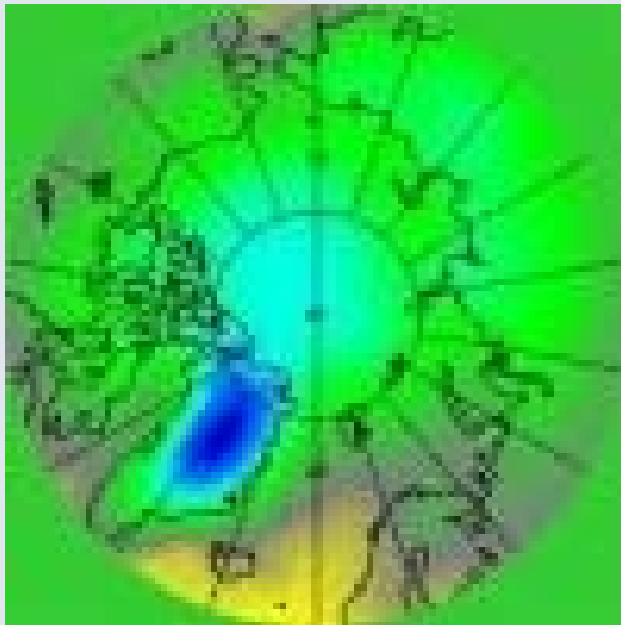


Klimawandel

basierend auf dem 4. IPCC - Zustandsbericht 2007



Die Erwärmung der Erde

Der Weltklimabericht 2007

Der IPCC Bericht 2007 ist eine Zusammenfassung der wichtigsten Fakten zum Klimawandel. Er fasst zusammen, was Wissenschaftler beobachten und welche Prognosen sie geben.



Quelle: „Mensch und Natur“ von Vugar Agaev, 15 Jahre Azerbaijan; Internetgalerie der WMO

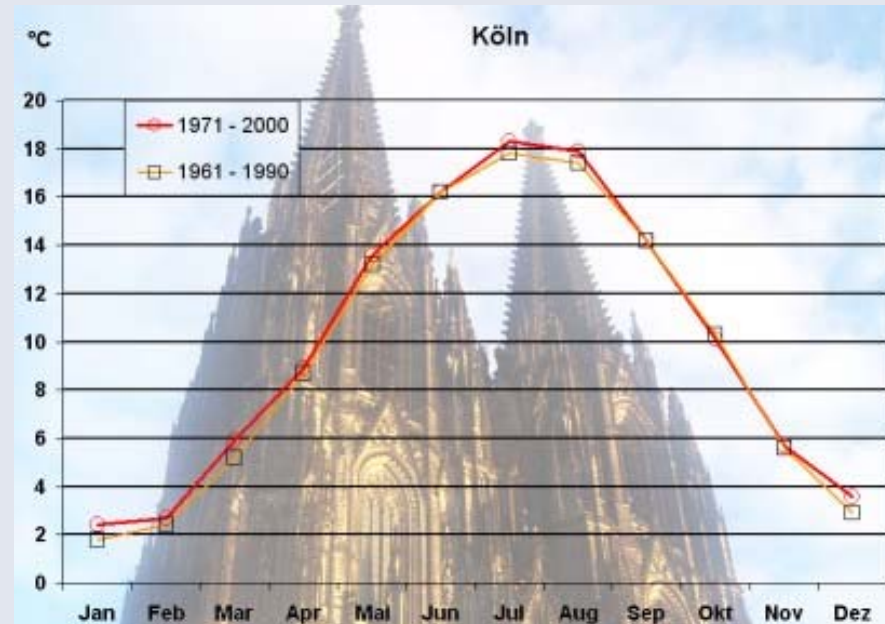
Die Erwärmung der Erde

Was messen und fühlen wir?

Im täglichen Wechsel des Wetters ist es nicht einfach zu sagen, ob das Geschehen in der Atmosphäre noch normal oder unnormal ist.

Aus Langzeitbeobachtungen hingegen lassen sich erste Erkenntnisse ziehen:

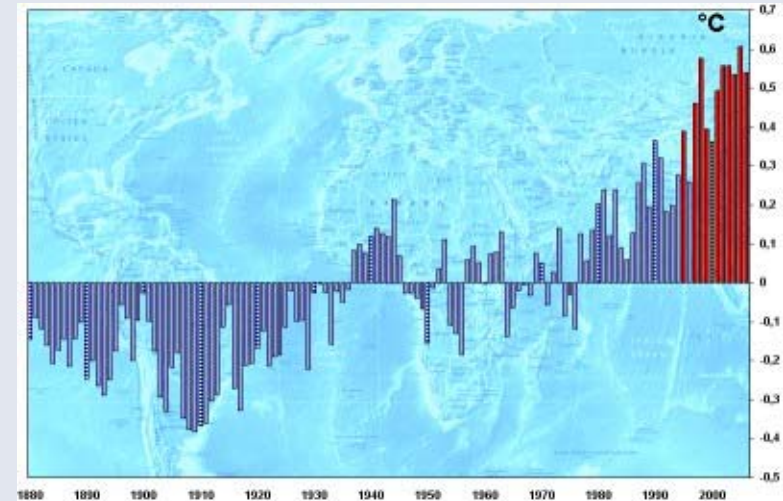
Wir vergleichen die Klimadiagramme der Stadt Köln, gemittelt aus den Werten der 30 Jahre 1961 – 1990 mit der gleichlangen Periode 1971 – 2000. Wir sehen, dass die Temperatur im Durchschnitt um ca. 0,2° C gestiegen ist (im Jahresmittel von 9,8 auf 10,0° C).



