

44. Jahrestagung der *unesco-projekt-schulen*

Werte - Handeln – Zukunft

20. bis 24. September 2009 in Lutherstadt Wittenberg

Workshop

Am Ende des fossilen Zeitalters: Alternativen

Karl Otto Henseling/Wolfgang Schwarz

Veranschaulichungen

Um aus wissenschaftlich gewonnenem Wissen heraus handeln zu können, brauchen wir Bilder, die uns bewegen. Für das Problem des Klimawandels vermitteln nur sie anschaulich für alle den Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung:

- Die Mengen von Kohle, Öl oder Gas, mit denen die Maschinerie moderner Industriegesellschaften in Gang gehalten wird, bleiben dem Auge überwiegend verborgen; wer wohnt schon neben einem Kraftwerk?!
- Auch das dadurch erzeugte und in die Atmosphäre entlassene Kohlendioxid ist nicht direkt wahrnehmbar, weder zu sehen, noch zu schmecken oder zu riechen.
- Die Folgen der Freisetzung von Treibhausgasen sind primär als abstrakte physikalische Größe bestimmbar, als Veränderung des globalen Strahlungshaushalts, und erst als statistische Größe deutlich spürbar, als Änderung der mittleren Erdtemperatur.

Um Ursachen, Wirkungen und Folgen des Klimawandels in Bilder zu übersetzen, die uns handlungsfähig machen, hier einige Anregungen:

1. Verbrauch fossiler Energieträger	2
1.1 Kohle für die Strom-/Wärmeerzeugung.....	2
1.2 Kraftstoff für PKW	2
2. Kohlendioxidemissionen	3
2.1 Kohlendioxid als Müll	3
2.2 Kohlendioxidemissionen: Größenordnung	4
2.3 Zum Zusammenhang von sehr kleinen und sehr großen Dimensionen	5
2.4 Zum Verpressen von Kohlendioxid in die Erde (CCS)	6
3. Veranschaulichung der Folgen von Treibhausgas-Emissionen.....	7
3.1 Fieber	8
3.2 Die Dämme brechen!	9

1. Verbrauch fossiler Energieträger

1.1 Kohle für die Strom-/Wärmeerzeugung

Um den jährlichen Stromverbrauch eines durchschnittlichen Vierpersonenhaushalts von 4.500 kWh zu decken, müssen in einem Kohlekraftwerk ca. 1,5 t Kohle verbrannt werden. Früher wurde ein großer Teil des häuslichen Energiebedarfs durch Verbrennen von Kohle im eigenen Haushalt gedeckt, in der Zentralheizung oder den Öfen, im Kohleherd, im Badeofen und unter dem Wasserkessel. Die Kohle wurde im Keller gelagert. Fände die Stromerzeugung im Haus statt, müsste eine deutsche Durchschnittsfamilie für ihren jährlichen Stromverbrauch demnach 1,5 Tonnen = 30 Zentner, Kohle in den Keller schleppen (lassen).



Abbildung: Kohle

Quelle:

http://img.alibaba.com/photo/50336094/Coking_Coal.jpg

1.2 Kraftstoff für PKW

Auch beim zweiten privaten Großverbraucher fossiler Energie, dem Auto, bleibt die Menge getankten Kraftstoffs dem direkten Augenschein entzogen. Benötigt es durchschnittlich 7,9 l/100 km und fährt jährlich 15.000 km, kommen mehr als tausend Liter Kraftstoff zusammen, die dem Autofahrer nur als abstrakte Zahlen an der Zapfsäule und auf der Rechnung erscheinen.



Abbildung: Kraftstoffverbrauch für einen Urlaub: Bei einer Reise über 4.000 Kilometer – z.B. von Berlin einmal ans Mittelmeer und zurück - werden mit einem Mittelklassewagen ca. 300 Liter Benzin benötigt (Durchschnittsverbrauch 7,5 Liter pro 100 Kilometer). Würde Kraftstoff auf die gleiche Weise wie etwa Getränke gehandelt, müssten für diese Strecke 25 Kästen mit je zwölf Literflaschen Benzin beschafft werden.

