

SCRIPT ZUR WDR-SENDEREIHE „QUARKS & CO“

Quarks & Co

KIPPT DAS KLIMA?



Kippt das Klima?

## Inhalt

Ein Gletscher wird verpackt	4
Klimawandel vor der Haustür	6
Der Treibhauseffekt	10
Das Klima in 100 Jahren. Drei Szenarien	13
Wenn das Klima kippt	18
Müllkippen für Kohlendioxid	22
Wenn das Meer kommt: Angst vor der Sturmflut	26
Lesetipps	29
Linktipps	30

## Impressum

Text: Axel Bach, Michael Fuhs, Daniel Münter,  
Mike Schaefer, Vera Pfister

Redaktion und Koordination: Monika Grebe

Copyright: WDR Juni 2005

Weitere Informationen  
erhalten sie unter: [www.quarks.de](http://www.quarks.de)

Gestaltung: Designbureau Kremer & Mahler, Köln

Alle Abbildungen WDR ausser:

S. 18 Prognose	IPCC
S. 22 Kohlekraftwerk	Vattenfall Europe AG, Berlin
S. 22 Eisensulfat-Experiment	Alfred-Wegener Institut, Bremerhaven
S. 23 Brennkammer	Vattenfall Europe AG, Berlin
S. 23 Kohlendioxid-Meerwasser	Monterey Bay Aquarium Research Institute (MBARI), Moss Landing, Kalifornien
S. 26 Sturmflut	dpa

Diese Broschüre wurde auf 100% chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

# Ein Gletscher wird verpackt

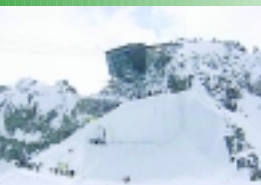
## Gefahr für den Skisport in Andermatt



Der Skiort Andermatt – Sorgen wegen Gletscherschmelze

„Wenn der Gletscher weiter schmilzt, sind hier Arbeitsplätze in Gefahr!“ meint der Bäcker im Schweizer Skiort Andermatt. Dass die Menschen dort beim Thema Gletscherschmelze nicht nur ans Klima denken, ist verständlich: In dem Dorf lebt die überwiegende Mehrheit der Bewohner vom Tourismus, besonders im Winter. Doch ausgerechnet auf dem schönsten Andermatter Berg, dem Gemsstock, schmilzt der Gurschengletscher seit Jahren dramatisch – und das bereitet auch dem Skisport Probleme.

### Schon 20 Meter weg geschmolzen



Die Verbindung zwischen Seilbahnstation und Skipisten ist von der Gletscherschmelze bedroht

In den vergangenen 15 Jahren hat der Gurschengletscher am Gipfel des Gemsstocks 20 Meter an Höhe verloren. Doch genau dieser Teil des Gletschers ist die einzige Verbindung zwischen der Seilbahnstation und den schönsten Andermatter Skipisten. Mit Schneeraupen haben die Andermatt in den letzten Jahren den Gletscher künstlich aufgeschüttet. Das ist extrem teuer, und es konnte die Auswirkungen der Schmelze nur mildern. Doch jetzt wollen die Andermatt mit einer ganz neuen Methode versuchen, den Gletscher zu retten.

### Ewiges Eis in Folie verpackt



Das Vlies wird über den Gletscher gelegt...

Im Frühsommer haben sie den entscheidenden Teil des Gletschers an der Seilbahnstation mit einer weißen Spezial-Folie regelrecht eingepackt. Die Folie besteht aus einem besonderen Gewebe, einem Vlies, das die sengenden Sonnenstrahlen im Sommer reflektiert. Dazu ist das Vlies atmungsaktiv, so dass sich darunter kein Hitzestau bilden kann. In Österreich ist diese Lösung bereits an mehreren Gletschern erfolgreich getestet worden. Auch an der deutschen Zugspitze ist eine solche Folie im Einsatz – doch Experten geben dem Zugspitzgletscher dennoch

keine Zukunft: in etwa 20 Jahren könnte er schon ganz verschwunden sein.

### Gletscherfolie im Visier der Wissenschaft

Ob das Vlies in Andermatt hilft, soll nun wissenschaftlich erforscht werden. Gletscherforscher der technischen Universität Zürich haben Temperaturfühler und Stangen zum Messen der Schneehöhe am verpackten Gletscher angebracht. In zwei bis drei Jahren möchten die Experten mit ihren Messdaten die Wirkung der Folie exakt beurteilen können. Bei einem positiven Ergebnis würden wahrscheinlich auch andere Schweizer Skiorte eine solche Schutzfolie einsetzen.

### Die Zukunft des Gurschengletschers

Doch die Forscher aus Zürich wissen schon heute: das Vlies kann die Schmelze des Gletschers nur verlangsamen, aber nicht verhindern. Im Jahr 2100 dürfte der gesamte Gurschengletscher geschmolzen sein, wenn der Klimawandel weiter fortschreitet wie bisher. Und schon in etwa 15 Jahren, so die Experten, könnte dann auch das beste Vlies die Ski-Probleme am Gipfel des Gemsstock nicht mehr lösen. In der Gemeinde denkt man deshalb schon über eine künstlich zu beschneinende Stahlrampe als Gletscherersatz nach. Doch dazu müssten auf dem 3.000 m hohen Gipfel des Gemsstocks erst noch Strom- und Wasserleitungen verlegt werden. Umweltschützer haben den Andermatt vorgeworfen, sie betrieben nur Symptombekämpfung, wichtiger sei der langfristige Klimaschutz im globalen Maßstab. Das sehen die Andermatt anders: Für sie hängt von Sofortmaßnahmen wie dem Gletschervlies ihre Existenz ab.



...festgezurt...



...und so sieht der fertig verpackte Gletscher aus



Wie lange kann das Vlies die Gletscherschmelze aufhalten?

# Klimawandel vor der Haustür

## Nur Wetterkapriolen – oder spielt die Natur verrückt?



Schneematsch statt weiße Winter...



In den 60er Jahren schneite es in Köln viel häufiger als heute

Ob Oderflut im Jahr 2002, der Rekord-Hitzesommer 2003 oder der Schneemangel in den Wintersportorten – viele Menschen in Deutschland würden den Satz unterschreiben: „Das Wetter hat sich irgendwie verändert und spielt zunehmend verrückt“. In den Worten „irgendwie“ und „verrückt“ steckt schon das eigentliche Problem: Für Laien ist es schwer, die Ereignisse richtig einzuordnen. Sind es einmalige Phänomene? Oder haben sie mit einem Klimawandel zu tun? Täuscht uns unser Gefühl, oder liegen wir instinktiv richtig? Passend dazu gibt es noch eine Nachrichten-Flut in den Medien: über Zugvögel, die nicht mehr nach Süden fliegen, oder neue Tier- und Pflanzenarten, die aus dem Mittelmeerraum einwandern. Sind das alles wirklich Indizien für den Klimawandel vor unserer Haustür? Eine berechtigte Frage. Selbst Experten stehen noch vor ungelösten Fragen, doch es gibt inzwischen eine Reihe gesicherter Erkenntnisse.

