IPCC prognostiziert, dass nicht die Anzahl, aber die Intensität **zukünftiger tropischer Wirbelstürme** weiter zunehmen wird, mit **höheren Spitzenwindgeschwindigkeiten** und **mehr Starkniederschlägen. Wenn die Windgeschwindigkeit nur um sieben Prozent ansteigt, erhöht sich das Zerstörungspotenzial um 50%.**

12 Gletscher schmelzen

Weltweit schmelzen Gebirgsgletscher

Zu den sichtbarsten Auswirkungen des Klimawandels gehört der **Rückgang der Gebirgsgletscher,** wie er auch in den ausgestellten Fotos zu sehen ist.

- Die **Alpen** haben seit dem Gletschermaximum von 1850 bei ca. **1,5°C Erwärmung** in den Höhenlagen **etwa die Hälfte der Gletscherfläche** und etwa **zwei Drittel der Eismasse** verloren.
- Allein im Hitzesommer 2003 hat sich die durchschnittliche Eisdicke der Schweizer Gletscher um über drei Meter verringert.
- Fast überall in den Hochgebirgen schmelzen die Gletscher. Die **Eiskappe am Kilimandscharo,** dem höchsten Berg Afrikas, hat bisher alle nacheiszeitlichen Wärmeschwankungen überstanden, wie Bohrungen zeigen. Sie dürfte bereits um **2020 völlig verschwinden.**



Aletschgletscher in der Schweiz um 1900 und 2005



Nah- und Fernfolgen

Das verstärkte Abschmelzen lässt **Gletscherseen** wachsen, deren möglicher Ausbruch die Bewohner ganzer Täler gefährdet. Da die Frostgrenze ansteigt, tauen auch bisher ganzjährig gefrorene Felsregionen auf, der Wechsel von Frost und Wärme sprengt Felsen und erhöht die **Gefahr von Bergstürzen.**

Die Bedeutung der Gletscher reicht weit ins Vorland der Gebirge hinaus: In Gebieten mit sommerlicher Trockenzeit **verhindert Gletscherschmelzwasser, dass Flüsse austrocknen.** Felder können bewässert und Menschen mit Trinkwasser versorgt werden. Auch Schifffahrt und die Kühlung von Wärmekraftwerken werden ermöglicht.

Der IPCC: „Für den Verlauf dieses Jahrhunderts wird für die in Gletschern und Schneedecken gespeicherten Wassermengen ein Rückgang projiziert. Dadurch nimmt die **Wasserverfügbarkeit in Regionen,** die vom Schmelzwasser der großen Gebirgsketten versorgt werden und in denen derzeit **mehr als ein Sechstel der Weltbevölkerung** lebt, ab.“

Fazit:

Weltweit schmelzen fast überall die Gletscher. Durch das Ansteigen der Frostgrenze wächst die **Gefahr von Bergstürzen.** In Trockengebieten wird nach dem Abschmelzen der Gletscher **Wasser für die Bewässerung** und andere Zwecke fehlen.

13 Alarm in der Arktis

Versuch: Eisberg im Wasserglas

Betrachten Sie das randvolle Wassergefäß mit dem Eiswürfel. Wird es überlaufen, wenn das Eis weiter schmilzt?

Das Packeis schwindet

Bis zum **Spätsommer 2007** ist **das arktische Meereis** auf die **Hälfte der Fläche des Spätsommers 2004** geschrumpft. Die Nordwestpassage vom Atlantik zum Pazifik war völlig eisfrei und für Schiffe befahrbar. Damit beschleunigt sich die seit Jahrzehnten beobachtete Entwicklung. Hält das gegenwärtige Schmelztempo an, könnte das Nordpolarmeer schon zum Ende des Sommers 2012 so gut wie eisfrei sein. Der IPCC prognostizierte dies frühestens für den letzten Teil des 21. Jahrhunderts. Die bisherigen **vom IPCC verwendeten Klimamodelle** könnten **zu konservativ** sein. **Schmilzt Meereis,** wird weniger Sonnenlicht reflektiert, und es wird noch wärmer (Station 5). Dies hat aber **unmittelbar keine Auswirkungen auf die Höhe des Meeresspiegels.** Dies ist nicht anders als beim Wasserglas, das auch nicht überläuft, wenn der Eiswürfel schmilzt.

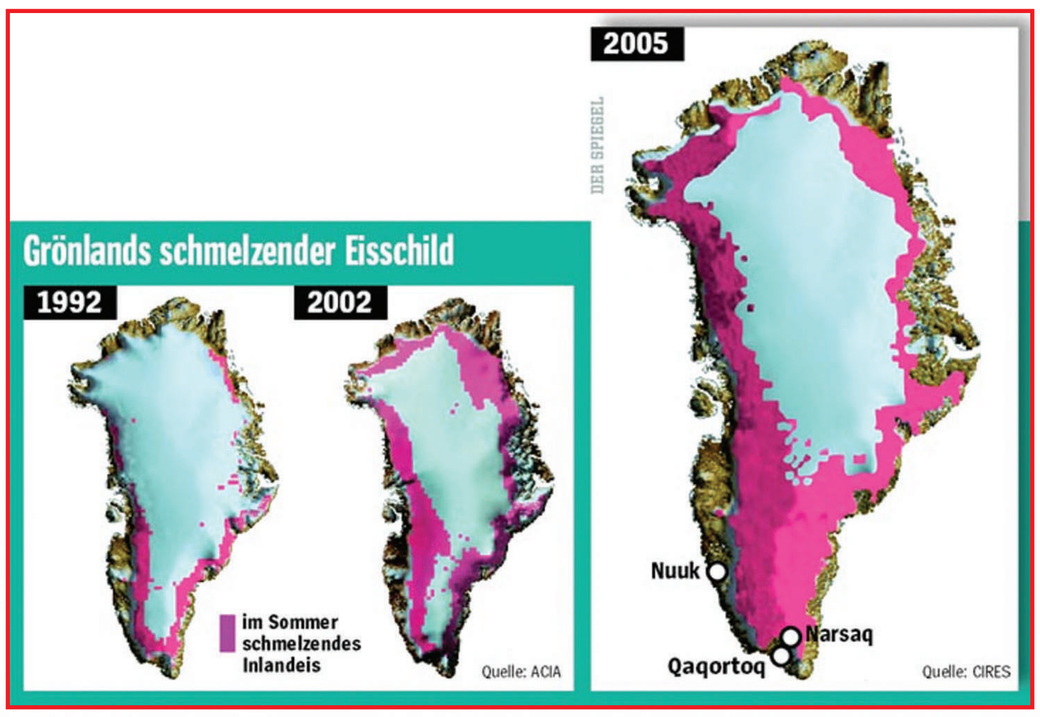


Abb.: Die Eismassen Grönlands. In rosa ist der sommerliche Schmelzbereich des grönländischen Eisschildes dargestellt. Die Daten werden über satellitengestützte Mirkowellenmessungen ermittelt.



Die Gletscher Grönlands schmelzen immer schneller

Allein 2007 hat Grönland die doppelte Eismasse der Alpen verloren. Die Abschmelzfläche hat deutlich zugenommen (vgl. Grafik.). Modellrechnungen zeigen, dass bei einer **Erwärmung um lokal 3°C**, die einer **globalen** Erwärmung um weniger als 2°C entsprechen könnte, **wahrscheinlich das gesamte Grönland-Eis allmählich** (im Laufe von vielleicht 300 bis 1000 Jahren) **abschmilzt. Der Meeresspiegel steigt** dann weltweit **um etwa sieben Meter an.** Hierbei treten **drei Selbstverstärkungseffekte** auf:

- Taut eine dichte Schneedecke auch nur vorübergehend und gefriert wieder, reflektiert das überfrorene Weiß weniger Sonnenstrahlung und absorbiert entsprechend mehr, dadurch wird es noch wärmer.
- Taut Eis, kann das Schmelzwasser bis zum Untergrund vordringen und dort als Schmiermittel das Fließen des Gletschers beschleunigen.
- Gelangt die Gletscheroberfläche durch Abschmelzen oder Abfließen in tiefere, wärmere Luftschichten, beschleunigt sich das Abschmelzen weiter.

Fazit:

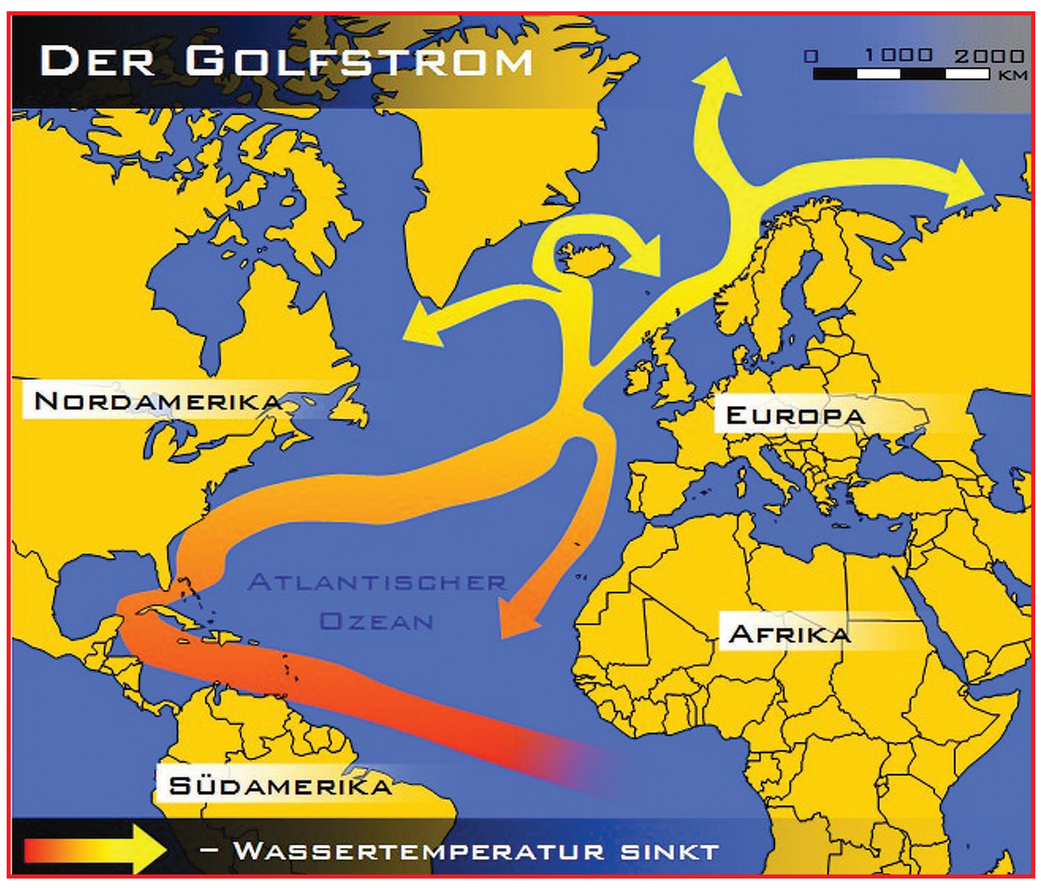
Das **Abschmelzen des arktischen Meereises** beschleunigt die Erderwärmung, trägt aber nicht direkt zum **Anstieg des Meeresspiegels** bei. Dagegen steigt dieser **um sieben Meter, falls die Eismassen Grönlands abschmelzen** sollten. Dieser Prozess könnte schon bei einer **globalen Erwärmung um zwei Grad** unumkehrbar in Gang kommen.

14 Die Zukunft des Golfstroms

Versuch mit einer Wachslampe

Betrachten Sie die Lampe! Wachs steigt in dieser auf und ab. Unten befindet sich eine Heizquelle. Das am Grund der Lampe befindliche Wachs dehnt sich erwärmungsbedingt aus, seine Dichte verringert sich und es steigt auf. Dabei kühlt es ab, seine Dichte nimmt wieder zu und es sinkt zurück auf den Grund.

Der Nordatlantikstrom



Der umgangssprachlich als Golfstrom bezeichnete **Nordatlantikstrom** bewegt fast hundertmal so viel Wasser wie der Amazonas und funktioniert für die nördlichen Breiten wie eine **Zentralheizung**. Das tropische Warmwasser strömt polwärts, **weil in der Arktis Wasser mit höherer Dichte in die Tiefe des Ozeans hinabsinkt**, so wie es auch das Wachs in der Lampe tut. Ursachen für die höhere Dichte sind:

- Das Wasser kühlt ab.
- Der Salzgehalt erhöht sich, da ein Teil des Wassers unter Salzabscheidung gefriert.

Keine neue Eiszeit

Wird es in der Polarregion wärmer, verdünnen Schmelzwasser aus Grönland und verstärkte Niederschläge das Meerwasser, das sich zudem erwärmungsbedingt ausdehnt. Beides erschwert das Absinken und damit das Nachströmen von warmem Wasser aus südlicheren Breiten. Laut IPCC „ist es **sehr wahrscheinlich, dass sich der Nordatlantikstrom (MOC) während des 21. Jahrhunderts abschwächen wird.“** Der Treibhauseffekt wird die Abkühlungstendenz jedoch mehr als ausgleichen, es wird deshalb vor Ort keine Abkühlung geben. Ein Zusammenbruch des Nordatlantikstroms wird für das 21. Jahrhundert als sehr unwahrscheinlich eingeschätzt.

Ein abrupter Meeresspiegelanstieg?

Sollte der Nordatlantikstrom jemals zum Erliegen kommen, würde dem Klimaforscher Rahmstorf zufolge Folgendes geschehen:

- Der **Nordatlantikraum würde rasch um mehrere Grad abkühlen,** bezogen auf das dann herrschende Klima, das bereits um mehrere Grad wärmer sein könnte als heute.
- Der **Meeresspiegel** im Nordatlantik und **auch an der deutschen Küste** würde aufgrund der veränderten Strömungsverhältnisse **umgehend um bis zu einem Meter steigen.**
- Die **Nährstoffversorgung** des nördlichen Atlantiks, der zu den ertragreichsten Fischgründen der Erde gehört, dürfte sich verschlechtern, weil das Wasser weniger mit nährstoffreichem Tiefenwasser durchmischt würde.
- Der Ozean würde **weniger Kohlendioxid aufnehmen**.

Fazit:

Der Europa wärmende **Nordatlantikstrom** wird sich im 21. Jahrhundert voraussichtlich **abschwächen.** Szenarien einer **Eiszeit für Europa** sind **unrealistisch,** es ist vielmehr bis zum Ende des Jahrhunderts mit einem weiteren Temperaturanstieg zu rechnen.

15 Stirbt der Eisbär aus?

Wissenswertes über Eisbären

Der **Eisbär** hat der **Arktis** ihren Namen gegeben (griechisch: arktós = Bär). Das weiße Fell weist Wasser ab und isoliert sehr gut, weshalb die Tiere auch längere Strecke schwimmen können ohne auszukühlen. Sie halten eine Winterruhe, wobei die Körpertemperatur fast gleich bleibt. Die Jungen werden im Winter in Höhlen zur Welt gebracht. Als **Nahrung** dienen den nomadisch lebenden Raubtieren vor allem **Robben**.

Probleme bei der Nahrungsbeschaffung

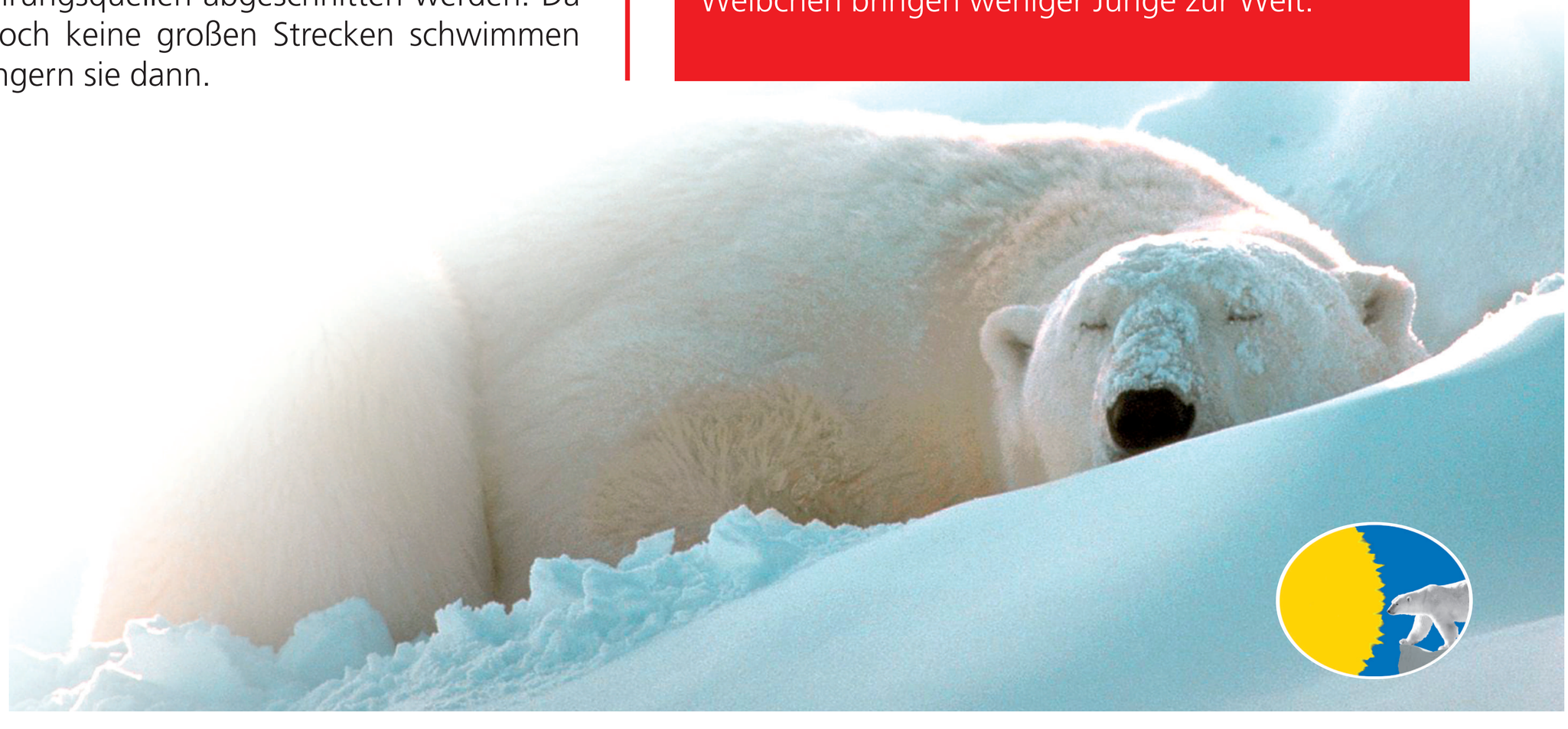


Weil die Futtersaison zu kurz geworden ist, können Eisbären sich **für den Winter** häufig **nicht genug Fettreserven** anfressen. Schrumpft das Packeis der Arktis, wird der für den Eisbär geeignete Lebensraum stark eingeschränkt. Der Eisbär wird auf Eisinseln gefangen, die er nur verlassen kann, indem er lange Strecken schwimmend zurücklegt, eine kraftraubende Fortbewegungsart mit ungewissem Ziel.
Bricht das Eis früher im Jahr auf, können Winterquartiere von den Nahrungsquellen abgeschnitten werden. Da Bärenjungen noch keine großen Strecken schwimmen können, verhungern sie dann.



