



Klimawandel

Stehen wir am Scheideweg ?

Dipl.-Ing. Lars Knabben
Geschäftsführer
Beratender Ingenieur IK BAU NRW
Staatlich anerkannter Sachverständiger für Schall- und
Wärmeschutz (saSV)

März 2007

Frage

16.000.000.000.000 ?

Klimaänderung !

< zurück

Weiter >

Abbrechen

Klima

Das Klima steht als Begriff für die Gesamtheit aller meteorologischen Ursachen, die für den durchschnittlichen Zustand der Erdatmosphäre an einem Ort verantwortlich sind.



Etymologisch:
(altgriechisch
κλίειν, „klinein“
= neigen)

Oder anders ausgedrückt:

Klima ist die Gesamtheit aller an einem Ort möglichen Wetterzustände, einschließlich ihrer typischen Aufeinanderfolge sowie ihrer tages- und jahreszeitlichen Schwankungen.

Wikipedia

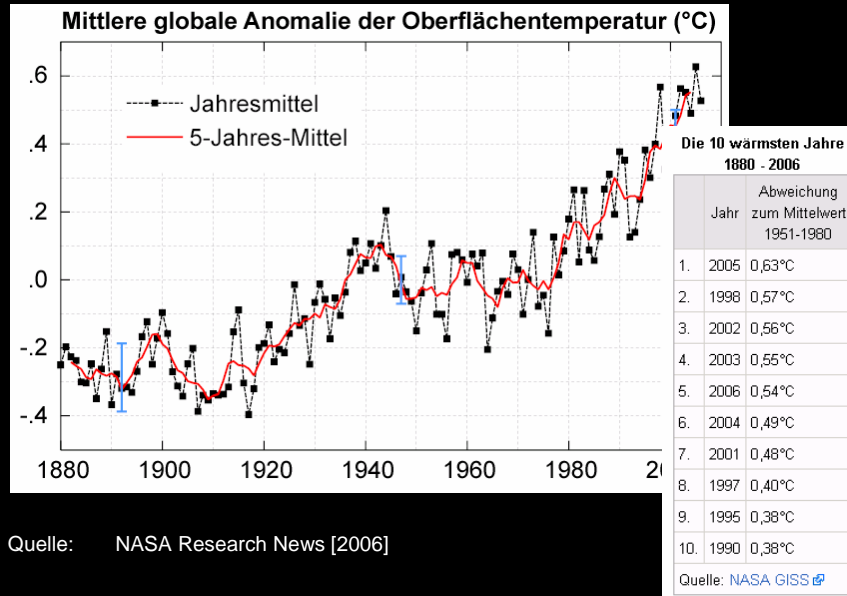
Meteorologische Ursachen:

-Solarstrahlung, Bewölkung, Wind, Regen, Temperatur

Etymologie:

-„neigen“ bezieht sich auf die [Schiefe der Erdekliptik](#). Erst im 20. Jahrhundert hat sich dabei das Begriffsverständnis von der *Wettergesamtheit* ([Fedoroff 1927](#)) hin zur *Synthese des Wetters* ([WMO 1979](#)) entwickelt.

Temperatur *Oberflächentemperatur*



5 / 33

Jahresmitteltemperaturen der letzten 125 Jahre auf der Erdoberfläche relativ zum Mittelwert im Zeitraum 1951–1980, basierend auf Messungen der Boden-Lufttemperatur durch Wetterstationen sowie Messungen der Meeresoberflächentemperatur durch Schiffe und Satelliten.

Klima

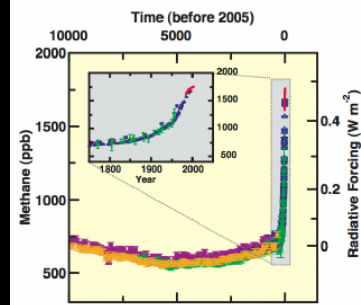
Anthropogene Treibhausgase

		GWP
• Kohlendioxid (CO ₂)	60%	1
• Methan (CH ₄)	20%	23
• Lachgas (N ₂ O)	6%	300
• Andere Treibhausgase	14%	(22.000)
	<u>100%</u>	

Treibhausgase:
Fluch oder
Segen?

→ Behauptung:
Anthropogene Treibhausgase
sind ein Fluch!