Quelle: Eigene Aufnahme 2005

2. Kohlendioxidemissionen

Leider ist der verhängnisvolle Schritt - die Verbrennung mit der wundersam erscheinenden Vermehrung des Brennstoffs in eine vielfache Menge an Kohlendioxid - der direkten sinnlichen Wahrnehmung völlig entzogen. Wir nehmen nur wahr, dass der Brennstoff, sei es Kohle oder Benzin einfach verschwindet. Uns scheint, als bliebe im Falle der Kohle allenfalls ein Häufchen Asche übrig. Tatsächlich passiert aber: Ein (Gewichts-)Teil Kohlenstoff entzieht beim Verbrennen der Luft 2,7 (Gewichts-)Teile Sauerstoff. Dabei entstehen 3,7 (Gewichts-)Teile Kohlendioxid. Aus den 1,5 Tonnen Kohle für den Strombedarf eines Vierpersonenhaushalts entstehen ca. 5,5 Tonnen Kohlendioxid. Aus dem Auspuff eines einzigen Autos mit durchschnittlicher Fahrleistung und mittlerem Verbrauch entweichen jährlich fast 3 Tonnen Kohlendioxid. Also mehr als das Doppelte der Masse eines solchen Kraftfahrzeugs wird von diesem jährlich in die Luft geblasen.

Insgesamt werden in Deutschland pro Person 10 Tonnen Kohlendioxid im Jahr emittiert. Könnten wir diese ungeheure Menge sehen, etwa als Abfallhaufen vor unserer Haustür, wären wir längst darüber erschrocken, was wir anrichten.

2.1 Kohlendioxid als Müll

Jeder Deutsche lässt sich über graue, grüne, braune und gelbe Container jährlich von etwa einer halben Tonne Abfall (u.a. Hausmüll) „entsorgen“. Angenommen, die von uns pro Jahr direkt und indirekt produzierten zehn Tonnen Kohlendioxid hätten eine ähnliche Beschaffenheit (fest oder flüssig mit einer ähnlichen Dichte) und wir würden das Kohlendioxid über einen weiteren Container „entsorgen“ – vielleicht einen schwarzen -, so wäre dieser zwanzig Mal so groß wie die anderen drei zusammen.



Abbildung: Der gefährlichste Abfall/Müll ist der, den wir nicht sehen.

Quelle: Greenpeace Nachrichten 3/07, S.3, Agentur Jung von Matt, Hamburg

Würden dem Auspuff eines durchschnittlichen PKW die ca. 175 g CO₂ pro Kilometer nicht unsichtbar und geruchlos, sondern in Form von leeren Joghurtbechern (a 5 g für 150 g Inhalt ohne Deckel) entströmen, dann würde etwa alle 30 m ein solches Plastikmüllteil ausgestoßen. Auf einer mit 30.000 Fahrzeugen pro Tag dicht befahrenen Straße würde sich täglich pro Kilometer ein Berg aus fast einer Million solcher Becher mit einer Masse von über 5 Tonnen auftürmen.

2.2 Kohlendioxidemissionen: Größenordnung

Angenommen, das von den Kraftwerken emittierte Kohlendioxid würde mit Kesselwagen zu einem wie auch immer gearteten Endlager transportiert. Eines der größten deutschen Braunkohlekraftwerke, Jänschwalde, stände dann vor folgender Aufgabe: Die Kohlendioxidemissionen von ca. 25 Millionen Tonnen pro Jahr müssten verflüssigt (verdichtet) und in ca. 420.000 Kesselwagen von je 15 m Länge und 60 Tonnen Fassungsvermögen gefüllt werden. Das ergäbe einen Zug von insgesamt 6.300 km Länge. Ein solcher Zug würde von Marokko bis zur nördlichen Spitze Norwegens reichen. Täglich müsste ein Zug mit 1.150 Waggons von ca. 17 km Länge abgefertigt werden. Für das Entladen eines dieser 1.150 Kesselwagen ständen, sollte es an ein- und derselben Stelle erfolgen, kapp 1,5 Minuten zur Verfügung – Tag und Nacht über das ganze Jahr.

