

„Fest steht, dass bereits jetzt schon die Auswirkungen des Klimawandels in einer bislang so nicht vorhersehbaren Geschwindigkeit zu Veränderungen in Flora und Fauna und damit ganzer Lebensgemeinschaften geführt haben.“

Karin Blessing,  
Umweltakademie Baden-Württemberg



## Zum Kuckuck mit dem Klimawandel!

Der Kuckuck, der wie kaum ein anderer Vogel Eingang in Tradition, Liedgut und sogar die Sprache Deutschlands gefunden hat, ist nur noch selten mit seinem charakteristischen Ruf zu vernehmen. Bekannt ist der über 30 cm große Waldvogel dafür, dass er seine Eier anderen Vögeln unterschiebt und sich so der Aufzucht seines Nachwuchses entledigt (Abb. 1). Intensive Bewirtschaftung von Wäldern und Feldern sowie der Bau von Straßen und Siedlungen schränken seinen Lebensraum und den der Wirtstiere ein.



Abb. 1: Der junge Kuckuck wird oft deutlich größer als seine Pflegeeltern, hier ein Teichrohrsänger.

Quelle: Per Harald Olsen - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1887345>

Doch der Kuckuck könnte auch zum Opfer des Klimawandels werden: Während viele Zugvögel ihre Reisepläne an den vorgezogenen Frühling anpassen, orientiert sich der Kuckuck an der Tag- und Nachtlänge. Wenn er im Sommerquartier eintrifft, brüten die anderen Vögel bereits und lassen sich nicht mehr so leicht ein Kuckucksei unterschieben.

Andere Experten widersprechen: Der Kuckuck sei meistens schon da, wenn die Wirtsvögel ihr Nest bauen. Ansonsten räume er das Gelege aus, so dass die Wirtin erneut Eier legen müsse. Das Beispiel zeigt: Über manche ökologischen Folgen des Klimawandels kann man durchaus streiten.

## Wälder im Klimawandel-Stress



Abb. 2: Abgestorbene Fichte im Schurwald östlich von Stuttgart.  
Foto: Bareis

Längere Vegetationsperioden und die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration begünstigen das Wachstum der Wälder in Mitteleuropa. Milde Winter können jedoch die Gefahr von Schäden durch Spätfröste erhöhen. Witterungsextreme, vor allem Dürren, Hitze und Stürme, schwächen und schädigen Bäume (Abb. 2). Wenn diese Wassermangel leiden, kommt ihre Harzproduktion ins Stocken. Die Bäume werden dann z. B. für Borkenkäfer anfälliger. Besonders gefährdet ist die Fichte, der »Brotbaum« der heimischen Forstwirtschaft und begehrtes Bauholz (Abb. 2). Ein Forstwissenschaftler: »Die Wärme macht die Fichte schwach und den Käfer stark.«

## Der Klimawandel beeinflusst Arten und Ökosysteme

Kein Phänomen im Bereich von Lebewesen ist so eindeutig dem Klimawandel zuzuordnen wie Veränderungen beim **Lebensrhythmus** (Abb. 3), etwa ein früherer Blühbeginn bei Pflanzen. Der Klimawandel kann auch die **Verbreitungsgebiete** von Arten verschieben, vergrößern oder verkleinern. Von 1990 bis 2008 haben sich in Europa Bereiche mit gleicher Temperatur um rund 250 km nach Norden verschoben. Schmetterlinge verlegten in derselben Zeit ihre Gebiete nur um durchschnittlich 114 km nach Norden.

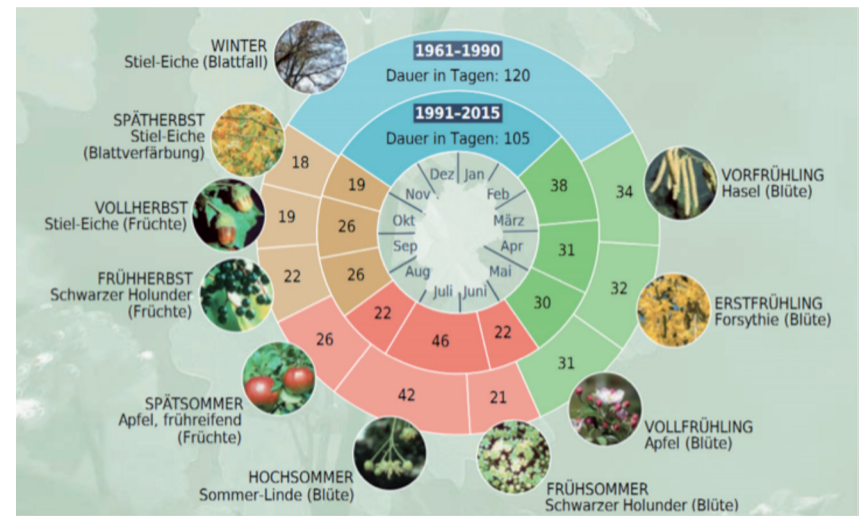


Abb. 3: Die verschiedenen Entwicklungsphasen der Pflanzen sind phänologischen Jahreszeiten zugeordnet. Beim Vergleich der Zeiträume 1961–1990 und 1991–2015 wird die Verschiebung der phänologischen Jahreszeiten deutlich.

[http://www.dwd.de/DE/leistungen/nationaler\\_klimareport/download\\_report\\_2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](http://www.dwd.de/DE/leistungen/nationaler_klimareport/download_report_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=4) Creative Commons: DWD (2016): Nationaler Klimareport 2016. 2. korrigierte Auflage, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland, 44 Seiten, S. 30.

Auch **Beziehungen zwischen Arten** kann der Klimawandel aus dem Gleichgewicht bringen, z. B. bei der Bestäubung. Werden **Bestäuber** und **Pflanze** weiterhin zur selben Zeit am selben Ort sein, oder werden sie sich in **Lebensrhythmus** oder **Verbreitungsgebiet** auseinanderentwickeln, weil sie unterschiedlich anpassungsfähig oder mobil sind? Fallen Bestäuber aus, wäre mit **spürbaren Ernteausfällen** und **Artenschwund** zu rechnen.



