

Robuste Energie- und Klimastrategie

Heinz Stigler, Udo Bachhiesl
Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation / TU Graz

14. 2. 2018

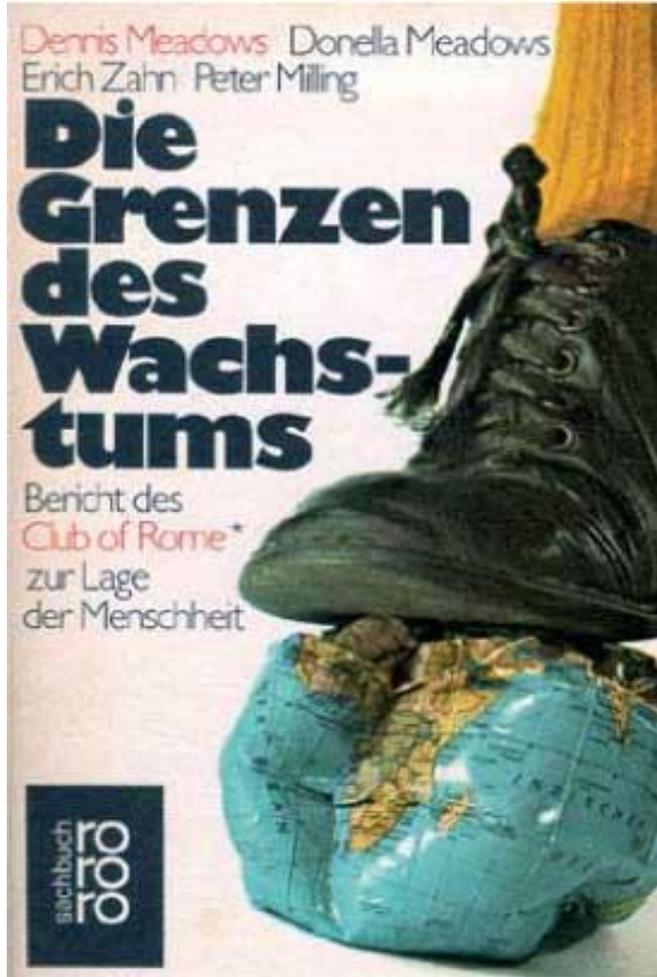
Energie Zentrum Graz

„Robuste Strategien“

What does 'Robust' mean?

Robust is a characteristic describing a system's ability to effectively perform while its variables or assumptions are altered, so a robust concept can operate without failure under a variety of conditions.

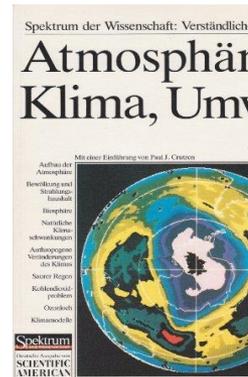
1972



1978

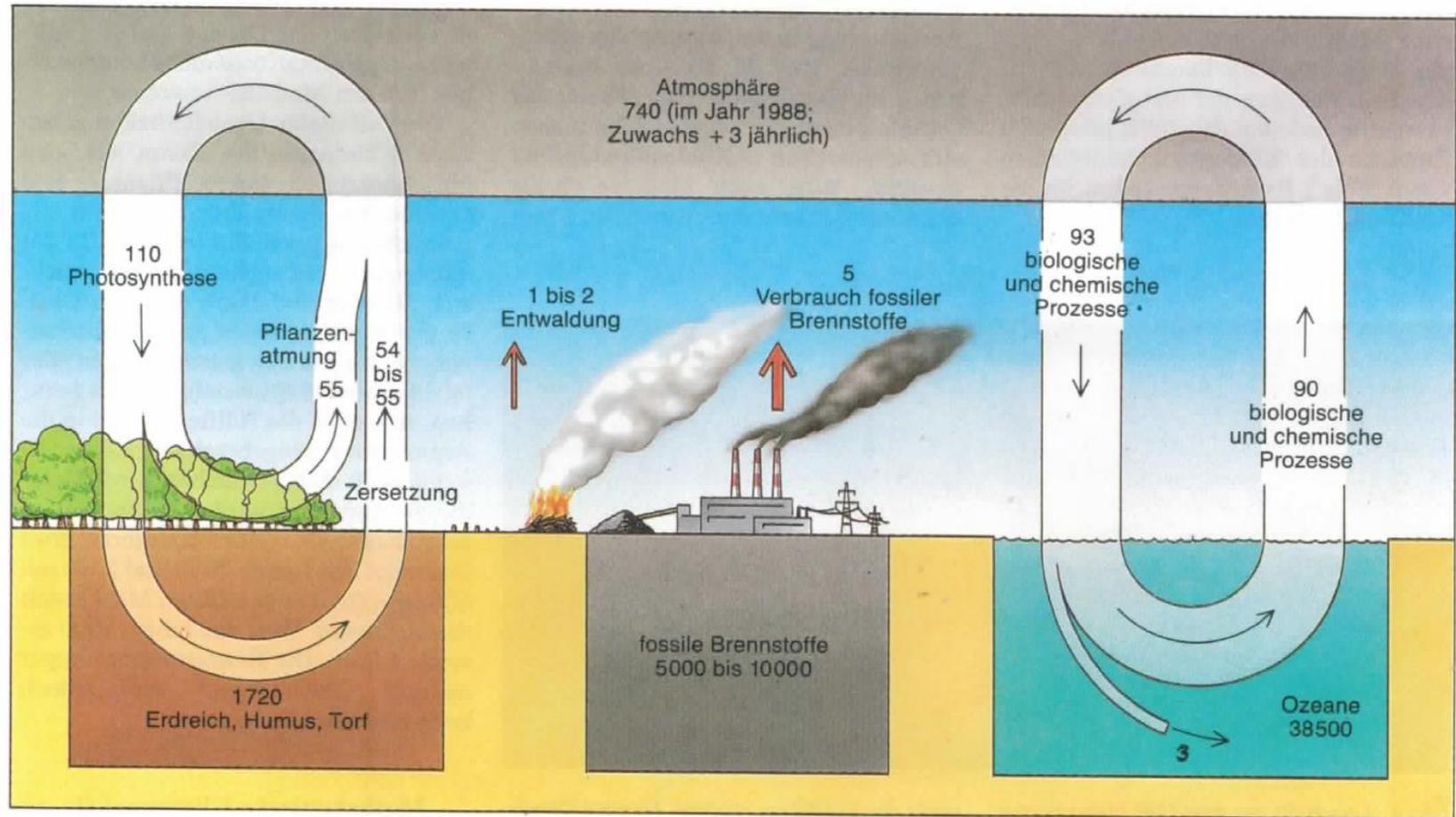


1990



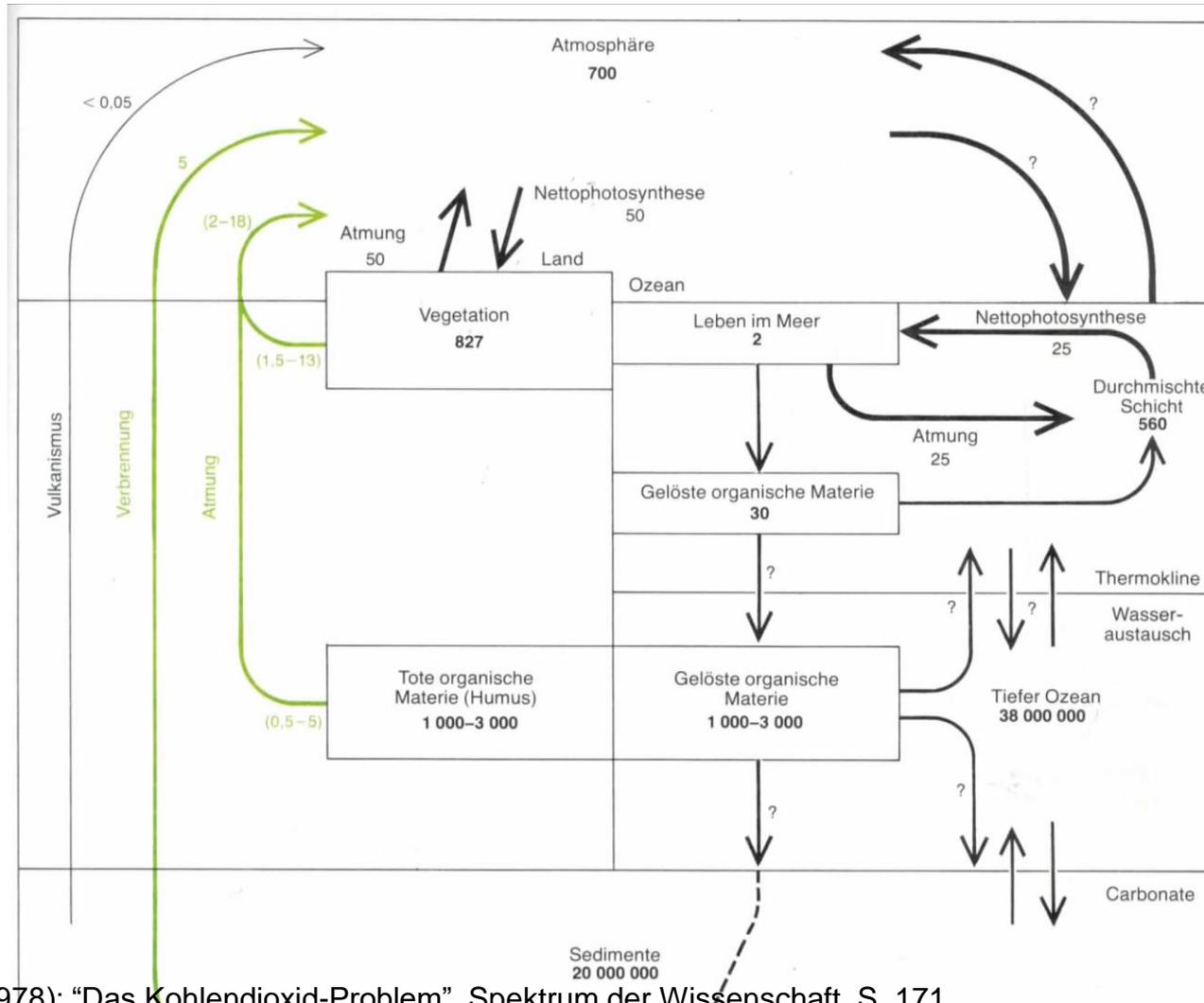
Erst-Edition Spektrum der Wissenschaft 1978
G. Woodwell: **Das Kohlendioxid-Problem**

Globaler Kohlenstoff-Kreislauf



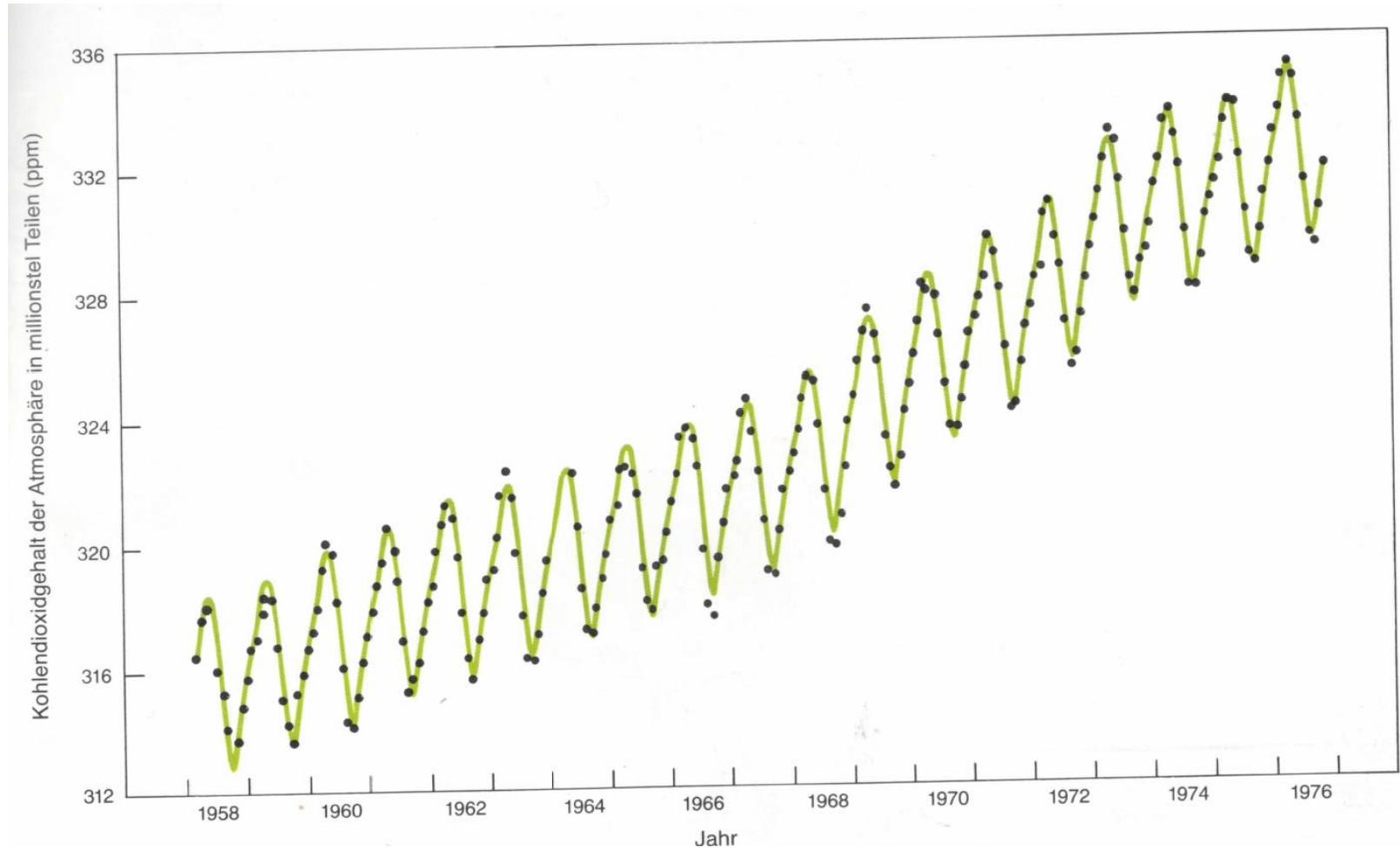
Qu.: Spektrum der Wissenschaft, Nov. 1989: 72

Kohlenstoff-Kreislauf



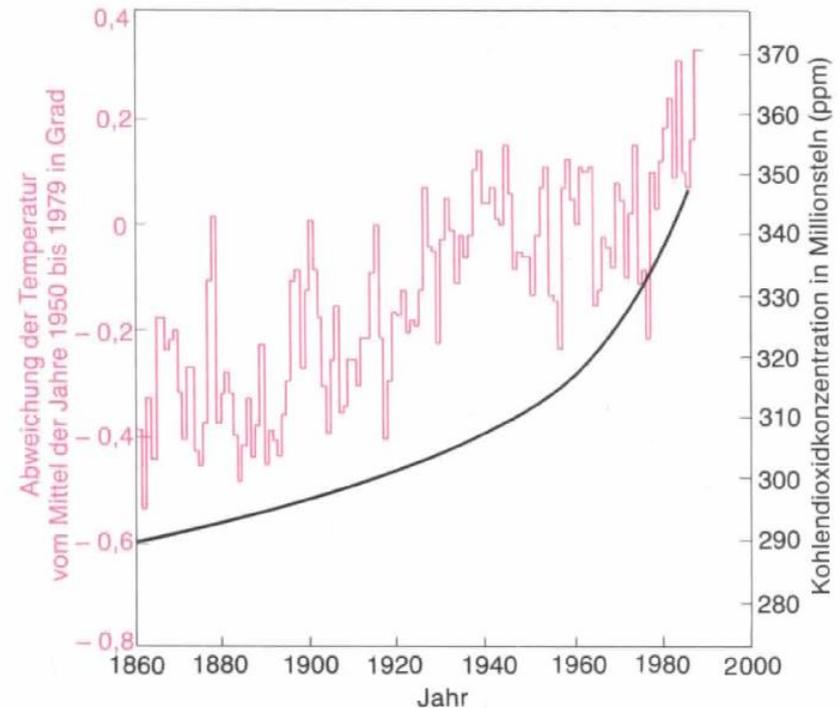
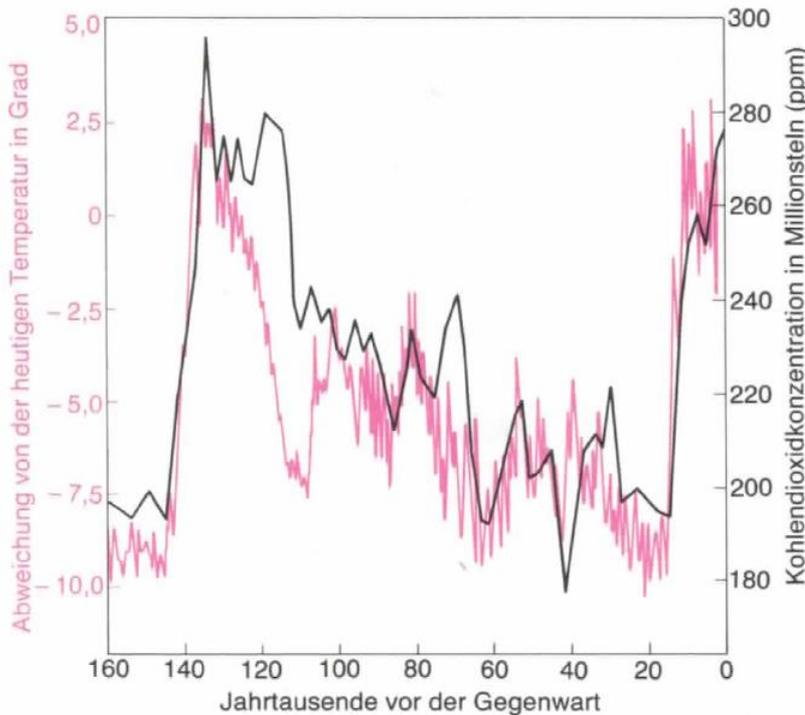
Quelle: G. Woodwell (1978); "Das Kohlendioxid-Problem", Spektrum der Wissenschaft, S. 171

Messreihe vom Mauna Loa



Quelle: G. Woodwell (1978); "Das Kohlendioxid-Problem", Spektrum der Wissenschaft, S. 171

Kohlendioxidgehalt und Temperatur



Quelle: G. Woodwell (1978); Das Kohlendioxid-Problem

Woodwell's Ausblick 1978

von Treibhausgasen durch die Wirtschaft eines Landes oder einer Gruppe von Ländern andere Länder übermäßig schädigt, die weniger zu dem Problem beigetragen haben.

