

Hintergründe – Grundlagen

Wetter ist nicht gleich Klima

Die wichtigsten Unterschiede

Der Begriff „Wetter“ beschreibt den Zustand der Atmosphäre zu einem ganz bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort. Dazu gehören meteorologische Daten wie Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Wind, Sichtweite und Bewölkung.

Um sie zu erheben, können die Wissenschaftler in Deutschland auf ein umfangreiches Messnetz von 4500 Stationen und auf Zahlenmaterial bis zum Jahr 1781 zurückgreifen. Mit den Wetterdaten der weltweiten Messstationen werden meteorologische Prognosemodelle gefüttert, die dann die Wettervorhersagen liefern.

Der Begriff „Klima“ beschreibt „gemittelttes Wetter“: den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem Ort oder in einer Gegend über einen längeren Zeitraum - meist über mehrere Jahrzehnte.

Um typische lokale oder regionale Wettermerkmale zu ermitteln, stellen die Meteorologen statistische Berechnungen an. Schwankungen und Extreme des Wetters werden dabei allerdings weggefiltert.

Inzwischen wird der Begriff „Klima“ oft für das globale Klima verwendet. Dabei wird dann letztendlich über die gesamte Welt „gemittelt“. Die Aussagen bezüglich des globalen Klimas müssen deshalb nicht unbedingt für eine bestimmte Region zutreffen.

Sprechen Wissenschaftler in Deutschland vom „klimatologischen Mittel“, beziehen sie sich in der Regel auf den Zeitraum zwischen 1961 und 1990.

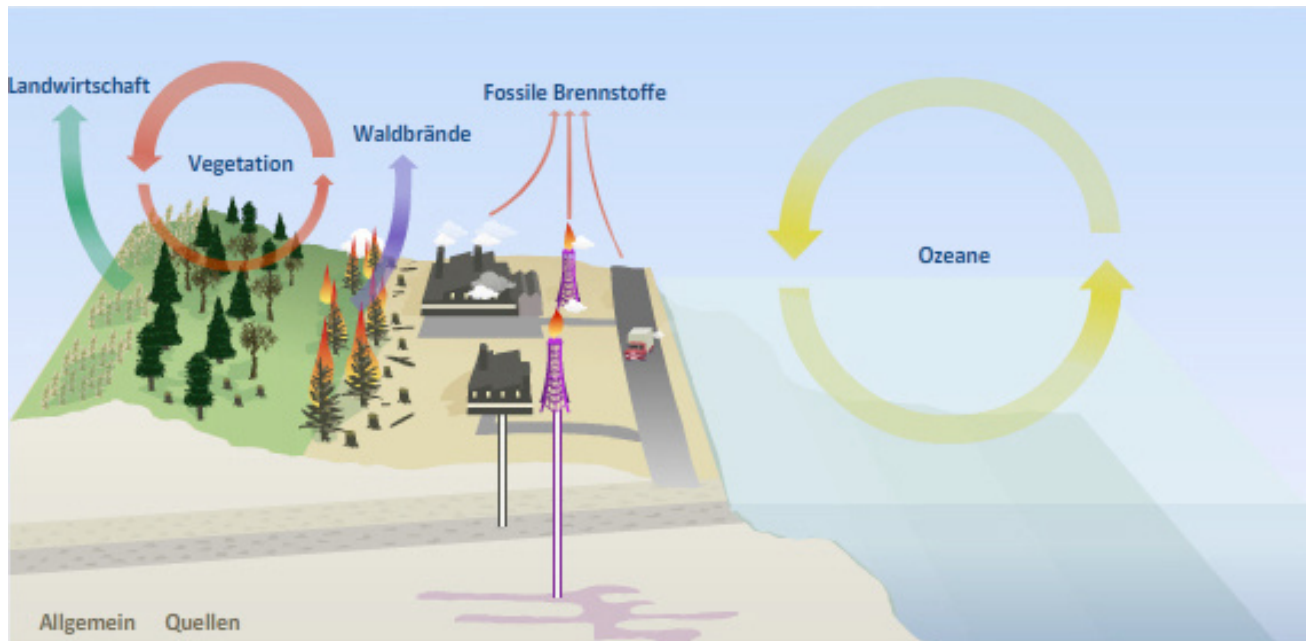
Der Weg des CO₂

Natürliche und menschliche Ursachen

Hauptursache für die globale Erwärmung ist der zunehmende Ausstoß von Kohlenstoffdioxid (CO₂). Auch ohne den Beitrag des Menschen gelangen große Mengen CO₂ aus natürlichen Quellen in die Atmosphäre.