Changes in Greenhouse Gases
from ice-Core and Modern Data



Quelle: IPCC, Fourth Assessment
Report [02/2007]

7 / 33

- Verweilzeit der Treibhausgase: mehrere Dekaden!
- Produktion : 32 Gt/a (2006, Tendenz steigend)
- GWP (sog. CO₂-Äquivalent): Global warming potential

Methan: Massentierhaltung und intensive Landwirtschaft (nicht ökologische Landbau!, warum ich dass sage später mehr!)

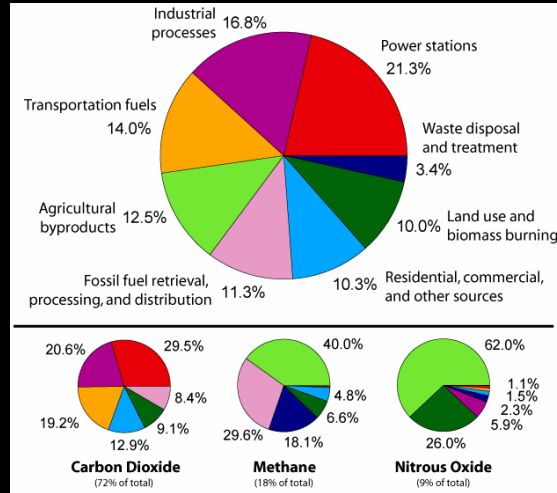
Lachgas: Kraftwerke + Verkehr (durch 3-Wege-Kat verstärkt!)

Andere THG: (teilhalogenierte) FKW (Flurkohlenwasserstoffe), Schwefelhexafluorid (SF₆), Ozon, Rußpartikel und Aerosole

Ursachen:

- Der Kohlendioxid-Gehalt der Luft hat seit 1750 um 35% von 280 ppm auf 379 ppm im Jahr 2005 zugenommen.
- Die Zuwachsrate der letzten 10 Jahre ist die größte seit 50 Jahren.
- Der heutige Wert ist der größte in den letzten 650.000 Jahren.
- 78% der Erhöhung gehen auf die Nutzung fossiler Brennstoffe zurück und 22% auf Landnutzungsänderungen (z.B. Rodungen).
- Andere wichtige Treibhausgase wie z.B. Methan und Lachgas, deren Konzentrationen seit 1750 um 148% bzw. 18 % zugenommen haben, machen zusammen etwa halb soviel aus wie der CO₂-Anstieg.
- Die für Klimaänderungen verantwortlichen Änderungen der Strahlungsbilanz werden vorwiegend durch Kohlendioxid verursacht, in kleinerem Umfang durch andere Treibhausgase. Änderungen der solaren Einstrahlung haben dagegen nur einen geringen Einfluss.

Klima Treibhausgasemissionen nach Sektoren



Quelle: NASA Research News [2006]

(Gewinnung, Verarbeitung, Verteilung)

Klima Wer sind die Verursacher?

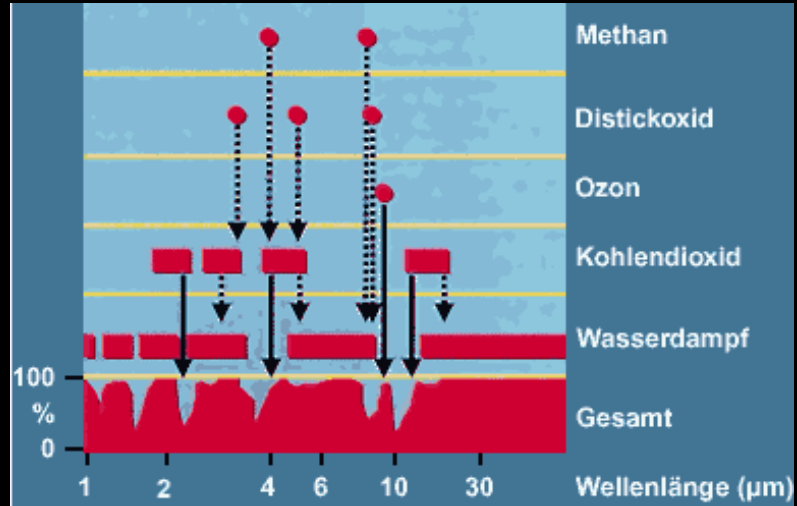
Treibhausgasemissionen der 20 größten Emittenten weltweit			
Staat	CO ₂ -Äquivalente in Mio. t	Anteil an den weltweiten Emissionen	Emissionen in t pro Einwohner
1. USA	7.068	23,8 %	23,55
(Europäische Union)	(4.228)	(14,3 %)	(8)
2. China	4.057	13,7 %	3,1
3. Russische Föderation	2.024	6,8 %	14,2
4. Japan	1.355	4,6 %	10,7
5. Indien	1.214	4,1 %	1,1
6. Deutschland	1.015	3,4 %	12,3
7. Kanada	758	2,6 %	24,1
8. Vereinigtes Königreich	665	2,2 %	11,2
9. Brasilien	658	2,2 %	3,8

