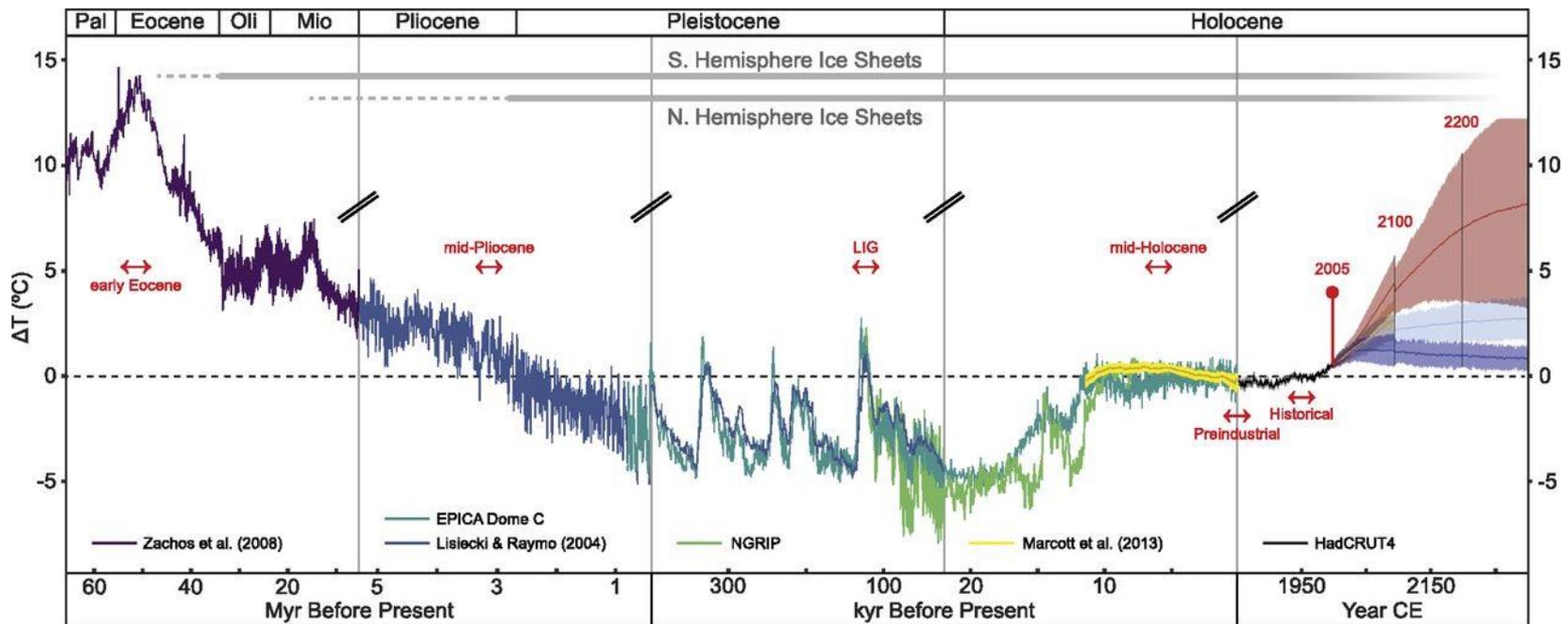


Temperature trends for the past 65 Ma and potential geohistorical analogs for future climates.

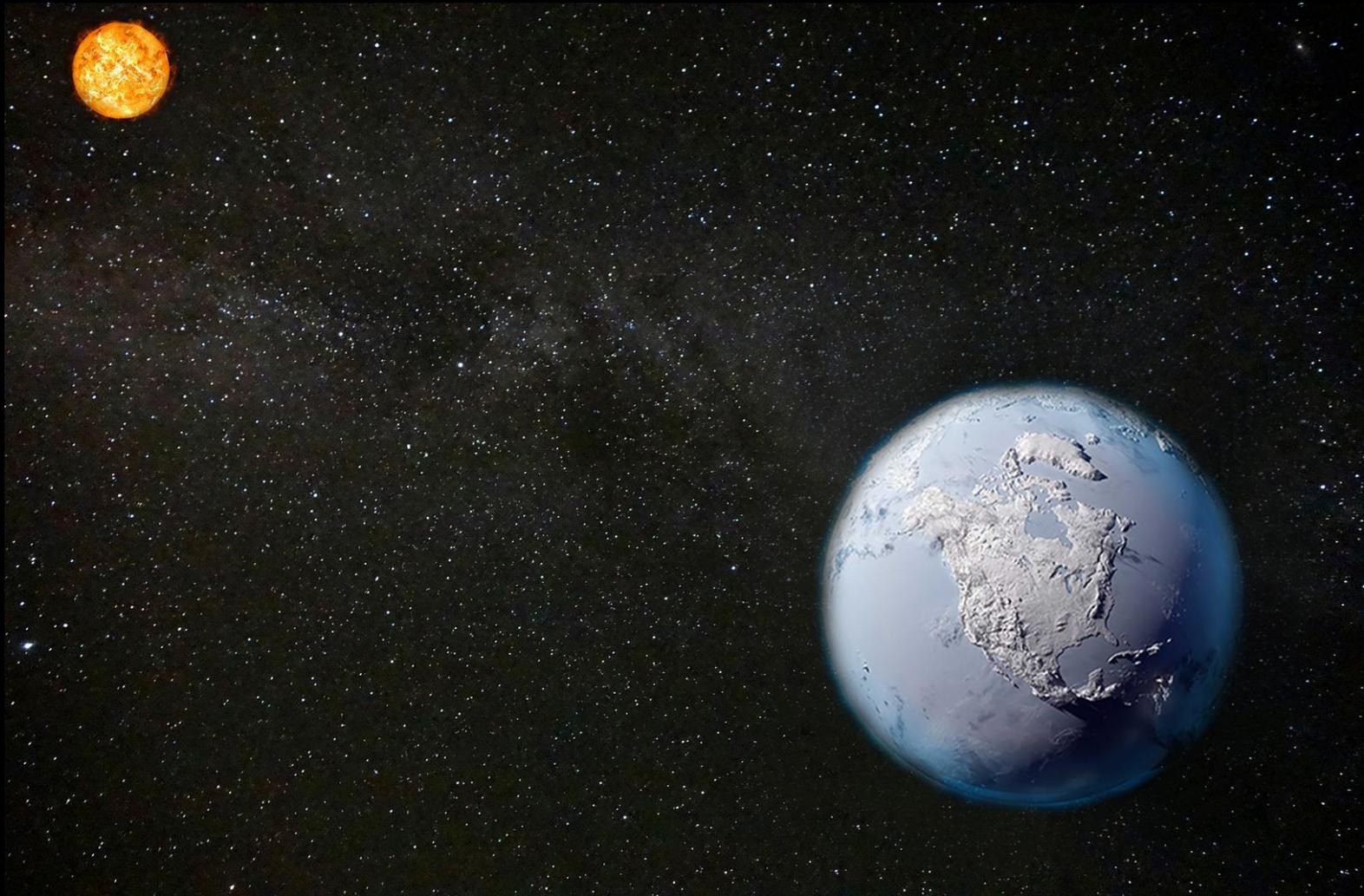
Menschheit dreht Klima-Uhr zurück

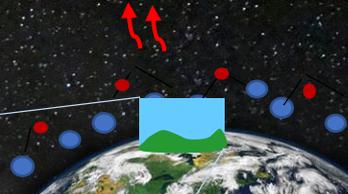
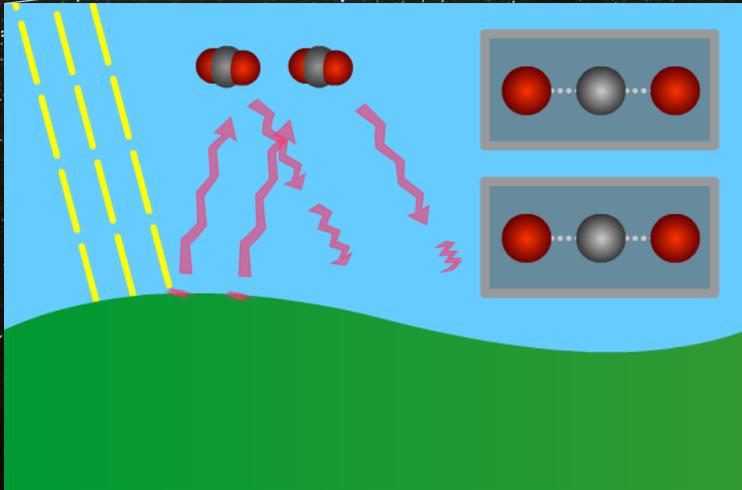
Schon 2030 könnte ein Klima herrschen wie vor drei Millionen Jahren



Burke, et al PNAS December 26, 2018 115 (52) 13288-13293,.

PNAS





© Castilla-Rubio.

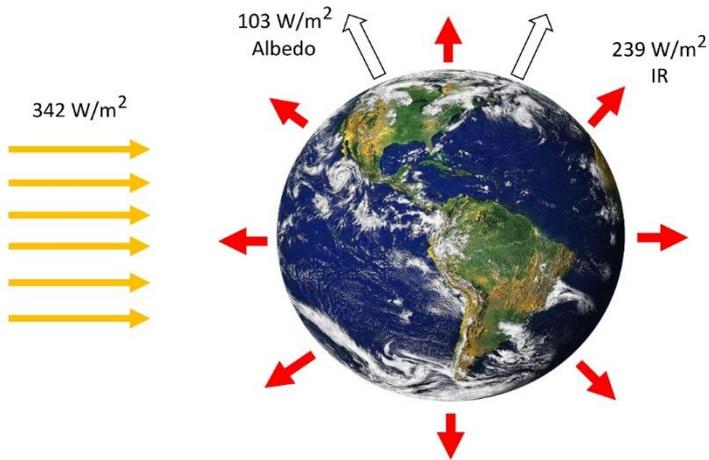
Das Stefan-Boltzmann-Gesetz $I = \sigma \cdot A \cdot T^4$

$$I_{S \rightarrow E} = (1 - \alpha) \cdot I_S = 239 \text{ W}.$$

Aufgrund des Strahlungsgleichgewichtes:

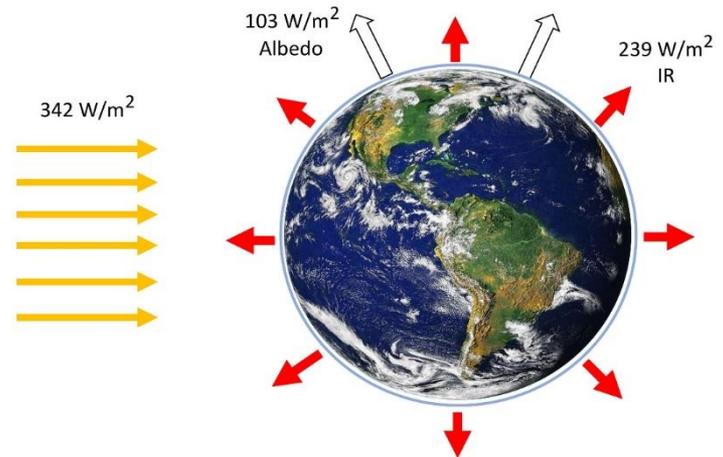
$$I_{S \rightarrow E} = I_E = \sigma \cdot T^4$$

Sonnenstrahlung = **emittierte Infrarotstrahlung** + reflektierte Strahlung



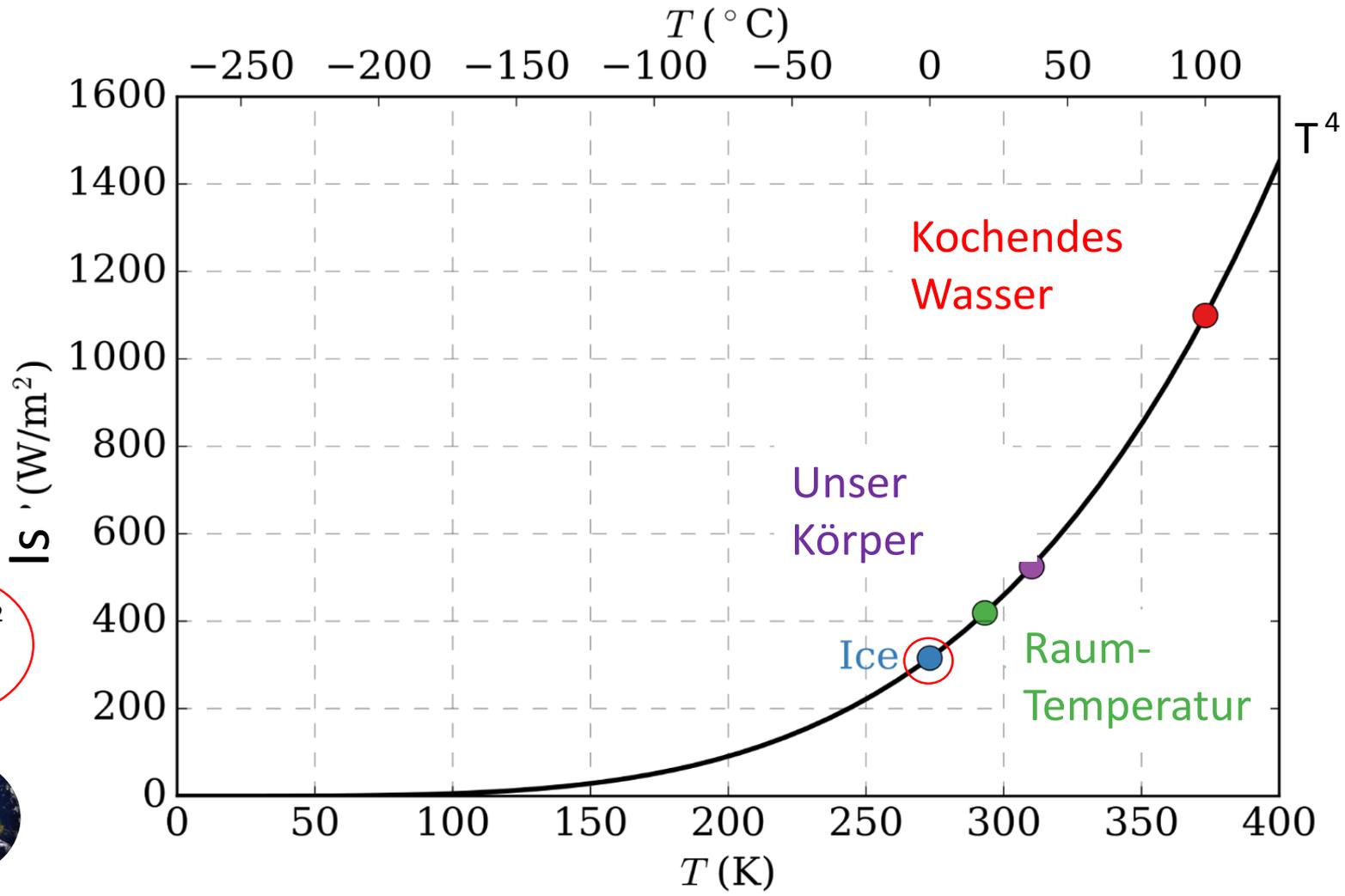
Ohne Atmosphäre: Die Gleichgewichttemperatur der Erde beträgt -18°C

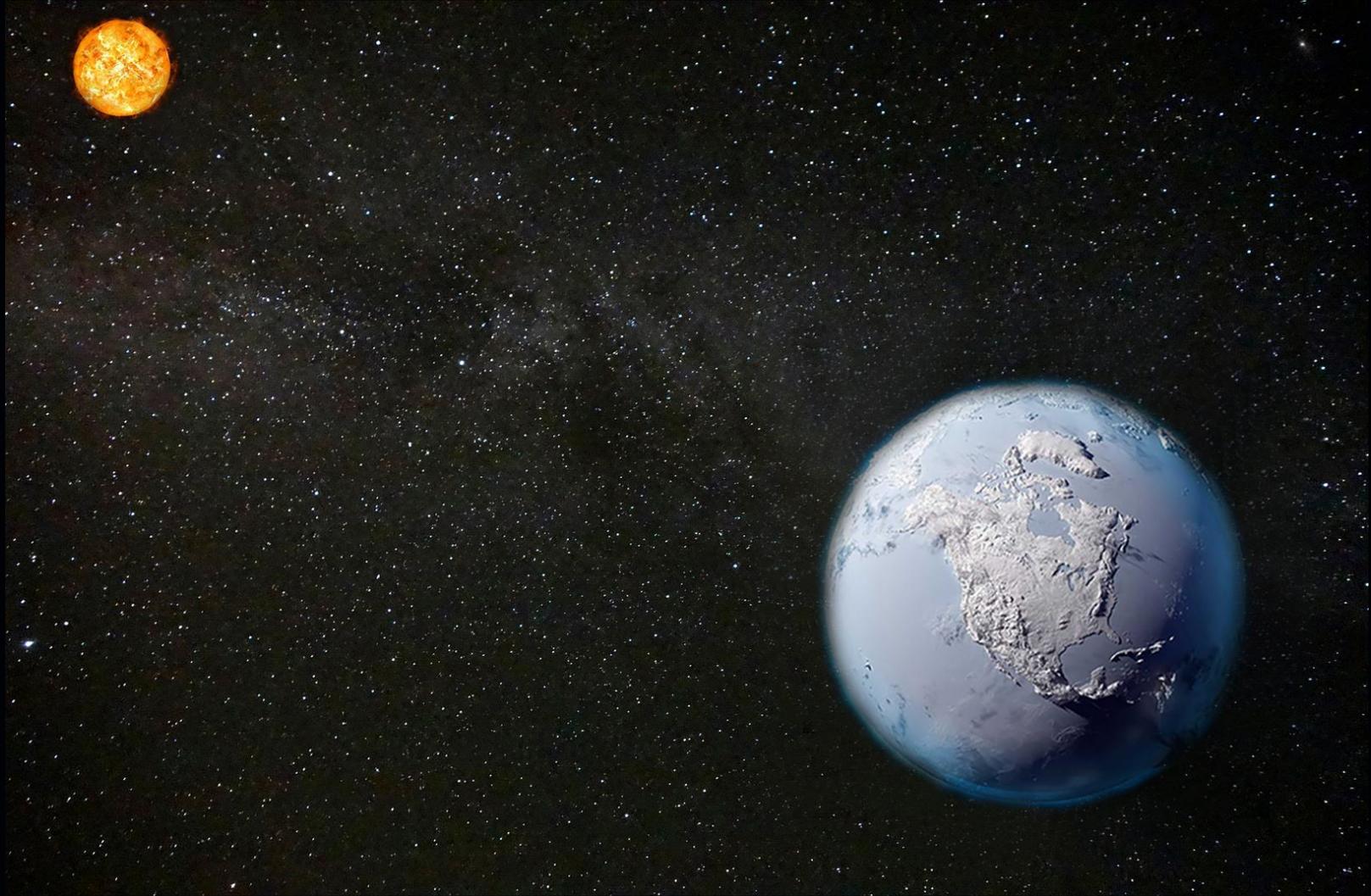
Sonnenstrahlung = **emittierte Infrarotstrahlung** + reflektierte Strahlung



