

KLIMAMACHER MENSCH?

Grundlagen, Zusammenhänge, Folgen



PROLOG: DER EISBÄR

Der hilflose Eisbär auf der schmelzenden Eisscholle, umgeben vom Ozean. Mit letzter Kraft und einem verzweifelten Sprung versucht er, sich in Sicherheit zu bringen: Fertig ist der Einstieg ins Thema Klimawandel! Der Eisbär ist zum Symbol für die Folgen der globalen Erwärmung geworden, da ihm die Eisscholle unter dem Eisbärenhintern zu schmelzen droht.

Ist der Eisbär zu Recht das Wappentier der Klimadiskussion? – Ja und Nein. Aktuell gibt es schätzungsweise 20 bis 25 Tausend Eisbären, die in den arktischen Gebieten der Erde leben. Das sind so viele Exemplare wie lange nicht mehr. In den 1950er-Jahren war die Population durch die unkontrollierte Jagd bis auf 5 000 Bären zurückgegangen. Momentan ist *Ursus maritimus*, wie der Eisbär mit wissenschaftlichem Namen heißt, nicht vom Aussterben bedroht. Mehr als den Klimawandel hat der Eisbär die Menschen zu fürchten, die sich über die heute geltenden strengen Jagdvorschriften hinwegsetzen.

Trotzdem sieht die Zukunft für den Bären nicht rosig aus. Das große Raubtier ernährt sich hauptsächlich von Robben, denen es an eisfreien Stellen im Packeis des Nordpolarmeers auflauert. An Land gibt es nur wenig Nahrung für ihn, über den Sommer muss er fasten und magert ab. Durch die Klimaerwärmung geht das arktische Meereis zurück. Es schmilzt im Frühjahr schneller und gefriert im Herbst später, die nahrungsarme Zeit wird länger. Das ist eine Gefahr für den spezialisierten Robbenjäger; weniger Nahrung bedeutet weniger Nachwuchs. Die Größe der Eisbärenpopulation kann durch eine solche Entwicklung rapide einbrechen.

Aber: Durch seine Prominenz stiehlt der Eisbär beim Thema Klimawandel vielen anderen die Show und verstellt die Sicht auf das Wesentliche. Die Folgen des Klimawandels beschränken sich nicht nur auf die Arktis, auch nicht auf einzelne Tierarten. Ganze Nahrungsketten und Ökosysteme sind von der Klimaerwärmung betroffen, nicht zuletzt die Menschen, die in Gebieten leben, die vom Anstieg des Meeresspiegels betroffen sind. Sollte der Eisbär eines Tages verschwunden sein, sind die Robben und einige Hundert weitere Tierarten schon lange vorher gegangen.

Wendet man sich vom Eisbären ab, bleibt die Erkenntnis, dass ein sachlicher Blick auf das Thema Klimawandel nötig ist. Was sind die Ursachen? Was ist der Treibhauseffekt? Ist der Mensch wirklich schuld? Was muss getan werden, um den Klimawandel zu vermeiden und sich an nicht vermeidbare Folgen anzupassen?

Einen Einstieg in das Thema zu bieten, ist das Ziel dieses Heftes.

INHALT

TREIBHAUSEFFEKT UND KLIMAWANDEL – EIN KOMPLEXES THEMA	4
WAS IST KLIMA? WAS IST KLIMAWANDEL?	5
WIE FUNKTIONIERT DER TREIBHAUSEFFEKT?	7
WAS IST KOHLENDIOXID – WO KOMMT ES HER UND WO GEHT ES HIN?	9
GIBT ES NOCH WEITERE TREIBHAUSGASE?	14
IST DER MENSCH SCHULD AM KLIMAWANDEL?	16
KONKRET: WASSERVERSORGUNG IN ZEITEN DES KLIMAWANDELS	22
MACHT DER KLIMAWANDEL PAUSE?	24
WIE WIRD SICH DAS KLIMA IN ZUKUNFT VERÄNDERN?	25
WAS SIND DIE FOLGEN DES KLIMAWANDELS?	29
KANN DER KLIMAWANDEL VERMIEDEN WERDEN?	33
FAZIT	36
QUELLEN- UND ABBILDUNGSNACHWEISE	37
ANHANG	38

Impressum

Autor: Dr. Klaus Kordowski
Mitarbeit: Stefanie Krohn
Herausgeber: RWW Rheinisch-Westfälische
Wasserwerksgesellschaft mbH
Am Schloß Broich 1–3
45479 Mülheim an der Ruhr

TREIBHAUSEFFEKT UND KLIMAWANDEL – EIN KOMPLEXES THEMA

Die komplexen Zusammenhänge im Klimasystem und die vielfältigen Verflechtungen zwischen Erde, Atmosphäre und Ozeanen machen es nicht einfach, simple und eindeutige Erklärungen für das Auftreten vergangener und aktueller Klimaveränderungen zu geben.

Der Klimawandel und die Frage, welchen Anteil der Mensch an den Ursachen hat, beschäftigt viele Wissenschaftsgebiete: Neben der klassischen Klimatologie, die sich mit Ergebnissen langjähriger Wetterbeobachtungen beschäftigt, gehen Wissenschaftler vieler Disziplinen den Ursachen und Folgen des Klimawandels auf den Grund. Wenn es um die Auswirkungen von Klimaänderungen für die Menschen geht, ist es kein rein naturwissenschaftliches Thema mehr, sondern beschäf-

tigt vielmehr Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. Nicht zuletzt ist es dann die Aufgabe der Politik und der gesamten Gesellschaft, Lösungswege zu finden.

Eine umfassende Übersicht zum Themenkreis Treibhauseffekt und Klimawandel zu geben, ist auf wenigen Seiten nicht möglich – trotzdem soll im Folgenden versucht werden, die wichtigsten Fakten für ein grundlegendes Verständnis der Problematik darzustellen.

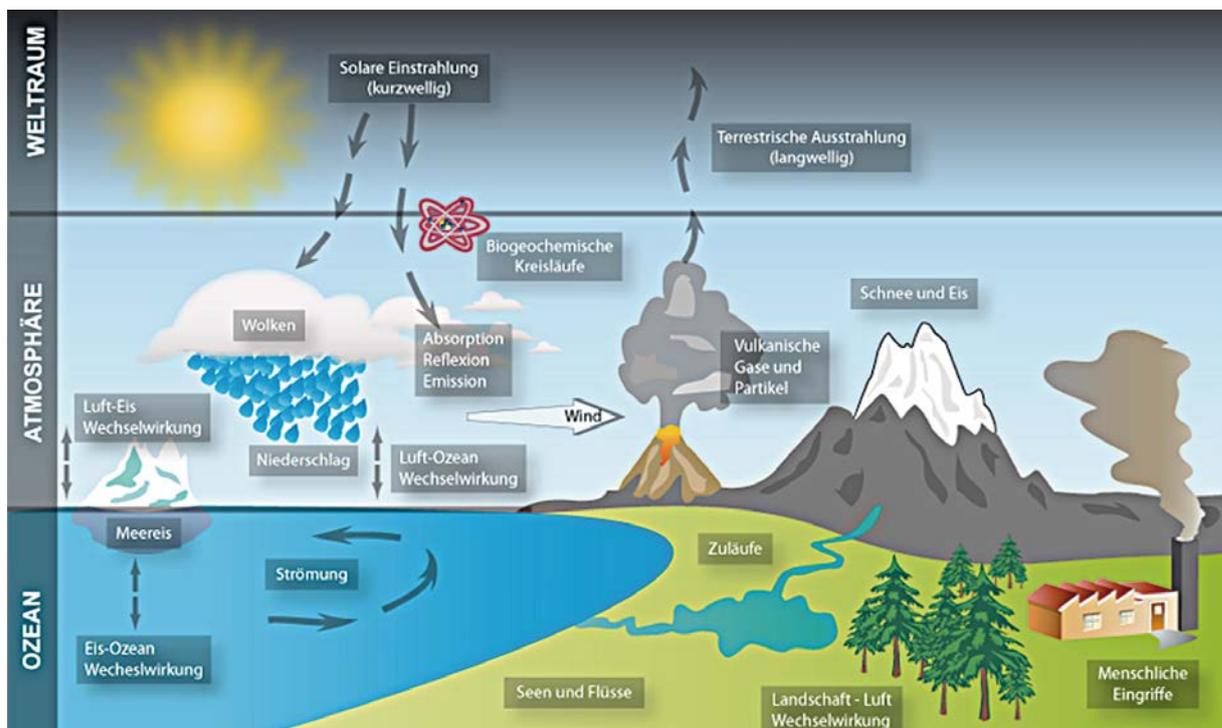


Abbildung 1: **Das Klimasystem.** Vielfältige Zusammenhänge zwischen der Atmosphäre, der Erde und den Ozeanen bestimmen die Vorgänge des Klimas. Durch menschliche Eingriffe wird dieses System gestört.

WAS IST KLIMA? WAS IST KLIMAWANDEL?

Die Begriffe Wetter und Klima werden häufig verwechselt. Wenn es um den Klimawandel geht, müssen diese Begriffe aber auseinander gehalten werden.

Wetter ist der aktuelle Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort. Um das Wetter zu beschreiben, kann man zum Beispiel sagen: „Im Moment regnet es in Mülheim an der Ruhr und die Temperatur beträgt 12 °C.“. Das Wetter ist vor allem in unseren Breiten eine sehr wechselhafte Sache, weil Europa oft unter dem Einfluss von Tiefdruckgebieten steht, die sich über dem Atlantik bilden und mit ihren Kalt- und Warmluftgebieten über uns ziehen. Temperaturwechsel von mehreren Grad auch innerhalb kurzer Zeit, Stunden oder Tagen, sind normal für das Wettergeschehen in Deutschland.

Klima ist die Statistik des Wetters. Das bedeutet, dass die Größen des Wetters wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag und Sonnenstrahlung über einen langen Zeitraum beobachtet und dann als Mittelwerte betrachtet werden. Üblich ist es dabei, Wetteraufzeichnungen von mehreren Jahrzehnten zu verwenden. Die Aussagen über das Klima an einem bestimmten Ort stützen sich in der Regel immer auf einen 30-jährigen Zeitraum. Mit solchen Klimadaten können Aussagen getroffen werden wie „Die mittlere Temperatur über das Jahr beträgt in Mülheim an der Ruhr 9,6 °C. Der wärmste Monat ist der Juli, am kältesten ist es im Januar.“

Klimawandel ist eine Änderung des Klimas und bezieht sich auf Mittelwerte langer Zeiträume. Durch den Klimawandel ist die mittlere Temperatur in Deutschland in den letzten 30 Jahren um 0,7 °C angestiegen. Das mag auf den ersten



Abbildung 2: Mit einer Wetterstation wird der aktuelle Zustand der Atmosphäre aufgezeichnet. Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind, Niederschlag und andere Größen geben den Zustand des Wetters wieder. Wertet man die Daten über einen langen Zeitraum aus, erhält man Informationen über das Klima. Im Bild zu sehen ist die Wetterstation der Universität Duisburg-Essen (Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie) an der Grenze zwischen Essen und Mülheim a. d. Ruhr.

Blick unerheblich klingen. Es handelt sich aber um die Änderung des Mittelwertes, die nicht direkt gefühlt werden kann. Die Veränderungen des Klimas sind zahlenmäßig wesentlich geringer als die tagtäglichen Wetterschwankungen – sie sind vom „Rauschen“ der Wetterereignisse überlagert. Dies ist der Grund dafür, dass der

Klimawandel nicht „gefühl“ werden kann, da es sich um eine langfristige Veränderung von Rechengrößen handelt. Das bedeutet aber nicht, dass der Klimawandel keine Auswirkungen auf das Wetter hat!

Vor allem während milder Winter, heißer Sommerperioden oder nach besonders starken Stürmen (wie zum Beispiel dem Hurrikan Katrina im Jahr 2005 oder dem verheerenden Taifun Haiyan im Jahr 2013) wird häufig von den direkten Folgen des Klimawandels gesprochen. Hier muss unterschieden werden: Einzelereignisse können nicht per se auf Klimaveränderungen zurückgeführt werden (da es der Definition nach Wetterereignisse sind!). Vielmehr muss klar

sein, dass ein sich veränderndes Klima die Häufigkeit von bestimmten Wetterphänomenen beeinflusst. Oder bildhaft gesprochen: Wird mit einem gezinkten Würfel (Klimawandel) nur einmal gewürfelt (Wetterereignis), kann man nicht erkennen, dass er gezinkt ist – erst bei mehrmaligem Werfen wird man sehen, dass bestimmte Zahlen öfter gewürfelt werden.

So wird der Klimawandel hier in Deutschland häufiger milde Winter bringen, und die Wahrscheinlichkeit von Hitzeperioden im Sommer steigt. Auch bei extremen Ereignissen wie Hurrikans oder Taifunen ist mit einem häufigeren Auftreten zu rechnen – im Falle sehr extremer Stürme ist sogar heute schon eine Zunahme zu erkennen.

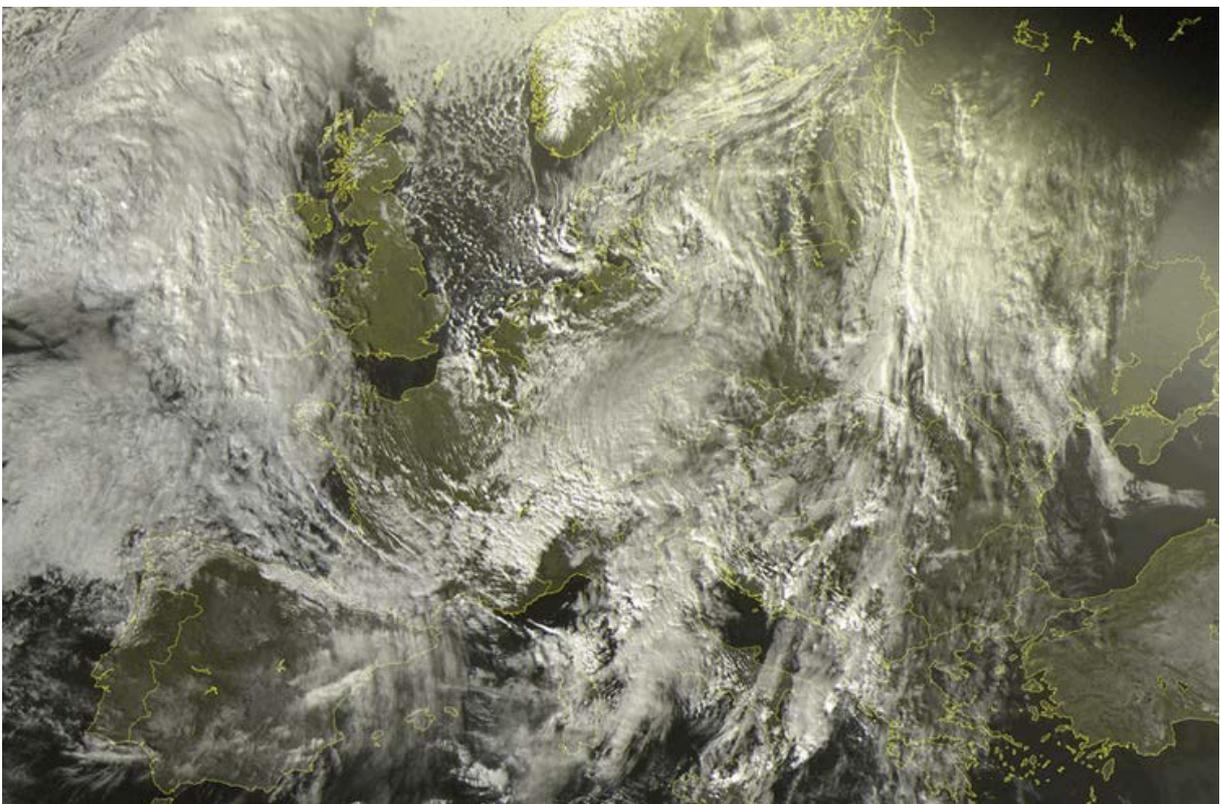


Abbildung 3: Wolken über Europa am 10.11.2013 um 15:30 Uhr. Sich ständig verändernde Hoch- und Tiefdruckgebiete sorgen in Mitteleuropa für wechselhaftes Wetter.