Der Versuch, die Größenordnung der Kohlendioxidemissionen durch Stromerzeugung zu veranschaulichen, wurde - wohlgermerkt - am Beispiel e i n e s der größten deutschen Braunkohlekraftwerke gemacht. Die gesamten Kohlendioxidemissionen von rund 330 Millionen Tonnen pro Jahr durch Stromerzeugung in Deutschland übersteigt unser Vorstellungsvermögen. Für die Strecke von Marokko bis Nordnorwegen haben wir vielleicht noch ein Bild parat. Doch: Ein Kesselwagenzug mit den jährlichen Kohlendioxidemissionen aller deutschen Kraftwerke würde mit rund 83.000 Kilometern das Doppelte des Erdumfangs messen. Die weltweit von Menschen jährlich emittierte Menge an Kohlendioxid von 40 Milliarden Tonnen (40 Gigatonnen, Gt) ergäbe einen Kesselzug von 10 Millionen Kilometern, der 13-mal zum Mond und zurück reichen würde. Der Entfernung der Erde zur Sonne (ca. 150 Millionen Kilometer) entspräche ein Kesselwagenzug mit den globalen Kohlendioxidemissionen von 15 Jahren.

<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3195.pdf>



Abbildung: Kesselwagenzug

Quelle: <http://www.bahnportrait.de/heinrich/WLB/wlb.html> (182 520, Marchtrenk, 12.02.2008)

2.3 Zum Zusammenhang von sehr kleinen und sehr großen Dimensionen

Der durch die Industriegesellschaft mit ihrem Credo von „ständigem Wachstum“ eingeleitete Klimawandel, von dem man im Prinzip seit über 100 Jahren weiß, wurde u.a. durch die lange verbreitete Mär vom «unendlichen Luftmeer» nicht ernst genommen oder/und verdrängt. Der Chemiker Clemens Winkler formulierte im ausgehenden 19. Jahrhundert: *«Die Massen verbrauchter Steinkohle verschwinden spurlos in dem gewaltigen Luftmeer.»*

Wie kann man sich die Relation von *gewaltigen* Emissionsmengen und *gewaltigem* Luftmeer vorstellen?

Von uns nicht unmittelbar wahrzunehmende kleine Konzentrationsänderungen des Kohlendioxids (und anderer Treibhausgase) in der Atmosphäre mit fataler Wirkung werden durch unvorstellbar große Emissionsmengen verursacht. Kohlendioxid ist in der Luft derzeit als Spurengas in einer Konzentration von 0,39 Promille oder 390 ppm (parts per million) enthalten. In vorindustrieller Zeit waren es nur 280 ppm. Derzeit steigt die Kohlendioxidkonzentration jährlich um knapp 2 ppm, bedingt durch den Anstieg der globalen Kohlendioxidemissionen auf derzeit ca. 40 Gigatonnen (Gt) = 40 000 000 000 Tonnen pro Jahr.

Folgende Überlegung soll uns ein Bild dieser Verhältnisse verschaffen: Die Erde hat eine sehr große Oberfläche. Die darüber befindliche Luftschicht ist aber relativ dünn, so dass bereits ab ca. 4000 m z.B. das Atmen deutlich schwieriger wird. Ein Modell der Erde mit einem Meter Durchmesser hätte eine Atmosphäre mit gerade einmal einem Millimeter Dicke. Diese verletzliche Schicht ist in Gefahr. Um einen Eindruck davon zu vermitteln, welche großen Luftmengen bereits durch relativ unbedeutend erscheinende Aktivitäten in ihrer Kohlendioxidkonzentration kritisch beeinflusst werden, sei die größte freitragende Halle der Welt als Bezug gewählt: die ehemalige Cargolifter-Halle in Brandenburg, die seit Ende 2004 das Urlaubsparadies Tropical Islands beherbergt.