Mit Atmosphäre und natürlichem Treibhauseffekt:
Die Gleichgewichttemperatur der Erde beträgt 16°C

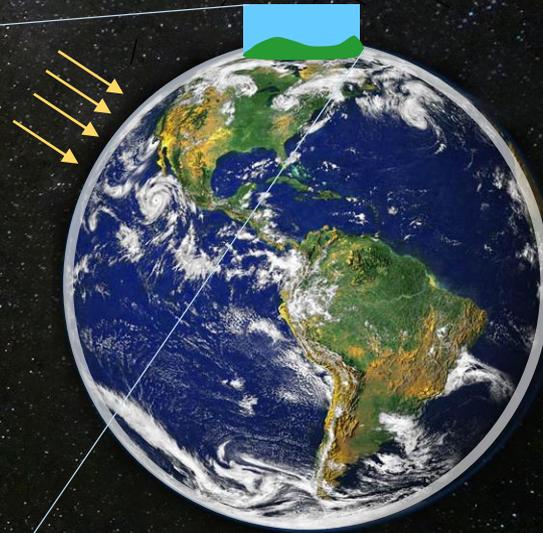
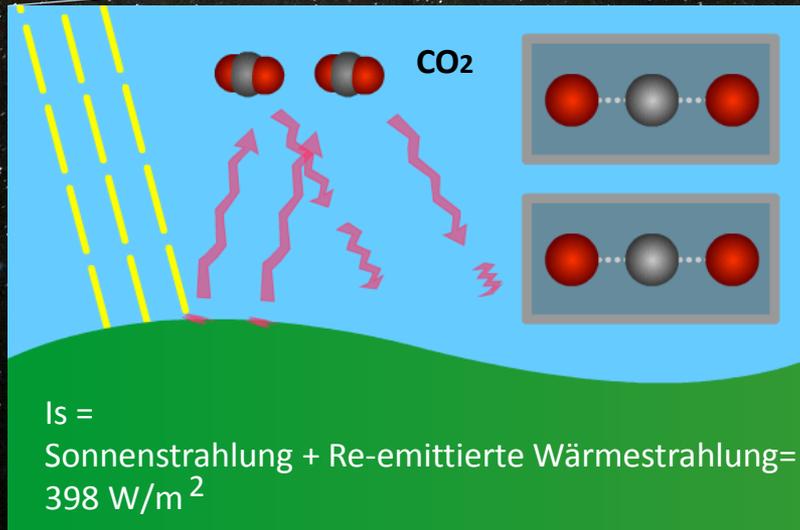
239 W/m²
→

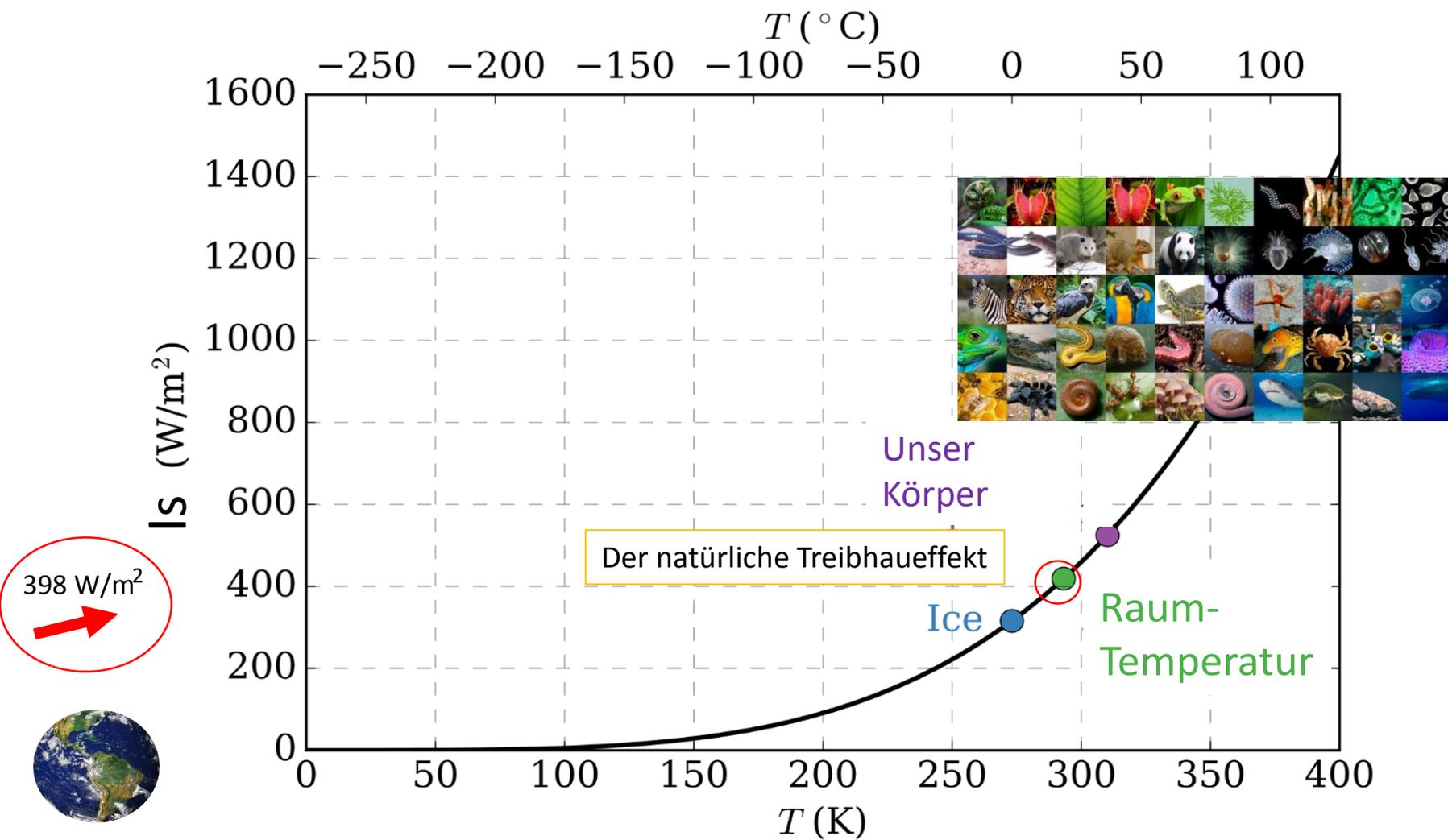






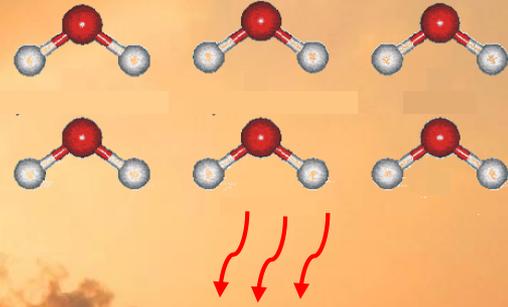
Die Atmosphäre der Erde besteht zu 78% aus Stickstoff (N_2) und zu 21% aus Sauerstoff (O_2), CO_2 0,04%



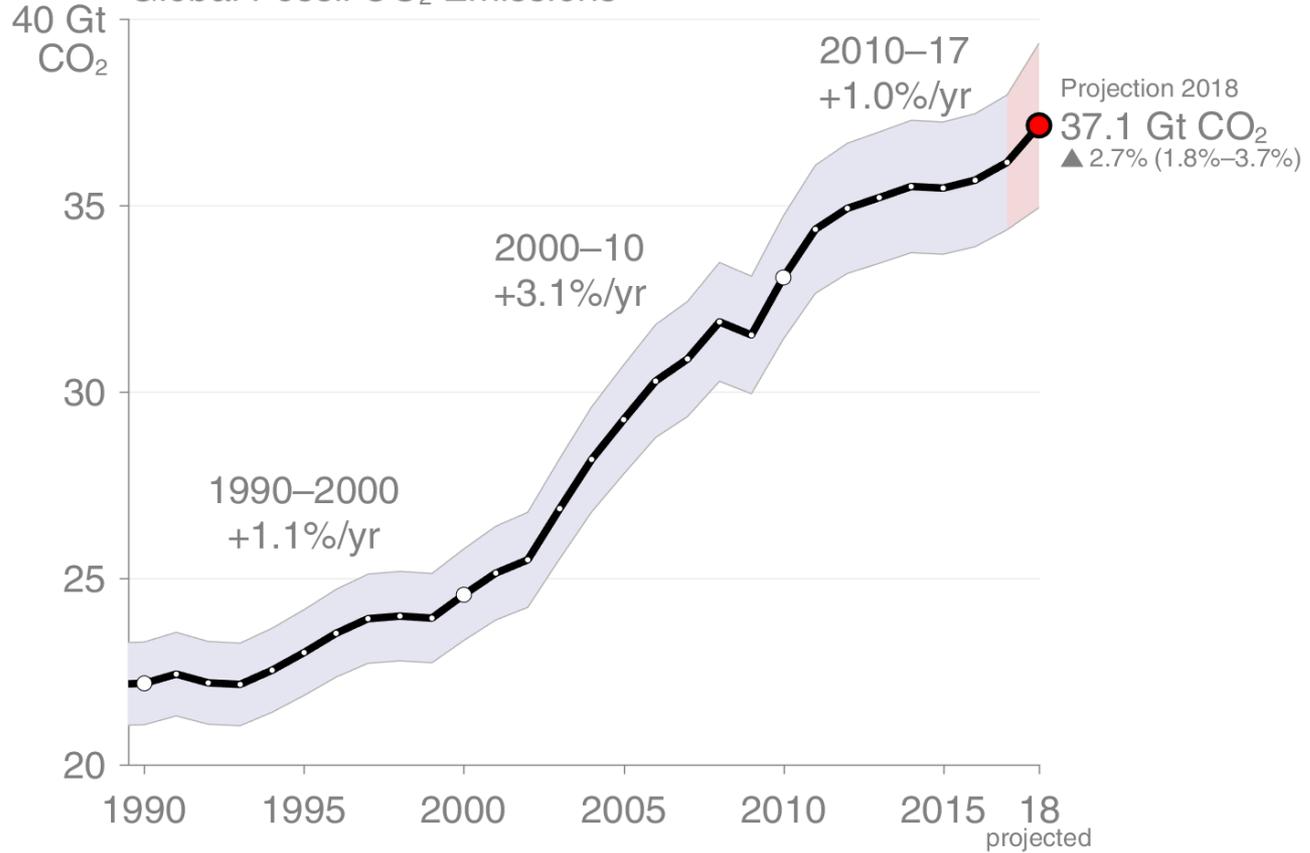


Noch mehr CO₂!

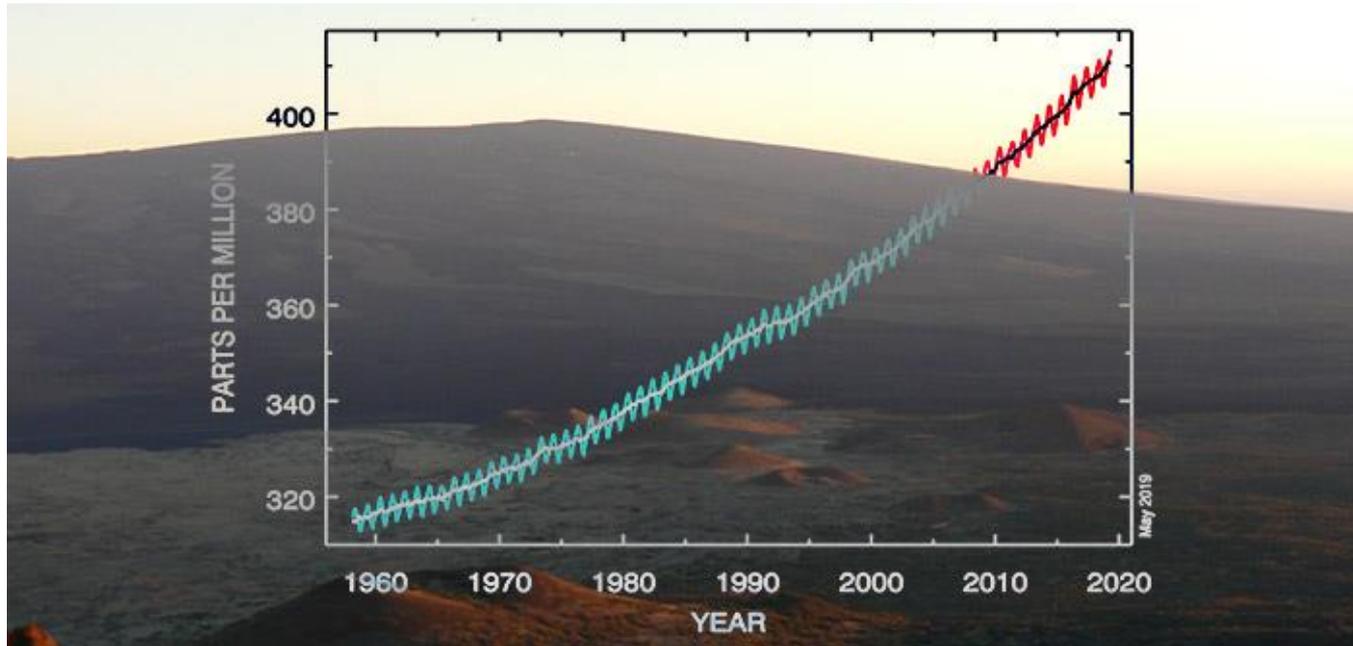
$I_s = 416 \text{ W/m}^2$



Global Fossil CO₂ Emissions



Quelle: NOAA, Scripps Institution of Oceanography



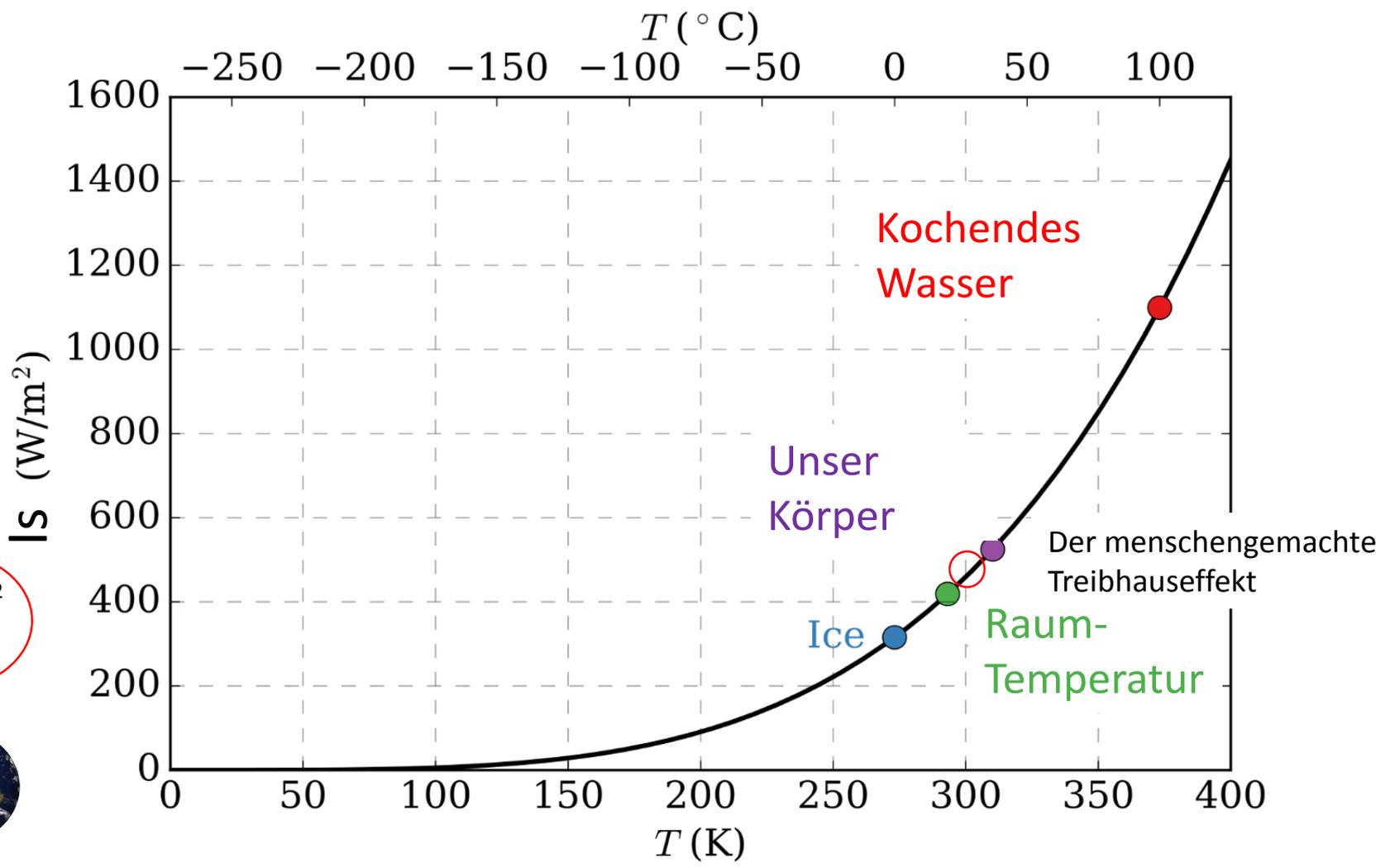
Entwicklung der CO2-Monatswerte bis Mai 2019, gemessen auf dem Mauna Loa auf Hawaii. © Kevstan / CC-by-sa 3.0