Fazit:
Wie bedroht ist der Eisbär?

Der Eisbär steht bereits heute auf der **Roten Liste** der vom Aussterben bedrohten Tierarten. Durch die fortschreitende globale Erwärmung kann sich dieser Zustand nur verschlechtern. Wissenschaftler beobachten immer mehr **magere Bären**. Hungernde Weibchen bringen weniger Junge zur Welt.



16 Der Meeresspiegel steigt



Venedig: Hochwasser am Markusplatz. Venedig steht bis zu 100 Mal pro Jahr unter Wasser, zehnmal häufiger als vor 30 Jahren. Verantwortlich dafür sind die Venezianer zum Teil selbst: Durch das stetige Abpumpen des Grundwassers sackt ihre Stadt immer weiter ab. Der mit der globalen Erwärmung verbundene Meeresspiegel-Anstieg verschärft das Problem. Ein Plan sieht vor, dass riesige Barrieren die Lagune vor dem eindringenden Mittelmeerwasser schützen. Die Fluttore liegen an den Öffnungen zur Adria auf dem Meeresboden, sollen bei Hochwasser mit Luft gefüllt werden und sich aufrichten. Allerdings bieten die Tore nur Schutz vor einem Meeresspiegelanstieg um höchstens 22 Zentimeter. Das wird auf Dauer kaum reichen. Foto: Bareis



Das vom Tourismus lebende Venedig hat einige Hochwasserpfade eingerichtet, die bis zu einer Fluthöhe von 120 cm begehbar sind. Foto: Bareis

Der Meeresspiegelanstieg in den letzten Jahrtausenden

Vorzeitliche Mythen vieler Völker erzählen von der zerstörerischen Gewalt großer Fluten. Hintergrund dürfte ein Anstieg des Meeresspiegels gegen Ende der Eiszeit um bis zu fünf Meter pro Jahrhundert sein. In den letzten acht Jahrtausenden blieb der Meeresspiegel nahezu konstant. Hingegen stiegen **die Pegel im 20. Jahrhundert um etwa 17 cm**. Der **Anstieg zwischen 1993 und 2003** vollzog sich im Vergleich hierzu mit **etwa der doppelten Geschwindigkeit**.

Der zukünftige Anstieg des Meeresspiegels

Im 21. Jahrhundert wird der Meeresspiegel laut IPCC um weitere **18 bis 59 cm** ansteigen, höhere Werte können nicht ausgeschlossen werden. Sind die Gebirgsgletscher ein Frühwarnsystem der Erderwärmung, ist der Meeresspiegelanstieg eine Spätfolge: Er beginnt langsam, hält aber lange an. Denn sowohl das **Abschmelzen der Eisschilde** als auch die **thermische Ausdehnung** des Meerwassers geschieht **auf einer Zeitskala von Jahrhunderten**. **Ein ungebremster Klimawandel** birgt das Risiko in sich, dass unsere Nachfahren dereinst die Überreste von Hamburg, Venedig oder New York und die aller anderen Küstenstädte nur noch mit dem U-Boot besichtigen können: Langfristig könnte laut Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung der **Meeresspiegel um 30 bis 50 Metern ansteigen**.

Ein Blick zurück in die Vorzeit

Der IPCC: „**Vor etwa 125.000 Jahren** war der mittlere globale Meeresspiegel wahrscheinlich **4 bis 6 Meter höher als im 20. Jahrhundert**." In den Polargebieten war es aufgrund von Abweichungen in der Erdumlaufbahn um **3 bis 5 °C wärmer** als heute, die globalen Temperaturen lagen dabei nur um etwa 1°C über den heutigen.

Fazit: Die Opfer des Meeresspiegelanstiegs

Die Bewohner der Malediven und weiterer vier Staaten, zusammen etwa eine halbe Million Menschen, leben ausschließlich auf **Korallenatollen**. Diese überragen das Wasser im Mittel lediglich um zwei Meter. Wenn der Meeresspiegel ansteigt, besteht nicht nur Überflutungsgefahr, auch droht das Grundwasser zu versalzen. Die Regierung von **Tuvalu** hat bereits mit Neuseeland vereinbart, dass ihre Bewohner **Umweltasyl** erhalten, wenn die Inseln unbewohnbar werden. Auch an den **Küsten der Kontinente** wird der Anstieg des Meeresspiegels drastische Folgen haben. Weltweit sind derzeit 75 Millionen Menschen an den Küsten von sturmbedingten Überschwemmungen bedroht. **Steigt der Meeresspiegel um 40 cm an, wird sich diese Zahl mehr als verdreifachen.**

17 Die Zukunft der Korallen

Was ist eine Koralle?

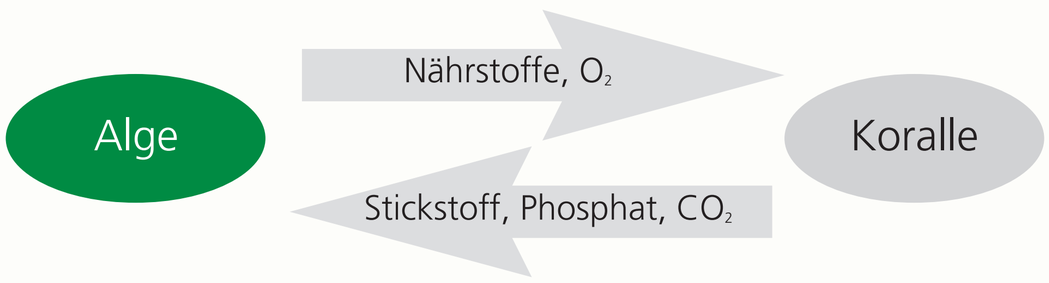
Korallen sind Tiere, winzig kleine Polypen, die in einer Kolonie auf einem Fuß von Kalk leben. Den Kalk scheiden sie ständig aus, wodurch sie zu großen Riffen heranwachsen können. Die Tiere leben mit einzelligen Grünalgen zusammen, die Sonnenlicht für ihre Photosynthese benötigen. Daher kommen Korallen nur im flachen Wasser vor.





Warum leben Polypen und Algen zusammen?

Da das Überleben im Meer ohne Stickstoff und Phospat für die **Algen** nicht möglich ist, leben sie in **Symbiose** mit den **Korallenpolypen**, die ihrerseits auf energiereiche Nahrung angewiesen sind. Die Algen befinden sich in den Zellen der innersten Schicht des Polypen.
Die Alge übernimmt die Funktion einer Solarzelle, wandelt die Energie des Sonnenlichts in chemische Energie um (Photosynthese) und kann so Nährstoffe produzieren.



Welche Auswirkungen hat der Klimawandel auf Korallen?

Korallenriffe, die **artenreichen „Regenwälder der Meere“**, kommen im Tropengürtel um den Äquator herum vor. Korallen sind sehr temperaturempfindlich: Erwärmt sich das Wasser auch nur ein paar Wochen lang um 1-2°C, beginnen die Algen im Innern der Polypen Giftstoffe zu produzieren. Daraufhin werden sie von den Korallen abgestoßen, diese sterben sofort ab und verlieren ihre Färbung, es kommt zur **Korallenbleiche**. Die globale Erwärmung „überhitzt“ immer häufiger und länger das Meerwasser und führt zusammen mit der Wasserverschmutzung zu mehr Korallenbleichen.



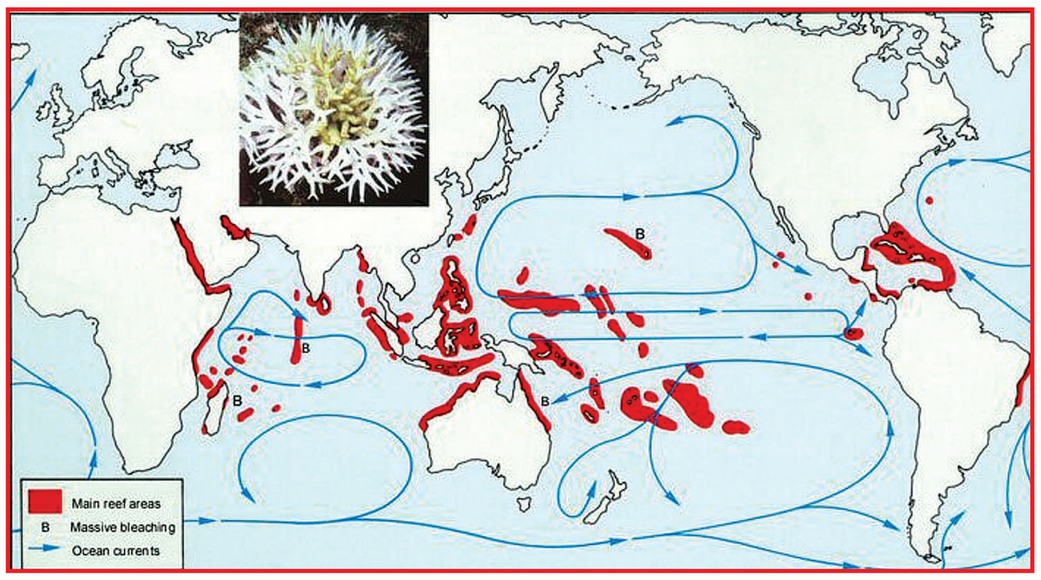


Die Fotos zeigen ein intaktes Riff und eines, das bereits ausgebleicht ist.

Weitere Wirkungen des Klimawandel auf die Korallen

Gefahr droht auch durch die **Übersäuerung der Meere,** die einen Teil der vom Menschen verursachten CO_2-Emissionen aufnehmen. Im Wasser liegt CO_2 teilweise in Form von Kohlensäure vor. Der marine pH-Wert könnte langfristig von heute 8,2 auf 7,7 sinken, was die Bildung von Kalkschalen bei Korallen, Schnecken und Muscheln beeinträchtigen würde.

Welche Gegenden sind besonders betroffen?



Die Karte zeigt, wo Korallen vorkommen (rot) und welche Regionen besonders von der Bleiche (B) betroffen sind.

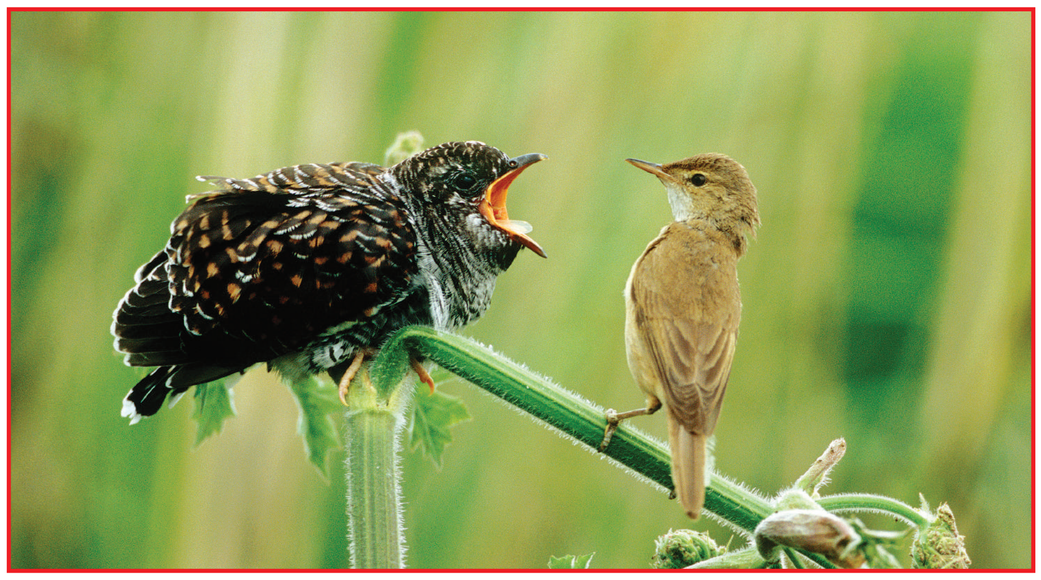
Fazit:

Die Erwärmung und Verschmutzung der Weltmeere hat schon vielerorts **Korallen ausbleichen** lassen. Ein weiteres Problem der Weltmeere stellt ihre **drohende Übersäuerung** dar. In beiden Fällen werden ganze Ökosysteme davon betroffen sein.

18 Kuckuck, Kuckuck...

rief's aus dem Wald

Zum Kuckuck mit dem Klimawandel!



Kuckuck mit Teichrohrsänger (Foto: NaBu)

Der **Kuckuck**, der wie kaum ein anderer Vogel Eingang in Tradition, Liedgut und sogar die Sprache Deutschlands gefunden hat, ist immer seltener mit seinem charakteristischen Ruf zu vernehmen. Bekannt ist der über 30 cm große Waldvogel dafür, dass er seine Eier anderen Vögeln unterschiebt und sich so der Aufzucht seines Nachwuchses entledigt. **Monokulturen, der Bau von Straßen und Siedlungen sowie Insektizideinsatz schränken seinen Lebensraum ein**.
Doch der Kuckuck könnte auch zum **Opfer des Klimawandels** werden: Während viele Zugvögel ihre Reisepläne an den vorgezogenen Frühling anpassen, orientiert sich der Kuckuck an der Tages- und Nachtlänge. **Wenn er dadurch später im Sommerquartier eintrifft, brüten die anderen Vögel bereits** und lassen sich nicht mehr so leicht ein Kuckucksei unterschieben.

Wälder im Klimawandel-Stress

Auch vielen **Wäldern** bekommt der rasche Klimawandel gar nicht gut. In Deutschland haben sich viele Bäume noch nicht von der Trockenheit des Sommers 2003 erholt. Wenn die Bäume Wassermangel leiden, kommt ihre Harzproduktion ins Stocken, die sie vor Schädlingen schützt. Die vom **sauren Regen** vorgeschädigten Bäume werden **anfälliger für Schädlinge**, z. B. für Borkenkäfer. Auch heftige **Stürme** bedrohen die Bestände.
Besonders gefährdet ist die **Fichte**, der „**Brotbaum**" der heimischen Forstwirtschaft und begehrtes Bauholz. Ein Forstwissenschaftler: „Die Wärme macht die Fichte schwach und den Käfer stark".



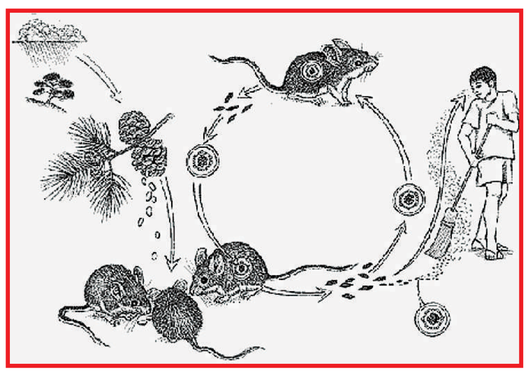
Abgestorbene Fichte im Schurwald östlich von Stuttgart (Foto: Bareis)

Fazit: Der Klimawandel und die Ökosysteme

Der Kuckuck und die heimischen Wälder stehen stellvertretend für Tausende von erforschten Beispielen, wie der Klimawandel Arten und Ökosysteme beeinflusst und für Zigtausende bisher unerforschte.
Der IPCC gibt ein **„erhöhtes Aussterberisiko für 20-30% der bisher untersuchten Arten** an, sollte es global um mehr als 1,5 bis 2,5 °C wärmer werden. Es ist wahrscheinlich, dass die **Widerstandsfähigkeit zahlreicher Ökosysteme in diesem Jahrhundert überschritten** wird." Der **Klimawandel** ist dabei nur **eine von vielen Belastungen**, denen Ökosysteme durch den Menschen ausgesetzt sind. Weitere sind die Verschmutzung von Luft, Wasser und Boden, die Zerstörung von Wäldern und weiteren Lebensräumen, Wilderei und die Überfischung der Weltmeere.

