

Basiswissen Klima

- 1 Sonnenenergie**
- 2 Ozeane**
- 3 Albedo**
- 4 Eisschmelze**
- 5 Biokreisläufe**
- 6 Luftkreisläufe**
- 7 Energieträger**
- 8 Spurengase**
- 9 Wolken**
- 10 Treibhauseffekt**
- 11 Klimafolgen**
- 12 Konsequenzen**

in 12 Unterrichtsstunden
ein Konzept mit Hintergrundinfos

1 Sonnenenergie und Energieverteilung

Unterricht:

Alle Energie kommt von der Sonne
Sonnenkonstante
Erdneigung
Winkel der Sonnenstrahlung
Energieverteilung auf der Erde
Die Energie verteilt sich vom Äquator
aus in Richtung der Pole
Energieträger sind Ozeane und
Luftströmung

Experiment:

Bestrahlung eines Globus
Diskussion von Jahreszeiten
und Energieverteilung

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen



1 Sonnenenergie und Energieverteilung

Hintergrund: Kontroverse

Variabilität der Sonnenkonstante

Die Intensität der Sonnenkonstante variiert in mehreren überlagerten Zyklen, deren kürzester ca. 11 Jahre dauert. Es wurde diskutiert, dass der Intensitätsanstieg dominierend zur Erderwärmung beitragen könnte.

Über die letzten 100 Jahre gibt es einen kleinen Beitrag. Dieser kann jedoch die gemessene Erwärmung und insbesondere die globalen Temperaturrekorde im letzten Jahrzehnt nicht erklären.

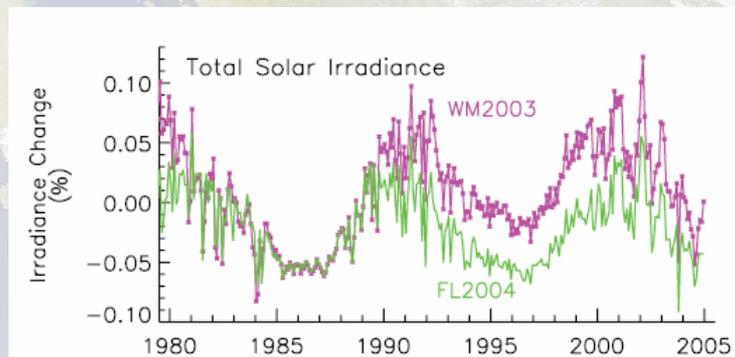
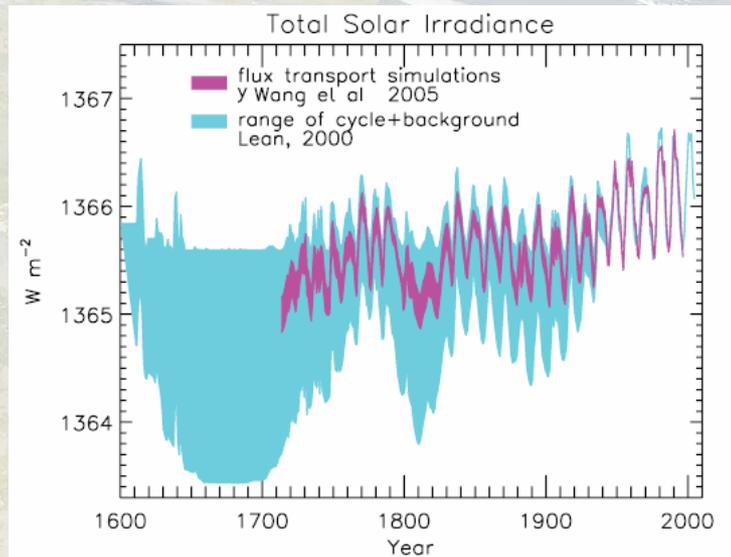


Figure 2.16. Percentage change in monthly values of the total solar irradiance composites of Willson and Mordvinov (2003; WM2003, violet symbols and line) and Fröhlich and Lean (2004; FL2004, green solid line).

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

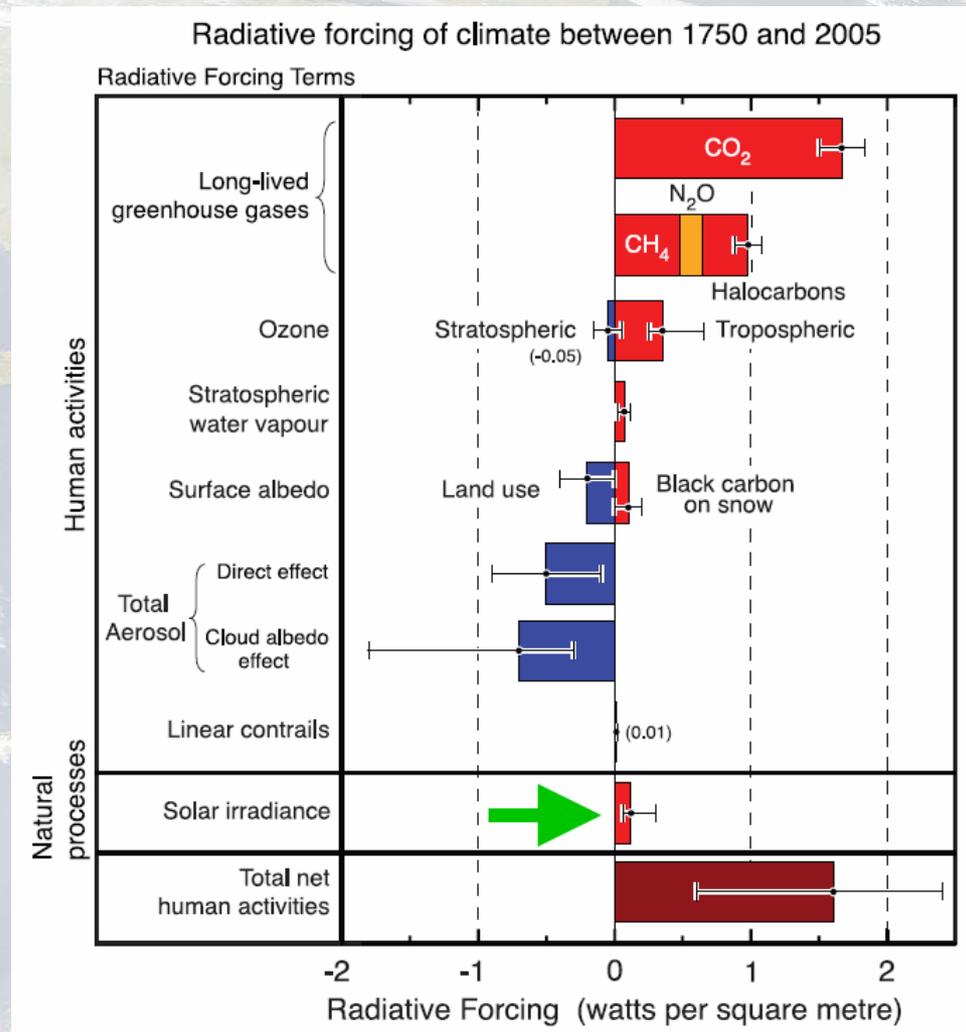
1 Sonnenenergie und Energieverteilung

In der Klimaforschung wird der Beitrag eines Faktors (Gas, Partikel, etc.) zur Veränderung der Strahlungsbilanz der Erde als „Strahlungsantrieb“ (engl. radiative forcing) bezeichnet und in W/m^2 gemessen. Ein positiver Strahlungsantrieb führt zu einer Erwärmung der Erde.