Doch während die Natur gleichzeitig wieder CO₂ aufnimmt, bläst es der Mensch einfach nur in die Luft. Dieser menschengemachte, „anthropogene“, Anteil stört das natürliche Gleichgewicht.

Die Natur kann zwar auch einen Teil des CO₂-Ausstoßes aus anthropogenen Quellen speichern, doch ihre Grenzen sind längst überschritten.



Landwirtschaft

Die veränderte Landnutzung und die Rodung großer Flächen trägt zum wachsenden Ausstoß von CO₂ bei. Mit dem Abholzen von Wäldern verschwinden zudem Pflanzen, die CO₂ aufnehmen könnten.

Durch die Landwirtschaft steigt auch der Ausstoß von Methan, einem anderen wichtigen Treibhausgas, das zum Beispiel in den Mägen von Wiederkäuern entsteht.

Vegetation

Den immer noch größten Anteil am CO₂-Ausstoß hat die Natur. Prozesse wie die Verrottung von Pflanzen setzen gewaltige Mengen an CO₂ frei.

Doch in der Natur herrscht annähernd ein Gleichgewicht, denn die Pflanzen nehmen zugleich CO₂ auf und wandeln es wieder in Sauerstoff um.

Waldbrände

CO₂ entsteht auch bei Waldbränden und durch gezielte Brandrodung. Gleichzeitig werden dabei großflächig Pflanzen vernichtet, die zuvor CO₂ aus der Atmosphäre aufgenommen haben. Diese Langzeitfolgen lassen sich nur mühsam durch Aufforstung kompensieren.

Fossile Brennstoffe

Die Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle und Gas ist für den Löwenanteil des Anstiegs der CO₂-Emissionen verantwortlich.

Zusammen mit der Herstellung von Zement trägt die Verbrennung der Brennstoffe drei Viertel zum menschlichen CO₂-Ausstoß bei. Seit der Industrialisierung steigen die Emissionen stetig.

Verursacher von CO₂-Ausstoß in Deutschland (2004)

Energiewirtschaft: 41%
 Industrie: 20 %
 Haushalte: 13 %
 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen: 6%
 Verkehr: 19 %

Quelle: Umweltbundesamt

Ozeane

Die Ozeane sind die wichtigsten CO₂-Speicher der Welt. Sie speichern 50-mal mehr Kohlendioxid als die Atmosphäre. Da die Ozeane ständig CO₂ aufnehmen und die menschlichen Emissionen immer weiter ansteigen, hat sich die Kohlendioxidkonzentration im Meerwasser ebenfalls stark erhöht.

Eine Versauerung der Meere ist die Folge. Sie bedroht Plankton, Fische und anderes Leben. Zwar erwarten Wissenschaftler keine unmittelbare Vergiftung von Fischen, doch Änderungen im Ökosystem könnten in der Fischerei spürbar werden.

Quellen

Sondergutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: „Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer.“ Berlin 2006

Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group I: The Physical Basis of Climate Change. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo, Delhi 2007

Steigender Meeresspiegel

Woher kommt das Wasser?

Der Meeresspiegel wird nach Meinung vieler Wissenschaftler bis zum Ende dieses Jahrhunderts deutlich ansteigen. Forscher gehen im Vergleich zum Ende des vergangenen Jahrhunderts von einem Anstieg zwischen 18 und 59 Zentimeter bis zum Jahr 2100 aus – je nach Erwärmung.