WIE FUNKTIONIERT DER TREIBHAUSEFFEKT?

Der Treibhauseffekt ist ein physikalischer Vorgang in der Atmosphäre der Erde, ohne den kein Leben auf diesem Planeten existieren könnte. Durch menschliche Aktivität wird der Effekt jedoch verstärkt.

Wie funktioniert der Treibhauseffekt?

Die Erde erhält ihre Energie von der Sonne. Die Sonnenstrahlung liegt im kurzwelligen Bereich des Strahlungsspektrums. Einen Teil davon können wir als sichtbares Licht wahrnehmen; die meiste Energie erreicht die Erde aber als ultraviolette Strahlung (UV). Die Umsetzung der Sonnenstrahlung in Wärme findet an der Erdoberfläche statt: Landflächen und Ozeane wärmen sich auf. Die Wärmestrahlung der Erde, die im langwelligen (infraroten) Strahlungsbereich liegt, wird zurück in Richtung Weltraum ausgestrahlt. In der Atmosphäre können jedoch bestimmte Gase – die Treibhausgase – diese Strahlung zum Teil abfangen und sie zurücksenden. Die Folge ist ein Ansteigen der Temperatur an der Erdoberfläche. Der Name dieses Effektes kommt nicht von ungefähr: Ähnlich wie das Glasdach eines Treibhauses verhindert die Atmosphäre der Erde (sozusagen mit einem „Gasdach“), dass die komplette Wärme an das Weltall abgegeben wird (Abbildung 5).

Welche Gase verursachen den Treibhauseffekt?

Die Luft der Atmosphäre besteht zum größten Teil aus Stickstoff, Sauerstoff und dem Edelgas Argon. Diese Gase haben jedoch keinen Einfluss auf den Treibhauseffekt – dafür sind weitere Gase verantwortlich, die zwar nur in geringen

Mengen in der Atmosphäre vorkommen, allerdings eine erhebliche Auswirkung auf den Energiehaushalt der Erde haben. Diese Treibhausgase haben die Eigenschaft, die Wärmestrahlung der Erde aufzuhalten. Man spricht von infrarotaktiven oder treibhauswirksamen Gasen.

Ohne den natürlichen Treibhauseffekt gäbe es uns nicht

Grundsätzlich muss zwischen dem natürlichen Treibhauseffekt und dem anthropogenen, also vom Menschen verursachten Treibhauseffekt unterschieden werden. Während letzterer für die aktuellen Klimaveränderungen verantwortlich ist, sorgt der natürliche Treibhauseffekt dafür, dass die Atmosphäre der Erde an ihrer Oberfläche eine lebensfreundliche Temperatur von durchschnittlich +15 °C aufweist. Ohne den



Abbildung 4: CO₂ gelangt – auf natürliche Weise – auch bei einem Vulkanausbruch in die Atmosphäre.

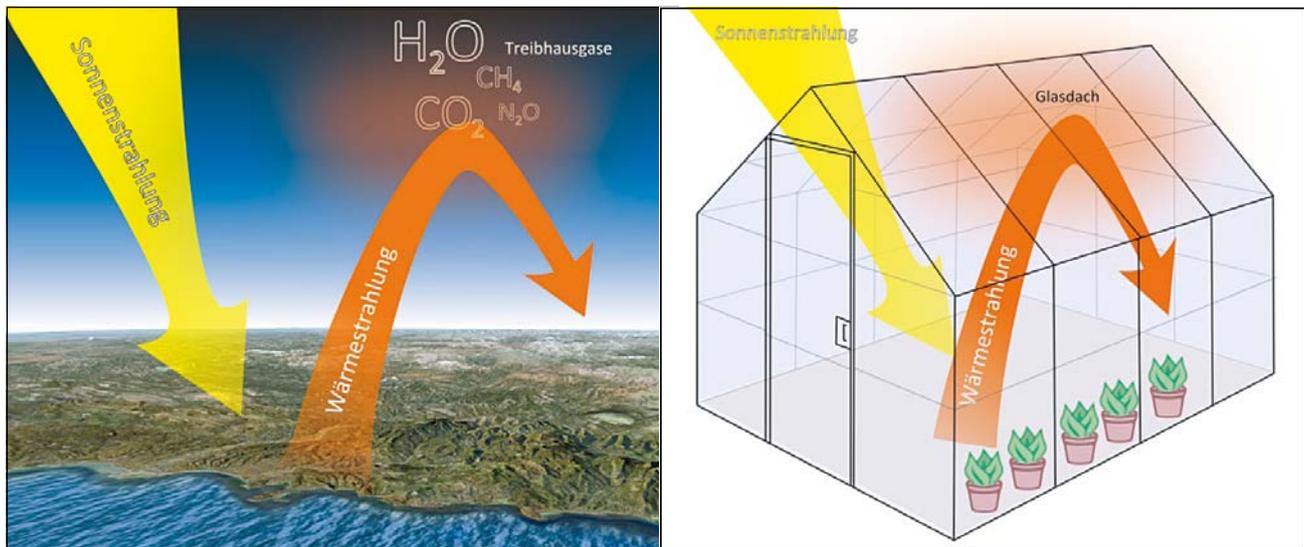


Abbildung 5: Der Treibhauseffekt. Ähnlich wie durch das Glasdach eines Treibhauses wird die ausgehende Wärmestrahlung der Erde durch Treibhausgase in der Atmosphäre aufgehalten. Dieser Vorgang heißt Absorption. Die Folge ist, dass ein Teil der Energie zurück zur Erde gelangt – dies bewirkt eine Erwärmung.

natürlichen Treibhauseffekt würde die Temperatur auf der Erde bei $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegen! Das ist weit unter dem Gefrierpunkt von Wasser: eine lebensfeindliche Umwelt.

Der natürliche Treibhauseffekt wird hauptsächlich durch den Wasserdampf (H_2O) in der Atmosphäre verursacht. Der Anteil des Wasserdampfes in der Atmosphäre schwankt stark und ist von Region zu Region unterschiedlich. Entscheidend für die Menge an Wasserdampf, die von der Luft aufgenommen werden kann, ist die Temperatur und ob an der Oberfläche genug Wasser zur Verdunstung zur Verfügung steht. Weitere wichtige natürliche Treibhausgase sind Distickstoffoxid (N_2O , besser bekannt als Lachgas), das durch Aktivität von Bakterien im Boden erzeugt wird, Methan (CH_4), das durch Fäulnisprozesse zum Beispiel in Sümpfen entsteht sowie Kohlendioxid (CO_2). Durch Vulkanausbrüche gelangt CO_2 auf natürliche Weise in die Atmo-

sphäre, es spielt aber auch eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf.

Wenn der Treibhauseffekt das Leben auf der Erde ermöglicht, was ist dann so schlimm daran?

Der gegenwärtig stattfindende Klimawandel wird durch den zusätzlichen, durch den Menschen verursachten Anteil des Treibhauseffektes verursacht: Dieser anthropogene Treibhauseffekt darf nicht mit den natürlichen Vorgängen verwechselt werden! Hauptverursacher ist das Kohlendioxid (CO_2). Ungefähr die Hälfte des anthropogenen Treibhauseffektes ist auf seine Wirkung zurückzuführen. CO_2 gelangt vor allem durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern (Erdöl, Kohle, Erdgas) in die Atmosphäre. Der Mensch produziert aber auch noch andere Treibhausgase, z.B. Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (N_2O) – siehe auch Abbildung 10.

WAS IST KOHLENDIOXID

– WO KOMMT ES HER UND WO GEHT ES HIN?

Kohlendioxid (CO_2) ist nur eins von mehreren Treibhausgasen, über das aber am meisten diskutiert wird, weil es den größten Anteil am zusätzlichen, vom Menschen verursachten Treibhauseffekt hat.

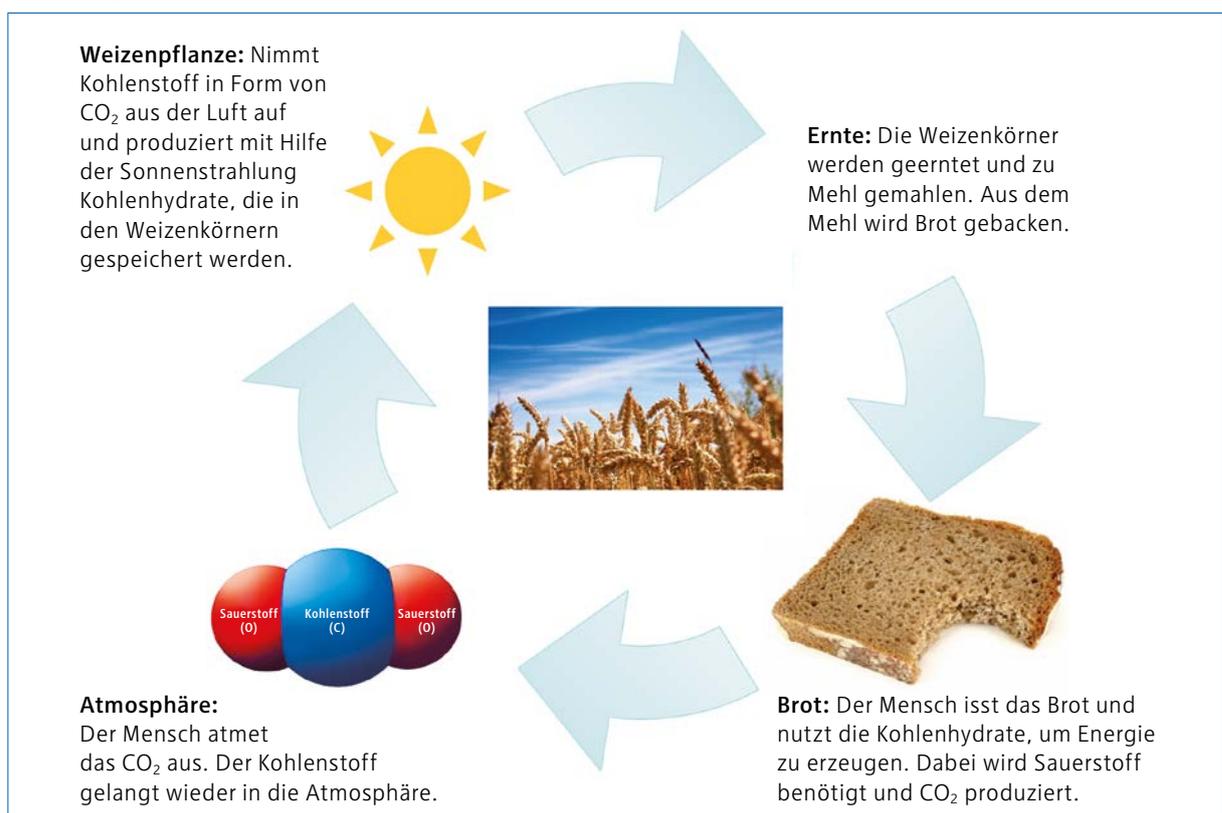
Was ist CO_2 genau?

CO_2 ist ein farb- und geruchloses Gas, bei dem ein Molekül aus einem Kohlenstoffatom (C) und zwei Sauerstoffatomen (O_2) besteht. Es kommt in der Atmosphäre der Erde nur in Spuren vor – insgesamt macht es nur 0,04 Prozent am Volumen aus. Seine schon beschriebene Eigenschaft, die Wärmestrahlung der Erde zu absorbieren und damit zur Klimaerwärmung beizutragen, macht es aber zu einem bedeutenden Bestandteil der Atmosphäre.

Der Kohlenstoffkreislauf

CO_2 ist kein Luftschadstoff im eigentlichen Sinne wie die Schadstoffe, die mit Abgasen aus dem Straßenverkehr oder von Kraftwerken in die Luft gelangen und eine direkte Gesundheitsgefährdung für Menschen, Tiere und Pflanzen darstellen. Giftig für den Menschen ist CO_2 erst in viel höheren Konzentrationen als denen, die in der Atmosphäre gemessen werden.

Abbildung 6: Kohlenstoffatom auf Reisen. Beispiel eines einfachen Ablaufes im Kohlenstoffkreislauf.



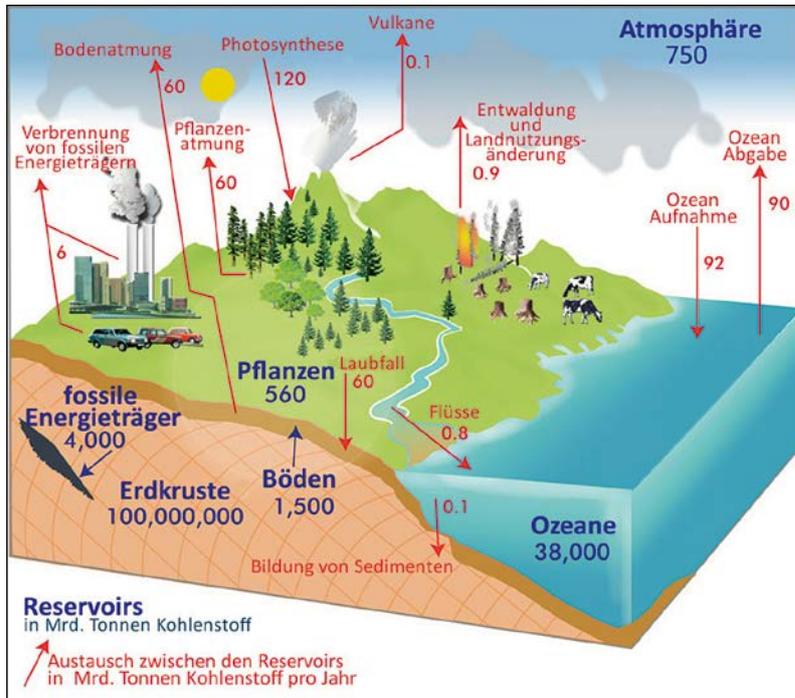


Abbildung 7: Vorgänge im globalen Kohlenstoffkreislauf. Die blauen Begriffe bezeichnen die Speicher von Kohlenstoff – mit der jeweiligen Größe des Speichers. Der jährliche Austausch von Kohlenstoff zwischen den Reservoirs ist mit den roten Pfeilen gekennzeichnet.

Kohlendioxid ist der wichtigste Bestandteil des natürlichen Kohlenstoffkreislaufes. Alle Organismen, die atmen, produzieren CO_2 als Stoffwechselprodukt aus der Umwandlung von Nahrung in Energie. Dazu gehören alle Tiere, der Mensch sowie die meisten Mikroorganismen. Bei der Atmung wird energiehaltiges organisches Material unter Verbrauch von Sauerstoff „verbrannt“.

Für grüne Pflanzen ist CO_2 hingegen ein Nährstoff. Bei der Photosynthese nehmen die Pflanzen CO_2 auf und bauen mit Hilfe der Sonnenstrahlung und Wasser aus dem Boden Traubenzucker auf. Das ist der Grundstoff für die Biomasse der Pflanzen und die Voraussetzung für ihr Wachstum. Fotosynthese betreiben nicht nur Landpflanzen, sondern auch die in den oberen Schichten der Ozeane lebenden Grünalgen. Grüne Pflanzen sind die Produzenten des Ökosystems, sie nehmen CO_2 auf und bauen den Kohlenstoff in ihre Biomasse ein. Pflanzenfressende Tiere und wir Men-

Menschliche Aktivität erhöht die CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre

In mehreren Phasen während der Erdgeschichte fand eine Umwandlung von organischem Material in fossile Energieträger statt: Abgestorbene Biomasse wurde unter Sedimenten begraben. Durch Sauerstoffabschluss kam es zu biologischen und chemischen Umwandlungen. Braun- und Steinkohle, Erdöl und Erdgas entstanden. Durch diese langsam ablaufenden Vorgänge wurde dem Kohlenstoffkreislauf über einen sehr langen Zeitraum (mehrere Millionen Jahre) eine große Menge an Kohlenstoff entzogen und unterirdisch gelagert. Mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert fingen vor allem die westlichen Industrieländer an, Kohle und Öl zur Energieerzeugung einzusetzen. Der Verbrauch von fossilen Brennstoffen stieg seitdem rasant an. **Durch die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas gelangt der Kohlenstoff, der über Jahrmillionen dem Kohlenstoffkreislauf entzogen wurde, innerhalb sehr kurzer Zeit wieder in die Atmosphäre – in Form von CO_2 .**

schen nutzen diese Biomasse dann für unsere Ernährung. Durch unsere Atmung gelangt der Kohlenstoff in Form von CO_2 wieder in die Atmosphäre.