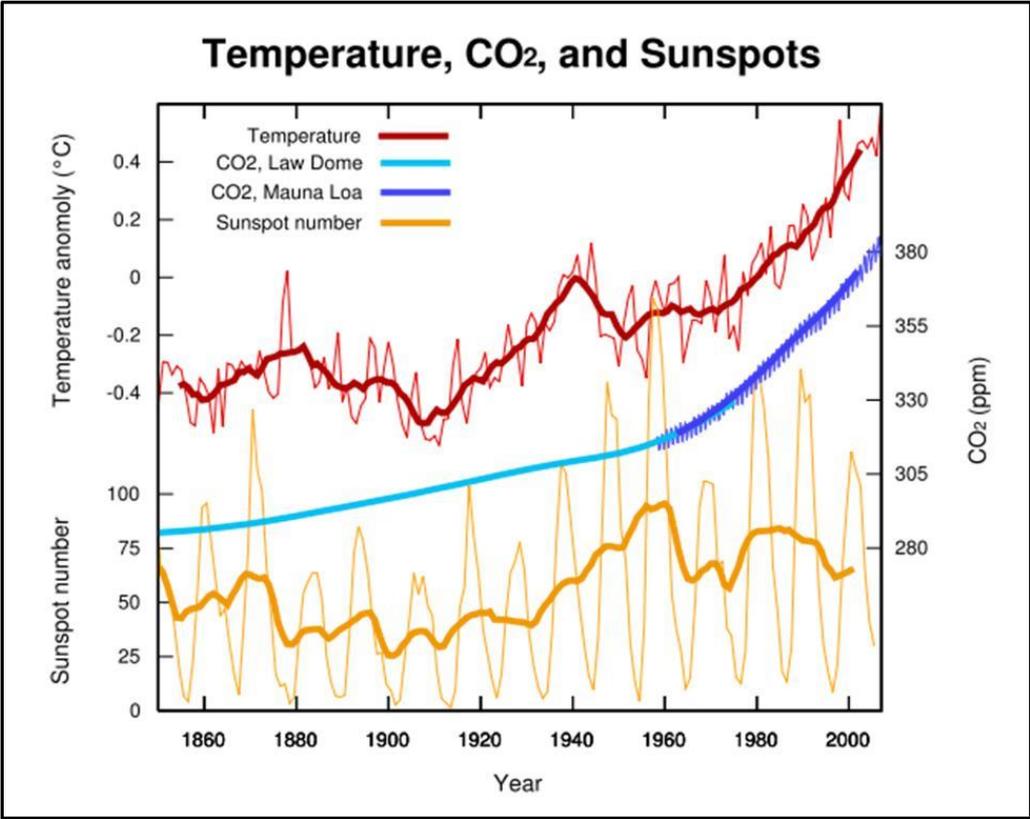
CO2-Werte erreichen neuen Rekordwert: 415 ppm

C14-Messungen erlauben zwischen CO₂ aus biogenen Quellen und fossilem CO₂ zu unterscheiden, da das in der Atmosphäre als Folge der kosmischen Höhenstrahlung gebildete C14 bei fossilen Brennstoffen bereits zerfallen ist. Durchgeführte C14-Messungen von atmosphärischem CO₂ belegen, dass tatsächlich dieses Isotop fehlt oder gemindert ist und der atmosphärische CO₂-Anstieg auf Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe zurückzuführen ist.

Kohlenstoff-13

- a. Fossile Brennstoffe (Alter 15-600 Mill. Jahre) enthalten **kein ¹⁴C** ($t_{1/2} = 5.730$ Jahre) und **weniger ¹³C** als Luft
- b. das Verhältnis ¹³C/¹²C ist in Pflanzen (→ Photosynthese) niedriger als in der Luft und in Meeren
- c. Rückschluss auf **Herkunft des atmosph. CO₂**





Stanford University

Kubikzentimeter



10^{20} Luftteilchen

10^{16} CO₂ Moleküle

Die Messungen bestätigen zudem, dass auch die Rate des CO₂-Anstiegs immer weiter zunimmt.

1970er Jahren: rund 0,7 ppm jährlich,

1980ern: rund 1,6 ppm pro Jahr.

Im letzten Jahrzehnt: 2,2 ppm jährlich.

Der Rekordwert vom Mai 2019 allerdings liegt sogar um 3,5 ppm über dem Vorjahreswert.

Diese Messwerte helfen uns, die Prognosen der Klimamodelle zu verifizieren – und sie zeigen, dass diese das schnelle Tempo des Klimawandels sogar eher unterschätzen

Klimagas seit 1990 um 41 Prozent angestiegen. Die Folge ist eine sich immer mehr verstärkende globale Erwärmung.

Kohlendioxid: 146% des vorindustriellen Wertes

Methan: 257 % des vorindustriellen Wertes

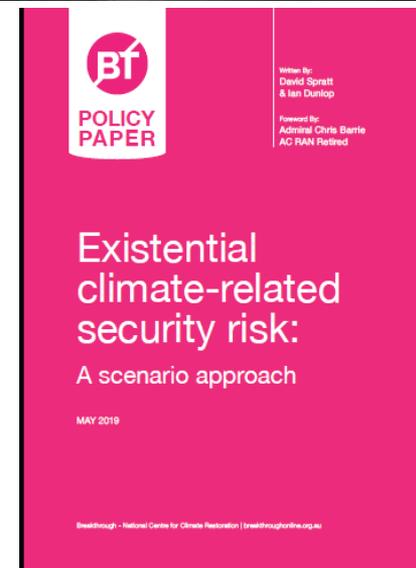
Distickstoffoxid: 122% des vorindustriellen Wertes

Treibhauswirkung seit 1990 fast verdoppelt



Der Klimawandel wird das Leben auf der Erde massiv verändern, daran besteht kaum ein wissenschaftlicher Zweifel. Die Autoren eines neuen australischen Klima-Berichts aber glauben, das Ausmaß der Zerstörungen könnte aktuelle Vorhersagen übertreffen – und bereits in 30 Jahren

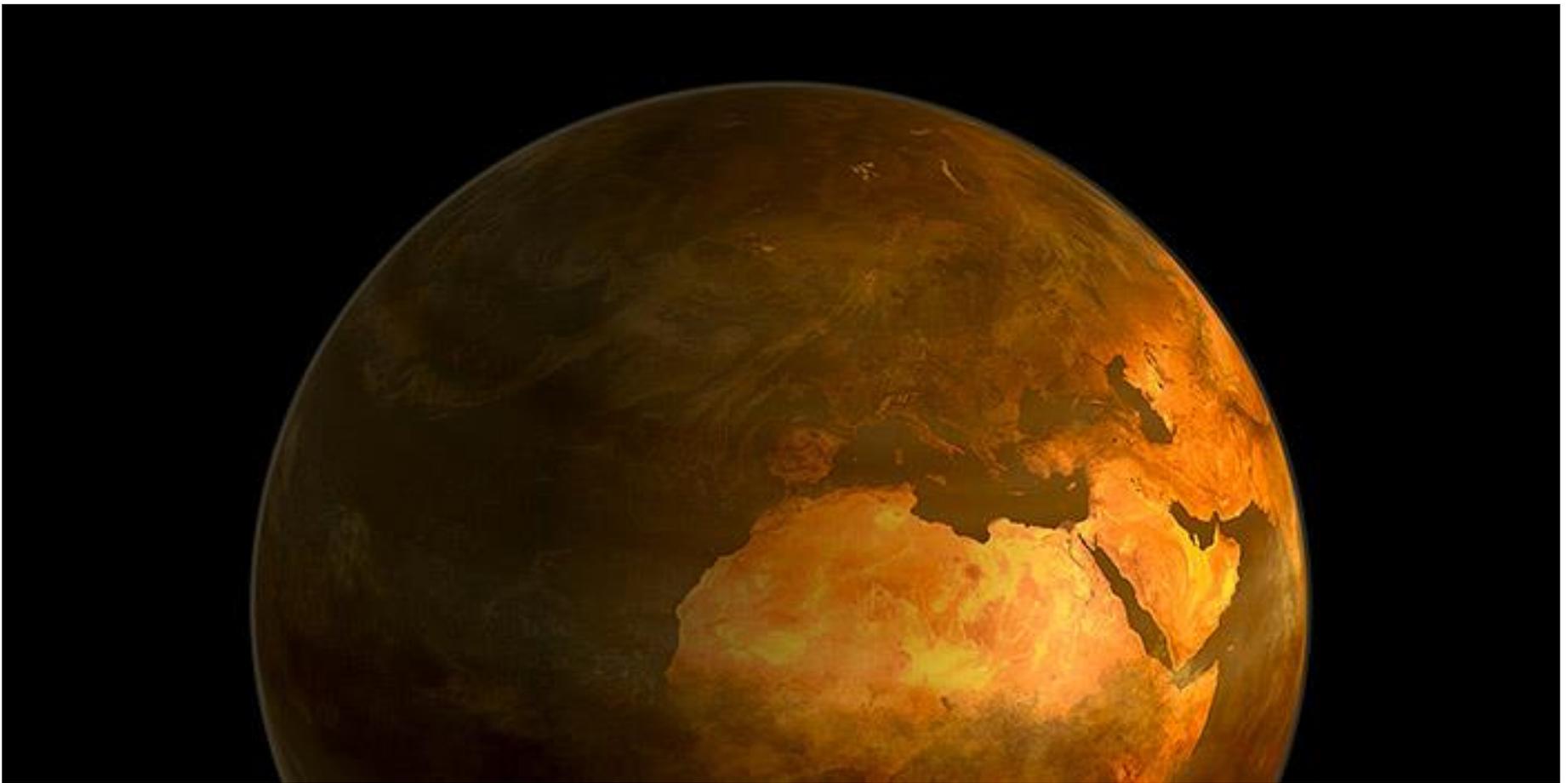
...



Das „Unwort“ 2019



- "Mit dem Wort 'Klimahysterie' werden Klimaschutzbemühungen und die Klimaschutzbewegung diffamiert und wichtige Debatten zum Klimaschutz diskreditiert.
- Der Ausdruck wurde 2019 von vielen in Politik, Wirtschaft und Medien – von der F.A.Z. über Unternehmer bis hin insbesondere zu AfD-Politikern – verwendet.
- Er pathologisiert pauschal das zunehmende Engagement für den Klimaschutz als eine Art kollektiver Psychose.
- Vor dem Hintergrund wissenschaftlicher Erkenntnisse zum Klimawandel ist das Wort zudem irreführend und stützt in unverantwortlicher Weise wissenschaftsfeindliche Tendenzen."
- Begründung der Jury der Sprachkritischen Aktion

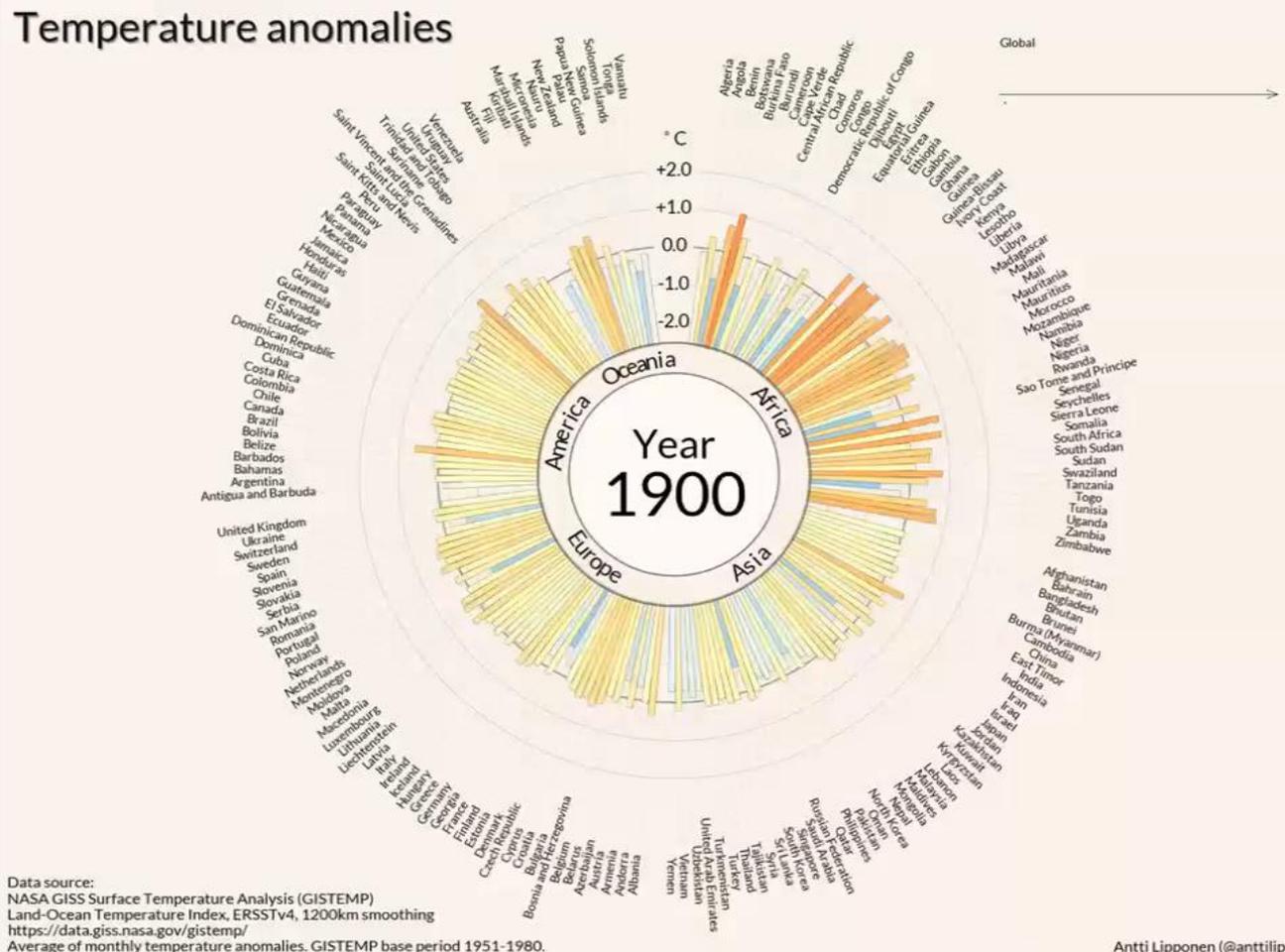


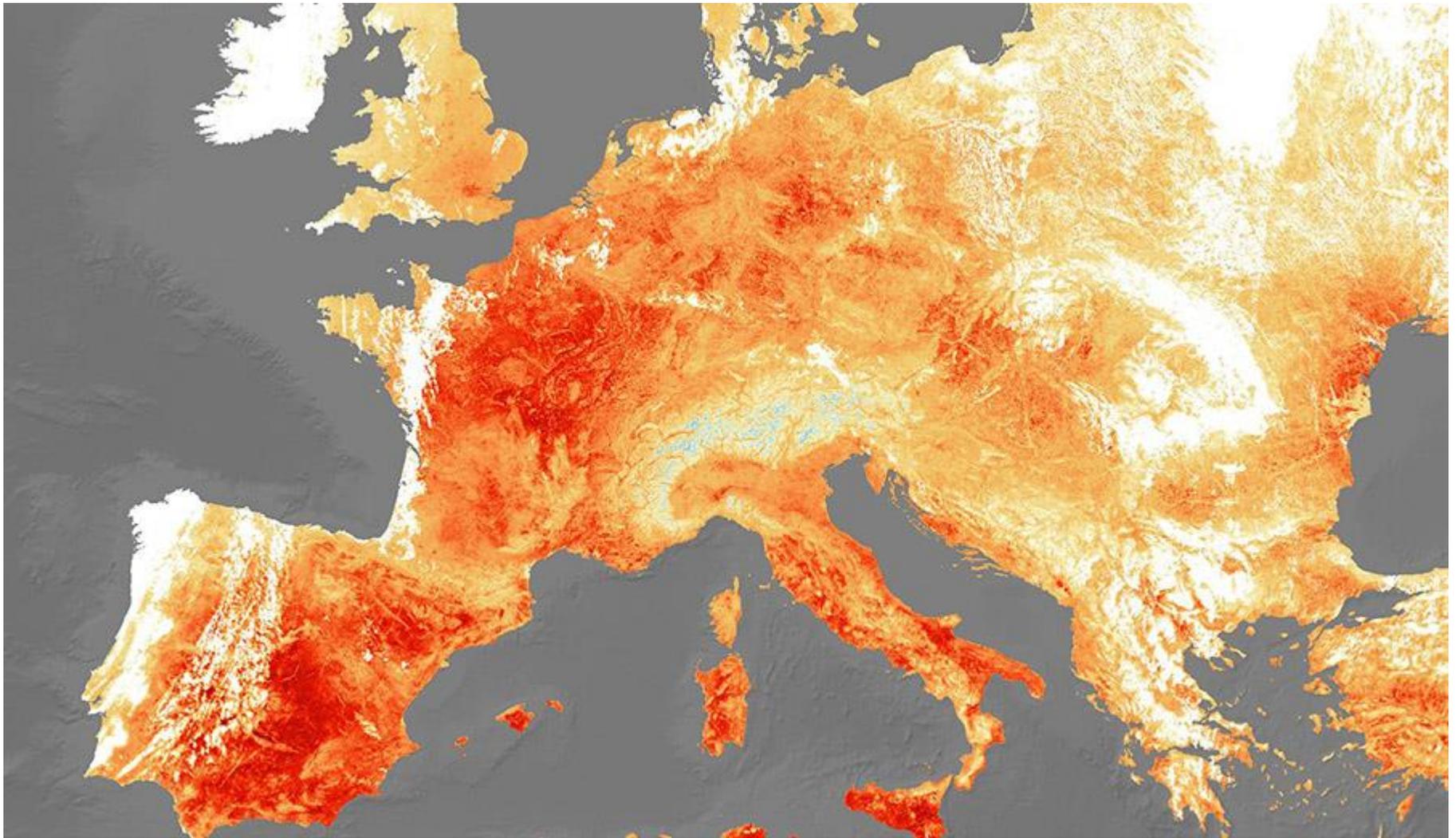
Die aktuelle Erwärmung betrifft 98 Prozent der Erdoberfläche – sie ist damit so umfassend und einheitlich wie keine andere Klimaschwankung der letzten 2.000 Jahre.

© bischy/ thinkstock Neukom et al. , Nature 571, p. 550 (2019)

Temperatortrends 1906 – 2016

Es wird immer heißer!!