Abb. 4: Der Klimawandel führt auch zu früherer Apfelblüte.  
Foto: Bareis

### Fazit:

Der Kuckuck und die heimischen Wälder stehen hier stellvertretend für Tausende von erforschten Beispielen, wie der Klimawandel Arten und Ökosysteme beeinflussen kann und für Zigtausende bisher unerforschte. Da **Lebewesen Zeit zur Anpassung brauchen**, ist beim Klimawandel die **Geschwindigkeit genauso wichtig wie das Ausmaß**. Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte der Klimawandel die **stärkste Bedrohung für die Biodiversität der Erde** darstellen.



“ **Der Klimawandel ist die größte Bedrohung der Weltgesundheit im 21. Jahrhundert.** “  
 Aus einem Übersichtsartikel weltweit führender Experten zu Fragen von Klimawandel und Gesundheit

## ■ Allergien

Die Pollen des Beifußblättrigen Traubenkrauts (*Ambrosia artemisiifolia*) gehören zu den stärksten Allergie-Auslösern (Abb. 1 – 4). Eine einzelne Pflanze kann bis zu einer Milliarde Pollenkörner produzieren. Schon elf Pollen je Kubikmeter gelten als starke Belastung. Die nur 0,02 Millimeter großen Pollenkörner verbreiten sich morgens während der Blütezeit von Juli bis Oktober. Die aus Nordamerika stammende Pflanze macht sich seit Anfang der 1990er Jahre in Gärten, an Bahndämmen, Wegrändern und auf Schutthalden in Süddeutschland und um Berlin herum breit. Sie wird häufig **durch verunreinigtes Vogelfutter verbreitet**. Die einjährige krautige Pflanze erreicht eine Wuchshöhe von 20 bis 150 Zentimetern. Einer Studie zufolge könnte die Zahl der Ambrosia-Allergiker in Europa infolge des Klimawandels von derzeit 33 Millionen auf mehr als das Doppelte ansteigen.



Abb. 1: Beifußblättriges Traubenkraut (*Ambrosia artemisiifolia*)  
 Von Brunga - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7761086>



Abb. 2: Die Ambrosia breitet sich oft entlang von Bahndämmen aus.  
 Von StefanJefnaer - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=38032997>

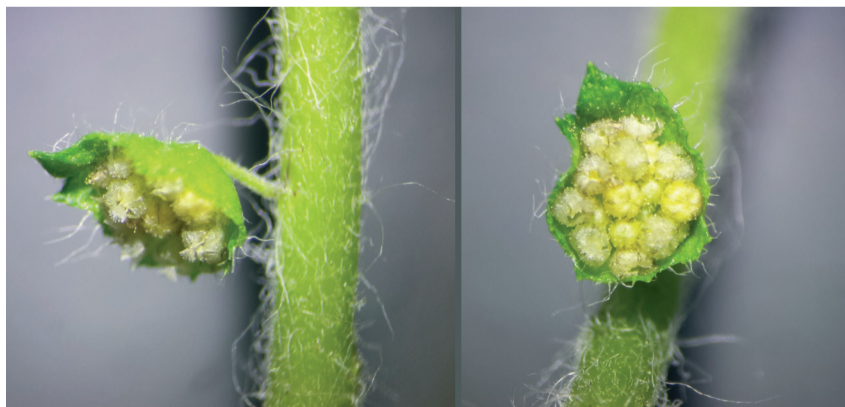


Abb. 3: Korb mit männlichen Blüten, die Pollen enthalten.  
 Von StefanJefnaer - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51215685>

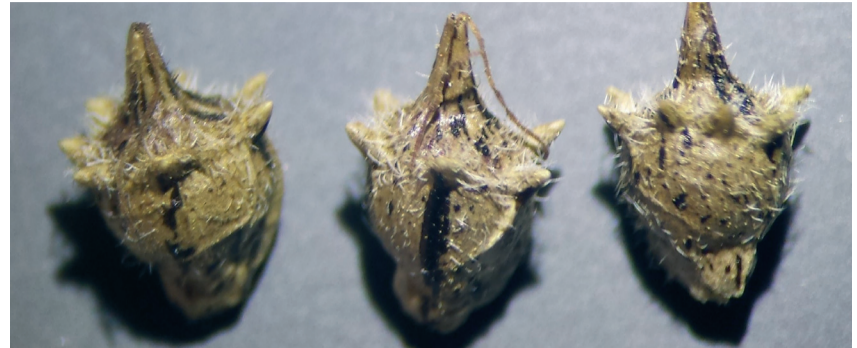


Abb. 4: Reife Fruchtkörbe der Ambrosia, wie sie auch in Vogelfutter vorzufinden sind.  
 Von StefanJefnaer - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=51405104>

In Deutschland leiden 15% der Menschen unter Heuschnupfen. **Der Klimawandel verfrüht die Pollensaison**, weil sich in Europa die Frühlingsphasen durchschnittlich um etwa zwei Wochen vorverlegt haben. Er verlängert die Pollensaison zudem und kann die **Ausbreitung allergieauslösender Arten**, etwa der Ambrosia, fördern.

## ■ Plagegeister und ihre Krankheitserreger

Auch Infektionen können sich im Zuge der Erwärmung in Deutschland ausbreiten: Etwa die von **Zecken** übertragene **FSME-Hirnhautentzündung** und die **Lyme-Borreliose**. Seit 2007 ist die tagaktive, extrem aggressive **Asiatische Tigermücke** (*Aedes albopictus*) vereinzelt auch in Deutschland anzutreffen (Abb. 5). In den Tropen verbreitet sie weit über 20 Krankheitserreger, auch das gefürchtete **Denguefieber**. Aufgrund des Klimawandels wird die Tigermücke zwischen 2030 und 2050 in weiten Teilen Europas die nötigen Lebensbedingungen vorfinden. Eine Mücke kann einen Krankheitserreger jedoch nur weitertragen, wenn sie zunächst auf einen Infizierten trifft. Bei einem gut ausgebauten Gesundheitssystem sollte das selten der Fall sein.



Abb. 5: Die auffällig schwarz-weiß gemusterte Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*)  
 Von James Gathany, CDC - Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3670049>

## ■ Hitzewellen

Im Rekordsommer 2003 sind in Europa zusätzliche 70.000 Menschen gestorben, was die größte Naturkatastrophe in Mitteleuropa seit Menschengedenken darstellt. Allein in Baden-Württemberg waren über 2.000 zusätzliche Tote zu beklagen (Abb. 6). Seit 1880 hat sich in Westeuropa die Dauer von Hitzewellen verdreifacht (Station 7 und 9).