Gehen wir mit einem Kohlenstoffatom auf Reisen (Abbildung 6): Gebunden in einem CO_2 -Molekül wird es von einer Getreidepflanze aufgenommen. Die Pflanze betreibt Fotosynthese und baut das Kohlenstoffatom in ihre Zellen ein – das Getreide wächst. Es wird geerntet, zuerst zu Mehl, anschließend zu Brot verarbeitet. In den Kohlenhydraten des Brotes versteckt sich unser C-Atom. Wir Menschen beziehen unsere Energie aus den Kohlenhydraten im Brot. Bei der Umwandlung entsteht CO_2 als Stoffwechselprodukt, welches wir ausatmen – das Kohlenstoffmolekül gelangt wieder in die Atmosphäre, der Kreislauf schließt sich.

Der globale Kohlenstoffkreislauf ist weitaus komplexer, als im Beispiel beschrieben: Neben den biochemischen Vorgängen wie Fotosynthese und Atmung gibt es eine Vielzahl an geochemischen Prozessen, die den Kreislauf steuern (Abbildung 7). **Entscheidend ist aber an dieser Stelle, dass momentan durch die intensive Nutzung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas dem Kreislauf große Mengen an Kohlenstoff in Form von CO_2 zugeführt werden.**

Die Konzentration von CO_2 in der Atmosphäre steigt

Momentan (2014) beträgt der Anteil von CO_2 im Mittel 397 ppm (ppm = parts per million = Teile pro einer Million Teile). Die Konzentration vor Beginn

der industriellen Revolution lag bei ca. 280 ppm. Die menschliche Aktivität hat also zu einem Anstieg der CO_2 -Konzentration um über 40 Prozent in nur zwei Jahrhunderten geführt – ein Anstieg der ungebremst mit fast 2 ppm pro Jahr weitergeht. Erdgeschichtlich gesehen sind 200 Jahre allerdings nicht mehr als ein Wimpernschlag. **Untersuchungen von Lufteinschlüssen in Eisbohrkernen haben ergeben, dass die heutige Konzentration von CO_2 der höchste Gehalt in der Atmosphäre in den letzten 420 000 Jahren ist.**

Der Mensch verursacht den Anstieg von CO_2 in der Atmosphäre

Vor allem durch die Verbrennung von Kohle, Erdgas und Öl wird Kohlendioxid in erheblichem Mengen emittiert: 70 Prozent der gesamten Emission von Kohlendioxid stammen aus Verbrennungsprozessen. An der Spitze steht dabei die Stromerzeugung in Kohlekraftwerken. Durch die Verbrennung fossiler Energieträger wird also momentan in einer sehr kurzen Zeitspanne der Kohlenstoff wieder frei, der durch die Entstehung von Kohle und Öl dem Kohlenstoffkreislauf über viele Millionen Jahre entzogen wurde. Geologen sprechen daher auch von einer erdgeschichtlichen „Explosion“, die momentan stattfindet.

Doch es ist nicht nur Kohle und Öl: Einen weiteren Teil der menschengemachten CO_2 -Emissionen passieren durch sogenannte Landnutzungsänderungen. Sie machen etwa 27 Prozent der gesamten Emissionen aus. Durch die Rodung von Wäldern für die Gewinnung landwirtschaftlicher Flächen gelangt durch Verbrennung oder

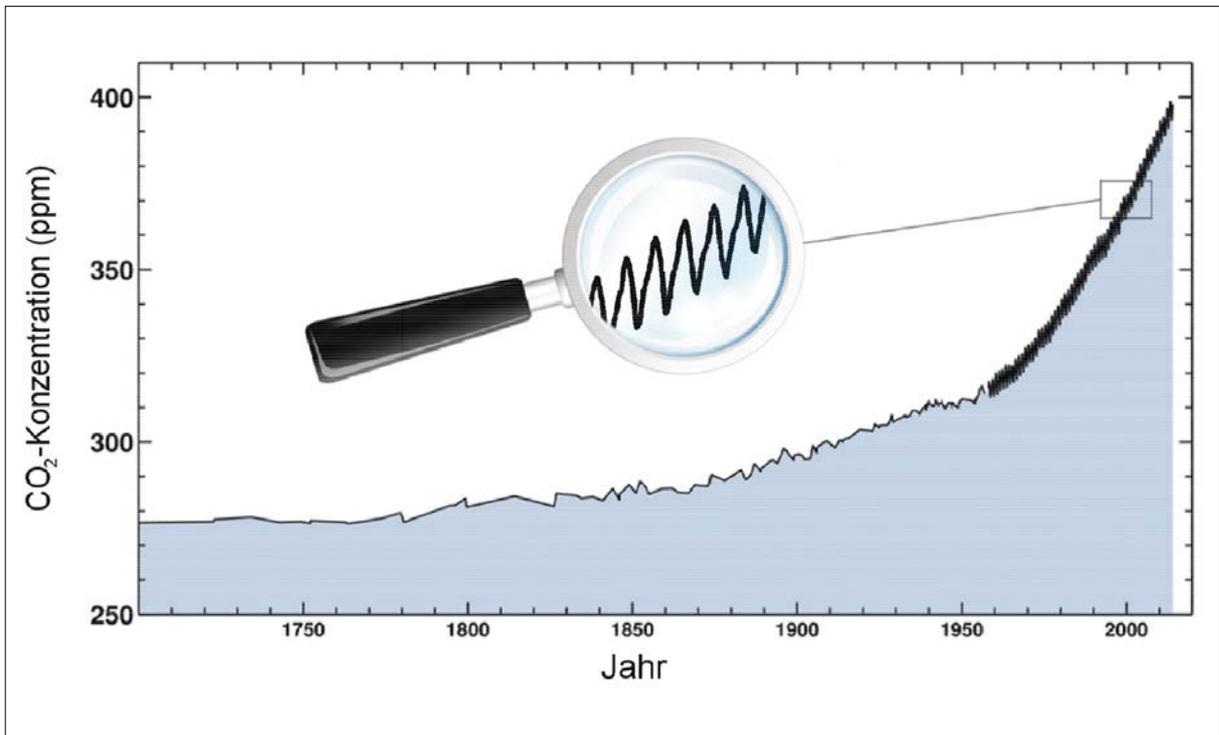


Abbildung 8: Entwicklung der CO₂-Konzentration seit Beginn des 18. Jahrhunderts. Die Daten bis 1958 basieren auf Messungen der Luftzusammensetzung in Eiskernen. Ab 1958 wurde mit der kontinuierlichen Messung auf dem Vulkan Mauna Loa auf Hawaii begonnen und machte eine detaillierte Darstellung des zeitlichen Verlaufs. Deutlich zu erkennen ist der stetig anhaltende Trend der Konzentration nach oben. Innerhalb der einzelnen Jahre allerdings schwankt die Konzentration („Zick-Zack-Muster“) im Laufe der Jahreszeiten: Im Sommer, während die Pflanzen wachsen, wird von ihnen CO₂ aufgenommen – die Konzentration sinkt. Im Winter hingegen überwiegt der Ausstoß des Gases in die Atmosphäre, die Konzentration steigt wieder.

natürliche Zersetzung des Holzes der darin gespeicherte Kohlenstoff in Form von CO₂ wieder in die Atmosphäre.

Ein weiterer Teil von ungefähr 3 Prozent des CO₂ stammt aus der Zementherstellung. Hierbei spielen jedoch keine fossilen Brennstoffe eine Rolle. Das CO₂ entsteht bei der chemischen Umwandlung von Kalk (Calciumcarbonat, CaCO₂) in Calciumoxid (CaO), dem Hauptbestandteil von Zement.

Die Ozeane nehmen viel CO₂ auf

Pro Jahr stößt die Menschheit weltweit circa 30 Milliarden Tonnen CO₂ in die Atmosphäre aus (davon in Deutschland etwa 0,9 Milliarden Tonnen). Allerdings verbleibt nicht das gesamte vom Menschen produzierte CO₂ in der Luft. Ungefähr die Hälfte wird vom Wasser der Ozeane aufgenommen, was dafür sorgt, dass die Konzentration des Treibhausgases in der Luft langsamer ansteigt. **Die Meere dienen sozusagen als „Puffer“ des Treibhauseffektes und**

verzögern damit den Klimawandel. Ohne die Ozeane läge die Konzentration in der Atmosphäre schon heute weitaus höher und der Klimawandel würde wesentlich stärker ausfallen.

Die Versauerung der Ozeane ist eine Bedrohung für die Meeresbewohner

Je mehr CO₂ in die Atmosphäre gelangt, desto mehr wird auch von den Ozeanen aufgenommen. Der pH-Wert des Meerwassers sinkt dadurch, es kommt zu einer allmählichen Versauerung. Die ökologischen Konsequenzen werden von manchen Biologen ähnlich dras-

tisch eingeschätzt wie die Auswirkungen des Klimawandels: Je saurer das Meerwasser, desto schwieriger ist es für viele Meereslebewesen, eine Kalkschale aufzubauen – beispielsweise für Korallen. Die Verflechtungen im Nahrungsnetz der Meere könnten ein massenhaftes Artensterben zur Folge haben. Auch wird unter Meereswissenschaftlern diskutiert, wie lange die Ozeane diese Pufferfunktion noch erfüllen können. Es gibt erste Hinweise darauf, dass die Aufnahmefähigkeit des Meerwassers für Kohlendioxid nachlässt. Wenn sich dies bewahrheitet, werden zukünftige Klimaänderungen noch schneller eintreten und stärker ausfallen, als heute vorhergesagt.



Abbildung 9: Der Klimawandel betrifft auch die Korallen in den Meeren.

GIBT ES NOCH WEITERE TREIBHAUSGASE?

Wasserdampf ist das wichtigste natürliche Treibhausgas. CO₂ ist der Hauptverursacher des zusätzlichen, vom Menschen verursachten Treibhauseffekts. Es gibt aber noch weitere Treibhausgase.

CO₂ ist nicht das einzige Treibhausgas

Allerdings spielt es bei der aktuellen Diskussion die wichtigste Rolle, weil es mit über drei Vierteln den größten Anteil am zusätzlichen, vom Menschen verursachten Treibhauseffekt hat (Abbildung 11). Dabei stammt der größte Teil aus der Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Öl und Erdgas. Ein kleinerer Teil des CO₂ stammt aus sogenannten Landnutzungsänderungen – häufig werden Waldflächen durch Brandrodung in Ackerland umgewandelt. Der Kohlenstoff, der vorher im Holz und im Boden gebunden war, gelangt wieder in die Atmosphäre.

Methan (CH₄) entsteht durch menschliche Aktivität in der Landwirtschaft, beim Reisanbau und bei der Viehhaltung, aber auch durch die Verbrennung von Biomasse. Weitere Quellen sind Mülldeponien, die Verarbeitung von Erdöl und

Erdgas (Methan ist der Hauptbestandteil von Erdgas). Ebenso wie die Konzentration von CO₂ hat sich der Anteil von Methan in der Atmosphäre seit Beginn der Industrialisierung deutlich erhöht (Abbildung 12). Die Treibhauswirksamkeit von Methan ist 28-mal höher als die von CO₂. Da die absoluten Konzentrationen von Methan aber viel geringer sind, fällt die klimaschädigende Wirkung dieses Gases unter dem Strich kleiner aus.

Distickstoffoxid (N₂O) – besser bekannt als Lachgas – ist ein Treibhausgas, das hauptsächlich aus der Landwirtschaft stammt. Es entsteht beim Abbau von Stickstoffdünger, seine Konzentration in der Atmosphäre steigt seit Beginn der Industrialisierung ebenfalls an.

Die sogenannten F-Gase sind Kohlenwasserstoffe, die Fluor enthalten. Die bekanntesten Vertreter dieser chemischen Stoffgruppe sind

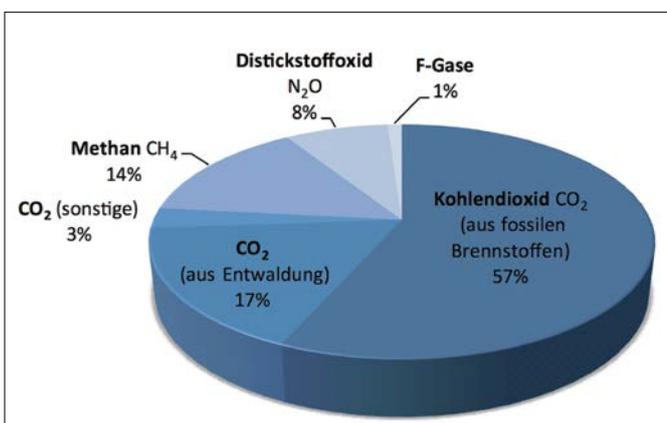


Abbildung 10: Anteile verschiedener Treibhausgase am durch den Menschen verursachten Treibhauseffekt. CO₂ hat insgesamt einen Anteil von über drei Vierteln.

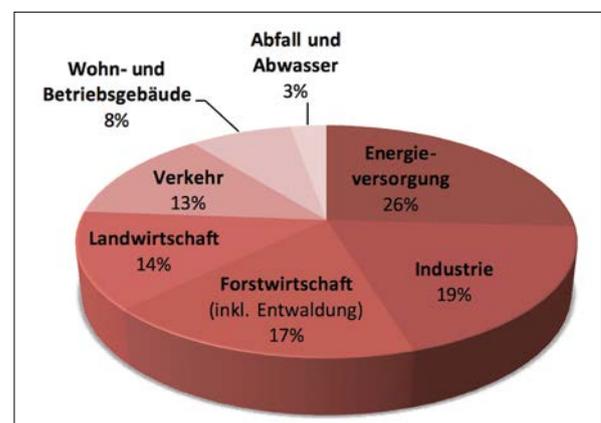


Abbildung 11: Quellen von Treibhausgasen. Anteile der verschiedenen Sektoren an gesamten Treibhausgasemissionen.

die FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffe). Früher als Kühl- und Treibmittel ein wichtiger Stoff für die Industrie, wurden sie in den 1980er-Jahren als Verursacher des Ozonlochs über der Antarktis identifiziert. In der Folge einigte sich die Staatengemeinschaft auf ein Verbot und die Produktion wurde weltweit gestoppt. Daher steigt die Konzentration von FCKW in der Atmosphäre nicht weiter an. Aufgrund der langen Lebenszeit der Verbindungen in der Atmosphäre besitzen sie jedoch ein sehr hohes Treibhauspotential (5 000 – 10 000fache Wirkung von CO_2). Ihre absolute Konzentration in der Atmosphäre hingegen ist niedrig, so dass ihr Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt nur gering ist.

Ruß- und Staubpartikel (Aerosole) sind keine treibhauswirksamen Stoffe, sie haben aber trotzdem Einfluss auf den Strahlungshaushalt der Erde und damit auf den Klimawandel. Die Quellen von Ruß und Staub sind Industrieprozesse sowie die Verbrennung von Biomasse – beispielsweise bei der Brandrodung von Waldflächen. Die Wirkungen von Ruß- und Staubpartikeln auf das Klima sind unterschiedlich. Einerseits sorgen die Partikel in der Atmosphäre dafür, dass weniger Sonnenstrahlung die Erde erreicht. Mit dieser globalen „Abdunkelung“ haben sie eine kühlende Wirkung auf das Klima. Ebenso dienen die winzigen Teilchen als Kondensationskeime für Wasserdampf. Eine Änderung ihrer Anzahl hat somit Auswirkungen auf die Bildung von Wolken und auf ihre Lebensdauer – was wiederum Folgen für den Strahlungshaushalt hat. An der Erdoberfläche, vor allem auf Schnee- und Eisflächen, hat Ruß eine umgekehrte, also klimawärmende Wirkung. Durch seine dunkle Farbe verringert sich der Anteil der Sonnenstrahlung, die reflektiert wird – die Erde erhält mehr Energie.