Quelle: http://p3.focus.de/img/gen/H/S/HBHSA6PaWjK_Pxgen_r_380xA.jpg

Diese gewaltige Halle von 107 Metern Höhe, 210 m Breite und 360 Metern Länge fasst ein Luftvolumen von etwa 5 Millionen Kubikmetern. Darin sind etwa 3 600 Kilogramm Kohlendioxid enthalten.

Die Luft in der Halle enthält 390 ppmv (parts per million volume) oder 0,39 ‰ CO₂. Ein Anteil von 0,39 ‰ entspricht bei 5 Mio. m³ einem Volumen von 1950 m³. Die Dichte von CO₂ beträgt unter Normalbedingungen 1,9768 mg/ml, bei einer Temperatur von 20 °C beträgt sie 1,842 mg/ml. Die 1950 m³ CO₂ in der Halle entsprechen bei 20 °C einer Masse von 1950*1,842=3591,9 Kilogramm.

Einer jährlichen Erhöhung um knapp 2 ppm entspricht für das Volumen der Halle eine Kohlendioxidmenge von ca. 180 Kilogramm. Welche beispielhaften Aktivitäten emittieren 180 Kilogramm Kohlendioxid?

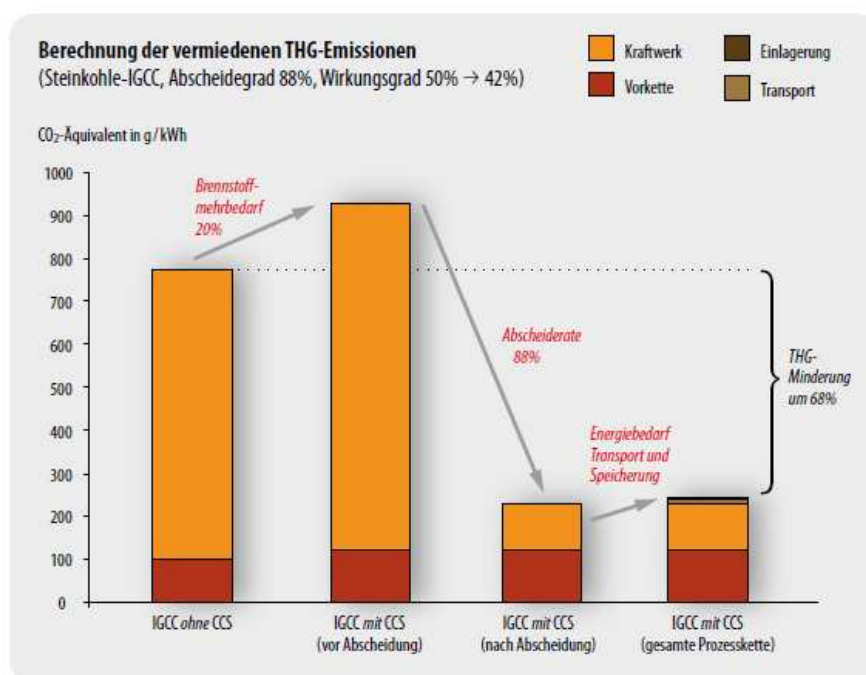
- die Fahrt eines Mittelklassewagens von ca. 1000 Kilometern.
- 250 Kilowattstunden Strom in einem Steinkohlekraftwerk zu erzeugen. Das ist etwa der jährliche Stromverbrauch eines alten Kühlschranks.

Mit den gesamten in Deutschland jährlich verursachten Kohlendioxidemissionen von ca. 850 Millionen Tonnen könnte man den Kohlendioxidgehalt in ca. 4,7 Milliarden Cargolifterhallen um ca. 2 ppm erhöhen. Aber das kann man sich wieder gar nicht vorstellen.