## In Köln schneit es weniger

Beispiel Rheinland: In Köln ist der Winter seit 30 Jahren nur noch eine graue Saison. Es schneit immer seltener und wenn, bleibt der Schnee nicht lange liegen. Gestandene Kölner fragen sich inzwischen, ob ihre Erinnerungen an Rodelspaß in weißen Wintern nur romantisch verklärte

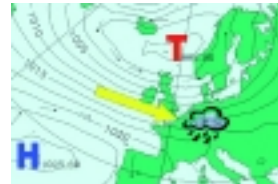
Köln: seit 1960 immer seltener Schneedecken über 10 cm



Kindheitsbilder sind – und ob der Schnee nicht bald wiederkommt. Für letzteres stehen die Chancen eher schlecht. Das Rheinland gehört zu den wärmsten Regionen Deutschlands, und seit den 60er Jahren ist die Durchschnittstemperatur im Winter noch einmal um rund zwei Grad angestiegen – tatsächlich eine Folge des globalen Klimawandels. Im ohnehin warmen Köln macht aber diese Temperaturerhöhung den Unterschied: ob der Schnee, wie in der Vergangenheit, auch mal liegen bleibt – oder eben nicht. Die Grafik des Deutschen Wetterdienstes macht klar: Schneedecken in Köln über 10 cm Dicke sind wohl tatsächlich „Schnee von gestern.“

## Die warmen West-Wetterlagen

In Köln macht sich der Klimawandel also durch fast völliges Ausbleiben von Schnee bemerkbar. Und selbst höher gelegene Regionen bekommen den Wandel zu spüren: Im benachbarten Sauerland liegen einige kleine Wintersportorte, die nur noch mit Schneekanonen das Skifahren den ganzen Winter hindurch garantieren können. Auch im vom Schnee verwöhnten Süddeutschland schneit es weniger. Zugleich schmelzen die Alpengletscher ab – alles eine Folge der Temperaturerwärmung. Zusätzlich stellen die Meteorologen im Winter immer häufiger so genannte West-Wetterlagen fest, eine Konstellation, die warme Winde nach Europa lenkt: über Island baut sich dann ein starkes Tiefdruckgebiet auf, während sich gleichzeitig über den Azoren im Südatlantik ein Hochdruckgebiet bildet. Diese Zonen mit sehr unterschiedlichem Luftdruck wirken wie ein Ventilator, sie saugen milde Meeresluft aus der Karibik nach Deutschland und in die Alpenregion. Noch sind die Klimaexperten allerdings nicht ganz sicher, ob die häufigen Westwetterlagen tatsächlich eine Folge des Klimawandels sind.



Eine typische West-Wetterlage bringt milde und feuchte Luft nach Deutschland



### Immer öfter Wetterkatastrophen?

Gibt es bald wieder eine Oderflut? Überschwemmt der Rhein demnächst wieder die Städte an seinen Ufern? Solche Katastrophen treten auf, wenn mehrere ungünstige Wetterbedingungen zusammentreffen. In den letzten Jahrhunderten war das – zum Glück – nur selten der Fall. Auch wenn die Klimaforscher derzeit noch keine sicheren Prognosen über die Zunahme der Hochwassergefahr machen können: Sie fürchten, dass diese seltenen Wetter-Konstellationen in Zukunft öfter eintreten könnten. Etwa beim Rheinhochwasser: Nach den Prognosen der Klimaforscher wird die Gletscherschmelze in den Alpen zunehmen. Auch in den deutschen Mittelgebirgen schmilzt der Schnee früher. Und für die Rheinregion bedeutet das: West-Wetterlagen könnten im Frühjahr noch dazu starken Regen heranbringen. Das würde dazu führen, dass am Ende des Winters viel mehr Wasser in den Rhein strömt – in der kalten Jahreszeit, wo das Wasser aus den Böden kaum in die Atmosphäre verdunstet, und die kahlen Bäume nur wenig Feuchtigkeit aufsaugen. Hochwasserschutz-Experten empfehlen den Städten deshalb für die Zukunft höhere Hochwasserschutzmauern – und die Ausweitung natürlicher Überschwemmungsgebiete am Rhein. Die könnten die Wucht der Hochwasserwellen entscheidend begrenzen.

### Auch die Pflanzen reagieren

Klimaforscher sehen die Auswirkungen der steigenden Temperaturen an der Pflanzenwelt. So fängt die Apfelblüte heute etwa eine Woche früher an als vor vierzig Jahren. Diese Verschiebung ist bemerkenswert, obwohl sie klein erscheint. Aber sie ist vergleichbar damit, dass Frühblüher wie die Forsythien schon ganze vier Wochen früher ihre Kelche öffnen. Überall in Deutschland beginnt also der Frühling früher. In vielen Weinanbaugebieten hat der Klimawandel bessere Wachstumsbedingungen für die Trauben gebracht. Erfreuliche Folge für die Winzer: bessere Weinqualität.



Der Frühling beginnt inzwischen früher in Deutschland

### Exotische Tiere kommen mit dem Klimawandel

Besonders genau untersuchen Klimaforscher die Veränderungen in der deutschen Tierwelt. Allerdings dürfen die Folgen der Verstädterung nicht mit Auswirkungen des Klimawandels verwechselt werden. So war vor über hundert Jahren die Amsel noch ein Zugvogel. Doch inzwischen findet sie in Städten und Dörfern auch im Winter genügend Futter und fliegt nicht mehr in den Süden. Mit Klimawandel hat das nichts zu tun. Anders ist das bei den Kiebitzen – dass immer mehr von ihnen im Spätherbst nicht mehr nach Südeuropa fliegen, ist ein Klima-indiz. Vielen reicht inzwischen der mildere Südwesten Deutschlands als Winterquartier.



Exotischer Neuling aus Südeuropa: die Gottesanbeterin

Und Neulinge aus südlichen Ländern sind zusätzlich bei uns heimisch geworden: Im Saaletal kann man seit über 10 Jahren den Bienenfresser-Vogel bei der Jagd beobachten. Selbst in Südschweden wurden schon Exemplare beobachtet. Die farbenprächtigen Tiere leben bislang vor allem in Nordafrika und Südeuropa.

Und in der Fränkischen Platte hat sich der Schwammspinner breit gemacht, ein Schmetterling. Zum Leidwesen der Förster, denn die Schwammspinner-Raupen treten in heißen Sommern inzwischen massenhaft auf und fressen Laubbäume kahl. Ein besonders exotischer Insekten-Neuling ist die südeuropäische Gottesanbeterin: majestätisch, und mit blitzschnellen, langen Fangarmen. Sie ist eine Meisterin im Jagen anderer Insekten.



# Der Treibhauseffekt

## Was die Erde warm macht



Temperatur der Erde ohne  
Atmosphäre: -3 °C

15 Grad Celsius: Das ist eine angenehme Temperatur. Nicht zu kalt und nicht zu warm. 15 Grad Celsius ist außerdem die „globale Mitteltemperatur“. Das ist die Durchschnittstemperatur der Erde – berechnet aus den Temperaturdaten mehrerer tausend Messstationen überall auf der ganzen Welt. Dass dabei genau 15 Grad Celsius herauskommen liegt vor allen Dingen am Zusammenspiel dreier Faktoren: der eingestrahelten Sonnenenergie, der Atmosphäre der Erde sowie der darin enthaltenen Treibhausgase.

Würde man eine neue Erde basteln, könnte man dabei die folgenden Temperaturen messen: Ohne Sonne wäre es auf der Erde extrem kalt: minus 270 Grad. Das ist nahe am absoluten Nullpunkt: viel kälter kann es nicht werden. Leben ist unter solchen Bedingungen undenkbar.

Erst die Sonne liefert die nötige Energie, so dass es auf der Erde wärmer wird. (Die Wärme, die aus dem Erdinneren aufsteigt, ist vernachlässigbar gering und beträgt nur 0,06 Prozent der eingestrahelten Sonnenenergie.) Solange unsere neue Erde noch keine Atmosphäre hat, gelangt die gesamte Strahlung der Sonne auf die Erdoberfläche. Die Sonne heizt die Oberfläche auf. Genau wie ein heißes Bügeleisen strahlt die Erde einen Teil der Wärme wieder ab und es stellt sich eine deutlich wärmere Temperatur von etwa minus drei Grad Celsius ein.