### Fazit: Wie Klimawandel die Gesundheit beeinflusst

Der Klimawandel beeinflusst die Gesundheit auf direkten und auf indirekten Wegen: Häufigere und heftigere Hitzewellen, Dürren, Überflutungen und Stürme können unmittelbar Leib und Leben der Menschen gefährden. Zudem kann der Klimawandel bei Dürren und Fluten die Wasserqualität verschlechtern, bei Waldbränden die Luft verschmutzen oder die Lebensraumgrenzen von schädlichen Tier- und Pflanzenarten (z. B. der Tigermücke) verschieben und dadurch indirekt die Gesundheit beeinträchtigen. **Gesundheitliche Folgen des Klimawandels sind Verletzungen, Unterernährung, Vergiftungen, Infektionskrankheiten** (z. B. die von Zecken übertragene FSME-Hirnhautentzündung), **Atemwegserkrankungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Allergien** (z. B. gegen die Pollen des Beifußblättrigen Traubenkrauts) und **psychische Erkrankungen**. Gesundheit hängt jedoch von vielen Faktoren, u. a. von der Qualität des Gesundheitssystems, ab. Dies erschwert konkrete Aussagen zu den gesundheitlichen Folgen des Klimawandels. Schätzungen zufolge sterben schon heute jährlich mehr als 300.000 Menschen an den Folgen des Klimawandels, in 20 Jahren womöglich doppelt so viele. Weit größer ist die Zahl der Todesfälle, die auf Luftverschmutzung infolge der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas zurückzuführen sind, im Jahr 2012 laut WHO weltweit etwa sieben Millionen Menschen – ein weiteres Argument für Klimaschutz.



Die Verbrennung fossiler Energieträger hat die Treibhausgase in der Atmosphäre auf ein beispielloses Niveau getrieben. Wir nähern uns beim Klima gefährlichen Kipp-Punkten, die, einmal überschritten, zu abrupten und unumkehrbaren Veränderungen im Erdsystem führen können. Das macht die Herausforderung so einzigartig: Mit dem Klima kann man um keinen Aufschub verhandeln.

Horst Köhler,  
deutscher Bundespräsident von 2004 bis 2010. Zeit, 15.12.2016



### Ein rasanter Klimawandel in der Vorzeit

Vor 55 Mio. Jahren wandelte sich das Klima der Erde rasant. Innerhalb von höchstens tausend Jahren gelangte eine große Menge CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre, die Temperatur stieg um ca. fünf bis sechs Grad an. Folge war ein **Massensterben von Arten**. Was war die Ursache? Möglicherweise sind Methaneisvorkommen am Meeresboden instabil geworden. Im Methaneis, auch Methanhydrat genannt, sind Methanmoleküle in winzigen Käfigen aus Eiskristallen gefangen (Abb. 1 und 2). Es ist nur unter hohem Druck und bei Temperaturen unter zwei bis vier Grad stabil, im Ozean ab 200 m Tiefe. Dort lagert es in den Sedimenten der Kontinentalabhänge. Das im Methanhydrat enthaltene Methan bzw. sich daraus bildendes CO<sub>2</sub> könnte dann in die Atmosphäre gelangt sein. In einer Kettenreaktion hat die dadurch ausgelöste Erwärmung immer mehr Methanhydrat freigesetzt.

### Treibhausgase in ungeahnten Mengen

Methanhydrat ist auch heute in ungeheuren Mengen an den Ozeanabhängen vorhanden. Insgesamt steckt darin vielleicht **doppelt so viel Kohlenstoff** wie in allen anderen fossilen Brennstoffen zusammen und 15mal so viel wie derzeit in Form von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre vorhanden ist (Abb. 3).

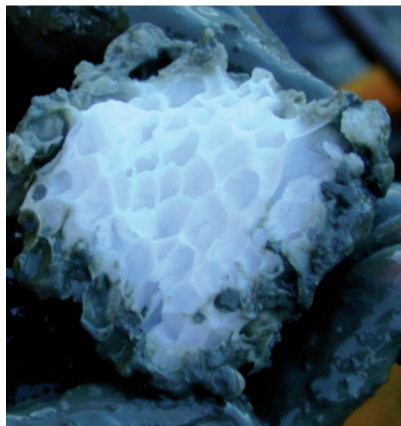


Abb. 1: Methaneis

Quelle: Wuse007 - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8277125>

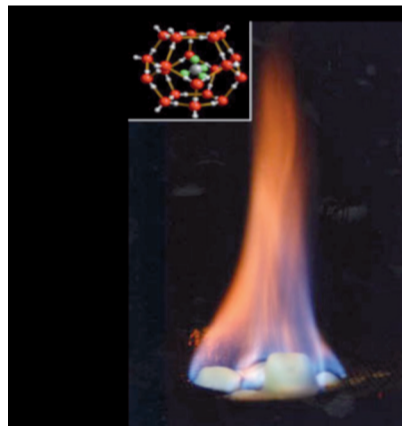


Abb. 2: Brennendes Methaneis, oben: Gitterstruktur des Methaneises

Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1410278>

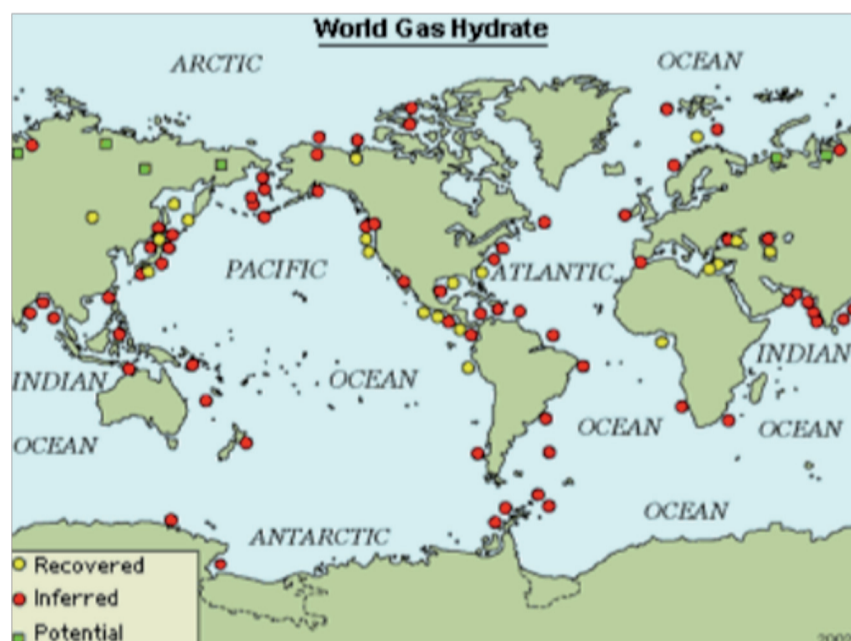


Abb. 3: Bekannte, indirekt nachgewiesene und mögliche Methaneisvorkommen.