Überschwemmungen und Sturmfluten werden die Folge sein. Sie werden Menschen heimatlos machen und unter anderem durch die Verseuchung von Trinkwasser die Ausbreitung von Krankheiten beschleunigen. Wirtschaftszweige wie die Fischerei werden regional einbrechen, ganze Landstriche und mit ihnen Kulturstätten verloren gehen.



Menschlicher Lebensraum

Der Anstieg des Meeresspiegels bedroht menschlichen Lebensraum. Viele Metropolen der Welt, darunter acht der zehn größten Städte, liegen am Meer oder in dessen unmittelbarer Nähe.

Nach Schätzungen wird im Jahr 2030 die Hälfte der Weltbevölkerung nicht weiter als 100 Kilometern von der Küste entfernt leben, heute schon lebt mehr als jeder fünfte Mensch in nur 30 Kilometer Entfernung zum Meer.

Küstenschutz

Mit Deichen und Flutoren kann der Mensch versuchen, dem Anstieg des Meeresspiegels zu begegnen, aber das wird immer schwieriger. Manche Regionen muss der Mensch aufgeben, andere wird er versuchen zu schützen.

Weil der Mensch schon heute gegen das Meer ankämpft, ist es nicht möglich seriös abzubilden, welche Gebiete in Zukunft überflutet werden.

Ausdehnung des Wassers

Je wärmer die Ozeane werden, desto mehr dehnt sich das Wasser aus – ein normaler physikalischer Vorgang.

Diese thermische Ausdehnung ist sehr entscheidend für den Anstieg des Meeresspiegels, wird aber im Vergleich zum Abschmelzen der Eiskappen oft vernachlässigt.

Schmelze der Gebirgsgletscher

Das Wasser schmelzender Gebirgsgletscher wird die Wassermenge in den Ozeanen erhöhen. Im Verhältnis zum Abschmelzen der Pole und der Erwärmung der Meere ist der Beitrag der Gebirgsgletscher zum Anstieg des Meeresspiegels geringer.

Deutsche Wissenschaftler gehen bis zum Jahr 2300 dennoch von einem Beitrag zwischen 20 und 40 Zentimeter aus.

Schmelze des arktischen und antarktischen Eises

Die schmelzenden Eismassen auf der Erde erhöhen die Wassermenge in den Ozeanen. Eine der großen Unbekannten bei allen Prognosen ist der Eisschild der Antarktis.

Während die Eismassen in Grönland nach einhelliger Meinung schrumpfen, lässt sich die Entwicklung der Südpol-Region nur schwer vorhersagen. Sollte über die kommenden Jahrhunderte das antarktische Eis stark abnehmen, würde der Meeresspiegel zusätzlich um mehrere Meter ansteigen.

Wirbelstürme

Für den Menschen noch verheerender als der allmähliche Anstieg des Meeresspiegel werden künftige Sturmfluten und Wirbelstürme sein. Wirbelstürme, die ihre Energie aus dem warmen Wasser erhalten, werden stärker.

Wenn die Pegelstände steigen, können zudem hohe Wellen leichter als bisher ins Landesinnere eindringen. Die heutigen Deiche reichen dann nicht mehr aus, um die Küsten zu schützen.

Änderung der Meereszirkulation

Die globale Erwärmung könnte die Tiefenwasserbildung der Meere stören. Das Tiefenwasser ist eine wichtige Triebfeder für die Zirkulation der Meere. Auch die Stärke des Golfstroms in Nordeuropa wäre davon beeinflusst.

Quelle

Sondergutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: „Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer.“ Berlin 2006

Sonne, Wind und Meer...

Natürliche Klimafaktoren

Der wichtigste natürliche Klimafaktor ist die Sonnenstrahlung. Wie lange und mit welcher Intensität die Sonne scheinen kann, bestimmt die geografische Breitenlage. Gebiete, die jahreszeitlich bedingt nur wenig Sonnenlicht abbekommen, haben ein kaltes Klima. Die Nähe des Äquators zeichnet sich dagegen durch einen hohen Sonnenstand und gleichmäßig intensive Sonneneinstrahlung das ganze Jahr über aus.