Unter dem Strich aber haben Ruß und Staub momentan eine leicht abkühlende Wirkung auf das Klima, die gegenüber der wärmenden Wirkung des CO_2 jedoch vergleichsweise gering ist.

Wie wird die Schädlichkeit von Treibhausgasen gemessen?

Nicht alle Treibhausgase haben dieselbe klimaschädigende Wirkung. Um verschiedene Stoffe miteinander zu vergleichen, wird die Treibhauswirksamkeit von CO_2 über einen bestimmten Zeitraum (meist 100 Jahre) als Maß genommen. CO_2 hat demnach eine Treibhauswirksamkeit von genau 1. Diese Größe wird als globales Erwärmungspotenzial bezeichnet und trägt die Abkürzung GWP (Global Warming Potential). Das GWP vieler Treibhausgase ist viel höher als das von CO_2 – das von Methan beträgt 28, N_2O hat ein GWP von 265. Allerdings muss gleichzeitig beachtet werden, dass diese nicht in den großen Mengen vom Menschen produziert werden wie Kohlendioxid.

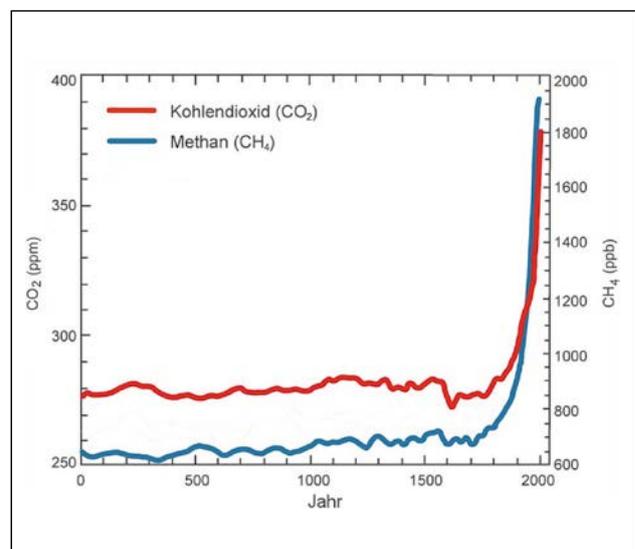


Abbildung 12: Konzentration von Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) über die letzten 2000 Jahre. Bei der Darstellung muss beachtet werden, dass die absolute Konzentration von Methan viel niedriger ist als die von CO_2 – statt in ppm (Teile pro einer Million Teile) wird die Methankonzentration in Teile pro einer Milliarde Teile (ppb) gemessen.

IST DER MENSCH SCHULD AM KLIMAWANDEL?

Ja, der aktuelle Stand der Klimaforschung lässt keinen anderen Schluss zu, dass der aktuell beobachtete Klimawandel seit Beginn der Industrialisierung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts durch den Menschen verursacht ist.

Die Aufzeichnungen der Temperatur bzw. die Rekonstruktionen der Temperatur in der Vergangenheit (zum Beispiel anhand von Baumringanalysen) zeigen, dass die mittlere Temperatur auf der Erde seit der Mitte des 19. Jahrhunderts um circa $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ angestiegen ist. Damit liegt die Temperatur momentan etwa $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ über der Temperatur während der mittelalterlichen Warmzeit (Abbildung 13). Auf der Nordhalbkugel der Erde waren die letzten 30 Jahre wahrscheinlich die wärmste Periode über die letzten 1 400 Jahre.

Wie beeinflusst der Mensch das Klima?

Der zusätzlich durch den Menschen verursachte Treibhauseffekt hat eine wärmende Wirkung auf

das Klima. Die Ursache dafür ist die Emission von Treibhausgasen, an erster Stelle von CO_2 . Allerdings hat die starke Nutzung fossiler Brennstoffe durch den Menschen zum Teil auch einen gegenteiligen Effekt: Durch alle Verbrennungsprozesse gelangen partikelförmige Verunreinigungen, also Staub, in die Luft. Dieser Staub vermindert die einfallende Sonnenstrahlung – die Folge ist eine Temperaturabnahme. Dieser Effekt ist jedoch bei weitem nicht stark genug, um die Erwärmung durch das CO_2 auszugleichen.

Betrachtet man den Verlauf der Temperatur in den letzten 160 Jahren (Abbildung 14), wird dieser zusätzliche, kühlende Effekt durch die Luftverunreinigung deutlich: Ab ca. 1900 bis zu den 1950er-Jahren gab es einen deutlichen Erwär-

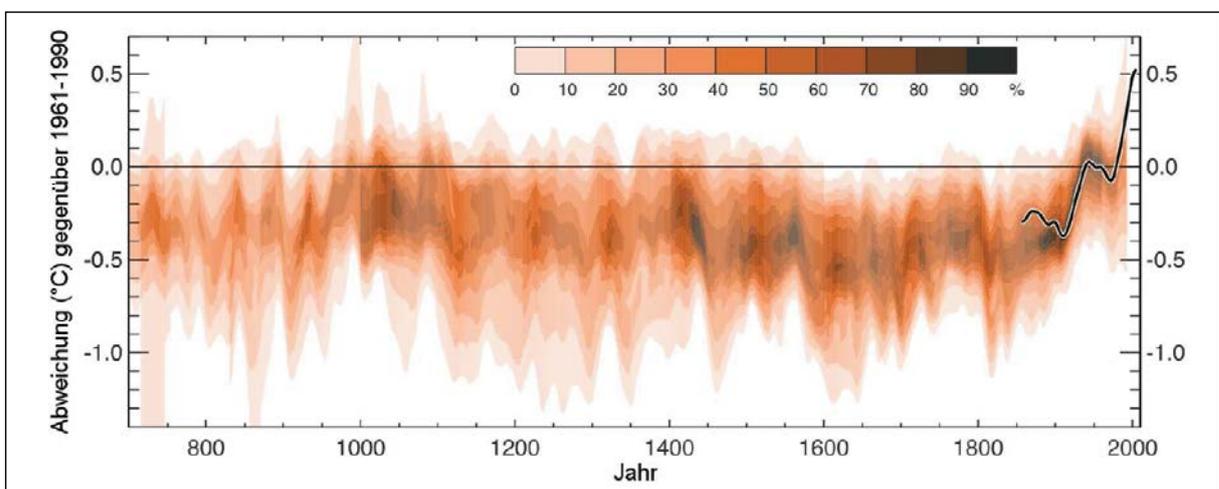


Abbildung 13: Temperatur auf der Nordhalbkugel der Erde in den letzten 2 000 Jahren. Die Grundlage für das Diagramm bilden verschiedene Einzelstudien, die sich jeweils in der Methodik und dem Untersuchungsraum unterscheiden. Je dunkler die Farbe im Diagramm, desto höher ist aber die Übereinstimmung zwischen den Studien. Die schwarze Kurve ab 1850 zeigt die gemessene Temperatur mit dem menschengemachten Anstieg im 20. Jahrhundert.

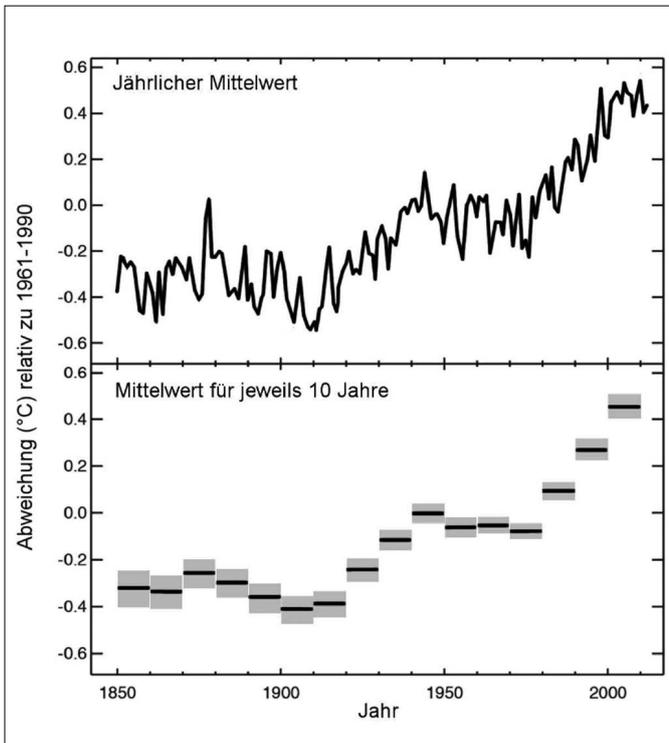


Abbildung 14: Die globale mittlere Temperatur während der letzten 160 Jahre. Die obere Kurve zeigt die Mittelwerte für jeweils ein Jahr. Das „Zick-Zack“-Muster des Verlaufs macht die hohe Jahr-zu-Jahr-Variation der Temperatur deutlich, die durch natürliche Vorgänge im Klimasystem verursacht wird. Die untere Abbildung zeigt die mittlere Temperatur von jeweils 10 Jahren (schwarzer Balken, die graue Flächen geben den Unsicherheitsbereich an). Alle Daten zeigen nicht die absolute Temperatur, sondern die Abweichung zum 30-jährigen Zeitraum 1961-1990.

mungstrend, der sich dann aber abschwächte und erst ab den 1980er-Jahren weiterging. Für das „Einknicken“ der Erwärmung wird die hohe Luftverunreinigung verantwortlich gemacht. Erst zu Beginn der 1980er-Jahre kamen in Kraftwerken und Industrieanlagen effektive Filter zum Einsatz, auch Autos stießen immer weniger Luftschadstoffe aus – dies wiederum verminderte den kühlenden Effekt und sorgte dafür, dass die globale Erwärmung nicht länger maskiert wurde.

Wie sähe die Situation ohne den Menschen aus?

Der Einfluss des Menschen ist nicht die einzige Ursache für Klimaveränderungen. Die Wirkung von Treibhausgasen ist zwar gut verstanden. Allerdings zeigen die bisher genannten Zusammenhänge auch, dass die Vorgänge im Klimasystem weitaus komplexer sind und viele weitere Faktoren und Querwirkungen betrachtet werden müssen. Zu den Antrieben des Klimasystems, die natürlicherweise ablaufen, gehören Schwankungen der Sonneneinstrahlung, aber auch besondere Ereignisse, wie zum Beispiel Vulkanausbrüche, die viel Staub in die Atmosphäre bringen. Hinzu kommen sogenannte interne Schwankungen des Klimasystems, die durch das komplexe Zusammenspiel zwischen Vorgängen in der Atmosphäre und dem System der Meeresströmungen hervorgerufen werden.

Besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem CO₂ und der Temperatur?

Im Verlauf der Erdgeschichte haben sich das Klimasystem und die Lebensvorgänge auf der Erde immer untereinander beeinflusst und tun dies auch heute noch. Dies führte zu Veränderungen innerhalb des Kohlenstoffkreislaufes. Es ist zum Beispiel möglich, dass durch die aktuelle Temperaturerhöhung Teile des Permafrostbodens in den höheren Breiten auftauen. Der darin gespeicherte Kohlenstoff gelangt dann in Form von CO₂ in die Atmosphäre und beschleunigt den gesamten Prozess weiter. Diese und andere ähnliche Vorgänge werden als Rückkopplungen bezeichnet und können die beobachteten Klimaveränderungen verstärken.

So reagiert langfristig nicht nur die Temperatur auf erhöhte CO₂-Konzentrationen, die Erdgeschichte zeigt, dass langfristig auch



Abbildung 15: Wachstumsringe an Bäumen geben Aufschluss über das Klima vergangener Zeiten.

die CO₂-Konzentration auf die Temperatur reagiert hat: Dabei reagiert die CO₂-Konzentration über Wechselwirkungen im Kohlenstoffkreislauf auf die Temperatur. Eine Temperaturabnahme führt zu einer erhöhten Aufnahmefähigkeit der Ozeane für CO₂, das wiederum hat eine Abnahme der Konzentration in der Atmosphäre zur Folge.

Diese Beispiele zeigen, dass die Auswirkung der momentanen CO₂-Konzentration nicht eins zu eins auf das aktuelle Klima übertragen werden kann. Vielmehr gibt es im Klimasystem viele Vorgänge, die sich gegenseitig beeinflussen. Eben das ist der Grund, warum die Kurve der Temperatur nicht so schnurgerade nach oben führt wie die der CO₂-Konzentration. Das Klima war im Laufe der Erdgeschichte einem ständigen Wandel unterworfen. **Allerdings bleibt der Mensch durch seinen Energiehunger in den letzten 200 Jahren der ausschlaggebende Faktor, der für eine starke Klimaänderung in (erdgeschichtlich) sehr kurzer Zeit verantwortlich ist.**

Woher weiß man, dass der Mensch am aktuellen Klimawandel Schuld ist?

Versucht man, den Temperaturverlauf des letzten Jahrhunderts mit Computermodellen zu simulieren, gelingt dies nur, wenn alle der angesprochenen Antriebfaktoren berücksichtigt werden (Abbildung 16). Lässt man den Einfluss des Menschen weg, also die Wirkung der Treibhausgase und die Luftverunreinigung durch Staub, zeigen die Simulationen Ergebnisse, die mit den Beobachtungswerten nicht übereinstimmen. Im Gegenteil: Ohne den Ein-

Woher weiß man, wie warm es vor 1 000 Jahren war?

Genauere Messinstrumente, um die Temperatur aufzuzeichnen, gibt es noch nicht lange. Erst im 19. Jahrhundert fingen Wissenschaftler an, die Temperatur genau zu messen und zu notieren, damals auch nur an wenigen Stellen, meist in Europa oder Nordamerika. Klimaforscher arbeiten jedoch mit Temperaturverläufen, die wesentlich länger zurückreichen (zum Beispiel Abbildung 13). Woher nimmt man diese Werte? Auch wenn keine genauen Messwerte vorliegen, beobachten Menschen das Wetter schon lange, geschichtliche Aufzeichnungen sind gespickt mit Berichten über Wetterphänomene, starke Unwetter, extrem kalte Winter und Dürreperioden. Klimaforscher können daraus Wetterdaten längst vergangener Zeiten rekonstruieren – nämlich durch die Auswertung historischer Berichte, Erzählungen oder auch Gemälde.

Daneben gibt es viele weitere Methoden, um Klimadaten indirekt aus natürlichen „Klimaarchiven“ zu bestimmen. Diese sogenannten Klimaproxies können zum Beispiel die Wachstumsringe von Bäumen sein: Anhand der Abfolge und Stärke der Jahresringe kann auf die klimatischen Bedingungen während des Wachstums des Baums zurückgeschlossen werden. Andere Klimaproxies sind Eisbohrkerne, See- und Ozeansedimente oder Ablagerungen von Pflanzenpollen.

fluss des Menschen hätte seit den 1950er-Jahren sogar eine leichte Abkühlung beobachtet werden müssen. Nur natürliche Ursachen erklären den momentanen Klimawandel nicht. Erst wenn der Faktor Mensch mit ins Spiel kommt, stimmen die Simulationsergebnisse mit den Messungen überein.