Quelle: Daten: Klimadiagramme.de,
Grafik und Photo: Elmar Uherek

Die Erwärmung der Erde

Das Klima ändert sich



Datenquelle NOAA. Grafik: Elmar Uherek

Die Grafik zeigt uns für die Zeit von 1880 bis 2006 an, um wie viel wärmer oder kälter das jeweilige Jahr im Vergleich zum Mittelwert von 1901 bis 2000 war. Einbezogen wurde die Land- und die Ozeantemperatur.

Das Ergebnis ist:

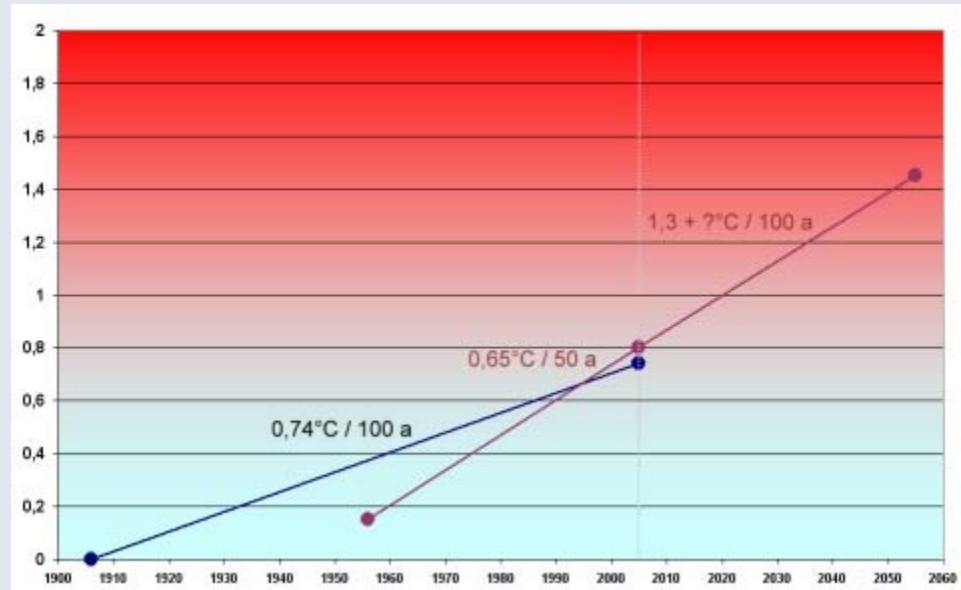
11 der wärmsten Jahre seit 1850 fallen in den Zeitraum der letzten 12 Jahre von 1995-2006.

Unser Weltklima läuft deutlich aus den statistischen Schwankungen, die es in der stabilen Warmzeit der letzten 10 000 Jahre gab, heraus.

Wir leben im Klimawandel

Die Erwärmung der Erde

Der Temperatur Trend



Quelle: Daten: Klimadiagramme.de,
Grafik und Photo: Elmar Uherek

Die Temperatur an der Erdoberfläche hat sich innerhalb der letzten 100 Jahre (1906-2005) um durchschnittlich $0,56 - 0,92^{\circ} \text{C}$ (Mittelwert: $0,74^{\circ} \text{C}$) erhöht.

Dieser Temperaturanstieg ist nicht konstant, er beschleunigt sich. Legen wir die Messwerte der letzten 50 Jahre für den Anstieg von 1956-2055 zugrunde, so erhalten wir einen mittleren Anstieg von $1,3^{\circ} \text{C}$ pro Jahrhundert.

Die Erwärmung beschleunigt sich!

Die Erwärmung der Erde

Der Temperatur Trend

Wir wissen aber schon jetzt, dass sich die Erwärmung in den nächsten 50 Jahren weiterhin beschleunigt.

Dies liegt daran, dass die Menge an **Kohlendioxid in der Luft**, die erheblich zu dieser Erwärmung beiträgt, über die letzten 50 Jahre gestiegen ist und auch weiterhin steigt.