Grüner Pfeil:

Beitrag des Sonnenzyklus zu den Klimawirkungen auf der Erde

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen



2 Ozeanströmungen – Marines Förderband

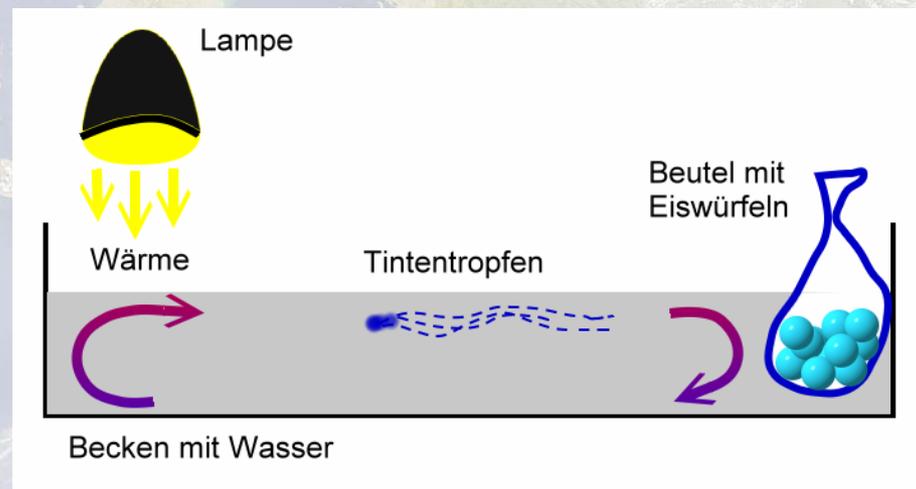
Unterricht:

Die Ozeane bedecken 71% der Erde
Ozeane als Energiespeicher
(Seewind – Landwind)
Ständige Bewegung der Ozeane
(marines Förderband) getrieben durch
Temperatur und Salzgehalt
Wärmetransport vom Äquator zu den
Polen
Relevanz für das Wetter in
vielen Regionen der Erde

Experiment:

Nachstellen der Ozeanströmung
in einer Wasserschale mit Eis an
der einen Seite und Bestrahlung
an der anderen. Färbung mit
einem Tropfen Tinte, deren
Bewegung zu Schlieren führt.

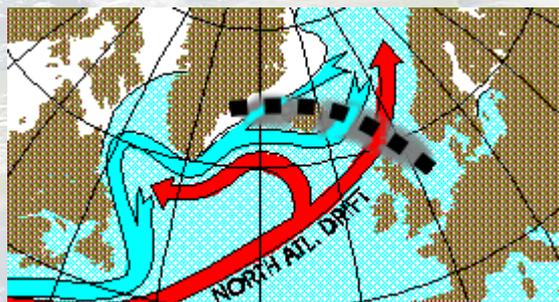
- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen



2 Ozeanströmungen – Marines Förderband

Hintergrund:

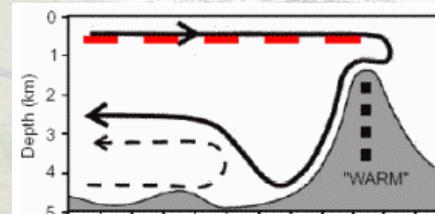
Kontroverse



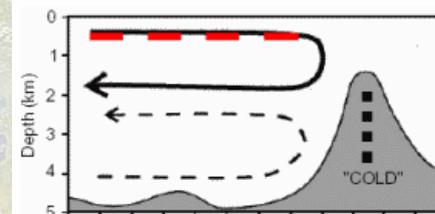
Kommt der Nordatlantikstrom zum Stillstand?

Es wird diskutiert ob durch Eintrag von Frischwasser der Nordatlantikstrom (Teil des Golfstromes), der Nordeuropa ein mildes Klima beschert, zum Erliegen kommt.

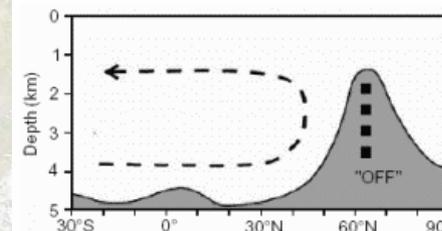
Es besteht die Möglichkeit, dass die Dichte des Oberflächenwassers durch verstärkten Regen, die Erwärmung der Luft und teilweise die Eisschmelze geringer wird. Dadurch kann der Nordatlantikstrom gebremst werden. Studien, die einen solchen Trend schon jetzt ablesen wollen, sind umstritten. Kommt es dazu, dürfte aber die Erderwärmung den kühlenden Effekt aufheben.



Querschnitt: In der Warmzeit, wie wir sie heute haben, reicht der Nordatlantikstrom über die 'Schwelle' und bringt warmes Wasser bis nach Nordeuropa.



In der Eiszeit stoppt die warme Strömung vor dieser Schwelle. Weiter nördlich friert die See zu.



Der sogenannte 'Heinrich-Modus' ist ein Zustand, in dem kein Tiefenwasser mehr gebildet wird. Die Strömung setzt aus. Grafiken: abgewandelt von Elmar Uherek, Original: Stefan Rahmstorf in Nature

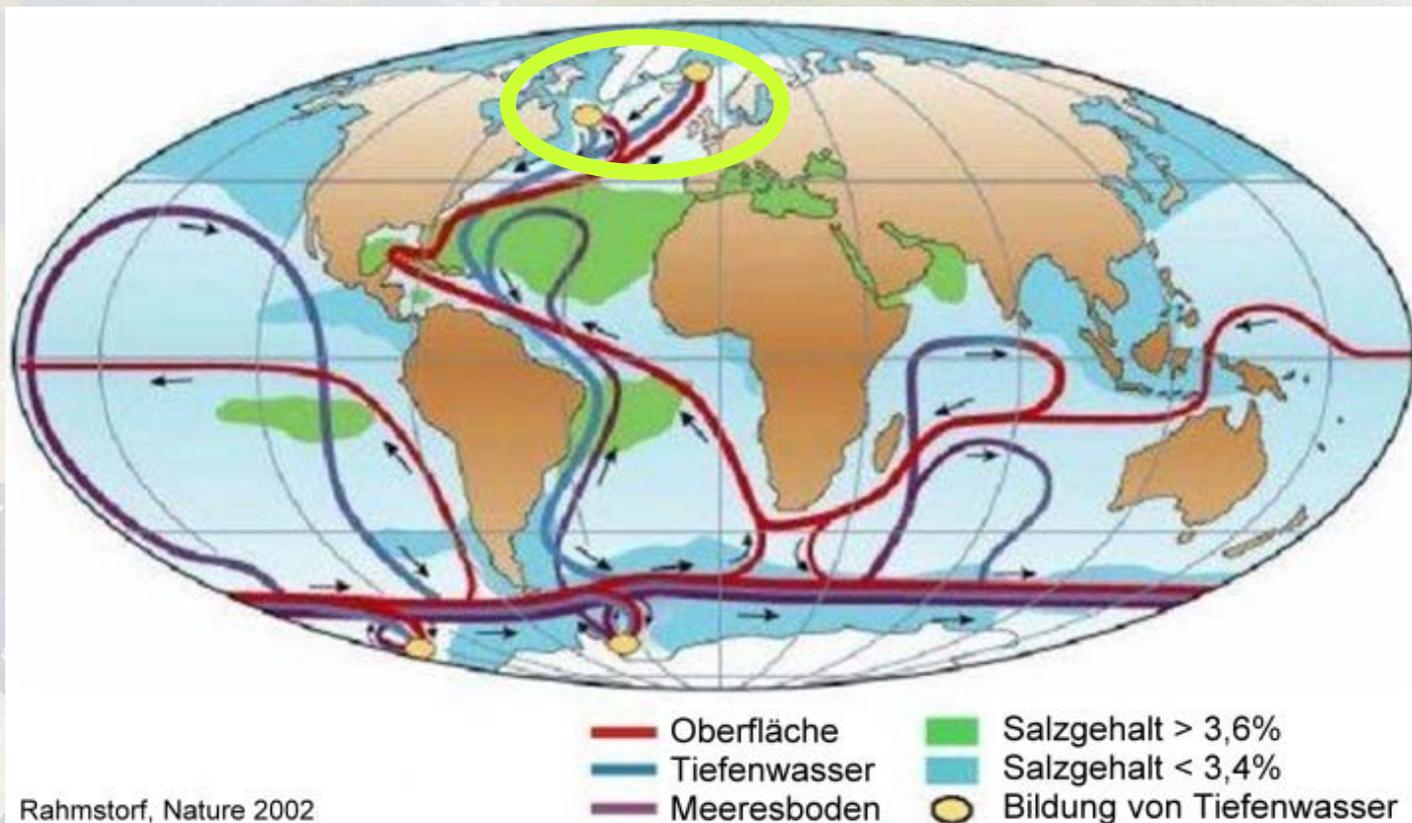
<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2g4.html>

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

2 Ozeanströmungen – Marines Förderband

Kritischer Bereich in der globalen Ozeanströmung:
Die Tiefenwasserbildung im Nordatlantik

<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1lg.html>



- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

3 Albedo und Strahlungsaufnahme

Unterricht:

Die Albedo der Erde ist ca. 0,3

Eis/Schnee Albedo = 0,6-0,8

Ozean Albedo = 0,1

Diskussion verschiedener Oberflächen
Diskussion der großen Bedeutung von

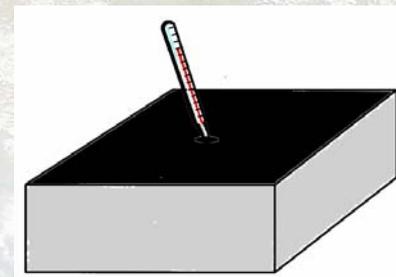
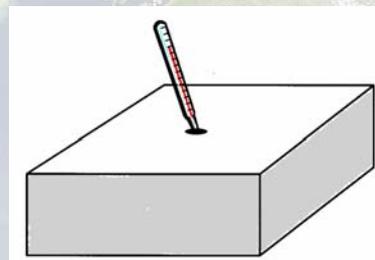
Wolken für die Albedo

Änderungen der Albedo durch den
Klimawandel (Eisschmelze) und
Landnutzung (Regenwaldverlust)

Experiment:

Bestrahlen einer schwarz und
einer weiß lackierten Fläche aus
gleichem Material.