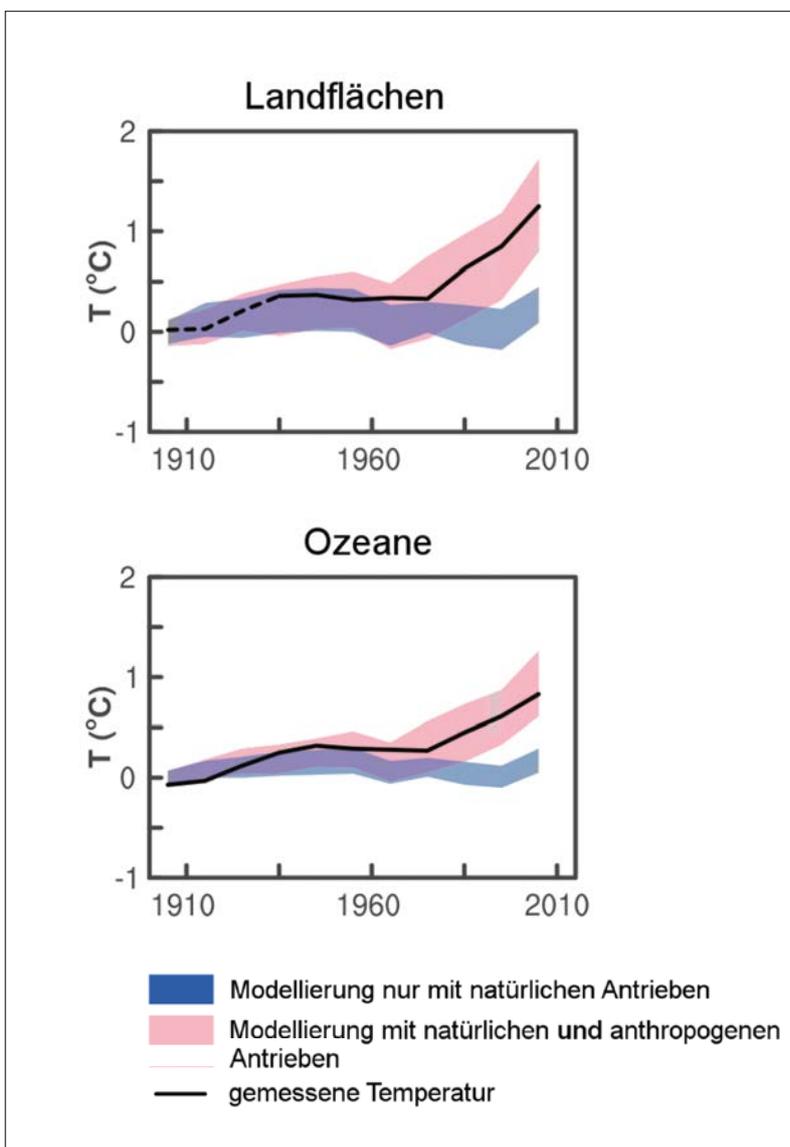


Abbildung 16: Einfluss des Menschen auf das Klima. Beim Vergleich von Modellsimulationen des Klimas zeigt sich, dass die gemessenen Temperaturen (schwarze Linie) nur dann erklärt werden können, wenn in den Modellen die menschengemachten Klimaantriebe berücksichtigt wurden (rosa Bereich). Bei den Modellen, die nur die natürlichen Faktoren berücksichtigten, lagen die Ergebnisse abseits der Messungen (blauer Bereich).

IPCC – der Weltklimarat

In der öffentlichen Diskussion um den Klimawandel spielen die Berichte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) eine große Rolle. Dieser „Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen“ wurde 1988 von den Vereinten Nationen ins Leben gerufen und hat zur Aufgabe, den wissenschaftlichen Kenntnisstand der Klimaforschung zu bündeln. Dazu gehören neben den naturwissenschaftlichen Grundlagen auch die Abschätzung der Risiken des Klimawandels sowie die Darstellung von Anpassungs- und Vermeidungsstrategien. **Der IPCC betreibt selber keine Forschung, sondern trägt aus wissenschaftlichen Arbeiten vieler Fachrichtungen den aktuellen Stand des Wissens zusammen.** Dieser wird im Abstand mehrerer Jahre in den Sachstandsberichten des IPCC veröffentlicht. Der jüngste Bericht ist Anfang 2014 erschienen und war der fünfte Sachstandsbericht insgesamt.

KONKRET: WASSERVERSORGUNG IN ZEITEN DES KLIMAWANDELS

„Die Erwärmung des Klimasystems ist eindeutig und es ist äußerst wahrscheinlich, dass der menschliche Einfluss die Hauptursache der beobachteten Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts war. Die bereits heute eingetretenen Klimaänderungen haben weitverbreitete Auswirkungen auf Mensch und Natur.“¹

Die Klimaveränderungen der nächsten 100 Jahre werden in sehr vielen Bereichen der öffentlichen Versorgung erhebliche Anpassungen nach sich ziehen. Auch Trinkwasserversorger befassen sich längst mit dem Thema Klimawandel. Es geht darum, sich schon heute auf die sich ändernden Klimabedingungen einzustellen, damit auch in Zukunft eine hohe Qualität und eine ausreichende Menge des Trinkwassers garantiert werden kann. Wie sich der Klimawandel kleinräumig genau auswirken wird, ist nicht detailliert vorhersehbar. Nur dass Klimaeinflüsse spürbar anders sein werden als heute, ist so gut wie sicher.

In breit angelegten Forschungsprojekten, wie zum Beispiel **dynaklim**, werden Auswirkungen auf das zukünftige Wasserdargebot in Zukunftsszenarien durchgespielt.

Ergebnisse aus Projekten wie **dynaklim** liefern Hilfestellungen bei zukünftigen unternehmerischen Entscheidungen. Wenn also in der Aufbereitung oder Verteilung von Trinkwasser Modernisierungen anstehen, werden in die Planung bereits heute Auswirkungen des Klimawandels mit einbezogen. So gut wie sicher ist, dass es einen Klimawandel global geben wird. Wie genau er sich in einzelnen Regionen auswirken wird, ist zwar nicht konkret vorhersehbar, aber es gibt verschiedene, wahrscheinliche Szenarien,

an deren Auswirkungen man heute schon Planungen und Umbauten ausrichten kann und sollte. So wird in der Wasserversorgung heute schon angemessen gehandelt, da öffentliche Wasserversorgung immer schon auf lange Zeiträume ausgerichtet war und ist. Die RWW versorgt ihre Kunden mit Trinkwasser und Brauchwasser, welches zum Teil aus Oberflächenwasser und zum Teil aus Grundwasser hergestellt wird.

dynaklim heißt: Dynamische Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe Region. Gefördert wurde dieses Verbundforschungsprojekt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Zeitraum 2009-2014. Ziele waren die Auswirkungen des Klimawandels u.a. auf die Wasserversorgung zu untersuchen und geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln. Projektpartner waren Forschungseinrichtungen wie das IWW Zentrum Wasser, Wasserversorger wie die RWW, Städte wie die Stadt Mülheim an der Ruhr und viele andere mehr.

In Bezug auf den Klimawandel ergeben sich daher unterschiedliche Fragestellungen:

Für die Wasserversorgung aus der Ruhr:

- Reicht die Wassermenge in der Ruhr bzw. in den Talsperren für die Trinkwassergewinnung auch für mehrere heiße Sommer aus?
- Bei Starkregen könnte die Ruhr über ihre Ufer treten. Was bedeutet das für mögliche Verkeimungen in Trinkwasserfassungsanlagen wie zum Beispiel Brunnen?

¹ 5. Sachstandsbericht des Weltklimarates IPCC, http://www.de-ipcc.de/_media/141102_Kernbotschaften_IPCC_SYR.pdf

- Ist die Trinkwasseraufbereitung und -verteilung auch in langen, heißen Sommern effektiv genug, so dass es beispielweise nicht zu erhöhten Keimzahlen im Trinkwasser kommt?

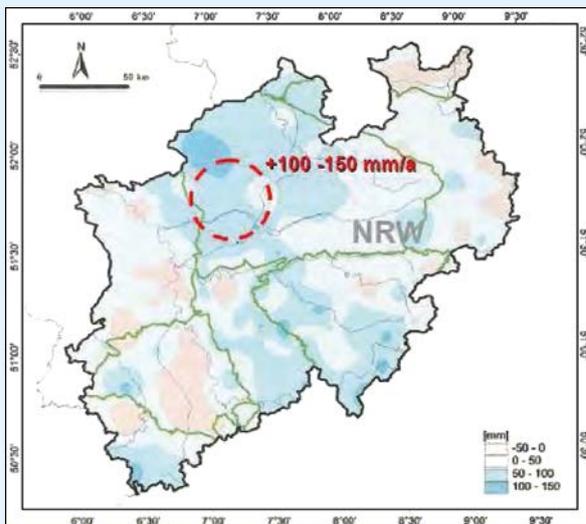


Abbildung 17: Erhöhung der Jahressumme der Niederschläge bis 2055 in Nordrhein-Westfalen (Prognose).

Für die Wasserversorgung aus Grundwasser:

- Reicht die Grundwassermenge auch bei mehreren langen, heißen Sommern aus, um die Bevölkerung mit Trinkwasser zu versorgen und allen anderen Nutzern des Wasserreservoirs gerecht zu werden?
- Können Landwirte weiterhin verstärkt Ihre Felder beregnen?
- Welche Prioritäten müssen gesetzt werden?
- Reicht das Wasser für Feuchtgebiete, oder sinkt der Wasserspiegel, und auch Bäche fallen trocken?
- Wird sich die Grundwasserqualität verschlechtern, wenn die klimatischen Bedingungen eine weitere Intensivierung der Landwirtschaft zulassen?

Untersuchungen haben ergeben, dass RWW mit Folgendem rechnen muss:

1. Zunahme von Hochwasserereignissen. Überflutungen von Brunnen könnten Verunreinigungen nach sich ziehen.
2. Durch häufigere Hitze- und Trockenperioden kommt es eventuell zu mehr Rohrbrüchen, weil der Boden häufiger von sehr nass zu sehr trocken wechselt. Durch sehr lange Trockenperioden kann es mehr Verbrauchsspitzen im Wasserbedarf der Privatkunden geben: Intensives Wässern der Gärten häufigeres Duschen ... Tendenziell sinkt der Trinkwassergebrauch im Mittel in den nächsten Jahrzehnten, da die Bevölkerungszahlen abnehmen. Die Vermutung ist jedoch, dass in Spitzenzeiten deutlich mehr Wasser als heute benötigt werden wird.
3. Verlängerte Vegetationsperioden ermöglichen den Bauern, mehr und länger anzubauen (drei Ernten pro Jahr, sogenannte Dritte Frucht). Die Menge des ausgebrachten Düngers und Pflanzenschutzmittels erhöht sich drastisch, ebenso die des für die Beregnung benötigten Trinkwassers. In der Folge erhöht sich der Konkurrenzdruck von Landwirtschaft und öffentlicher Wasserversorgung.
4. Mehr Entnahmen aus dem Grundwasser wären mittelfristig nur zu Lasten des Naturhaushaltes machbar, das heißt zum Beispiel die Gefahr der Trockenlegung von Bächen und Feuchtgebieten steigt.
5. Für die Ruhr geht man von erhöhter Wasserknappheit aus, die aber durch das Talsperrensystem mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit kompensiert werden kann. Das heißt meh-

rere sehr heiße Sommer können durch erhöhte Aufstauungen in den Talsperren im Sauerland aufgefangen werden. Allerdings fließt dann das System Ruhr noch weniger, was sich auch ökologisch auswirken wird.

6. Die Wasseraufbereitung der RWW durch das Mülheimer Verfahren ist auch bezüglich der Probleme, die durch den Klimawandel verursacht werden, sehr leistungsfähig. Auch bei höheren Temperaturen reduziert dieses Verfahren den Anteil organischer Substanz soweit aus dem Rohwasser, dass auch auf längeren Distanzen im Rohrnetz keine Aufkeimung des Trinkwassers zu befürchten ist.
7. Die Grundwasserneubildungsperiode verschiee sich voraussichtlich von heute Oktober bis April hin zu November bis März, das heißt, der Zeitraum, in dem aus dem Grundwasserreservoir ohne Neubildung entnommen werden muss, verlängert sich, und die negativen Auswirkungen auf Bäche und Feuchtgebieteverstrken sich.
8. Durch steigende Temperaturen verändert sich möglicherweise das Rohwasser in seiner chemischen Zusammensetzung.

RWW hat sich bereits auf den Klimawandel vorbereitet, beteiligt sich an Forschungsprojekten wie dynaklim aktiv und verfolgt andere aufmerksam, um bestmöglich in die Planungen für die kommenden Jahrzehnte einzusteigen. Einige Anpassungen (zum Beispiel Dichtwandbau im Wassergewinnungsgelnde Essen-Kettwig) sind schon umgesetzt, in manchen Bereichen sind jedoch weitere Anpassungen notwendig. Dort, wo Wasser aus der Ruhr verteilt wird, ist die Wasserqualität und -menge zwar gesichert, aber das Thema Spitzenverbruche in langen, heißen Sommern muss noch wasserwirtschaftlich bearbeitet werden.

Dort, wo Grundwasser genutzt wird, diskutieren Landwirtschaft, Naturschutz und Wasserwirtschaft schon heute über die Verteilung der Wassermengen. In Zukunft wird sich die Debatte verschärfen; hier werden möglicherweise Konflikte entstehen, die man nur mithilfe einer regionalen Wassermengenbewirtschaftung steuern kann.

Ähnliches gilt für die Wasserqualität des Grundwassers. Hier wird es für die Wasserversorger auch unter Klimawandelbedingungen darauf ankommen, weiterhin den Gehalt an Nitrat und Pflanzenschutzmitteln so weit zu begrenzen, dass diese Stoffe nicht im Trinkwasser landen. Klimawandel verschärft die Sorge um dieses Thema.

Anpassungsstrategie im Klimawandel für die RWW

„Wir können die Zukunft nicht komplett vorsehen, aber wir können unsere Organisationen, Denkweisen und Systeme „evolutions-tauglicher“ gestalten.“

(Matthias Horx, Zukunftsforscher)

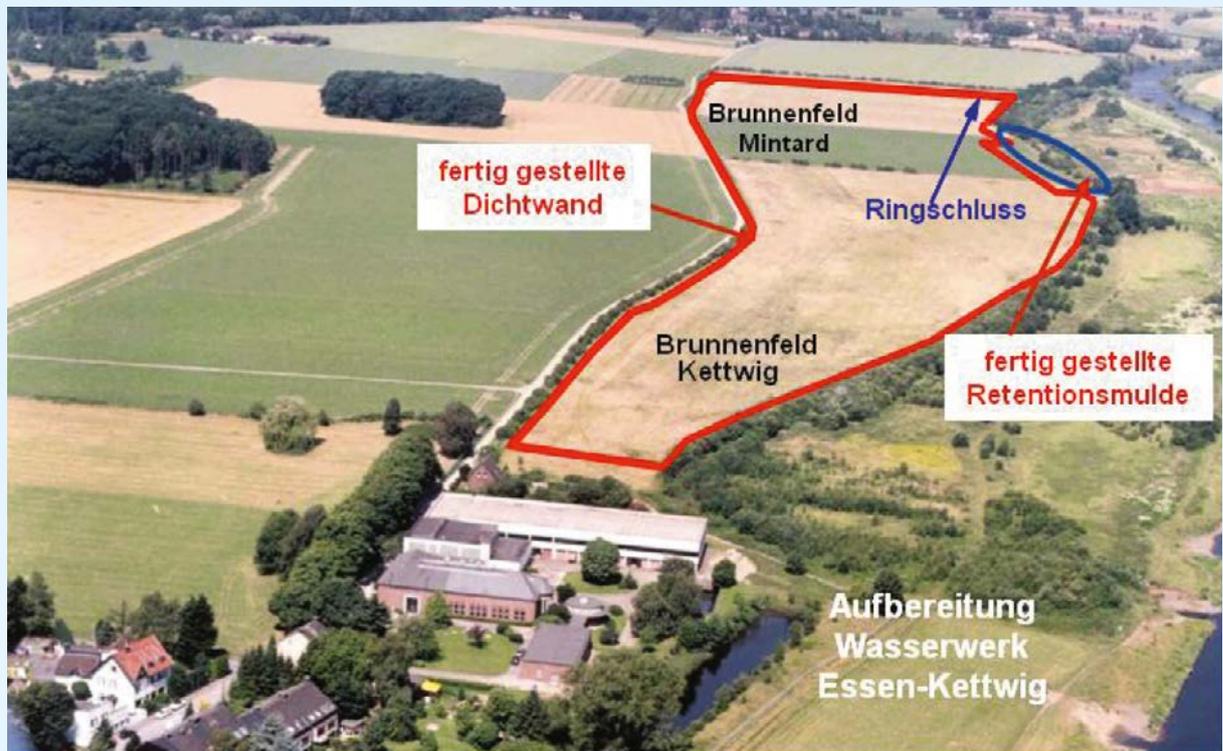


Abbildung 18 und 19: Beispiel für die Anpassung der RWW an Extremereignisse: unterirdische Dichtwand in Essen-Kettwig zum Schutz vor Überflutung des Wassergewinnungsgeländes.