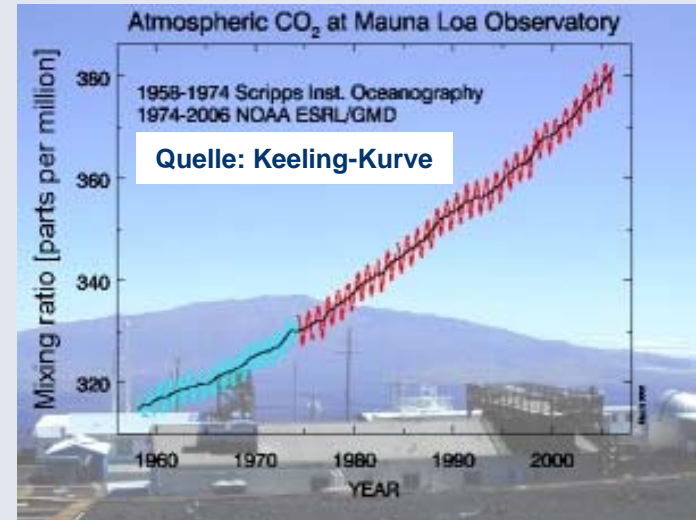
Wir können also allein schon aus dem Trend der letzten 50 Jahre ziemlich sicher sagen, dass wir im Jahr 2055 auf eine Erwärmung von mehr als 1,3° C über die letzten 100 Jahre zurückblicken werden.

Dann wird die Welt vermutlich mehr als 1,5° C wärmer sein als vor der Industrialisierung (1750).

Der Beginn der Industrialisierung wird von Klimawissenschaftlern in der Regel als Vergleichswert genommen, da zu dieser Zeit das Weltklima noch weitgehend unbelastet von menschlichen Einflüssen war.

Die Erwärmung der Erde

Klimaempfindlichkeit



Am Mauna Loa Observatorium auf Hawaii wird seit vielen Jahrzehnten der Kohlendioxidgehalt der Luft gemessen. Kohlendioxid schwankt mit der Jahreszeit nimmt aber im Jahresmittel kontinuierlich zu.

Die „Klimasensitivität ist ein wichtiger Faktor. Sie ist definiert als:

Die Erwärmung der Erde, die bei einer Verdopplung des CO₂ Anteils in der Atmosphäre (von vorindustriell 280ppm auf 560ppm) zu erwarten wäre. Dabei gibt es natürlich große Unsicherheiten.

Die Forschung deutet darauf hin, dass sich die Erde für diesen Fall wahrscheinlich um 2 - 4,5° C erwärmen würde, mindestens aber um 1,5° C.

Ein Wert von 3° C gilt als derzeitig beste Abschätzung

Die Erwärmung der Erde

Kühlung durch Partikel und Wolken

Partikel in der Luft wie hier über Ankara vermindern die Sonneneinstrahlung und bewirken eine lokale Kühlung in den verschmutzten Regionen. Photo: Dirk Matzen



Der Treibhauseffekt ist der wichtigste Antrieb des Klimawandels. Ihm stehen jedoch auch Faktoren entgegen, die eine Abkühlung bewirken. Dies sind Effekte, die durch flüssige und feste Partikel in der Luft (sogenannte Aerosole) bedingt sind. Von den Aerosolen abhängig ist auch die Bewölkung und ihre rückstrahlende Wirkung.

Wenn Partikel in der Luft verhindern, dass mehr Sonnenenergie die Erde erreicht, dann handelt es sich in vielen Fällen auch um vom Menschen erzeugte Effekte, sprich: Luftverschmutzung oder Smog. Eine solche Unterstützung gegen den Treibhauseffekt ist natürlich nicht gewollt und nicht gesund.