Temperatur der Erde mit  
Atmosphäre aus Stickstoff und  
Sauerstoff: -18 °C

Gibt man auf die nackte Erdkugel eine Atmosphäre aus Stickstoff und Sauerstoff hinzu, dann fällt die Temperatur auf etwa minus 18 Grad Celsius. Stickstoff und Sauerstoff lassen es also erstmal kälter werden – obwohl die Sonne genauso intensiv scheint wie vorher: Die Atmosphäre reflektiert einen Teil der Sonnenstrahlen. Es kommen weniger Sonnenstrahlen auf der Erde an, so dass sie sich nicht mehr so stark erwärmt.

## Aus Licht wird Wärme

Um eine mittlere Temperatur von über null Grad zu erhalten, kommt der „natürliche Treibhauseffekt“ ins Spiel: Die Sonne lässt Wasser aus den Meeren und Seen verdampfen. Und der Wasserdampf in der Atmosphäre lässt die Temperatur ansteigen: von minus 18 auf zweieinhalb Grad plus. Und schließlich wirken auch noch die so genannten Treibhausgase Methan, Lachgas, Ozon und Kohlendioxid. Sie kommen in der Atmosphäre zwar nur in einer sehr geringen Konzentration vor – insgesamt sind es weniger als 0,038 Prozent! Aber zusammen mit dem Wasserdampf steigt die Temperatur damit um 33 Grad: auf ziemlich exakt 15 Grad Celsius. Wie kommt es dazu?

Nur etwa die Hälfte der Sonnenstrahlung gelangt bis zur Erdoberfläche. Die andere Hälfte wird von der Atmosphäre reflektiert oder absorbiert.

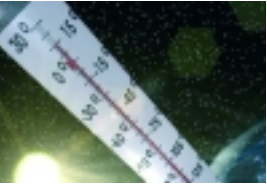
Lediglich 51 Prozent der Sonnenstrahlung erreicht überhaupt den Erdboden. Knapp 10 Prozent davon werden von hellen Flächen wie Eis und Schnee reflektiert und ins Weltall zurückgestrahlt, ohne dabei die Erde zu erwärmen. Nur der Rest wird von Boden, Wasser und Pflanzen aufgenommen und erwärmt die Erde. Je dunkler die Oberfläche, desto wärmer wird sie. Geht man im Sommer barfuß über eine schwarze, asphaltierte Straße, merkt man den Unterschied sehr deutlich: Der Straßenbelag ist viel heißer als zum Beispiel der Boden einer Terrasse aus hellem Marmor. Diese Wärme muss die Erde aber irgendwie wieder loswerden und strahlt Wärmestrahlung ab: Das sichtbare Licht wird also in Wärme umgewandelt.

## Der natürliche Treibhauseffekt

Während das sichtbare Licht der Sonne noch relativ ungehindert auf die Erde gelangt, kann diese Wärmestrahlung nun aber nicht mehr ungehindert in den Weltraum zurückstrahlen: Wasserdampf und Treibhausgase nehmen die Wärmestrahlung auf und erwärmen sich dadurch selber. Die erwärmten Treibhausgase strahlen ihrerseits wieder Wärmestrahlen ab – in alle Richtungen. Ein Teil davon ver-



Temperatur der Erde mit  
Atmosphäre aus Stickstoff und  
Sauerstoff sowie  
Treibhausgasen: 15 °C



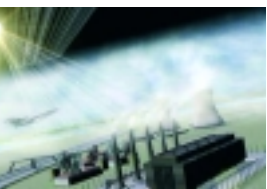
Globale Mitteltemperatur  
der Erde: 15 °C

schwindet ins Weltall, ein anderer Teil wird zurück auf die Erde reflektiert: Das ist der Treibhauseffekt – Wasserdampf und Treibhausgase halten die Wärme in der Nähe der Erdoberfläche fest – wie eine Bettdecke. Damit sorgen sie auch dafür, dass die Erde bei Nacht nicht so extrem abkühlt wie beispielsweise der Mond, der keine Atmosphäre hat.

Über die Jahre kommen auf diese Weise im Durchschnitt immer 15 Grad Celsius zu Stande. Diese Temperatur bleibt relativ konstant: Die Sonne heizt die Erde auf – und die Erde strahlt Wärme ab, da sie wärmer als die Umgebung ist.

### Mehr Treibhausgase = höhere Temperatur

Seit der Mensch die fossilen Energieträger Kohle, Öl und Gas verbrennt, steigt der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre an: von geschätzten 0,028 Prozent im Jahr 1750 auf 0,037 Prozent heute. Wenn die Menschen den Kohlendioxid-Anteil in der Atmosphäre erhöhen, hat das denselben Effekt wie eine dickere Bettdecke: Auf der Erde wird es wärmer. Zwar bleibt die eingestrahlte Sonnenenergie gleich. Doch es kann immer weniger Wärme in den Weltraum entschwinden: Die Treibhausgase reflektieren mehr Wärmestrahlung zurück zur Erde. Seit Anfang des 20. Jahrhunderts ist die globale Mitteltemperatur auf der Erde um 0,7 Grad Celsius gestiegen; das ist schneller als jemals zuvor in den letzten 10.000 Jahren.



Der Mensch erhöht den  
CO<sub>2</sub>-Anteil in der Atmosphäre

Die Temperatur auf der Erde reagiert sehr empfindlich auf die eigentlich segensreichen Treibhausgase. Das wusste bereits der spätere Nobelpreisträger Svante Arrhenius, der schon 1896 ein Buch mit dem Titel „Über den Einfluss des atmosphärischen Kohlensäuregehalts auf die Temperatur der Erdoberfläche“ veröffentlichte. Mehr als hundert Jahre später wird es Zeit, dass die Menschen daraus ihre Lehren ziehen und den Ausstoß an Treibhausgasen drastisch reduzieren. Denn 15 Grad Celsius sind warm genug!



Wie viel CO<sub>2</sub> und andere Treibhausgase wird der Mensch bis zum Jahr 2100 in die Luft pusten? Das hängt entscheidend davon ab, wie sich die Menschheit weiter entwickelt. Wie stark steigt die Bevölkerung an, wie entwickelt sich die Weltwirtschaft? Gibt es noch mehr Brandrodungen und Massenviehzucht, oder gibt es neue, umweltschonende Technologien? Wie weit reichen die Vorräte an fossilen Brennstoffen, wie Kohle, Erdöl und Gas? Welchen Anteil haben nicht-fossile Energiequellen wie Wind, Sonne oder Kernenergie? Alles das beeinflusst den gefürchteten Treibhauseffekt.

### Dazu, wie die Welt in Zukunft aussieht, sind unterschiedliche Szenarien denkbar – wir stellen drei davon vor.

Die drei Szenarien entstammen dem Bericht des Internationalen Ausschusses zum Klimawandel (IPCC). Die Daten zu Anstieg des Meeresspiegels und der regionalen Temperatur stammen aus Rechnungen des Deutschen Klimarechenzentrums (DKRZ) und ebenfalls aus dem Bericht des IPCC.

## Heterogene Welt

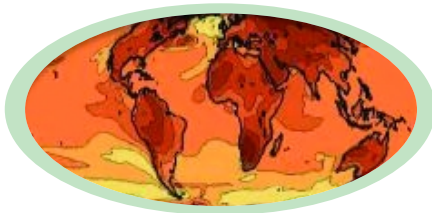
Hier bleibt die Welt wirtschaftlich fast so gespalten, wie sie heute ist. Die Weltbevölkerung steigt stark an. Die Energiequellen sind überwiegend Kohle, Öl und Gas. Die Energietechnik ist wenig effizient.

Im Bericht des IPCC heißt dieser Entwicklungspfad A2. Die A2-Szenarien gehen von einer sehr uneinheitlichen Welt aus: die Kluft zwischen Entwicklungsländern und Industriestaaten bleibt groß. Auch deshalb bleiben die Geburtenraten hoch und die Weltbevölkerung nimmt ständig zu. Die wirtschaftliche Entwicklung ist wie heute von Weltregion zu Weltregion sehr unterschiedlich. Rohstoffe werden nicht sehr effizient genutzt. Die Welt setzt auch im Jahr 2100 noch auf einen sehr hohen Anteil fossiler Brennstoffe (70 Prozent). Wie diese Entwicklung das Klima beeinflusst, sehen Sie in der Grafik.