Gegenmaßnahmen

Angesichts dieser vielfältigen Bedrohungen sind drei Arten des Gegensteuerns denkbar. Einige Forscher schlagen technische Maßnahmen vor, um der Klimaänderung entgegenzuwirken – etwa gezielt Staub in die höhere Atmosphäre einzubringen, der das Sonnenlicht dann reflektiert. Aber da schon die ungeplanten Klimaänderungen nicht sicher vorhergesagt werden können, wären das Aktionen aufs Geratewohl. Solche Versuche, in das unabsichtliche globale Klimaexperiment vorsätzlich einzugreifen, könnten ganz andere als die erwünschten Wirkungen haben – oder für jede Klimaverschlechterung verantwortlich gemacht werden, die zufällig zur gleichen Zeit eintritt.

Viele Wirtschaftswissenschaftler plädieren wiederum für Anpassung und raten von Versuchen ab, den Schäden zu vorzukommen oder die Klimaänderung abzuwenden. Sie begründen das damit, daß es bei den großen Unsicherheiten der Klimavorhersagen nicht ratsam sei, große Geldmengen zur Vermeidung von Ereignissen zu investieren, die vielleicht ohnehin nie eintreten. Dagegen sei Anpassung kostengünstig: Infrastrukturen wie Wasserversorgung und Küstenschutz, die angesichts einer Klimaänderung zu modifizieren wären, müßten in jedem Falle wegen natürlicher Abnutzung ersetzt werden, bevor die große Erwärmung eintritt, und könnten bei Bedarf bequem auf die jeweils veränderten Umweltbedingungen zugeschnitten werden.

Passive Anpassung beschränkt sich im wesentlichen darauf, auf die Ereig-

nisse zu reagieren, wenn sie eintreten; aber einige aktive Anpassungsmaßnahmen könnten jetzt schon durchgeführt werden, um künftig erforderliche zu erleichtern. Ein Ausschuß für Klimaänderungen der amerikanischen Wissenschaftsvereinigung AAAS (*American Association for the Advancement of Science*) hat einen weitgehenden, möglicherweise umstrittenen, aber nach meiner Überzeugung vernünftigen Vorschlag für die aktive Anpassung der Wasserversorgung erarbeitet: Die Regierungen und Behörden aller Verwaltungsebenen sollten die technischen Systeme sowie die ökonomischen und rechtlichen Aspekte der Wasserwirtschaft überprüfen, um deren Effizienz und Flexibilität zu vergrößern. Wenn das Klima wärmer wird und sich Niederschlags- und Abflusssummen verändern, würde das Wasser generell knapper und müßte regional besser verteilt werden. Selbst wenn sich das Klima nicht änderte, wäre man mit einer flexibleren Wasserversorgung den normalen Witterungsschwankungen besser gewachsen.

Die dritte, resolute Strategie ist Vorbeugen: Verminderung der Zunahme der Treibhausgaskonzentration. Energiesparmaßnahmen, die Nutzung alternativer Energien oder der Ersatz der Kohle durch Erdgas und andere Brennstoffe mit geringerem Kohlenstoffgehalt könnten die Kohlendioxidemissionen reduzieren. Auch ein Stopp der großflächigen Entwaldung würde dazu beitragen. Ein Produktionsverbot für FCKWs, die wegen ihrer zerstörenden Wirkung auf die stratosphärische Ozonschicht ohnehin in Verfall geraten sind, würde eine weitere Komponente der menschlichen Eingriffe in das Klima ausschalten.

Einen weitreichenden Entwurf für eine internationale Vereinbarung zur Emissionsbeschränkung haben bereits 1976 die amerikanische Anthropologen

Margaret Mead und William W. Kellogg vom NCAR vorgeschlagen: ein „Gesetz zum Schutz der Luft“, das die Kohlendioxidemissionen unter einem weltweiten Höchstwert halten würde, indem jedem Staat nur bestimmte Emissionsmengen erlaubt würden.

Vertrauen auf die Marktkräfte oder auf politische Vorgaben?

Vorschläge für sofortiges Handeln sind umstritten, weil sie oft umfangreiche, sofort fällige Investitionen als Versicherung gegen künftige Ereignisse fordern, deren Einzelheiten äußerst ungewiß sind. Gibt es einfache Richtlinien, die uns bei der Entscheidung helfen können, für welche Vorsorge- oder Anpassungsmaßnahmen wir unsere verfügbaren Mittel einsetzen sollen? Ich halte Maßnahmen für sinnvoll, die auf jeden Fall Vorteile bringen, selbst wenn die Klimaänderungen nicht wie vorhergesagt eintreten.

Die effektivere Energienutzung ist ein gutes Beispiel für diese Strategie. Effektivere Nutzung der fossilen Brennstoffe wird die Anreicherung des Kohlendioxids in der Atmosphäre verlangsamen; aber selbst wenn die Abhängigkeit des Klimas vom Kohlendioxid überbewertet sein sollte – was wäre verschwendet?

Effektivität ist fast immer wirtschaftlich sinnvoll, und eine Einschränkung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe würde auch den sauren Regen und die Luftverschmutzung in den Städten verringern sowie die Abhängigkeit vieler Staaten von den Förderländern lockern. Die Erschließung alternativer Energiequellen, die Überarbeitung der Wasserrechte, die Züchtung dürreresistenter Nutzpflanzen, internationale Abkommen über den Handel mit Nahrungsmitteln und anderen klimaabhängigen Gütern – all diese Schritte würden auch

Wo bleibt das Positive?

Ich werde oft gefragt, ob ich nicht zu pessimistisch sei mit der Aussage, es sei unmöglich, eine Klimaänderung abzuwenden. Beim gegenwärtigen Stand der Dinge sehe ich in der Tat keine realistische Strategie, die Welt noch vor einer Erwärmung um ein oder zwei Grad zu bewahren.

Wesentlich, durch unmittelbare Investitionen die Armut zu bekämpfen und Entwicklungshilfe zu leisten als durch künstlich niedrig gehaltene Energiepreise, in denen die Kosten der durch den Energieverbrauch verursachten Umweltschäden nicht enthalten sind.

Einige befürworten, daß die freie Marktwirtschaft und nicht der Staat durch Verordnungen oder Steueranreize die effektivere Energienutzung oder auch den Verzicht auf FCKWs durchsetzen sollte. Aber man kann vernünftigerweise eine Marktwirtschaft nicht „frei“ nennen, wenn sie die Kosten der Umweltbelastung durch Güterproduktion oder Dienstleistungen außer acht läßt. Auch konservative Verfechter der Marktwirtschaft räumen ein, daß „das Wirtschaftlichkeitsdenken durch planarisches Bewußtsein ersetzt werden müsse, wenn die nationale oder globale Sicherheit auf dem Spiel steht.“

Und hier steht wirklich die Sicherheit auf dem Spiel, wie uns die Folgen einer globalen Temperaturerhöhung um mehrere Grad in den nächsten 100 Jahren zeigen. Zusätzlich zu den vorhergesagten Gefahren könnte uns dieses „Treibhaus-Jahrhundert“ weitere Überraschungen bescheren: einen verstärkten

und die Verbreitung energiesparender und umweltfreundlicher Technologien müßten deren wesentliche Kennzeichen sein. Dadurch könnte eine erheblich stärkere Treibhauserwärmung (zusammen mit vielen anderen Umweltschädigungen) verhindert werden.

Die industrialisierte Welt hat wahrscheinlich während der nächsten Jahrzehnte jährlich Hunderte von Milliarden Dollar zu investieren, und zwar im Inland wie auch durch finanzielle und technische Hilfe in den Entwicklungsländern, um eine stabile Welt zu erreichen und zu bewahren. Es ist leicht, sich über die Aussichten einer internationalen Initiative dieser Größenordnung pessimistisch zu äußern, aber vor kurzem schien ein Abbau der Streitkräfte von NATO und Warschauer Pakt in Europa auch noch undenkbar; jetzt halte ich eine Truppenreduzierung für möglich, sogar für wahrscheinlich. Vielleicht eröffnen die finanziellen Mittel, die durch ein solches Abkommen freizuwürden, und das Beispiel, das es für die internationale Zusammenarbeit darstellen würde, den Weg zu einer Welt, in der das Treibhaus-Jahrhundert nur noch in den Microchips der Supercomputer existiert.

Stefan-Boltzmann-Gesetz

$$T = \sqrt[4]{\frac{0,7 * P}{\sigma A}} = 255 \text{ K} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$$

Stefan-Boltzmann-Konstante σ

$$\sigma = 5,6 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \cdot 10^{15}$$

bei Albedo der Erde von im Mittel **0,367** ergeben sich **246 K (-27°C)**

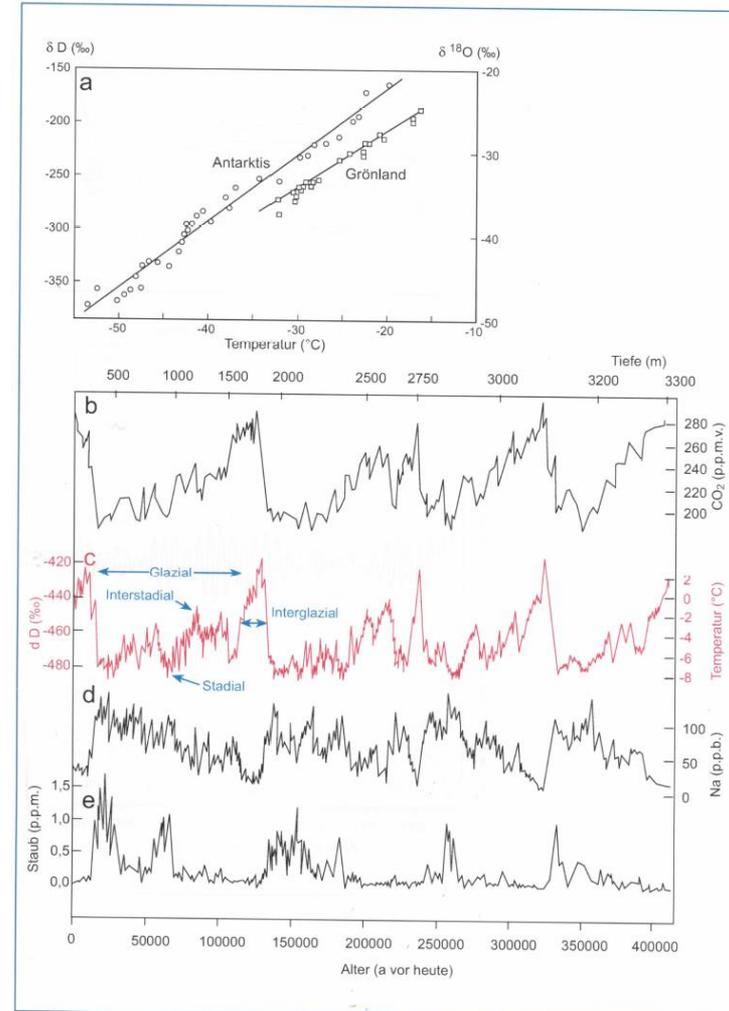
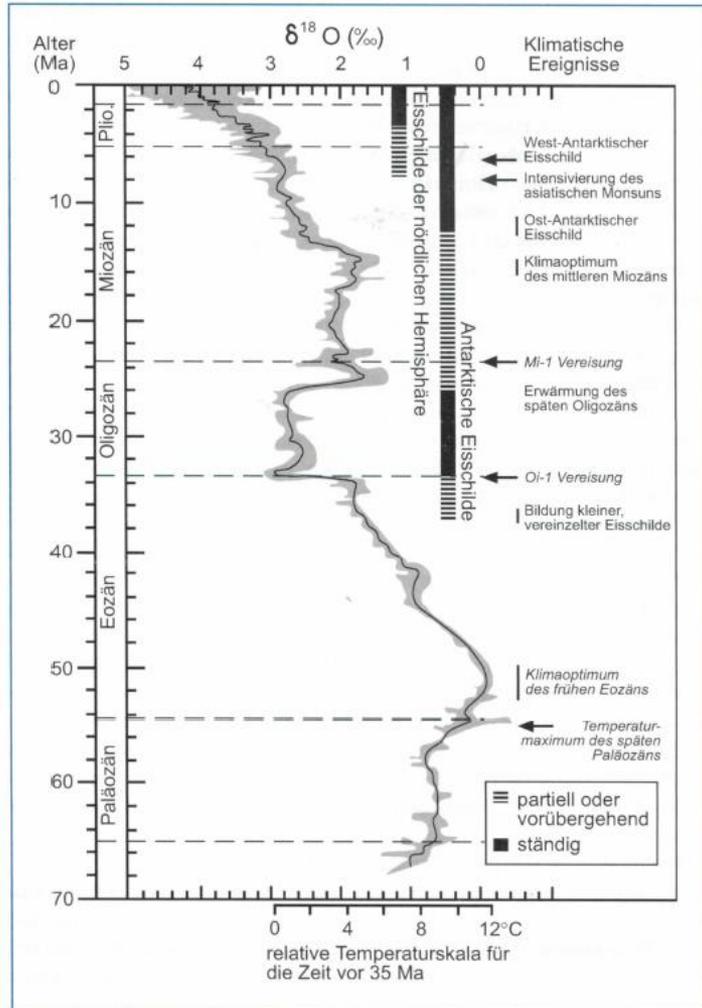
Sonneneinstrahlung = $5,4 \cdot 10^{24}$ J/a (= 5,4 YJ/a) = $0,17 \cdot 10^{18}$ W (= 0,17 EW)