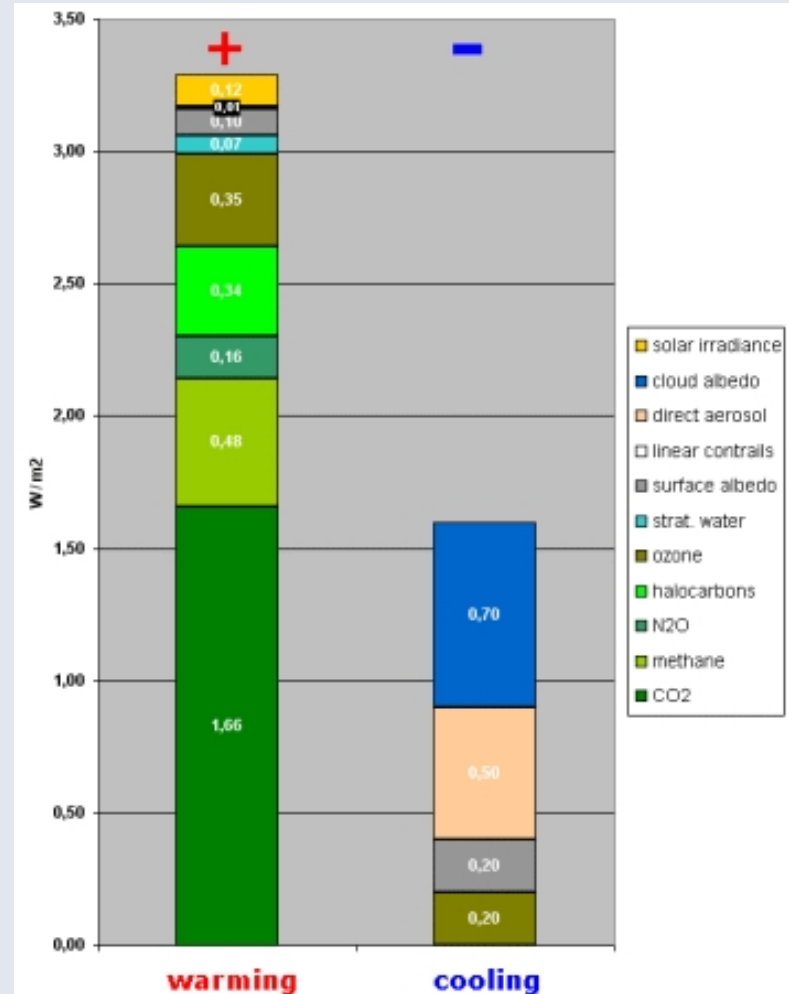
Die Erwärmung der Erde

Strahlungsantrieb

In der nebenstehenden Grafik sehen wir links Faktoren, die sich erwärmend auswirken rechts Faktoren, die eine Abkühlung bewirken.

Wir sehen die dominante Rolle der Treibhausgase Kohlendioxid, Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O) und Halogenkohlenwasserstoffe (wie FCKW).

Das Treibhausgas Ozon spielt eine Doppelrolle, weil zum einen das bodennahe Ozon zunahm, zum anderen aber in der Stratosphäre die Ozonschicht abgebaut wurde.



Beiträge verschiedener Klimafaktoren zur Erwärmung oder Abkühlung (positiver oder negativer Strahlungsantrieb). Alle Treibhausgase sind in Grüntönen dargestellt. Daten: IPCC FAR, Grafik: Elmar Uherek

Die Erwärmung der Erde

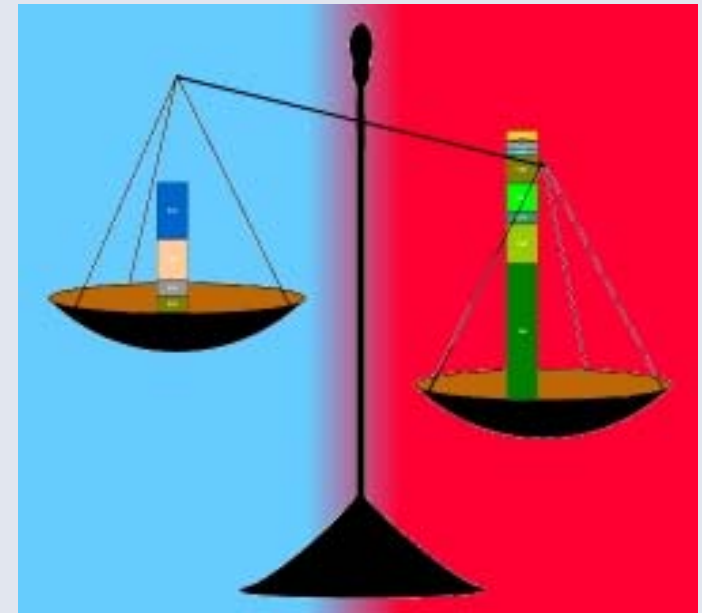
Strahlenantrieb

Wir sehen, dass die kühlenden Effekte von Aerosolen und Wolkenbildung eine starke Abkühlung bewirken, die aber die Erwärmung nicht kompensiert.

Insbesondere bei diesen abkühlenden Faktoren, ist man sich aus wissenschaftlicher Sicht, über ihre Größe noch sehr unsicher.

Die Unsicherheit der „Abkühlung“ in der Forschung ist immer noch so groß, dass man sogar annehmen könnte, dass im Extremfall diese Abkühlung die globale Erwärmung kompensiert.

Dies widerspricht allerdings den bisherigen Beobachtungen.



Nach dem derzeitigen Stand der Forschung wirken sich erwärmende Faktoren stärker aus, haben aber ein deutliches Gegengewicht. Grafik: Elmar Uherek

Die Erwärmung der Erde

Die Verantwortung des Menschen

Die derzeitigen Beobachtungen sind ohne ein Eingreifen des Menschen aus natürlichen Ursachen nicht mehr erklärbar. Eine Diskussion, die vor 10 Jahren noch aktuell war, stellte die Frage:

Trägt der Mensch die Verantwortung an dieser Erwärmung? Oder liegt es an natürlichen Schwankungen im Weltklima oder an der Veränderung der Sonnenintensität?