Die Sonne selbst ist der Motor für das Wettergeschehen auf der Erde. Sie treibt die allgemeine Zirkulation der Atmosphäre an. Die Atmosphäre muss man sich wie ein riesiges Wärmekraftwerk vorstellen, das die eingestrahlte Sonnenenergie in Wärme- und Bewegungsenergie umsetzt. Luft beziehungsweise Wind transportiert die Energie von den tropischen zu den polaren Gebieten.

Eine große Rolle für das Klima spielt auch die Land-Meer-Verteilung. Das Meer heizt sich zwar nicht so schnell auf wie das Festland, dafür ist es aber ein besserer Wärmespeicher. Deshalb prägt die Entfernung zum Meer das Klima einer Gegend. In Küstennähe ist es in der Regel gleichmäßig wärmer als im Landesinneren, wo es dafür extremer heiß beziehungsweise kalt werden kann.

Auch die Höhenlage, das Relief und die natürliche Bodenbeschaffenheit eines Ortes prägen sein Klima. Eis und Schnee reflektieren zum Beispiel das Sonnenlicht um ein Vielfaches besser als Sand, Gestein oder Vegetation. Gelände mit Vegetation hat wiederum eine größere Verdunstungsrate als unbewachsenes.

In Bergregionen ist es auf Grund der Höhenlage kälter als im Flachland. Zu extremen Regenfällen kann es führen, wenn sich Regenwolken im Gebirge stauen. So ist zum Beispiel Cherrapunji in Indien am Fuße des Himalaja mit 11.000 Liter pro Quadratmeter der Ort mit der höchsten jährlichen Niederschlagsmenge der Welt. In der Oase Dachla in Ägypten fällt dagegen jährlich im Mittel nur 0,7 Liter Regen pro Quadratmeter, das ist die weltweit niedrigste durchschnittliche Regenmenge.