Durchschnittstemperatur am Boden durch starken atmosphärischen

Treibhauseffekt bzw. Gegenstrahlung bei etwa **288 K (+15°C)**

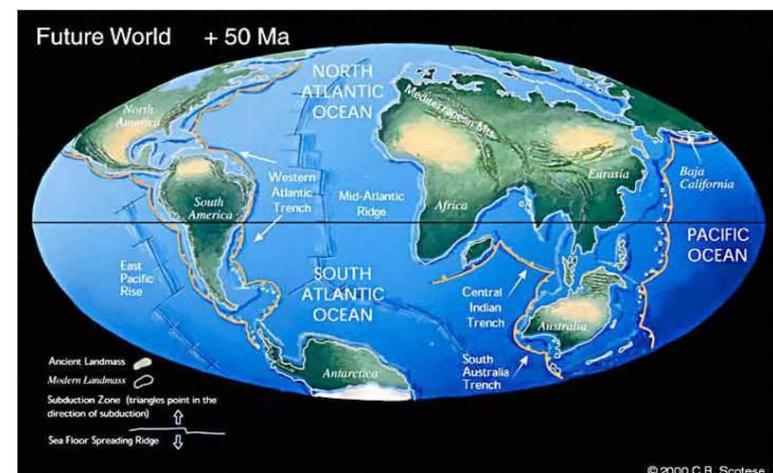
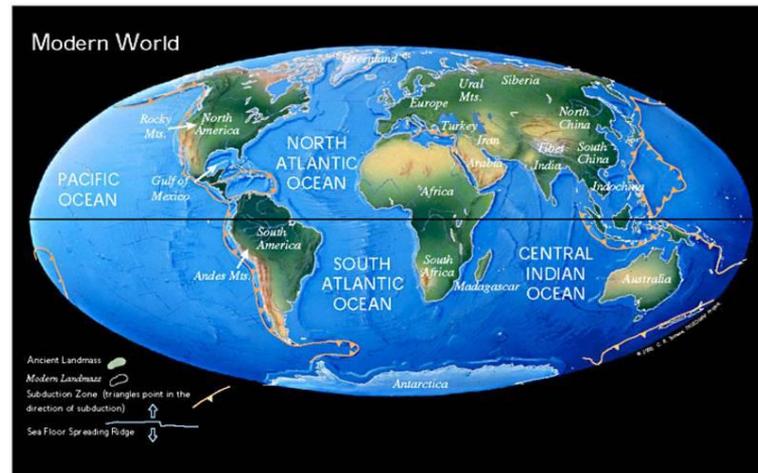
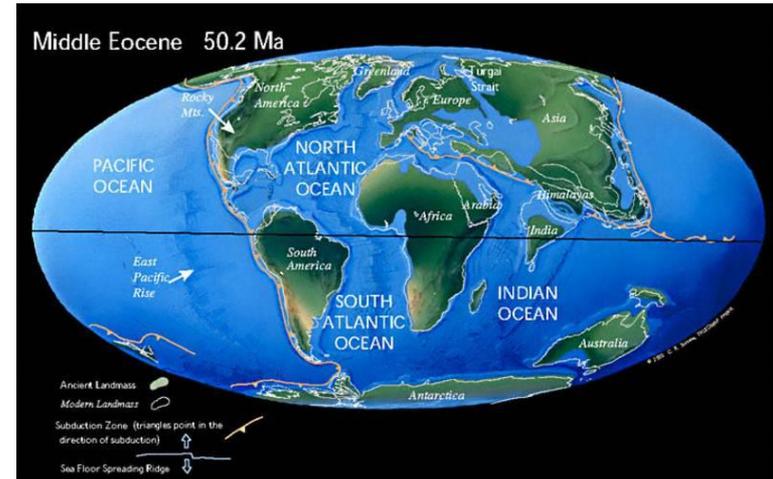
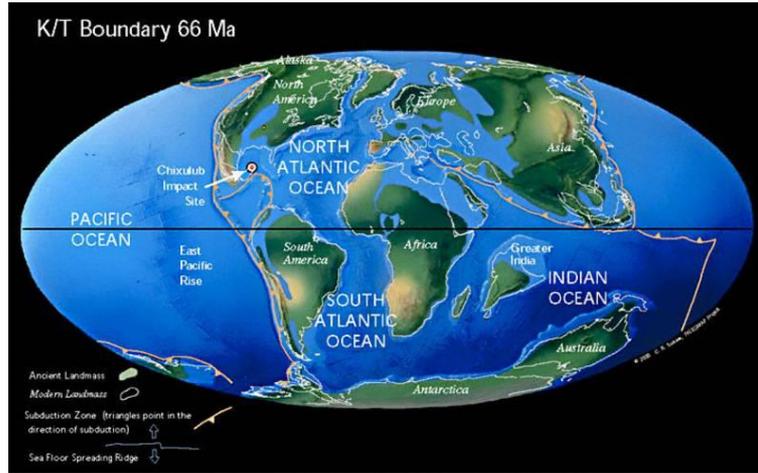
Treibhausgase **Wasserdampf** und **Kohlendioxid** liefern Hauptbeitrag

34 Mio. Jahre Vereisungen und Eiszeiten



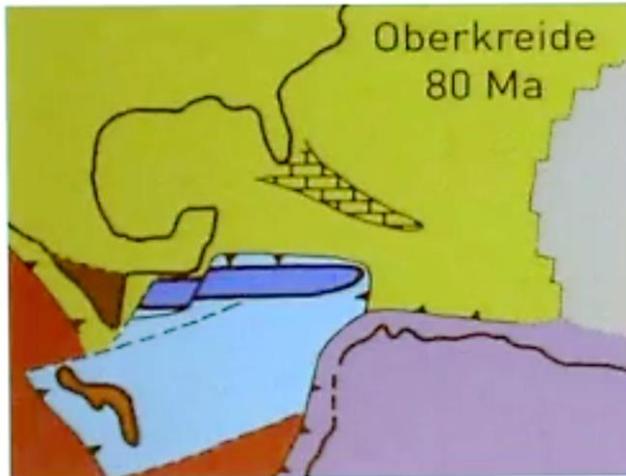
Qu.: Bahlburg, H., Breitkreuz, Chr.: Grundlagen der Geologie, Springer 2012

Kontinentaldrift -66, -50, 0, +50 Mio. Jahre

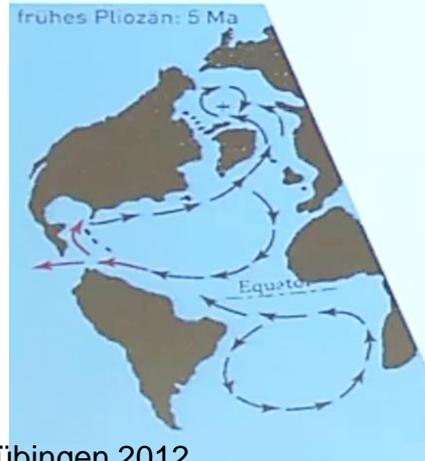


Qu.: www.scotese.com

Karibik und 3 ½ Mio. Jahre Eiszeiten



Ozeanische Strömungen im Pliozän und heute



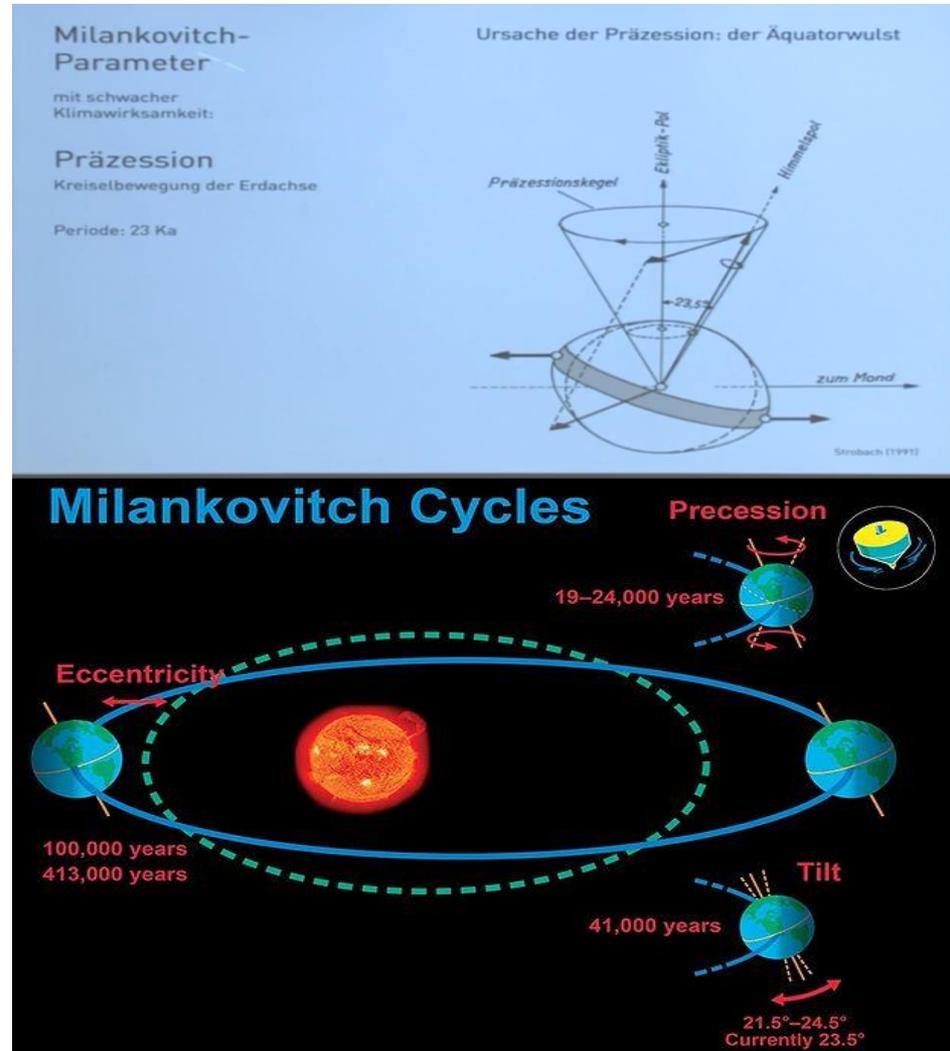
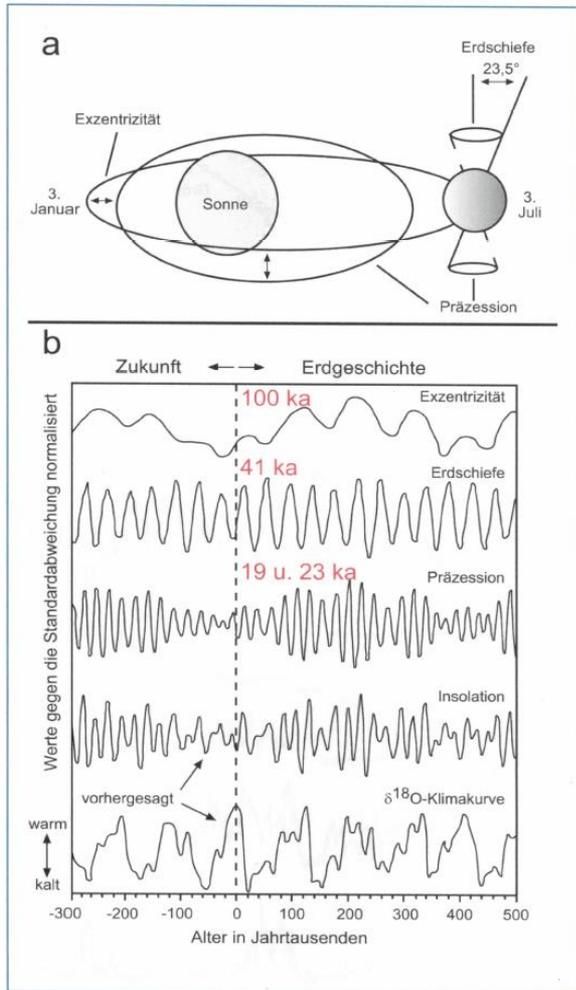
Qu.: Seyfried, H.; VO Dynamik der Erde, Tübingen 2012