10. Italien	582	2,0 %	10,1
11. Frankreich	562	1,9 %	9,4
12. Australien	529	1,8 %	26,9
13. Spanien	427	1,4 %	10,4
14. Ukraine	413	1,4 %	8,5
15. Polen	388	1,3 %	10,0
16. Iran	385	1,3 %	5,9
17. Mexiko	383	1,3 %	3,8
18. Südafrika	380	1,3 %	8,4
19. Indonesien	323	1,1 %	1,5
20. Türkei	293	1,0 %	4,2
Total	23.479	79,2 %	.

Quelle: Wikipedia

Funktion *Treibhauseffekt*

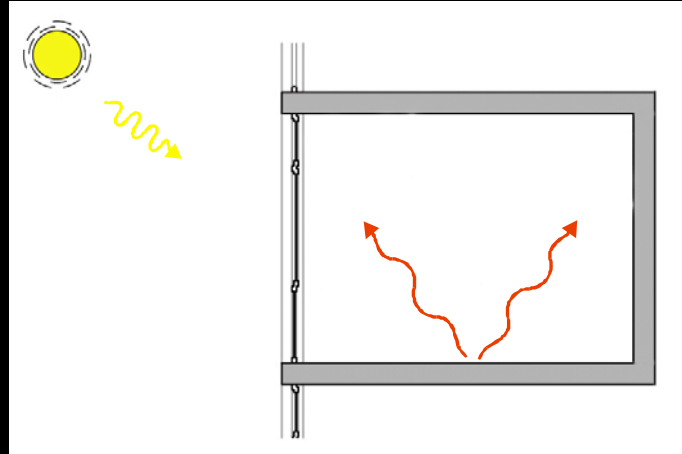
Wie funktionieren die Treibhausgase?



Quelle: Wikipedia

Funktion *Treibhauseffekt*

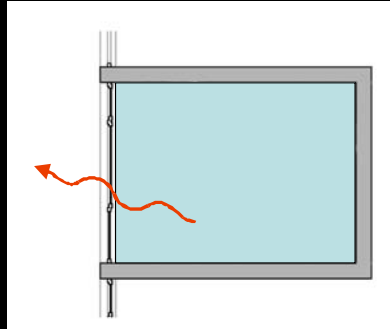
Vergleich



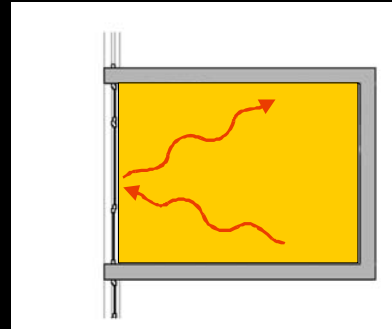
Funktion *Treibhauseffekt*

Vergleich

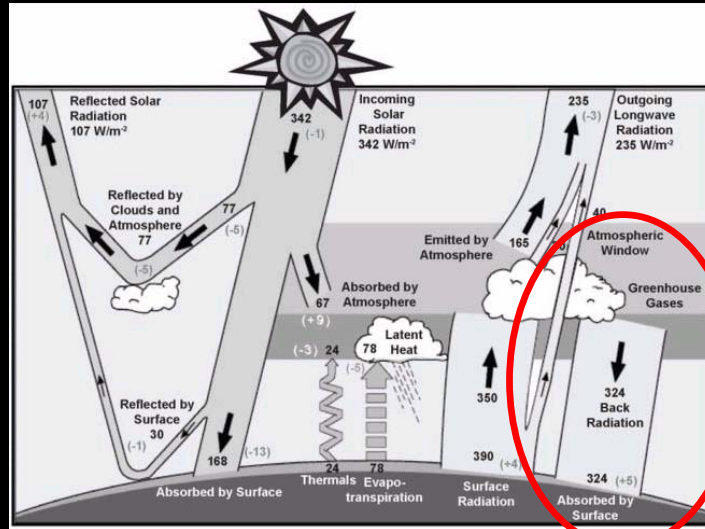
Isolierglas



Wärmeschutzglas



Klima *Treibhauseffekt*



Quelle: NASA Research News [2006]

Links: Direkte Strahlung, Reflexionsgrad, Absorptionsgrad
 Rechts: Kirchhoff, Strahlungsaustausch, diffuse Strahlung,
 Absorptionsbänder etc.