Von U.S. Geological Survey, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1933897>

### Ein Selbstverstärkungseffekt

Bei stark voranschreitender Erderwärmung könnte langfristig erneut Methan aus Methaneis freigesetzt werden (Abb. 4). Mögliche Folgen sind:

- ▶ unterseeische Erdbeben und Tsunamis, wenn Kontinentalabhänge durch das Tauen instabil werden.
- ▶ eine Kettenreaktion, bei der immer mehr Methanhydrat instabil wird, was die Erde weiter erwärmen würde, es käme zu einem **Selbstverstärkungseffekt** mit beschleunigtem Klimawandel und katastrophalen Folgen für Mensch und Natur.

Ein solches Szenario wird als ein **sehr unwahrscheinliches, jedoch nicht auszuschließendes Risiko** angesehen. Methan ist nicht nur an den Abhängen der Ozeane, sondern zusammen mit Kohlenstoff auch im **Dauerfrostboden** arktischer Gebiete gespeichert. Falls dieser auftaut, könnten ebenfalls erhebliche Mengen an Methan und CO<sub>2</sub> freigesetzt werden.

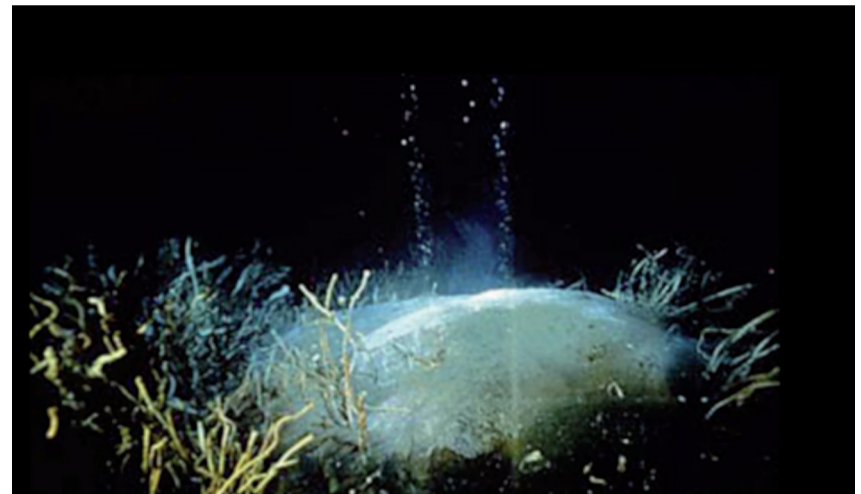


Abb. 4: Aus einem Brocken Methaneis tritt Methan aus.

Von Unbekannt - Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6213878>

### Fazit:

Der Klimawandel kann ins Galoppieren kommen, wenn Kipp-schalter umgelegt werden, d. h., wenn kritische Temperaturschwellen überschritten werden. Dabei kann sich der Zustand eines Kippelements drastisch verändern, z. B. kann das arktische Meereis schmelzen, das dunklere Wasser wirkt erwärmend. Dies kann den Klimawandel verstärken, weitere Kipp-Punkte könnten überschritten werden. Es besteht ein Restrisiko, dass bedingt durch den Klimawandel riesige Mengen an Methanhydraten aus den Ozeanen instabil werden und Methan freisetzen.

Weitere Beispiele für Kipp-Elemente sind das Eis Grönlands, das Eis der Westantarktis (die kritische Temperaturschwelle für sein Schwinden könnte bereits überschritten sein), der Nordatlantikstrom, der Amazonas-Regenwald, die tropischen Korallenriffe (die kritische Temperaturschwelle dürfte bald erreicht sein), der indische Monsun, die nördlichen Nadelwälder und der Jetstream. Manche dieser Kippelemente können sich bei einer späteren Abkühlung, z. B. auf vorindustrielles Niveau, erholen, sind also reversibel. Andere, etwa die Korallenriffe oder Regenwälder können dies nicht, weil z. B. ausgestorbene Arten für immer verloren sind. Solche Kippelemente nennt man irreversibel.



## Geo-Ingenieure als Klimaklempner?

„ Wir erkennen arrogante Ahnungslosigkeit durch ihre Bereitschaft, in zu großem Maßstab zu arbeiten und daher zu viel aufs Spiel zu setzen.“

Wendell Berry, amerikanischer Philosoph, Farmer und Dichter



### Mit Schwefeldioxid das Sonnenlicht dimmen

Der Nobelpreisträger Paul Crutzen schlug im Jahr 2006 vor, die Erdatmosphäre abzukühlen, indem künstlich Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) in die Stratosphäre ausgebracht wird, damit diese mehr Sonnenlicht reflektiert. Dies für den Fall, dass es nicht zu erfolgreichem Klimaschutz kommen und der Klimawandel sich beschleunigen sollte. Dass das Verfahren wirken kann, zeigte im Jahr 1991 der Ausbruch des Vulkans Pinatubo auf den Philippinen. Millionen Tonnen  $\text{SO}_2$  stiegen in die Stratosphäre auf, die in etwa 10 km Höhe beginnt. Im globalen Mittel wurde es für ein Jahr um  $0,4^\circ\text{C}$  kälter, bis die Schwefelverbindungen wieder nach unten sanken. Der Mensch könnte mit Flugzeugen  $\text{SO}_2$  in die Stratosphäre emittieren, oder mit einem 25 km langen Schlauch, der von Heliumballons getragen wird, dies für geschätzte Kosten von lediglich 250 Millionen US-Dollar pro Jahr (Abb. 1). Das Ganze hätte aber Nebenwirkungen: Ein blauer Himmel würde der Vergangenheit angehören. Stratosphärisches Ozon, unser UV-Schutz, könnte abgebaut werden. Und: Der Wasserkreislauf, z. B. der afrikanische und asiatische Sommermonsun, würde stark beeinflusst werden, was die Nahrungsversorgung von Milliarden Menschen gefährden würde.