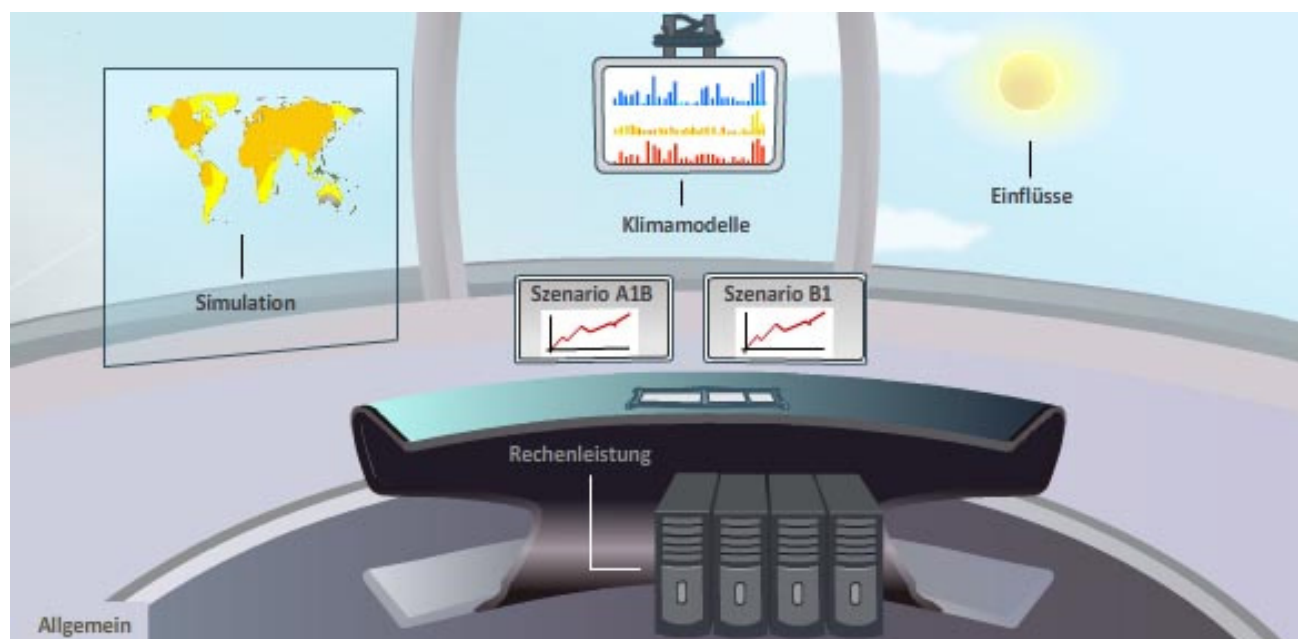
Hintergründe – Forschung

Blicke in die Klima-Zukunft

So entstehen die Simulationen

Klimaforscher in allen Teilen der Erde rechnen mit Hochleistungscomputern Klimaszenarien durch. Um die Ergebnisse weltweit vergleichbar zu machen, hat das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) den Forschern Zukunftsszenarien vorgegeben.

Jedes Szenario geht von einer anderen Entwicklung der Welt aus: Wie viele Menschen werden auf der Welt leben? Wie entwickeln sich Wirtschaft und Technologie? Von diesen Faktoren hängt ab, in welchen Mengen künftig klimabeeinflussende Gase und Aerosole ausgestoßen werden.



Szenario A1B

Dieses Szenario beschreibt eine eher ungünstige Entwicklung. Rasches wirtschaftliches Wachstum, ein Anstieg der Weltbevölkerung noch bis zur Mitte dieses Jahrhunderts und die schnelle Einführung neuer und effizienter Technologien kennzeichnen dieses Szenario. Fossile und nicht-fossile Energieträger werden gleichermaßen genutzt.

Szenario B1

In diesem Szenario wird von einer eher günstigen Entwicklung ausgegangen. Die Bevölkerung wird danach bis zur Mitte des Jahrhunderts wachsen, dann schrumpfen. Emissionsarme und ressourcenschonende Technologien werden eingeführt.

Die Wirtschaft konzentriert sich auf Dienstleistungen und Informationen. Soziale, ökologische und wirtschaftliche Probleme werden global gelöst.

Einflüsse

Neben den Treibhausgasen gibt es viele andere Faktoren, die unser Klima beeinflussen. Dazu gehören zum Beispiel die Energie der Sonne, der Kohlenstoffkreislauf und natürliche Klimaänderungen. Das müssen die Forscher bei der Berechnung des zukünftigen Klimas berücksichtigen.

Klimamodelle

Mit Hilfe globaler Klimamodelle simulieren die Forscher die Prozesse des Klimasystems. Das deutsche Max-Planck-Institut für Meteorologie arbeitet mit gekoppelten Modellen von Atmosphäre, Ozean und Landoberfläche.

Solche Modelle berücksichtigen auch Wechselwirkungen zwischen den Klimasystemen der Erde und erlauben, zukünftige Klimaentwicklungen auf der ganzen Welt zu simulieren.

Rechenleistung

Eine ungeheure Computerleistung ist erforderlich, um das Klima zukünftiger Jahre zu berechnen. Für den aktuellen IPCC-Bericht hat das Deutsche Klimarechenzentrum (DKRZ) im Auftrag des Max-Planck-Instituts für Meteorologie etwa 5000 simulierte Jahre durchgerechnet.

Die Systeme des DKRZ verfügen über 192 Hochleistungsvektor-CPU's mit einer Spitzenrechenleistung von 1,5 TeraFlops. Die hohe Rechenleistung ist wichtig, um möglichst viele Klimafaktoren zu berücksichtigen und Klimaveränderungen auch regional darzustellen. Das Speichervolumen der DKRZ-Computer beträgt sechs PetaByte, das ist ungefähr die Kapazität von zehn Millionen CDs.

Simulation

Ein Teil der Rechenergebnisse fließt in anschauliche Grafiken und Animationen ein. Sie erlauben es auch dem Laien, sich vor Augen zu führen, wie sich das Klima verändern wird.