Meeresspiegel während LGM

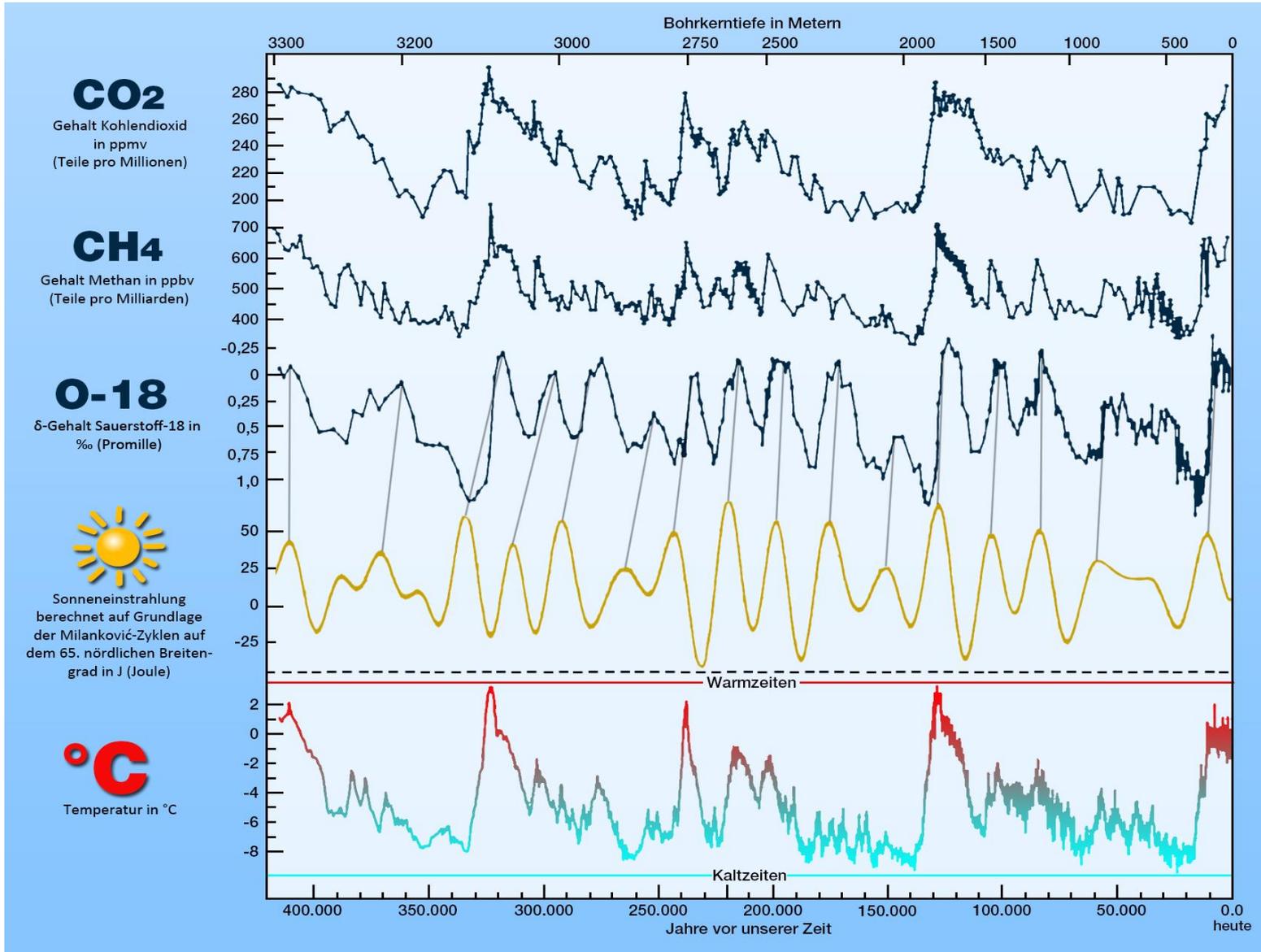


Qu.: Seyfried, H.; VO Dynamik der Erde, Tübingen 2012

Milanković-Zyklen

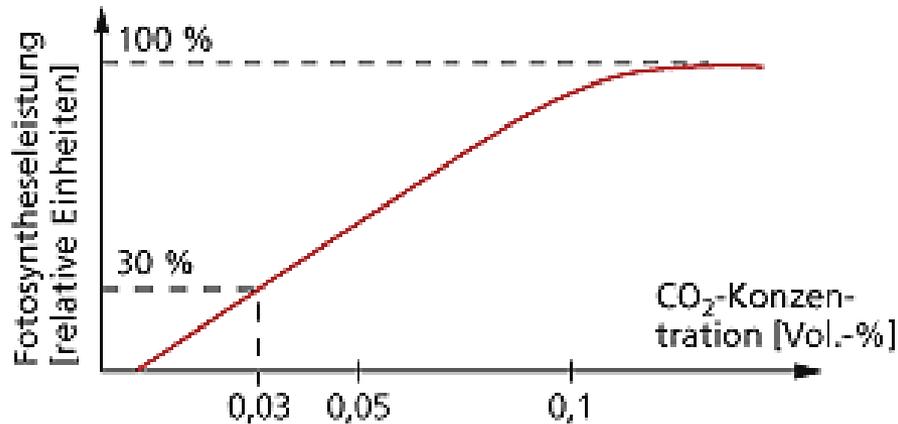


Qu.: Bahlburg, H., Bretkreuz, Chr.:
 Grundlagen der Geologie, Springer 2012



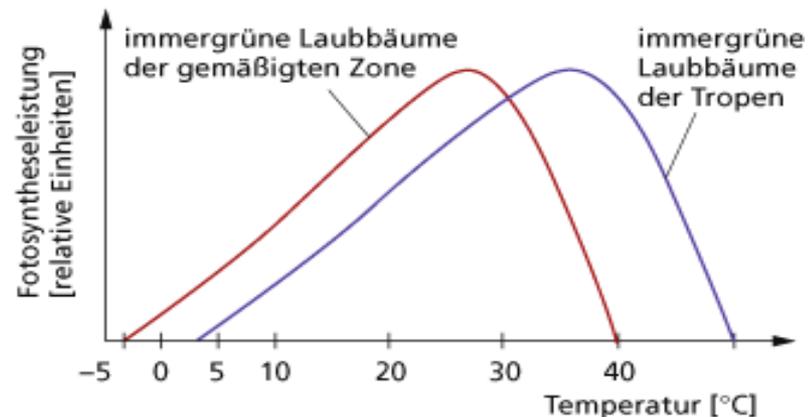
Stabilisierende Photosyntheseleistung

Abhängigkeit von der CO₂-Konzentration



<http://www.bio.vobs.at/botanik/b-photosynthese-2.php>

Abhängigkeit von der Temperatur



Qu.: Photosynthese und Umweltfaktoren:
www.bio.vobs.at/botanik

Energieverbrauchsprognosen

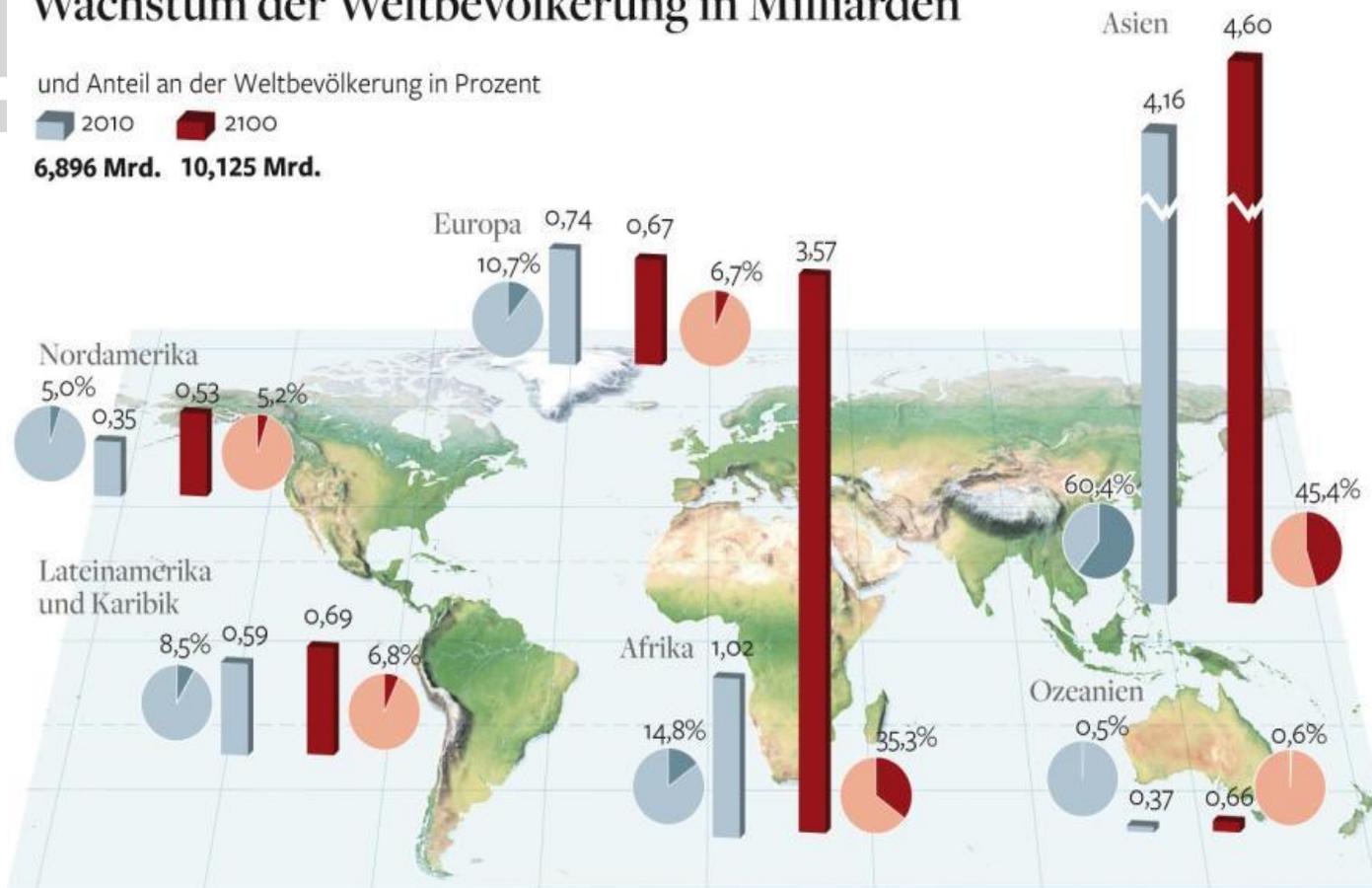
Weltbevölkerungsentwicklung

Wachstum der Weltbevölkerung in Milliarden

und Anteil an der Weltbevölkerung in Prozent

2010 2100

6,896 Mrd. 10,125 Mrd.



Quelle: DSW

Menschheit wächst weiter

Zuwachs der Weltbevölkerung – Prognose 2100

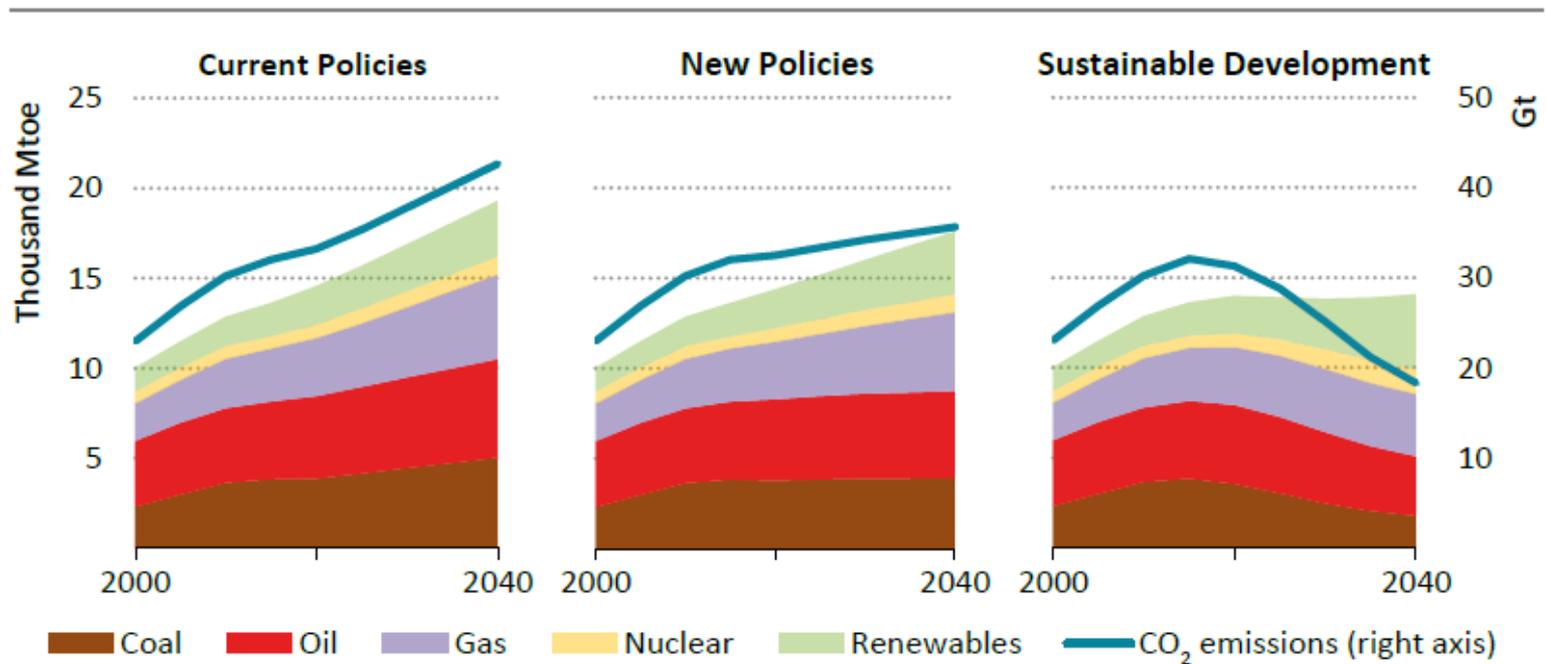


Grafik: © APA
Quelle: APA/UNO



IEA - World Energy Outlook 2017

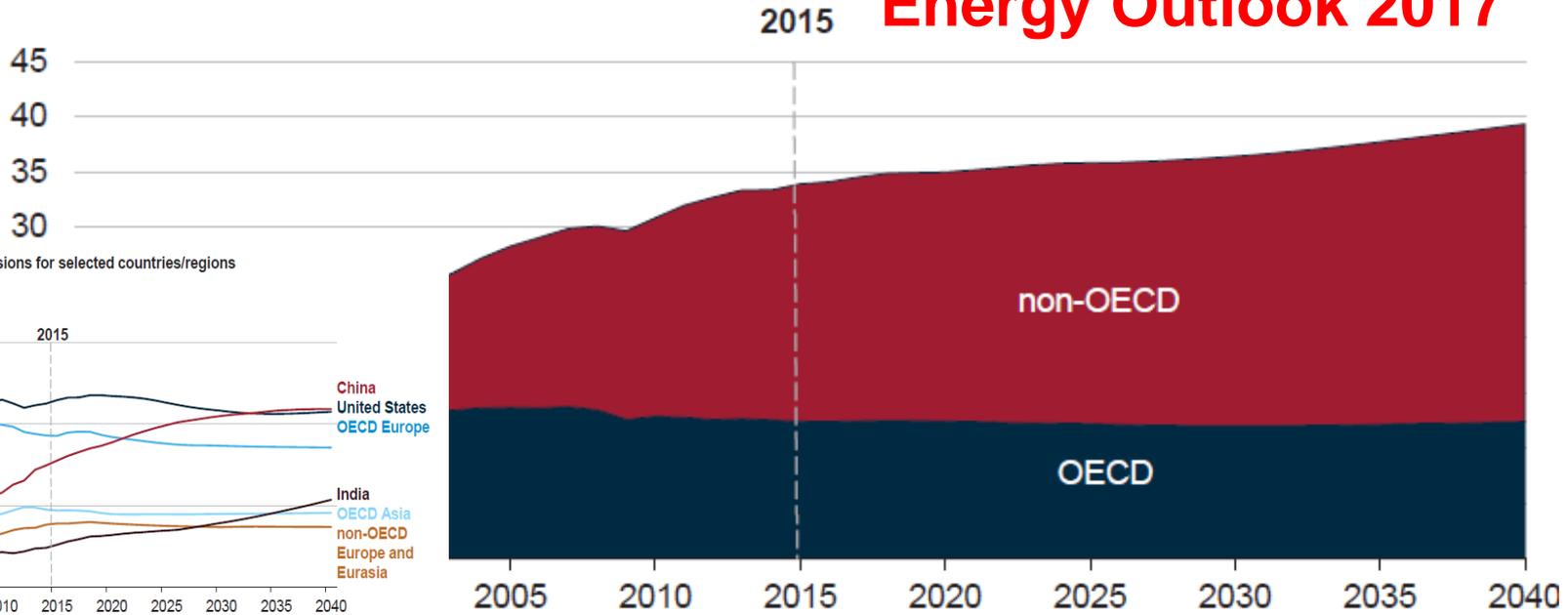
Figure 2.9 ▷ World primary energy demand by fuel and energy-related CO₂ emissions by scenario



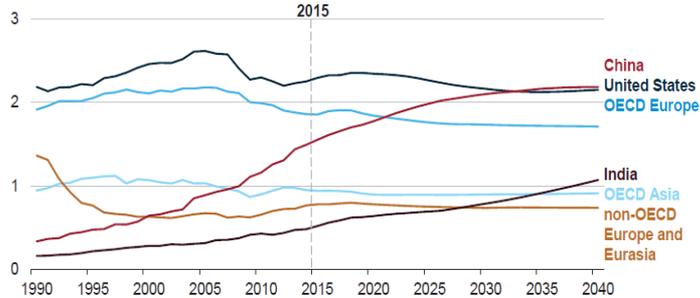
The flattening of emissions in 2014-2016 is a pause in a slower upward journey in the New Policies Scenario, but a turning point in the Sustainable Development Scenario

Energy-related carbon dioxide emissions billion metric tons

US-EIA International Energy Outlook 2017



Liquids-related carbon dioxide emissions for selected countries/regions
billion metric tons

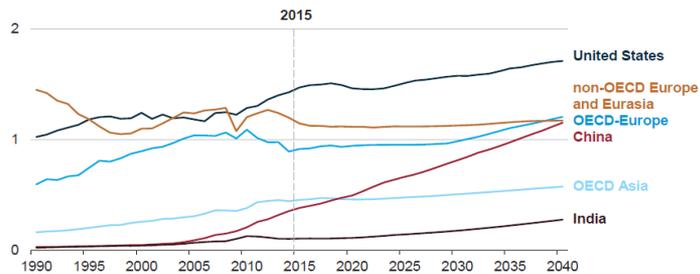


U.S. Energy Information Administration

#IEO2017 | www.eia.gov/ieo

137

Natural gas-related carbon dioxide emissions for selected countries/regions
billion metric tons

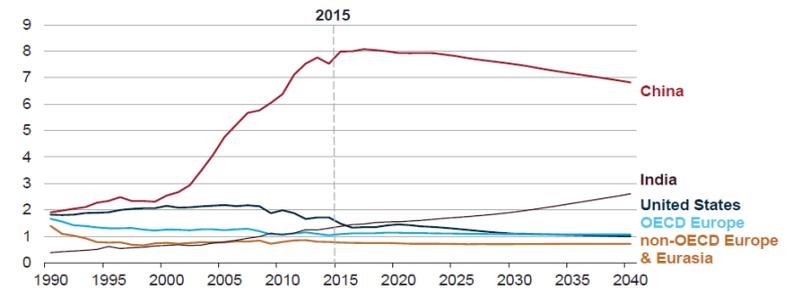


U.S. Energy Information Administration

#IEO2017 | www.eia.gov/ieo

139

Coal-related carbon dioxide emissions for selected countries/regions
billion metric tons