Die Experten haben sich bislang aufgrund des begrenzten Wissens immer vorsichtig geäußert. Im Jahr 2007 lautete die Aussage:

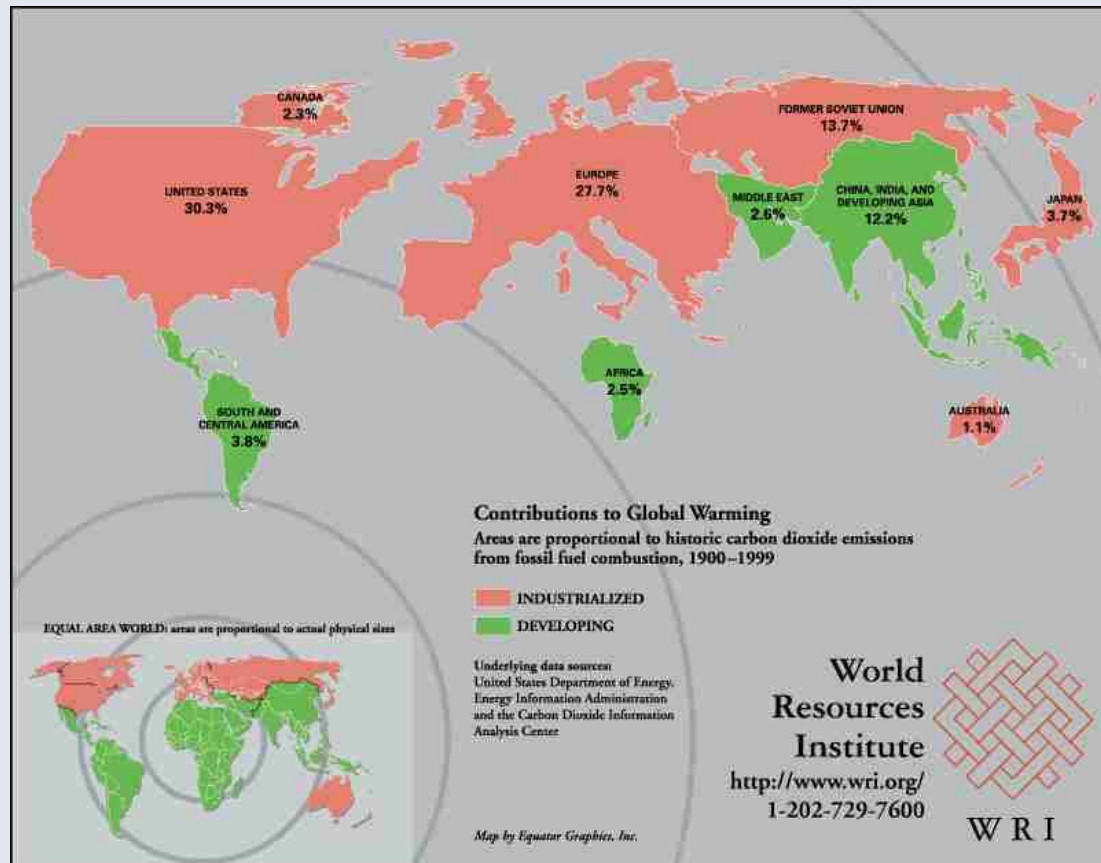
Die Auswirkungen menschlicher Aktivität seit 1750 ist mit mehr als 90%iger Wahrscheinlichkeit eine Erwärmung der uns umgebenden unteren Atmosphäre und der Weltmeere.

Die Erwärmung der Erde

Der weltweite Beitrag zur globalen Klimaerwärmung

Eine Karte des World Resources Institute (WRI) zeigt die Größe der Länder und Kontinente proportional zu ihrem Beitrag zur globalen Erwärmung im Jahr 2002.