Messung der Temperatur
(z.B. in einer Vertiefung in einer
Metallplatte)



Reflektivität von Wolken:

Wasser	Cirrus	Stratus	Cumulus	Cumulonimbus
8%	20-40%	40-65%	75%	90%

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

3 Albedo und Strahlungsaufnahme

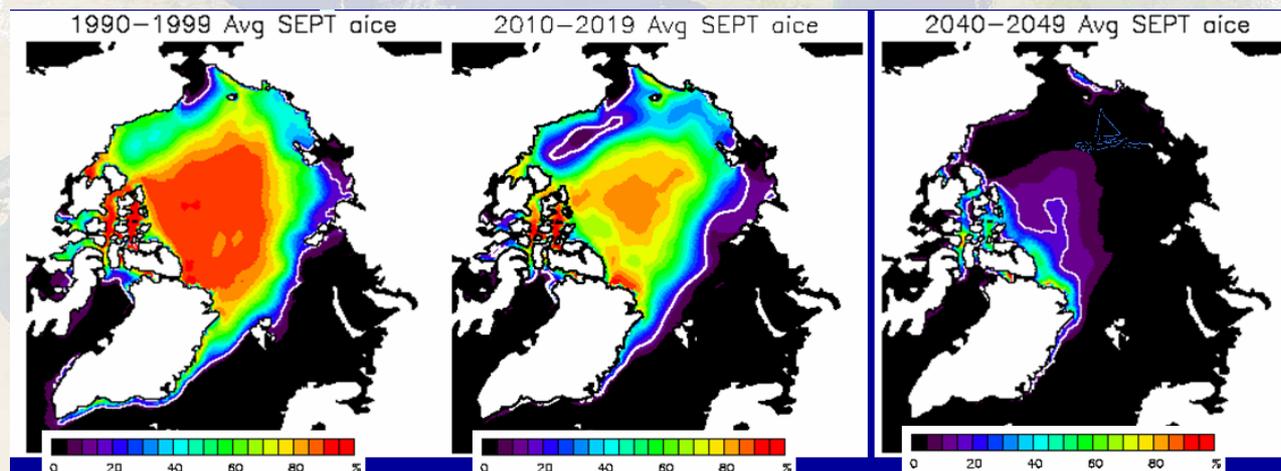
Hintergrund:

Wird der Nordpol eisfrei?

Im Spätsommer 2007 war erstmals die Schiffspassage über den Nordpol eisfrei. Wird das Meereis um den Pol schmelzen?

Es ist ziemlich sicher davon auszugehen, dass die Eisbedeckung des Nordpolarmeeres im September drastisch sinken wird. In 30-40 Jahren dürfte im Sommer eine Schiffsroute über den Pol möglich sein.

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen



http://www.cdc.noaa.gov/people/dezheng.sun/lectures/seaice/sea_ice_abrupt.ppt#17

3 Albedo und Strahlungsaufnahme

Hintergrund:

Welchen Einfluss hat die Albedo auf das Weltklima?

Die Eisschmelze im Nordpolarbereich begünstigt die lokale Erwärmung sehr stark. Die Temperaturerhöhung dort liegt etwa doppelt so hoch wie im globalen Mittel. (Grafik oben, für 560 ppm CO₂ - Prognose)

Gegenteilige Effekte haben die Entwaldung und die Albedo-Effekte zunehmender Bewölkung. Sie führen zu höherer Reflektivität und damit einer Abkühlung (Grafik unten, grüne Pfeile, Effekt bis 2005)

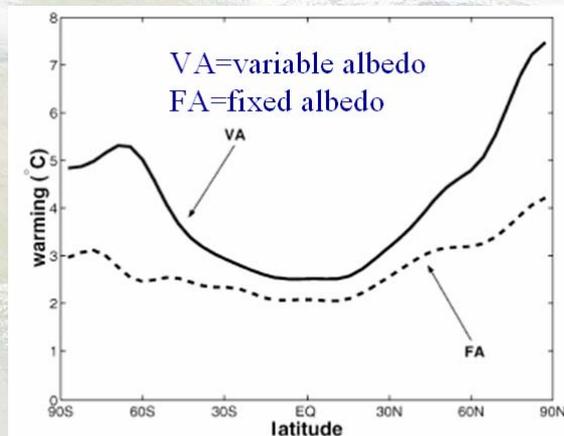
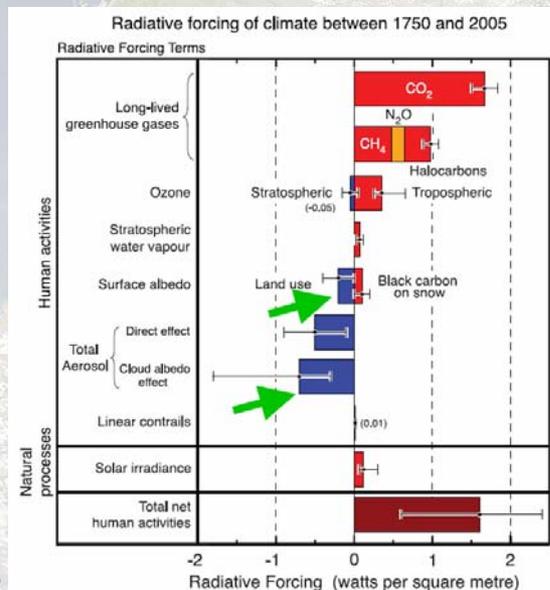


FIG. 5. The quasi-equilibrium zonal-mean, annual-mean warming resulting from CO₂ doubling in the FA (dashed line) and VA (solid line) models.



IPCC AR4 p. 136

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

4 Eisschmelze und Meeresspiegelanstieg

Unterricht:

Wie viel Eis gibt es wo?

Wirkung auf den Meeresspiegel:

Seeeis: nein

Festlandeis: ja

Archimedisches Prinzip

Warum steigt der Meeresspiegel?

Diskussion beitragender Faktoren
(thermische Ausdehnung, Eis)

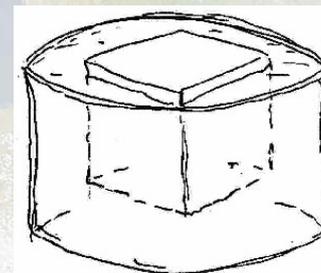
Erläuterungen der Konsequenzen der
Eisschmelze:

- Gefährdung der Küstenregionen
- Verlust von Lebensgemeinschaften
- Bedingungen für Wintersport
- Landwirtschaft in nördlichen Breiten

Experiment:

Eisklotz in einem Wasserglas
schmelzen lassen und den
Wasserspiegel verfolgen.

Ergänzend kann man Eiswürfel
auf einem Quader oder Ziegel in
einem Wasserbad schmelzen
lassen, so dass das
Schmelzwasser ins Bad läuft
und den Wasserspiegel erhöht.



<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2c3.html>

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

4 Eisschmelze und Meeresspiegelanstieg

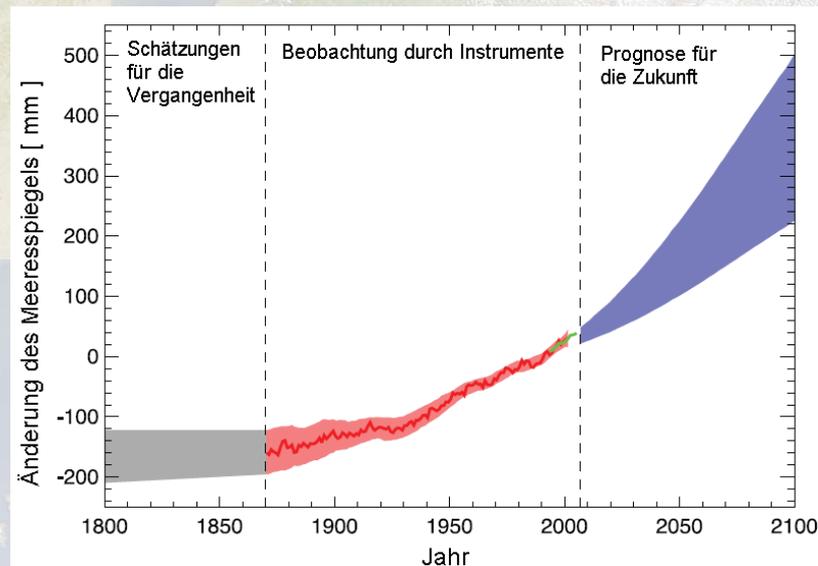
Hintergrund: Kontroverse

Wie gefährlich ist der Meeresspiegelanstieg?