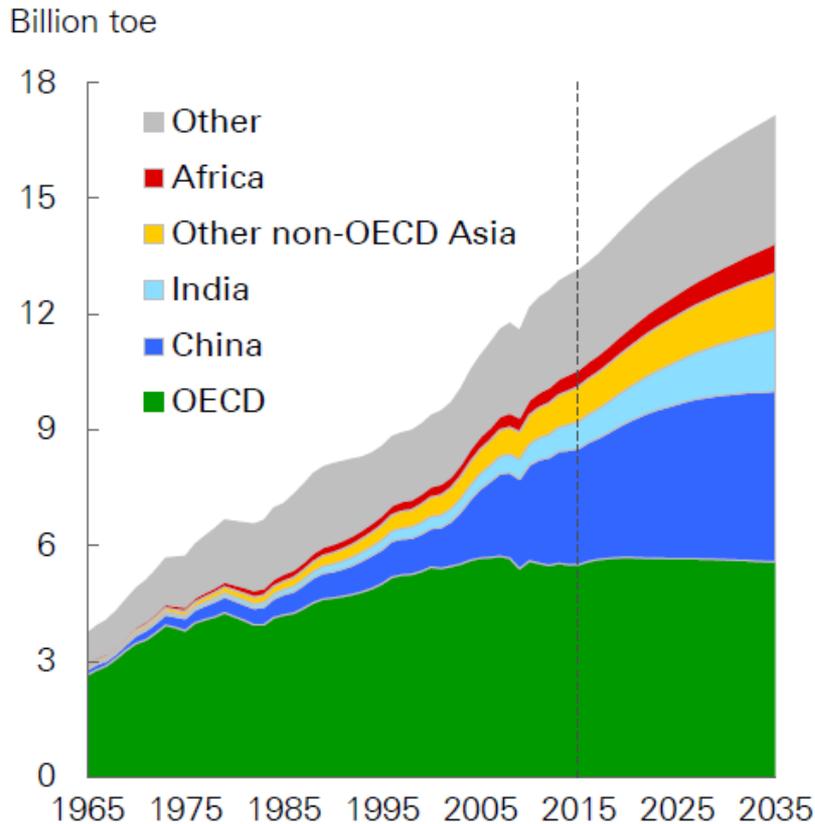
U.S. Energy Information Administration

#IEO2017 | www.eia.gov/ieo

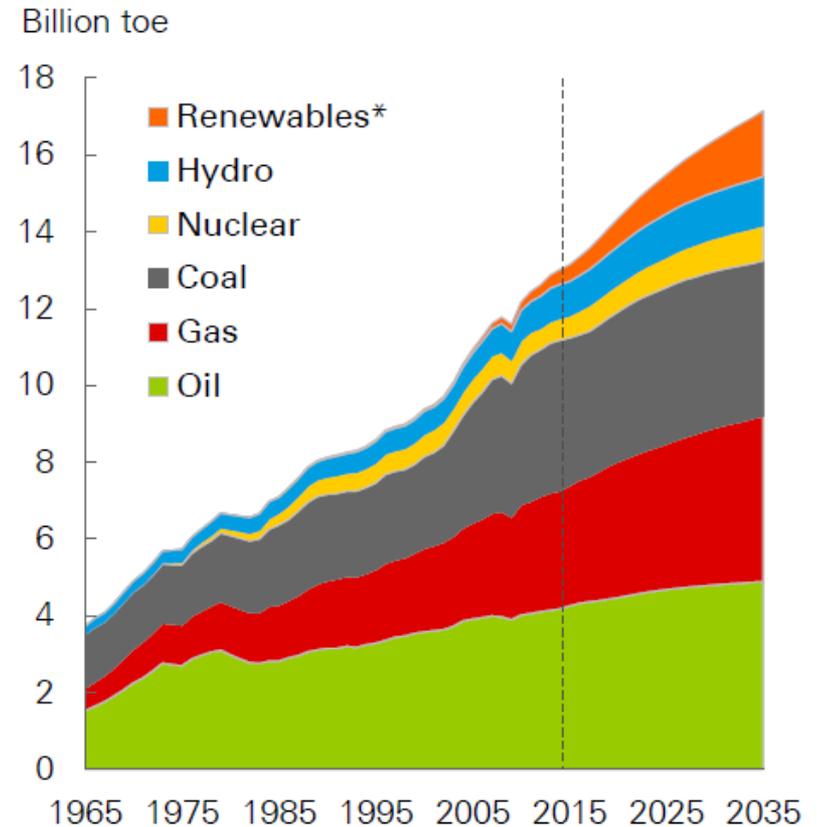
141

BP Energy Outlook 2017 Edition

Energy consumption by region



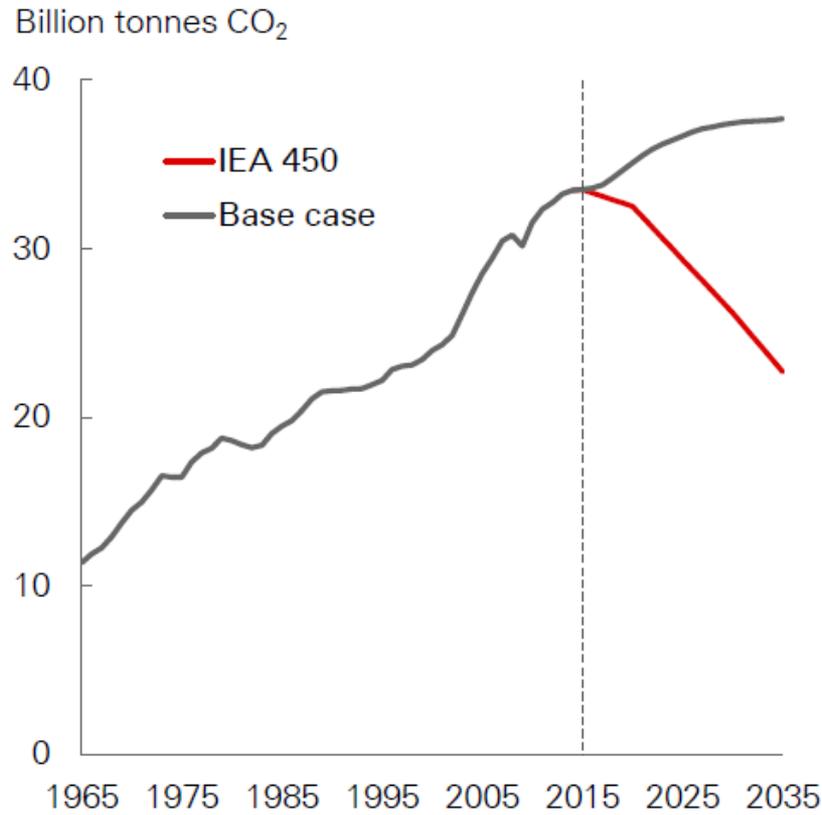
Primary energy consumption by fuel



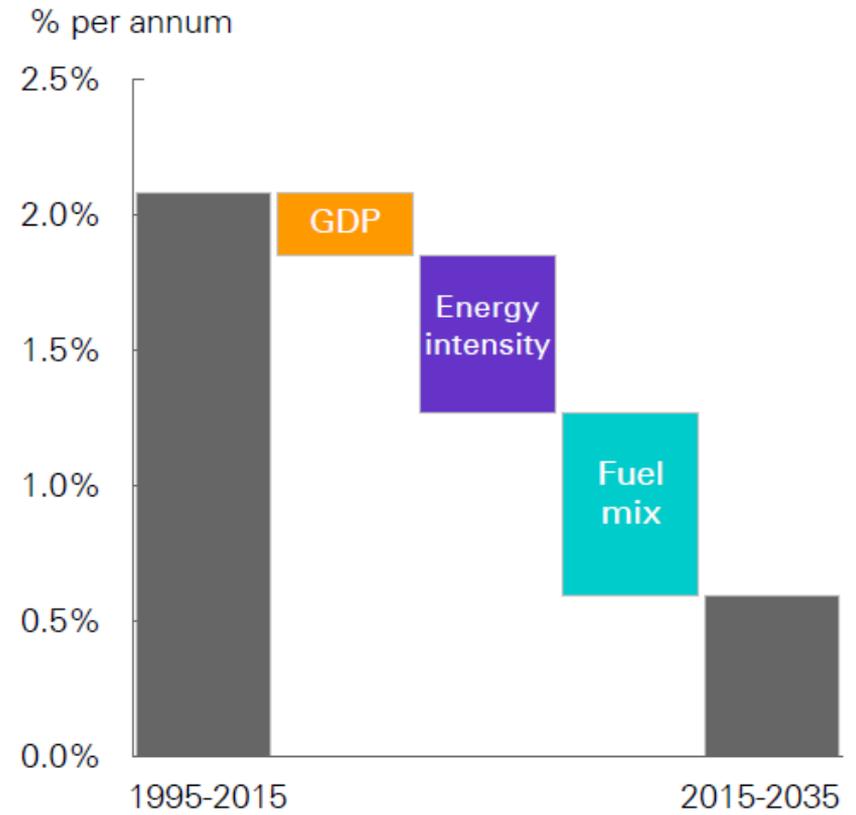
Carbon emissions look set to continue to rise...



Carbon emissions



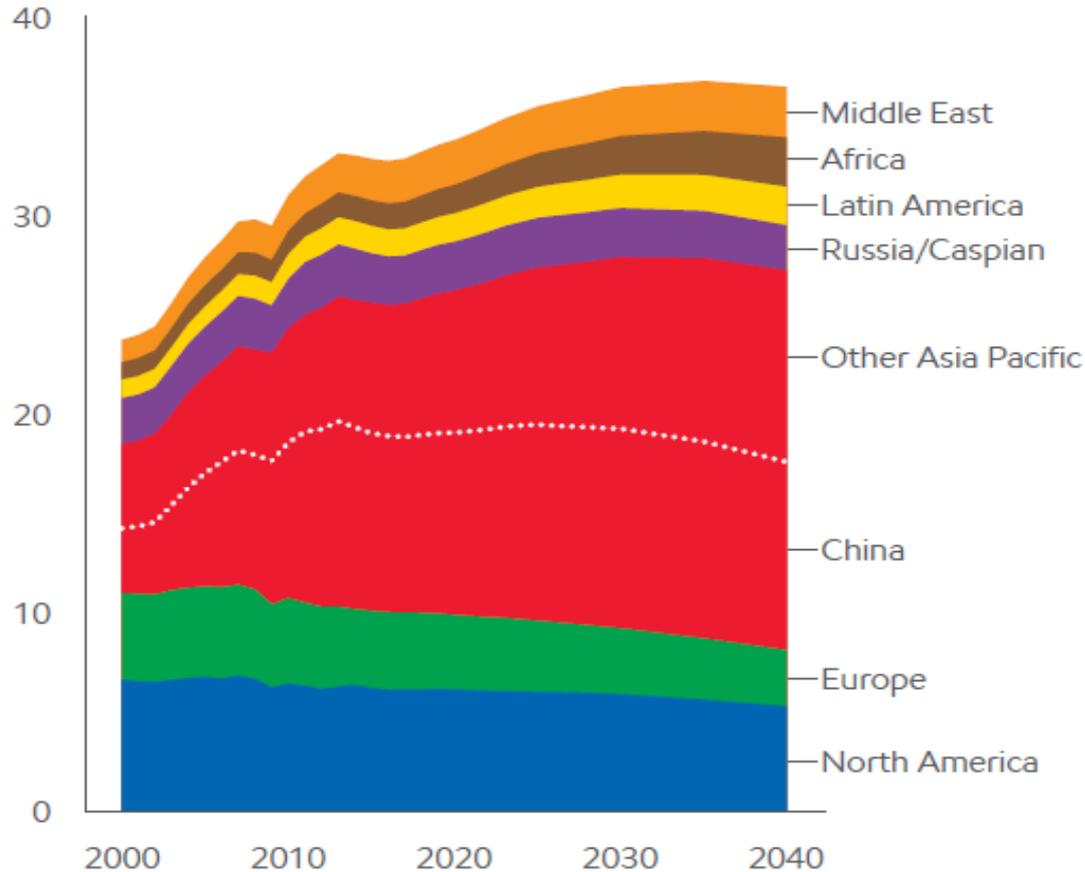
Contributions to slower growth of carbon emissions



Exxon-Mobil 2017

Energy-related CO₂ emissions peak

Billion tonnes

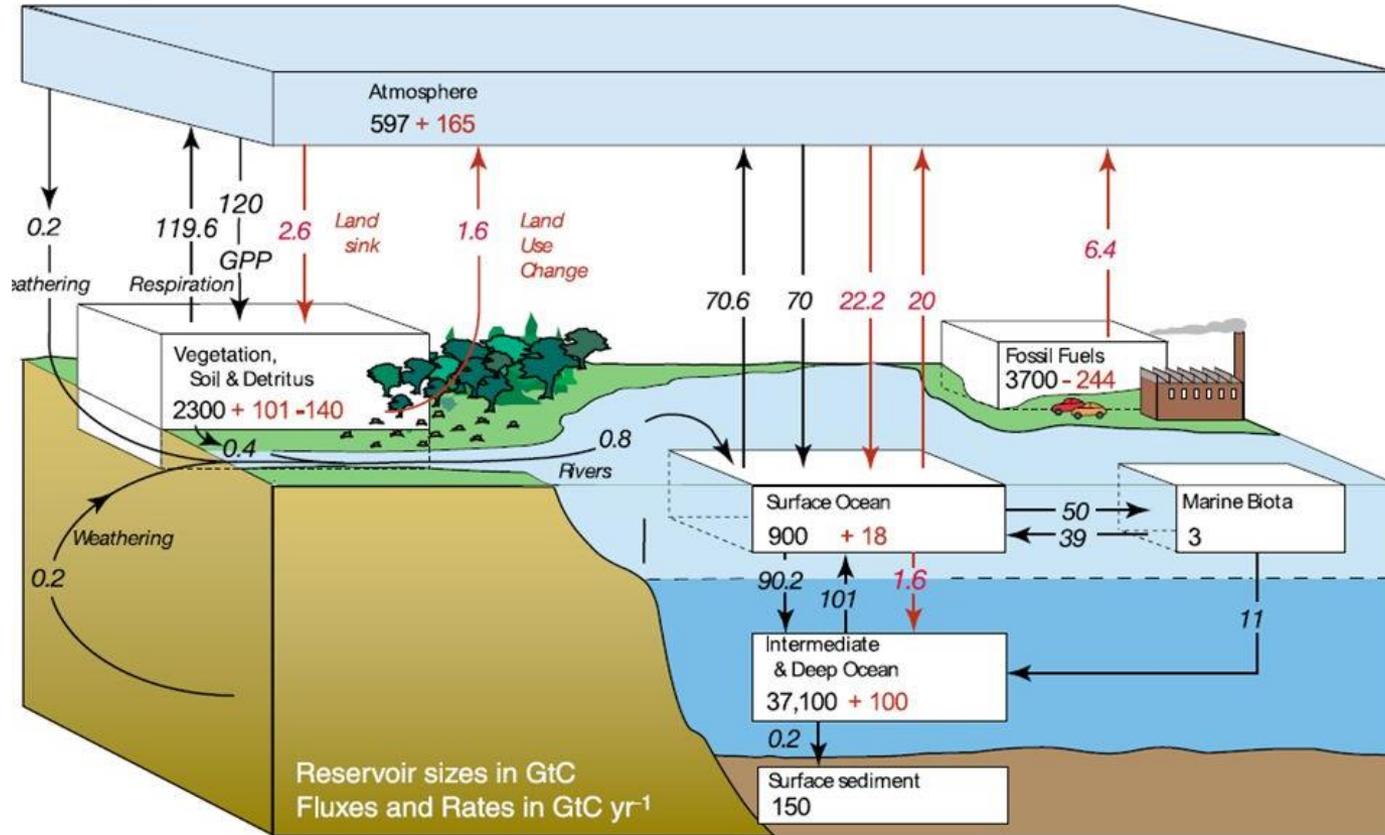


Was können wir tun?

Robustes Verhalten!

Geo-Engineering UND Energiesystem

Albedo-Erhaltung, Geo-Engineering, CO₂-Eliminierung, Energiesystemverbesserung

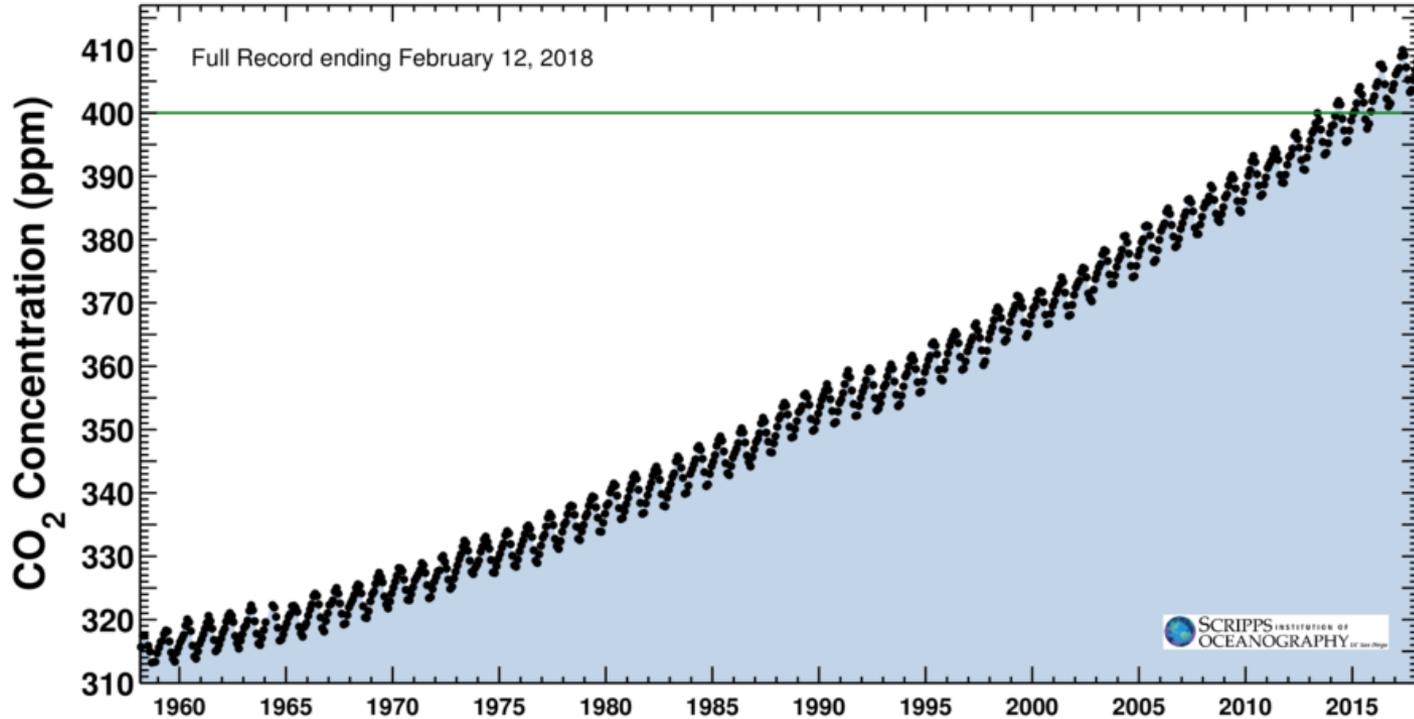


Qu.: IPCC

Latest CO₂ reading
February 12, 2018

408.68 ppm

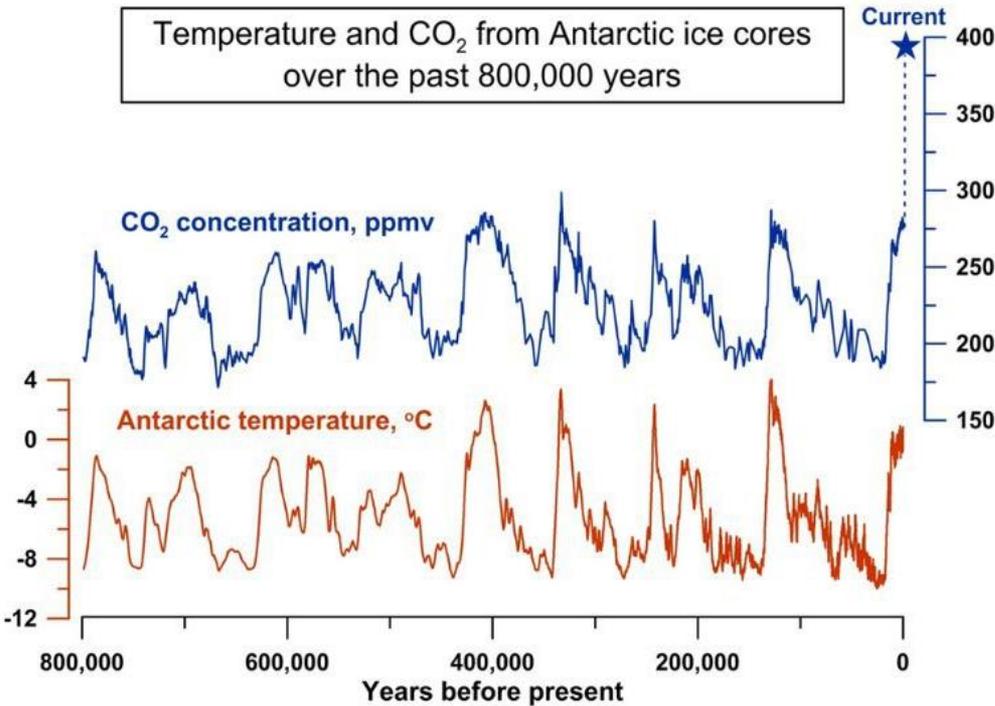
Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