2.4 Zum Verpressen von Kohlendioxid in die Erde (CCS)

Die Kraftwerksindustrie plant, das Kohlendioxid abzuscheiden, per Pipeline zu transportieren und in tiefe poröse Erdschichten einzupressen (CCS = Carbondioxide Capture and Storage).

Abbildung 14:
Treibhausgasminderung und verbleibende Emissionen bei der CO₂-Abtrennung und Speicherung in CO₂-Äquivalenten (nach Wuppertal Institut et al. 2007)



Quelle: Wuppertal Spezial 35: Geologische CO₂-Speicherung als klimapolitische Handlungsoption

Zusätzlicher Aufwand, Unvollständigkeit der Abscheidung, Mehrverbrauch an Kohle und Emissionen durch die Kohlegewinnung und –aufbereitung etc. (Vorkette) führen dazu, dass bei einem Steinkohlekraftwerk – gerechnet in Kohlendioxid-Äquivalenten ($\text{CO}_2\text{-eq}$) - nur eine Minderung um etwa zwei Drittel erreicht werden kann – von ca. 800 g $\text{CO}_2\text{-eq}/\text{kWh}$ auf ca. 250 g $\text{CO}_2\text{-eq}/\text{kWh}$. Zu diesen hohen Restemissionen tragen die Methanemissionen bei der Steinkohleförderung wesentlich bei, da Methan ein höheres Treibhauspotential hat (gemessen in $\text{CO}_2\text{-eq}$). Bei der Produktion einer Kilowattstunde „ CO_2 -freien“ Kohlestroms aus Steinkohle werden ebensoviel CO_2 -Emissionen verursacht wie von einem schweren Geländewagen pro Kilometer. Bei der Stromerzeugung aus Braunkohle, bei deren Förderung kein Methan auftritt, dafür aber andere Umweltbelastungen, sind es nur etwa 100 g CO_2/kWh . Global betrachtet, überwiegt die Stromerzeugung aus Steinkohle.

Früher stand CCS für *Carbondioxide Capture and "Sequestration"* (statt "*Storage*"). Sequestration ist u.a. ein juristischer Begriff und steht für "Überlassung eines strittigen Gegenstandes an einen (unbeteiligten) Dritten". Ob das Verpressen solcher Mengen Kohlendioxid in tiefere Erdschichten oder die Tiefsee Mutter Erde unbeteiligt lässt, ist noch völlig ungeklärt, vergleichbar mit der Endlagerung von Atommüll.