### Szenario

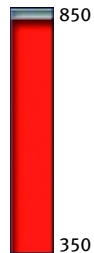
# A2

Regionaler Temperaturanstieg

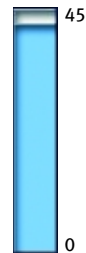


-1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 in °C

CO<sub>2</sub> Anstieg  
(in ppmv)



Anstieg des Meeresspiegels  
(in cm)



Temperaturanstieg in °C: **4,25**

## Globalisierung

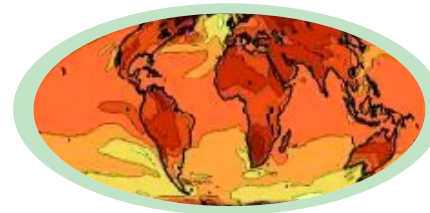
In diesem Szenario wächst die Weltbevölkerung nur mäßig. Der Wohlstand verteilt sich gleichmäßig. Es besteht ein hoher Energiebedarf, der aber bis zum Jahr 2100 zu großen Teilen durch nicht-fossile Energiequellen gedeckt wird.

Die Weltbevölkerung erreicht in den A1-Modellen Mitte des 21. Jahrhunderts ihr Maximum und nimmt danach ab. Die Weltwirtschaft wird zunehmend globaler, d. h. die Entwicklungsländer holen bei den Einkommen, den Sozialsystemen und in der technologischen Entwicklung zu den Industriestaaten auf. Maschinen, Geräte und die Energieerzeugung werden deutlich effizienter. Der Gesamtenergiebedarf der Welt steigt jedoch stark an. Im A1B-Szenario liegt der Anteil der fossilen Energiequellen im Jahr 2100 bei nur 35 Prozent.

### Szenario

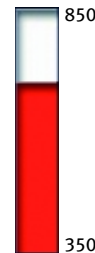
# A1B

Regionaler Temperaturanstieg

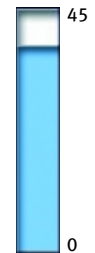


-1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 in °C

CO<sub>2</sub> Anstieg  
(in ppmv)



Anstieg des Meeresspiegels  
(in cm)



Temperaturanstieg in °C: **3,65**



# Global-nachhaltig

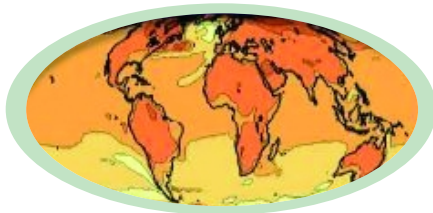
In diesem Szenario wächst die Weltbevölkerung stark. Wohlstand breitet sich aus. Die Landwirtschaft produziert nachhaltig, die Wirtschaft ressourcenschonend. Dadurch sinkt der Energiebedarf. Energie wird 2100 zur Hälfte aus Kohle, Öl und Gas gewonnen, die andere Hälfte wird durch nicht-fossile Energiequellen gedeckt.

Die künftige Welt der B1-Szenarien entwickelt sich ähnlich global orientiert wie die der A1-Gruppe. Auch hier gleicht sich der Wohlstand zwischen den Industriestaaten und dem Rest der Welt stark an. Die Gesellschaft wandelt sich jedoch zu einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft. Das Umweltbewusstsein nimmt zu, daher achtet man darauf, Material sparsam zu verwenden und saubere, Ressourcen schonende Techniken einzusetzen.

## Szenario

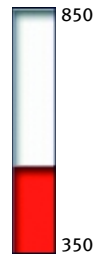
# B1

Regionaler Temperaturanstieg



-1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 in °C

CO<sub>2</sub> Anstieg  
(in ppmv)



Anstieg des Meeresspiegels  
(in cm)

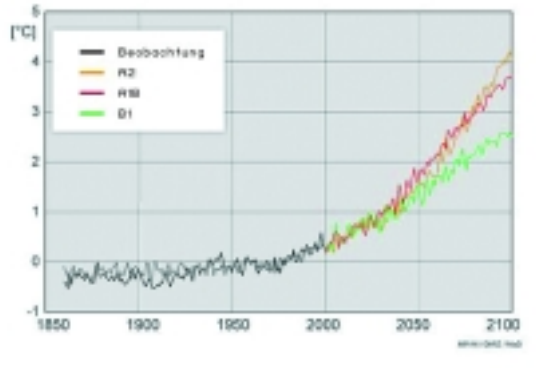


Temperaturanstieg in °C: **2,5**

## Die Intensität macht den Unterschied

Je stärker die Durchschnittstemperatur auf der Erde steigt, desto stärker werden auch die Folgen sein. Die Experten fürchten, dass es in vielen Gebieten viel häufiger Hitzewellen und Dürren, aber auch starke Regenfälle und Überflutungen geben wird. In den Tropen könnten Wirbelstürme heftiger und häufiger zuschlagen. Der Anstieg des Meeresspiegels trifft zunächst einmal viele Inselstaaten, aber auch Länder, die am Meer liegen und nur schlecht geschützt sind, wie z. B. Bangladesch. Das Eis am Nordpol wird im Sommer völlig schmelzen – zumindest wenn ein Szenario mit einem sehr starken Temperaturanstieg (A<sub>2</sub>) Wirklichkeit wird. Viele Tierarten und -pflanzen werden den Klimawandel nicht überstehen. Besonders das empfindliche Ökosystem der Arktis wird wahrscheinlich stark geschädigt.

# Wenn das Klima kippt



Nach den Prognosen des IPCC wird die Durchschnittstemperatur auf der Welt in den nächsten 100 Jahren kontinuierlich ansteigen

## Immer schön langsam?

Nur nichts überstürzen beim Klimaschutz – das meinen zumindest viele Kritiker von Klimaschutzmaßnahmen. Sie glauben, dass es noch genug Zeit gibt, sich auf den Klimawandel einzustellen, und verweisen dabei auf die Ergebnisse des IPCC-Berichts von 2001. Der sieht in verschiedenen Modellrechnungen zwar immer einen Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur voraus. Dieser Anstieg soll aber kontinuierlich voranschreiten und sich bis zum Ende dieses Jahrhunderts hinziehen. Doch was im IPCC-Bericht nur sehr vorsichtig erwähnt wird: Viele Aspekte des Klimasystems sind noch längst nicht verstanden und müssen noch intensiv erforscht werden. Und einer dieser Aspekte ist die Möglichkeit abrupten Klimawechsels – Änderungen, die sich innerhalb weniger Jahrzehnte vollziehen könnten. In der Vergangenheit gab es immer wieder solche instabilen Phasen, in denen das Klima einer ganzen Region kippte.

## Die grüne Sahara

Ein spektakuläres Beispiel für einen abrupten Klimawechsel ist das Ergrünen und Verdorren der Sahara. Vor etwa 11.000 Jahren verwandelte sich die Sahara in eine grüne Savanne. Anstoß dazu war eine allmähliche Veränderung der Erdbahn, wie sie in Zyklen von einigen zehntausend Jahren auch heute noch abläuft. Dabei kippt die Erdbachse und die Verteilung der Sonnenstrahlung zwischen Sommer und Winter ändert sich. Die Folge ist eine Verschiebung der regelmäßigen Monsunregen in Afrika und Asien. Doch diese Regengebiete verschieben sich nur sehr langsam, und entsprechend langsam müssten sich auch die Vegetationszonen verschieben, innerhalb von Jahrtausenden. Doch das grüne Wunder in der Sahara vollzog sich in wenigen hundert Jahren – für eine Klimaänderung eine sehr kurze Zeit.