MACHT DER KLIMAWANDEL PAUSE?

Eine Nachricht macht in letzter Zeit immer wieder Schlagzeilen: Der Klimawandel macht Pause! Gibt es ihn vielleicht gar nicht?

Die Wechselwirkungen im Klimasystem zwischen Atmosphäre, Ozeanen und Landmassen führen dazu, dass die mittlere globale Temperatur natürliche Schwankungen zeigt, die von Jahr zu Jahr zu relativ großen Unterschieden führen: Die Temperaturkurve der Erde ist keine gerade Linie, sondern „zappelt“ hin und her.

Die Erwärmung durch den Klimawandel lässt sich am langfristigen Verlauf der Kurve erkennen – am Trend der Temperaturkurve über einen langen Zeitraum. In der Regel sind das 30 Jahre – siehe Definition des Begriffs „Klima“ weiter vorne. Dieser Langzeittrend zeigt, vor allem seit Beginn der 1980er-Jahre, nach oben. Betrachtet man die globale Temperatur über einen kürzeren Zeitraum (beispielsweise nur 10-15 Jahre), muss man vorsichtig sein. Ist der Zeitraum lang genug, um den langfristigen Trend richtig wiederzugeben? Oder führen kurzfristige Abweichungen, die ihre Ursache in der natürlichen Variabilität des Klimasystems haben, dazu, dass die Aussage über den Klimawandel verfälscht wird?

Ein Beispiel: Lässt man die Temperaturkurve im Jahr 1998 beginnen, fällt der Erwärmungstrend bis heute sehr gering aus. Das ist aber nicht zulässig, da zum einen der betrachtete Zeitraum bis heute zu kurz ist, zum anderen 1998 ein außergewöhnlich warmes Jahr war.

Das El Niño-Phänomen, eine natürliche Schwankung von Meeresströmungen im Pazifik, hat Auswirkungen auf das gesamte Klimasystem der

Erde. Ein starkes El Niño-Ereignis führt global zu höheren Temperaturen. 1998 war El Niño besonders stark und führte zu einer Spitze in der Temperaturkurve.

Der Langzeittrend der globalen Erwärmung zeigt also weiter nach oben – was nicht heißt, dass alle Klimamodelle die kurz- und mittelfristigen Veränderungen des Erdklimas korrekt wiedergeben können. Die Forschung rund um das Klimasystem ist schließlich keine abgeschlossene Sache, sondern unterliegt – wie die gesamte Wissenschaft – einem stetigen Entwicklungs- und Erkenntnisprozess. Daher ist es auch nicht richtig, aus der Diskussion zu schließen, dass die bestehenden Modelle und ihre Prognosen durch die aktuellen Beobachtungen wertlos und falsch geworden sind.

WIE WIRD SICH DAS KLIMA IN ZUKUNFT VERÄNDERN?

Die Frage nach dem Klima auf der Erde in der nahen und mittleren Zukunft kann mit Hilfe von Szenarien und Modellen beantwortet werden.

Um zu verstehen, wie sich das Klima in Zukunft entwickeln wird, benutzt man Modelle des Klimasystems. Mit Hilfe komplexer Computerprogramme wird versucht, die Vorgänge im Klimasystem möglichst naturgetreu nachzubilden. Bei diesen Simulationen haben Klimaforscher die Möglichkeit, an mehreren „Schrauben“ zu drehen.

Sie können zum Beispiel das Gedankenexperiment durchführen „Was wäre, wenn die Menschheit ab sofort kein CO₂ mehr produzieren würde?“ **Genau da liegt der Knackpunkt: Wie das Klima in den nächsten 100 Jahren aussehen wird, ist vor allem von der Aktivität der Menschen abhängig. Setzt die Menschheit weiterhin auf fossile Brennstoffe und steigt die Weltbevölkerung weiter rasant an, gelangt immer mehr CO₂ in die Atmosphäre. Werden in den nächsten Jahren zunehmend neue energiesparende Technologien eingesetzt und regenerative Energien stärker genutzt, wird die Temperaturerhöhung deutlich geringer ausfallen.**

Wie wird die Welt in 50 oder 100 Jahren aussehen?

Auf diese Frage kann es also mehrere Antworten geben – und dies muss bei Klimamodellierungen beachtet werden. Aus diesem Grund wurde für die Klimamodellierungen für den IPCC-Report ein Satz an verschiedenen möglichen Szenarien aufgestellt, die alle für die Klimamodellierung nötigen Daten enthalten – d.h. vor allem Angaben über

den zukünftigen Strahlungshaushalt der Atmosphäre, welcher natürlich von den Treibhausgasemissionen abhängt. Die zwei Extreme dabei sind:

▪ **Günstiges Szenario (RCP 2.6):**

Hier wird davon ausgegangen, dass sich die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre bei ca. 450 ppm zur Mitte des Jahrhunderts stabilisiert und danach sinkt. Der Energiebedarf der Menschheit wird weiter steigern – allerdings geht die Verwendung von Öl bereits ab den 2020er-Jahren zurück, da Biomasse und andere regenerative Energien genutzt werden. Zudem wird die Effizienz bei der Energiegewinnung erheblich gesteigert.

▪ **Ungünstiges Szenario (RCP 8.5):**

Der Energiebedarf der Menschheit steigt weiter rapide an, die Nutzung von Öl geht erst ab dem Jahr 2075 zurück. Insgesamt steigt die Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre auf über 900 ppm.

Neben diesen beiden gibt es noch zwei moderate Szenarien (RCP 4.5, RCP 6). Hier liegen die Änderungen des Strahlungshaushaltes sowie der Treibhausgasemissionen zwischen den beiden beschriebenen Extremen.

Die Szenarien haben nicht den Anspruch, die Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Entwicklung vorauszusagen! Sie sind alle realistische Entwicklungspfade – **ob ein bestimmtes Szenario wirklich eintritt, hängt davon ab, wie schnell es die Menschheit schafft, die Nutzung von fossilen Energieträgern durch Alternativen zu ersetzen.**

In Abbildung 16 sind die Ergebnisse der Modellsimulationen zu sehen. Sie zeigen den erwarteten Temperaturanstieg bis zum Jahr 2100. Im günstigsten Szenario sagen die Modelle einen Anstieg der mittleren globalen Temperatur um insgesamt 1,2 bis 1,8 °C voraus (wie gesagt: bei ca. 0,8 °C liegen wir heute schon), ab der Mitte des Jahrhunderts wird sich der Erwärmungstrend dann abflachen.

Im ungünstigen Szenario hingegen, also bei einem weiteren Anstieg der Treibhausgaskonzentration, zeigen die Modelle eine globale Erwärmung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts im Bereich von 2,6 bis 4,8 °C, welche danach auch weiter nach oben zeigen wird.

Dies zeigt: Es wird auf jeden Fall wärmer! Selbst wenn es gelingt, die Treibhausgaskonzentration im Laufe des Jahrhunderts zu stabilisieren, ist mit einer Klimaveränderung zu rechnen. Der

Grund dafür ist die Trägheit des Klimasystems: Die globale Temperatur reagiert zeitverzögert auf den Anstieg der Treibhausgaskonzentration.

Wann kippt das Klima?

Gehen wir davon aus, dass die Zukunft der Treibhausgasemissionen eher gemäß der moderaten Szenarien bzw. des ungünstigen Szenarios ablaufen wird, erwartet die Erde eine Klimaerwärmung, die mit hoher Wahrscheinlichkeit die 2 °C-Marke überschreiten wird.

Diese 2 °C-Grenze hat einige Bedeutung: Von vielen Klimaforschern wird erwartet, dass die Folgen der globalen Erwärmung unter 2 °C noch kontrollierbar sind. Bei einer stärkeren Erwärmung wird erwartet, dass sogenannte „Kippunkte“ im Klimasystem erreicht werden. Dann können sich die Auswirkungen der Erwärmung

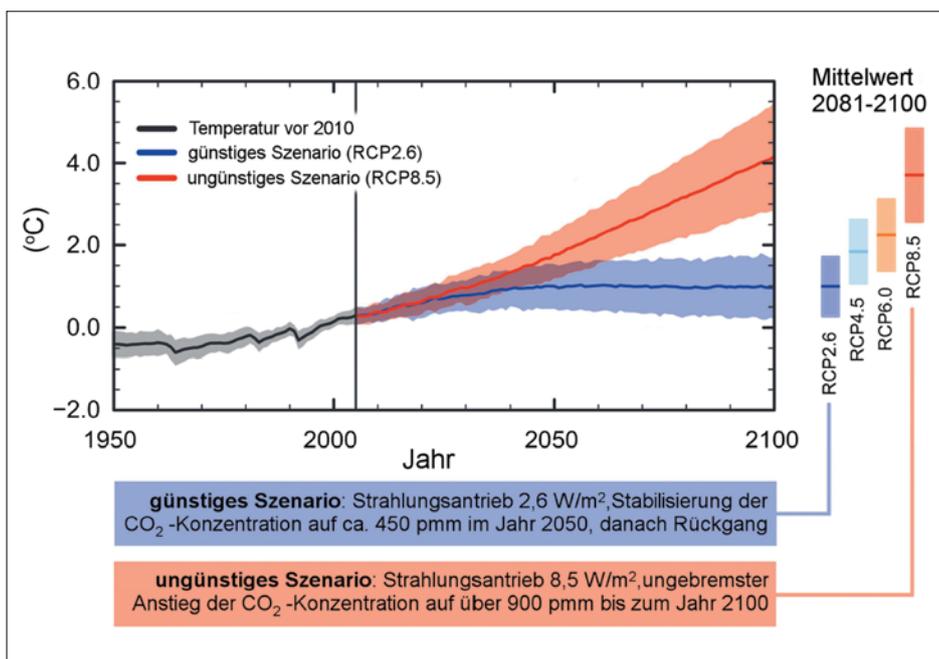


Abbildung 20: Mittlere Temperatur auf der Erde bis 2100 bei verschiedenen Entwicklungsszenarien. Mit unterschiedlichen Einstellungen werden mit den Klimamodellen mehrere Durchläufe gemacht. Die starken Linien zeigen die jeweiligen Mittelwerte der verschiedenen Simulationen, die farbigen Bereiche die Schwankungsbereiche der Berechnungen. Die Werte vor dem Jahr 2010 entsprechen den gemessenen Temperaturen. Die Namen der Szenarien geben den Strahlungsantrieb wieder, d.h. wieviel mehr Energie die Erdoberfläche erhält. Diese Größe ist im Wesentlichen von der CO₂-Konzentration abhängig.

mung in Teilen des Systems selbst verstärken – mit nicht absehbaren Folgen für das Weltklima. Aus diesem Grund haben auch die Politiker weltweit beim UN-Klimagipfel 2009 die Stabilisierung der globalen Erwärmung auf unter 2 °C-Grenze als ein wichtiges Ziel des Klimaschutzes anerkannt.

Wird es überall gleich wärmer?

Nein, der Temperaturanstieg wird sich regional sehr unterschiedlich zeigen (Abbildung 21). Generell wird die Erwärmung über den Landflächen stärker ausfallen als über den Ozeanen. Am stärksten wird die Arktis von der Erwärmung betroffen sein. Im ungünstigen Szenario ist es wahrscheinlich, dass in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts das Nordpolarmeer im Sommer komplett eisfrei sein wird.

Bis 2100 wird es wärmer – und dann?

Genauso träge wie die globale Erwärmung dem Treibhausgasanstieg hinterherhinkt, wird es auch lange dauern, bis wieder ein Gleichgewicht eintritt, nachdem der Ausstoß der klimawirksamen Stoffe eingedämmt wird. Auch wenn langfristige Klimamodellierungen über das 21. Jahrhundert hinaus höhere Unsicherheit haben, zeigen sie im ungünstigen Szenario Erwärmungsraten im Bereich von 3 °C bis hin zu 12,6 °C!

Bilden Klimamodelle die Wirklichkeit ab?

Bildlich gesprochen wird in einem Klimamodell die Atmosphäre im Computer in viele kleine Würfel zerteilt. Um die Vorgänge dann nachzubilden, müssen für jeden einzelnen Würfel eine lange Reihe physikalischer Gleichungen gelöst

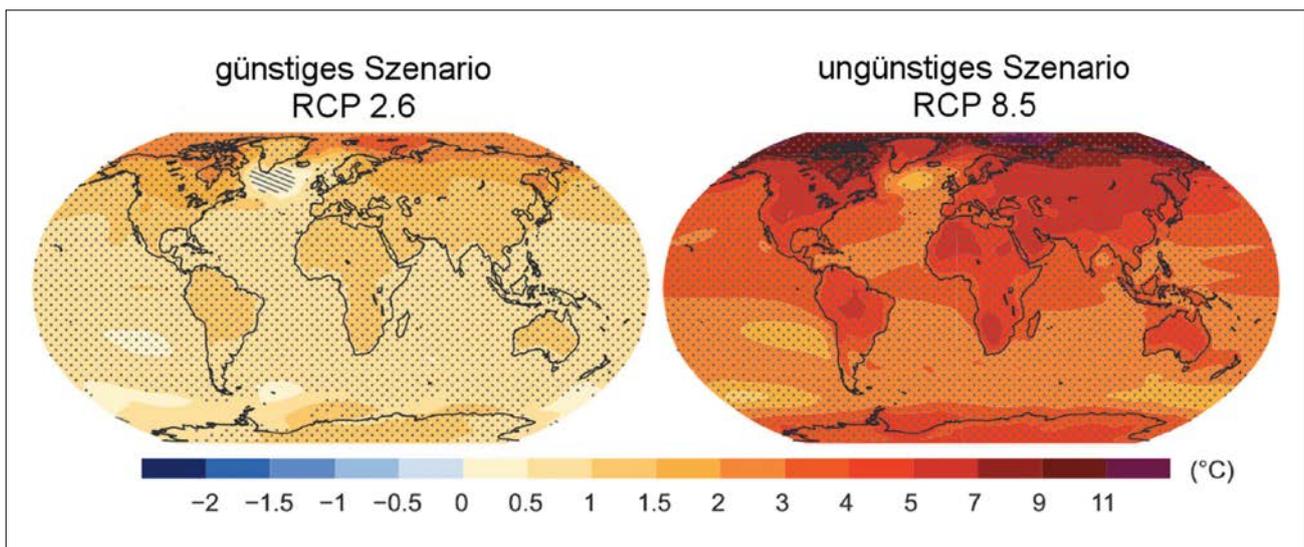


Abbildung 21: Erwärmung des Klimas bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Farblich dargestellt ist die Änderung der mittleren Temperatur der Jahre 2081-2100 gegenüber 1986-2005. Die beiden Szenarien entsprechen den beiden Temperaturverläufen in Abbildung 14. Deutlich ist zu erkennen, dass die Nordhalbkugel der Erde stärker von der Erwärmung betroffen ist, als der südliche Teil der Welt.

werden. Diese beschreiben, wie sich Luftmassen bewegen, wie Energie ausgetauscht wird und wie chemische Prozesse in der Atmosphäre funktionieren. Für diese Simulationen werden schnelle Supercomputer benötigt. In den letzten Jahrzehnten sind Computer immer schneller und die Klimamodelle immer genauer geworden. Deshalb konnte die Atmosphäre in immer mehr kleinere Würfel zerstückelt werden. Und immer mehr Bestandteile des Klimasystems, wie Wolken, Staub, Ozeane und Eis, wurden in die Programme eingebaut. Trotzdem bilden die Modelle natürlich nicht zu 100 % die Vorgänge in der Natur ab. Viele Klimaforscher arbeiten daran, anhand von Beobachtungen in der realen Welt, die Gleichungen und Parameter in den Klimamodellen weiter zu verbessern.