Europa während der Hitzewelle Ende Juli 2019. Tage mit extremer Hitze sind vor allem in Mitteleuropa häufiger und heißer geworden. © European Space Agency

Folgen der Erderhitzung in Deutschland

Bereits heute sind Folgen des Klimawandels in Deutschland spürbar und messbar



MEHR HITZETAGE
(mind. 30 °C)

1951: im Mittel 3 Hitzetage pro Jahr
2018: im Mittel 10 Hitzetage pro Jahr

HITZEBEDINGTE TODESFÄLLE

Hitzebedingte Todesfälle in den Hitzesommern 2003, 2006 und 2015

19.500

Anzahl der Monate mit Unterschreitung der Referenzwerte (Durchschnittswerte 1971-2000)

0,20

NIEDRIGE GRUNDWASSERSTÄNDE WERDEN HÄUFIGER

1971

'81, '82

'92

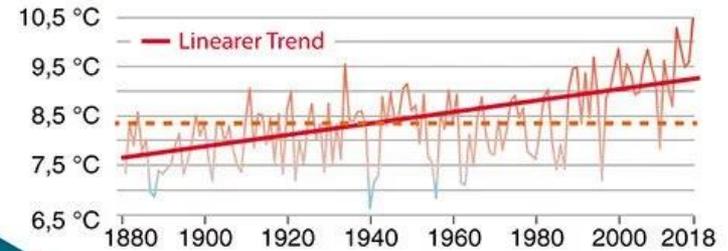
2002

2012

'17, '18

4,30

MITTLERE LUFTTEMPERATUR IST UM 1,5° IN DEUTSCHLAND GESTIEGEN



2016 516,84 cm
2011 515,88 cm
2001 513,61 cm
1991 510,66 cm
1981 507,97 cm

DER MEERESSPIEGEL VON NORD- UND OSTSEE STEIGT
(je drei Messorte)

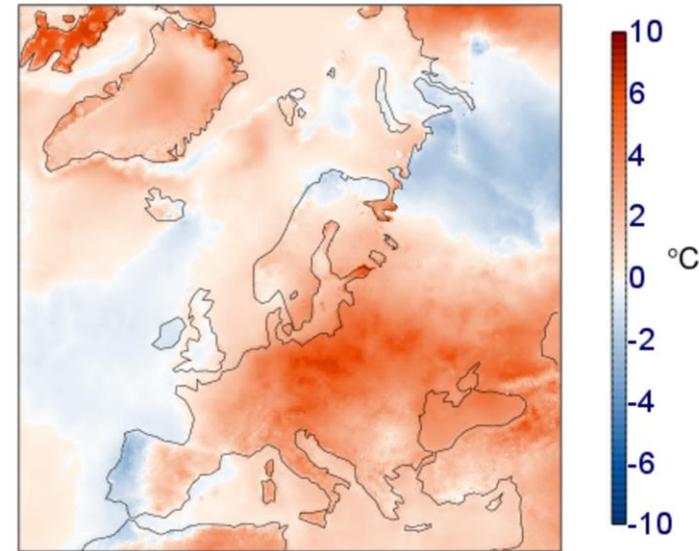
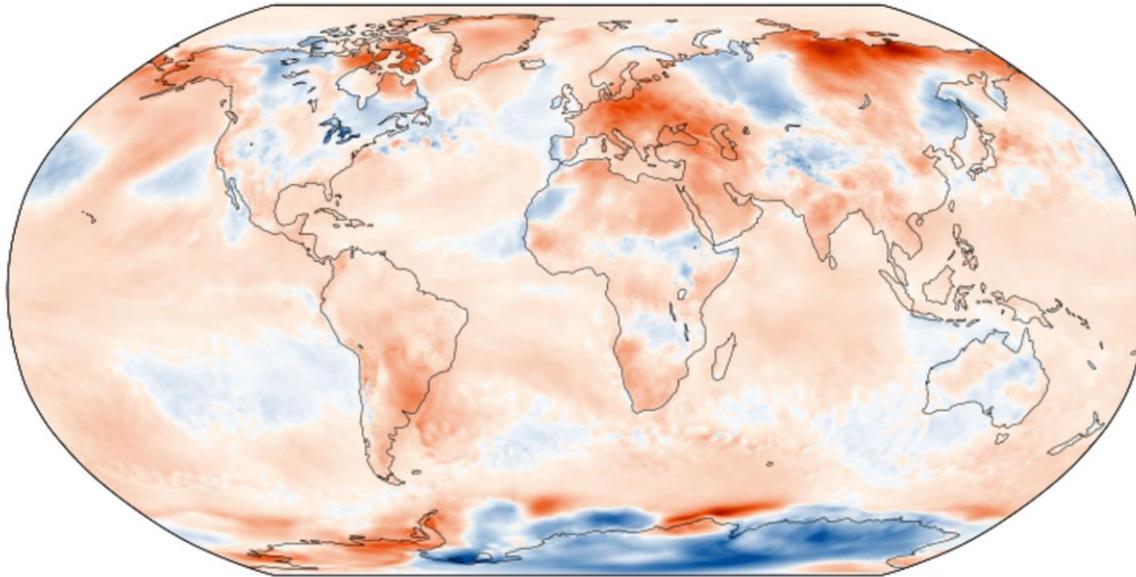
+10,2 cm

DAUER DER VEGETATIONSPERIODE



Quelle: Monitoringbericht 2019

Surface air temperature anomaly for June 2019 relative to 1981-2010



<https://climate.copernicus.eu/>

Auffällig: In Sibirien brachen vor allem dort Brände aus, wo die Oberflächentemperaturen ungewöhnlich hoch waren, wie eine aktuelle Analyse des Erdbeobachtungsprogramms Copernicus zeigt. Laut Parrington lagen die Temperaturen dort bis zu zehn Grad Celsius über der Durchschnittstemperatur aus den Jahren 1981 bis 2010.

Der andere arktische Klima-Teufelskreis

Tausende Quadratkilometer Torflandschaft brennen. Die Feuer gefährden auch den Permafrost - und könnten dadurch einen sich selbst verstärkenden Prozess in Gang setzen.

Dunkles Blau in Schmelztümpeln und schwarze Ruß-Emissionen beschleunigen den Rückgang des Meereises rund um den Nordpol.

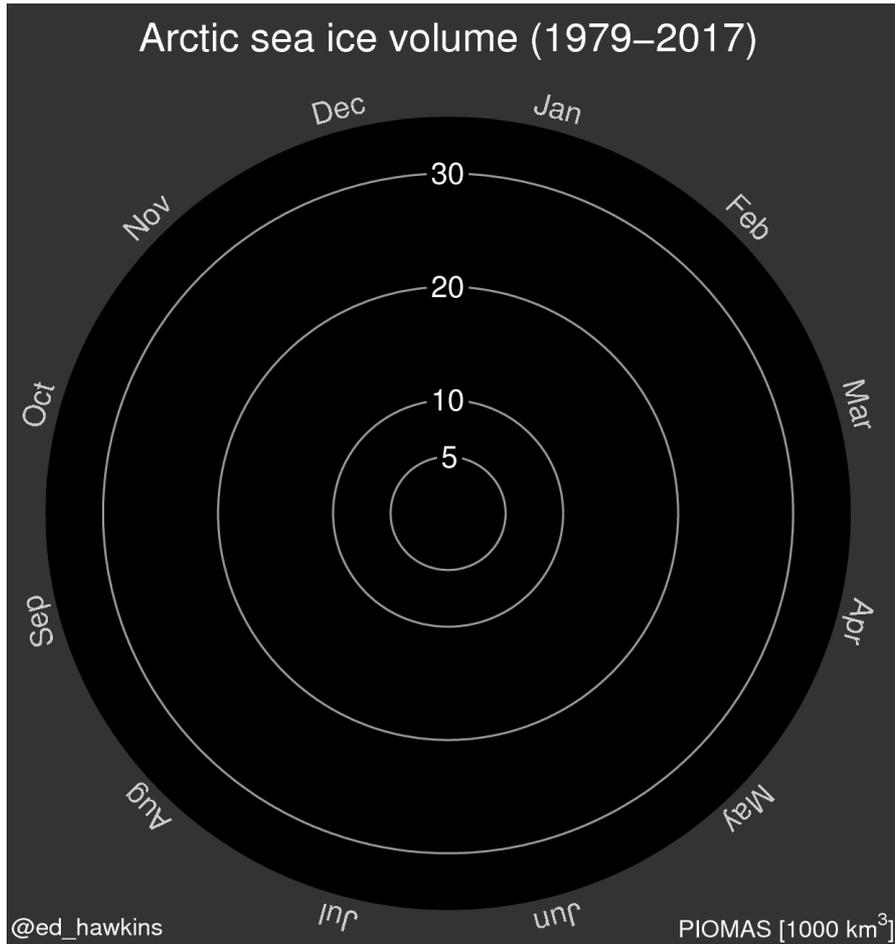




Lutz Schirrmeister/ Alfred-Wegener-Institut

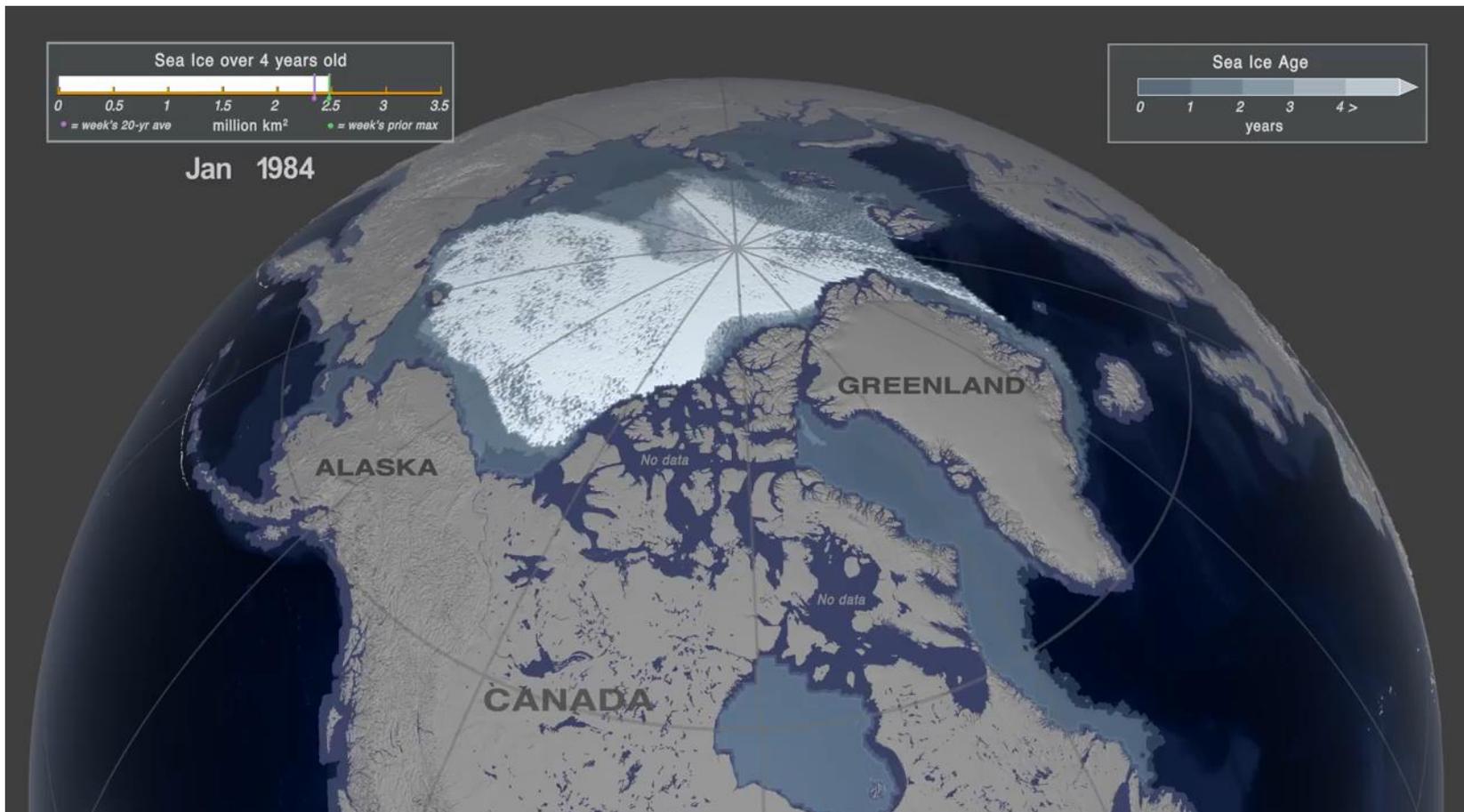
Ein Kliff in der sibirischen Arktis mit Überresten von Mooregebieten: Im Boden liegen alte Pflanzenreste verborgen. Diese sind ein riesiger Kohlenstoffspeicher, so lange sie gefroren sind. Wenn sie auftauen, gibt es Mikroorganismen, die sich darüber hermachen - und so CO₂ freisetzen.

Das arktische Eis verschwindet

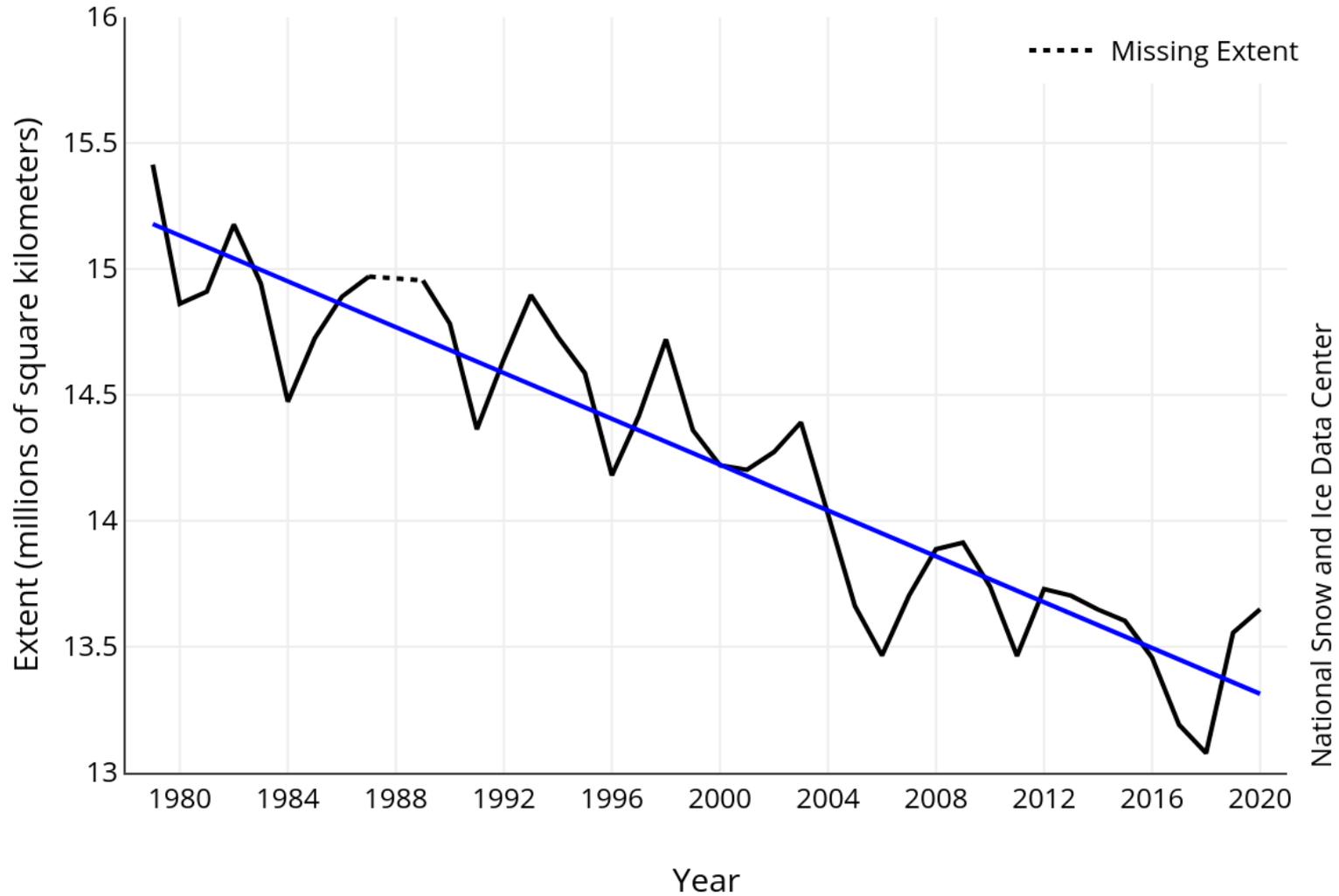


Arktis: Letzte Eisreserve taut

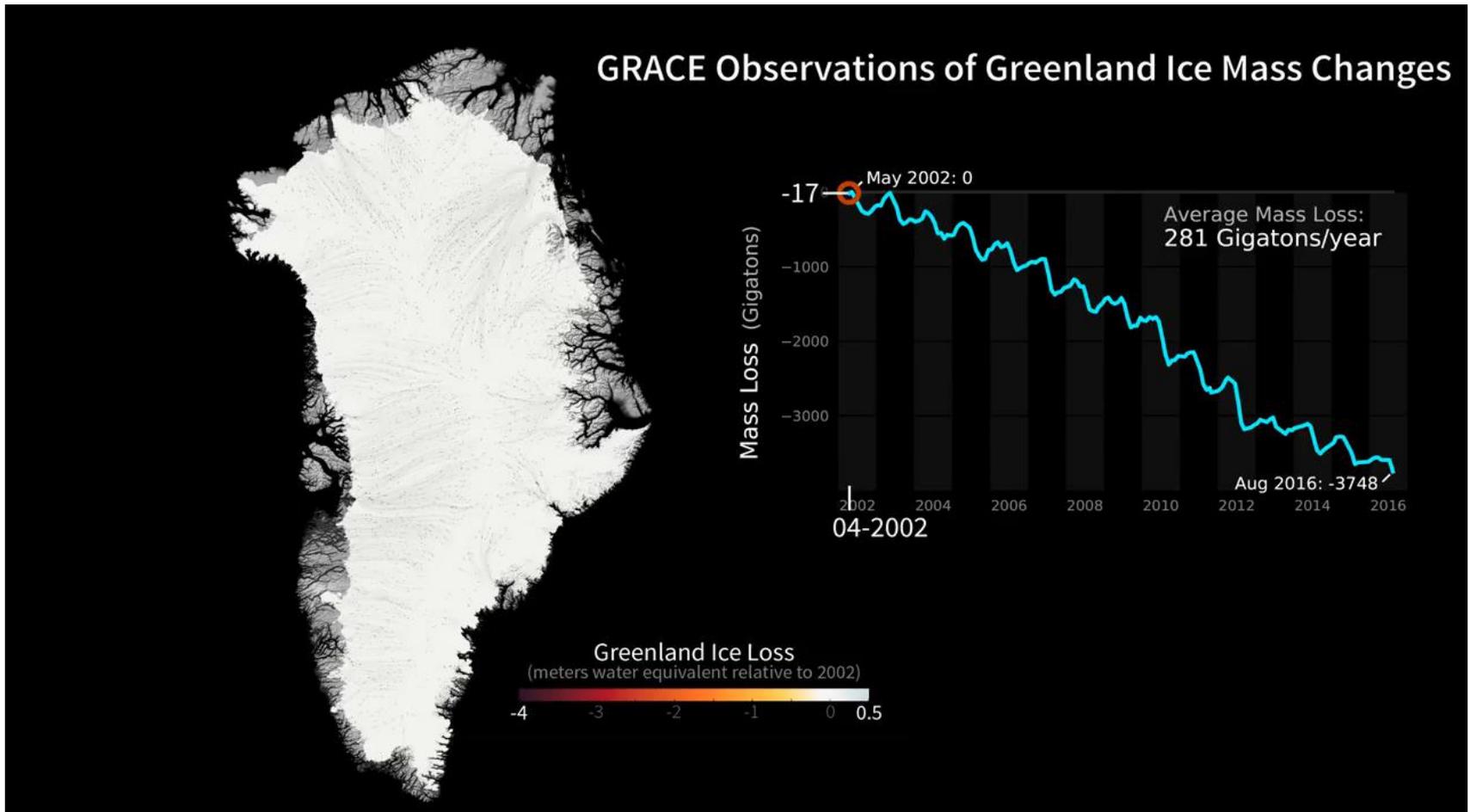
Ältestes und dickstes Meereis schmilzt zweimal so schnell wie jüngeres Eis