19 Krank durch Klimawandel?

Manche Krankheiten breiten sich in Deutschland aus



Baden-Württemberg, Ende April 2007: Mancherorts passt der gesamte in diesem Monat auf einen Quadratmeter gefallene Regen in ein einziges Trinkglas. Auch der Boden im Wald ist ausgetrocknet. Wanderer wirbeln Staub auf, der stärker als sonst mit dem Kot und Urin eines kleinen Waldbewohners, der **Rötelmaus**, vermengt ist. Denn der vorausgegangene extrem milde Winter hat deren Bestände stark ansteigen lassen. Beim Atmen gelangt mit dem verunreinigten Staub auch ein von der Rötelmaus ausgeschiedener Virus in die Lunge. Wenige Tage oder Wochen später erkranken manche an diesem **Hanta-Virus**. Zu Grippesymptomen gesellen sich Bauchbeschwerden und Störungen der Nierenfunktion. Bis zum Jahresende werden in Baden-Württemberg etwa 1000 Fälle gemeldet, mindestens sechsmal mehr als in den vorausgegangenen Jahren.

Auch andere Erkrankungen breiten sich im Zuge der Erwärmung in Deutschland aus: Etwa die von Zecken übertragene **FSME-Hirnhautentzündung** und **Allergien** gegen die sich ausbreitende, Wärme liebende **Ambrosia-Pflanze** (vgl. Abb.) oder gegen die Haare der Raupe des **Eichenprozessionsspinners**.

Klimawandel und die weltweite Gesundheit

Allein die **Hitzewelle des Sommers 2003** hat in Europa statistisch zu **70.000 zusätzlichen Todesfällen** geführt, die Sterblichkeit stieg in allen Altersgruppen ab 40 Jahren signifikant an. Es war die größte Wetterkatastrophe in Europa seit Menschengedenken.

In armen Ländern erhöht sich bei **Dürren** die Anzahl der Menschen, die an **Durchfall** erkranken, da sie aus verschmutzten Quellen trinken müssen. Auch nach **Hochwasser** kommen Seuchen: Durch stehendes, verschmutztes Wasser wird **Cholera** übertragen und Mücken verbreiten Malaria, Gelbfieber und Denguefieber.

Laut einer Studie der WHO **sterben schon heute jährlich mehr als 150.000 Menschen an den Folgen des Klimawandels**. Erwärmt sich die Erde um ein bis zwei Grad, wird der Anteil der durch Malaria bedrohten Menschen von heute 45 auf 60 Prozent steigen, u. a., weil sich die Krankheit in bisher malariafreie tropische Hochländer ausbreitet.

Fazit:

Der **Klimawandel verschiebt die Klimazonen** und sorgt damit für eine Ausbreitung von **Krankheitserregern**, etwa der Malaria, **an bisher unbekannten Orten. Hitzewellen, Dürren** und **Überschwemmungen** beeinträchtigen ebenfalls die Gesundheit.

Die Ambrosiapflanze



Jungpflanze



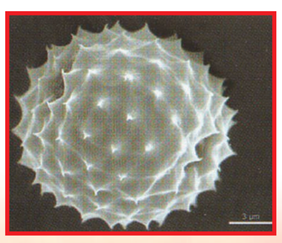
Ältere Pflanze



Blütenstand



Typischer Standort



Durchmesser



Samen

20 Die Kosten des Klimawandels

Machen Sie mit!

Greifen Sie in die Box! Begreifen Sie eine der wichtigsten Existenzgrundlagen der Menschheit!



Der Stern-Report

Am 30. Oktober 2006 trat Sir **Nicholas Stern**, ehemaliger Chef-Volkswirt der Weltbank, mit einem dramatischen Bericht vor die Londoner Presse. Eine der Kernaussagen: **„Die Gesamtkosten und -risiken des Klimawandels, wenn wir nicht handeln, betragen wenigstens 5% des globalen Bruttoinlandsprodukts (BIP) jedes Jahr,** jetzt und für immer." Es könnten aber auch **20% und mehr** werden. Dies entspräche dann **pro Jahr über 5 Billionen Euro**.

Die weltweiten Schäden

In der ausgestellten Box können Sie **Weizen** ertasten, eine **Existenzgrundlage der Menschheit**. Gäbe es nach Dürren weltweit einige Prozent weniger Weizen zu ernten, stünde bereits das Überleben vieler Menschen auf dem Spiel. Die Kosten des Klimawandels sind so hoch, weil er „die **Grundelemente des Lebens**" der Menschen in der ganzen Welt – Zugang zu Wasser, Nahrungsproduktion, Gesundheit und die Umwelt - beeinflusst. **Stern vergleicht die möglichen Schäden mit den Beeinträchtigungen während der Weltkriege. Seit den 70er Jahren sind die weltweiten wetterbedingten Versicherungsschäden** durchschnittlich **um jährlich 10% angestiegen**. Bei gleich bleibender Wachstumsrate würden um das Jahr 2065 die Schäden dem Gesamtwert von allem, was die Menschheit im Laufe des Jahres produziert, entsprechen.



Viele Schäden sind jedoch **kaum zu beziffern**:

- Wie veranschlagt man den Wert einer ausgestorbenen Tier- oder Pflanzenart?
- Wie teuer ist der Verlust der Heimat von Inselbewohnern?
- Wie viel ist ein Menschenleben wert?

Der Klimawandel ist laut Stern Folge des größten Marktversagens, das die Welt je gesehen hat. Der Grund dafür: Am CO_2-Ausstoß klebt bisher kein Preisschild.

Auswirkungen auf Gesellschaft und Staat

Die zunehmenden Klimaschäden werden zu **gesellschaftlichen und politischen Konflikten** führen. Daraus könnten **Gewalt** und **Destabilisierung** erwachsen, die die nationale und internationale Sicherheit in einem bisher unbekannten Ausmaß bedrohen. Es ergeben sich **Verteilungskonflikte** in und zwischen Ländern um Wasser, Land, die Bewältigung von Flüchtlingsströmen oder um Kompensationszahlungen. Der **Klimawandel kann die Staatengemeinschaft** jedoch **auch zusammenführen**, wenn sie ihn als Menschheitsbedrohung versteht und eine energische Klimapolitik in die Wege leitet.

Fazit: Was kostet der Klimaschutz?

Stern beziffert die **Kosten des Handelns** - das Reduzieren der Treibhausgasemissionen, um die schlimmsten Auswirkungen des Klimawandels zu vermeiden – auf etwa **ein Prozent des globalen BIP** pro Jahr, die des Nichthandelns dagegen auf fünf bis zwanzig Prozent. **Klimaschutz ist langfristig viel billiger als der Verzicht darauf. Wir können uns das Nichtstun nicht mehr lange leisten!**



21 Wenn der Klimawandel...

ins Galoppieren kommt

Eine Klimakatastrophe in der Vorzeit?

Vor 55 Mio. Jahren ereignete sich auf der Erde eine gewaltige **Katastrophe**. Die Temperaturen stiegen global um fünf bis zehn Grad an. Der CO_2-Gehalt der Atmosphäre vervierfachte sich schlagartig, vielleicht in wenigen Jahren oder Jahrzehnten, von 500 ppm auf 2000 ppm. Folge war ein **Massensterben von Arten**. Erst nach 20.000 Jahren erholte sich die Erde von dieser Erwärmung. Was war die Ursache? Wahrscheinlich brachen in der Tiefsee lang gestreckte Magmenbänder auf, daraufhin wurde **Methanhydrat** instabil und Unmengen der Treibhausgase Methan und CO_2 wurden freigesetzt.



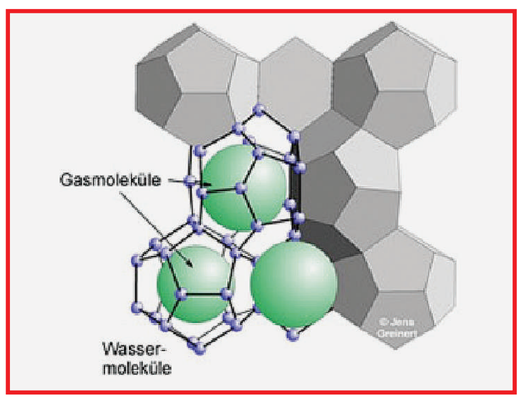
Brennendes Eis: Methanhydrat

Treibhausgase in ungeahnten Mengen

Methanhydrat ist auch heute in ungeheuren Mengen an den Ozeanabhängen vorhanden. Insgesamt steckt darin vielleicht doppelt so viel Energie wie in allen anderen fossilen Brennstoffen zusammen. Methanmoleküle sind hierbei in winzigen Käfigen aus Eiskristallen gefangen. Diese **Clathrate** können allerdings nur unter hohem Druck und bei Temperaturen unter 1° C vorkommen, im Ozean ab 400 m Tiefe.

Ein Selbstverstärkungseffekt

Bei stark voranschreitender Erderwärmung könnte erneut Methan aus den Clathraten freigesetzt werden, da diese dann instabil werden. Methan wirkt als Treibhausgas 24 Mal stärker als CO_2.



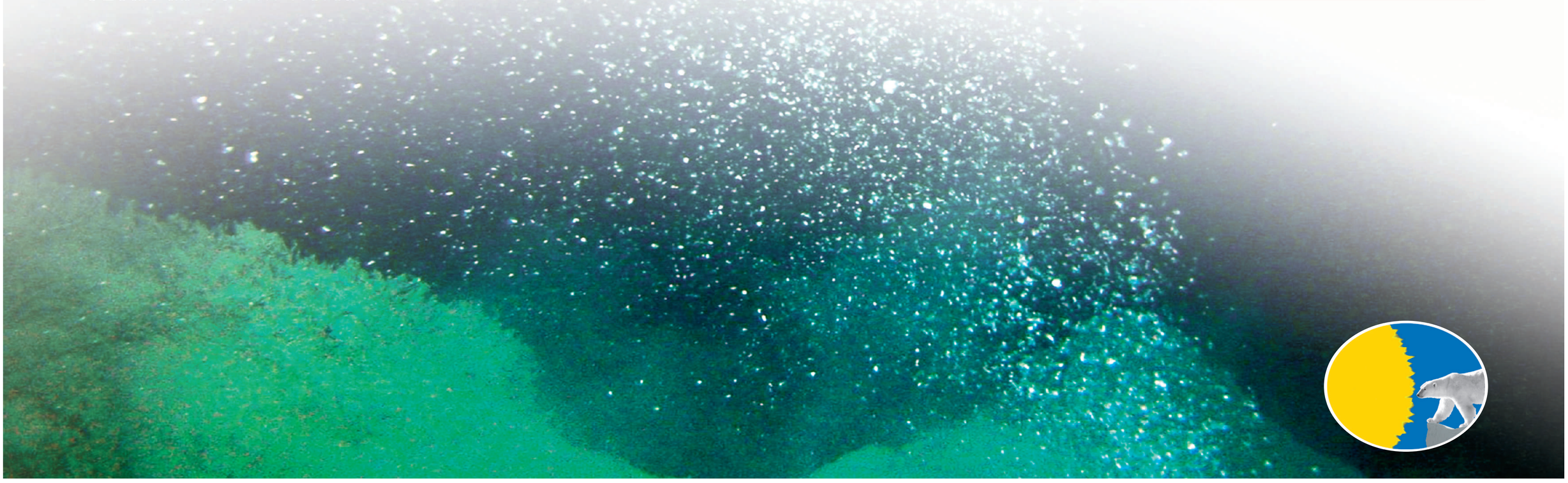
Die Folgen wären:

- unterseeische Erdrutsche und Tsunamis, da Kontinentalabhänge instabil werden würden.
- Versauerung der Ozeane, weil sich aus Methan Kohlendioxid und schließlich Kohlensäure bildet.
- In einer Kettenreaktion könnten immer mehr Clathrate instabil werden, was die Erde weiter erwärmen würde, es käme zu einem **Selbstverstärkungseffekt.**
- Aussterben vieler Tier- und Pflanzenarten nach beschleunigtem Klimawandel.

Methan ist nicht nur am Grund von Ozeanen, sondern auch im **Dauerfrostboden** arktischer Gebiete gespeichert. Falls dieser auftaut, könnten ebenfalls große Mengen an Methan freigesetzt werden.

Fazit:

Ein massenhaftes Freisetzen des Treibhausgases Methan aus Methanhydraten an den Kontinentalabhängen infolge einer vom Menschen verursachten Erderwärmung wird von Klimawissenschaftlern als ein sehr unwahrscheinliches, jedoch nicht auszuschließendes Risiko angesehen. In den Klimaprognosen des Weltklimarats IPCC sind die dargestellten extremen Methan-Rückkopplungen nicht berücksichtigt. Auch andere mehr oder weniger wahrscheinliche Prozesse könnten das Klima zum Galoppieren bringen.



22 Wer muss reduzieren?

Wer muss wieviel reduzieren?

Auf wie viel Grad soll der Klimawandel begrenzt werden?

Das Bundesumweltministerium hat Folgen des Klimawandels, abgestuft nach dem Ausmaß der Temperaturerhöhung gegenüber dem vorindustriellen Niveau, auf der Grundlage des IPCC-Weltklimaberichts 2007 zusammengefasst:

- **Eine mittlere globale Temperaturerhöhung um weniger als zwei Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau** (weniger als 1,5° C gegenüber dem Niveau von 1980-1999) bewirkt, dass vermehrt gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Hitzestress, Unterernährung, Durchfall-, Infektions- und anderen Erkrankungen auftreten, Schäden durch Hochwässer und Stürme sich verstärken und das Phänomen der Korallenbleiche häufiger wird.
- **Bei einer Temperaturerhöhung um zwei bis vier Grad** würden in allen Bereichen immer mehr gravierende Folgen ausgelöst werden. Millionen Menschen mehr pro Jahr wären durch Überflutungen von Küsten gefährdet, es käme zu einem weit gehenden Verlust biologischer Vielfalt und die Eisschilde Grönlands und der Westantarktis drohten langsam, aber irreversibel abzuschmelzen, der Meeresspiegel stiege stark an.
- Wird es global um **mehr als 4°C** wärmer, wären alle Systeme – physische, biologische und soziale – und insbesondere die menschlichen Gesellschaften überfordert, sich an die Wirkungen einer solchen Erwärmung anzupassen.

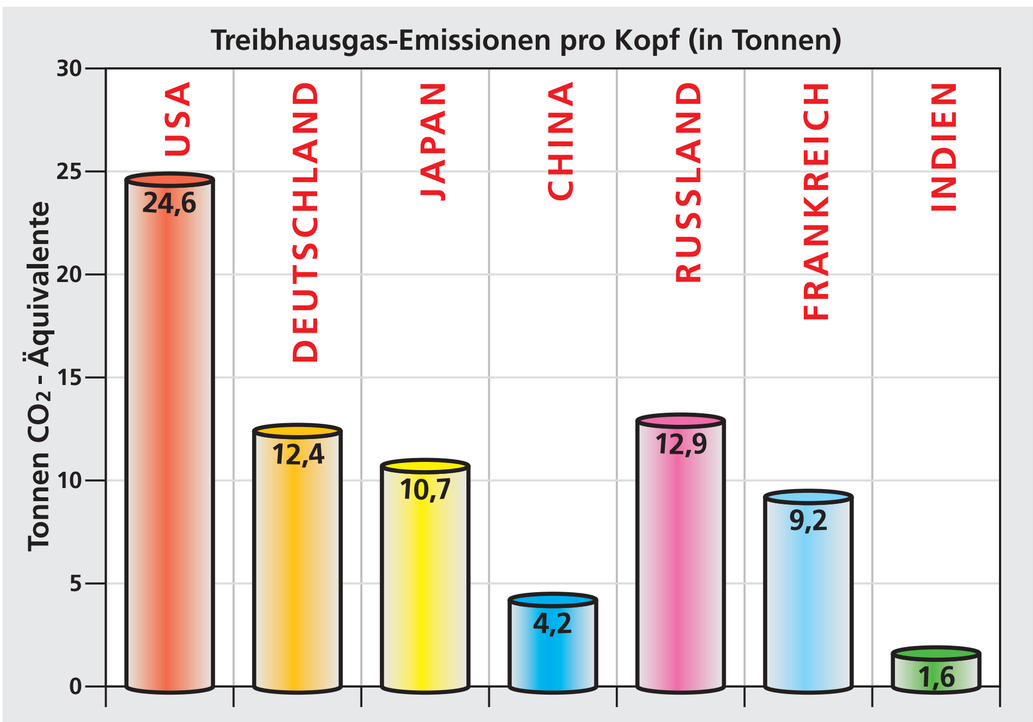
Die **EU** will erreichen, dass der globale Temperaturmittelwert das vorindustrielle Niveau **nicht um mehr als 2 Grad** übersteigt, ein Ziel, auf das man sich global indes noch nicht verständigen konnte.

Welche Treibhausgas-Konzentration sollen wir anstreben?

Will man die globale Erwärmung auf **2° C bis 2,4° C** begrenzen, darf die **CO_2-Konzentration** laut IPCC den Wert von **400 ppm nicht dauerhaft überschreiten**. Derzeit haben wir schon über 380 ppm erreicht und jährlich kommen **zwei ppm** hinzu. **Der globale CO_2-Ausstoß müsste bis 2050 um 50 bis 85 Prozent gesenkt werden**. Machen wir dagegen **weiter wie bisher**, würden wir uns auf eine CO_2-Konzentration von 750 ppm zubewegen. Es könnte dann langfristig **sechs Grad wärmer** werden als in vorindustrieller Zeit.

Wer muss wie viel reduzieren?

Die nachfolgende Graphik zeigt für das Jahr 2003 den Pro-Kopf-**Ausstoß an allen Treibhausgasen**, umgerechnet in CO_2-Äquivalente.
Die Industrieländer emittieren pro Kopf weit mehr als die Entwicklungsländer, der **Welt-Durchschnitt** liegt bei etwa **7 t. Deutschland schneidet mit 12,4 t schlechter ab als im PISA-Test**.
Will man das **EU-Zwei-Grad-Ziel** erreichen, muss der **Pro-Kopf-Ausstoß an CO_2 bis 2050 auf unter zwei Tonnen jährlich sinken**. Für Deutschland bedeutet dies eine Reduktion um mehr als 80 Prozent. Ein anspruchsvolles Ziel! Wer einen durchschnittlichen deutschen Neuwagen fährt, dem entweichen bei jährlich 12.000 km die angestrebten zwei Tonnen allein aus dem Auspuff.