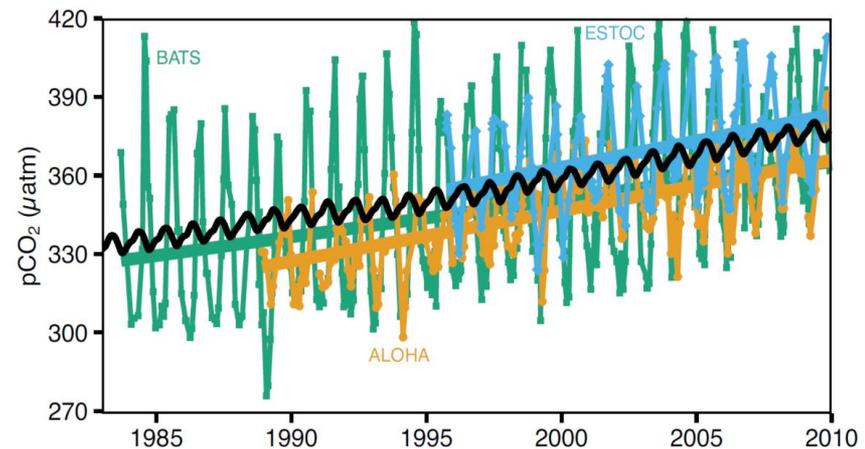
<https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>

langfristig „P-System“ von Temperatur und CO₂

Temperature and CO₂ from Antarctic ice cores over the past 800,000 years



abrupte Temperatur- und CO₂-Anstiege als Ende jeder Eiszeit; kontinuierliche Abwärtsentwicklung von CO₂ und Temperatur am Beginn und während jeder Eiszeit



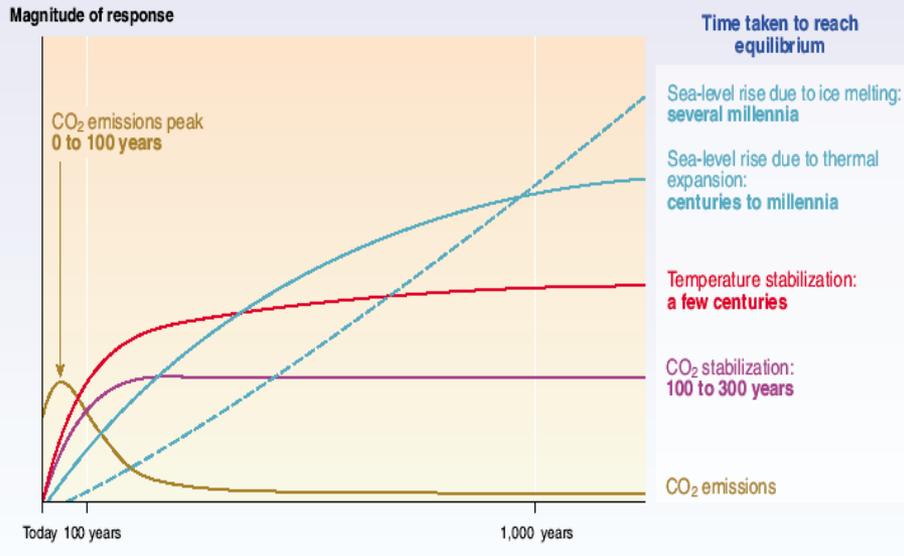
Partialdruck von CO₂ im Meerwasser und Partialdruck in der Luft Qu: IPCC 2013b

schwingungsfähiges PID-System ?

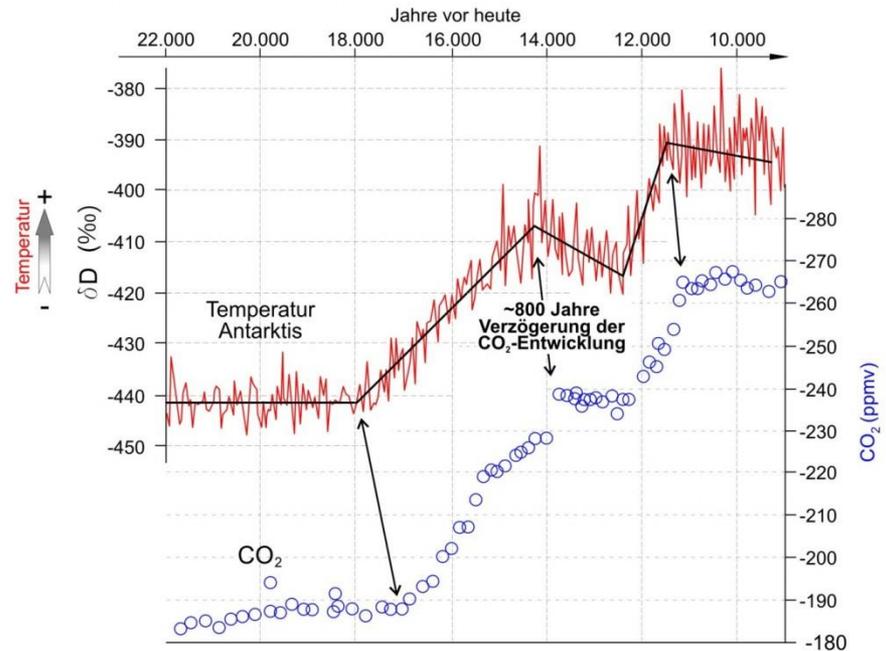
Auf-Integration durch Meere von CO₂ und Temperatur

„plötzlicher Umschwung“;
Temperatur nimmt zu, CO₂ sucht neues Partialdruckgleichgewicht

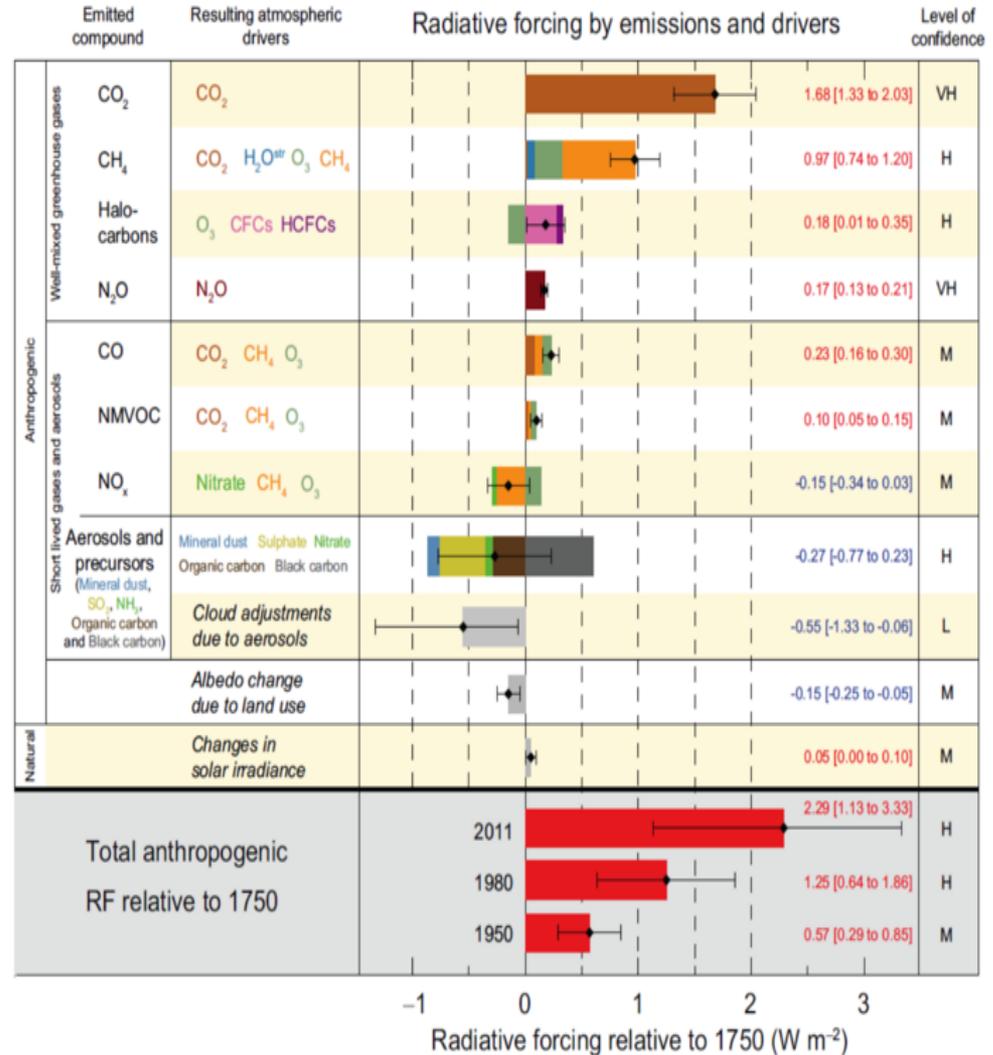
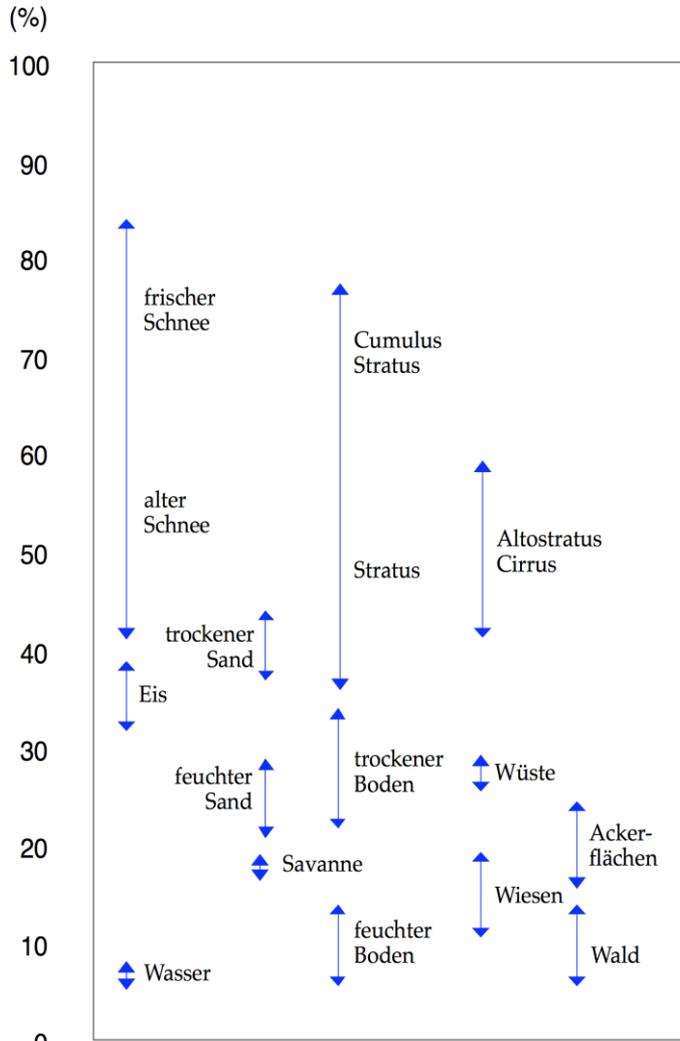
CO₂ concentration, temperature, and sea level continue to rise long after emissions are reduced



Qu.: IPCC

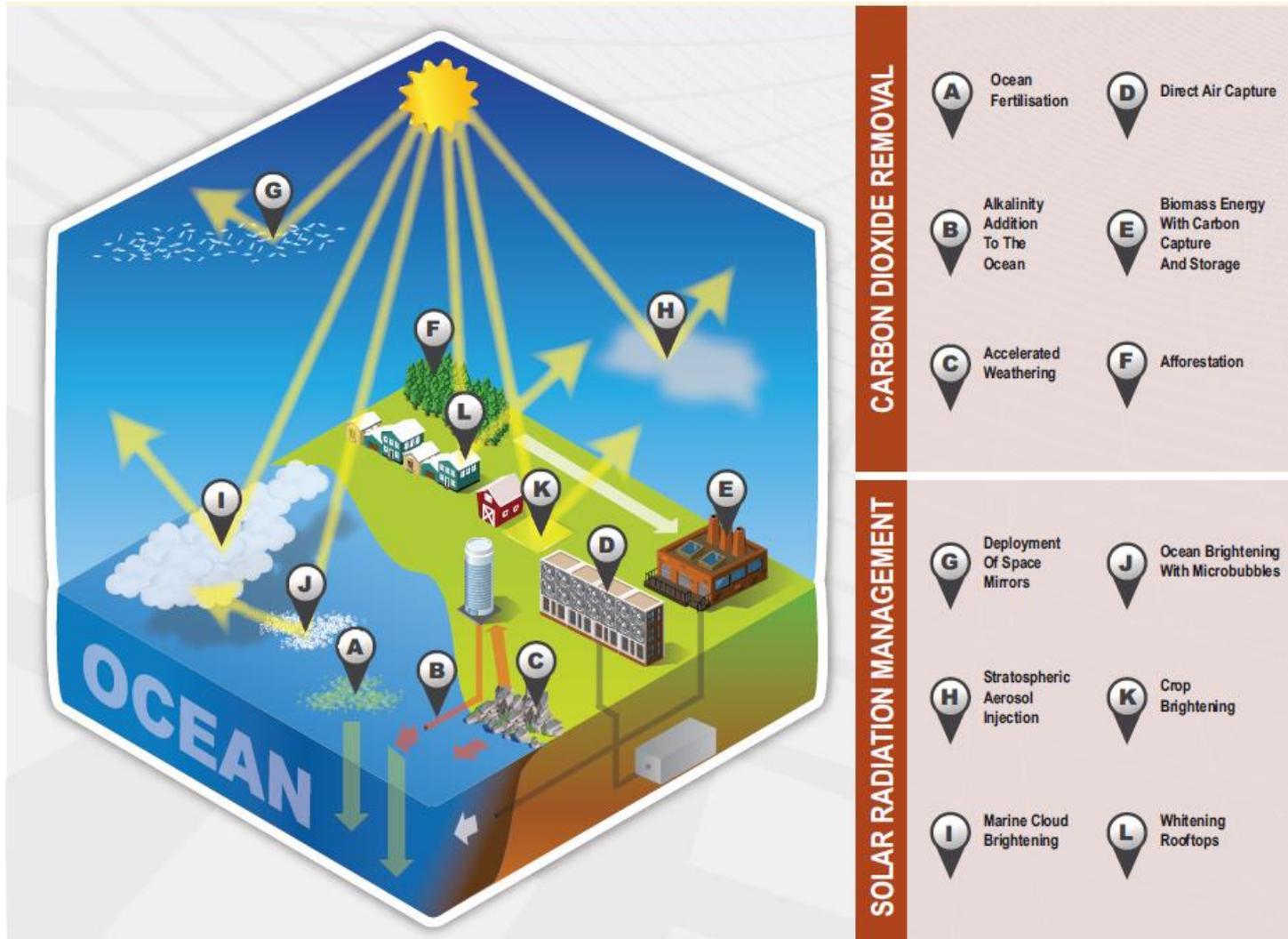


Albedo. Arktis, Aerosole, Klimagase



Qu.: IPCC

Could Geoengineering Counteract Climate Change ?