© WRI



Die Erwärmung der Erde

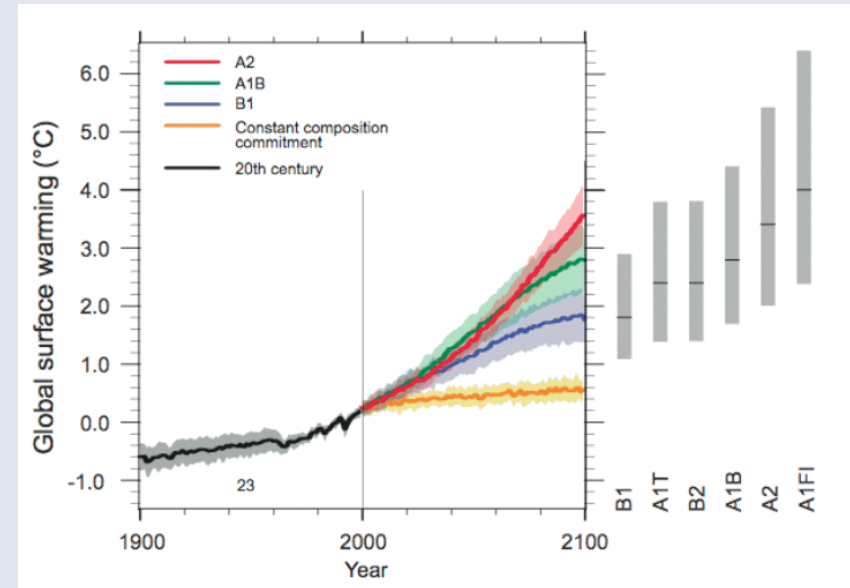
Abschätzungen für die Zukunft

Die Klimaszenarien des IPCC.
Die Kurven zeigen die Erwärmung für verschiedene Annahmen.

Die Unsicherheit ist in den grauen Balken mit dem besten Schätzwert (schwarze Linie) angegeben.

Die orange Linie zeigt die weitere Erwärmung unter der Annahme, dass die Konzentrationen aus dem Jahr 2000 konstant geblieben wären.

Auf der Basis verschiedener Klimamodelle sagen die Experten voraus, dass es im Jahrzehnt 2090 – 2099 im weltweiten Mittel an der Erdoberfläche um 1,1 – 6,4° C wärmer sein wird, als im Vergleichszeitraum 1980 – 1999.



© IPCC, AR4 2007

Konsequenzen der Erwärmung

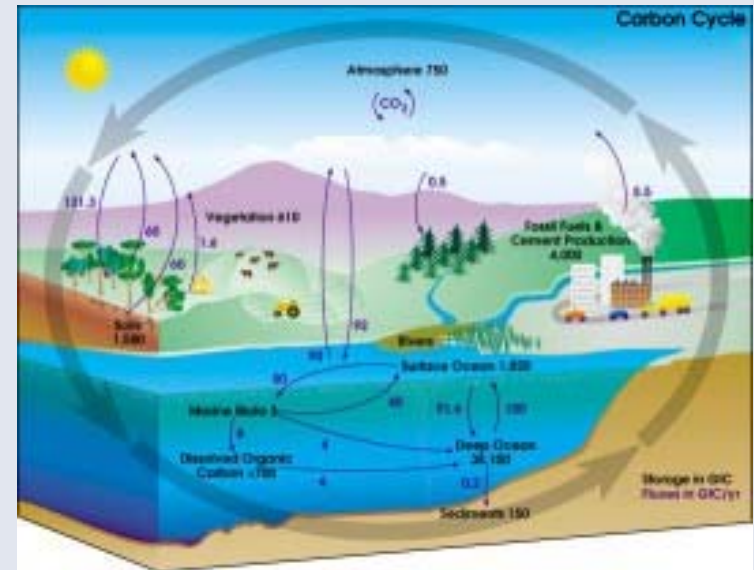
Rückkopplung zwischen Klimawandel und Kohlenstoffkreislauf

In jüngster Zeit durchgeführte Studien kamen alle zu dem Resultat, dass in einer wärmeren Welt im Vergleich zu heute die Fähigkeit von Land und Ozean weiteres CO₂ aufzunehmen reduziert ist.

Das Festland, derzeit eine schwache Senke für CO₂, könnte sich durch steigende Trockenheit und abnehmende Vegetation in eine Quelle wandeln.

Diese möglichen Rückkopplungen werden im vierten Weltklimabericht des IPCC erstmals mit einbezogen.

Sie führen zu einem etwas größeren Unsicherheitsbereich für die abgeschätzte Erwärmung bis zum Jahr 2100 und insbesondere zu größeren Erwärmungen bei Szenarien mit hohen Emissionen.



Der Kohlenstoffkreislauf. Es besteht ein intensiver Austausch zwischen Land Atmosphäre und Ozean der weit größer ist, als der menschliche Eintrag. Die genauen Zahlen (hier in Gigatonnen Kohlenstoff GtC) variieren von Jahr zu Jahr.
© NASA Earth Observatory