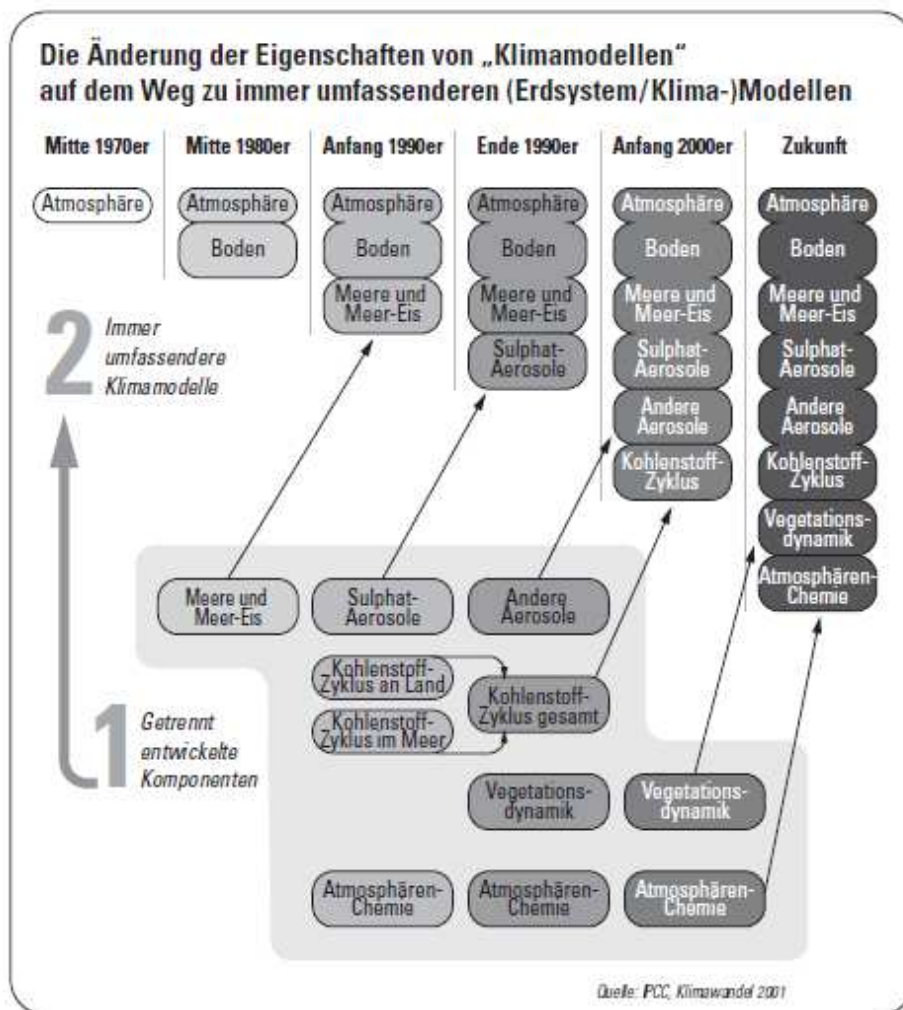
Zu sonstigen Risiken und Nebenwirkungen von CCS gibt ein Film des ZDF (Frontal 21 vom 26. Mai 2009) Auskunft: <http://www.youtube.com/watch?v=dTxTLhvXNGk>

3. Veranschaulichung der Folgen von Treibhausgas-Emissionen

Der Treibhauseffekt wird nicht nur durch Kohlendioxid, sondern auch durch andere Treibhausgase (THG) wie Lachgas (Distickstoffmonoxid), Methan oder FCKW verursacht. Deren Klimawirksamkeit ist erheblich höher als die des Kohlendioxids. Ihr Eintrag in die in der Atmosphäre und ihre Konzentration dort wird in Kohlendioxideinheiten ($\text{CO}_2\text{-eq}$) umgerechnet, um für den gesamten anthropogenen Treibhauseffekt eine einheitliche Größe zu haben. Auch Wasserdampf trägt zum Treibhauseffekt bei.

Die Folgen steigender Treibhausgaskonzentrationen entziehen sich unserer direkten Wahrnehmung. Sie sind nur durch Modelle abzubilden. Neben dem Hauptverursacher Kohlendioxid müssen noch die anderen klimawirksamen Gase berücksichtigt werden. Zudem will man wissen, in welcher zeitlichen und räumlichen Differenzierung Effekte auftreten. Klimamodelle werden dadurch, dass sie ständig mehr Gesichtspunkte einbeziehen, immer besser, allerdings jedoch komplexer und für Laien immer weniger verständlich. Eine detaillierte Darstellung der Entwicklung von Klimamodellen mit guten Illustrationen ist im Bericht der Arbeitsgruppe I des Klimarates „Historical Overview of Climate Change Science“ auf Seite 99 zu finden: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter1.pdf>

Prozess der Erweiterung des Umfangs von ‚Klima‘-Modellen



Diese Darstellung soll nicht zu dem Missverständnis führen, die von Menschen verursachten Klimaänderungen seien nur durch immer kompliziertere Modelle und ausschließlich von Experten zu erfassen.

Im Grunde geht es um eine einfache physikalische Größe, den globalen Strahlungshaushalt, und dessen Änderung in Richtung Erderwärmung durch den Treibhauseffekt. Der wurde bereits vor über 100 Jahren von Svante Arrhenius entdeckt und kann durch einen einfachen Modellversuch demonstriert werden:

<http://www.chf.de/eduthek/treibhauseffekt.html>.