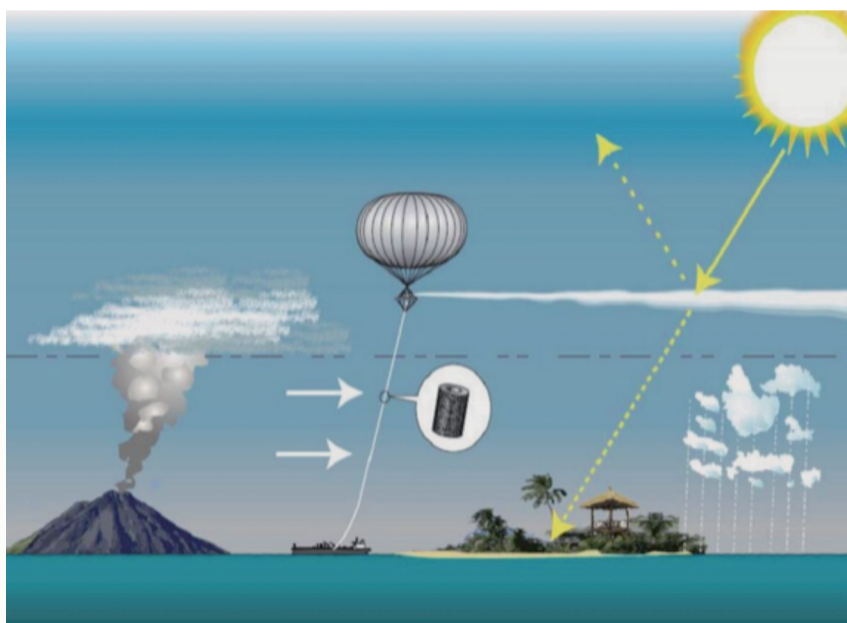


Abb. 1: Schwefeldioxid in die Stratosphäre ausbringen – eine vorgeschlagene Technik zur Reduktion der Sonneneinstrahlung.

Quelle: Von Hughhant - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16490430>

### Mit Eisen das Meer düngen und die $\text{CO}_2$ -Konzentration senken

Die Idee klingt bestechend: Man düngt diejenigen Regionen der Weltmeere mit Eisen, in denen Eisenmangel das Wachstum der Algen beschränkt. Die Algen könnten sich daraufhin üppig vermehren und dabei  $\text{CO}_2$  binden (Abb. 3). Bei ihrem Absterben würden die Algen in die Tiefe der Ozeane sinken und mit ihnen große Mengen an Kohlenstoff. Ob der Effekt langfristig anhalten würde und welche ökologischen Nebenwirkungen eintreten können, ist allerdings ungeklärt.



Abb 2: Auch eine Form von Strahlungsmanagement: Eisbecher mit Schirmchen

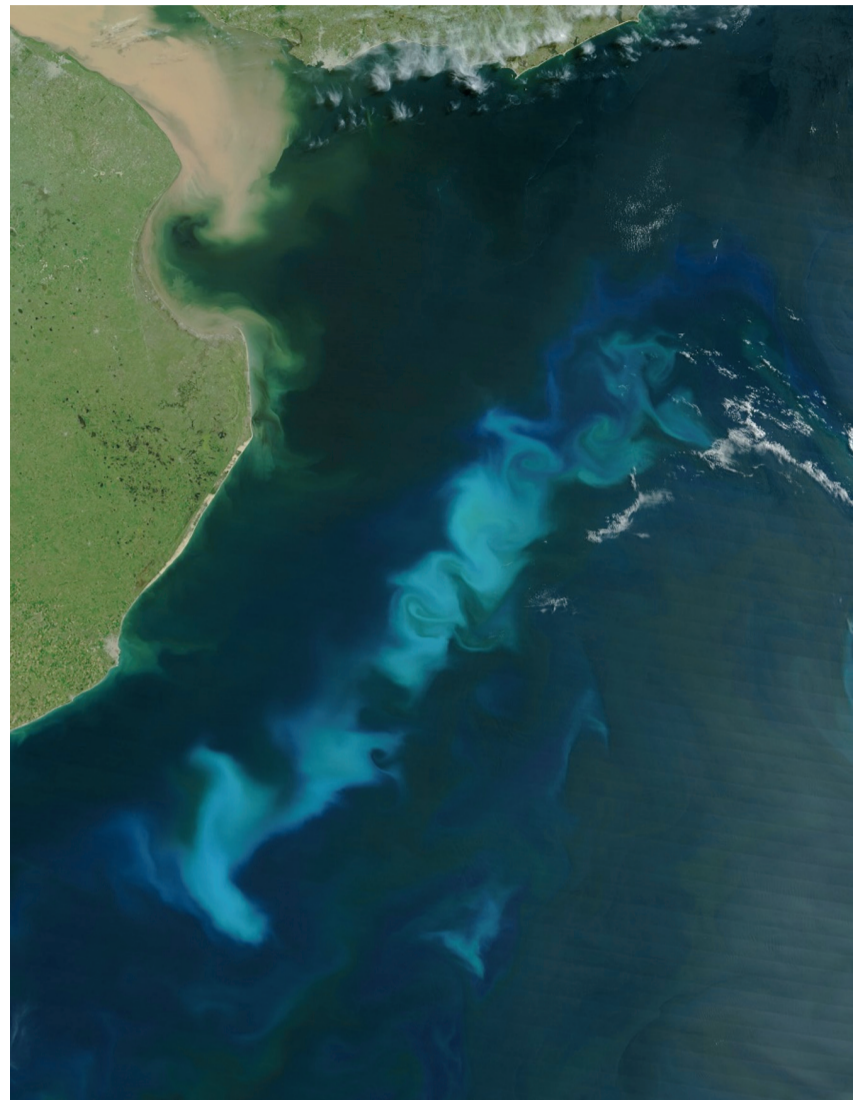


Abb. 3: Algenblüte vor der argentinischen Küste mit den Abmessungen von 300 mal 50 Meilen

Quelle: NASA - [http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img\\_id=17189](http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=17189), Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=735302>

### Geo-Engineering – große Ingenieurskunst?

Die dargestellten Beispiele veranschaulichen Geo-Engineering. Das sind gezielte, meist großtechnische Eingriffe in das Klimageschehen. Man unterscheidet

- ▶ Strahlungs- oder Radiation Management (RM): Dies soll die Strahlungsbilanz und damit die Temperatur der Erde direkt beeinflussen.
- ▶ Carbon Dioxide Removal (CDR): Das Auslösen biologischer, chemischer oder physikalischer Prozesse soll den atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Gehalt senken.