Konsequenzen der Erwärmung

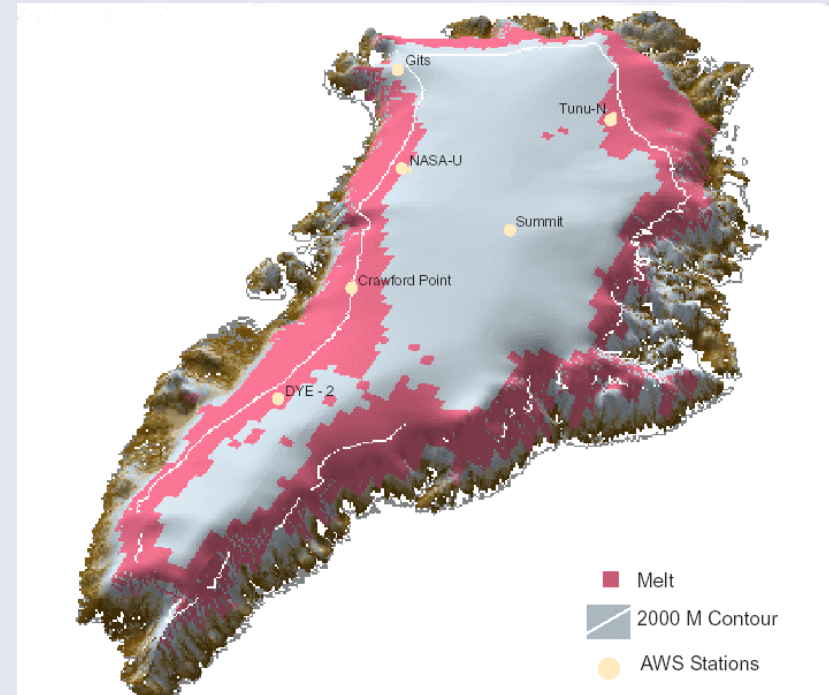
Der Rückzug des Eises

Das Eis auf dem Meer (Seeeis) schmilzt in der Arktis (ca. 2,7% Verlust pro Jahrzehnt) und zerstört den Lebensraum mancher Tierarten (z.B. des Eisbärs).

Im Seeis der Antarktis sind bislang starke Schwankungen ablesbar, aber kein klarer Trend.

Ein vollständiges Abschmelzen des grönländischen Festlandeises ist nicht unmöglich.

Der Meeresspiegel würde hierdurch um 7 m steigen. Dieser Vorgang würde jedoch vermutlich mehrere Jahrhunderte dauern.



In rot ist der Schmelzbereich des grönländischen Eisschildes dargestellt. Die Daten werden über satellitengestützte Mikrowellenmessungen ermittelt.
Quelle: Arbeitsgruppe Konrad Steffen, University of Colorado, Boulder

Konsequenzen der Erwärmung

Die Berggletscher ziehen sich zurück, die durchschnittliche Schneebedeckung sinkt.

Das Eis in den Permafrostgebieten, in denen der Boden bislang dauerhaft gefroren war schmilzt.

Seit dem Jahr 1900 verlor die Nordhalbkugel 7% gefrorenen Bodens. Dies bringt nicht nur Probleme für die lokale Infrastruktur mit sich (Gebäude und Fahrzeuge sinken ein), sondern auch für die Vegetation.

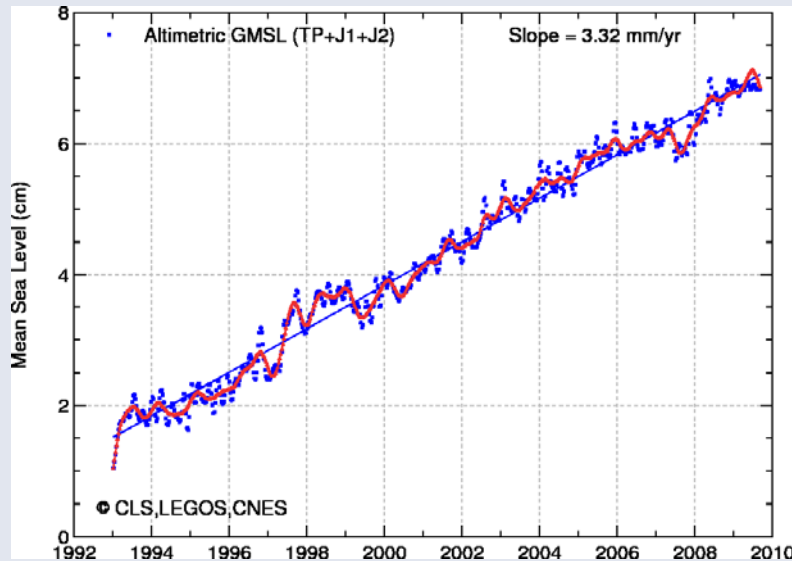
Gleichzeitig besteht das Risiko einer beschleunigten Freisetzung des im Boden eingefrorenen Methangases, das wiederum ein starkes Treibhausgas ist.