Weit schwieriger ist es, die Folgen des Klimawandels nach Art (Meeresspiegelanstieg, Wüstenbildung, Stürme etc.) und raumzeitlicher Ausprägung zu berechnen.

3.1 Fieber

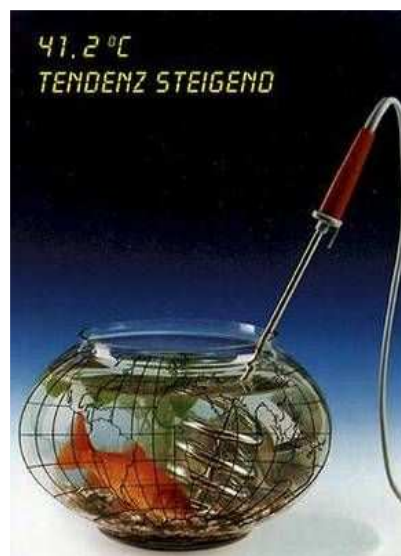
Ein bewährtes Mittel zur Veranschaulichung der Dinge, die für unsere Sinne zu groß oder zu klein sind, ist die Übertragung in menschengemäße Größenordnungen. Auf den Klimawandel angewandt, können wir uns vorstellen, die Erde bekomme Fieber. Das Ziel der europäischen Klimapolitik, dass sich die mittlere Erdtemperatur möglichst um nicht mehr als 2 °C erhöhen

solle, verbinden wir dann mit der Erfahrung, wie es uns geht, wenn wir statt 37 °C Körpertemperatur 39 °C Fieber haben. Wenn die mittlere Erdtemperatur in wenigen Jahrzehnten um mehr als 2 °C steigt, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass irreversible selbstverstärkende Prozesse (Kippeffekte) wie die Freisetzung von Methan und Lachgas aus Permafrostböden etc. das globale Klimageschehen völlig außer Kontrolle geraten lassen und dieses „Fieber“ unkontrolliert weiter steigt.

Ohne Reduktionsmaßnahmen würden die Treibhausgasemissionen voraussichtlich so steigen, dass ein Temperaturanstieg um schlimmstenfalls bis zu 6,4 °C bis zum Ende dieses Jahrhunderts droht (IPCC 2007). Wie es uns gehen würde, wenn unsere Körpertemperatur von 37 °C auf 43,4 °C steigen würde, stellen wir uns besser nicht vor. Wir wären längst tot (> 42°C).

Abbildung: Tendenz steigend

Quelle: Klaus Staeck, 1995, Plakat



3.2 Die Dämme brechen!

Die Massen an Treibhausgasen, die durch das Verbrennen fossiler Energieträger, Landnutzungsänderungen (insb. Entwaldung), Viehzucht, Überdüngung und industrielle Emissionen freigesetzt werden, verschwinden nicht - wie lange naiv behauptet und vielleicht auch geglaubt wurde - „spurlos im gewaltigen Luftmeer“. Die Atmosphäre wird mit Treibhausgasen aufgefüllt wie ein Stausee, in den mehr Wasser strömt als abfließt. In der Realität fließt heute die unvorstellbare Menge von etwa 50 Gigatonnen Kohlendioxid-Äquivalenten pro Jahr (Gt CO₂-eq/a) in die Erdatmosphäre. 30 Gt entfallen auf das Verbrennen von fossilen Energieträgern. Von diesen 30 Gt verbleiben etwa 51 % in der Atmosphäre und erhöhen dort die CO₂ – Konzentration. 21 % werden von der Biosphäre aufgenommen und 27 % von den Ozeanen. Der anthropogene Klimawandel würde – nach dem einfachen Bild des Stausees - angehalten, wenn die Emissionen von Treibhausgasen auf das Gleichgewichtsniveau (Zufluss = Abfluss) heruntergefahren würden. Hier trägt das Bild: Ursache und Manifestation des Klimawandels fallen zeitlich nicht zusammen.¹ Der aktuelle Anstieg der THG-Konzentration in der Erdatmosphäre zeigt erst in Jahrzehnten seine volle Wirkung in Form der Erhöhung der Erdtemperatur etc. Insgesamt liegt die Treibhausgaskonzentration in der Erdatmosphäre bereits heute über dem Wert von 450 ppm CO₂-eq, oberhalb dessen nach Ansicht des Weltklimarates absehbar ist, dass die mittlere Erdtemperatur in den nächsten Jahrzehnten um mehr als 2 °C steigen wird.