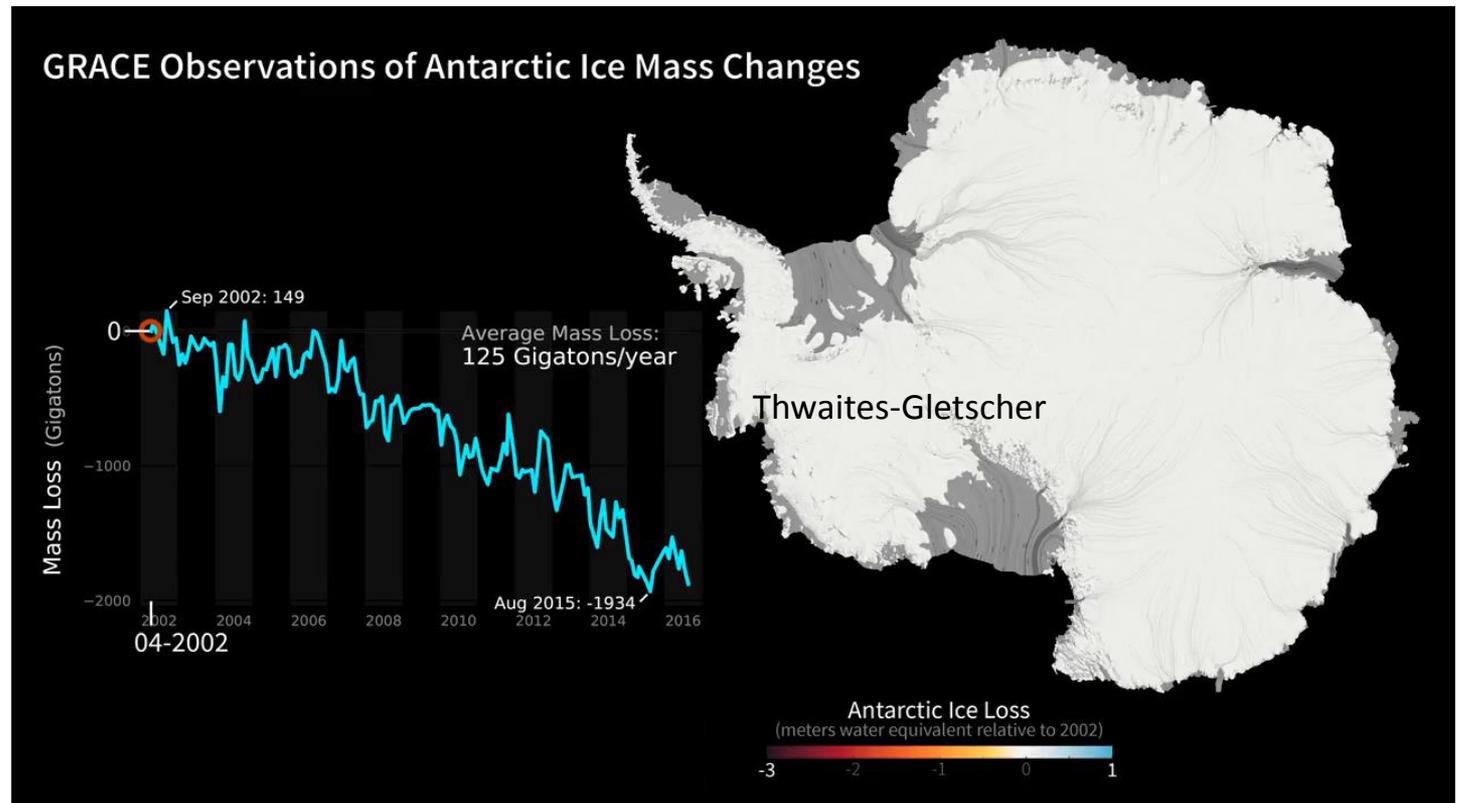
Average Monthly Arctic Sea Ice Extent January 1979 - 2020



Gletscher auf Grönland verschwinden!

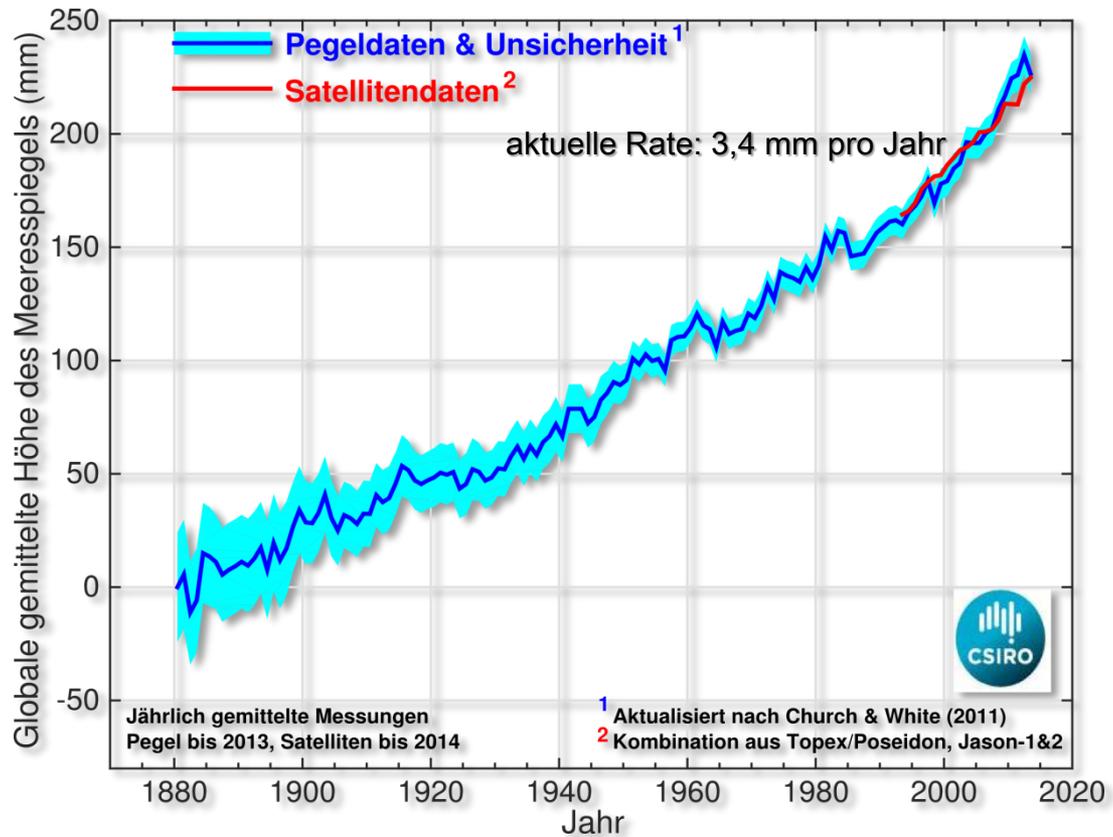


Auch am Südpol wird es weniger!



Thwaites-Gletscher = Doomsday Gletscher, 4% des Meeresspiegelanstiegs bis jetzt, bis zu 3m!
Doppelt so groß wie Österreich, verliert doppelt so viel Eis wie vor 30 Jahren!
Bremsklotz-Funktion verloren! Kipppunkt überschritten? (SZ 7.2. 2020)

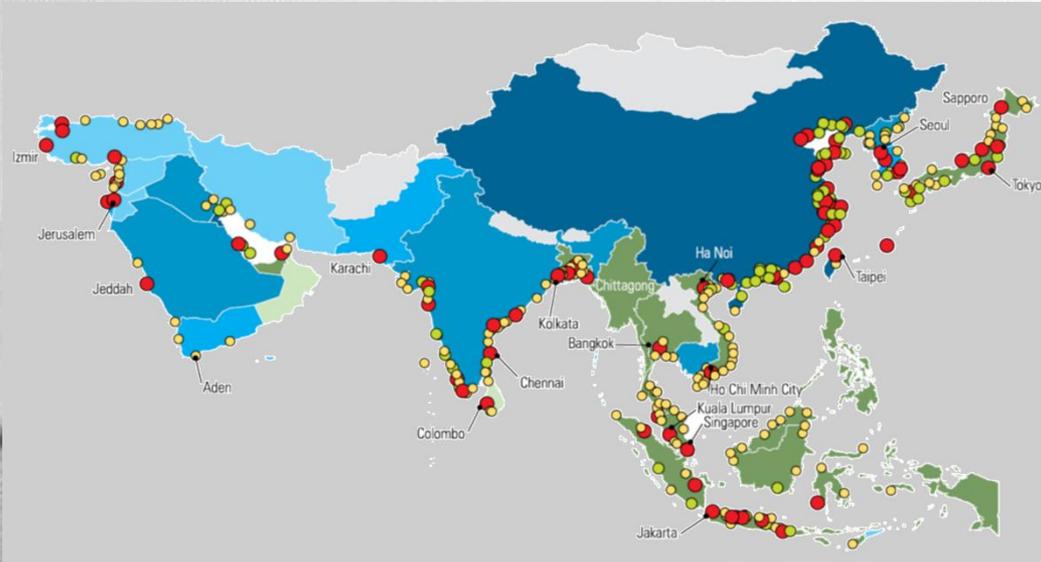
ANSTIEG MEERESSPIEGEL



Europa 2100



Anstieg des Meeresspiegels könnte bis 2060 1.4 Milliarden Menschen betreffen



% of national urban population in urban LECZ



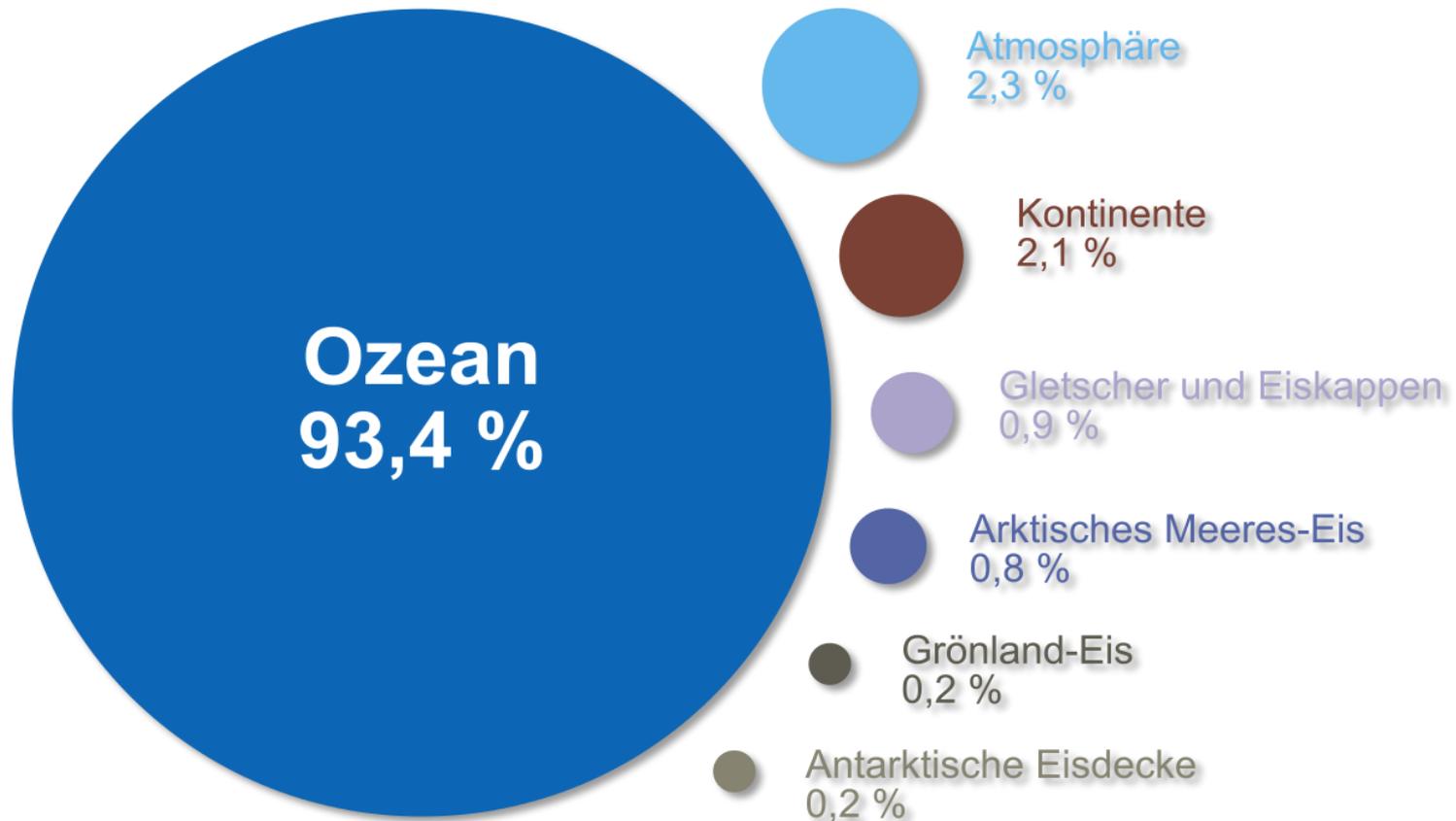
LECZ: Low Elevation Coastal Zones are land areas that are contiguous with the coast and ten meters or less in elevation.