#### Fazit:

##### Geo-Engineering verursacht Probleme:

- ▶ Bei allen menschlichen Eingriffen ist mit z. T. unvorhersehbaren Nebenwirkungen, z. B. mit Niederschlagsänderungen, zu rechnen. Im globalen Maßstab kann das verhängnisvoll für die ganze Menschheit sein!
- ▶ Jede Maßnahme kann einzelnen Staaten / Menschen nützen, anderen schaden. Wer entscheidet? Steigt dadurch die Gefahr von Kriegen?
- ▶ Maßnahmen des Strahlungsmanagements ändern nichts an der drohenden Versauerung der Weltmeere durch  $\text{CO}_2$  (Kohlensäure).
- ▶ Manche Geo-Engineering-Maßnahmen sind extrem teuer und praktisch undurchführbar.
- ▶ Über Geo-Engineering zu reden, kann eine Strategie sein, sich unbequemer Fragen nach Klimaschutz zu entledigen, eine Art Beruhigungsspiel für die Öffentlichkeit.

##### Geo-Engineering bietet eine Chance:

- ▶ Sollte sich das Klima unerwartet schnell wandeln oder alle Verhandlungen für Klimaschutz scheitern, könnte Geo-Engineering der letzte Strohhalm sein, an den man sich noch klammern kann.



„ Die möglichst weitgehende Verringerung der Klimaanfälligkeit wird als Anpassung bezeichnet.“

Stefan Rahmstorf, Hans-Joachim Schellnhuber, Klimaforscher

## ■ Anpassung an den Klimawandel: eine Alternative?

Geo-Engineering birgt zahlreiche Risiken (Kap. 22) – Warum also nicht den Klimawandel hinnehmen und sich daran anpassen? Z. B. mit dem **Bau von Dämmen** an Flüssen und Küsten (Abb. 1 – 2). Man kann auch gleich **schwimmende Häuser** oder sogar schwimmende Inseln errichten, die zusammen mit dem Meeresspiegel ansteigen können.



Abb. 1: Als Anpassung an den steigenden Meeresspiegel kann man Deiche prinzipiell erhöhen.  
Foto: Bareis

Vergrößerte Kanalisationen, Rückhaltebecken und unbebaute Überflutungsflächen schützen bei Starkregen vor Überflutungen in den Orten. Mit dem Bau von Meerwasserentsalzungsanlagen und der Züchtung trockenheitstoleranter Nutzpflanzen kann man sich ein Stück weit an Wassermangel und Dürren anpassen. **Klimaanlagen** schützen bei Hitzewellen. Wenn alles nichts hilft, bleibt als letzte Anpassungsmaßnahme die **Umsiedlung** oder **Flucht**. Manche halten gar eine Auswanderung ins Weltall für denkbar.



Abb. 2: Deich mit Flussmündung.  
Welchem Meeresspiegelanstieg kann man mit höheren Deichen noch trotzen? Die Antwort hängt auch davon ab, wie die Flüsse aus dem Hinterland bei steigendem Meeresspiegel noch ins Meer gelangen können.  
Foto: Bareis

## Anpassung an den Klimawandel ist nicht immer einfach

Wie problematisch Anpassung sein kann, zeigt sich beispielhaft in Venedig (Station 16): Seit 2003 sind riesige Barrieren (MO.S.E = modulo sperimentale elettromeccanico) in Bau, welche die Lagune vor dem eindringenden Mittelmeerwasser schützen sollen (Abb. 4 und 5). Die Fluttore werden jedoch die Durchmischung des Lagunenwassers beeinträchtigen. Dies kann erhebliche **ökologische Auswirkungen auf die Lagune** haben, eines der wichtigsten Schutzgebiete für Zugvögel in Europa.

Zu den unerwünschten Nebenwirkungen gehören auch **Bauverzögerungen, Kostenexplosionen und Korruption**: Die für 2017 geplante Inbetriebnahme musste auf 2021 verschoben werden. Die bisher angefallenen Kosten liegen bei über acht Milliarden Euro. Die Realisierung scheint dennoch vor unüberwindlichen Problemen zu stehen. Zudem sind 2014 der Bürgermeister von Venedig und über 30 andere Politiker und Unternehmer wegen mutmaßlicher Korruption im Zusammenhang mit MO.S.E. im Umfang von rund einer Milliarde Euro verhaftet worden.



Abb. 3: DAS MO.S.E.-Projekt: Fluttore vor Venedig (Venezia).  
Von Magistrato alle Acque di Venezia - Consorzio Venezia Nuova -  
<http://www.salve.it/wiki/>, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24448018>

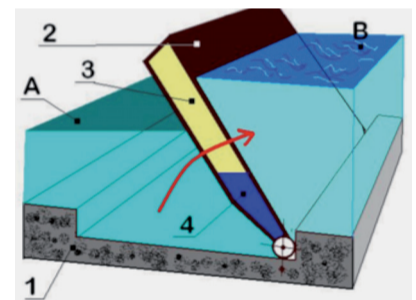


Abb. 4: Funktionsweise eines Flutors beim MO.S.E.-Projekt.  
A= Lagune, B = Adriatisches Meer, Betonsockel (1). Das Fluttore (2) richtet sich auf, wenn Pressluft (3) das im Fluttore enthaltene Wasser (4) verdrängt.  
Von I. Nerijp, CC BY-SA 3.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2359583>

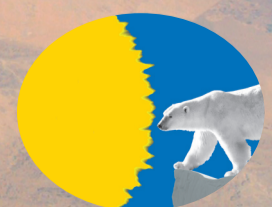
## Fazit:

### Die Anpassung an den Klimawandel bietet Chancen:

- ▶ *Klimaanpassung ermöglicht, einige schlimme Folgen des Klimawandels zu vermeiden.*
- ▶ *Klimaanpassung erfordert nicht zwingend eine globale Zusammenarbeit. Jedes Land mit entsprechenden finanziellen Mitteln kann selbst entscheiden, wieviel und welche Anpassung es für notwendig hält.*

### Klimaanpassung wirft aber auch Probleme auf:

- ▶ *An welchen Klimawandel soll man sich denn anpassen? Wird es zwei, drei oder fünf Grad wärmer werden? Bis wann wird der Meeresspiegel wie stark ansteigen? Wo wird es um wie viel trockener und wo um wie viel feuchter werden? All das lässt sich nicht genau abschätzen.*
- ▶ *Ethisches Problem: Darf man Menschen zumuten, ihre Heimat, z. B. Inseln, aufgeben zu müssen, nur weil uns die Anpassung an den Klimawandel bequemer als seine Vermeidung erscheint?*
- ▶ *Auch Anpassungsmaßnahmen führen häufig zu Nebenwirkungen.*
- ▶ *Bei einem starken Klimawandel werden Anpassungsmaßnahmen unbezahlbar oder gänzlich unmöglich sein – Es gibt Grenzen der Anpassung!*



Bei den aktuellen Klimaverhandlungen geht es um die Wahl zwischen Menschenrechten und Wohlstandsrechten.  
Wolfgang Sachs

## Der Ausweg

Geo-Engineering ist hoch riskant, Anpassung an den Klimawandel bei starker Erwärmung kaum bezahlbar. Die Menschheit steht somit beim Klimawandel vor zwei Aufgaben:

- ▶ Das Unbewältigbare vermeiden, also einen extremen Klimawandel durch Klimaschutz verhindern.
- ▶ Das Unvermeidbare bewältigen, also sich an den unvermeidbaren Teil des Klimawandels anpassen.

## Auf wie viel Grad soll der Klimawandel begrenzt werden?

Im Pariser Klimaabkommen von 2015 wurde ein äußerst ehrgeiziges Ziel vereinbart: Der globale Temperaturanstieg soll bei deutlich unter 2°C liegen, und es sollen Anstrengungen unternommen werden, den Anstieg auf 1,5°C zu begrenzen. Letzteres würde die Risiken für die Ernährungssicherheit, für die Stabilität von Eisschilden und für das Überleben von empfindlichen Ökosystemen wie den Korallenriffen deutlich verringern.

## Wieviel CO<sub>2</sub> darf noch ausgestoßen werden?

Definiert man den Zielbereich von Paris wie der Klimaforscher Stefan Rahmstorf als irgendwo zwischen einer 50-prozentigen Chance auf 1,5°C und einer 2/3 Wahrscheinlichkeit, unter den 2°C zu bleiben, dann liegt das hierfür noch zur Verfügung stehende CO<sub>2</sub>-Budget im Bereich 150 bis 1050 Milliarden Tonnen (Gigatonnen, Gt) CO<sub>2</sub>. Der untere Teil dieser Spanne ist praktisch unerreichbar: Wir emittieren derzeit 39 Gt pro Jahr, sodass die 150 Gt bei unveränderten Emissionen bis 2020 ausgeschöpft sind. Im oberen Bereich dieser Spanne laufen wir Gefahr, sogar die Zwei-Grad-Grenze zu überschreiten. Nehmen wir die Mitte dieser Spanne: ein Budget von 600 Gt (Abb. 1).

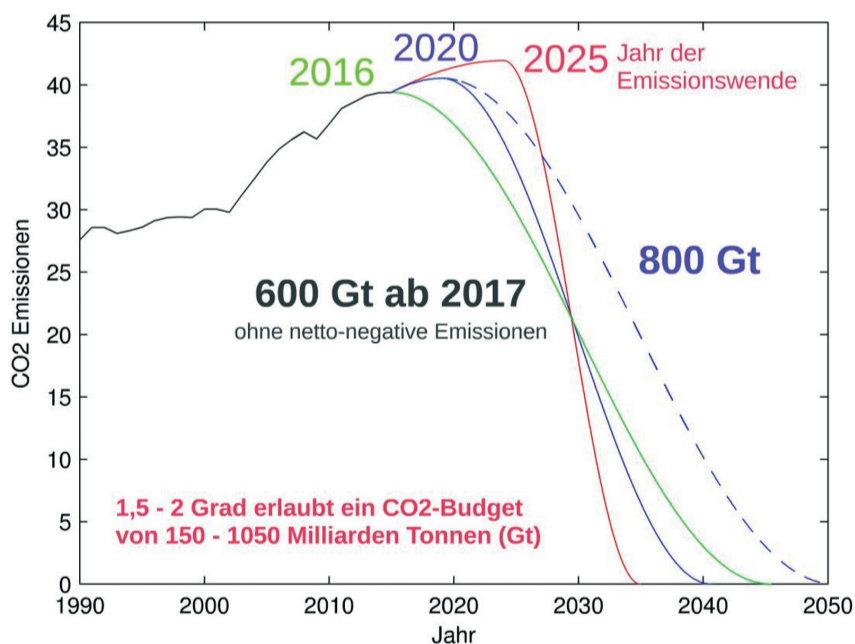


Abb. 1: Exemplarische Emissionspfade mit einem Gesamtausstoß von jeweils 600 Gt CO<sub>2</sub>, aber mit unterschiedlichen Jahren, in denen der Wendepunkt erreicht wird. Gestrichelt: ein Beispiel mit 800 Gt CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Grafik: Stefan Rahmstorf, Creative Commons BY-SA 4.0. <http://scilogs.spektrum.de/kimalounge/koennen-wir-die-globale-erwaermung-rechtzeitig-stoppen/>

Man sieht: Das 600-Gt-Budget ist sehr knapp bemessen. Seine Einhaltung erfordert praktisch die sofortige globale Emissionswende (grüne Kurve), spätestens aber bis 2020 (blaue Kurve). Kommt die Wende erst 2025, erfordert dies einen Absturz auf Nullemission innerhalb von zehn Jahren. Selbst wenn wir uns noch 800 Gt statt 600 Gt erlauben: Die gestrichelte Linie zeigt, dass wir auch dann bis vor 2050 bei Nullemissionen landen müssen, zumindest, falls wir den Emissionsgipfel erst im Jahr 2020 überschreiten. Dieses Emissionsbudget entspricht pro Mensch der Erdbevölkerung kaum mehr als hundert Tonnen CO<sub>2</sub>. Zum Vergleich: Der derzeitige jährliche Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Ausstoß liegt im Weltdurchschnitt bei etwa fünf Tonnen, das Emissionsbudget würde bei unverändertem Ausstoß also gerade noch bis zum Jahr 2037 reichen.