In vielen Gegenden der Sahara findet man heute Schalen von Süßwasserschnecken. Sie lebten in offenen Gewässern – ein Beweis für die grüne Vergangenheit der Sandwüste

## Pflanzen machen ihren Regen selbst

Die relativ schnelle Änderung des Klimas in der Sahara lässt sich nur verstehen, wenn man die Wechselwirkung der Pflanzen mit dem Wetter in der Region beachtet. Klimaforscher vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung konnten zeigen, dass die Vegetation in der Sahara sich die Feuchtigkeit sozusagen selbst beschaffte: Zunächst verschoben sich durch die Änderung der Erdbahn die Regengebiete und es fiel etwas mehr Niederschlag. Dadurch entstand mehr Grün – Büsche, Bäume, Sträucher. Sie konnten wiederum mehr Feuchtigkeit im Boden halten, die verdunstet und aufsteigen konnte. So kam Bewegung in die Luft, vom Atlantik konnten zusätzlich feuchte Winde einströmen. Mehr Wolken bildeten sich, und es fiel noch mehr Regen. Folge war ein dichter Bewuchs mit Pflanzen, der wiederum für mehr Wolken sorgte...

Durch diese positive Verstärkung ergrünte die Sahara innerhalb von wenigen hundert Jahren. Die Forscher nennen dies eine nicht-lineare Rückkopplung. Vor etwa 6.000 Jahren lief dieser Prozess in der West-Sahara wohl in der umgekehrten Richtung ab. Wieder hatte sich die Erdachse etwas verschoben, und über Jahrtausende wurde der Monsun langsam schwächer. Doch wegen der Klimawirkung der Vegetation blieb es lange grün und fruchtbar. Erst als eine kritische Schwelle überschritten war, gingen so viele Pflanzen ein, dass – jetzt über eine negative Verstärkung – die West-Sahara innerhalb weniger hundert Jahre verdorrte.

#### **Klimawandel stört den Wärmetransport im Atlantik**

Ein anderes Beispiel für ein nicht-lineares Klimasystem, das kippen kann, ist der so genannte Nordatlantikstrom. Dieser verlängerte Arm des Golfstroms transportiert warmes Wasser in den Nordatlantik und sorgt so in Westeuropa für milde Winter. Angetrieben wird dieser Transport durch Dichteunterschiede im Meerwasser. Das Wasser des Nordatlantikstroms enthält nämlich viel Salz, und das erhöht seine Dichte, macht es also schwer. Der warme Strom gelangt vor die Küste Grönlands, und dort kühlt das Wasser ab. Es wird dadurch noch dichter und schwerer. Schließlich sinkt dieses kalte, salzhaltige Wasser bis in zwei- oder dreitausend Meter Tiefe und bildet damit einen Sog. Von oben strömt warmes Wasser nach, während das kalte Tiefenwasser Richtung Süden abfließt. Diese Umwälzpumpe arbeitet seit ein paar tausend Jahren ziemlich stabil. Doch der von Menschen gemachte Klimawandel stört diesen Kreislauf. Weil es wärmer wird, gibt es mehr Niederschläge über dem Nordatlantik, und zusätzlich schmelzen die Gletscher auf Grönland. So kommt viel mehr Süßwasser in die Grönlandsee – es verdünnt das Meerwasser und entzieht damit der Salzpumpe Kraft.

#### **Unangenehme Folgen für Europa**

Die meisten Berechnungen sagen deshalb eine langsame Abschwächung der Zirkulation voraus. Es gibt aber auch eine andere Möglichkeit: Der Nordatlantikstrom könnte schlagartig innerhalb von 20 bis 30 Jahren völlig versiegen. Doch kein Klimaforscher weiß, wo die kritische Schwelle liegt – bei welchem Salzgehalt der Wärmetransport ganz plötzlich ausbleiben könnte. Die Folgen wären für Europa jedoch unangenehm: Die Temperatur könnte bis zu fünf Grad unter den heutigen Mittelwert sinken – je nach dem wie stark der Mensch die Erde bis dahin erwärmt hat. Eine neue Eiszeit droht dann zwar nicht unbedingt, doch im Winter könnten die großen Flüsse zufrieren, es gäbe vielleicht lange Schneeperioden und verregnete Sommer. Auf lange Sicht könnte es aber so kalt und trocken werden, dass Landwirtschaft kaum noch möglich wäre.

#### **Kann das Klima kippen?**

Es gibt noch weitere Gebiete der Erde, in denen das Klima kippen könnte. Immer wieder wird von Klimaforschern dabei das Festlandeis am Südpol genannt. Am westlichen Rand des Polgebiets schieben sich mächtige Gletscher vom Festland Richtung Küste. Vor einiger Zeit gab es ernstzunehmende Anzeichen dafür, dass die großen Gletscher dort ins Meer abrutschen könnten – mit dramatischen Folgen für den Meeresspiegel. Heute gilt diese Entwicklung als nicht sehr wahrscheinlich. Wie ernst ist also die Bedrohung durch abrupte Klimawechsel?

Die meisten Klimaforscher sind sich einig, dass die Wahrscheinlichkeit für große Klimaunfälle zum Glück nicht sehr groß ist. Trotzdem wollen sie die Risiken besser untersuchen und fordern eine breite gesellschaftliche Diskussion darüber, welches Risiko bei Klimaänderungen noch tragbar ist. Die Naturwissenschaftler können darauf keine abschließende Antwort geben – hier sind die Politiker gefragt.

# Müllkippen für Kohlendioxid

## Der Traum



Wo Kohle verbrannt wird, entsteht Kohlendioxid, auch wenn es unsichtbar ist und Kraftwerke nur noch durch die Wasserdampfschwaden auffallen

Man sieht es nicht, man riecht es nicht. Aber im Mineralwasser sorgt es für ein angenehmes Sprudeln, das farblose Gas Kohlendioxid. Es ist eigentlich ein ganz normaler Bestandteil der Luft. Doch wenn Kohlendioxid in großen Mengen in die Atmosphäre gelangt, macht es die Erde zum Treibhaus – seit Jahren ein international diskutiertes Problem. Seit dem Kyoto-Protokoll ist klar, dass auf der ganzen Welt der Ausstoß von Kohlendioxid verringert werden muss. Aber wie? Findige Wissenschaftler, Unternehmer und Politiker haben einen Traum: Wäre es nicht schön, wenn man das Treibhausgas einfach verschwinden lassen könnte?

## Mit Algen im Meer versenken



Können Algen das Problem lösen? Forscher des Alfred Wegener Instituts düngen in ihrem Experiment das Polarmeer mit Eisensulfat

Man könnte es zum Beispiel im Meer versenken. Der Hintergrund: Algen verbrauchen Kohlendioxid, denn wie alle Pflanzen binden sie es, um daraus Biomasse aufzubauen. Wenn man also das Meer düngt und damit das Wachstum von Algen fördert, dann nehmen sie entsprechend mehr Kohlendioxid auf. Sterben die Algen ab und sinken auf den Meeresgrund, sollte das Treibhausgas mit ihnen in der Tiefe verschwinden, so zumindest die Theorie. Um zu sehen, was in der Praxis geschieht, haben Wissenschaftler des Alfred-Wegener-Instituts in Bremerhaven in den letzten Jahren Versuche durchgeführt, bei denen sie den Ozean im Antarktischen Polarmeer tatsächlich mit Eisensulfat gedüngt haben.

Die Experimente zeigen, dass ein Teil der Algen von Kleinkrebsen gefressen wird. Diese Krebse dienen anderen Tieren als Nahrung – und die atmen das Kohlendioxid dann wieder aus. Der Effekt des Algenfutters ist deshalb nicht so groß wie erhofft. Großflächiges Düngen wäre außerdem ein massiver Eingriff in das Ökosystem – Kritiker warnen vor unabsehbaren Folgen.