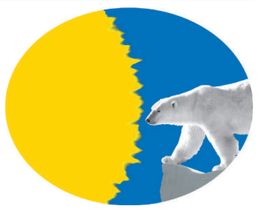


Ehrgeizige Pläne

Die **EU** will mit dem **Ziel „20-20-20-bis 2020"** den Ausstoß von Treibhausgasen bis zum Jahr 2020 im Vergleich zu 1990 um 20 % senken. 30 % sind angestrebt, falls andere Staaten mitziehen. Die Energieeffizienz soll um 20 % zunehmen. Regenerative Energie sollen 20% des Primärenergie-Verbrauches ausmachen und Biokraftstoffe 10 % des Spritverbrauchs. **Deutschland** will bis 2020 sogar um **40 %** reduzieren. Noch ambitionierter zeigt sich **Costa Rica**: Das mittelamerikanische Land will **2020 das erste Land mit Null CO_2-Emissionen** sein.

Fazit:

Die **Erderwärmung** ist, um gravierende Schäden zu vermeiden, **auf zwei Grad** gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu **begrenzen**. Der **CO_2-Ausstoß muss** dafür **bis 2050** weltweit **um 50 bis 85%** und **in den Industriestaaten noch stärker reduziert werden**.

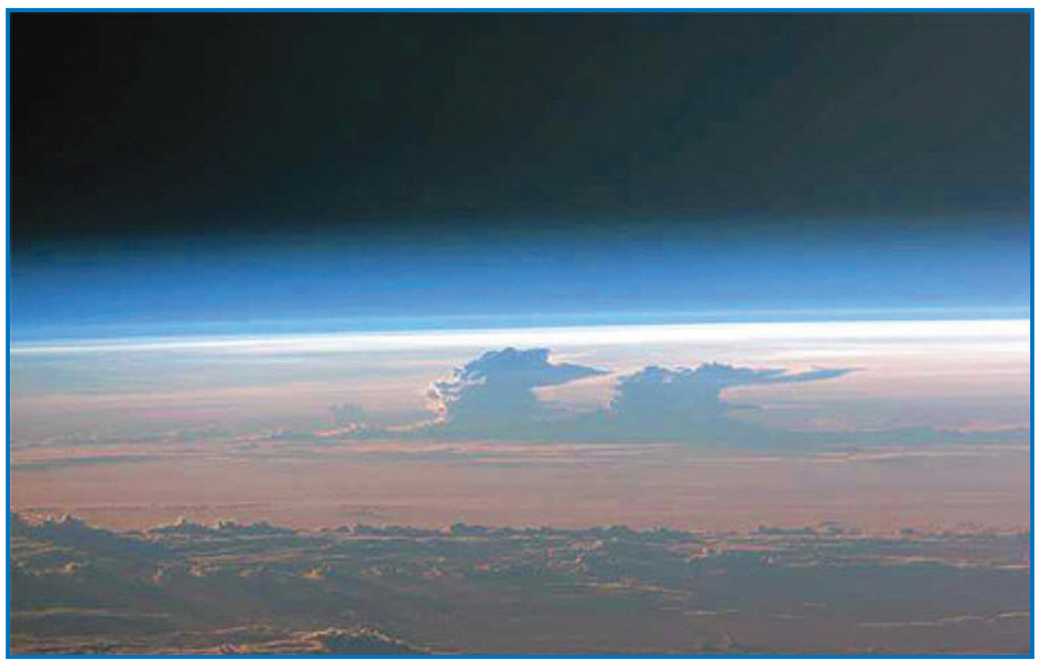


23 Globaler Erfolg

Ein erster Erfolg der globalen Umweltpolitik

Globale Herausforderungen

Wird die Menschheit es schaffen, ihren Ausstoß an Treibhausgasen drastisch auf ein Maß zu vermindern, das gefährliche Störungen des Klimas verhindert? **Schon einmal stand die Menschheit vor einer schweren Umweltkrise:**



Oberhalb der Troposhäre mit den Gewitterwolken liegt die Stratosphäre.

Das „Ozonloch“

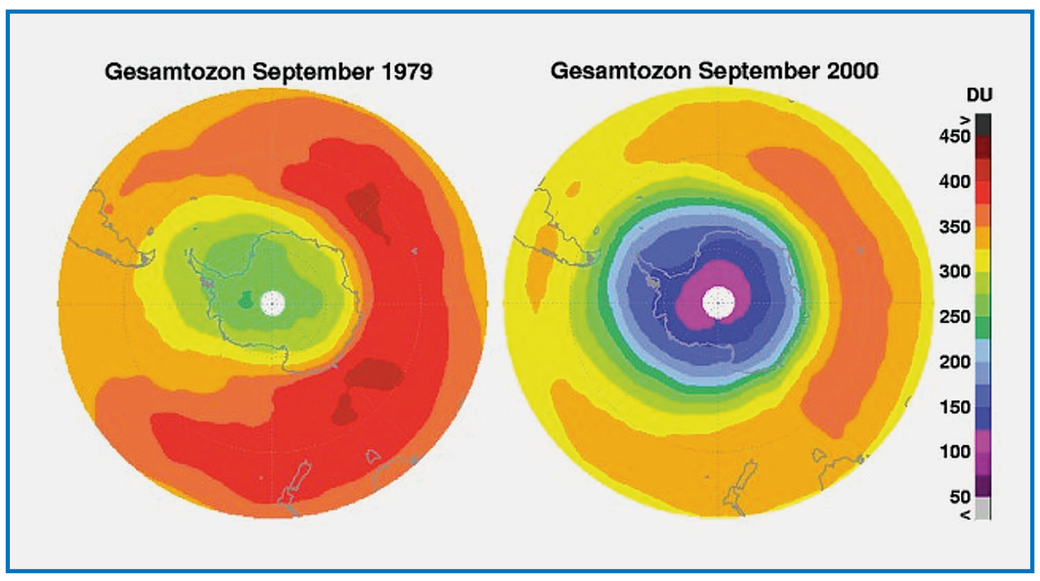


Abb.: Das Ozonloch über der Antarktis umfasst die in blauen und violetten Farbtönen dargestellten Gebiete.

Die **Stratosphäre** ist etwa in zwölf bis 50 km Höhe. Dort befindet sich **Ozon**, das alles Leben der Erde vor tödlichen Dosen an **UV-Strahlung** schützt. In den siebziger Jahren beobachtete man über der Antarktis erstmals, dass die Ozonkonzentration in der Stratosphäre zu Beginn jeden Frühjahrs immer deutlicher absank **(Ozonloch)**. Verantwortlich für den raschen Abbau von Ozon (O_3) zu Sauerstoff (O_2) sind **Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW)**, die ausschließlich durch den Menschen in die Atmosphäre gelangen. Sie dienten als Kühlmittel in Klimaanlagen und Kühlschränken sowie als Treibgas in Spraydosen und zur Herstellung von Styropor. Die FCKWs gelangen bis zur Stratosphäre. Dort entstehen aus ihnen schließlich im Frühling, vor allem über der Antarktis, **ozonzerstörende Radikale**, z.B. Chloratome. Ein einziges Cl-Atom kann 100.000 Ozonmoleküle zerstören, bevor es in einer Reaktion mit einem anderen Molekül unschädlich wird. U. a. wegen des Luftaustausches mit der Antarktis **dünnt die Ozonschicht** in den mittleren Breiten, also auch **bei uns, um zwei bis sieben Prozent pro Jahrzehnt** aus. Folgen sind vermehrte Fälle von Hautkrebs und Grauem Star. Überdies verringert eine hohe UV-Strahlung die Ernteerträge.

Es geht doch!

Der **Ausstoß ozonabbauender Stoffe betrug im Jahr 2004 noch etwa ein Fünftel des Niveaus von 1990**. Wissenschaftler sind optimistisch, dass die Ozonschicht in 50 Jahren wieder ihre ursprüngliche Stärke haben könnte. Dabei sah es lange danach aus, als sei das globale Ozon-Problem kaum zu lösen. Als Wissenschaftler die Zusammenhänge endgültig beweisen konnten, verpflichteten sich die Regierungen der Welt im **Protokoll von Montreal 1987** zaghaft dazu, auf die ozonschädigenden Chemikalien schrittweise zu verzichten. Wissenschaftler sprachen von einer „Sterbehilfe für die Ozonschicht“. 1990 und 1992 wurde das Protokoll jedoch zweimal verschärft. Ein „multinationaler Fonds zum Schutz der Ozonschicht“ wurde eingerichtet, der Entwicklungsländern bei der Umstellung der Produktion half. Firmen, die zeitig auf FCKW-freie Produkte umgestellt hatten, konnten ihre Marktposition ausbauen, neue FCKW-freie Verfahren erwiesen sich oft sogar als wirtschaftlicher. **Ohne Schutzabkommen** hätten bis zum Jahr 2050 die mittleren Breiten der Nordhalbkugel **die Hälfte ihres UV-Schutzes verloren.**

Klappt es auch dieses Mal?

Anders als der Schutz der Ozonschicht **betrifft Klimaschutz unsere gesamte bisherige Wirtschaftsweise**, die auf dem **Verbrennen fossiler Energieträger** gründet. Das 1997 beschlossene und 2005 endlich in Kraft getretene **Kyoto-Protokoll** ist die **erste völkerrechtlich verbindliche Vereinbarung zur Reduktion von Treibhausgasen**. 39 Industriestaaten haben eine **Reduktion** in der Periode von 2008 bis 2012 um **5,2%** gegenüber dem Stichjahr 1990 vereinbart. Doch Klimaschutz ist so nicht zu erreichen. Die Verhandlungen für ein **Folgeabkommen** haben im Dezember 2007 auf der indonesischen Insel **Bali** begonnen. Nur substanzielle Ergebnisse können das Problem der Erderwärmung lösen.

Fazit:

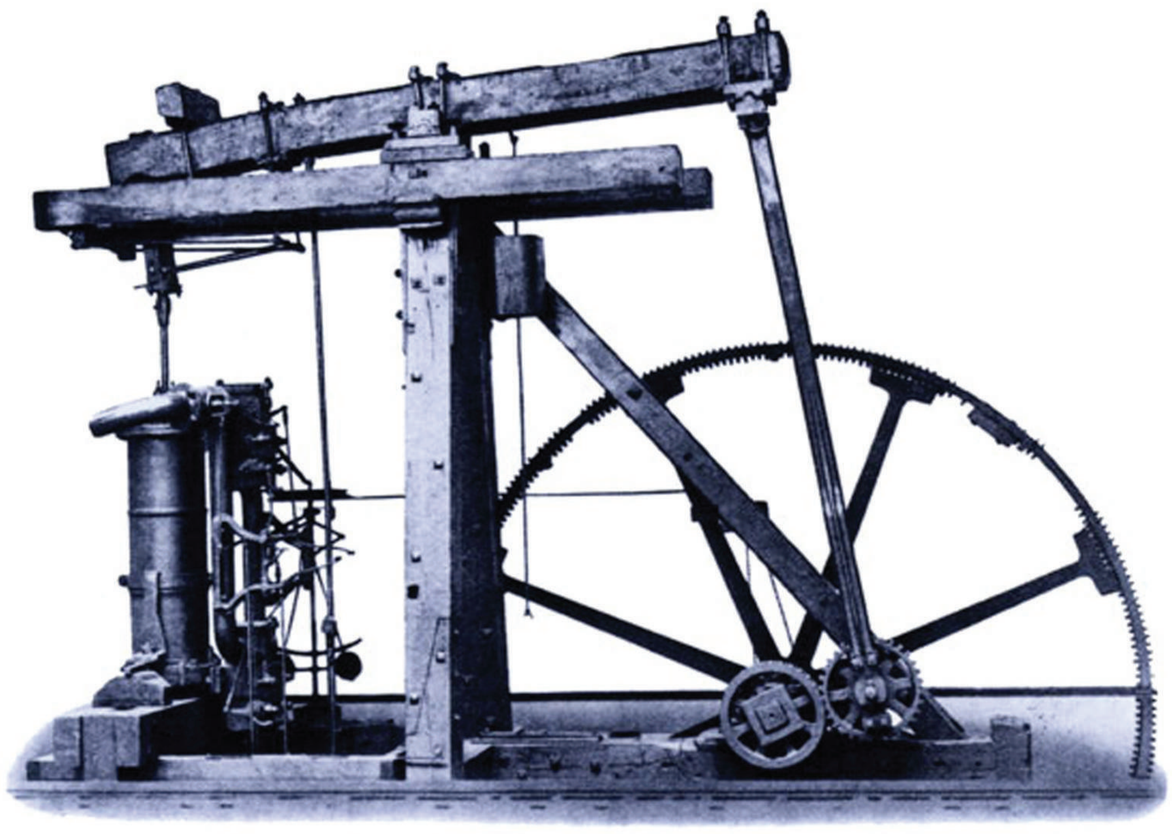
Entschlossenes internationales Handeln hat das **Problem des „Ozonlochs“ entschärft**. Ein solches entschlossenes Handeln steht bei der Lösung des Klimaproblems noch aus.



24 Eine neue Revolution

Wir brauchen eine neue industrielle Revolution!

Betrachten Sie die ausgestellte Dampfmaschine!



Dampfmaschine von James Watt aus dem Jahr 1788.
Die Weiterentwicklung der Dampfmaschine durch James Watt kann als Beginn der industriellen Revolution angesehen werden. Zugleich war dies der Startschuss für die massenhafte Verbrennung fossiler Rohstoffe.

Eine neue industrielle Revolution

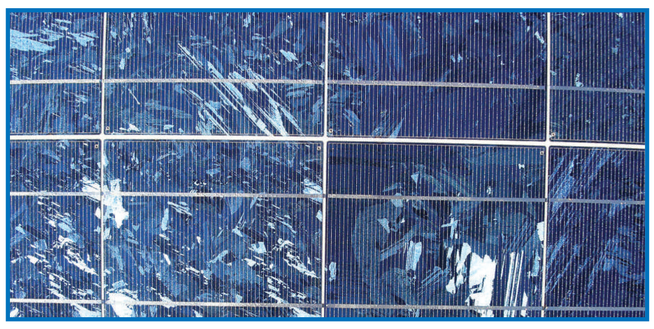
Um einen extremen Klimawandel zu vermeiden, brauchen wir erneut eine **industrielle Revolution, dieses Mal in Richtung Nachhaltigkeit** mit den folgenden Optionen:

- Erhöhung der **Energieeffizienz** von Produkten und Prozessen (Station 26 und folgende)
- Umsteigen auf **kohlenstoffärmere fossile Energien**, z. B. von Kohle auf Erdgas sowie CO_2-Abscheidung (Station 36)
- Umsteigen auf **Erneuerbare Energien**, z. B. Sonnenenergie, dabei entsteht wenig / kein CO_2 (Station 37 u. 38)
- Reduktionen bei anderen Treibhausgasen (Methan, Lachgas, Halogenkohlenwasserstoffe, Ozon) im Sinne einer **Multi-Gas-Strategie**

Anschub durch die öffentliche Hand

Damit die neue industrielle Revolution in die Gänge kommt, muss die öffentliche Hand die richtigen **Rahmenbedingungen** setzen: „**Auflagen**, die von langfristig katastrophalen Investitionsentscheidungen, z. B. Kohlekraftwerken, weglenken, und **Anreize**, die das verfügbare Kapital in Nachhaltigkeit fördernde Unternehmungen, z. B. Windräder, locken“ (Schellnhuber).

Das Zauberwort heißt „**Induzierter Technologiewandel**“. Denn die Innovationsdynamik der Industrie recht bei weitem nicht, um „von allein“, d. h. allein auf Marktkräften beruhend, Klimaschutz zu gewährleisten. **Das heutige Weltenergiesystem befindet sich in einem „Suboptimum“**, so, wie ein Schlitten in einer Kuhle festsitzt, die nur durch einen kleinen Hang vom Tal (dem „Optimum“) getrennt ist. Mit wenig Anstrengung kann man den Schlitten über die Böschung schieben, danach setzt sich das Gefährt von selbst in rasante Bewegung. Genau diesen **Schubs durch die Öffentliche Hand** braucht die **Energiewende zur Nachhaltigkeit**. Dadurch werden Klimaschutztechniken effizienter und damit preiswerter, bis sie sich schließlich gegen alte Techniken behaupten können und der Markt die Entwicklung von selbst weiter treibt.



Die Solarzelle könnte zum Symbol für die neue industrielle Revolution werden. Foto: Bareis

Die Weichen richtig stellen

Es geht dabei um gewaltige Investitionssummen: Allein für die Energieinfrastruktur stehen bis 2030 laut IPCC weltweite Investitionen in Höhe von 20 Billionen US-Dollar an. Die Entscheidungen darüber, in welche Technologien das Geld investiert wird, werden langfristige Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen haben.
Um den Fortschritt einzuleiten, darf die Atmosphäre nicht weiter kostenlos genutzt werden. **Kohlendioxid muss einen Preis in der Größenordnung von 50 Euro pro Tonne bekommen.**

Jobmotor Umweltschutz

Die neue industrielle Revolution wird zum Jobmotor mit Hunderttausenden neuen Arbeitsplätzen. 2020 wird die Umwelttechnik nach Aussage der Unternehmensberatung Roland Berger in Deutschland mehr Mitarbeiter ernähren als der Maschinenbau oder die Autoindustrie.

Fazit:

Klimaschutz bedarf einer neuen industriellen Revolution in Richtung Nachhaltigkeit, die die Energieeffizienz erhöht und erneuerbare Energien verbreitet. Die Staatengemeinschaft muss diese Entwicklung durch Auflagen und Anreize, etwa den Emissionshandel, anschieben.

25 Mit Luft handeln

Der Emissionshandel

Ein unlösbares Problem?