Sind 3 Grad eigentlich viel?

Im Sommer ist es manchmal 30 °C wärmer als im Winter, der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht kann ebenfalls sehr hoch sein. Was sind da schon 3 Grad Erwärmung innerhalb der nächsten 100 Jahre? Der Gedanke verführt dazu, die Folgen des Klimawandels zu relativieren.

Aber eine geringe Erhöhung des Mittelwertes hat gravierende Auswirkungen für das Geschehen vor Ort. Für Änderungen des Klimas, also der Statistik des Wetters über einen sehr langen Zeitraum, braucht es deutliche Abweichungen von den Momentanwerten.

Die letzte Eiszeit war nur 5 Grad kälter

Ein Beispiel zur Verdeutlichung der Temperaturunterschiede: Eine Erhöhung der mittleren Temperatur an der Erdoberfläche um 5 °C entspricht ungefähr dem Temperaturunterschied zwischen der letzten Eiszeit und heute! Dies macht deutlich, mit welchen Auswirkungen durch den aktuellen Klimawandel gerechnet werden muss. Selbst wenn es gelingt, das günstige Szenario Wirklichkeit werden zu lassen, und die Erwärmung unter 2 °C bleibt, hat der Klimawandel gravierende Folgen. Hinzu kommt, dass die Erwärmung nicht überall gleich ausfallen wird. Einige Regionen auf der Erde werden stärker betroffen sein als andere.

Was ist mit dem Regen?

Die Temperatur steigt. Wird es dann auch weniger regnen? Vorhersagen für Niederschlagswerte sind schwieriger zu treffen als für die Temperatur. Insgesamt prognostizieren die Klimamodelle zunehmende Niederschläge. Allerdings ist der regionale Unterschied noch deutlicher als bei der Temperatur. In den mittleren Breiten und den Tropen wird es zu einer Zunahme der Niederschläge kommen. Hingegen werden die Trockengebiete der Erde wohl noch trockener. Fatal ist dies für die dortige Landwirtschaft, die jetzt schon nur unter schwierigen Bedingungen möglich ist. In Mitteleuropa wird es im Winter wahrscheinlich mehr regnen, während die Sommer trockener werden.

WAS SIND DIE FOLGEN DES KLIMAWANDELS?

Eine Nachricht macht in letzter Zeit immer wieder Schlagzeilen: Der Klimawandel macht Pause! Gibt es ihn vielleicht gar nicht?

Der Klimawandel wird eine Reihe drastischer Folgen für die Menschheit haben. Und nicht nur der Mensch selber wird von deutlichen Veränderungen betroffen sein, auch die Natur – Pflanzen, Tiere, ganze Lebensgemeinschaften – wird durch den Klimawandel beeinflusst.

Die Folgen des Klimawandels werden gesamte Ökosysteme verändern. Die Menschheit wird sich den nicht vermeidbaren Klimaveränderungen anpassen müssen. Die Zusammenhänge zwischen Ursachen und Wirkungen sind ähnlich komplex wie beim Klimasystem selber. Eine umfassende Beschreibung der Auswirkungen des Klimawandels ist auf wenigen Seiten daher kaum möglich. Einige wichtige Punkte:

Direkte Folgen

Die Eismassen am Nordpol und in Grönland schmelzen. Im Hochgebirge verschwinden die Gletscher. Dies ist ein Grund für den Anstieg des Meeresspiegels. Der Hauptgrund für das Ansteigen der Ozeane ist aber die Ausdehnung des Wassers bei höheren Temperaturen.

Es ist wahrscheinlich, dass regionale Wetterextreme zunehmen werden, zum Beispiel tropische Wirbelstürme, Hitzewellen und Dürreperioden. Die Lebensräume vieler Tier- und Pflanzenarten verändern sich. Dadurch ändert sich die Verbreitung von Arten. Beispielsweise ist es möglich, dass Arten aus dem Mittelmeerraum in Deutsch-

land heimisch werden. Da die Veränderungen schneller ablaufen als Tiere und Pflanzen ihre Verbreitung verändern, wird mit einer Erhöhung des Artensterbens gerechnet.

Gleichzeitig wird durch die steigende CO₂-Konzentration das Wasser der Ozeane immer saurer. Für viele Meeresbewohner ist das kritisch. Es droht ein massives Artensterben in den Meeren – vor allem bei Korallen.

Indirekte Folgen

Das Ausmaß der Schäden wird nicht auf der ganzen Welt gleich sein. Drei Punkte müssen berücksichtigt werden, damit man die Folgewirkungen für ein einzelnes Land oder einzelne Regionen einschätzen kann:

- **Klimaänderung:**
Wie stark wird der Klimawandel in der fraglichen Region ausfallen? Wir haben oben gesehen, dass die Klimaveränderungen nicht überall auf der Erde gleich sind.
- **Klimaanfälligkeit:**
Wie verletzlich ist die Region für Klimaänderungen? Wie viele Menschen sind betroffen? Inwieweit sind Regionen bereits anderen Belastungen ausgesetzt, zum Beispiel häufigeren Dürren oder starken Unwettern?
- **Anpassungsfähigkeit:**
Inwieweit ist ein Land oder eine Region wirtschaftlich und politisch in der Lage, sich auf

die drohenden Veränderungen einzustellen?
Drohen vielleicht Konflikte durch knappe Ressourcen, z. B. Wasser?

Die Folgen für die Menschheit lassen sich grob in die folgenden Kategorien einteilen.

Folgen für die Küstengebiete

Küstenstreifen sind auf der ganzen Welt dicht besiedelt. Die Hälfte aller Menschen lebt an Küsten. Große Städte und Metropolen finden sich vor allem an Flussmündungen. Dies sind Bereiche, die durch einen Anstieg des Meeresspiegels besonders bedroht sind. Ein Beispiel: In Bangladesch am Mündungsdelta des Ganges würden 20 Prozent der gesamten Landesfläche überspült, wenn der Meeresspiegel nur um einen Meter steigt – ein Gebiet, in dem zur Zeit 15 Millionen Menschen leben! Obwohl die Voraussagen über den Meeresspiegelanstieg mit Ungenauigkeiten behaftet sind und in den letzten Jahrzehnten mehrfach nach unten korrigiert wurden, liegt ein Anstieg um einen Meter bis zum Ende dieses Jahrhunderts im Bereich des Möglichen (ungünstiges Szenario – siehe oben). Der Meeresspiegelanstieg bedeutet nicht nur eine direkte Bedrohung, auch geht damit wertvolle landwirtschaftliche Fläche verloren. Für ein Land wie Bangladesch ist das eine ernste Lage, da das Einkommen der meisten Menschen dort von der Landwirtschaft abhängt.

Folgen für die Wasserversorgung

Viele Regionen weltweit werden Probleme bekommen, die Süßwasserversorgung für alle Menschen sicherzustellen. Dies sind einerseits Regionen, die heute schon von den Abflüssen der Hochgebirgsgletscher über die Flusssysteme abhängig sind (zum Beispiel trockene Gebiete am Fuße des Himalayas und der Anden). Verschwinden die Gletscher, verschwindet die Garantie für eine ganzjährige Wasserversorgung. Darüber hinaus werden Gebiete, die heute schon lange Trockenzeiten im Jahr überbrücken müssen, sich auf erhöhte Trinkwasserknappheit einstellen müssen (zum Beispiel der Mittelmeerraum, der Mittlere Westen der USA und große Teile Australiens).

Folgen für die Nahrungsmittelversorgung

Die Landwirtschaft muss sich weltweit auf den Klimawandel einstellen. Bei steigenden Temperaturen und sich verändernden Regenmengen muss im Ackerbau geprüft werden, welche Arten in welchen Regionen weiterhin hohe Erträge bringen und gleichzeitig eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen wie Boden und Wasser zulassen. Gelingt dies, sind die Auswirkungen des Klimawandels für die Versorgung der Weltbevölkerung zu bewältigen. Kritisch wird es allerdings dort, wo Küstengebiete von Überschwemmungen bedroht sind oder wo bereits sehr trockene und heiße Regionen von sich ausbreitenden Wüsten bedroht sind (Desertifikation).

Folgen für die Gesundheit

Die Wahrscheinlichkeit von Hitzewellen wird ansteigen. Dies wird vor allem eine Belastung für alte und kranke Menschen darstellen. Vor allem in Städten, die auch ohne Klimawandel bereits wärmer sind als ländliche Gebiete, steigt die Gefahr, dass starke Hitze im Sommer negative Auswirkungen auf die Gesundheit hat.

Die globale Erwärmung wird dazu führen, dass zum Beispiel krankheitsübertragende Insekten ihr Verbreitungsgebiet vergrößern oder verlagern. Tropenkrankheiten (Malaria, Gelbfieber, Denguefieber) können sich ausbreiten. In Deutschland könnte zum Beispiel die Zeckenzephalitis vermehrt vorkommen.

Wen trifft es am meisten?

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die Folgen des Klimawandels vor allem jene Schwellen- und Entwicklungsländer treffen werden, die durch wirtschaftliche oder politische Instabilität eine erhöhte Verletzlichkeit gegenüber Klimaveränderungen haben. Wassermangel und Nahrungsmittelknappheit, der Zwang zu Umsiedlungen und die zu erwartenden Flüchtlingsströme bergen ein hohes soziales und politisches Konfliktpotenzial. Der politischen Diskussion um den Klimawandel verschafft dies einige Brisanz: Die Länder, die am meisten unter den Klimaveränderungen leiden werden, sind jene, die bisher am wenigsten klimaschädigende Gase produziert haben.

Das ist alles weit weg – was sind die Folgen für uns in Deutschland?

Auch wenn es bei uns in Deutschland keine akute Wasserknappheit geben wird und unsere Nahrungsmittelversorgung als gesichert angesehen werden kann, wird der Klimawandel auch für uns in Mitteleuropa Konsequenzen haben. Vor allem müssen sich Land- und Forstwirtschaft auf die geänderten Klimabedingungen einstellen: Anbaugelände werden sich verschieben, außerdem ist mit anderen Verbreitungsgebieten von Schädlingen zu rechnen.

Weiterhin müssen sich auch in Deutschland der Küstenschutz und die Wasserwirtschaft auf die Folgen des Klimawandels einstellen, um auf ein häufigeres Auftreten von Extremereignissen (Sturmfluten, Starkniederschläge, Sommertrockenheit) vorbereitet zu sein. Das Gesundheitswesen in Städten und Gemeinden muss auf mehr Hitzewellen und die Ausbreitung von Infektionskrankheiten vorbereitet sein. Bei höheren Temperaturen ist ebenfalls mit einem Anstieg der bodennahen Ozonkonzentration zu rechnen, ein Schadstoff, der Atemwege und Schleimhäute belastet.

Werden die Folgen des Klimawandels in einem Geldwert zusammengefasst, übertreffen die Folgekosten den Aufwand für Minderungsmaßnahmen bei weitem. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung hat errechnet, dass der Klimawandel allein in Deutschland Kosten in Höhe von 800 Milliarden Euro bis zum Jahr 2050 verursachen wird.

Hat der Klimawandel auch positive Seiten?

Ja – allerdings sind diese schnell aufgezählt und werden bei weitem nicht die negativen Folgen des Klimawandels ausgleichen können. Zudem werden positive Folgen regional begrenzt bleiben.

Beispielsweise ist es möglich, dass die steigende Temperatur vor allem in nördlichen Regionen landwirtschaftlichen Anbau ermöglicht. Generell verlängert sich die Vegetationszeit und es kann eventuell mit höheren Erträgen gerechnet werden. Dazu kommt, dass die steigende CO₂-Konzentration in der Luft eine Düngungswirkung besitzt und einige Ackerpflanzen schneller wachsen lässt. Allerdings ist noch nicht geklärt, ob dieser Effekt überhaupt relevant ist.

Durch einen anderen Effekt, nämlich das Abschmelzen des Packeises im Nordmeer, wird der Seeweg entlang der sibirischen Küste eisfrei und schiffbar (die sogenannte Nordost-Passage). Möglicherweise wird dies in einigen

Jahrzehnten das ganze Jahr über so sein. Regionen in Nordeuropa und Russland könnten von neuen Handelswegen wirtschaftlich profitieren. Ähnliches gilt auch für den Seeweg nördlich von Kanada und Alaska (die Nordwest-Passage).

Die Tourismusindustrie wird sich auf den Klimawandel einstellen müssen, wobei es Gewinner und Verlierer geben wird. Ist alpiner Wintersport ohne Schnee und Gletscher nur noch bedingt möglich, könnte die Nordseeküste in einigen Jahrzehnten eine Alternative zum Mittelmeerurlaub sein – während heutige Touristenhochburgen in Südeuropa mit Hitze und Wassermangel zu kämpfen haben.

Während ein Erwärmungstrend die Ausbreitung verschiedener Krankheiten begünstigt, wird auf der anderen Seite mit einem Rückgang winterlicher Infektionskrankheiten wie der Grippe gerechnet. Die Zahl der Kältetoten im Winter könnte sinken.



Abbildung 22: Das Packeis schmilzt, die Schifffahrt profitiert.

KANN DER KLIMAWANDEL VERMIEDEN WERDEN?

Die Vermeidung eines gefährlichen Klimawandels und die Anpassung an die unvermeidbaren Folgen gehören zu den größten Herausforderungen für die Menschheit im 21. Jahrhundert. Noch ist es nicht zu spät.

Für die Reaktion auf den Klimawandel gibt es verschiedene Strategien:

- Man kann die Symptome bekämpfen, das heißt, sich auf die Folgen des Klimawandels einstellen (Anpassung – Fachwort: Adaptation).
- Man kann die Ursachen bekämpfen, das heißt den Ausstoß von Treibhausgasen reduzieren (Vermeidung – Fachwort: Mitigation).
- Eine dritte Alternative zum Umgang mit dem Klimawandel ist, ganz einfach nichts zu tun („Laissez-faire“).

Letzteres wird eigentlich nur noch von hartgesottene Skeptikern propagiert und ist in der Klimaforschung und der Klimapolitik zum Glück kein Thema. Obwohl sich Klimaforscher, wie alle Wissenschaftler, oft nicht einig sind und viel um einzelne Aspekte der Klimaforschung gestritten wird, steht fest, dass etwas getan werden muss. Auch ist klar, dass weder Anpassung noch Vermeidung jeweils für sich alleine die Antwort auf den Klimawandel sein können. Es muss ein Weg beschritten werden, der beide Strategien miteinander verbindet. Oder wie der deutsche Klimaforscher Hans Joachim Schellnhuber es passend beschreibt: *„Das Unbeherrschbare vermeiden und das Unvermeidbare beherrschen.“*

Ist es nicht schon zu spät?

Nach Auffassung vieler Klimaforscher noch nicht. Ihre Empfehlung ist, die globale Erwärmung nicht die Marke von 2 °C überschreiten zu lassen. Bei diesem Ausmaß des Temperaturanstiegs seien die Folgen des Klimawandels für die Menschheit noch handhabbar, der Klimawandel könnte bei einer nachhaltigen Vermeidung der Treibhausgasemissionen stabilisiert bzw. unter Kontrolle gehalten werden.

Die durch die Klimamodelle berechneten Erwärmungsraten bis zum Jahr 2100 liegen bei den meisten Entwicklungsszenarien darüber, je nach Szenario bei über 4 °C. Dies ist ein Temperaturunterschied, der in der Erdgeschichte Kalt- von Warmzeiten getrennt hat. Aus Sicht der Wissenschaft liegt die Gefahr einer solch starken Erwärmung darin, dass der Klimawandel sich ab einem bestimmten Punkt verselbstständigt und nicht mehr aufgehalten werden kann. Jenseits dieser Kipp-Punkte kann es sein, dass ein wirkungsvolles Eingreifen des Menschen in den Klimawandel nicht mehr möglich ist.

Wie kann die Erwärmung auf 2 °C begrenzt werden?