## Neue Technik für Kraftwerke?

Statt das Kohlendioxid erst in die Atmosphäre auszustoßen und es dann wieder daraus zu entfernen, arbeiten Forscher daran, es gleich da abzufangen, wo es entsteht – zum Beispiel in Kraftwerken. Doch in einem konventionellen Kohlekraftwerk geht das nur unter großem Aufwand. Denn dort entsteht das Treibhausgas vermischt mit anderen Gasen. Um daraus das Kohlendioxid zu filtern, ist viel Energie nötig.



In Zukunft soll Kohle mit reinem Sauerstoff verbrannt werden

Deshalb wollen Wissenschaftler Kohle anstatt mit Luft mit reinem Sauerstoff verbrennen – dann besteht das Abgas aus fast reinem Kohlendioxid. Es kann gekühlt und gelagert werden. Doch es gibt ein Problem – bei der Verbrennung mit reinem Sauerstoff entwickelt sich eine große Hitze, die den Brennkessel zerstören kann. Deshalb arbeiten die Forscher noch daran, dass die Flamme dabei nicht zu heiß wird. Bis 2020 wollen einige Energieversorger die ersten Kraftwerke bauen, die diese Technik nutzen. Doch dann gibt es das nächste Problem: Wohin mit dem im Kraftwerk gesammelten Kohlendioxid?

## Verklappen in der Tiefsee

Forscher des Monterey Bay Aquarium Research Instituts in Kalifornien untersuchen deshalb, ob Kohlendioxid in der Tiefsee versenkt werden kann. Es könnte in Pipelines dorthin gepumpt werden. Die Experimente zeigen: In 3.600 Meter Tiefe ist der Wasserdruck so hoch, dass das Kohlendioxid flüssig wird. Es entstehen kleine Kugeln aus einem Kohlendioxid-Meerwasser Gemisch. Sie sammeln sich auf dem Boden und können in Mulden auf dem Ozean Seen bilden. Allerdings stirbt darin alles Leben ab und selbst, wenn man das in Kauf nähme, ist es keine dauerhafte Lösung. Denn dieses Kohlendioxid-Meerwasser Gemisch ist nicht sehr stabil. Wenn Strömungen die obersten Schichten des unterirdischen Sees aufwirbeln verteilt sich mit der Zeit das Kohlendioxid im Ozean. Vermutlich ist so ein Kohlendioxidsee nach einigen hundert Jahren ver-



Kleine flüssige Kugeln aus einem Kohlendioxid-Meerwasser Gemisch in 3.600 Meter Tiefe



schwunden. Welchen Einfluss eine solche Veränderung in der Tiefsee auf das Meer hat, ist noch nicht erforscht.

### **Gepresst in Sandstein unter dem Meeresboden**

Vor der norwegischen Küste liegt eine Bohrinsel, die eine andere Methode nutzt – sie könnte für Deutschland interessant sein. Auf der Sleipner-Bohrinsel wird Öl gefördert, das sehr viel Kohlendioxid enthält. Gelangt es in die Atmosphäre, muss der Betreiber in Norwegen hohe Steuern zahlen. Deshalb trennt man das Kohlendioxid ab und presst es in Gesteinsschichten unter dem Meeresboden. Kleine Poren in dem Gestein nehmen das Treibhausgas auf. In vielen Regionen Deutschlands liegen in rund 1.000 Meter Tiefe Sandsteinschichten mit ähnlichen Eigenschaften. Forscher beginnen jetzt zu untersuchen, ob auch sie sich als Kohlendioxidspeicher eignen. Dazu müssen die Wissenschaftler klären, wie das Gas dort hinein gepresst werden kann und ob es wirklich unten bleibt, ohne zum Beispiel das höher gelegene Grundwasser zu gefährden.

### **Alternative: weniger Kohle und Öl verbrennen**

Die Idee, das Kohlendioxid einfach verschwinden zu lassen, ist zwar verlockend, aber sie schafft bei den Endlagern neue Probleme. Außerdem kostet sie zusätzlich Energie. Trotzdem könnten die Techniken für eine Übergangszeit eingesetzt werden, bis andere Lösungen weit genug entwickelt sind. Auf lange Sicht geht kein Weg daran vorbei, weniger Kohle, Öl und Gas zu verbrauchen. Deshalb arbeiten Forscher zum Beispiel daran, Kraftwerke effizienter zu machen, indem sie den Verbrennungsprozess optimieren. Eine andere Möglichkeit besteht darin, Kraftwerke dort zu bauen, wo sie gleichzeitig Häuser heizen können. Denn ein Kraftwerk erzeugt schon beim Betrieb sehr viel Abwärme, die meist nutzlos verpufft. Diese Abwärme kann man nutzen und sie direkt in Wohnhäuser umleiten. Mit solchen kleinen, im ganzen

Land verteilten Kraftwerken kann man viel Heizenergie sparen. In den letzten Jahren wurde ein weiterer Schritt in diese Richtung getan. Es kamen mit Gas betriebene Generatoren auf den Markt, die so klein sind, dass sie in Kellern von Mehrfamilienhäusern statt einer konventionellen Heizung eingebaut werden können. Dort erzeugen sie gleichzeitig Strom und Wärme für das Haus. Doch am besten vermeidet man Kohlendioxidausstoß, wenn statt Kohle, Öl und Gas andere Energiequellen wie Sonne, Wind oder Wasserkraft genutzt werden. Doch es ist unwahrscheinlich, dass diese regenerativen Energien in absehbarer Zeit genug Strom liefern können, um die fossilen Brennstoffe überflüssig zu machen.



# Wenn das Meer kommt: Angst vor der Sturmflut



Besonders gefährlich war die Sturmflut für die Bewohner der niedrigen Häuser. Viele konnten sich nicht rechtzeitig auf hoch gelegene Dächer flüchten

## Das Trauma: Die große Flut von Hamburg

In der Nacht vom 16. zum 17. Februar 1962 brachen um Hamburg die Deiche. Etwa ein Sechstel des Hamburger Stadtgebiets stand unter Wasser und rund 20.000 Menschen mussten evakuiert werden, über 300 Personen starben bei der Katastrophe. Es war die schwerste Flut seit hundert Jahren – doch bei weitem nicht die schlimmste in der Geschichte Norddeutschlands. Immer wieder sind tausende von Menschen an den Küsten bei Sturmfluten umgekommen, und ganze Landstriche versanken für immer im Meer. Zwar leben die Küstenbewohner seit Generationen mit dieser Gefahr. Doch jetzt droht der Klimawandel, und damit eine vielleicht ungeahnte Dimension von Sturmfluten. Wie können sich die Küstenbewohner an den vorausgesagten Anstieg des Meeresspiegels anpassen?

## Früher waren Deiche nicht nötig



Als zwischen 0 und 500 nach Christi Geburt der Meeresspiegel stieg, schützten sich die Bewohner vor Sturmfluten, indem sie ihre Häuser auf künstliche Erdhügel bauten

Vor 2.000 Jahren hatten es die Küstenbewohner etwas leichter als heute. Der Meeresspiegel stand zwei Meter tiefer. Die Höfe lagen so weit vom Wasser entfernt, dass die Bewohner ohne Deiche auf ebener Erde wohnen konnten. Sie waren vor Sturmfluten relativ sicher. Das umliegende Land war fruchtbar und konnte als Viehweide für Schafe und Rinder gut genutzt werden. Doch über die Jahrhunderte stieg der Meeresspiegel fast kontinuierlich an.

Der Grund: Seit der letzten Eiszeit vor etwa 10.000 Jahren erwärmte sich das Wasser und dehnte sich deshalb aus. Außerdem floss Schmelzwasser der Gletscher in die Meere. Und mit dem Meeresspiegel stieg auch die Höhe der Sturmfluten, die immer wieder auftraten. Dadurch waren die Siedlungen zunehmend bedroht. Die Menschen an der Küste bauten daher ihre Häuser auf künstliche Hügel aus Erde, Abfall und Mist – so genannte Wurten oder Warften.