Klima

Was ist das
IPCC ?

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderung

Allgemeine Daten:

- „Herren des Weltklimas“ [Spiegel]
- Gegründet durch UNEP / WMO 1988 in Genf
- Vorsitz seit 2002:
Rajendra Kumar Pachauri (Indien)



Aufgaben:

- Bewertung des vom Menschen verursachten Klimawandels
- Zusammentragung wissenschaftlicher technischer und sozioökonomische Informationen (ergebnisoffen & objektiv)
- Abschätzung von Risiken der Klimaveränderung

Klima

Was ist das IPCC ?

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderung

Frühere Ergebnisse:

- 1990 „natürlicher Treibhauseffekt“
- 1995 anthropogene Verstärkung
- 2001 überwiegender anthropogener Treibhauseffekt (Unterstützt durch erste computersimulierte Klimamodelle)

Bericht 2007 (Zusammenfassung 02/2007)

- Über 100 Modellrechnungen
- 450 Hauptautoren
- Beiträge von 2500 Experten / Prüfung über Peer-Review-Verf. (Prüfung von Fachartikeln durch unabhängige Gutachter)

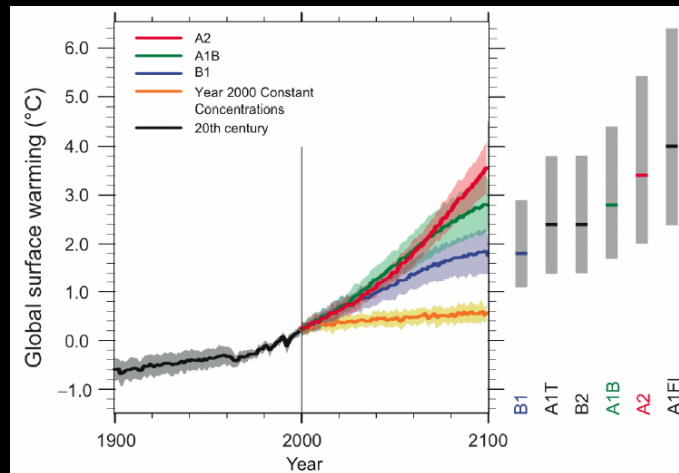
→ Eine Erhöhung der Oberflächentemperatur ist Fakt!

- Umweltprogramm der Vereinten Nationen (Unep)
- World Meteorological Organization (WMO)

Spätestens seit Mitte 2005 sind auch die letzten Ernst zu nehmenden Kritiker verstummt, denn:

- Bisher stimmten die Ergebnisse der Temperaturmessung am Boden mit denen der Wetterballons und der Satellitenmessung nicht überein. Die Auswertung führte zu einem deutlich niedrigeren Anstieg der Oberflächentemperatur, trotz hoher Messgenauigkeit!
- Dann wurde jedoch ein Fehler im Satellitensystem und im Wetterballonsystem entdeckt, der die asymmetrische Umlaufbahn der Satelliten und der Wetterballons nicht richtig berücksichtigte. Seitdem stimmen die Ergebnisse mit denen der Bodenmessungen überein!

Ergebnisse 2007:



16 / 33

Quelle: IPCC, Fourth Assessment Report [02/2007]

Bis 2000 (schwarz)

Unterschiedliche Modelle:

ROT (A2) - Wirtschaftsorientiert/ökonomisch ausgerichtet (Regionalisierte Wirtschaftsentwicklung, weiterhin heterogene Welt) [2-5,4°C bis 2100]

GRÜN (A1B) - Wirtschaftsorientiert/ökonomisch ausgerichtet (hohes Wirtschaftswachstum, Globalisierung, homogene Welt) [1,4-6,4°C bis 2100]

BLAU(B1) - Umweltorientiert/ökologisch ausgerichtet (Globale Nachhaltigkeit, homogene Welt) [1,1-2,9°C bis 2100]

SCHWARZ (B2) - Umweltorientiert/ökologisch ausgerichtet (Regionale Nachhaltigkeit, Globalisierung, weiterhin heterogene Welt) [1,4-3,8 bis 2100]

Antwort

16.000.000.000.000 \$

Kosten für eine „Vollbremsung“ des Klimawandels!