Neben der Tatsache, dass die Menschheit sich auf zukünftige Änderungen einstellen und Anpassungsmaßnahmen treffen muss, müssen

Minderungsmaßnahmen im großen Stil anlaufen. Dazu gehört an erster Stelle die Vermeidung von Treibhausgasemissionen. Der Energieverbrauch muss verringert und die Energieversorgung muss von fossilen kohlenstoffhaltigen Quellen wie Kohle, Öl und Gas auf erneuerbare Energiequellen umgestellt werden.

Wie kann der CO₂-Ausstoß reduziert werden?

- **Drastischer Ausbau von erneuerbaren Energien:** Erst mit dem Übergang in ein nicht-fossiles Energiezeitalter können Treibhausgasemissionen auf ein Minimum verringert werden. Zu den erneuerbaren Energien zählen die Solar-, Wind- und Wasserenergie sowie die Nutzung von Biomasse. Der Umbau des Energiesystems ist auch deshalb nötig, weil fossile Energieträger endlich sind und die Ressourcen in absehbarer Zeit erschöpft sein werden.
- **Erhöhung der Energieeffizienz:** Angefangen vom Wirkungsgrad riesiger Kraftwerke über den Kraftstoffverbrauch von Autos bis hin zum Stromverbrauch des heimischen Kühlschranks gibt es ein großes Potenzial, durch neue Technologien Energie besser zu nutzen.
- **Energieeinsparung** in vielen Bereichen: Sowohl in der Industrie, im Verkehr als auch beim Wärme- und Stromverbrauch zu Hause ist es möglich, viel Energie durch veränderte Herstellungsprozesse bzw. andere Verhaltensmuster einzusparen. Neben der Frage, welche Entscheidungen durch die Politik getroffen werden müssen, um wirksam Energie einzusparen, muss sich auch jeder für sich fragen, an welcher Stelle unnötig Energie verbraucht wird.
- **Abscheidung und Verklappung:** An Kohlekraftwerken kann in Zukunft das bei der Stromproduktion entstehende CO₂ von den anderen Abgasen getrennt und tief unter der Erde oder am Ozeanboden gelagert werden. Dieser Weg wird als „Carbon Capture and Storage“ (CCS) bezeichnet. Diese Technologien befinden sich allerdings in den Kinderschuhen und sind sehr umstritten, was ihre Sicherheit angeht. Es ist unwahrscheinlich, dass in ausreichend schneller Zeit so große Kapazitäten geschaffen werden, mit denen wirkungsvoll CO₂ verklappt werden kann.
- **Reduzierung von Landnutzungsänderungen:** Die Reduzierung von Waldrodungen, die Umwandlung anderer natürlicher Flächen in Bau- oder Ackerland muss reduziert werden. Wiederbewaldung ist eine Möglichkeit, der Atmosphäre CO₂ auf natürliche Weise zu entziehen.

Mit welchen Maßnahmen sich bis zur Mitte des Jahrhunderts eine Stabilisierung der CO₂-Konzentration bei 560 ppm erreichen ließe, zeigt Abbildung 23. Dies würde einer Verdoppelung im Gegensatz zum vorindustriellen Wert entsprechen und gilt als ein Weg, den Klimawandel und seine Folgen einzudämmen. Dieses Beispiel zeigt, welche enormen Anstrengungen weltweit unternommen werden müssen, um dem Klimawandel erfolgreich zu begegnen.

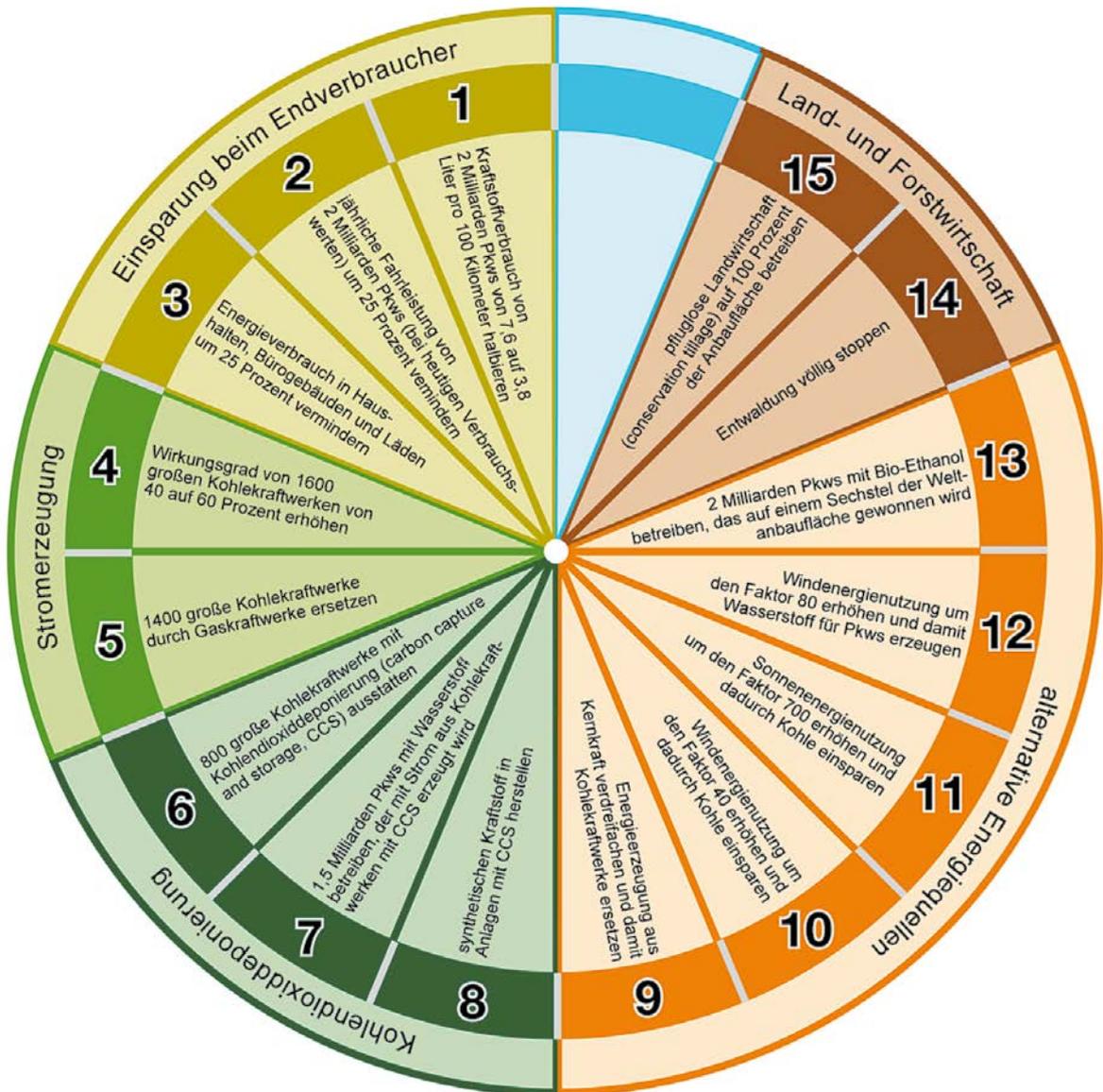


Abbildung 23: Bündel von Maßnahmen zur Beschränkung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre auf circa 560 ppm im Jahre 2057. Insgesamt muss der Ausstoß auf 1 200 Milliarden Tonnen Kohlenstoff reduziert werden, wovon sich bereits ein Teil in der Atmosphäre befindet. Die Technologie jedes einzelnen Keiles macht insgesamt Einsparungen in Höhe von 25 Milliarden Tonnen aus. Es werden acht solcher Keile benötigt, um die Stabilisierung im Jahre 2057 bei 560 ppm zu erreichen.

FAZIT

Gibt es momentan eine Klimakatastrophe?

Katastrophe? – Nein. Allein dieses Wort löst Angst und Resignation aus und ist nicht der richtige Begriff. Es muss aber klar sein, dass der Klimawandel – seine Vermeidung und die Anpassung an die unvermeidbaren Folgen – die größte Herausforderung für die Menschheit in diesem Jahrhundert ist. Daher dürfen die aktuelle Situation und die Prognosen für die Zukunft kein Anlass zu Panik sein. Vielmehr wird deutlich, dass gangbare Wege gefunden werden müssen, den Herausforderungen erfolgreich zu begegnen.

Ist der Klimawandel eine Bedrohung?

Die persönliche Erfahrung jedes Einzelnen kennt nur so etwas wie einen „gefühlten Klimawandel“ – dabei sind es die Ausprägungen des Wetters, die man bewertet. Diese dürfen mit dem Klima, der Statistik des Wetters, nicht verwechselt werden. Die Bedrohung liegt in den Konsequenzen, die der Klimawandel weltweit für die Entwicklung der Menschheit hat.

Auch wenn die Wissenschaft viele Zusammenhänge noch nicht geklärt hat und es über die Ausmaße zukünftiger Entwicklungen unterschiedliche Auffassungen gibt, verpflichtet das moralische Verantwortungsprinzip uns Menschen zum Handeln. Doch nicht nur das: Aus rein ökonomischer Vernunft ist es günstiger, wirksame Maßnahmen jetzt zu ergreifen statt weiter abzuwarten.

Aufgrund des vorhandenen Wissens sollte alles Machbare getan werden, um nachfolgende Generationen vor den negativen Konsequenzen unseres Handelns zu bewahren. Dies umfasst nicht nur die Herausforderungen einer zukünftigen Energiepolitik, sondern auch die Aufklärung – die Klimabildung vieler Menschen.

QUELLEN- UND ABBILDUNGSNACHWEISE

Quellennachweise

- S. Rahmstorf, H. Schellnhuber, 2012. Der Klimawandel. 7. Aufl., C.H. Beck, München, 144 S.
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), C. Kemfert, 2007. Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden. DIW Wochenbericht Nr. 11/2007 (74. Jg), S. 165–170
- W. Endlicher, F.-W. Gerstengarbe, 2007. Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke, Ausblicke. Potsdam, 134 S.
- J. Houghton, 2009. Global Warming – The complete Briefing. Forth Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 438 S.
- IPCC 2007: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (Hrsg.), 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, New York, 996 S.
- IPCC, 2013: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Hrsg.), 2007: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, New York, 1535 S.
- R.F. Keeling, S.C. Piper, A.F. Bollenbacher and J.S. Walker. 2009. Atmospheric CO2 records from sites in the SIO air sampling network. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi: 10.3334/CDIAC/atg.035
- M. Latif, 2009. Klimawandel und Klimadynamik. Ulmer, Stuttgart, 219 S.
- C.-D. Schönwiese, 2008. Klimatologie. 3. Aufl., Ulmer, Stuttgart, 472 S.

Abbildungsnachweise

- Abb. 1: Deutscher Wetterdienst, Klimawandel – ein Überblick, (2009), Stand 12/2009 www.dwd.de/klimawandel
- Abb. 2: Klaus Kordowski (2004)
- Abb. 3: Buienradar/Eumetsat/Metoffice, <http://wolken.buienradar.nl>, Stand 11/2013
- Abb. 4: antialiasing, www.thinkstockphotos.de
- Abb. 5: rechte Seite Luftbildhintergrund aus Google Earth, linke Seite nach Houghton (2009), verändert
- Abb. 7: The GLOBE Program, Internetressource <http://www.globe.gov> (2009)
- Abb. 8: Scripps Institution of Oceanography – The Keeling Curve, Stand 2/2014, verändert <http://keelingcurve.ucsd.edu/>
- Abb. 9: borisoff, www.fotolia.de
- Abb. 10, 11: Daten nach IPCC (2007)
- Abb. 12: aus Endlicher/Gerstengarbe (2007), nach IPCC (2007), verändert
- Abb. 13: aus IPCC (2007), verändert
- Abb. 14, 16, 20, 21: aus IPCC (2013), verändert
- Abb. 15: Alexander von Düren, www.fotolia.de
- Abb. 17: F.-W. Gerstengarbe, P. Werner: Das NRW-Klima im Jahr 2055, LÖBF Mitteilungen 02/2005, 2005
- Abb. 18, 19: RWW
- Abb. 22: Klaas Köhne, www.fotolia.de
- Abb. 23: aus Endlicher/Gerstengarbe (2007), Daten nach S. Pacala; R. Socolow (2004);, Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies, Science 13, 305 (5686), 968-972 und R. Socolow (2011), Wedges reaffirmed, Bulletin of the Atomic Scientists <http://thebulletin.org/wedges-reaffirmed> (Stand 3/2013)

Text Seite 20 bis 23

Stefanie Krohn

ANHANG

Mögliche Folgen des Klimawandels (nach verschiedenen Quellen zusammengestellt)

- | | |
|---|---|
| Anstieg des Meeresspiegels | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gefährdung von Küstenbereichen, insbesondere küstennaher städtischer Ballungsräume durch Überflutung ▪ Erhöhte Erosion ▪ Konsequenzen für den Tourismus |
| Gletscherschwund im Gebirge | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gefährdung der Wasserversorgung der Landwirtschaft bzw. der Trinkwasserversorgung in Einzugsbereichen, die auf ganzjährige Schmelzwasserversorgung angewiesen sind ▪ Folgen für den Wintertourismus |
| Rückgang des arktischen Meereises | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Öffnung der Nordostpassage als positiver Impuls für die Wirtschaft ▪ Erhöhte Erosion an den arktischen Küsten, Gefährdung von Siedlungen ▪ Gefährdung der Jagdkultur der Inuit |
| Tauen von Permafrostböden der polaren Regionen bzw. im Hochgebirge | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Instabilitäten im Gebirge, Gefahr von Bergstürzen und Murenabgängen ▪ Gefährdung von Häusern, Infrastruktur und Wäldern in polaren Regionen durch mangelnde Stabilität |
| Rückgang der grönländischen und antarktischen Eisschilde | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Erhöhung des Meeresspiegels ▪ Folgen für die Ökosysteme |
| Änderung von Meeresströmungen | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Abschwächung des Golfstroms und des Nordatlantikstroms ▪ Abkühlung des Nordatlantikraums um mehrere Grad ▪ Deutlicher und schneller Meeresspiegelanstieg im Nordatlantikraum ▪ Deutliche Erwärmung der Südhalbkugel ▪ Rückgang der Nährstoffversorgung des Nordatlantik, Konsequenzen für den Fischfang |
| Zunahme von Wetterextremen | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zunahme von Starkniederschlagsereignissen ▪ Zunahme tropischer Wirbelstürme ▪ Konsequenzen für die Versicherungswirtschaft ▪ Zunehmende Hitzewellen: Konsequenzen für das Gesundheitssystem |

Auswirkungen auf Ökosysteme

- Wanderbewegung von Arten
- Erhöhtes Artensterben
- Veränderung von Vegetationsphasen
- Marine Ökosysteme: Gefährdung durch erhöhte Ozeanversauerung (vor allem Korallenriffe)

Konsequenzen für die Gesundheit

- Ausbreitung von Krankheiten: Ausbreitung von Malaria und Durchfallerkrankungen
- In Deutschland: vermehrte Übertragung von Borreliose und FSME durch Zecken
- Erhöhter Temperaturstress während Hitzewellen

Folgen für Land- und Forstwirtschaft

- Verschiebung von Vegetationszeiten, je nach Region eventuell Ertragserhöhung (in den mittleren Breiten)
- In Deutschland: Gefährdung der Wasserversorgung durch abnehmende Sommerniederschläge
- Gefährdung der Ernten durch erhöhte Starkniederschläge
- Erhöhter Befall mit Schädlingen beziehungsweise Pflanzenkrankheiten

Konsequenzen für die Wasserwirtschaft

- Gefährdung der Versorgungssicherheit
- Unangepasste Dimensionierung von Leitungen, Flüssen, Kanälen
- Keimentwicklung im Trinkwasser durch Temperaturerhöhung

Haus Ruhrnatur

Alte Schleuse 3
45468 Mülheim an der Ruhr

T 0208 4433-380
F 0208 4433-381
E haus-ruhrnatur@rwe.com
I www.haus-ruhrnatur.de