¹ Aus diesem Grund liegt der langfristig anzustrebende Gleichgewichtswert nicht, wie die Zahlen vermuten lassen könnten, bei ca. 15 Gt, sondern unter 10 Gt CO₂-eq/a.

In der Realität läuft der „THG-Stausee Erdatmosphäre“ also längst über. Wegen der zeitlichen Verzögerung von Ursache und Wirkung wird sich der „Überlauf“ weiter verstärken, selbst wenn wir schlagartig ein Gleichgewicht von Zulauf und Ablauf schaffen würden. Nötige Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel wie eine Erhöhung der Deiche oder gesundheitliche Vorsorge gegen die räumliche Ausbreitung von Krankheitserregern und überheiße Sommer sind bereits jetzt ein wichtiger Teil der Klimapolitik. Um die menschliche Gesundheit vor den nicht mehr abwendbaren Folgen des Klimawandels als Folge des Treibhausgasanstiegs von gestern zu schützen und wirtschaftliche Schäden gering zu halten, ist es dringend erforderlich, sich bereits heute auf zu erwartende Klimaänderungen einzustellen. Das Umweltbundesamt hat mit dem „Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung“ (KomPass: www.anpassung.net) eine entsprechende Institution geschaffen. Das Kompetenzzentrum fasst die Ergebnisse der Klimafolgenforschung zusammen und bereitet sie allgemeinverständlich auf. Weiterhin sammelt KomPass Informationen zu möglichen Anpassungsoptionen, bewertet diese im Hinblick auf ihre Risiken sowie Chancen und stellt die Ergebnisse betroffenen Akteuren zur Verfügung.

Es droht jedoch noch eine weitere Verschärfung der Situation dadurch, dass sogenannte Kipp-Punkte des Klimasystems bereits erreicht wurden und weitere drohen. Der bisherige menschengemachte Klimawandel stößt natürliche Prozesse an, die den Klimawandel verstärken und von uns nicht beeinflusst werden können. Dazu gehört die Freisetzung von großen Mengen des hochwirksamen THG Methan beim Auftauen von Permafrostböden etc. Der Klimawandel wird so zu einem sich selbst beschleunigenden Prozess. In das bekannte Bild übertragen, hieße das, die Zuflüsse würden auf ihrem Weg zum Stausee die Dämme weiterer Wasserreservoirs niederreißen, und deren Inhalt flösse ebenfalls in den arg strapazierten Stausee. Oberhalb der Grenze einer Erhöhung der mittleren Erdtemperatur um 2 °C nimmt die Gefahr rapide zu, dass diese Kipp-Punkte erreicht werden.

Kipp-Punkte des Klimawandels (Auswahl):

1. Schmelzen des Meereises und des Grönländischen Eisschildes mit Verringerung des Albedo-Effekts (Rückstrahlung) und Anstieg des Meeresspiegels
2. Schmelzen der Gletscher im Himalaya
3. Störung der ozeanischen Zirkulation im Nordatlantik (Golfstrom)
4. Austrocknung und Kollaps des Amazonas-Regenwaldes
5. Kollaps der borealen Wälder (Nadelwälder/Taiga auf der nördlichen Erdhalbkugel)
6. Auftauen des Permafrostbodens unter Freisetzung von Methan und Kohlendioxid
7. Versauerung der Ozeane und Abnahme der Aufnahmekapazität für Kohlendioxid



<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/kipp-punkte.pdf>