200.000.000.000.000 \$

Kosten für Folgeschäden des Klimawandels bis 2050!

Quelle: Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung

17 / 33

Vergleich

BNE (Bruttonationaleinkommen = ehem. Bruttosozialprodukt)

USA = 13 Bill. \$ = EU

GER = 2,8 Bill. \$

Es bestehen größere Unsicherheiten bei der Abschätzung der Folgekosten eines ungebremsten Klimawandels. Das [Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung](#) schätzt dennoch, dass ein effektiver [Klimaschutz](#) zu Kosten von ca. 1 % des Welt-[Bruttosozialprodukts](#) bis zum Jahr 2050 etwa 200 Billionen US-Dollar an Folgeschäden vermeidbar werden ließe

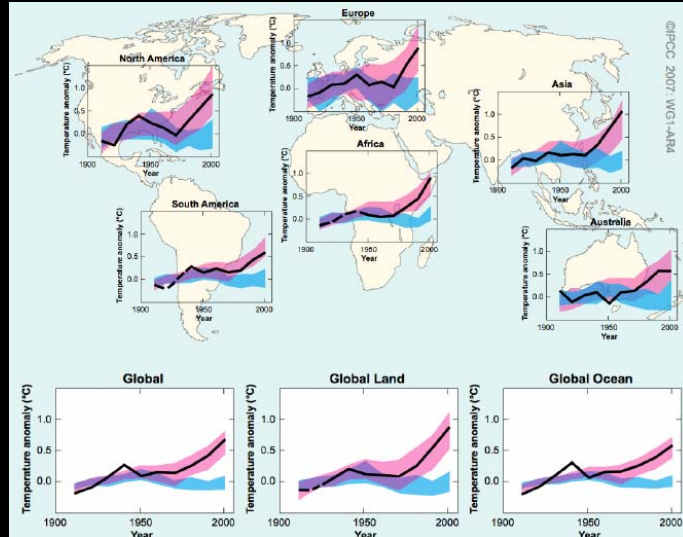
Das heißt aber nicht, dass es keine Klimaänderung gibt, auch bei einer Vollbremsung!

→ Vollbremsung = $T > 0,6^{\circ}\text{C}$

→ Steigung des Meeresspiegels

Klima *Änderung der globalen Temperatur*

*Können auch
rein natürliche
Einflüsse für die
Erwärmung
verantwortlich
sein ?*



Quelle: IPCC, Fourth Assessment Report [02/2007]

18 / 33

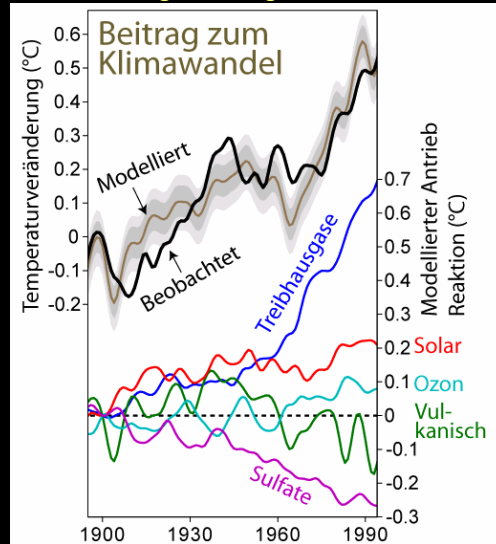
Die schwarzen Linien zeigen die Entwicklung der mittleren Oberflächentemperaturen. Dann fügten sie die Ergebnissräume hinzu, die unterschiedliche Computersimulationen zur Klimaentwicklung der letzten 100 Jahre ergeben haben (Blau bei rein natürlichen Prozessen, rot für eine Kombination aus natürlichen und vom Menschen verursachten Einflüssen)

Wahrscheinlichkeit liegt bei über 90%, dass der Klimawandel anthropogene Ursachen hat!