Wächst die Weltwirtschaft um drei Prozent pro Jahr, wird sich das **Weltsozialprodukt innerhalb des 21. Jahrhunderts verzwanzigfachen**. Wie soll da ein weltweites Abkommen zu erreichen sein, das den Ausstoß an Treibhausgasen auf einen klimaverträglichen Bruchteil des heutigen Werts reduziert?

Emissionshandel

Lutz Wicke hat das Konzept **Kyoto Plus** entwickelt, mit dem das schier unmöglich Erscheinende zu schaffen sein könnte. Kern des Konzepts ist die Schaffung eines weltweiten Emissionshandels.

Die Idee des **Emissionshandels** ist schon älter: Wer Treibhausgase ausstößt, soll dafür an einer Börse Emissionsrechte erwerben müssen. Wie viele Emissionsrechte zur Verfügung stehen, legt der Staat fest. Jedes Unternehmen rechnet, ob der Erwerb von Emissionsrechten oder die Reduktion von Emissionen billiger ist. So werden die rentabelsten Investitionen zur Erreichung des vorgegebenen Reduktionsziels verwirklicht.

Es gibt bereits einen **EU-weiten Emissionshandel**, der jedoch nur Großemittenten (Kraftwerksbetreiber, Stahlindustrie etc.) umfasst und noch in den Kinderschuhen steckt.

Das Konzept Kyoto Plus

Weltweiter Emissionshandel wäre wünschenswert, ist aber schwierig umzusetzen, u. a., weil sich die Entwicklungsländer dadurch in ihrer Entwicklung beschränkt sehen. Das Konzept **Kyoto Plus** könnte eine Lösung sein. Es beruht auf **vier Kernelementen:**

- Der globale Klimagasausstoß wird mit einer internationalen Vereinbarung begrenzt und nach und nach auf ein erträgliches Maß reduziert.
- Jeder Staat erhält **pro Bewohner gleich hohe Emissionsrechte**, die sich von Jahr zu Jahr verringern. Dahinter steckt der Gedanke, dass jeder Mensch den gleich großen Anspruch auf die Belastung der Atmosphäre hat.
- **Staaten, die mehr Treibhausgase ausstoßen, kaufen sich Emissionsrechte von den Staaten, die wenig emittieren**, also den Entwicklungsländern. Diese müssen die Einnahmen für nachhaltige Entwicklung verwenden. Ähnlich wie nach dem zweiten Weltkrieg beim Marshall-Plan entsteht so in den Entwicklungsländern Wohlstand, wovon auch die reichen Länder profitieren können.
- National müssen alle Unternehmen Emissionsrechte kaufen, die fossile Energien fördern oder importieren. Da der Kreis dieser Unternehmen überschaubar ist, lässt sich so der gesamte CO_2-Ausstoß eines Staates einschließlich des Kleingewerbes und der Verbraucher mit überschaubarem Aufwand steuern.

Auswirkungen von Kyoto Plus wären:

- **Weltweit** entstehen für alle Konsumenten und Unternehmen finanzielle **Anreize zum klimafreundlichen Verhalten** (das bisherige Kyoto-Abkommen erfasst nur Industrieländer)
- Es entstehen Anreize zum **globalen Umstieg auf eine nachhaltige**, d. h. dauerhaft sichere, klimaverträgliche und bezahlbare **Energieversorgung**.

Fazit:

Der Klimaschutz erfordert: **Kohlenstoffdioxid muss einen Preis bekommen. Emissionshandel** reduziert Treibhausgas-Emissionen kostengünstig auf ein vorgegebenes Maß. Das Konzept von **Kyoto Plus** ermöglicht einen globalen Emissionshandel.



26 Energieeffiziente Produkte

Berühren Sie den ausgestellten Wecker! Was spüren Sie?

Energieverbrauch und Lebensqualität

Viele Leute glauben, dass ein Leben mit geringerem Energieverbrauch einen Verlust an Lebensqualität bedeutet. Dies wäre vielleicht dann der Fall, wenn wir die Energie ausschließlich dazu nutzten, um besser zu leben. Doch bisher heizen wir mit dem größten Teil der Energie lediglich die Umwelt auf. Die Schadstoffe, die wir dabei freisetzen, verstärken den Klimawandel und **schmälern** unsere Lebensqualität.

Die Energieeffizienz erhöhen

In alten Kohlekraftwerken wird nur ein Drittel der eingesetzten **Primärenergie** genutzt, um die **Sekundärenergie Strom** zu gewinnen, der Rest ist **Abwärme**. Wenn wir elektrische Energie zum Beleuchten verwenden, geht die Vergeudung oft gerade so weiter: 90 Prozent der elektrischen Energie, die Glühlampen aufnehmen, wandeln sie in Wärme um, nur zehn Prozent dienen der Beleuchtung. **Glühlampen** sind somit nichts anderes als **Heizstrahler, die nebenbei noch ein wenig Licht abgeben**: Nur etwa fünf Prozent der Primärenergie werden dem eigentlichen Zweck zugeführt (Station 27). Nicht anders sieht es beim ausgestellten Wecker aus.
Etwa **85 Prozent der in der Weltwirtschaft eingesetzten Energie dienen nicht ihrem eigentlichen Zweck**, sondern „verpuffen“ ungenutzt als Abwärme. Der Gedanke liegt nahe, die hohen Energieverluste zu verringern. Genau das versteht man unter der **„Erhöhung der Energieeffizienz“**. Gewinner sind dabei das Klima, die Umwelt und oft sogar der Geldbeutel. Die besten Haushaltsgeräte haben häufig weniger als die Hälfte des Verbrauchs von Altgeräten – bei oft sogar erhöhtem Komfort (vgl. Abb.).

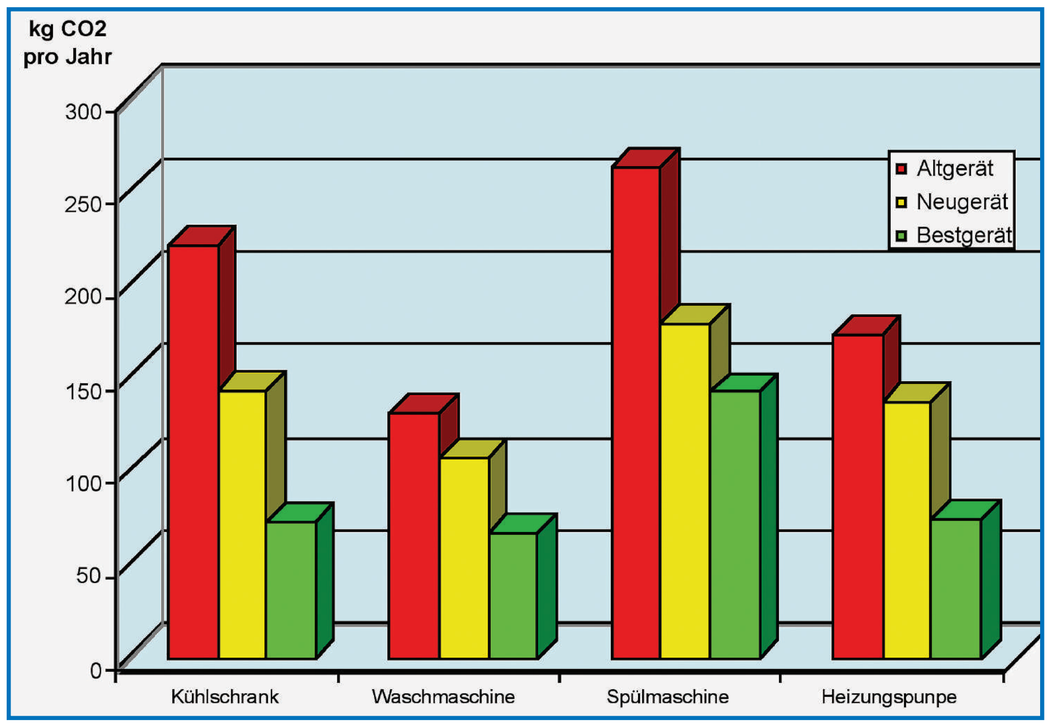


Abb.: Jährlicher CO_2-Ausstoß von Alt-, Neu- und Bestgeräten in einem Zwei-Personen-Haushalt. (Nach Deutscher Bundestag, verändert).

Negawatt statt Megawatt

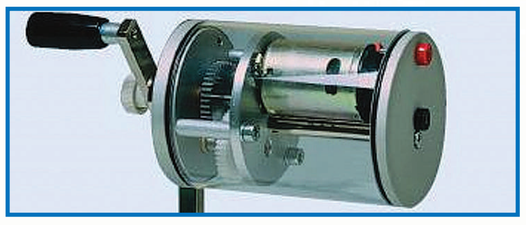
Investitionen in erhöhte Energieeffizienz ersparen den Neubau von Kraftwerken. Oft sind die Investitionen in solche „Negawatts“ viel günstiger als die Bereitstellung zusätzlicher Megawatts. Beispiele für mehr Energieeffizienz behandeln die folgenden Stationen.

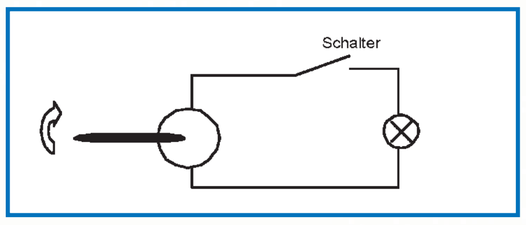
Fazit:

Verbesserte Energieeffizienz schützt das Klima und die Umwelt, erhöht die Lebensqualität und spart oftmals Kosten.

27 Das Beispiel Licht

Legen Sie selbst Hand an! Erfahren Sie, wie viel Energie eine Lampe braucht!





1. Schritt: Stellen Sie den Schalter des Stromkreises auf 0. Drehen Sie dann an der Kurbel des Dynamos. Die Lampe darf hierbei nicht aufleuchten.
2. Schritt: Schließen sie den Schalter des Stromkreises, sodass er auf I steht. Ist die Kurbel jetzt noch genauso leicht zu bewegen?

Die Vorteile der Energiesparlampe

Die Energiesparlampe ist eine gebogene Leuchtstoffröhre. Ihre Anschaffung lohnt sich trotz des höheren Preises, denn sie bietet wesentliche **Vorteile**:

- Sie braucht **für die gleiche Lichtstärke nur etwa ein Fünftel der Energie** von Glühlampen und verringert dadurch den CO_2-Ausstoß.
- Sie hat eine höhere Lebensdauer.

Energiesparlampen enthalten Spuren von Quecksilber sowie recyclingfähigen Leuchtstoff. Deshalb Altlampen bitte an **Sammelstellen als Sondermüll abgeben!**
Glühlampen haben übrigens in der Ökobilanz einen mehr als doppelt so hohen Quecksilber-Ausstoß.

Wissenswertes über Energiesparlampen

- Energiesparlampen gibt es in vielen Farbtönen von kühl bis warm.
- Heutige Energiesparlampen brauchen beim Einschalten für die Zündung nur noch den Energiebedarf von fünf Sekunden im normalen Betrieb.
- Die Lebensdauer aktueller Modelle ist weit weniger von der Schalthäufigkeit abhängig als bei älteren Modellen.
- Empfehlenswerte Energiesparlampen finden Sie unter www.ecotopten.



Energiesparlampen haben auch Nachteile

- Sparlampen leuchten nach dem Einschalten nicht sofort mit voller Helligkeit.
- Ihre Farbwiedergabe ist - verstärkt bei älteren und billigeren Modellen – schlechter als die einer Glühlampe, was manche Farbtöne verfälscht.

Kostenvergleich Glühlampen – Energiesparlampen

Für eine Beispielrechnung seien die Lampen pro Jahr 1000 Stunden angeschaltet, was knapp drei Stunden pro Tag entspricht. Die Kilowattstunde (kWh) Strom berechnen wir zu 20 Cent. 1 kWh sorgt beim deutschen Kraftwerksmix für einen Ausstoß von ca. 600 g CO_2.

Lampe:	Leistung	Anschaffungskosten	Stromkosten in zehn Jahren	Gesamtkosten	CO_2-Ausstoß
Energiesparlampe	11 W	1 x 10.- € = 10.- €	10.000 x 0,011KWh x 0,20 €/KWh = 22.- €	**32.- €**	**66 kg**
Glühlampe	60 W	10 x 0,50 € = 5.- €	10.000 x 0,060 KWh x 0,20 €/KWh = 120.- €	**125.- €**	**360 kg**

Fazit:

Schon **mit einer einzigen Energiesparlampe** kann man **in zehn Jahren hundert Euro sparen und 300 kg CO_2** vermeiden. Es zeigt sich: Für die tatsächlichen Kosten eines Produkts muss man zum Kaufpreis stets die Betriebskosten hinzurechnen. Diese können im Laufe der Nutzungsdauer die Anschaffungskosten bei weitem übersteigen. Vermeintliche **Schnäppchen** entpuppen sich dabei häufig **als klimaschädigende Kostentreiber**.

28 Good bye Stand-by



Stromdiebstahl

Tagtäglich findet in Millionen von Haushalten und Büros ein gigantischer Stromdiebstahl statt. **Drei Typen von Stromdieben sind am Werk**:

- Geräte, die nach dem Betrieb in einen Bereitschaftsmodus („Stand-by“) übergehen, um bei Bedarf schneller wieder in Betrieb genommen werden zu können, z. B. Fernseher, Videorekorder und Stereoanlagen.
- Geräte, die trotz scheinbar ausgeschaltetem Hauptschalter weiter Strom aus dem Netz ziehen, z. B. viele EDV-Geräte und Geräte der Unterhaltungselektronik, auch Satellitenempfänger und Dimmer mit Fernbedienung.
- Geräte, die überhaupt keinen Ausschaltknopf besitzen. Sie ziehen Strom, so lange sie in der Steckdose eingesteckt sind, z.B. Anrufbeantworter und die meisten Steckernetzteile.

Diese Energieverschwendung bezeichnet man als **Leerlauf-** oder **Stand-by-Verlust**.

Was kosten die Stand-by-Verluste?

Jedes Watt Stand-by-Leistung im Dauerbetrieb kostet Sie jährlich etwa 1,70 Euro. Die Leerlaufverluste belaufen sich im durchschnittlichen Haushalt auf ca. 90 Euro jährlich (vgl. Tabelle). Dadurch werden über 250 kg CO_2 ausgestoßen.

	Leistung im Stand-by Modus in W	Stand-by-Zeit pro Tag in Std.	Kosten pro Jahr in Euro
TV neu	1	20	1,34
TV alt	10	20	13,40
Video	6	23	9,23
Hifi-Anlage	20	20	26,80
3 Radios	6	20	8,04
PC	5	20	6,70
Monitor	5	20	6,70
Drucker	6	23	9,23
Mobiltelefone (Ladegerät)	2	24	3,20
Telefon (schnurlos)	3	23	4,62
Anrufbeantworter	3	24	4,82
Gesamtkosten pro Jahr			**94,08**

In ganz Deutschland summieren sich die Leerlaufverluste auf rund 22 Milliarden kWh – mehr als die Städte Berlin und Hamburg zusammen an Strom verbrauchen.

Good bye Stand-by

Es gibt zwei Möglichkeiten, den Stromdiebstahl zu beenden:

- Am einfachsten ist es, den Stecker aus der Steckdose zu ziehen.
- Bequemer ist die Anschaffung einer **Steckdosenleiste mit eingebautem Netzschalter.** Mit ihr kann man die Stromdiebe komplett vom Netz trennen.

Fazit:

Viele Geräte verbrauchen Strom, auch wenn sie vermeintlich ausgeschaltet sind. Mit einer schaltbaren Steckdosenleiste kann man diese Kosten leicht einsparen. Achten Sie beim Gerätekauf auf den Leerlaufverlust!



29 Intelligent wohnen

Versuch

Sie sehen zwei Behälter, die zur gleichen Zeit mit Eis befüllt wurden. Einer der beiden Behälter ist wärmegedämmt. Vergleichen Sie!

Heizt Du noch oder wohnst Du schon?





Das Traumhaus der Zukunft
- hat eine behagliche und gesunde Wohnatmosphäre
- hat einen am Lauf der Sonne orientierten Bauplan
- hat eine hervorragend wärmegedämmte Gebäudehülle
- hat keine Heizung und ist im Betrieb emissionsfrei
- erzeugt mehr Energie als seine Bewohner verbrauchen.

Das Plusenergiehaus-Konzept

Der Solar-Architekt Rolf Disch hat diesen Traum verwirklicht. Die Freiburger **Solarsiedlung** am Schlierberg mit 60 Plusenergiehäusern erhielt zahlreiche Preise. Die behaglichen Häuser erzeugen als Solarkraftwerke mehr Energie als ihre Bewohner verbrauchen.
Mit der Uhlandschule in Stuttgart-Zuffenhausen soll erstmals in Deutschland eine bestehende Schule zu einer **Plusenergie-Schule** umgebaut werden.