Im IPCC Weltklimabericht 2007 wurde die Prognose für den Meeresspiegelanstieg mit 18-59 cm Anstieg für die letzte Dekade des 21. Jh im Vergleich zu letzten Dekade des 20. Jh nach unten korrigiert. Gibt es keine ernsthafte Gefahr?

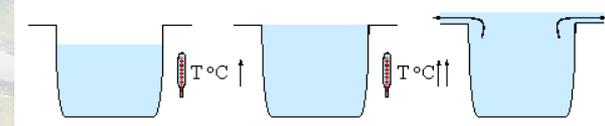
Das Problem ist die hohe Unsicherheit darüber wie schnell insbesondere das grönländische Eisschild schmilzt. Es wurden im IPCC Bericht 2007 die Schmelzraten 1993-2003 extrapoliert. Jüngste Studien warnen aber, dass sich die Schmelzrate stark erhöhen könnte.

<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2rv.html>



- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

4 Eisschmelze und Meeresspiegelanstieg



Hintergrund:

Welche Faktoren beeinflussen den Meeresspiegel?

Der Meeresspiegelanstieg ist bislang und für die nähere Zukunft vor allem eine Folge der thermischen Ausdehnung des Wassers. Nur bei starkem Abschmelzen der großen Eisschilde in Grönland und der Antarktis kann der Meeresspiegel mehrere Meter durch Eisschmelze steigen:

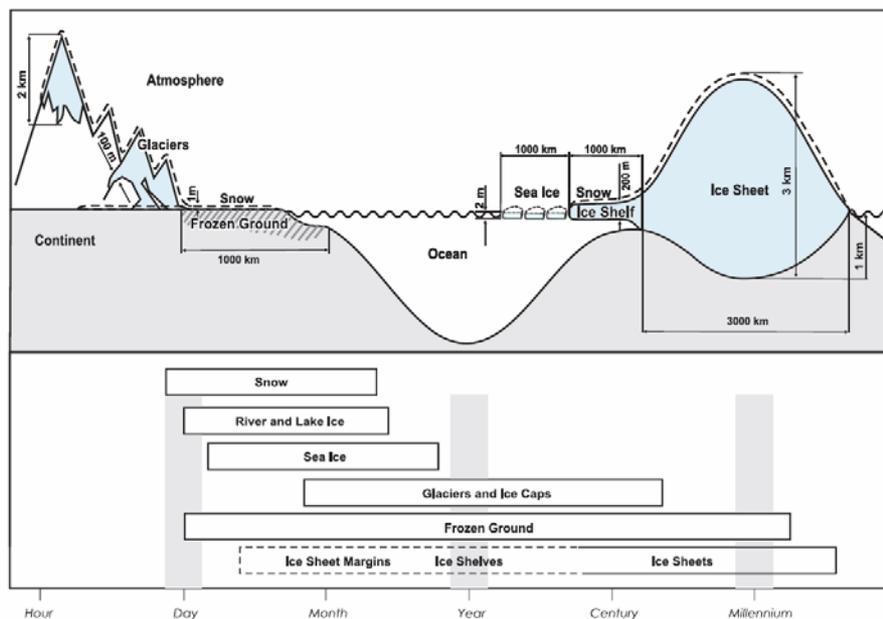


Figure 4.1. Components of the cryosphere and their time scales.

Mögliche Maximalbeiträge:

Schnee an Land	< 1 cm
Seeis	0
Permafrost	< 10 cm
Gletscher, Eiskappen	15-37 cm
Grönlandeisschild	7,3 m
Antarktiseisschild	56,6 m

Thermische Expansion 15 – 40 cm bis 2100

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

5 Biologische Kreisläufe

Unterricht:

Wozu nutzen Pflanzen die Energie?

Photosynthese und ihre Produkte

Bsp. Land: Wald

Bsp. Ozean: Phytoplankton

Abbau energiereicher Kohlenstoffverbindungen

Bsp. Land: Destruenten

Bsp. Ozean: Bakterien

Jahreszyklus des Kohlendioxid

CO₂ Aufnahme durch den Ozean

Kohlenstoffkreislauf

Experiment:

Lassen Sie Kresse auf Watte wachsen. Fragen Sie, woher das pflanzliche Material kommt.



- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

5 Biologische Kreisläufe

Hintergrund: Kontroverse

Ist so ein geringer CO₂ Anstieg relevant?

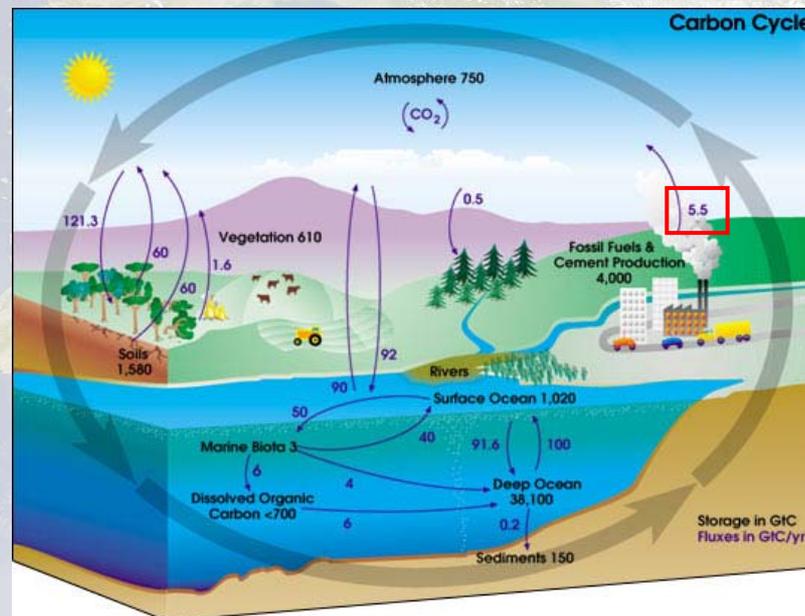
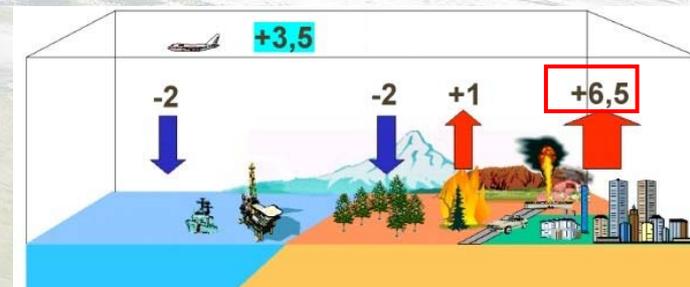
Zwischen Atmosphäre und Ozean sowie Atmosphäre und Biosphäre werden jährlich riesige Mengen an CO₂ ausgetauscht. Der Beitrag aus fossilen Brennstoffen scheint gering.

Aber:

Die natürlichen Prozesse stehen überwiegend im Gleichgewicht, der menschliche Anteil verbleibt teilweise in der Atmosphäre.