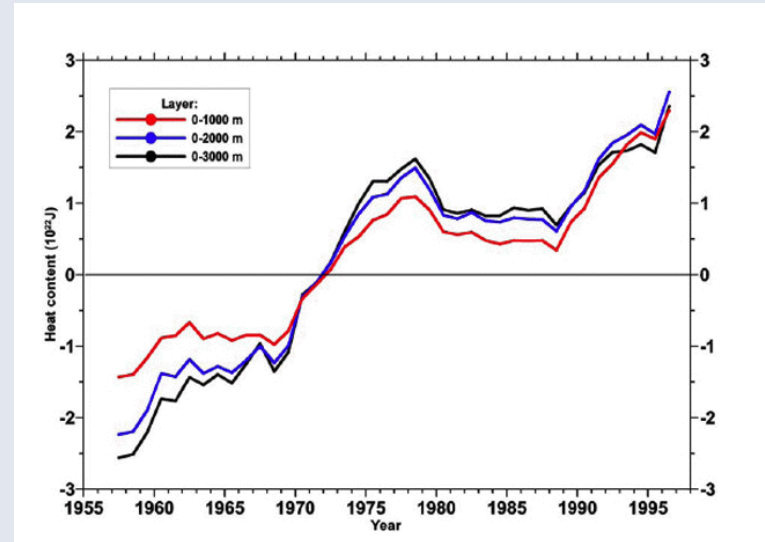
Die Permafrostgebiete der nördlichen Hemisphäre. Karte © UNEP

Konsequenzen der Erwärmung

Erwärmung der Ozeane



Die Grafik zeigt den Anstieg des Meeresspiegels in den letzten 15 Jahren.
<http://www.aviso.oceanobs.com/en/news/ocean-indicators/mean-sea-level/>



Die Grafik zeigt die Zunahme der Wärme im Nordatlantik über die letzten vierzig Jahre hinweg. Der Atlantische Ozean trägt mehr zur Wärmezunahme in den Weltmeeren bei als der Pazifische und der Indische Ozean zusammen.

Etwa 80% der Wärme, die unserem Klima seit 1961 zugeführt wurde, haben die Ozeane aufgenommen und sich in Tiefen von bis zu 3000 m erwärmt.

Warmes Wasser hat eine niedrigere Dichte als kaltes und benötigt mehr Volumen. Die Ozeane dehnen sich aus und der Meeresspiegel steigt.

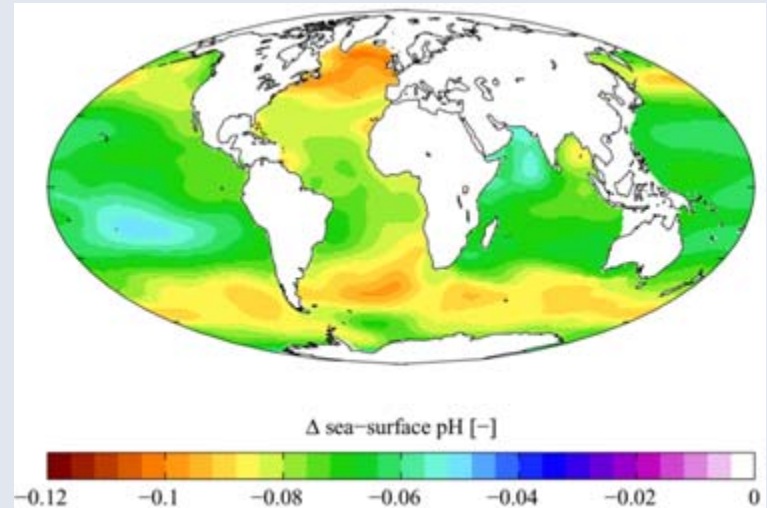
Konsequenzen der Erwärmung

Die Versauerung der Meere

Der zunehmende Kohlendioxid-Gehalt in der Luft und der Übergang des Gases in den Ozean führt zur Bildung von Kohlensäure.

Hierdurch wird das Meerwasser saurer.

Seit der vorindustriellen Zeit ist der pH Wert des Ozeans an der Wasseroberfläche um ca. 0,1 Einheit gefallen und könnte über das 21. Jahrhundert hinweg über weitere 0,14 bis 0,35 Einheiten fallen.



Veränderung des pH Wertes der Meeresoberfläche durch den vom Menschen verursachten Eintrag von Kohlendioxid zwischen 1700 und den 1990er Jahren.

Daten: Global Ocean Data Analysis Project; Grafik: Richard Zeebe (GNU licence)



Mit Sicherheit werden die Korallenriffe angegriffen, die aufgrund ihres Artenreichtums als Regenwälder der Ozeane gelten. Ihr Calciumcarbonatstock ist gegen saureres Wasser sehr empfindlich.

Korallenriff © 2004
Richard Ling (GNU licence)

Konsequenzen der Erwärmung

- **Überflutung der Küstenregionen**
- **Fluten durch Starkregen**
- **mehr Dürren**
- **heftigere Stürme**
- **schwer erträgliche Hitzewellen**
- **schwerwiegende politische und soziale Konsequenzen durch große Wanderungsbewegungen in der Weltbevölkerung, die durch die Flucht aus unbewohnbaren Regionen bedingt sind.**