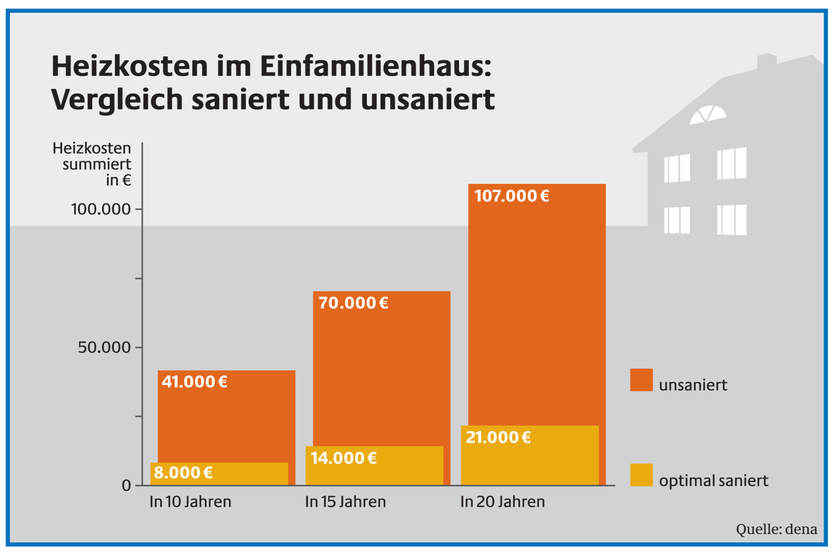
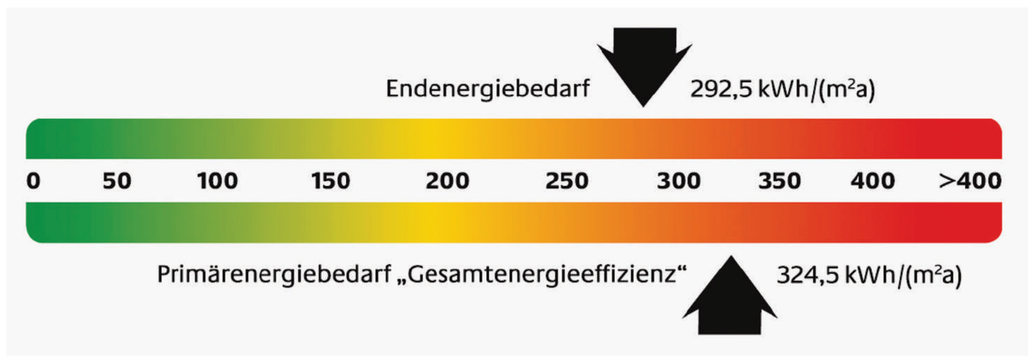


Abb.: Heizkosten für eine vierköpfige Familie in einem typischen Einfamilienhaus von 1970 mit 150 Quadratmetern Wohnfläche. Der Energieverbrauch liegt bei 4.500 Liter Öl pro Jahr, die Heizkosten betragen 2008 gut 3.200 Euro. Eine umfassende energieeffiziente Sanierung für rund 60.000 Euro verwandelt das Gebäude in ein modernes Niedrigenergiehaus und senkt den Energieverbrauch auf rund 900 Liter Öl bzw. 650 Euro pro Jahr.

Altbauten energetisch modernisieren

Gebäude erzeugen in Deutschland fast 20% aller Kohlendioxidemissionen. Die **Heizkosten** haben sich **in den letzten zehn Jahren** im Durchschnitt **fast verdoppelt**. Wer einem alten, unsanierten Eigenheim **moderne Heizungstechnik, dichte Fenster** und eine **gute Dämmung** der Außenwände, des Kellers und des Dachraums spendiert, kann seinen **Energieverbrauch um durchschnittlich 80 Prozent senken** und betreibt aktiv **Klimaschutz**. Wer nicht saniert, verheizt langfristig sein Geld. Neutrale, kompetente und preiswerte Beratung findet man vielerorts, in Stuttgart etwa im **Energieberatungszentrum**.

Der Energieausweis



Die Bundesregierung hat 2007 die Einführung eines Energieausweises für Wohngebäude beschlossen. Sein Herzstück ist die Farbskala: Beim Bedarfsausweis gibt der obere Pfeil Auskunft über den Endenergiebedarf (Heizöl, Gas, Strom, erneuerbare Energien etc.), der untere über den Primärenergiebedarf. Dieser beinhaltet zusätzlich auch die sog. "Vorkette" (Erkundung, Gewinnung, Verteilung, Umwandlung) der jeweils eingesetzten Energieträger und gibt die "Gesamtenergieeffizienz" des Gebäudes an.

Fazit:

Plusenergiehäuser verknüpfen optimalen Klimaschutz mit einem Höchstmaß an Komfort. In der **Sanierung von Altbauten**, wenigstens auf Niedrig-Energiehaus-Standard, steckt ein hohes Potenzial an Klimaschutz.

30 Intelligent konsumieren

Klimafalle Konsum

Rechnerisch setzt jeder Deutsche pro Jahr zehn Tonnen Kohlendioxid frei. Der Verbrauch an Wärme und Strom, Flugreisen und die Benutzung des Pkws sind allseits bekannte Quellen des Klimagases. Nur wenigen ist bewusst, dass auch **Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung von Konsumgütern sowie Dienstleistungen** Energie erfordern, sogenannte **„Graue Energie“** und somit Kohlendioxid-Emissionen verursachen. Diese machen über die Hälfte der persönlichen CO_2-Bilanz aus. **Energiebilanzen** quantifizieren den gesamten Energieverbrauch eines Produkts in seinem Lebenszyklus (vgl. Tab.).

Äpfel aus Neuseeland:		**Erntefrische Äpfel aus Deutschland:**	
Energieverbrauch in kWh/kg		Energieverbrauch in kWh/kg	
Transport mit Schiff 20.000 km	2	Transport mit Lkw 300 km	0,54
Transport mit Lkw 500 km	0,9	Kühlung / Lagerung 2 Tage	0,0046
Kühlung / Lagerung 25 Tage	0,058	Energieaufwand Landwirtschaft	0,11
Energieaufwand Landwirtschaft	0,1		
Gesamtenergieeinsatz	**3,1**	**Gesamtenergieeinsatz**	**0,7**

Tab.: Energieeinsatz pro Kilogramm neuseeländische und deutsche Äpfel im Vergleich.

Müllberge

Der steigende Verbrauch an Konsumgütern verursacht obendrein riesige Mengen an **Haushaltsmüll**. In Europa sind es pro Jahr und Einwohner im Schnitt 500 kg, in Baden-Württemberg deutlich weniger (vgl. Abb.).
Im Müll stecken **Wertstoffe**, die durch **Recycling** in den Wirtschaftskreislauf zurückfließen können.
Auch Sie können die **Müllmenge reduzieren** indem Sie

- umweltverträgliche und langlebige Produkte einkaufen
- Mehrweg- und Nachfüllsysteme verwenden
- aufwendige Verpackungen vermeiden
- Hausmüll trennen

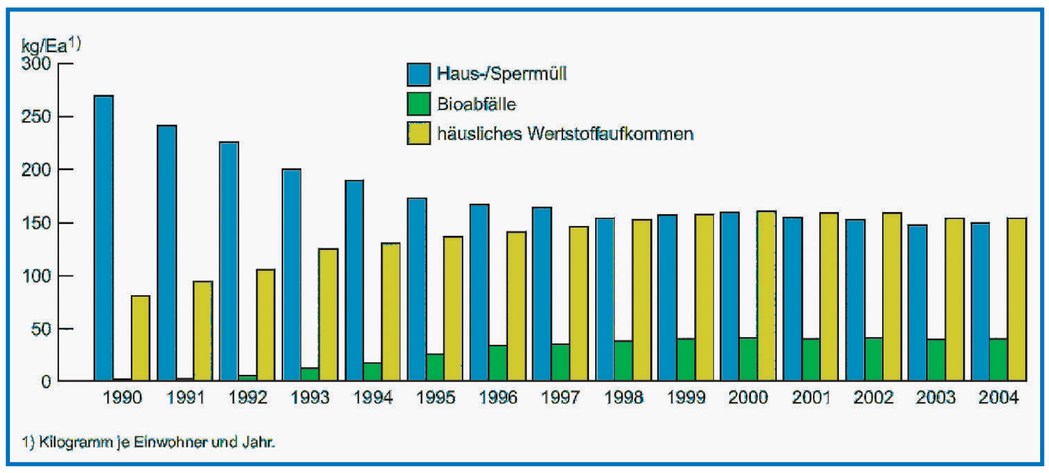


Abb.: Aufkommen an häuslichen Abfällen in Baden-Württemberg seit 1990



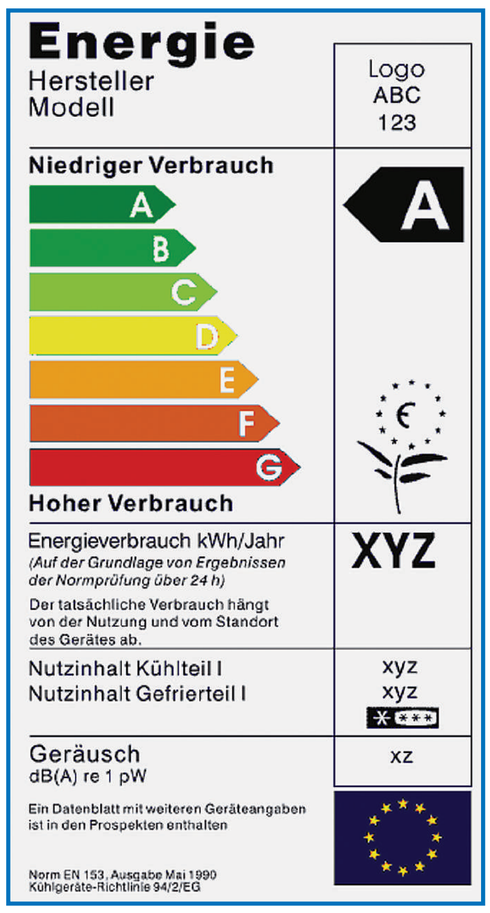
Fazit:

Die konsumierten Güter und Dienstleistungen belasten die Umwelt nicht nur durch ihren Verbrauch, sondern auch bei der Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung. Dem kann man entgegenwirken, in dem man z. B. Produkte aus der Region kauft und auf die Art der Verpackung achtet.



31 Intelligent einkaufen

Wenn es um Klimaschutz geht, fühlen sich viele Menschen machtlos. Doch gegen die **Einkaufsmacht der Verbraucher** kommt auf Dauer niemand an: Kein Unternehmen kann sich leisten, Produkte herzustellen, die der Kunde links liegen lässt. Die einst gefragten Mäntel aus Babyrobbenfell mag heute kaum noch jemand tragen. Es ist zu wünschen, dass in Zukunft klimaschädigende Produkte ebenso unverkäuflich werden! Voraussetzung hierfür ist, dass die Käufer beim Einkauf über die Klimawirkung von Produkten informiert werden. Hier ist der Gesetzgeber aufgefordert, für mehr Klarheit zu sorgen.



Kühlschränke, Waschmaschinen und Co. müssen mit dem **EU-Label** ausgezeichnet werden. Es gibt Auskunft darüber, wie energieeffizient ein Gerät arbeitet und nennt die wichtigsten technischen Daten - u. a. den Stromverbrauch in kWh pro Jahr. Das EU-Label teilt Haushaltsgroßgeräte – bisher noch nicht Geräte der Unterhaltungselektronik - in sieben **Energieeffizienzklassen - von A bis G** – ein (vgl. Abb.). Für besonders energieeffiziente **Kühl- und Gefriergeräte** wurden zusätzlich die Energieeffizienzklassen **A+ und A++** eingeführt.
Auch beim **Autokauf** sollte man auf den CO_2-Ausstoß achten, der in Zukunft deutlich sichtbar gekennzeichnet werden muss (Station 33).

Beispiele für weitere Eco-Labels:

Im Internet finden sich Produktvergleiche, die bei der Kaufentscheidung helfen.
Wir empfehlen die vom unabhängigen Öko-Institut in Freiburg betriebene Seite **www.ecotopten.de**. Für zehn Bereiche werden **"EcoTopTen-Produkte"** empfohlen. Sie haben

- eine hohe Qualität,
- ein gutes Preis-Leistungsverhältnis und
- sind allesamt ökologische Spitzenprodukte.



Außerdem werden die jährlichen Gesamtkosten angegeben, in die auch die Folgekosten einfließen. Den empfohlenen Produkten werden konventionelle Produkte gegenübergestellt.

Fazit:

Jeder Kunde entscheidet selbst, welche Produkte er kauft. **Energie- und Ökolabels** sowie Produktvergleiche im Internet, z. B. **www.ecotopten** helfen bei der Auswahl.



32 Über den Wolken...

grenzenlose Freiheit?

Fliegen hat Nebenwirkungen

Fliegen lässt die Welt zusammenrücken. Doch leider hat das Nebenwirkungen: **Aus den Triebwerken entweichen neben Kohlendioxid auch Wasserdampf, Stickoxide sowie Aerosole**, Partikel aus Ruß oder Schwefel. Stickoxide bewirken, dass **Ozon** entsteht, das bei den niedrigen Temperaturen in einer Flughöhe von 10 km den Treibhauseffekt in besonderem Maße verstärkt.
An den Aerosolen kann Wasserdampf aus den Abgasen oder aus mit Feuchtigkeit gesättigter Umgebungsluft kondensieren, es entstehen dadurch **Kondensstreifen** oder **hohe, fasrige Eiswolken**. Beide **verstärken den Treibhauseffekt** (Station 4). Um ein realistisches Bild vom Gesamtbeitrag des Flugverkehrs zur Klimaerwärmung zu bekommen, muss deshalb laut IPCC der reine CO_2-Ausstoß der Flugzeuge mit einem **Faktor von etwa 2,7** multipliziert werden. **Das Flugzeug ist somit das klimaschädlichste aller Verkehrsmittel** (vgl. Abb.).



Abb.: Die Klimawirkung einer Tonne CO_2. Quelle: Atmosfair

Die Emissionen eines Flugs nach New York

Die Emissionen für den **Hin- und Rückflug** einer Person nach **New York** in der Economy-Class entsprechen laut Atmosfair der Klimawirkung von etwa **3700 kg CO_2**. Der Rechner der Lufthansa gibt lediglich 1235 kg CO_2 an, er berücksichtigt nur den direkten CO_2-Ausstoß. Zum Vergleich: Die Jahresemission eines Inders beträgt im Mittel ca. 1 Tonne, die eines Deutschen ca. 12,4 Tonnen.

Das Reiseziel wird von der Wahl des Verkehrsmittels bestimmt

Das Fliegen macht's möglich: Wochenendtrip nach Barcelona statt Wanderwochenende auf der Alb. Untersuchungen zeigen: Menschen wenden in etwa die gleiche Zeit für das Zurücklegen von Strecken auf, unabhängig davon, ob sie dies per Fuß, Bahn, Auto oder Flugzeug tun. Die **CO_2-Bilanzen pro Reisestunde** unterscheiden sich dabei aber gewaltig.

Gewimmel am Himmel

Weltweit fliegen pro Jahr rund zwei Milliarden Passagiere, in Deutschland 150 Millionen. Sollte das gegenwärtige Wachstum bei den weltweiten **Passagierkilometern** anhalten, bedeutete dies eine **Verdoppelung alle zwölf Jahre**. Einem Sonderbericht des IPCC von 1999 zufolge betrug der Anteil des Flugverkehrs am vom Menschen verursachten Treibhauseffekt 1992 etwa 3,5 Prozent. Aktuelle Schätzungen kommen auf bis zu neun Prozent. Dabei sind noch keine fünf Prozent der Weltbevölkerung jemals in ihrem Leben geflogen.

Wolken am himmlischen Steuerparadies

Der Himmel - ein Steuerparadies: Ausgerechnet Kerosin, der Treibstoff für die klimaschädlichste Reiseart, ist bisher praktisch steuerfrei. Immerhin: Ab 2012 sollen alle Flüge, die in der EU beginnen oder enden, in den **Emissionshandel** einbezogen werden. Allerdings sollen 90 Prozent der Emissionsrechte verschenkt werden.

Ausbau des Stuttgarter Flughafens?

2006 wurden am Stuttgarter Flughafen erstmals mehr als zehn Millionen Fluggäste abgefertigt. Über eine zweite Start- und Landebahn wird heftig diskutiert, diese soll 2020 die Abfertigung von 17,3 Millionen Passagieren ermöglichen. Aus der Sicht des Klimaschutzes ist ein **Ausbau abzulehnen**.

Fazit / Tipps:

- Beachten Sie bitte: Das Flugzeug ist das klimaschädlichste aller Verkehrsmittel
- Vermeiden Sie Kurzstreckenflüge, nutzen Sie stattdessen besser die Bahn.
- Wenn Sie das Fliegen nicht vermeiden können, stellen Sie Ihren Flug z. B. bei Atmosfair „klimaneutral".

33 Grüne Welle für Autos?

Emissionen der Neuwagen begrenzen

Der **Anteil des Verkehrs an den CO_2-Emissionen** ist beträchtlich, **in Baden-Württemberg** liegt er bei **30%**. **Fährt man mit einem geländegängigen SUV**, der pro km 380 g CO_2 ausstößt, **im Jahr 27.000 km, erreicht man den deutschen Pro-Kopf-CO_2-Ausstoß von 10 t bereits durch das Autofahren**.

Die EU plant eine **Emissionsrichtlinie**, wonach der durchschnittliche **Ausstoß** von Neuwagen **bis 2012 auf 120 g CO_2 pro km sinken** muss. Dies entspricht einem Verbrauch von **5,8 Litern Benzin bzw. 5,1 Litern Diesel auf 100 km**. Die Autobauer hatten sich zu diesem Ziel eigentlich schon 1998 in einer freiwilligen Selbstverpflichtung bekannt. Dennoch versuchen sie mit intensiver **Lobbyarbeit** dieses Ziel zu verwässern: Das EU-Parlament sprach sich für 125 g CO_2 als Obergrenze aus, die zudem erst ab 2015 gültig sein soll.

Manche Autozulieferer sehen in der Emissionsrichtlinie dagegen die **Chance für neue Märkte und Arbeitsplätze**. Nach Berechnungen der EU machen die Vorgaben Neuwagen um durchschnittlich 1300 Euro teurer, die Spritkosten über die Lebensdauer des Fahrzeugs sinken aber mit 2700 Euro um mehr als das Doppelte.

Tempolimit?

Ein **Tempolimit** auf Autobahnen **verringert** die bei hohen Geschwindigkeiten hohen **Emissionen**. Der Verkehr fließt gleichmäßiger, **weniger Staus** und **Unfälle** sind die Folge. Zudem könnte ein Tempolimit die Emissionen fördernde **Aufrüstung der Pkw mit immer mehr PS stoppen**. Mittelfristig wird das Tempolimit wohl kommen, der Ruf der deutschen Klimapolitik wäre sonst beschädigt.