Klima

Verifizierung der Ergebnisse

Können auch rein natürliche Einflüsse für die Erwärmung verantwortlich sein?



Quelle: NASA Research News [2006]

Die hauptsächliche Ursache der Erderwärmung sind mit einer angegebenen Wahrscheinlichkeit von über 90 % „sehr wahrscheinlich“ die menschlichen Emissionen von Treibhausgasen

Klima Folgen

Hitzewelle in Deutschland [2003]



20 / 33

Quelle: DDP

Heißes Deutschland: Die Hitzewelle im Sommer 2003 kostete in Europa Tausende Menschen das Leben. Die Pegelstände der Flüsse gingen stark zurück - wie hier der des Rheins bei Bingen. Die Hitzekatastrophe war das erste einzelne Wetterphänomen, das Forscher in direkten Zusammenhang mit dem Klimawandel gesetzt haben

Die Erwärmung des Klimasystems ist ohne jeden Zweifel vorhanden. Die globale Oberflächentemperatur ist um $+0,74^{\circ}\text{C}$ gestiegen, und 11 der letzten 12 Jahre waren die wärmsten seit Beginn der Aufzeichnungen.

Rekonstruierte Daten aus Beobachtungen und anderen Quellen, wie z.B. Baumringdaten, deuten darauf hin, dass die Temperaturen der letzten 50 Jahre sehr wahrscheinlich höher waren als jemals zuvor in den vergangenen 500 Jahren und wahrscheinlich höher als in den vergangenen 1300 Jahren.

Klima Folgen

Schmelzendes arktisches Eis



21 / 33

Quelle: DPA

- Arktisches Meereis: In den hohen nördlichen Breiten sind die Folgen des Klimawandels schon heute am deutlichsten zu beobachten
- Die Temperaturzunahme der letzten 50 Jahre ist doppelt so hoch wie die der letzten 100 Jahre, und die Arktis hat sich doppelt so stark erwärmt wie im globalen Mittel.
- Das Meereis verzeichnet in der Arktis seit 1978 einen Rückgang im Jahresmittel um 8% und im Sommer um 22%. In der Antarktis ist kein Rückgang zu sehen, im Gegenteil, hier erhöht sich die Eismenge (unterproportional zur Arktis) sogar, was noch nicht erklärbar ist.
- Die Eisschilde auf Grönland und der Antarktis verlieren gegenwärtig Masse durch Schmelzen und Gletscherabbrüche und tragen 0.4 mm pro Jahr zum Meeresspiegelanstieg bei.
- Die Temperaturen in den oberen Schichten des Permafrostbodens haben sich seit 1980 um 3°C erwärmt, und die Ausdehnung des saisonal gefrorenen Bodens hat seit 1900 um 7% abgenommen, im Frühling sogar um 15%.

Klima Folgen

Land unter auf den deutschen Halligen [2006]



22 / 33

Quelle: DPA

Land unter auf den deutschen Halligen während der Herbststürme des Jahres 2006: So könnte die Zukunft der großen Urlaubsinseln an Nord- und Ostsee aussehen.

- Häufigkeit heftiger Niederschläge und Stürme hat zugenommen

Klima Folgen

New Orleans nach Hurrikan "Katrina" [2005]



23 / 33

Quelle: DPA

New Orleans nach Hurrikan "Katrina" (2005): Klimaforscher haben berechnet, dass die globale Erwärmung zu stärkeren Wirbelstürmen führen wird.

Klima Folgen

Überschwemmung in Aceh, Sumatra, Indonesien [2006]



24 / 33

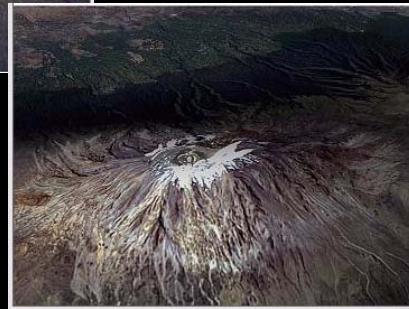
Quelle: Reuters

Die Ozeane sind im globalen Mittel wärmer geworden, bis zu Tiefen von 3000 m. Diese Erwärmung hat zum Anstieg des Meeresspiegels beigetragen.