## Jedes Jahrhundert eine große Katastrophe

Die Wurten schützten zwar das Leben der Menschen und des Viehs, doch die Felder standen trotzdem unter Wasser, sodass die Ernten verloren gingen. Deshalb begannen die Menschen, das Ackerland mit Deichen zu schützen. Schon im 13. Jahrhundert war die Deichlinie entlang der Küste geschlossen. Das hatte allerdings auch einen großen Nachteil: an den Deichen stauten sich die Wellen, statt wie früher auf dem flachen Land auszulaufen. Dadurch erhöhte sich der Druck auf die Deiche, wenn es zu Sturmfluten kam – und wenn sie brachen, gab es verheerende Katastrophen. Anders als früher, als das Wasser langsam höher stieg, kommt nun bei einem Deichbruch das Wasser plötzlich. Eine Flucht ist kaum noch möglich. Besonders hoch war die Zahl der Opfer bei einer Sturmflut 1362. Sie ging in die Geschichte als die „große Mandränke“ ein. Damals verschwanden einige Gebiete Schleswig-Holsteins für immer im Meer oder im Watt. Ähnliche Katastrophen ereigneten sich zum Beispiel 1634 und auch Weihnachten 1717. Bei der Weihnachtsflut starben über 10.000 Menschen.

## Der Erfolg des modernen Deichbaus

Nach der Flut 1717 begann im Küstenschutz ein neues Zeitalter. Der Ostfrieser Albert Brahms veröffentlichte ein berühmtes Buch „Anfangsgründe der Deich- und Wasserbaukunst“. Er verbreitete eine Idee, die in den Niederlanden schon länger bekannt war: Deiche sollten zum Meer hin flacher gebaut werden, so wie es noch heute üblich ist. Denn dann können die Wellen sanft darauf auslaufen, statt mit zerstörerischer Wucht dagegen anzubranden. Nach der Katastrophe von 1717 und nach einer weiteren 1825 wurden die Deiche an der ganzen Küste in dieser Art verstärkt und erhöht – mit Erfolg. Seitdem blieb die Küstenlinie in ihrer heutigen Form erhalten, obwohl der Meeresspiegel etwa 10 bis 20 Zentimeter pro Jahrhundert anstieg.

## Lesetipps

Als es in Hamburg 1962 zur Katastrophe kam, waren sich viele Menschen der Gefahr durch das Meer nicht mehr bewusst. Sie wurden nachts von den Fluten überrascht, denn hundert Jahre lang war nichts Schlimmes geschehen. Seit 1962 werden die Deiche ständig erhöht und dem aktuellen Stand des Meeresspiegels angepasst. So hielten sie auch der Sturmflut von 1976 stand, bei der das Wasser am Pegel in St. Pauli mit 6,45 Metern sogar 75 Zentimeter höher stand als 1962.

### Generalplan Küstenschutz – denn neue Sturmfluten kommen

Jetzt sagen Klimaforscher in ihren Szenarien voraus, dass der Meeresspiegel bis 2100 vermutlich noch einmal um etwa 40 Zentimeter steigen wird. Damit wäre der Anstieg rund dreimal so schnell wie in der Vergangenheit. Dazu kommt, dass die Windstärken der Stürme zunehmen sollen. Simulationen möglicher Wetterlagen in der Zukunft zeigen, dass dadurch bei starken Sturmfluten das Wasser zusätzlich bis zu 30 Zentimeter höher in die deutsche Bucht gedrückt werden kann. Die beiden Effekte führen zusammen genommen also dazu, dass die Sturmfluten Ende des nächsten Jahrhunderts etwa 70 Zentimeter höher ausfallen können als heute. Dagegen rüsten die Küstenbewohner auf – im Generalplan Küstenschutz von Schleswig-Holstein aus dem Jahr 2001 ist festgelegt, dass neue Deiche schon heute 50 Zentimeter höher gebaut werden. Manche Wissenschaftler fordern allerdings, dass der Klimazuschlag mindestens 65 Zentimeter betragen müsste.

#### ZU: DER TREIBHAUSEFFEKT

##### Klimawandel im 20. und 21. Jahrhundert:

**Welche Rolle spielen Kohlendioxid, Wasser und Treibhausgase wirklich?**

Herausgeber: Bayerische Akademie der Wissenschaften

Reihe: Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Band 28

Verlagsangaben: Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 2005, ISBN: 3-89937-051-1

Sonstiges: Broschiert, 136 Seiten, 22 Farb- und 36 Schwarzweiß-Abbildungen,

Preis: 25,00 Euro

Redet man über das Klima, kommt das Gespräch auch schnell zu den so genannten Klima-Skeptikern. Meist ist mit deren Argumenten wenig anzufangen; z. B. weil sie grundlegende physikalische Prozesse nicht verstehen oder aber als Lobbyisten eindeutig parteiisch sind.

Einen seriösen Ansatz hat die Kommission für Ökologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften gefunden und anerkannte Klimawissenschaftler und prominente Kritiker zu einem intensiven Gedankenaustausch zusammengebracht.

Das Büchlein spiegelt den Verlauf dieser Tagung wider. Das Interessante dabei ist, dass auch die Diskussionen der Teilnehmer im Anschluss an die Vorträge dokumentiert sind. Wer tiefer in die Diskussion um den Klimawandel eintreten möchte, sollte dieses Buch lesen. Das Inhaltsverzeichnis und Zusammenfassungen der einzelnen Beiträge finden Sie online: [http://www.pfeil-verlag.de/o8oko/d3\\_51d.php](http://www.pfeil-verlag.de/o8oko/d3_51d.php)

#### ZU: WENN DAS KLIMA KIPPT

##### „Klima“ aus der Reihe „Spektrum Dossier“

Verlag: Spektrum der Wissenschaft

ISBN: 3-936278-01-6

Seiten: 92 Seiten, zahlreiche Abbildungen

Erschienen: 01.2002

Preisinfo: 8,90 Eur

darin S.53-55 „Wie die Sahara zur Wüste wurde“ von Martin Claußen und Claudia Kubatzki

##### „Die Erde im Treibhaus“ aus der Reihe „Spektrum Dossier“

Verlag: Spektrum der Wissenschaft

ISBN: 3-936278-93-8

Erschienen: 1. Auflage 11.03.2005

Preisinfo: 8,90 Eur

Die Dossiers sind eine Sammlung von Artikeln aus dem populärwissenschaftlichen Magazin „Spektrum der Wissenschaft“.

#### ZU: WENN DAS MEER KOMMT: ÄNGST VOR DER STURMFLUT

##### „Sturmflut“

Autor: Marcus Petersen, Hans Rohde

Verlagsangaben: Wachholtz-Verlag Neumünster,

ISBN: 3529061638

Sonstiges: 148 Seiten

Preis : ca. 23 Euro

Einer der Klassiker zum Thema Sturmfluten und Küstenschutz. Die Autoren zählen in allen Einzelheiten auf, wie sich die Menschen in den letzten 2000 Jahren gegen das Meer gewehrt haben, was man über welche Sturmfluten weiß, warum es 1962 in Hamburg zu einer Katastrophe kam und warum sie weniger Opfer gefordert hat als die Katastrophen früher.