Wichtig: Unterscheiden Sie zwischen Angaben in Gt C und Gt CO₂. Faktor 3,667

<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/24u.html>



5,5 GtC inzwischen gestiegen auf 6,5 GtC

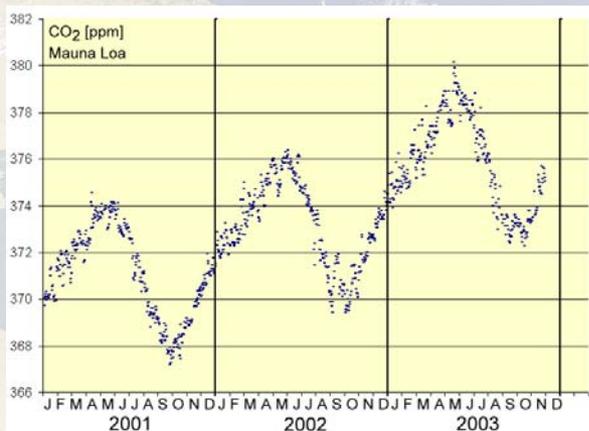
- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

5 Biologische Kreisläufe

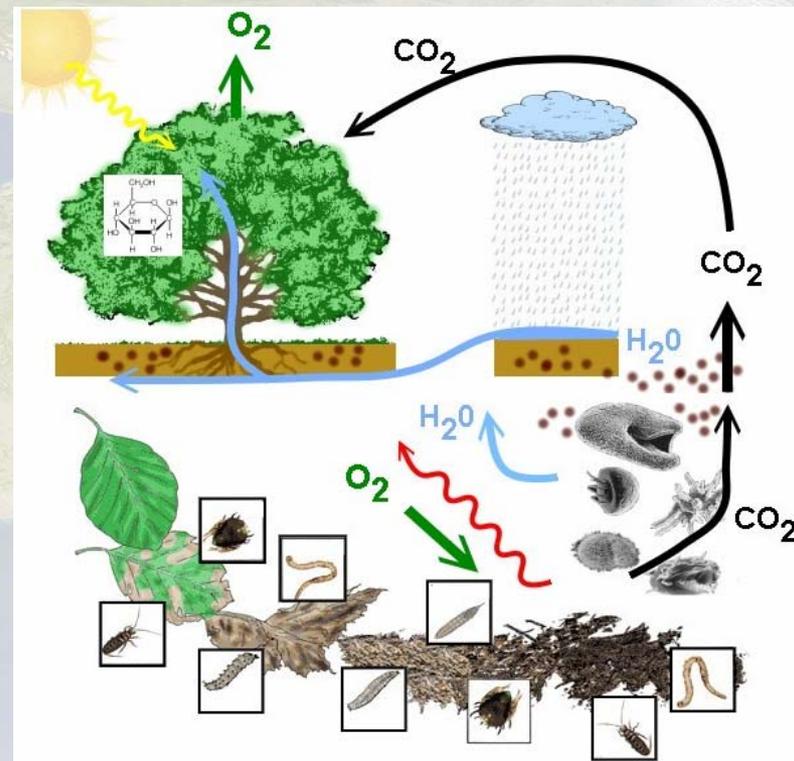
Hintergrund:

Fieberkurve des CO₂

Da Biomasse-Produktion und Abbau zeitlich versetzt erfolgen, lässt sich der menschliche Zusatzbeitrag als jährlicher Überschuss in einer Art ansteigenden Schwingung ablesen.



<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/4oq.html>



- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

6 Atmosphärische Kreisläufe und Reaktionen

Unterricht:

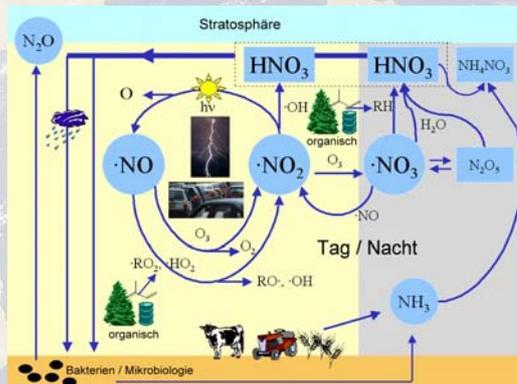
Kreisläufe

Alles was in die Luft entweicht muss auch wieder zurückfinden
Besprechen Sie den Stickstoffkreislauf und den Wasserkreislauf

Die Luft als chemischer Reaktor

Eindrücke von Basisreaktionen ohne vertiefte Diskussion:

OH, NO₃, O₃ als Waschmittel der Luft

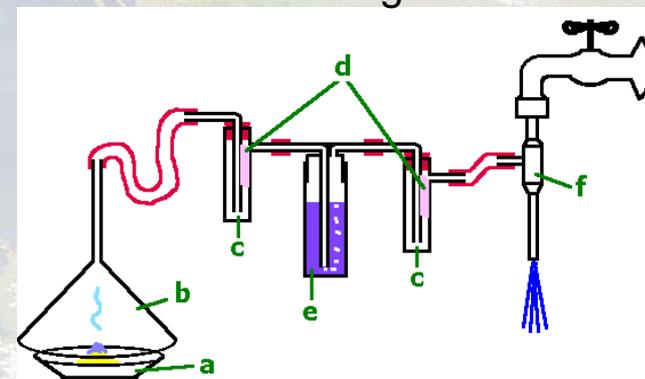


<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/20w.html>

Experiment:

Einfaches Beispiel für den Wasserkreislauf: Verdampfen von Wasser im geschlossenen System

Komplexeres Experiment mit Schwefel: Schwefelverbrennung und Auffangen von SO₂, SO₃
Kontext: saurer Regen



<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/42v.html>

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

6 Atmosphärische Kreisläufe und Reaktionen

Hintergrund:

Ist das Thema Ozonsmog nicht mehr aktuell?

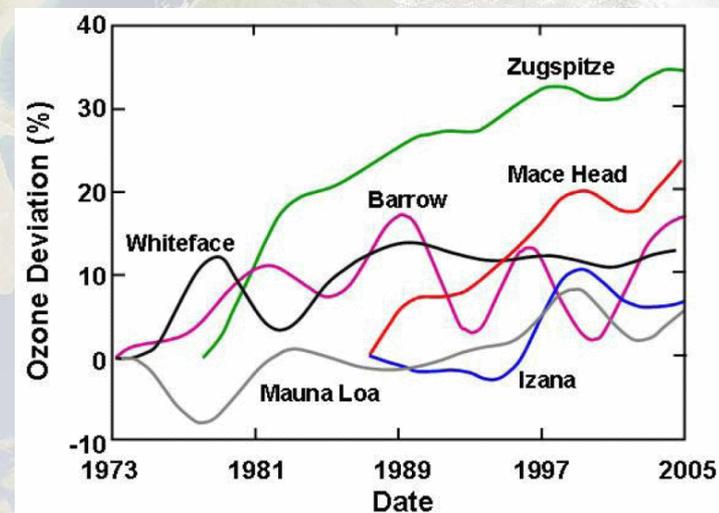
Anmerkung: Unterscheiden Sie immer zwischen bodennahem Ozon (gesundheitsschädigend) und stratosphärischem Ozon (Ozonschicht, als UV-Schutz wichtig). Die Probleme werden sehr häufig verwechselt.

Stickoxide und Kohlenwasserstoffe sind die wichtigsten Emissionen, die Ozonsmog-Perioden auslösen. Durch den Katalysator und strengere Abgasnormen wurden sie reduziert.

Die Ozon-Spitzenwerte sind daher in den Industrieländern gesunken. Weltweit ist aber das Hintergrundozon (gemessen an Reinluftstationen) gestiegen, da sich ozonerzeugende Substanzen global verbreiten können.

Das Thema bleibt wichtig.

<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/6az.html>



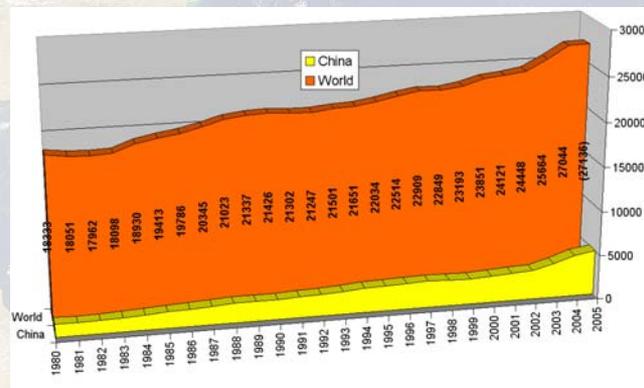
Ozontrends an Reinluftstationen

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

7 Energieträger, Wirtschaft und CO2 Emissionen

Unterricht:

Energieanreicherung über Jahrmillionen
Öl, Erdgas, Kohlelagerstätten
Existierende Ressourcen
Zunehmender Verbrauch während der
letzten 200 Jahre
CO2 Emissionen der Staaten der Welt
Pro-Kopf Emissionen in Industrie- und
Entwicklungsländern



Experiment:

Lassen Sie z.B. Kohlen verglühen und weisen Sie das aufsteigende Gas mit Kalkwasser nach. Alternativ kann auch der Gewichtsverlust bei der Verbrennung von pflanzlichem Material gezeigt werden.



- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

7 Energieträger und CO2 Emissionen

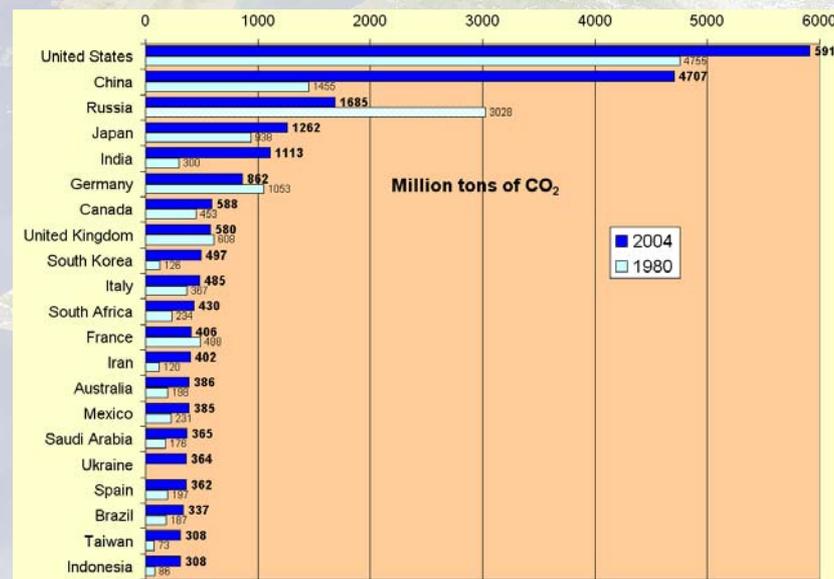
Hintergrund:

Kontroverse: Klimaschutz contra Wirtschaft und Wohlstand?

Zwei Argumente gegen den Klimaschutz werden in den Medien oft hervorgehoben:

- Er gefährdet Wirtschaftswachstum und Wohlstand.
- Was die Entwicklungsländer emittieren, können wir nicht einsparen.

Vergleichen Sie in der Klasse absolute Emissionen, Trends und Pro-Kopf Emissionen. Besprechen Sie Gerechtigkeitsaspekte und die Vorbildrolle der hoch technisierten Länder.



<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/6ai.html>

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

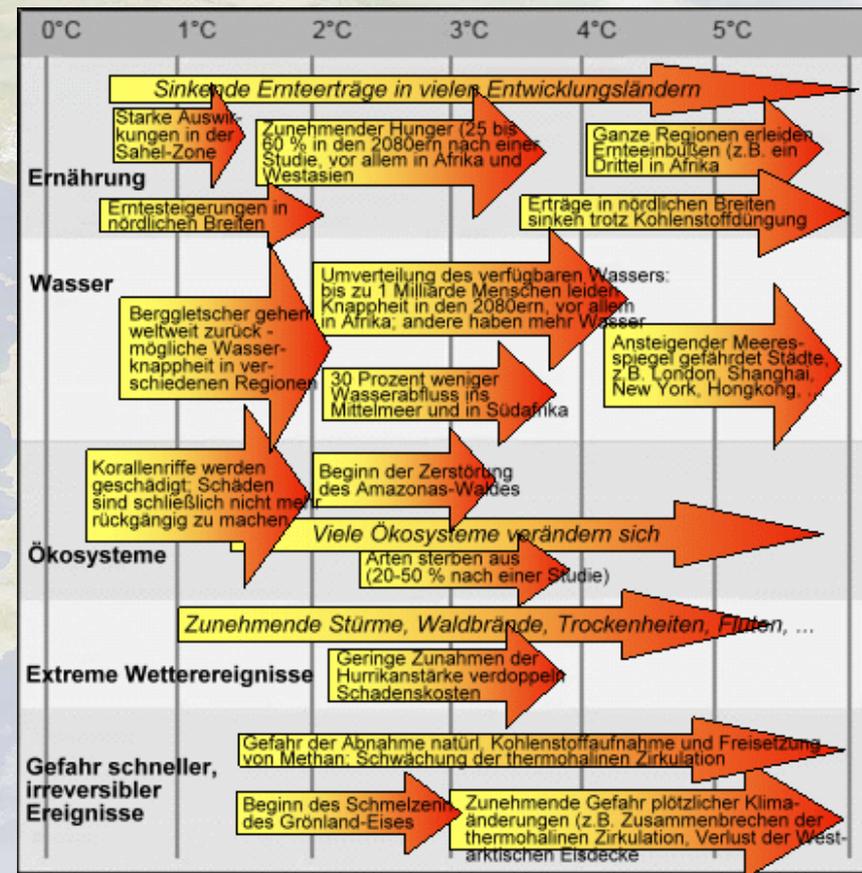
7 Energieträger und CO2 Emissionen

Hintergrund:

Stern Report

Der Bericht von Nicolas Stern dokumentiert erstmals die Kosten, die durch einen ungebremsten Klimawandel entstehen könnten. Sie werden deutlich höher geschätzt als die Kosten der Verhinderung des Klimawandels. Stern wählt hierbei drastische Szenarien und dementsprechend weit gehende Klimafolgeschäden. Daher wird der Bericht auch kritisiert. Die bisherige Entwicklung seit dem Umweltgipfel in Rio und Kyoto gibt allerdings Anlass zu der Sorge, dass solche Szenarien nicht ganz unrealistisch sind.

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen



http://www.oekosystem-erde.de/html/stern_report.html

8 Spurengase

Unterricht:

Zusammensetzung trockener Luft
schwankender Wasserdampfanteil
Langlebige Spurengase
Treibhausgase
Kurzlebige Spurengase
Quellen, Abbau und Bedeutung einiger
Spurengase (z.B. Ozon, FCKW,
Stickoxide)

Experiment:

Wenn möglich: Besichtigung einer
Luftmessstation. Internet-Analyse
der Spurengase bei verschiedenen
Wetterbedingungen
(Ozon – Sommer, Winter)
(Tagesgang Stickoxide)

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

Weitere Stationen
Wählen Sie eine Station

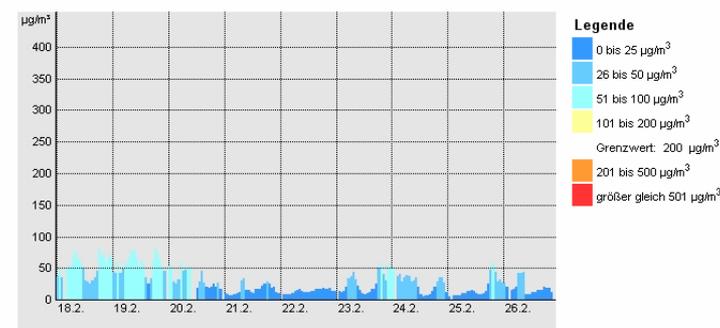
Verlaufsgrafiken für
Kurzzeitindex LUQx
O₃ 1-Std. Mittel
O₃ 8-Std. Mittel
PM10 Tagesmittel
SO₂ 1-Std. Mittel
SO₂ Tagesmittel

Messwertetabelle
Freiburg-Mitte

Sie sind hier: Startseite LUBW > Aktuelle Immissionsdaten > Südlicher Oberrhein > Freiburg-Mitte > Stickstoffdioxid

Freiburg-Mitte

Stickstoffdioxid 1-Stundenmittelwerte



<http://mnz.lubw.baden-wuerttemberg.de/messwerte/aktuell/index.htm>

8 Spurengase

Hintergrund: Kontroverse

Sollen wir jetzt etwa auch kein Fleisch mehr essen?



Wiederkäuer stoßen Methan aus und belasten die Atmosphäre mit einem Treibhausgas, das eine höhere Treibhauswirkung hat als CO₂, aber auch kurzlebiger ist. Aber auch der Reisanbau, und somit die Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung allgemein verschärfen das Methanproblem.

Noch ein Minuspunkt für Fleisch:
Die Nutzung natürlicher Ressourcen ist deutlich ineffizienter als bei pflanzlicher Nahrung, da das Tier, um uns zu ernähren, wesentlich mehr pflanzliche Nahrung verbraucht, als wenn wir uns direkt pflanzlich ernährten. Man darf durchaus, auch aus gesundheitlicher Sicht, von zuviel Fleisch abraten.

Quellen (ausgewählt)	Emissionen [Tg CH ₄ / Jahr] (Hein et al., 1997)	Emissionen [Tg CH ₄ / Jahr] (Lelieveld et al., 1998)
Feuchtgebiete + Reis	325 (237 + 88)	225
Energiesektor	97	110
Wiederkäuer (Kühe, Schafe ...)	90 (incl. Abfall)	115
Mülldeponien	35	40
Biomasseverbrennung	40	40
andere	-	(70)
Summe	587	600

<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/24u.html>

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

9 Wolken, Aerosole und Wolkenbildung

Unterricht:

Feststoffe in Luft
Quellen von Partikeln
Luftfeuchte, Sättigung der Luft
Aerosole als Keime der Wolkenbildung
Temperaturabhängigkeit des
Wasserdampfgehaltes
Relevanz der Wolken für die
Strahlungsbilanz:
Wolken halten nachts warm
Wolken halten tags Strahlung ab

Experiment:

Nukleationsexperiment als Film
Ozon + Pinen aus Piniennadeln
Die Schüler sehen Partikelbildung
aus einer chemischen Reaktion von
Gasen.



- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

9 Wolken, Aerosole und Wolkenbildung

Hintergrund:

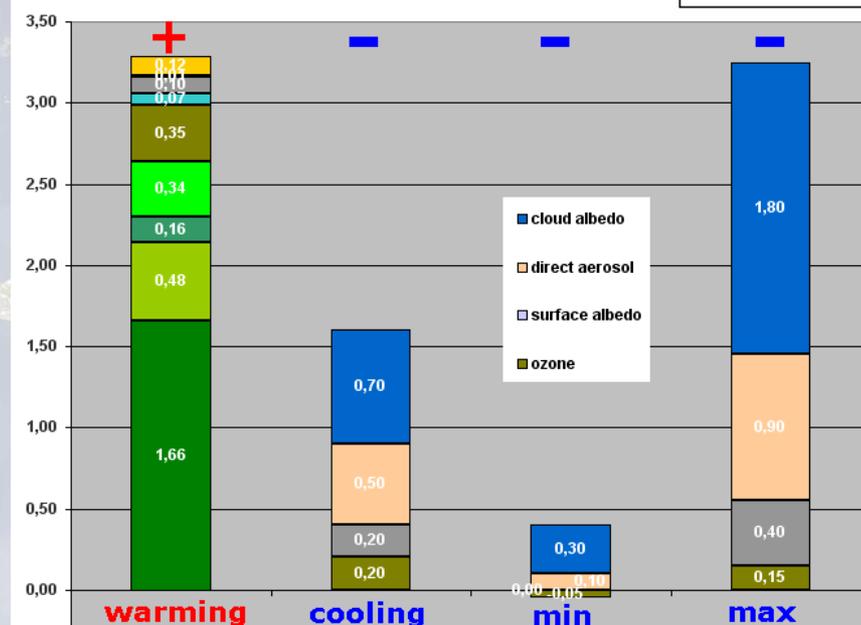
Kontroverse: Unsicherheit der Klimamodellrechnung

Klimamodelle sind vor allem deshalb so unsicher weil

- a) die Zukunft nicht bekannt ist (politische, soziale Entwicklung)
- b) die Wolkenbildung schlecht verstanden ist

Die Beiträge zur Erderwärmung sind gut verstanden, die Kühlung durch Wolken und Aerosole (global dimming) hat einen weiten Unsicherheitsbereich. Im Extremfall könnte sie die Erderwärmung kompensieren.

Aerosole jedoch sind kurzlebig. Wird die „Luftverschmutzung“ reduziert, wirken sich die wärmenden Faktoren umso stärker aus.



- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

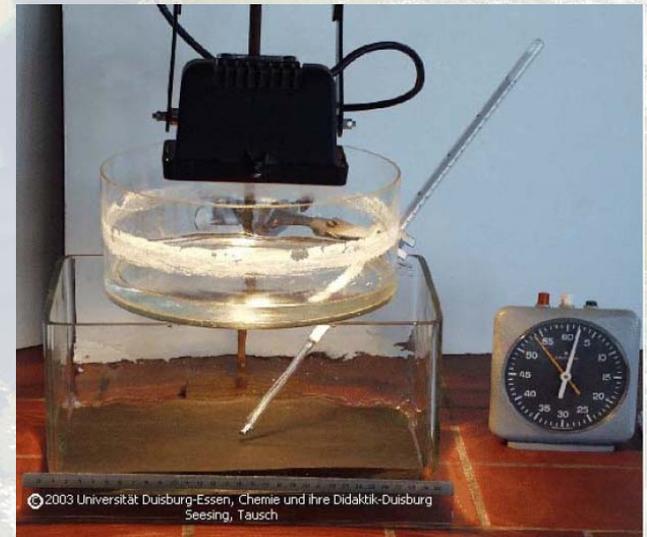
10 Treibhauseffekt

Unterricht:

Ursache des Treibhauseffektes
natürlicher + anthropogener Effekt
Wasserdampf als wichtigstes nat. THG
CO₂ als wichtigstes zusätzliches THG
Verschieden starke Treibhauswirkung
verschiedener Gase
Gesamtabsorption und atmosphärisches
Fenster
Strahlungsbilanz der Erde
Energiegleichgewicht
vorübergehende Ungleichgewichte z.B.
durch Pufferwirkung der Ozeane

Experiment:

Treibhausexperiment mit
Xenonlampe und Kohlendioxid in
einer Glasschale,
Wasser filtert die IR Strahlung
schwarzer Pappboden erwärmt
sich.



- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

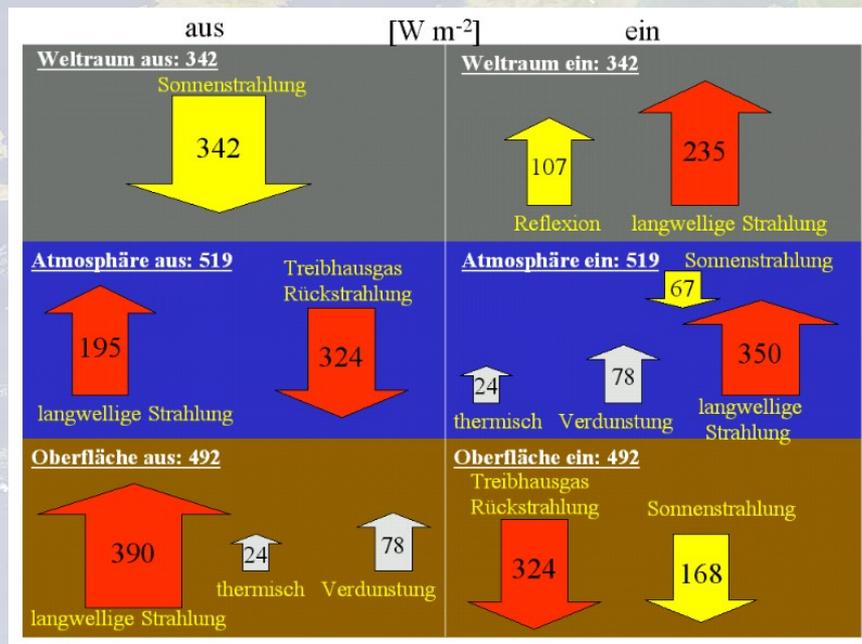
10 Treibhauseffekt

Hintergrund:

Ausgeglichene Strahlungsbilanz

Die Energierechnung ist korrekt, da für jedes Teilsystem (Erdoberfläche, Atmosphäre und Weltraum) jeweils genau so viel Energie eintritt, wie wieder hinausgeht.

Energiefluss und Strahlungsbilanz sind ausgeglichen.



- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

11 Folgen von Treibhauseffekt und Klimawandel

Unterricht:

Veränderungen in den Wetterereignissen und ihrer lokalen Verteilung:

Global ansteigende Temperatur

Global ansteigender Niederschlag (beides regional variierend)

Versauerung der Ozeane

(bisher: 0,1 bis 2100: 0,15 – 0,35 pH Einheiten)

Zunahme der Sturmintensität

Ansteigender Meeresspiegel

Schmelzen des Seeises in der Arktis

Gebremster Nordatlantikstrom

Auftauen weiter Permafrostregionen

Häufigere Hitzewellen

Experiment:

Niederschlagssimulation:
allmähliche Erwärmung von Wasser in einem geschlossenen Glasgefäß: Verfolgen von Wasserdampfentwicklung und Rückflussraten

Löslichkeit von CO₂ in kaltem und warmem Wasser
(Versuch Michael Jehle)

Wasserdampfaufnahme warmer und kalter Luft:
Wasser in einem geschlossenen warmen Glasbehälter bis nahe an den Sättigungspunkt konzentrieren. Dann im Kühlschranks Kondensation einleiten.