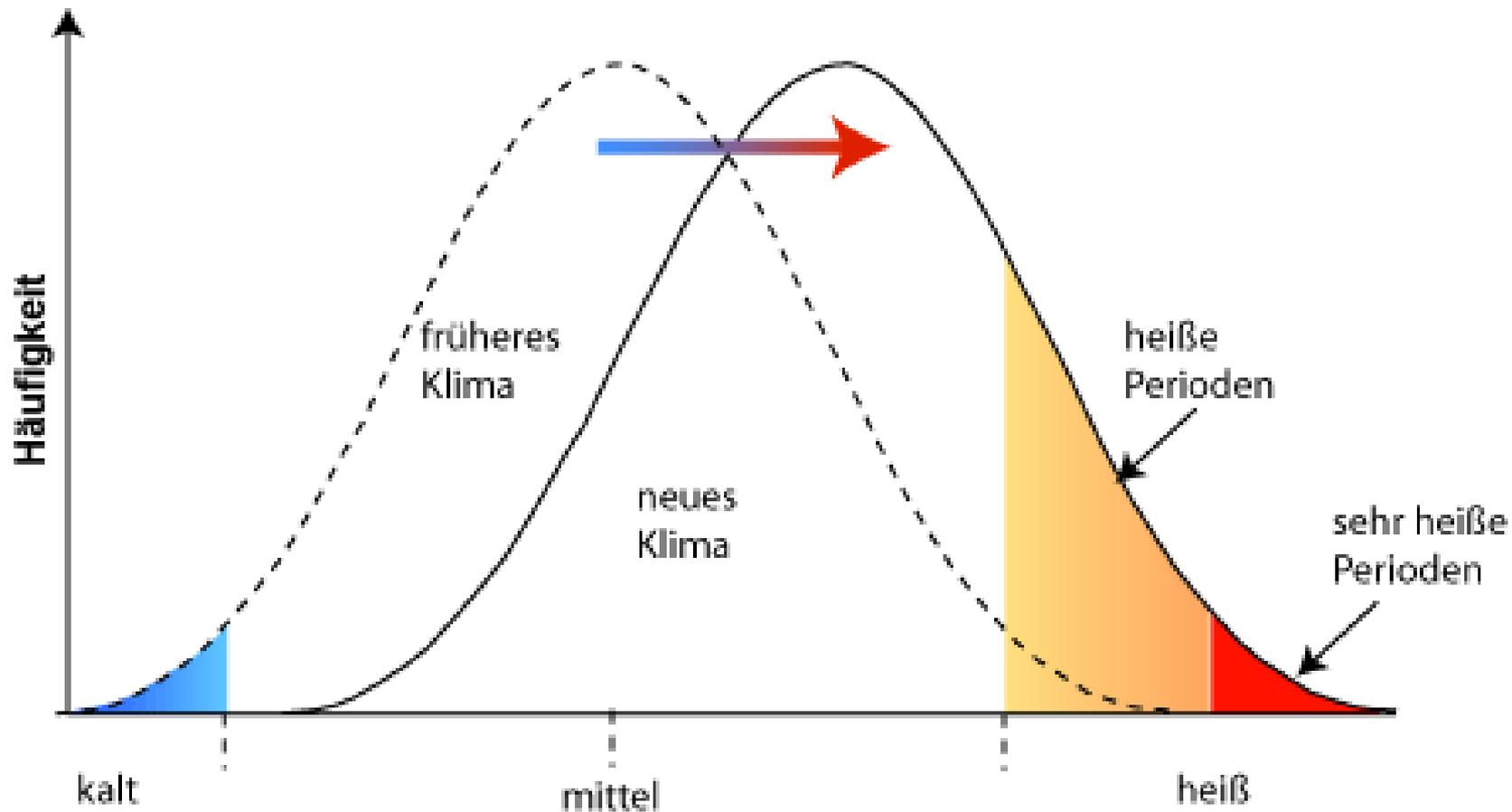


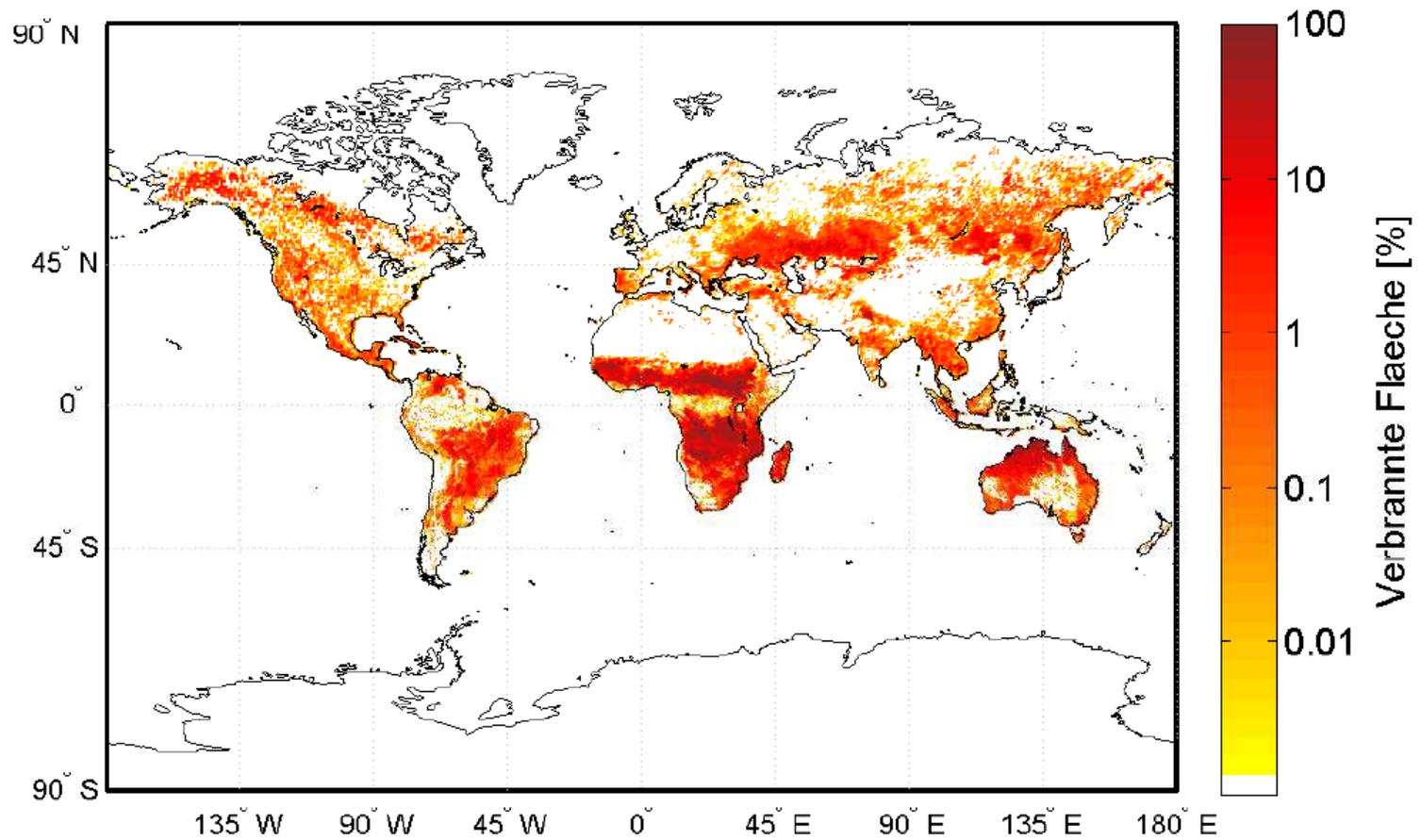
Source: Daesung Lee, *On the shore of a vanishing island 13, 2011*

OZEANE ALS WÄRMESPEICHER

Wohin geht die Erderwärmung? **NOCH!**



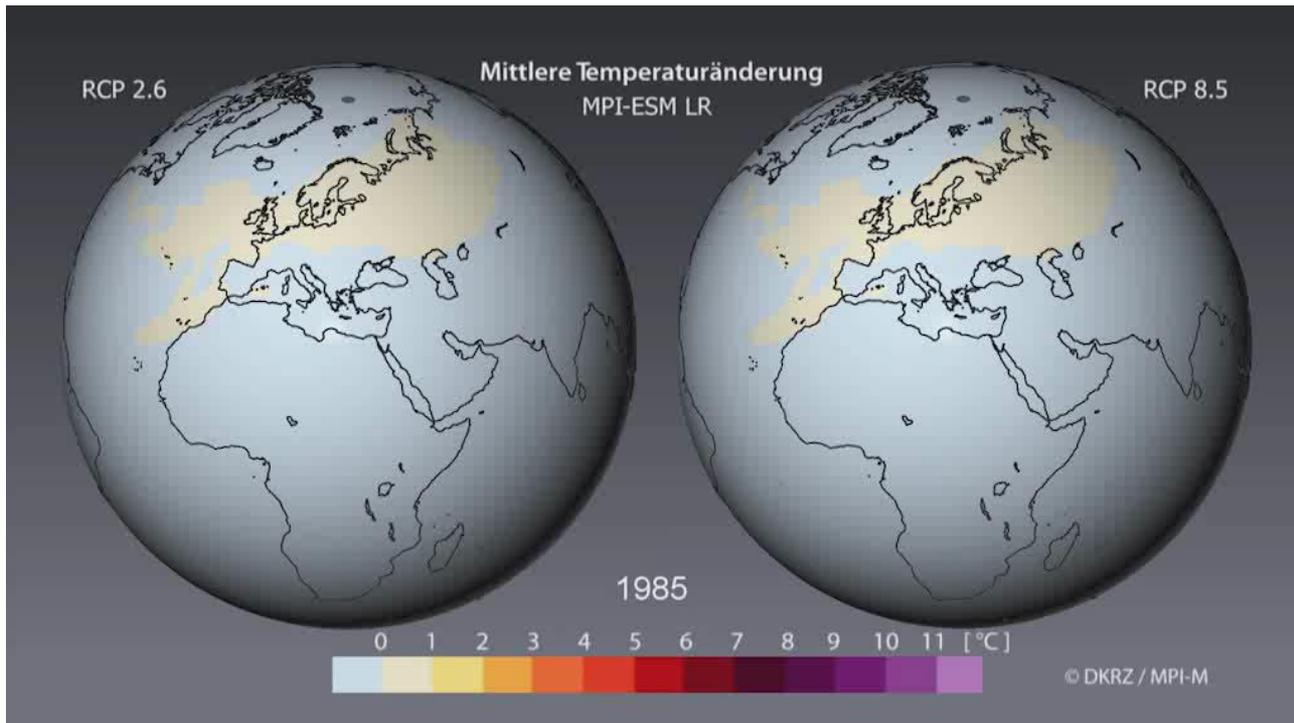




Meteorologisches Institut der Universität Hamburg.



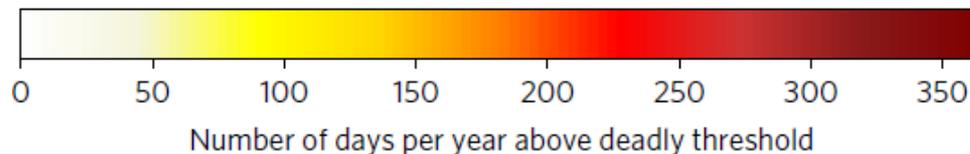
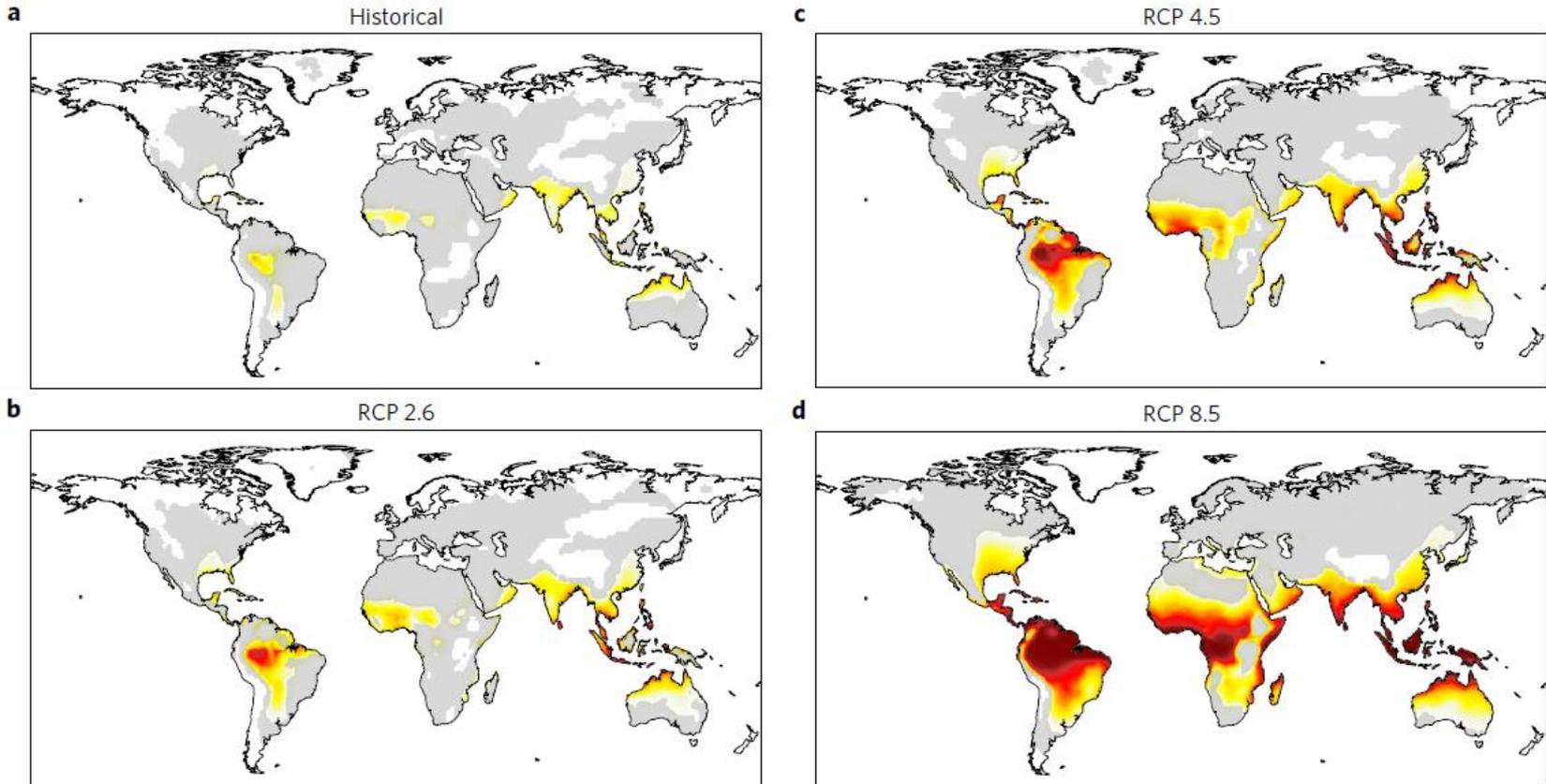
Temperaturprognose 1985 - 2100



Quelle: DKRZ/MPI-M; Prof. Dr. M. Latif, Februar 2015.

Klimawandel und Hitzerisiko: Die Grenzen menschlicher Wärmeregulierung

Geographische Verteilung tödlicher Klimazustände unter verschiedenen Emissionsszenarien



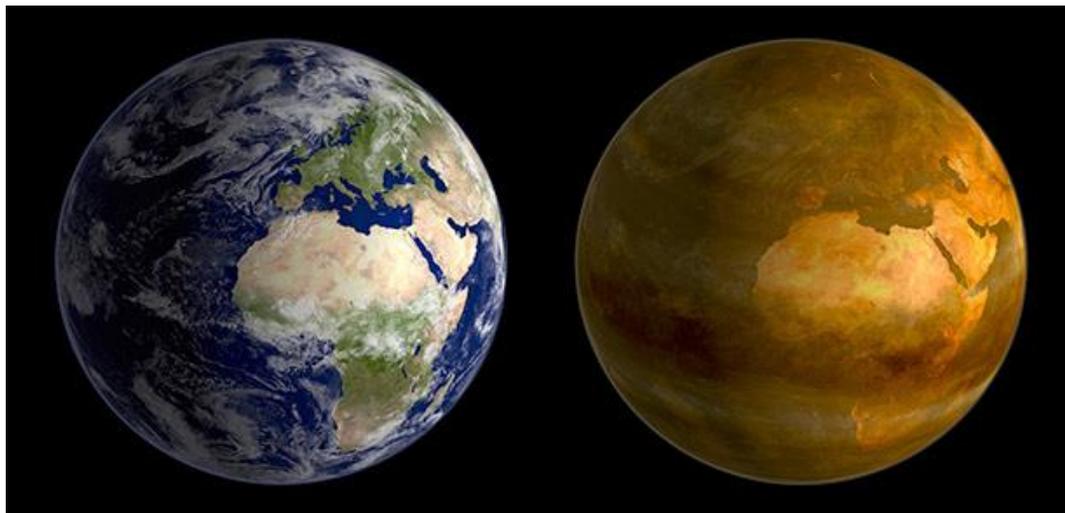
Klimawandel: Droht ein Domino-Effekt?

Positive Rückkopplungen könnten das Erdklima schon bei zwei Grad Erwärmung destabilisieren

Fatale Rückkopplung: Das Erdklima ist möglicherweise labiler als bisher gedacht.

Relativ geringe Erwärmung könnte eine Kaskade von positiven Rückkopplungen auslösen, die das Klima irreversibel destabilisiert.

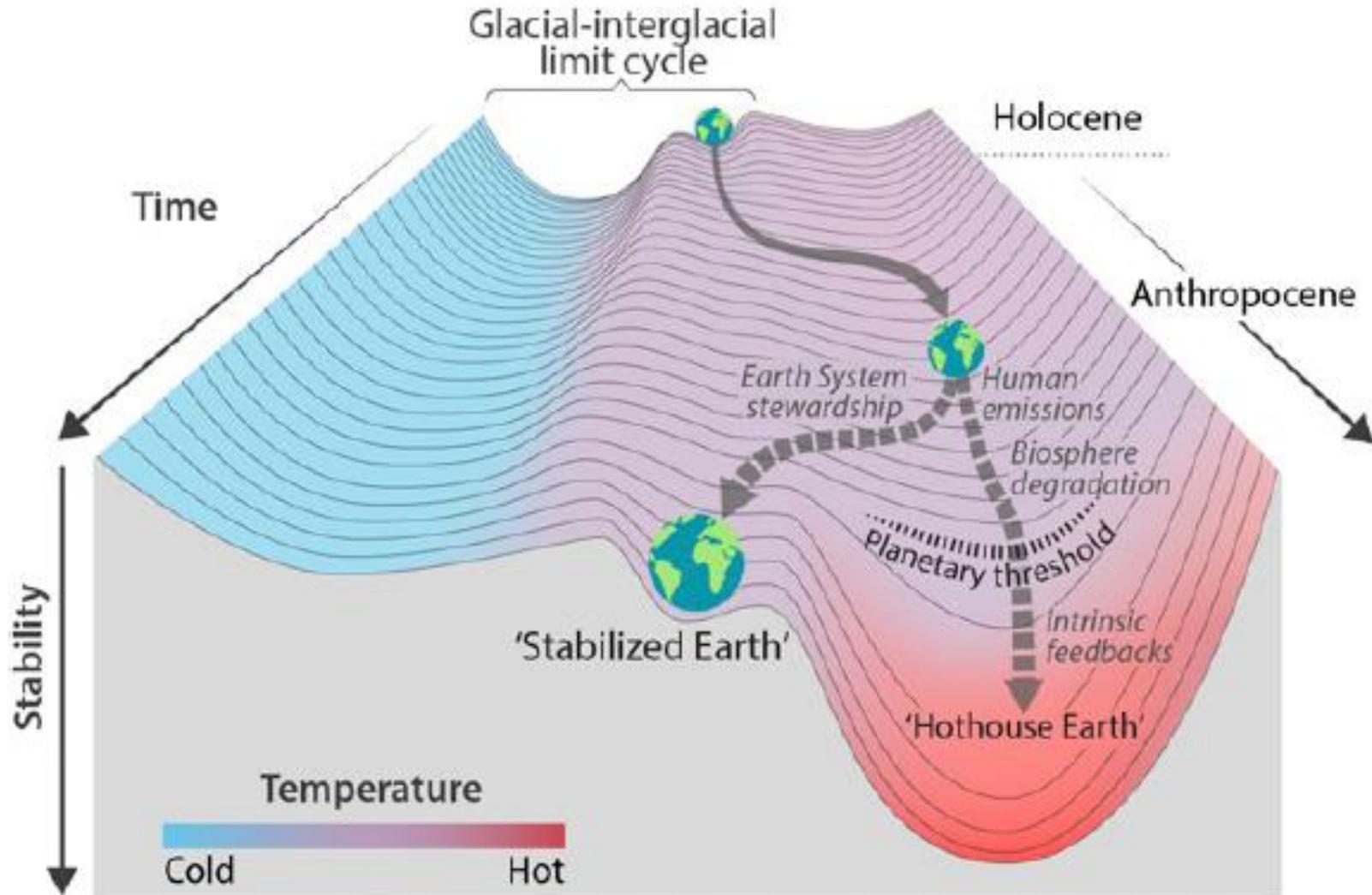
Die Folge: "Umkippen" des irdischen Klimasystems zu einer "Treibhaus-Erde" – einem Klimaregime, in dem die Erwärmung sich selbst verstärkt und kaum mehr aufzuhalten ist.