Keine Prognose kann hundertprozentig genau sein, denn man weiß noch viel zu wenig über das Klima und die Wechselwirkungen der einzelnen Klimafaktoren. Außerdem hat der Mensch die Möglichkeit, durch eine Änderung seines Verhaltens den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern.

Klimaindikator Eis

Klimawandel im Nordpolarmeer

Eis sei für die Wissenschaftler eine Art „Klimaarchiv“, sagt Dr. Hans Oerter, Glaziologe am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven. So können sie zum Beispiel aus den Eisbohrkernen Grönlands, die sie zutage fördern, wichtige Informationen über die Lufttemperatur oder den Gasgehalt der Atmosphäre in der Vergangenheit herauslesen – und das über einen Zeitraum von teilweise mehr als 100.000 Jahren. Daraus ließen sich dann wiederum Prognosen aufstellen, zum Beispiel wann und unter welchen Bedingungen Grönland möglicherweise völlig eisfrei wird.

Anders als der Eispanzer der um einiges kälteren Antarktis, wo sich die Klimaänderung bislang noch nicht so dramatisch bemerkbar macht, reagiert das Meereis der Arktis besonders empfindlich auf Temperaturschwankungen. Es nimmt inzwischen im Sommer deutlich ab. Dadurch erwärmt sich das Nordpolarmeer, und das wiederum lässt die globale Temperatur steigen.

Der Wasserspiegel wird von der Meereisschmelze nicht direkt beeinflusst, denn dieses Eis befindet sich ja bereits im Wasser. Wenn hingegen das Inlandeis auf Grönland und Gletscher schmelzen oder Eisströme schneller vom Land ins Meer fließen, dann steigt der Meeresspiegel.

Für das globale Klima ist aber noch ein weiterer Aspekt wichtig: Wenn in Zukunft weniger Meereis entsteht, hat das Einfluss auf die so genannte Tiefenwasserbildung der Weltmeere. Beim Gefrieren von Meerwasser zu Meereis wird Salz freigesetzt und die Salzkonzentration im Wasser erhöht. Das höherkonzentrierte, schwerere Meerwasser sinkt dann in die Tiefe ab. Dieses Tiefenwasser ist wiederum eine wichtige Triebfeder für die globale Meereszirkulation. Auch die Stärke des Golfstroms in Nordeuropa wäre davon beeinflusst.

Doch das sind nicht die einzigen Folgen. Mit dem Meereis schwindet auch ein wichtiger Lebensraum für Tiere: Auf dem Packeis leben Eisbären, Walrosse und verschiedene Robbenarten. Ihr Lebenszyklus wird dann stark beeinträchtigt sein.

Hintergründe – Politik

Die Klimadaten-sammler

IPCC fasst Forschung zusammen

Das „Intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC) wurde von den UN-Behörden für Meteorologie (WMO) und Umwelt (UNEP) ins Leben gerufen. Es sammelt seit 1988 weltweit Forschungsergebnisse wissenschaftlicher Einrichtungen zur Entwicklung des Klimas. Das IPCC forscht also nicht selbst, sondern fasst den aktuellen Stand der Forschung zusammen.

Vier Sachstandsberichte hat das IPCC bisher veröffentlicht. Der erste erschien 1990, der zweite 1995, der dritte 2001 und der vierte 2007. Jeder bestand aus drei Teilberichten: die wissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels, seine Konsequenzen und mögliche Anpassungsstrategien. Vor der Veröffentlichung wurden die Berichte mehrfach geprüft.

Die vierte IPCC-Veröffentlichung heizte die Debatte über den Klimawandel besonders an: Die Wissenschaftler sehen es als sehr wahrscheinlich, dass der Wandel menschengemacht ist und zeichnen zum Teil erschreckende Szenarien für die Zukunft.