## Die derzeitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrieländer übersteigen den Weltdurchschnitt z. T. beträchtlich (Abb. 2). In Deutschland lag der Pro-Kopf-Ausstoß an CO<sub>2</sub> bei über neun Tonnen und damit auch deutlich über dem EU-Durchschnitt.

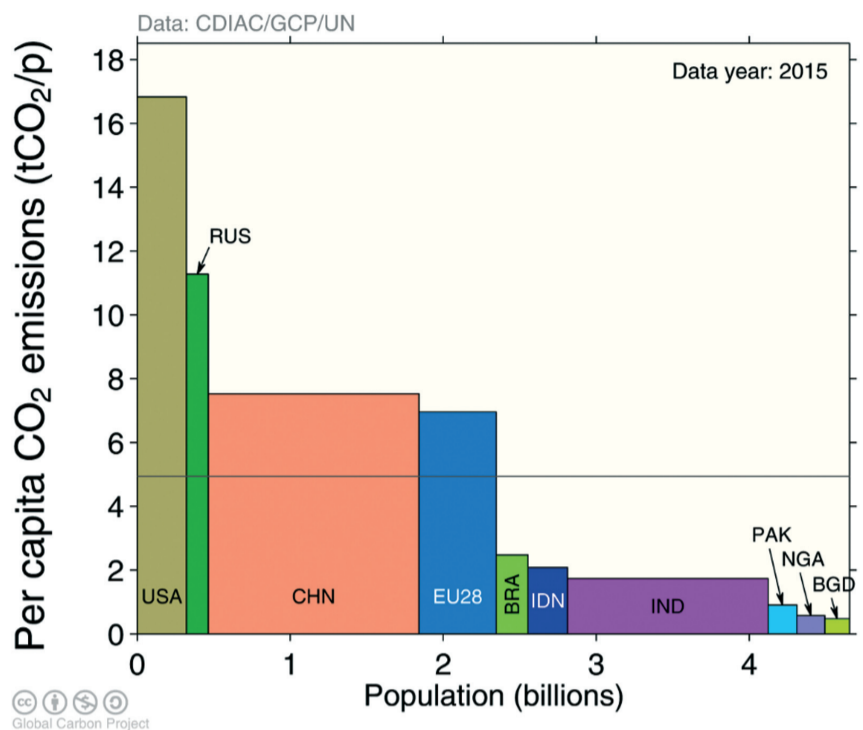


Abb. 2: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Jahres 2015 für Energie und Zementproduktion (ohne Landnutzungsänderungen) pro Mensch in den zehn bevölkerungsreichsten Ländern (y-Achse). Die Fläche der Rechtecke veranschaulicht die Gesamtmenge, die die Länder jeweils ausgestoßen haben. Auf der x-Achse ist die Bevölkerungszahl aufsummiert, die genannten Länder haben zusammen fast fünf Milliarden Einwohner. Dargestellte Staaten: USA (Pro-Kopf-Ausstoß 16,8 t), Russland, China (7,1 t), EU (28 Mitgliedsländer: 7,0 t), Brasilien, Indien (1,7 t), Pakistan, Nigeria, Bangladesch. Die waagrechte Linie kennzeichnet das globale Mittel von 5 t. [http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/16/files/GCP\\_CarbonBudget\\_2016.pdf](http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/16/files/GCP_CarbonBudget_2016.pdf)  
Zahlen aus <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/16/highlights.htm>

## Die Dekarbonisierung der Weltwirtschaft

Einen Fahrplan für die Dekarbonisierung der Wirtschaft bis 2050 haben Johann Rockström und Kollegen skizziert (»carbon law«): Ab 2020 müssen die fossilen Emissionen jedes Jahrzehnt halbiert werden. An dieser Faustformel kann jedes Land, jede Firma, jeder Haushalt seinen Fortschritt messen. Der Aufsatz benennt eine Reihe von konkreten Maßnahmen, unter anderem:

- ▶ Subventionen für fossile Energie (derzeit 500-600 Milliarden Dollar pro Jahr!) bis 2020 beenden
- ▶ Mindestpreis für CO<sub>2</sub>-Emission von über 50 Dollar pro Tonne CO<sub>2</sub>
- ▶ Spätestens ab 2030 keine Zulassung von Verbrennungsmotoren mehr
- ▶ Reiche, kohle-intensive Staaten müssen beim Kohleausstieg vorangehen
- ▶ Sofortiger Stopp für neue Kohlekraftwerke
- ▶ Anteil der Erneuerbaren Energien alle 5 - 7 Jahre verdoppeln, wie bereits in den letzten Jahrzehnten (damit landen wir zwischen 2040 und 2050 bei 100% Erneuerbaren)

## Fazit:

In Paris wurde beschlossen, die Erderwärmung auf deutlich unter 2°C, möglichst sogar auf 1,5°C zu begrenzen. Klimaschutz in diesem Sinn bedeutet, die Treibhausgasemissionen praktisch umgehend zu senken und innerhalb weniger Jahrzehnte die Nullemission zu erreichen.

Im Wesentlichen muss der Klimaschutz in fünf Feldern ansetzen: Wir brauchen eine Energiewende im engeren Sinne als Elektrizitätswende (Stationen 26, 27, 34 - 36), eine Wärmewende (Station 28), eine Konsumwende (Station 29), eine Ernährungswende (Station 30), eine Verkehrswende (Station 31 - 33), und am besten verknüpfen wir dies alles sinnvoll miteinander. Zudem brauchen die tropischen Wälder Schutz. Klimaschutz bietet die Chance, die Probleme des Klimawandels und der Ozeanversauerung an der Wurzel zu packen und stiftet zusätzlichen Nutzen, z. B. saubere Luft und bessere Gesundheit.