Trajectories of the Earth System in the Anthropocene

Will Steffen^{a,b,1}, Johan Rockström^a, Katherine Richardson^f, Timothy M. Lenton^d, Carl Folke^{a,g}, Diana Liverman^f, Colin P. Summerhayes^g, Anthony D. Bamosky^h, Sarah E. Cornell^f, Michel Crucifix^{i,j}, Jonathan F. Donges^{a,k}, Ingo Fetzer^a, Steven J. Lade^{a,b}, Marten Scheffer^l, Ricarda Winkelmann^{k,m}, and Hans Joachim Schellnhuber^{a,k,m,1}

Edited by William C. Clark, Harvard University, Cambridge, MA, and approved July 6, 2018 (received for review June 19, 2018)



Abschmelzen des grönländischen Eisschildes aufgrund nichtlinearer Abschmelzprozesse und weitere Erwärmung durch Albedo-Effekt

Kollaps des arktischen Meereises und Verschärfung der Erwärmung durch Albedo-Effekt

Methanfreisetzung durch Auftauen des sibirischen Permafrostbodens und weitere Erwärmung

Verlangsamung des Nordatlantikstroms aufgrund von erhöhtem Schmelzwassereintrag

Kollaps des Amazonas-Regenwalds aufgrund von Landnutzung und Klimawandel und weitere Erwärmung durch Umkehr der Senkenfunktion

Heftigere El-Niño-Ereignisse

Abschmelzen des westantarktischen Eisschildes aufgrund nichtlinearer Abschmelzprozesse

Arktis

Permafrost

Grönland

Nordatlantikstrom

Nordische Wälder

Indischer Sommermonsun*

Sahel-Zone

Amazonas-Regenwald

El Niño

Meere

Westantarktis

Bistabilität der Sahel-Zone: zuerst Ergrünung, dann deutlich trockener

Kollaps der borealen Nadelwälder und weitere Erwärmung durch Freisetzung von CO₂

Bistabilität des Indischen Sommermonsuns: Abschwächung aufgrund von Luftverschmutzung oder Verstärkung durch globale Erwärmung

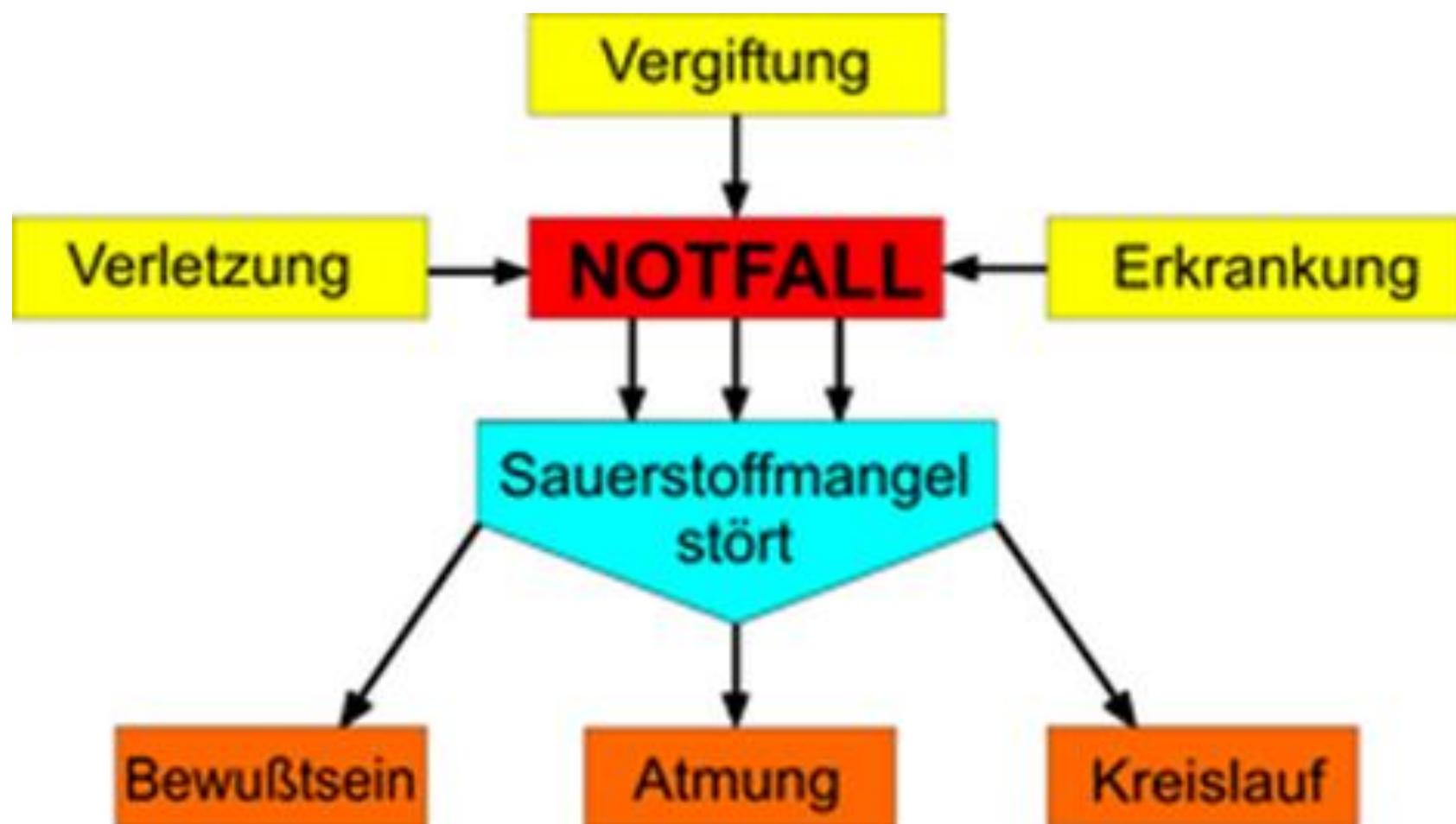
* Kipp-Punkt vor allem von Albedo abhängig, nicht von Temperatur

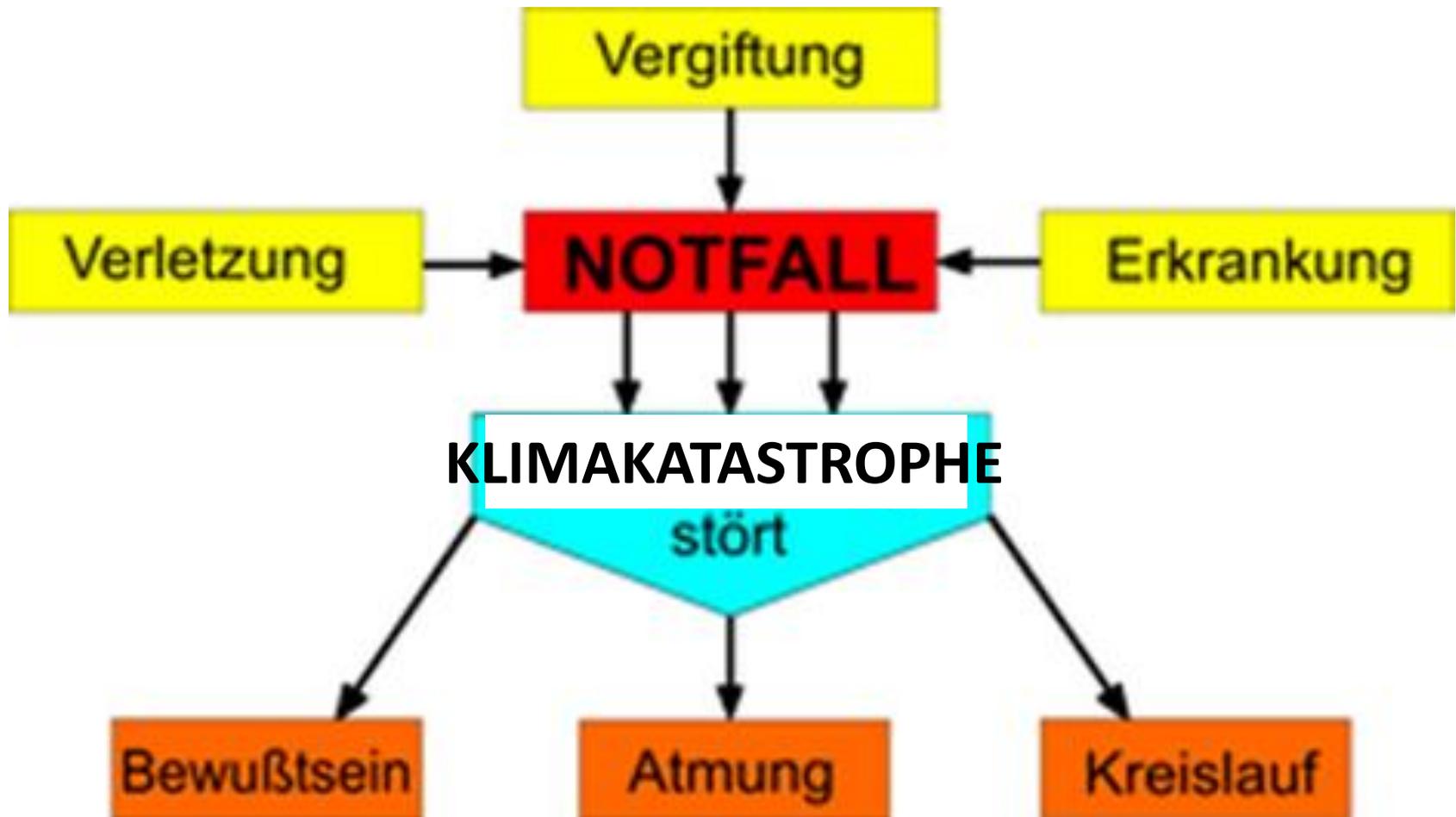
Unterbrechung der arktischen Nahrungskette und massives Korallensterben im Pazifik durch Versauerung und Erwärmung

0°C 1°C 2°C 3°C 4°C 5°C 6°C

→ wir müssen bis 2050 weit unter 2 Grad bleiben!

Die Natur lässt nicht mit sich verhandeln

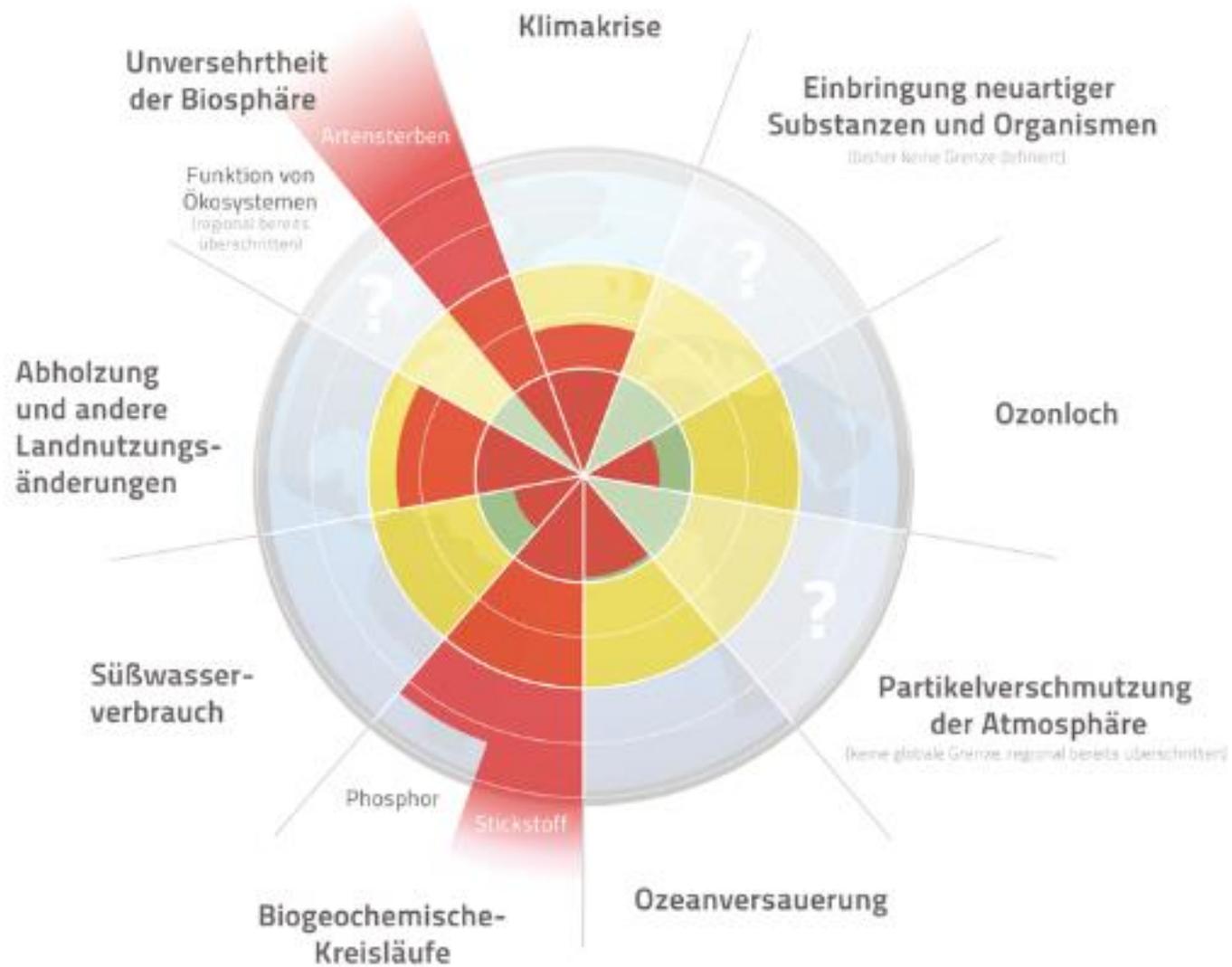






Ökologische Belastungsgrenzen

nach Will Steffen et al. 2015



- Sichere planetare Belastungsgrenze nach Einschätzung der Autoren
- Unsicherheitsbereich (steigendes Risiko)



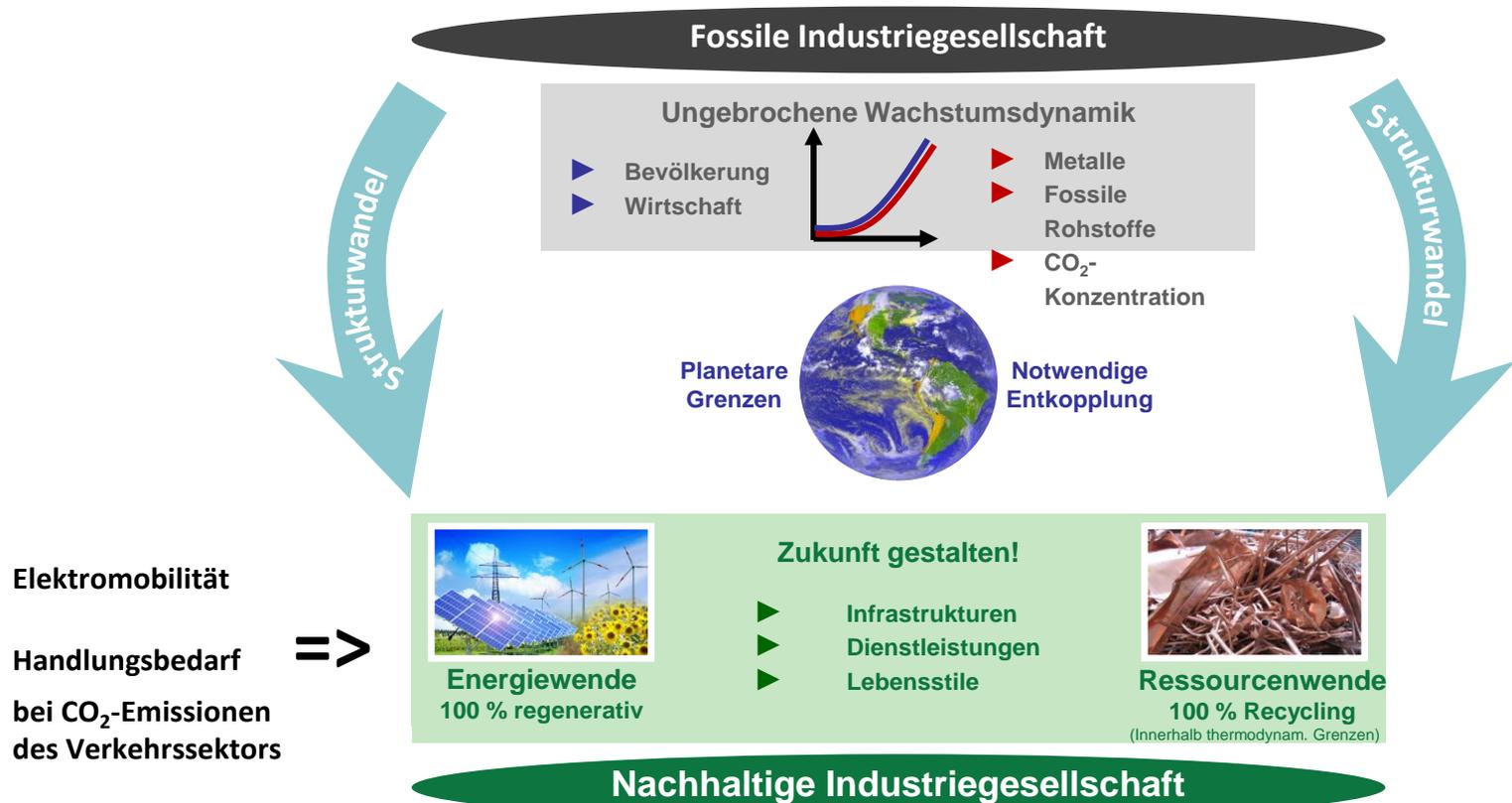
Umweltschädliche Subventionen in Deutschland

Aktualisierte Ausgabe 2016

An dieser Situation hat sich nichts Grundlegendes geändert: Nach den Berechnungen des Umweltbundesamtes im vorliegenden Bericht sind in Deutschland im Jahr 2012 Subventionen im Umfang von über 57 Mrd. Euro⁴ als umweltschädlich einzustufen. Prominente Beispiele sind die Befreiung des gewerblichen Luftverkehrs von der Energiesteuer, Energiesteuerermäßigungen für das produzierende Gewerbe und die Landwirtschaft, sowie die kostenfreie Zuteilung der CO₂-Emissionsberechtigungen. Die OECD rät auch im aktuellen Wirtschaftsausblick, dass Deutschland Steuervergünstigungen für umweltschädliche Aktivitäten schrittweise abschafft⁵.