Steuern kommt von steuern

Die **Kfz-Steuer** wird sich in Zukunft statt am Hubraum **am Verbrauch orientieren**. Steueranreize, die in die falsche Richtung lenken:

- **Dienstwagen** kann man bisher auch bei noch so hohen Emissionen von der Steuer absetzen.
- Die **doppelte staatliche Förderung des Wohnens im Grünen** über die Eigenheimzulage und die Pendlerpauschale fördert neben den CO_2-Emissionen auch den Landschaftsverbrauch.

Verkehr verlagern und vermeiden

Kritischer Verkehrsexperten sagen es schon lange: **Wer Straßen sät, erntet Verkehr**. Die Fahrzeugzahl steigt an, Engpässe werden oft nur zur nächsten Schwachstelle verlagert. Eine **Citymaut** und die **konsequente Förderung des Nah- und Fahrradverkehrs** wären klimaverträglicher. **Intelligente Stadtplanung** kann dazu beitragen, dass Verkehr gar nicht erst entsteht.

Fazit:

Wie jeder selbst im Verkehr das Klima schützen kann

- Steigen Sie um auf **Busse, Bahnen,** das eigene **Rad** oder gehen Sie **zu Fuß**.
- Kaufen Sie nur ein Auto mit geringem CO_2-Ausstoß. Klimafreundliche Modelle finden Sie u. a. bei **www.ecotopten.de**. So fördern Sie die „Grüne Welle“ für Autos!
- Erhöhen Sie den **Reifendruck** um 0,2 bar über die Herstellerangabe. Ist er um 0,5 bar zu niedrig, nimmt der Spritverbrauch um 5% zu.
- **Fahren Sie niedertourig**, bei Tempo 30 im dritten, bei Tempo 50 im fünften Gang.
- Fahren Sie **auf der Autobahn Tempo 130 oder langsamer.**
- **Vermeiden Sie kurze Fahrten,** der Ausstoß pro km ist dort besonders hoch.



34 Radfahren...

Die neue Auto-Mobilität



Radwege in Stuttgart: oft noch holprig und im Nichts endend (Foto: Bareis)

Die neue Auto-Mobilität

Automobil sein bedeutet „selbst-beweglich“ sein. Immer mehr Menschen entdecken: **Der Mensch ist auto-mobil** auch ohne Automobil. Mobilität gelingt ohne immer teurer werdenden, das Klima schädigenden Treibstoff: zu Fuß oder mit dem Rad. Radfahren hat viele Vorteile:

- Radfahren ist zu praktisch 100% klimaneutral.
- Radfahren benötigt wenig Verkehrsfläche.
- Radfahren hält körperlich fit u. stärkt die Abwehrkräfte.
- Radfahren wirkt entspannend.

Vielerorts werden Radwegnetze ausgebaut, damit immer mehr Menschen aufs Rad umsteigen. Stuttgart will den Anteil des Radverkehrs von derzeit 7% langfristig auf 20% erhöhen.

Und wann werden Sie auto-mobil?

Viele würden gerne Radfahren, scheuen aber die Steigungen. Das ausgestellte Elektrorad hilft: Sogar völlig ohne Treten kommt man damit schon 40 km weit. Tankstelle ist jede Steckdose, die Ladezeit beträgt nur fünf Stunden.

Den öffentlichen Nah- und Fernverkehr nutzen

Doch auch wer nicht gerne Rad fährt, kann sich umweltfreundlich fortbewegen: Mit Bussen und Bahnen. In Stuttgart haben Linienbusse einen Kraftstoffverbrauch pro Fahrgast von drei Litern auf 100 km, der **Verbrauch von Stadtbahnen** beträgt umgerechnet sogar nur **1,5 Liter**. Stadtbahnen sparen ein Drittel des Fahrstroms dadurch ein, dass bis zur Hälfte der Bremsenergie zurück ins Stromnetz fließt.
Auch Fahrgemeinschaften schützen das Klima, Fahrpartner finden Sie z. B. im kostenlosen Internetangebot **„Pendlernetz Stuttgart“**.

Fazit:

- Radfahren hält fit, entspannt und hat Null CO_2-Emissionen.
- Auch die Nutzung von Bussen und Bahnen und die Bildung von Fahrgemeinschaften verringern CO_2-Emissionen.



35 Der Beitrag der Kommunen

Klimaschutz am Beispiel Stuttgarts

Der Gemeinderat hat 1994 beschlossen, die CO_2-Emissionen in Stuttgart zwischen 1990 und 2005 um 30% zu verringern. Bis 2000 haben diese jedoch nur um 5% abgenommen, seither tritt man auf der Stelle und es ist weniger die Anstrengung verschärft als das Ziel entschärft worden. Es lautet jetzt: „10% CO_2-Reduzierung bis 2010 gegenüber 2000“. Selbst um dieses Ziel zu erreichen, wird die Stadt mehr tun müssen. Zumal sie auf viele Emissionsquellen kaum Einfluss hat.

Das Amt für Umweltschutz hat **zehn Aufgabenfelder für den Klimaschutz** identifiziert, u. a.:

- Nachhaltige Stadtentwicklung
- Energiesparen und Energieeffizienz
- Umweltfreundliche Verkehrsentwicklung
- Beratung und Öffentlichkeitsarbeit



Lehrschwimmbad in Bad Cannstatt: Kondenswasser an den Scheiben deutet auf miserable Isolierung hin – Ein Fall für das Energie-Contracting? Foto: Bareis

Klimaschutz in der Stadtplanung

Der **Flächennutzungsplan 2010** gibt für die Stadtentwicklung das **Leitbild „urban, kompakt, grün“** und das **Leitziel „Innenentwicklung vor Außenentwicklung“** vor. Ein gesamtstädtisches **Verkehrsentwicklungskonzept** soll bis 2009 erarbeitet werden. Der Öffentliche Nahverkehr und Rad- und Fußgängerverkehr sind zu stärken.

Vermeidungsstrategien

Vermeidungsstrategien zielen darauf ab, einen gefährlichen Klimawandel zu vermeiden. Auf Stuttgart bezogen:

- Die **Energieeffizienz** bestehender städtischer Gebäude wird durch das **„Energiecontracting“** erhöht. Einmalig wurden 5,3 Millionen Euro in einen Fonds eingezahlt und für Energiesparmaßnahmen zur Verfügung gestellt. Eingesparte Energiekosten fließen solange in den Fonds zurück, bis die Investitionssumme gedeckt ist. Dadurch können laufend neue Projekte, bisher insgesamt über 215 Einzelprojekte im Umfang von acht Millionen Euro, finanziert werden.
- Auch an Stuttgarts **Schulen** kann durch bessere Dämmung Energie gespart werden. Der **Stromverbrauch** hat seit 1990 um 43% **zugenommen**. Stromfresser sind u. a. Computer und Schulküchen mit ihren Lüftungsanlagen. Durch klimabewusstes Verhalten lässt sich viel Wärmeenergie und Strom einsparen. Die Stadt plant ein Programm, das die **Schulen finanziell an den Einsparerfolgen beteiligt.**
- Ein städtisches **Energiesparprogramm** vergibt an Bürger **Zuschüsse für Energiesparmaßnahmen** an bestehenden Gebäuden.
- Investitionen in **Kraft-Wärme-Kopplung** und **Erneuerbare Energien**. Ab 2008 soll ein Viertel des städtischen Strombedarfs aus erneuerbaren Energiequellen fließen.

Anpassungsstrategien

Auch Stuttgart wird sich an den unvermeidlichen Teil des Klimawandels anpassen müssen (Station 9). Anpassung an **vermehrte Hitze- und Dürreperioden:**

- Erhalt der noch verbliebenen **Frischluftschneisen**
- **Begrünung** der Stadt (Dachbegrünungen, Bäume, Parks etc.)
- Förderung der Niederschlagsversickerung und Renaturierung von Flussläufen.
- Anpassung an zukünftig heftigere Starkniederschläge und erhöhte **Hochwassergefahr** vor allem am Neckar:
- Ausbau von Hochwasserrückhaltebecken und Abwasserkanälen
- Sicherung der Dämme am Neckar, die derzeit auf ein Hochwasser ausgelegt sind, wie es bei bisherigem Klima einmal in 200 Jahren zu erwarten wäre.

Fazit:

Kommunen sollten ihre **Anstrengungen im Klimaschutz und die hierfür eingesetzten Gelder vervielfachen. Klimaschutz muss in den Rathäusern zur Chefsache werden.**



36 Fossile Zukunft?

Fossile Energieträger

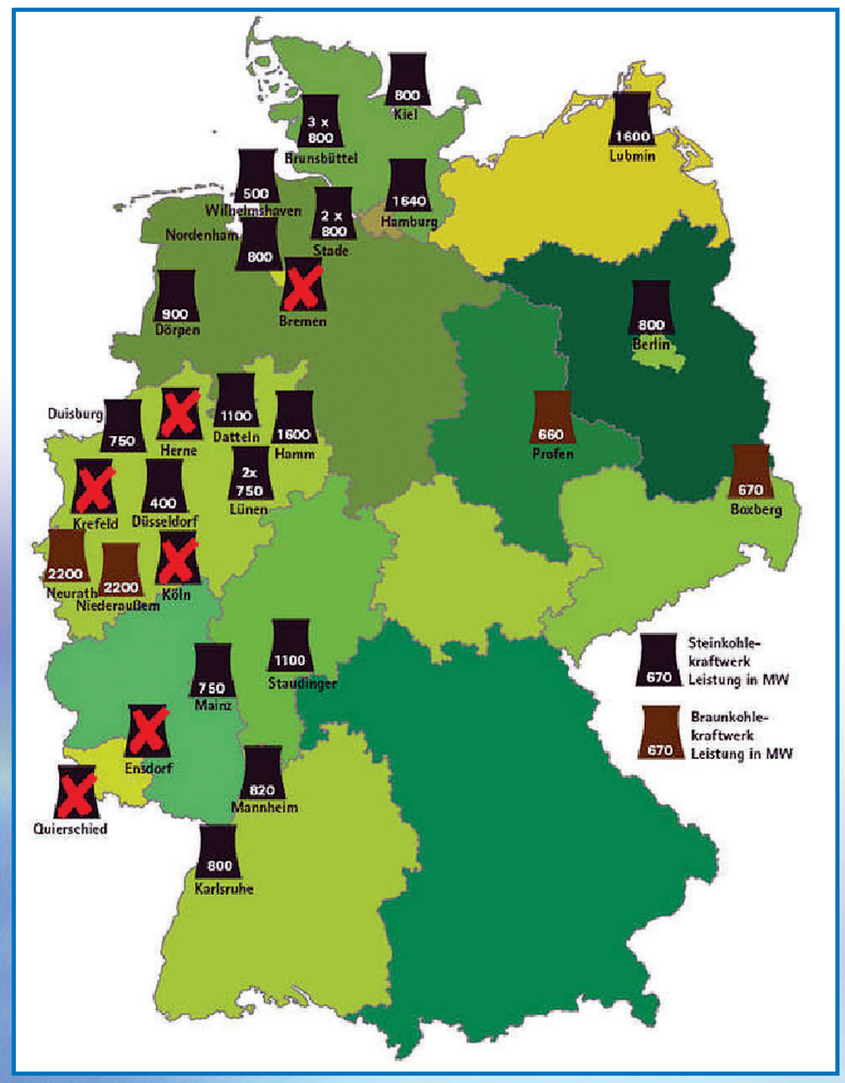
Indem wir die fossilen Brennstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas nutzen, entlassen wir weltweit **jährlich mehr als 25 Milliarden Tonnen CO_2** in die Atmosphäre, mit steigender Tendenz. Im Folgenden werden einige Wege aufgezeigt, den CO_2-Ausstoß bei fossilen Energien zu vermindern:

Kraft-Wärme Kopplung (KWK)

Wenn fossile Energie zur Stromerzeugung genutzt wird, entsteht zwangsläufig Abwärme, die häufig nur Luft und Flüsse aufheizt. In Blockheizkraftwerken und anderen Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung wird die Abwärme als **Fernwärme** fürs Heizen und die Warmwasserbereitung in Wohnungen genutzt. So steigt der Gesamtwirkungsgrad von ca. 34 auf 85 Prozent.

Umstieg auf CO_2-ärmere fossile Energien

Für die fossilen Energieträger gilt: **Pro Kilowattstunde** elektrischer Energie ist der **Ausstoß an Kohlendioxid bei Braunkohle und Steinkohle am höchsten**, er verringert sich bei Erdöl und ist bei Erdgas am niedrigsten (vgl. Abb.). Deshalb erscheint es bedenklich, dass in Deutschland derzeit über 20 neue Kohlekraftwerke geplant sind (vgl. Karte).



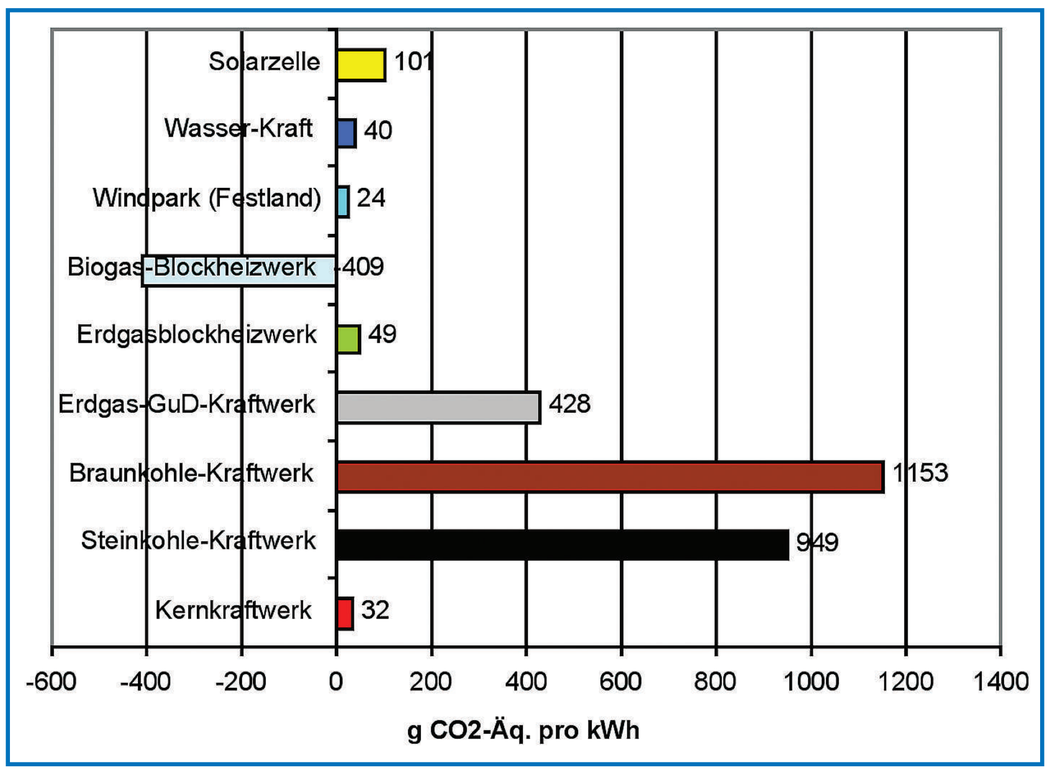
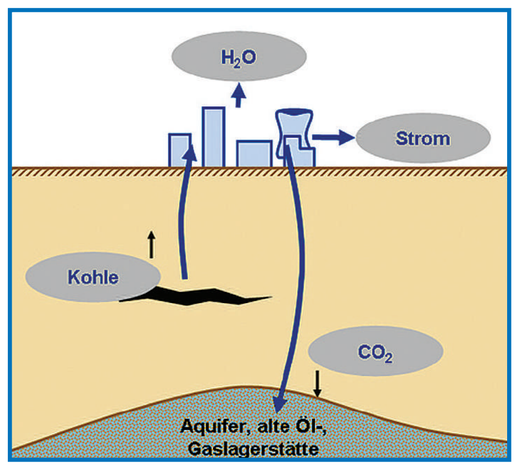


Abb.: Klimagase bei der Stromerzeugung im Vergleich. Dabei wird auch der Ausstoß bei der gesamten Vorkette berücksichtigt – von der Förderung über Aufbereitung und Transport bis zum Bau der Anlagen. Bei KWK wird der durch Wärmenutzung eingesparte CO_2-Ausstoß angerechnet.

CO_2-Sequestrierung

Bei dieser kostspieligen Methode wird das bei der Verbrennung entstehende CO_2 abgefangen und in die Erde eingepresst. Als Depots kommen z. B. ehemalige Erdgaslager in Frage. Die Technologie befindet sich noch im Versuchsstadium.



Ausweg Kernenergie?

Kernenergie verursacht kaum CO_2. Zu berücksichtigen sind jedoch:

- die lange Planungs- und Bauzeit von Kernkraftwerken
- die Begrenztheit der Uranvorräte
- das Restrisiko im Betrieb
- die Gefahr der Verbreitung von Kernwaffen
- die Gefahr von Sabotage und Terrorangriffen
- die ungeklärte Entsorgung radioaktiver Abfälle
- der teure Rückbau nach der Stillegung von Anlagen

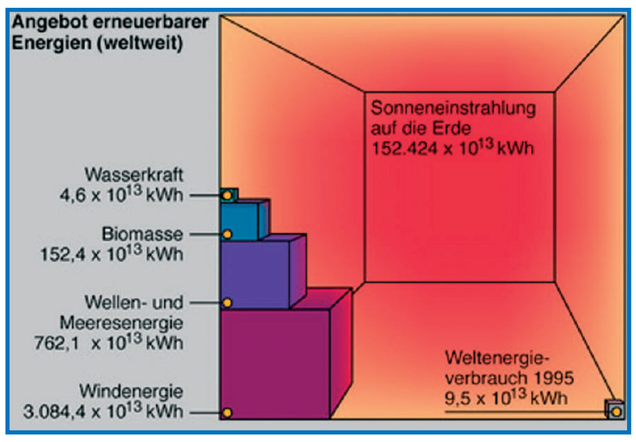
Fazit:

Angesichts der enormen Mengen an Kohlendioxid, die bei der **Verstromung von Kohle** entstehen, erscheint es bedenklich, dass in Deutschland **über zwanzig neue Kohlekraftwerke** geplant sind. Mit dem Bau dieser Anlagen legt man sich bei deren CO_2-Ausstoß für Jahrzehnte fest. **Kernkraft** ist klimafreundlich, hat aber Nebenwirkungen.