Der Meeresspiegel ist seit 1993 durchschnittlich um etwa 3 mm pro Jahr gestiegen, im 20. Jahrhundert um 17 cm. Davon ist etwas mehr als die Hälfte verursacht durch thermische Ausdehnung des wärmeren Ozeans, etwa 25% durch Abschmelzen der Gebirgsgletscher, und etwa 15% durch das Abschmelzen von der Eisschilde.

Klima Folgen

Gipfel des Kilimandscharo



25 / 33

Quelle: AP

- Gipfel des Kilimandscharo: Überall auf der Welt, sowohl in Afrika als auch in den Alpen oder in Grönland, lassen die steigenden Temperaturen die Gletscher schmelzen. Experten befürchten Überschwemmungen und einen katastrophalen Mangel an Trinkwasser in Regionen wie etwa dem Himalaya
- Die schneebedeckte Fläche hat seit 1980 um etwa 5% abgenommen.
- Weltweit schrumpfen die Gletscher und tragen gegenwärtig mit 0.8 mm pro Jahr zum Meeresspiegelanstieg bei.

Klima *Folgen*

Smog über Bangkok



26 / 33

Quelle: Reuters

Smog über Bangkok: Die Menschheit stößt zu viele Treibhausgase aus. Kohlendioxid ist nicht das einzige darunter, auch Methan und Lachgas treiben den Klimawandel an.

Klima Folgen

Dürre in Alcona, Spanien



27 / 33

Quelle: AP

Dürre: Ein Mann läuft in Alcona (Ostspanien) mit seinem Hund über ein ausgetrocknetes Flussbett. Mit der Veröffentlichung des Uno-Klimaberichts rücken die Auswirkungen des Klimawandels ins Blickfeld: Überschwemmungen, Gletscherschmelze, stärkere Stürme, lange Trockenperioden

Klima Folgen

Dürre in Australien



28 / 33

Quelle: Reuters

Dürre in Australien: Auf dem trockensten Kontinent der Welt ist Wasser ein rares Gut. Fast die Hälfte des Landes leidet derzeit unter der schlimmsten Dürre seit 100 Jahren, es regnet kaum und Nutzpflanzen wachsen schlecht.

Projektionen

Ausblick

- Klimaprojektionen der nächsten 100 Jahre lassen sich überzeugend durch Klimamodelle simulieren
- Globale Erwärmung (abh. vom Szenario): 1,8 – 4,0°C [Bandbreite 1,1 - 6,4°C], höchste Erwärmung in nördl. Breiten
- Temperaturanstieg von 0,6°C, Selbst bei einem sofortigen Ende aller Emissionen
- Anstieg des Meeresspiegel bis 2100 um ca. 0,20 – 0,60m
- Dauerhafte Erwärmung um 3°C führt zu einem vollständigen Abschmelzen des grönländischen und antarktischen Eisschildes → Meeresspiegelanstieg um 7m !
- Meridionale Umwälzbewegung des Globalen Förderband (thermohaline Zirkulation/"Golfstrom") wird um 25% abnehmen, das bedeutet aber keine Eiszeit (das ist „Hollywood“)
- Mehr Niederschlag in höheren Breiten, weniger in (Sub-)Tropen (einschließlich der Mittelmeerregion)