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

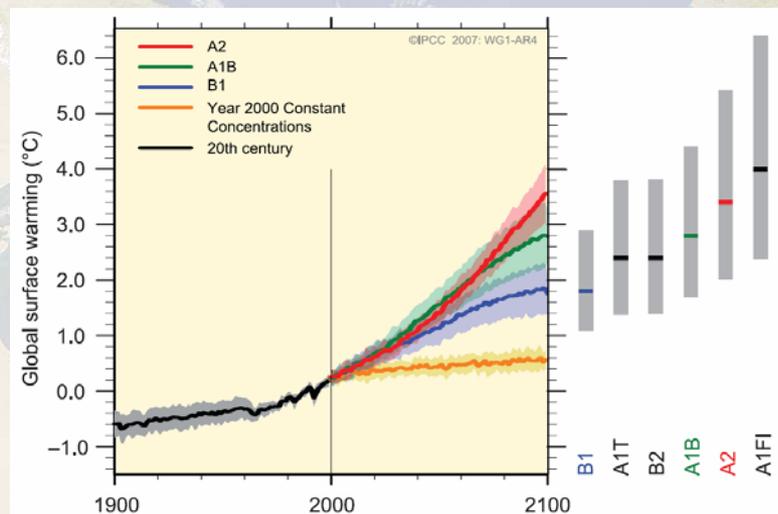
11 Folgen von Treibhauseffekt und Klimawandel

Hintergrund:

Varianz der Zukunftsszenarien

Der Weltklimabericht gibt eine weite Spanne von möglichen Erhöhungen der globalen Oberflächentemperaturen im Jahr 2100 verglichen mit dem Jahr 2000. Die Bandbreite erklärt sich

- durch Unsicherheiten innerhalb der Modelle
- durch verschiedene Hypothesen darüber, wie die Zukunft aussieht



Maximaler Varianzbereich:
1,1 – 6,4°C

Bereich bester Schätzungen:
1,8 – 4°C

Bleiben die CO₂ Konzentrationen auf den Werten von 2000 (= keine Emissionen mehr), steigt die Temperatur trotzdem.

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

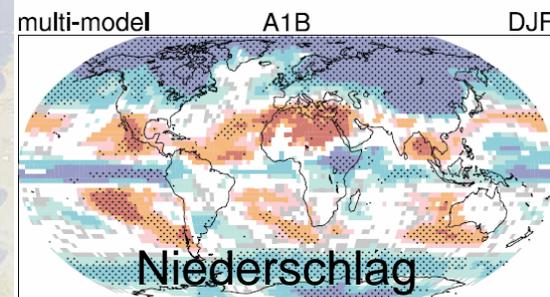
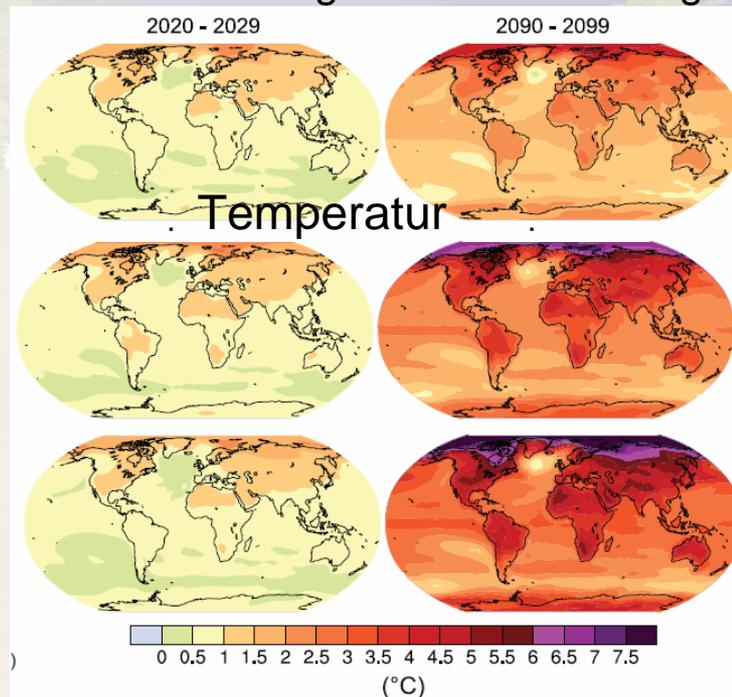
11 Folgen von Treibhauseffekt und Klimawandel

Hintergrund:

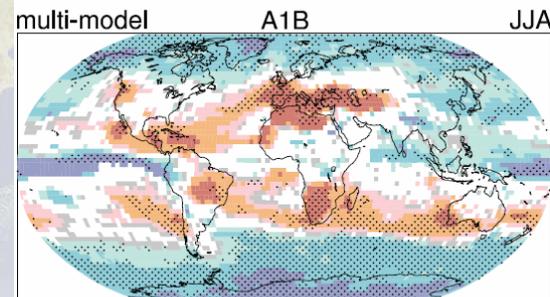
Ungleichmäßige Verteilung

Die Temperatur steigt über dem Land stärker als über dem Meer, am stärksten über der Arktis. Niederschläge werden intensiver, fallen aber ungleichmäßig und führen bei steigender Verdunstung zu Wasserknappheit in vielen Regionen.

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen



NH Winter



NH Sommer

Veränderungen relativ zu 1980 - 1999

11 Folgen von Treibhauseffekt und Klimawandel

Hintergrund:

Rückkopplungen

Begriff der Rückkopplung: im Richtung einer Erderwärmung oder ihr entgegenwirkende Faktoren, die durch den Klimawandel ausgelöst wurden:

Wasserdampfrückkopplung: **positiv**

(warme Luft nimmt mehr Wasserdampf auf, H₂O ist ein Treibhausgas)

Wolkenbildung: wahrscheinlich **negativ**

(der UV-VIS Rückstrahlungseffekt überwiegt gegenüber IR Absorption)

Methanfreisetzung aus Permafrostböden: **positiv**

Niedrigere Albedo der Arktis (Ozean statt Eis): **positiv**

Entwaldung und Wüstenbildung (höhere Albedo): **negativ**

Reduzierte Pufferwirkung der Ozeane: **positiv**

Reduzierte Biomasse Produktion der Pflanzen: **positiv**

Auf einige solcher Rückkopplungen kann bei hinreichend Zeit im Unterricht eingegangen werden.

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

12 Konsequenzen

Unterricht:

Maßnahmen gegen den Klimawandel:

- Politische Maßnahmen
(Klimarahmenkonvention, Kyoto-Protokoll)
- Ökonomische Anwendung:
Emissionhandel
(was sind CO₂-Equivalentente?;
verschiedene Erwärmungspotentiale)
- Persönliche Maßnahmen: Reduktion
von Emissionen in Haus, Verkehr,
Urlaub, Freizeit, Einkauf, Ernährung

Experiment:

In Klassen mit hinreichender
Engischkenntnis:
Klimaspiel der BBC
Die Schüler agieren in der Rolle
einer Regierung, die gleichzeitig die
Wirtschaft in Gang halten müssen,
Klimaschutz betreiben soll und vom
Wählerwillen abhängt.

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

12 Konsequenzen

Hintergrund:

Maßstäbe für die Klimawirkung

Die Klimawirkung bestimmter Emissionen (CO₂, Methan, Ozon, ...) oder Klimafaktoren zu bestimmen ist schwierig. Ihr Beitrag zur Erderwärmung ist nicht proportional der emittierten Menge. Vielmehr haben verschiedene Substanzen verschiedene Erderwärmungspotentiale. Außerdem reagieren verschiedene Luftschichten verschieden empfindlich auf klimawirksame Stoffe. Ozon nahe der Tropopause wirkt stärker als in Bodennähe.

Für kurzfristige oder langfristige politische Ziele können somit verschiedene Gewichtungen hilfreich sein. Wichtige Fragen sind:

- a) Welche Klimawirkung hat eine Substanz?
- b) Wo wird die Substanz emittiert?
- c) Wie lange ist die Lebensdauer in der Atmosphäre?

Maßstäbe (engl. Metrics), sind die Erderwärmungspotentiale, die für verschiedene Zeiträume angegeben werden, sowie CO₂-Equivalenten.

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen

12 Konsequenzen

Hintergrund:

Tabelle der Erderwärmungspotentiale

Die Werte sind von hoher Bedeutung für die Gewichtung von Klimafaktoren und werden im Emissionshandel in hohe Geldwerte umgesetzt.

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAR [†] (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Carbon dioxide	CO ₂	See below ^a	^b 1.4x10 ⁻⁵	1	1	1	1
Methane ^c	CH ₄	12 ^c	3.7x10 ⁻⁴	21	72	25	7.6
Nitrous oxide	N ₂ O	114	3.03x10 ⁻³	310	289	298	153
<i>Substances controlled by the Montreal Protocol</i>							
CFC-11	CCl ₃ F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200

Die Tabelle zeigt Lebensdauern und Erwärmungspotentiale einiger langlebiger klimarelevanter Gase.

Wesentlich schwieriger ist die Festlegung der Gewichtung von kurzlebigen Gasen, Partikeln und Wolken.

- 1 Sonnenenergie
- 2 Ozeane
- 3 Albedo
- 4 Eisschmelze
- 5 Biokreisläufe
- 6 Luftkreisläufe
- 7 Energieträger
- 8 Spurengase
- 9 Wolken
- 10 Treibhauseffekt
- 11 Klimafolgen
- 12 Konsequenzen