37 Die Energie der Zukunft

Betrachten Sie die beiden ausgestellten Würfel!

Der kleine dunkle Würfel stellt den **Weltenergie-verbrauch** des Jahres 1995 dar. Der große Würfel veranschaulicht, dass uns **die Sonne** jedes Jahr **etwa 15.000 mal mehr Energie** liefert als wir heute brauchen. Und da soll es nicht möglich sein, den Energiebedarf zu 100% aus erneuerbaren Energien zu decken? Für den Umstieg vom gegenwärtigen fossilen Energiesystem auf Erneuerbare Energien bedarf es allerdings schon einer **„zweiten industriellen Revolution in Richtung Nachhaltigkeit“**. Die Staaten müssen dafür die richtigen Rahmenbedingungen setzen (Station 24).



Erneuerbare Energien

Erneuerbare oder **Regenerative Energiequellen** erschöpfen sich nicht. Sie haben nur einen geringen Treibhausgasausstoß und sind weitgehend klimaneutral. Man unterscheidet die Nutzungsmöglichkeiten

- **der direkten Sonnenenergie:** Solarwärme, Photovoltaik
- **der indirekten Sonnenenergie:** Wind- und Wasserkraft, Wellenenergie, Biomasse
- **andere:** Geothermie (Erdwärme) und Gezeitenkraft.



Erneuerbare Energien in Deutschland

Die erneuerbaren Energien hatten 2007 in Deutschland einen **Anteil von 8,4 % am Endenergieverbrauch**. Sie haben 2007 die Freisetzung von mehr als 110 Millionen Tonnen des klimaschädlichen Kohlendioxids vermieden. Ihr **Anteil am Stromverbrauch** konnte auf **14 Prozent** gesteigert werden. Damit hat Deutschland sein Ziel, den Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch bis 2010 auf mindestens 12,5 Prozent zu steigern, bereits jetzt deutlich übertroffen! Die Bundesregierung hat beschlossen, den Anteil der erneuerbaren Energien bei der Stromversorgung bis 2020 auf 25 bis 30 Prozent zu erhöhen. Die Grafik zeigt die **stürmische Entwicklung** der letzten Jahre.

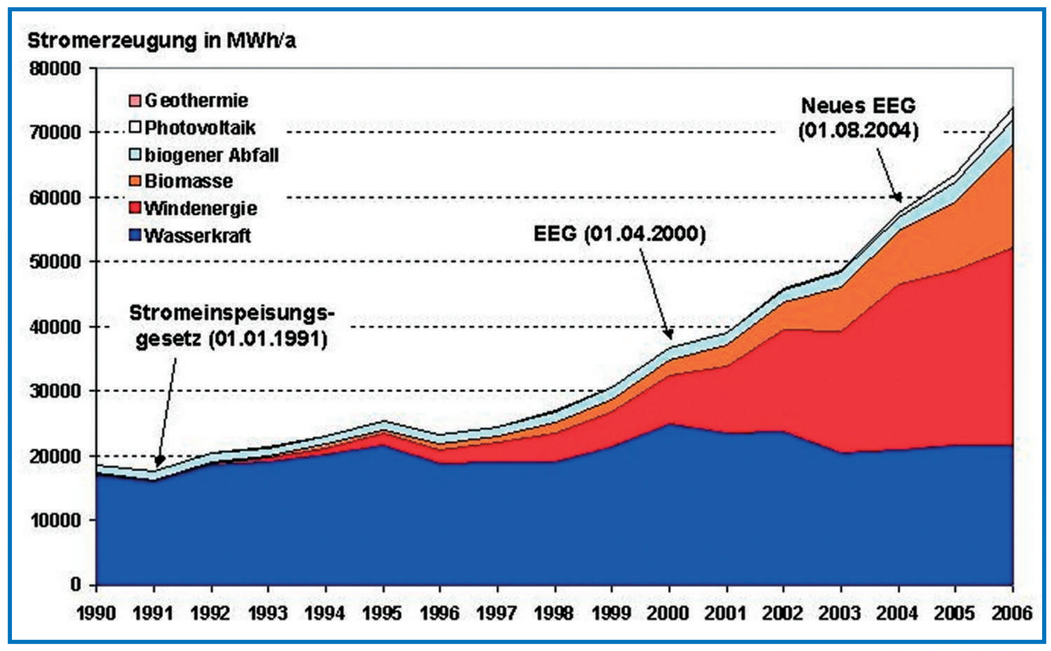


Abb.: Entwicklung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien im Zeitraum 1990 – 2006 in Deutschland. Staatliche Rahmenbedingungen in Form des Erneuerbare Energien-Gesetzes haben die Entwicklung vorangetrieben.

Fazit:

Erneuerbare Energien sind die **Energieform der Zukunft,** da sie weitgehend klimaneutral sind und der Menschheit **dauerhaft zur Verfügung** stehen. Der **Ausbau der Erneuerbaren Energien** hat in Deutschland ein **rasantes Tempo** erreicht.

38 Unerschöpfliche Sonne...

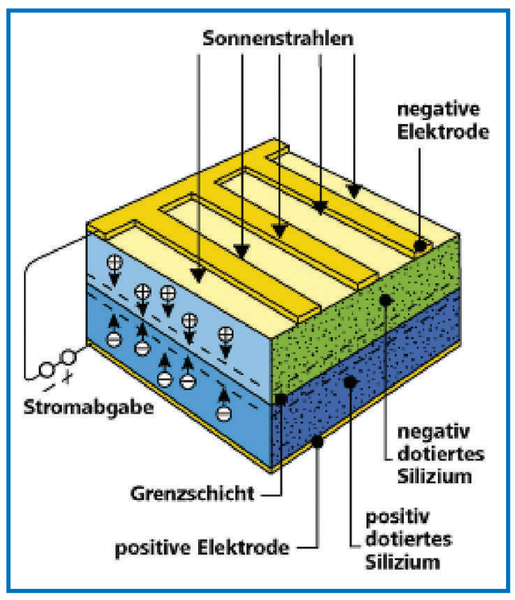
Die Sonne schickt uns keine Rechnung

Sonnenenergie – schier unerschöpflich

Unsere Sonne ist rund 4,5 Milliarden Jahre alt - noch einmal so lange wird es dauern, bis sie erlischt. Sie liefert uns so viel Energie, dass man in der Sahara auf einer Fläche von 700 km mal 700 km bereits den gesamten Weltenergiebedarf decken könnte. Sonnenenergie ist somit schier unerschöpflich. Die Sonnenstrahlung kann auf zweierlei Weise direkt genutzt werden:

- als **Solarenergie** zum Heizen und zur Warmwasserbereitung
- als **Photovoltaik** zur direkten Umwandlung in elektrische Energie.

Prinzip der Photovoltaikanlage



Solarzellen in Photovoltaikanlagen besitzen zwei spezielle Silizium-Schichten: Treffen Lichtstrahlen auf die obere Schicht, dann werden Elektronen aus dieser Schicht gelöst.
Ist ein Stromverbraucher angeschlossen, wandern die Elektronen durch ihn hindurch: Es fließt Strom.

Solarstrom wird immer günstiger

Noch ist Photovoltaik teuer. Die Stromerzeugungskosten liegen in Deutschland im Vergleich zu herkömmlichen Kraftwerken (ohne die diesen anzulastenden Kosten für den Klimawandel) etwa achtmal höher. Die Vergangenheit hat jedoch gezeigt, dass mit steigendem Absatz die Produktionskosten deutlich sinken (vgl. Abb.)

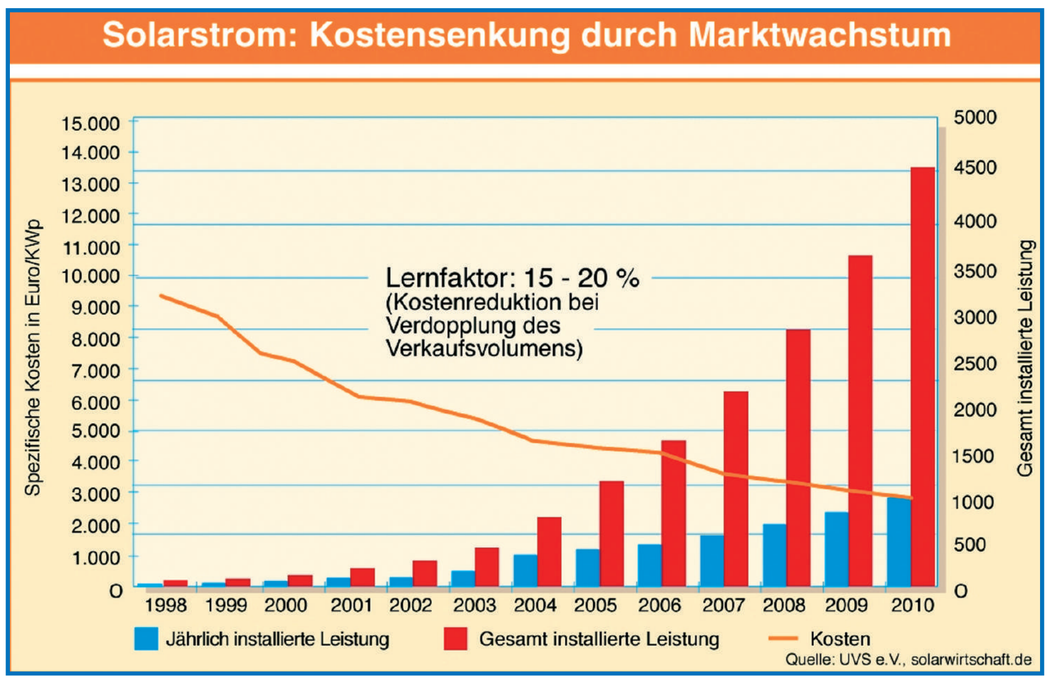


Abb.: Kostensenkung bei der Photovoltaik durch Marktzuwachs.
Das Erneuerbare-Energien-Einspeisungsgesetz ermöglicht, dass Anlagen schon heute rentabel betrieben werden können.

Vorteile der Photovoltaik

- dauerhafte Verfügbarkeit
- kein Brennstoffverbrauch
- kein CO_2- Ausstoß
- lange Lebensdauer

Nachteile der Photovoltaik

- noch hohe Stromerzeugungskosten
- Schwankungen im Energieangebot
- geringe Leistungsdichte

Photovoltaikpotential in Baden-Württemberg

Ist-Situation:	ca. 130 MW installiert, ca. 100 GWh pro Jahr eingespeist
Potential (Prognose):	Technisches Potential auf geeigneten Dachflächen bis zu 12.000 MW
Erwarteter Ausbau:	4.000 – 6.000 MW bis 2020.



Schüler beim Bau einer Fotovoltaikanlage am Ferdinand-Porsche-Gymnasium Zuffenhausen in Stuttgart. Foto: Bareis.

Fazit:

Die **Sonne** ist eine schier unerschöpfliche Energiequelle. Die **Kosten** für die Stromgewinnung aus dieser Energie sind noch hoch, **sinken** aber aufgrund von **Fortschritten in Forschung, Entwicklung und Produktion** ständig **(Lernkurve)**.

39 CO_2-armer Strom...

... schon heute lieferbar

Wie Sie ganz einfach einen Beitrag zum Klimaschutz leisten

Sie wollen mit wenig Aufwand deutlich Ihre Treibhausgas-Emissionen senken?
Wechseln Sie zu einem Ökostromanbieter! Ein Anruf und eine Unterschrift genügen. Vergleiche zeigen, dass Ökostromtarife oftmals günstiger als die Standardtarife der lokalen Versorger sind. So können Sie die Umwelt schützen und vielleicht sogar Geld sparen!

Empfohlene Ökostromanbieter

Unter **www.ecotopten** empfiehlt das Ökoinstitut Freiburg sechs bundesweite **Ökostromangebote**, die

- Spitzenprodukte bei der Umweltbewertung sind: Dies garantiert, dass die Stromproduktion in Europa tatsächlich ökologischer wird und neue umweltfreundliche Kraftwerke entstehen.
- zudem für alle Haushaltsgrößen maximal 20 Prozent teurer sind als der Durchschnittspreis für konventionellen Strom.

Wir haben für Sie die von ecotopten **empfohlenen bundesweiten Ökostromanbieter** aufgelistet.
Doch denken Sie daran: Besonders ökologisch ist Strom, der gar nicht erst gebraucht wird. Deshalb:

- Achten Sie beim Gerätekauf auf den Stromverbrauch!
- Gehen Sie mit Energie sparsam um!

Anbieter	Tarifbezeichnung	Grundpreis (Euro/Monat)	Arbeitspreis (Cent/Monat)	Jährliche Gesamtkosten **1-Personen** -Haushalt (Euro/Jahr)	Jährliche Gesamtkosten **2-Personen** -Haushalt (Euro/Jahr)	Jährliche Gesamtkosten **3-Personen** -Haushalt (Euro/Jahr)	Jährliche Gesamtkosten **4-Personen** -Haushalt (Euro/Jahr)
Braunschweiger Versorgungs-AG &Co.KG	BS| Naturstrom Gold	6,50 €	21,31 ct	459 €	724 €	905 €	1.022 €
Elektrizitätswerke Schönau GmbH	Watt Ihr Spart	6,90 €	21,20 ct	462 €	725 €	905 €	1.022 €
EWE NaturWatt GmbH	NaturWatt Strom	7,50 €	19,90 ct	446 €	693 €	862 €	972 €
GENO Strom GmbH	GENO Strom privat NATUR	7,95 €	19,48 ct	444 €	686 €	851 €	958 €
Greenpeace energy e.G.	Privatkundentarif	8,90 €	19,80 ct	461 €	707 €	875 €	984 €
LichtBlick GmbH	Privatkundentarif	7,95 €	20,25 ct	458 €	709 €	881 €	992 €
Naturstrom AG	Naturstrom	7,95 €	19,90 ct	452 €	698 €	868 €	977 €
Stadtwerke Hannover AG / ÖkostromPool	enercity Strom & Natur 100	6,15 €	18,49 ct	405 €	634 €	791 €	893 €
Trianel Energie GmbH	HalloNatur!	5,71€	18,24 ct	395 €	621 €	776 €	877 €
NaturEnergie AG	NaturEnergie Gold	9,52 €	23,21 ct	530 €	818 €	1.015 €	1.142 €

Tab.: EcoTopTen-Ökostromangebote, Stand Februar 2008. www. EcoTopTen

Fazit:

Gleich zum Ökostromanbieter wechseln! Wenig Aufwand – viel Klimaschutz!



40 Nachhaltig gewinnen!

Werden Sie Fischer am Odyssee!

Sie haben es geschafft!

Sie sind am Ende der Ausstellung angelangt. Sie haben Vieles über den Klimawandel, seine Ursachen, mögliche Folgen und Maßnahmen zu seiner Begrenzung erfahren können. Jetzt laden wir Sie ein:

Spielen Sie mit!
Wer fängt die meisten Fische?

Werden Sie Fischer am Odyssee! Ihre Aufgabe: Sie fischen, legen hierzu jährlich eine **Fangquote** fest. Sieger ist, wer nach zehn Jahren die meisten Fische gefangen hat. Auch die dann noch für die Nachwelt im See verbliebenen Fische zählen mit. Fangen Sie zuviel, könnte der See rasch leer gefischt sein. Fangen Sie zu wenig, bleiben Sie hinter Ihren Möglichkeiten zurück. Finden Sie die optimalen Fangmengen heraus!

Nachhaltig leben!

Will man die Möglichkeiten, auf den Klimawandel sinnvoll zu reagieren, in einem Wort zusammenfassen, so drängt sich der Begriff der **„Nachhaltigkeit“** geradezu auf: Unser Wirtschaften muss nachhaltig werden!
Was das bedeutet, wissen Förster schon lange: Nachdem im Mittelalter und in der frühen Neuzeit Wälder übernutzt und kahl geschlagen wurden, entschied man sich für das Prinzip der Nachhaltigkeit: **Jede Generation darf dem Wald nur so viel Holz entnehmen, wie zu ihrer Zeit auch wieder nachwächst.**

Auch beim Spiel „Fischfang am Odyssee“ konnten Sie dieses Prinzip kennen lernen. Langfristig reiche Erträge hat nur der, der nicht einen kurzfristigen Maximalgewinn anstrebt und dabei den Zusammenbruch der Fischpopulation riskiert.

Wirtschaft und die Politik haben den Gedanken der Nachhaltigkeit, nämlich die natürlichen Lebensgrundlagen so zu nutzen, dass sie auch der Nachwelt möglichst ungeschmälert zur Verfügung stehen, lange Zeit sträflich vernachlässigt. Doch vieles ist im Umbruch. Nachhaltigkeit ist nicht mehr nur eine Idee von Umweltschützern. **Politiker** benutzen den Gedanken der Nachhaltigkeit inzwischen nicht mehr nur in Sonntagsreden. **Verbraucher** achten nach einer „Geiz ist geil“-Welle zunehmend auf die ökologischen und sozialen Auswirkungen der Produktion. Viele **Handwerker, Unternehmer und Dienstleister**, gerade die innovativen, wirtschaften immer nachhaltiger. Oft sparen sie dabei sogar Kosten und vergrößern ihre Gewinne. Die Umwelt und speziell das Klima gewinnen jedenfalls immer dabei!