29 / 33

Projektionen

- Klimaprojektionen für die nächsten 100 Jahre lassen sich überzeugend durch Klimamodelle simulieren, die mit Energienutzungsszenarien angetrieben werden. Solche Modelle sagen – je nach Energienutzung – eine weitere Temperaturerhöhung und einen Meeresspiegelanstieg bis zum Ende des 21. Jahrhunderts voraus.
- Für die letzte Dekade des 21. Jahrhunderts ist der wahrscheinlichste Wert der globalen Erwärmung für das niedrigste Szenario 1.8°C (1.1–2.9°C), und für das höchste Szenario 4.0°C (2.4–6.4°C). Die größte Erwärmung findet dabei in hohen nördlichen Breiten statt.
- Für die nächsten 2-3 Jahrzehnte hängt die projizierte Erwärmung nur wenig von den Annahmen über zukünftige Emissionen ab, und selbst bei einem sofortigen Ende aller Emissionen würde durch die Trägheit des Klimasystems ein weiterer Temperaturanstieg bis zu ca. 0.6°C erfolgen.
- Für den Anstieg des Meeresspiegels sind die Projektionen für 2090-2100: 18–38 cm für das niedrigste und 26–59 cm für das höchste Szenario.
- Auch nach vollständigem Ende der Emissionen wird der Meeresspiegel über viele Jahrhunderte ansteigen, bedingt durch weitere Erwärmung des tiefen Ozeans. Allerdings gibt es eine erhebliche Unsicherheit hinsichtlich der weiteren Entwicklung des grönländischen und des antarktischen Eisschildes, hier kann ein höherer Beitrag zum zukünftigen Anstieg nicht ausgeschlossen werden. Modellergebnisse lassen den Schluss zu, dass eine dauerhafte Erwärmung deutlich über 3°C über Jahrtausende zu einem vollständigen Abschmelzen des grönländischen Inlandeises führen würde, entsprechend einem Meeresspiegelanstieg um 7m.
- Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Meridionale Umwälzbewegung im Atlantik um durchschnittlich 25% im 21. Jahrhundert abnehmen wird. Die Temperaturen in der Atlantischen Region werden dennoch zunehmen, da der Einfluss der globalen Erwärmung überwiegt. Es ist allerdings sehr unwahrscheinlich dass es zu einem abrupten Zusammenbruch im 21. Jahrhundert kommt [„Golfstrom“, Bezeichnung nicht ganz korrekt!]
- Der Niederschlag wird in höheren Breiten sehr wahrscheinlich zunehmen, während es in den Tropen und Subtropen (einschließlich der Mittelmeerregion) wahrscheinlich zu einer Verminderung des Niederschlags kommen wird.

Lösungen

Laut IPCC (kurzfristige „günstige Lösungen“):

- Verstärkte Verwendung von Biokraftstoffen
- Anbau von Trockenreissorten
- Hybridfahrzeuge
- Neue Atomkraftwerke (Günstig? / Rückschritt?)
- CO₂-Abscheidung (Sequestrierung) bei konventionellen Kraftwerken
- Hausmodernisierung und besseres Gebäudemanagement

Ergänzungen:

- Ausbau der regenerativen Energien (Wind, Sonne, Geothermie, Biomasse, Wasser)
- Forcierung des „Ökologischen Landbaus“
- Reduzierung der Nahrungsmittelveredelung
(40% der weltweit erzeugten Getreideproduktion geht in die Veredelung, 60% der Olsaaten und 30% des Fischfangs)
- Förderung (Entwicklung) sehr emissionsarmer Verkehrsmittel
- Sofortiger Stopp von Brandrodungen / des Tropenholzeinschlages

30 / 33

Emissionshandel (Wirksames Mittel ?)

Das Coase-Theorem [[kouz-](#)] (nach [Ronald Coase](#)) ist ein [Theorem](#) der [Volkswirtschaftslehre](#). Es geht davon aus, dass Teilnehmer eines [Marktes](#) Probleme, die durch [externe Effekte](#) entstehen, selber lösen können, wenn sie nur über die [Allokation](#)/Zuordnung von [Ressourcen](#) verhandeln und diese ohne [Kosten](#) tauschen können.

- Strikte Maßnahmen, wie sie die Einhaltung der Zwei-Grad-Schwelle erfordert, würden nach aktuellen Projektionen dann umgesetzt, wenn sich der Preis für eine ausgestoßene Tonne CO₂ bis 2030 auf 30 bis 120 Dollar verteuern würde.
- Damit verschlinge der Kampf gegen den Treibhauseffekt dann ein bis fünf Prozent des Bruttosozialproduktes.
- Die ökonomischen Verluste durch den Klimawandel taxieren sie höher.
- Mit der Zeit könnten die Schadensummen von Jahr zu Jahr um zwei bis vier Prozent steigen.

Lösungen

Geo-Engineering:

- Direkter Eingriff in die Atmosphärenchemie (Schwefeldioxid, Staub)
- Sonnenschirm für die Erde (100.000 km langer Schweif aus 16 Billionen kleiner Spiegel)

Zitat

Ein komplexes Problem hat immer eine
einfache Lösung, und die ist falsch.

Umberto Eco



Klimawandel –
stehen wir
am Scheideweg ?

März 2007
Essen

Vielen **D**ank

Dipl.-Ing. Lars Knabben

Geschäftsführer

Beratender Ingenieur IK BAU NRW

*Staatlich anerkannter Sachverständiger für Schall- und
Wärmeschutz (saSV)*

e² - Energieberatung GmbH

Bredeneyer Str. 2 B

45133 Essen