# Linktipps

## ALLGEMEIN:

Das Max-Planck-Institut für Chemie hat eine riesige Klima-Enzyklopädie zusammengestellt. Auf etwa 140 Seiten erhält man einen umfassenden Überblick zum Thema	<a href="http://www.atmosphere.mpg.de/enid/Themenwahl_io.html">http://www.atmosphere.mpg.de/enid/Themenwahl_io.html</a>
Deutsche Zusammenfassung des IPCC-Berichts 2001	<a href="http://www.ipcc.ch/pub/nonun.htm">http://www.ipcc.ch/pub/nonun.htm</a>
Häufig gestellte Fragen zum Thema Klima – und Antworten vom Max-Planck-Institut für Meteorologie	<a href="http://www.mpimet.mpg.de/de/web/education/faq.html">http://www.mpimet.mpg.de/de/web/education/faq.html</a>
Das Thema Treibhauseffekt und Klima ist höchst komplex. Antworten auf häufige Fragen und Missverständnisse hat Prof. Stefan Rahmstorf zusammengefasst	<a href="http://www.pik-potsdam.de/~stefan/leser_antworten.html">http://www.pik-potsdam.de/~stefan/leser_antworten.html</a>
„Die Thesen der Klimaskeptiker – was ist dran?“ Prof. Stefan Rahmstorf hat sich in diesem ausführlichen Beitrag intensiv mit einem „Lehrtext“ eines Klima-Skeptikers auseinandergesetzt und kommentiert (und „seziert“) ihn Absatz für Absatz	<a href="http://www.pik-potsdam.de/~stefan/alvenleben_kommentar.html">http://www.pik-potsdam.de/~stefan/alvenleben_kommentar.html</a>
Klima und Energie – eine hervorragende Materialsammlung auf dem Hamburger Bildungsserver	<a href="http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/infothek.htm">http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/infothek.htm</a>
Einführung in die Chemie und Physik der Atmosphäre – eine Vorlesung der Universität Zürich	<a href="http://www.iac.ethz.ch/staff/koop/einf-chem-phys-atmos/einf-chem-phys-atmos.html">http://www.iac.ethz.ch/staff/koop/einf-chem-phys-atmos/einf-chem-phys-atmos.html</a>
Das Gesamt-Skript kann auch als 85-seitiges PDF-Dokument heruntergeladen werden (etwa 7,5 MB)	<a href="http://www.iac.ethz.ch/staff/koop/einf-chem-phys-atmos/gesamtevorlesung.pdf">http://www.iac.ethz.ch/staff/koop/einf-chem-phys-atmos/gesamtevorlesung.pdf</a>

## ZU: EIN GLETSCHER WIRD VERPACKT

*Mehr zu Klimawandel und der Gletscherentwicklung im Alpenraum:*

Homepage der Gesellschaft für ökologische Forschung mit einer beeindruckenden vergleichenden Fotosammlung historischer und aktueller Gletscheraufnahmen	<a href="http://www.gletscherarchiv.de/">http://www.gletscherarchiv.de/</a>
Homepage der Kommission für Gletscherkunde (Glaziologie) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Unter dem Stichwort „Publikationen“ gibt es eine Menge Hintergrundinformationen zur Gletscherentwicklung – auch für die Zugspitze	<a href="http://www.glaziologie.de/">http://www.glaziologie.de/</a>
Ein Schweizer Klimaportal mit auch für Laien sehr gut verständlichen Informationen zum Klimawandel, nicht nur zum Thema Gletscher	<a href="http://fm.proclim.ch/im/index.html">http://fm.proclim.ch/im/index.html</a>
Das schweizerische Gletschermessnetz mit aktuellen Daten und Analysen zur Entwicklung der Schweizer Gletscher	<a href="http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/">http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/</a>
Informationen über Andermatt	<a href="http://www.anderlatt.ch/">http://www.anderlatt.ch/</a>

## ZU: KLIMAWANDEL VOR DER HAUSTÜR

Mehr zum Thema Klimawandel in der Pflanzen- und Tierwelt: Das Bundesamt für Naturschutz hat eine umfangreiche Studie zur Veränderungen von Ökosystemen durch den Klimawandel herausgebracht	<a href="http://www.bfn.de/07/pm_42_2004.htm">http://www.bfn.de/07/pm_42_2004.htm</a>
---	---

Hochwasser-Seite des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, NRW mit zahlreichen Dokumenten als Download, unter anderem Detail-Karten zu hochwassergefährdeten Gebieten	<a href="http://www.murl.nrw.de/sites/arbeitsbereiche/boden/hochwasser.htm">http://www.murl.nrw.de/sites/arbeitsbereiche/boden/hochwasser.htm</a>
Die entsprechende Seite des Umweltbundesamtes, mit weiteren Links	<a href="http://www.umweltbundesamt.de/rup/hochwasserschutz.html">http://www.umweltbundesamt.de/rup/hochwasserschutz.html</a>
Homepage des KLIWA Projektes, also des „Kooperationsvorhaben Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“. Ein groß angelegtes Forschungsprojekt unter Beteiligung zweier Bundesländer mit einer Fülle von Informationen zu Wetter, Wasserkreislauf und Klimawandel	<a href="http://www.kliwa.de/">http://www.kliwa.de/</a>
Eine Klimastudie für Nordrheinwestfalen, herausgegeben von der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten	<a href="http://www.loebf.nrw.de/Bilder_und_Dokumente/PDF_Dokumente/Fachbeitraege_Abteilung_2/klimastudie_nrw.pdf">http://www.loebf.nrw.de/Bilder_und_Dokumente/PDF_Dokumente/Fachbeitraege_Abteilung_2/klimastudie_nrw.pdf</a>

## ZU: DER TREIBHAUSEFFEKT

Klimawandel und Treibhauseffekt – ausführliche und verständliche Darstellung	<a href="http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/treibhaus/">http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/treibhaus/</a>
Ausführliche, kapitelweise Einführung in den Treibhauseffekt – teilweise mit Animationen	<a href="http://www.treibhauseffekt.com/treibhauseffekt/index.htm">http://www.treibhauseffekt.com/treibhauseffekt/index.htm</a>
Wie funktioniert der Treibhauseffekt? – eine wissenschaftliche Erklärung vom Max-Planck-Institut für Meteorologie	<a href="http://www.mpimet.mpg.de/de/web/education/faq3.html">http://www.mpimet.mpg.de/de/web/education/faq3.html</a>
Der natürliche Treibhauseffekt – 16-seitiges PDF-Dokument (0,5 MB) mit Abbildungen für die, die intensiver in das Thema einsteigen möchten.	<a href="http://www.mpimet.mpg.de/de/web/education/downloads/BRPrometz280z.pdf">http://www.mpimet.mpg.de/de/web/education/downloads/BRPrometz280z.pdf</a>

## ZU: WENN DAS KLIMA KIPPT

Homepage des Klimaforschers Stefan Rahmstorf	<a href="http://www.pik-potsdam.de/~stefan/">http://www.pik-potsdam.de/~stefan/</a>
Hamburger Bildungsserver: Sehr umfangreiche Sammlung von Informationen zum Klimawandel, u.a. Grafiken aus dem IPCC-Bericht	<a href="http://lbs.hh.schule.de/welcome.phtml?unten=/klima/infothek.htm">http://lbs.hh.schule.de/welcome.phtml?unten=/klima/infothek.htm</a>
IPCC-Report 2001: „Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger“ auf Deutsch	<a href="http://www.ipcc.ch/pub/nonun.htm">http://www.ipcc.ch/pub/nonun.htm</a>
IPCC-Report 2001: „The Scientific Basis“ (Englisch)	<a href="http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/">http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/</a>
Offizieller Report des IPCC zu den Entwicklungsszenarien (Englisch)	<a href="http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm">www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm</a>

## ZU: MÜLLKIPPEN FÜR KOHLEN-DIOXID

Mehr zum deutschen Forschungsprogramm zur Kohlendioxidendlagerung	<a href="http://www.coorettec.de">http://www.coorettec.de</a>
---	---

## ZU: WENN DAS MEER KOMMT: ANGST VOR DER STURMFLUT

Mehr zur Geschichte der Wurten	<a href="http://www.burg-bederkesa.de/">http://www.burg-bederkesa.de/</a>
Mehr zur Geschichte des Deichbaus	<a href="http://www.deutsches-sielhafenmuseum.de">http://www.deutsches-sielhafenmuseum.de</a>