Qu.: IPCC

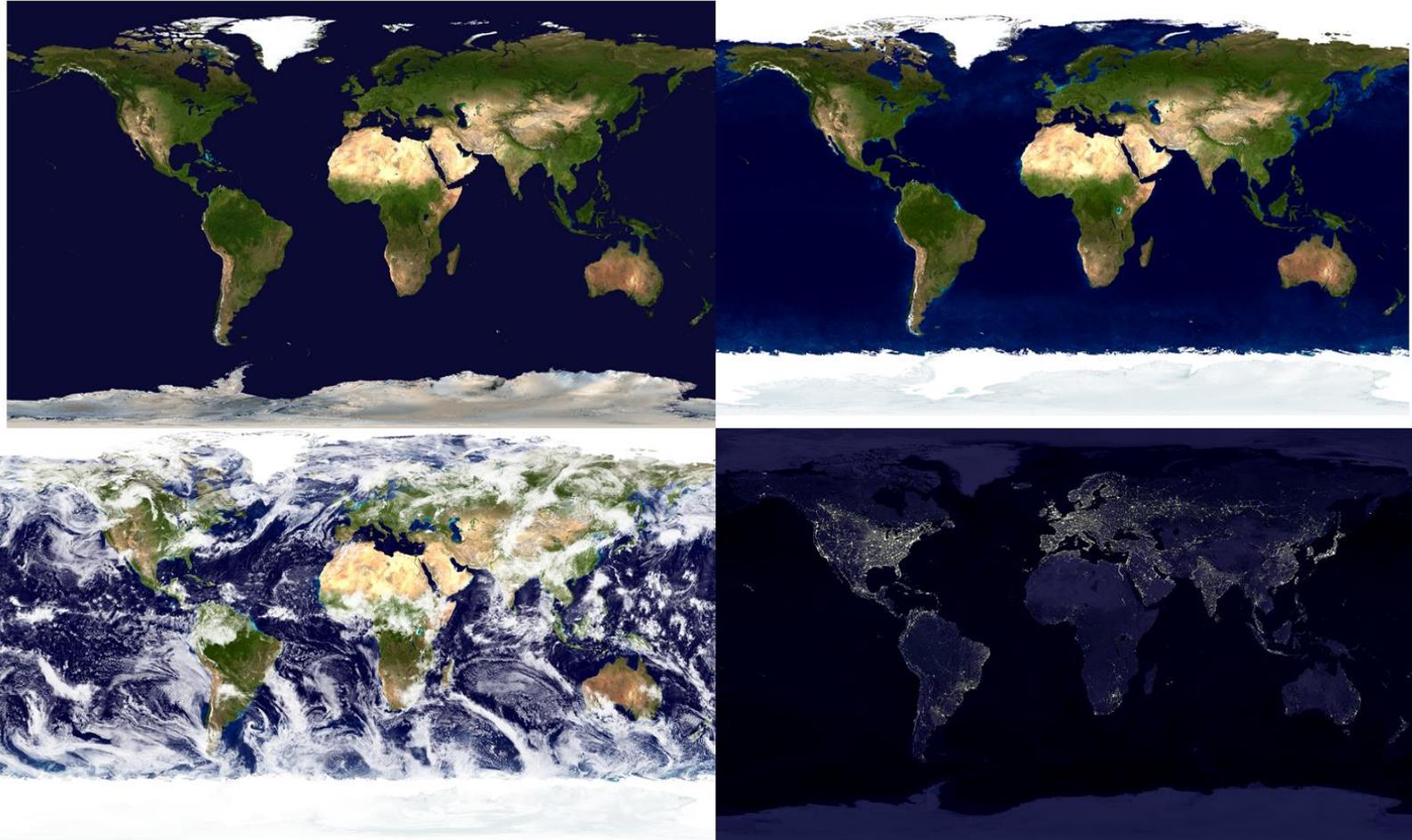
Wesentliche Punkte

- Meer in Modellbildung intensiv einbeziehen
- Arktiseis unbedingt erhalten (enorme Albedo!)
- Lagrange-Punkt nutzen
- Insgesamt Albedo maximieren (öffentliche Flächen, Dachflächen...; Spiegel reflektieren 100 %!)
- klären, wie Wasserdampf in Stratosphäre kommt
- Abdichtung von Fracking nach Förderende sicherstellen
- 70 % der Biomasseproduktion im Meer (Fe-Engpass)
- sinnlose CO₂-Emissionen beenden (Erdölbegleitgas)
- Erneuerbare Energien und bessere Exergienutzung
- weniger energieintensive Ernährung

ALBEDO

Begleitgas, Fracking, Ernährung

Albedo ohne/mit Eispanzer; mit Wolken (Fotomontage)

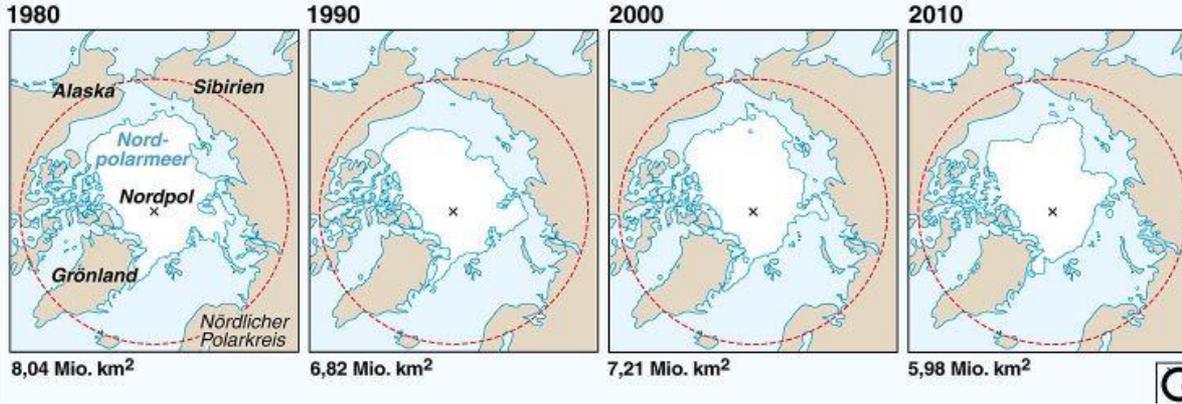


Qu.: <http://deacademic.com/dic.nsf/dewiki/516264>

Meereis **Arktis** und **Antarktis**

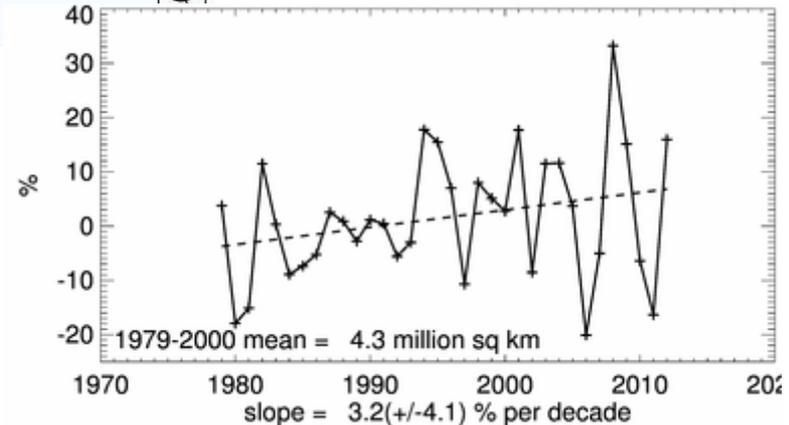
Die Arktis im Sommer

Ausdehnung der Meereisflächen rund um den Nordpol im August des jeweiligen Jahres



Quelle: National Snow and Ice Data Center

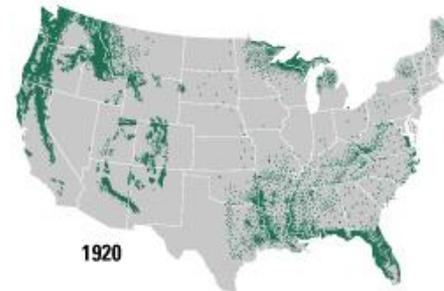
arktische Meereisbedeckung schwankt im Jahresverlauf zw. ca. 15 Mio. km² im April und ca. 3,5 Mio. km² im September



Entwicklung des antarktischen Meereises über letzte 30 Jahre

Qu.: http://nsidc.org/data/seaice_index/archives/index.html

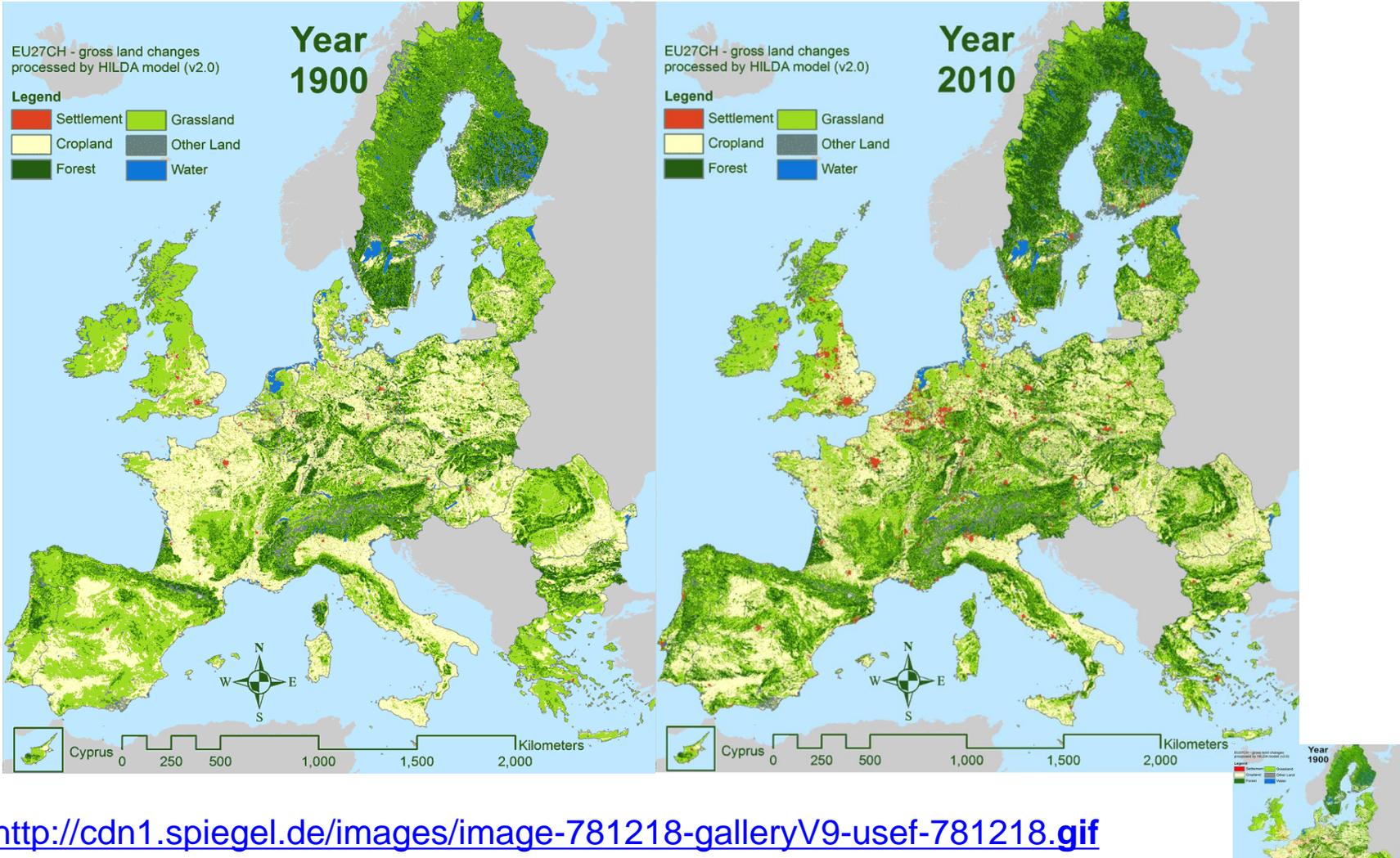
Deforestation USA



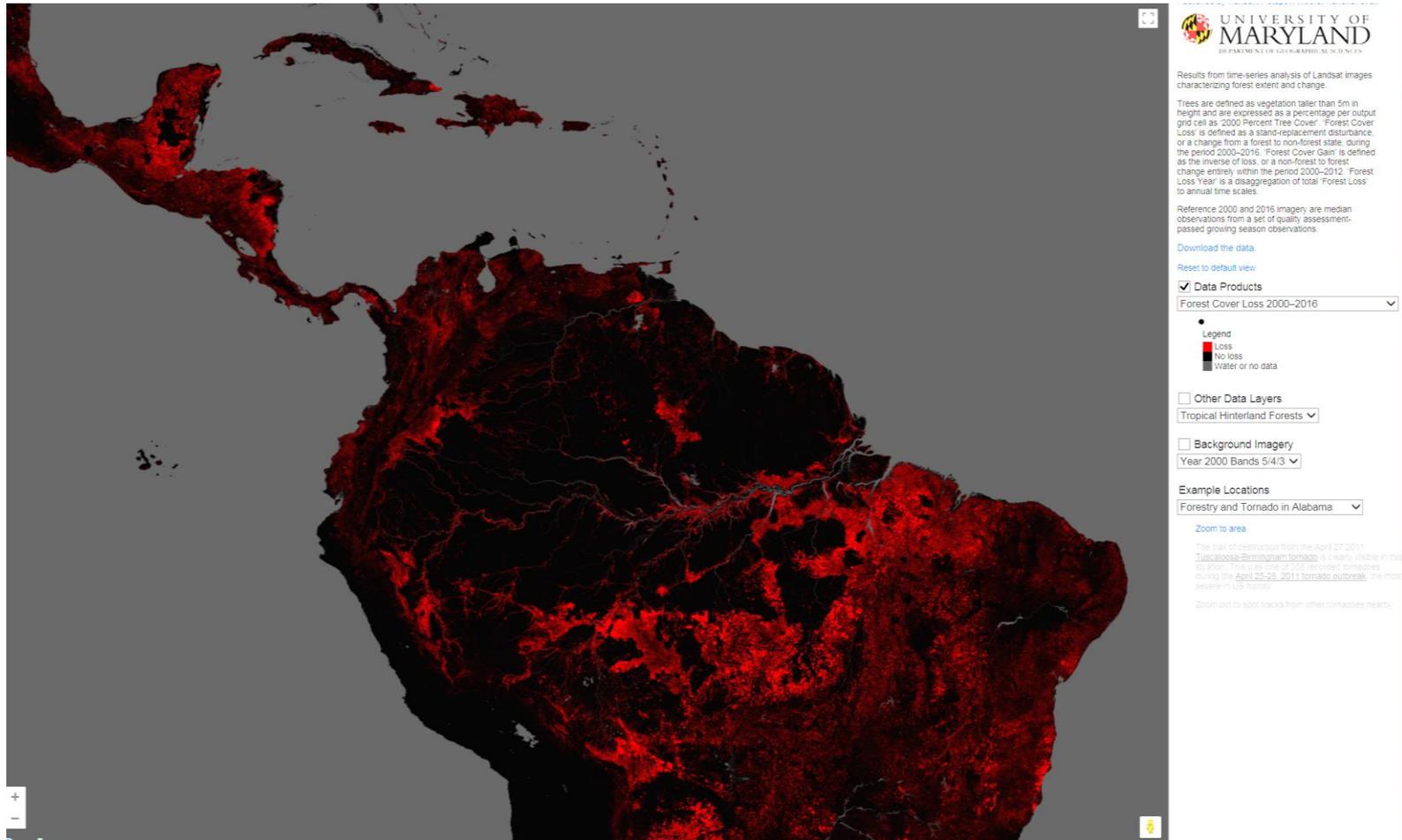
Prior to the arrival of European-Americans, about one half of the United States land area was forest, ca. 4,140,000 km² estimated in 1630. Recently, the Forest Service reported total forestation as 3,100,000 km² in 2012.