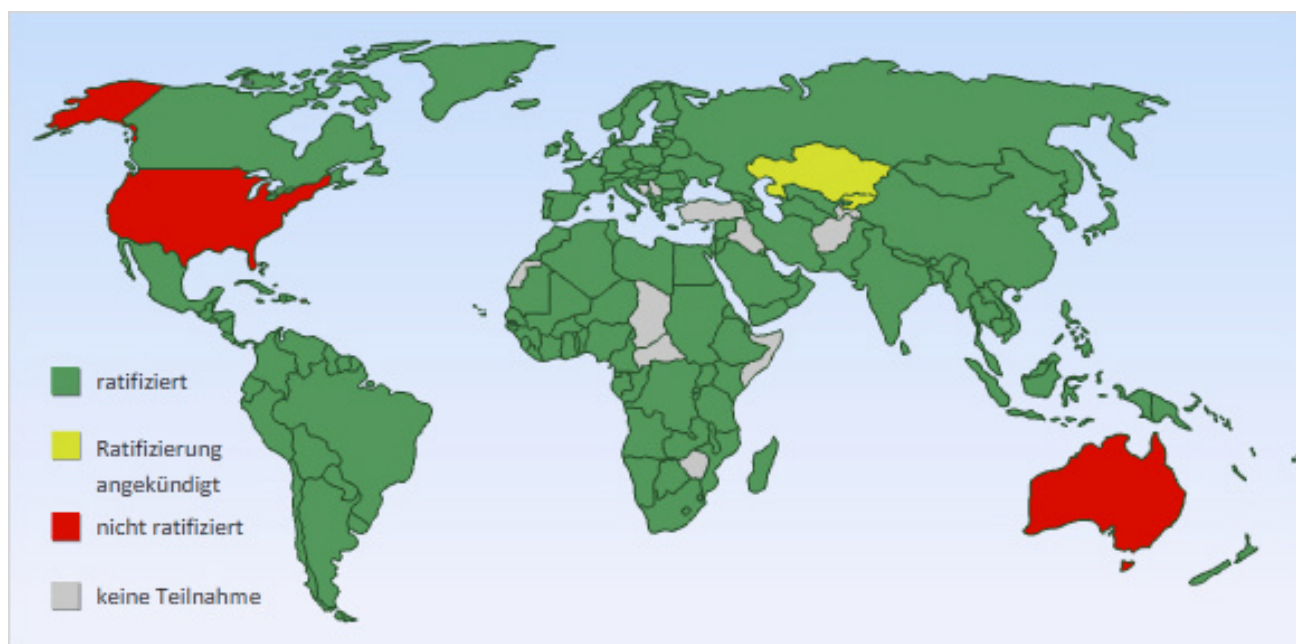
Treibhausgase reduzieren

Kyoto-Protokoll schreibt Ziele fest

Das Kyoto-Protokoll soll weltweit Staaten dazu verpflichten, ihren Ausstoß von Treibhausgasen zu reduzieren. Bisher wurde es von 175 Nationen ratifiziert, die insgesamt für rund zwei Drittel des globalen Ausstoßes verantwortlich sind.

Im Jahr 1992 wurde auf einer Konferenz der United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) eine Klimarahmenkonvention United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) beschlossen.

Konkrete Ziele legten die beteiligten Nationen dann 1997 mit dem Kyoto-Protokoll fest.



Das Protokoll wurde allerdings erst im November 2004 mit dem formellen Beitritt Russlands verbindlich. Bis heute haben mit den USA und Australien zwei der Hauptverursacher von Treibhausgasen das Protokoll nicht ratifiziert.

Der Ausstoß von Treibhausgasen soll in den Industrieländern bis 2012 um durchschnittlich 5,2 Prozent unter die Menge von 1990 gesenkt werden. Ein wesentliches Instrument dazu ist der Handel von Emissionsrechten.

Die Ziele der einzelnen Länder sind jedoch sehr unterschiedlich, einige haben sogar eine Erhöhung ihres Ausstoßes anvisiert.

Konkret geht es um sechs Treibhausgase: Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), FCKW-Ersatzstoffe HFC (Halogenierte Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe), Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆).

Stand: Juni 2007, Quelle: UNFCCC