Qu.: <https://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=76697>

Bewaldungsentwicklung in Europa

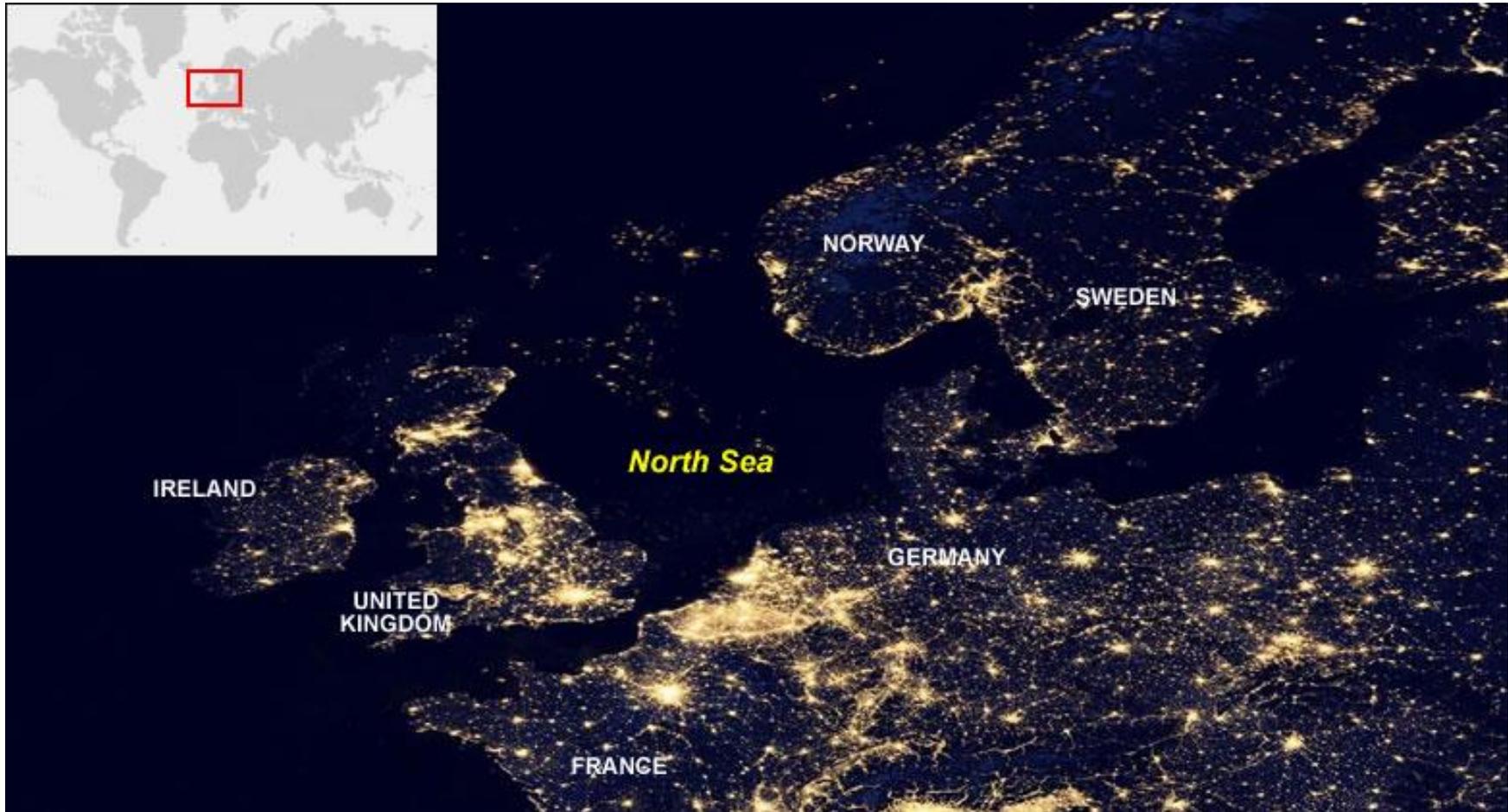


Forest Cover Loss 2000 – 2016

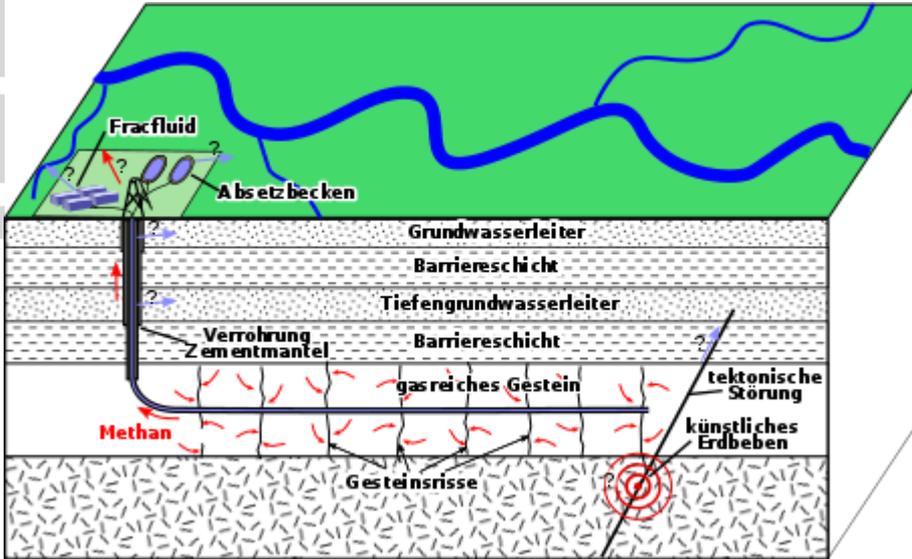


<http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest?hl=en&llbox=12.97%2C-17.7%2C-33.74%2C-83.4&t=ROADMAP&layers=layer0%2Clayer1%2C10%2Clayer9%2C6%2Clayer12>

Abfackeln von Erdölbegleitgas



Schiefergasgewinnung in USA



Alberta Tar Sands



Energieverbrauch und Nahrungsmittel

Energieeinsatz und Treibhausgas-Emissionen bei konventionellen und biologischen Lebensmitteln

	Energie MJ/kg Lebensmittel		CO ₂ -Äquivalente g/kg Lebensmittel	
	konventionell	biologisch	konventionell	biologisch
Weizen	2,4	1,5	310	190
Roggen	2,6	1,8	330	230
Kartoffeln	0,63	0,58	64	58
Zuckerrüben	0,38	0,21	45	24
Raps	6,0	2,5	810	350
Ackerbohnen	2,1	1,1	210	120
Schweinefleisch	21,0	12,0	1.500 *	1.200 *
Milch	2,7	1,5	200 *	140 *

* nur CO₂ (ohne CH₄ und N₂O)

<https://www.energieatlas.bayern.de/buerger/ernaehrung.html>

Energiesystem

Was kann Energiewirtschaft tun?

- Systemgrenze: Energieversorger auf Nutzenergie ausweiten
- Wärmedämmung
- Exergiekaskaden (Temperaturniveaus mehrfach nutzen)
- Kraft-Wärme-Kupplung
- Wärmepumpen
- „Gesamtheizungswerke“
- Raumordnung
- Zusammenwirken von Industrie und Ballungsräumen

Energieflussbild Österreich (2005)

Aufkommen:

1689,2 PJ

Öl: 695,7 PJ

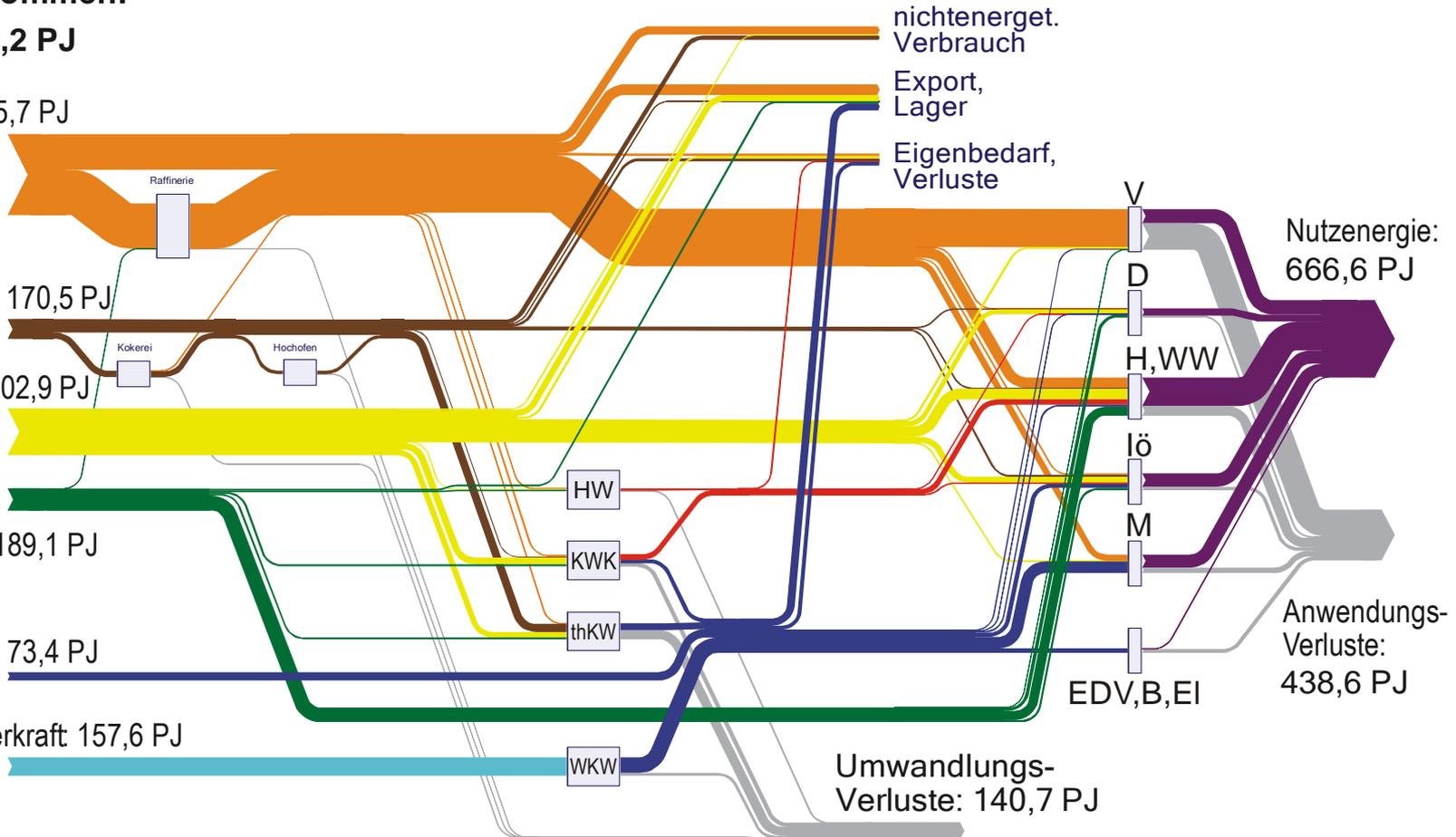
Kohle: 170,5 PJ

Gas: 402,9 PJ

RES: 189,1 PJ

Strom: 73,4 PJ

Wasserkraft 157,6 PJ



Exergieflussbild Österreich (2005)

Aufkommen:
1741,5 PJ

Öl: 729 PJ

Kohle: 178,5 PJ

Gas: 413,8 PJ

RES: 189,1 PJ

Strom: 73,4 PJ

Wasserkraft 157,6 PJ

nichtenerget.
Verbrauch

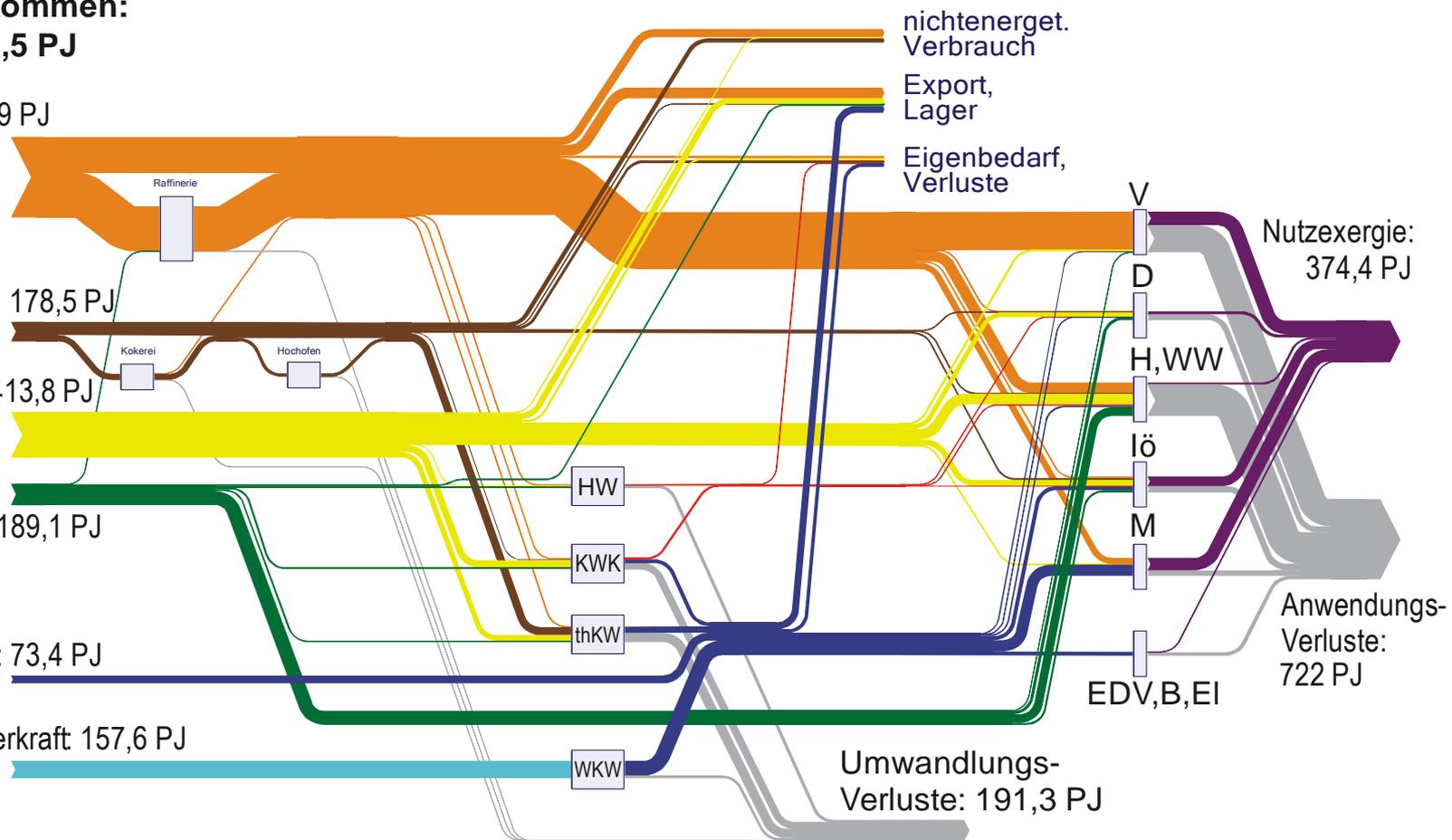
Export,
Lager

Eigenbedarf,
Verluste

Nutzexergie:
374,4 PJ

Anwendungs-
Verluste:
722 PJ

Umwandlungs-
Verluste: 191,3 PJ



Die großen Themen des Symposiums und Bitte: Zuversicht verbreiten!

- ✓ Klima- und Energiestrategien
- ✓ Erneuerbare Energien = Erneuerbarer Strom
- ✓ Stromnetze zum Transport Erneuerbaren Stroms
- ✓ Markt und Flexibilisierung für Erneuerbare Energien
- ✓ Innovative Energietechniken
 - ✓ Antriebe
 - ✓ KWK und BHKW
 - ✓ Wärmepumpen
 - ✓ Power to ...
 - ✓ Brennstoffzellen
- ✓ Energieeffizienz (Umwandlung, Gebäude, E-Auto, Batterien)

Vielen herzlichen Dank für Eure Mitwirkung beim Symposium!



Univ.-Prof. Mag. DI Dr.techn.
Heinz Stigler

Technische Universität Graz
Institut für Elektrizitätswirtschaft
und Energieinnovation
Inffeldgasse 18
8010 Graz

Tel.: +43 316 873 7901
Fax: +43 316 873 107901

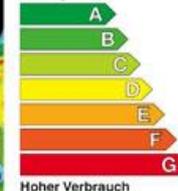
Email: Stigler@TUGraz.at
Web: www.IEE.TUGraz.at

 Technische Universität Graz
Erzherzog-Johann-Universität



Institut für Elektrizitätswirtschaft
und Energieinnovation

Niedriger Verbrauch



Hoher Verbrauch