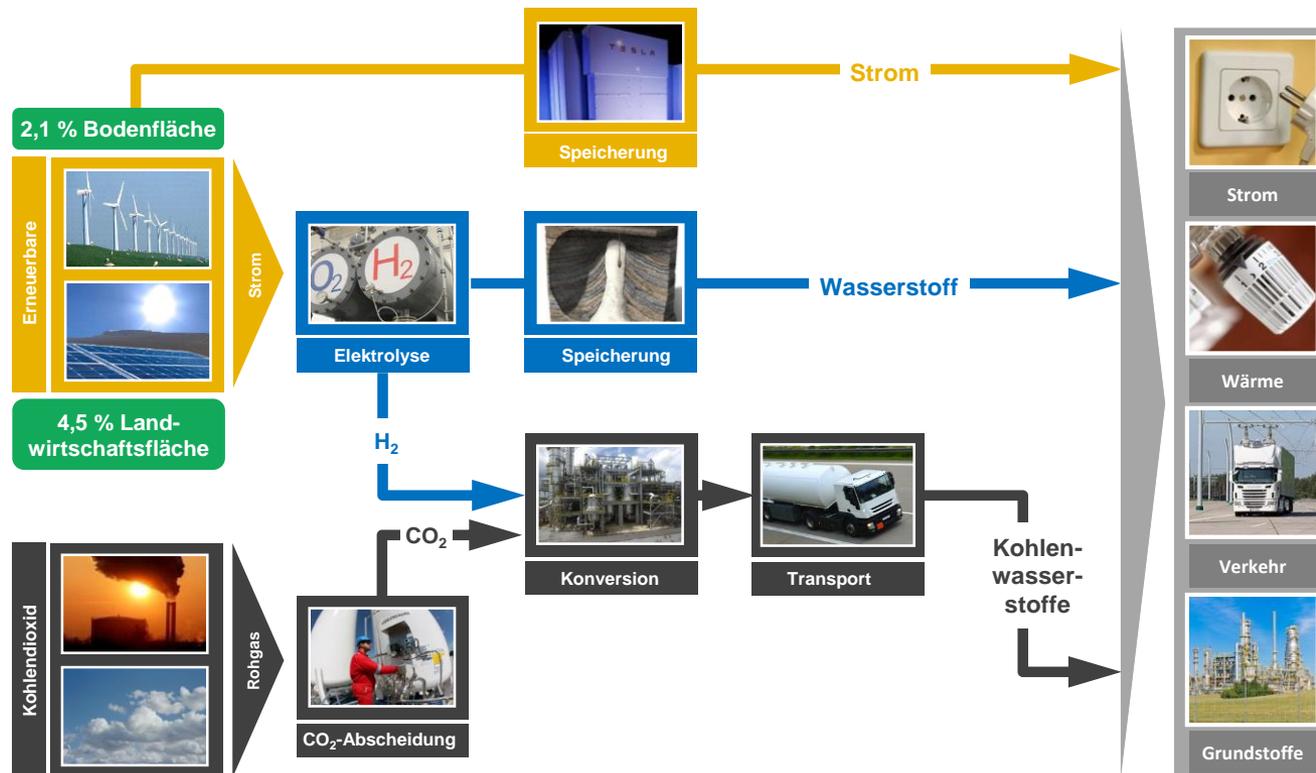
Nachhaltige Industriegesellschaft

Notwendiger Strukturwandel



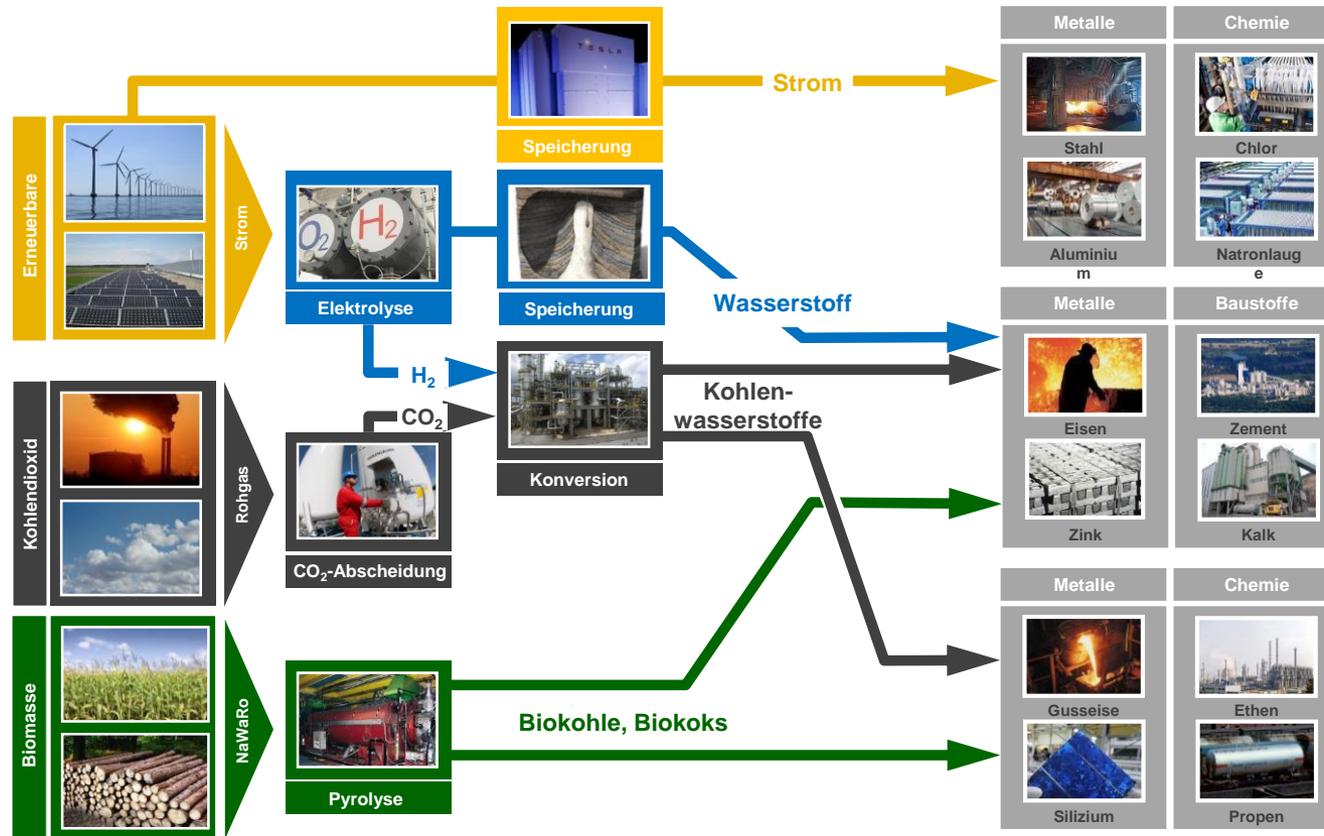
Wandel in der Energieversorgung

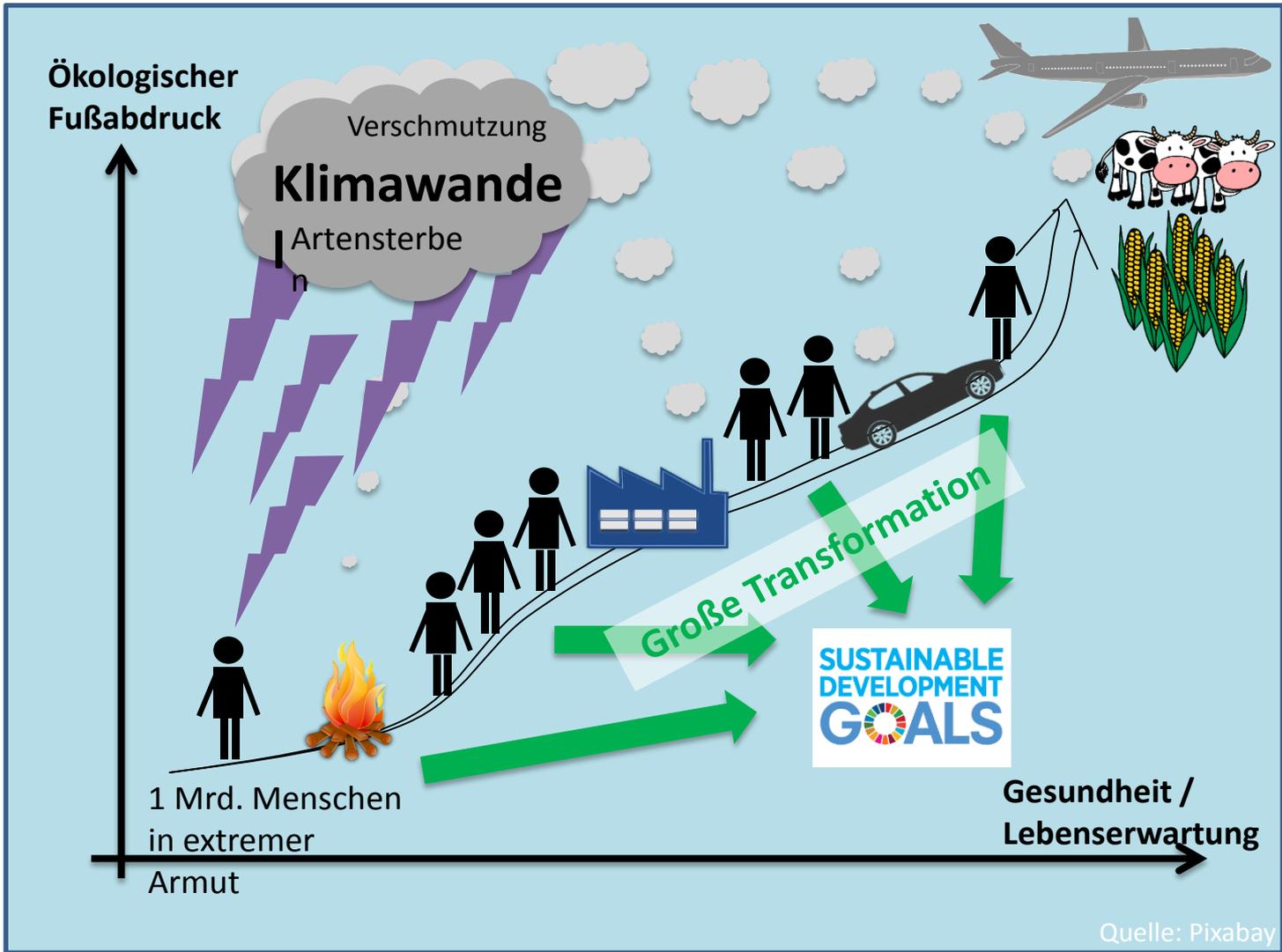
Power to All – Power, Heat, Gas, Liquid

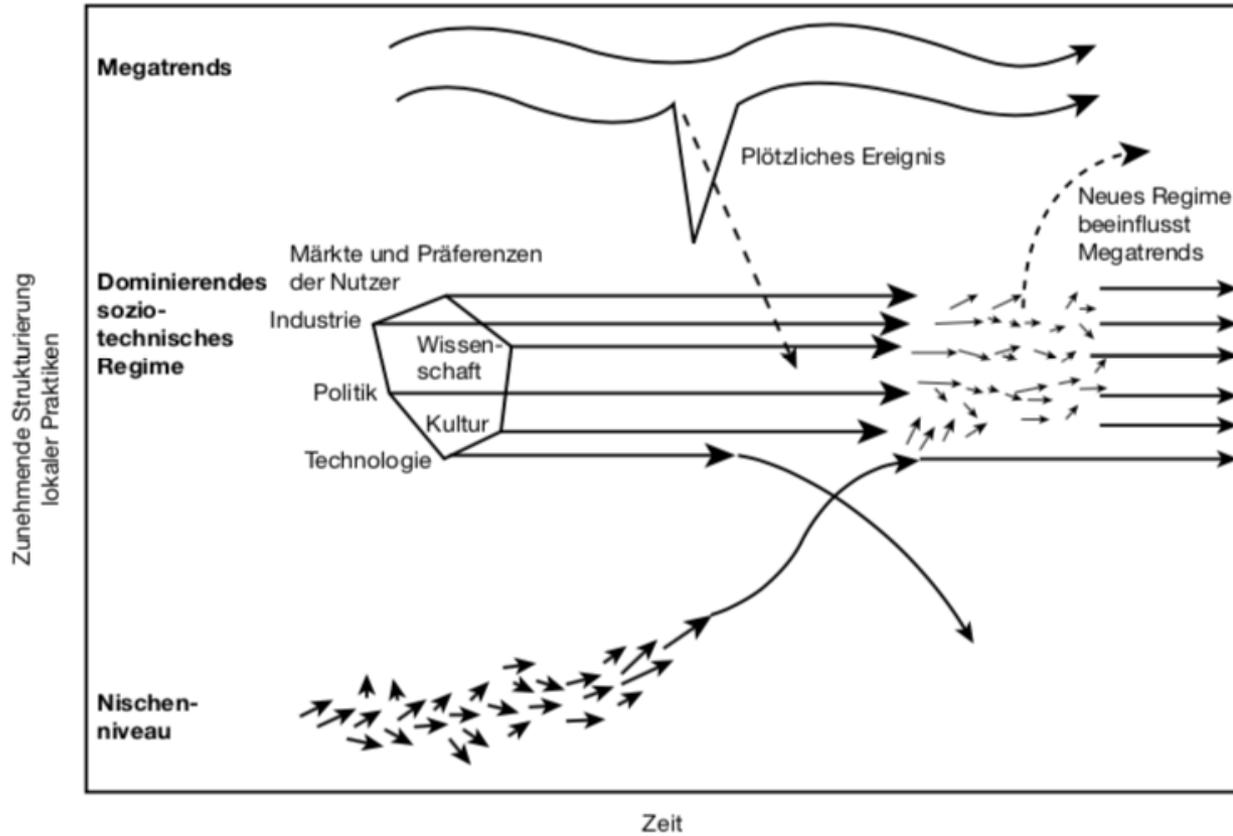


Wandel in der Industrie

- Dekarbonisierung der Grundstoffindustrie







FfE: Forschungsstelle für
Energiewirtschaft e.V.

Am Blütenanger 71
80995 München
Deutschland

E-Mail: info@ffe.de

Das Energiesystem der Zukunft besteht aus drei Säulen, zwei davon stehen in Konkurrenz zueinander



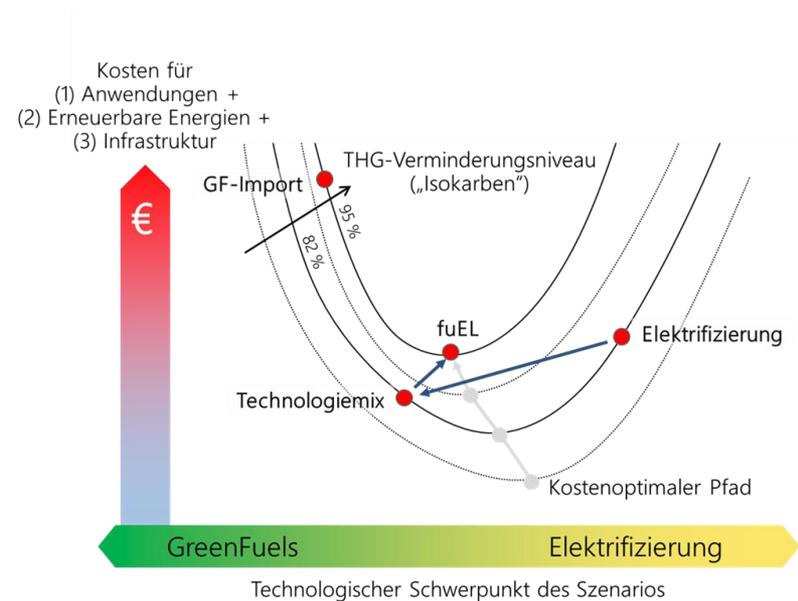
- Erneuerbare Energien



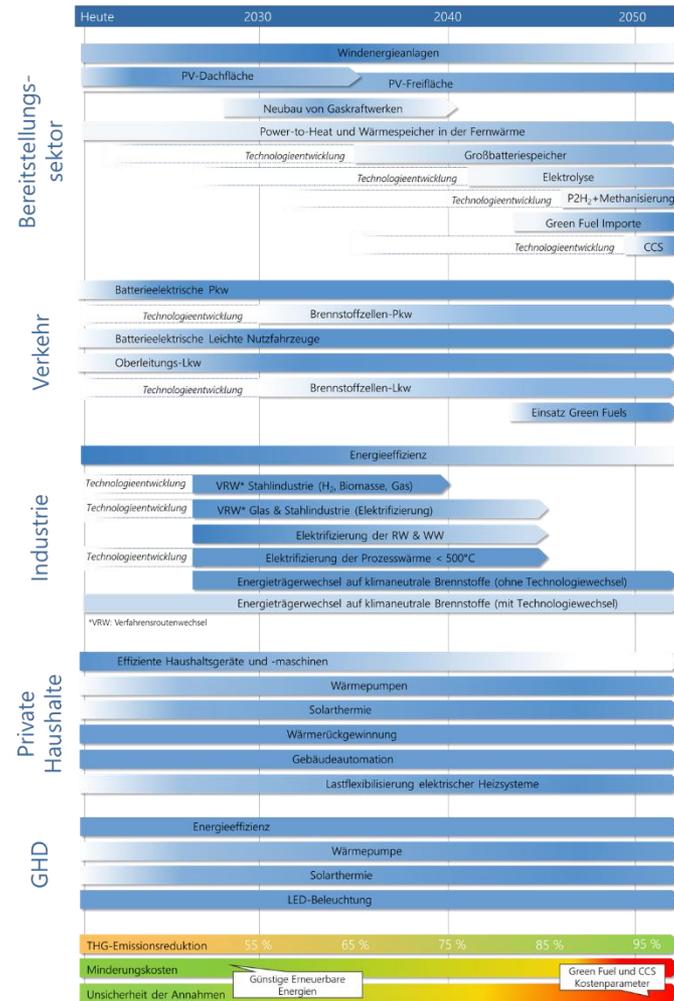
- Synthetische und biogene Kraftstoffe



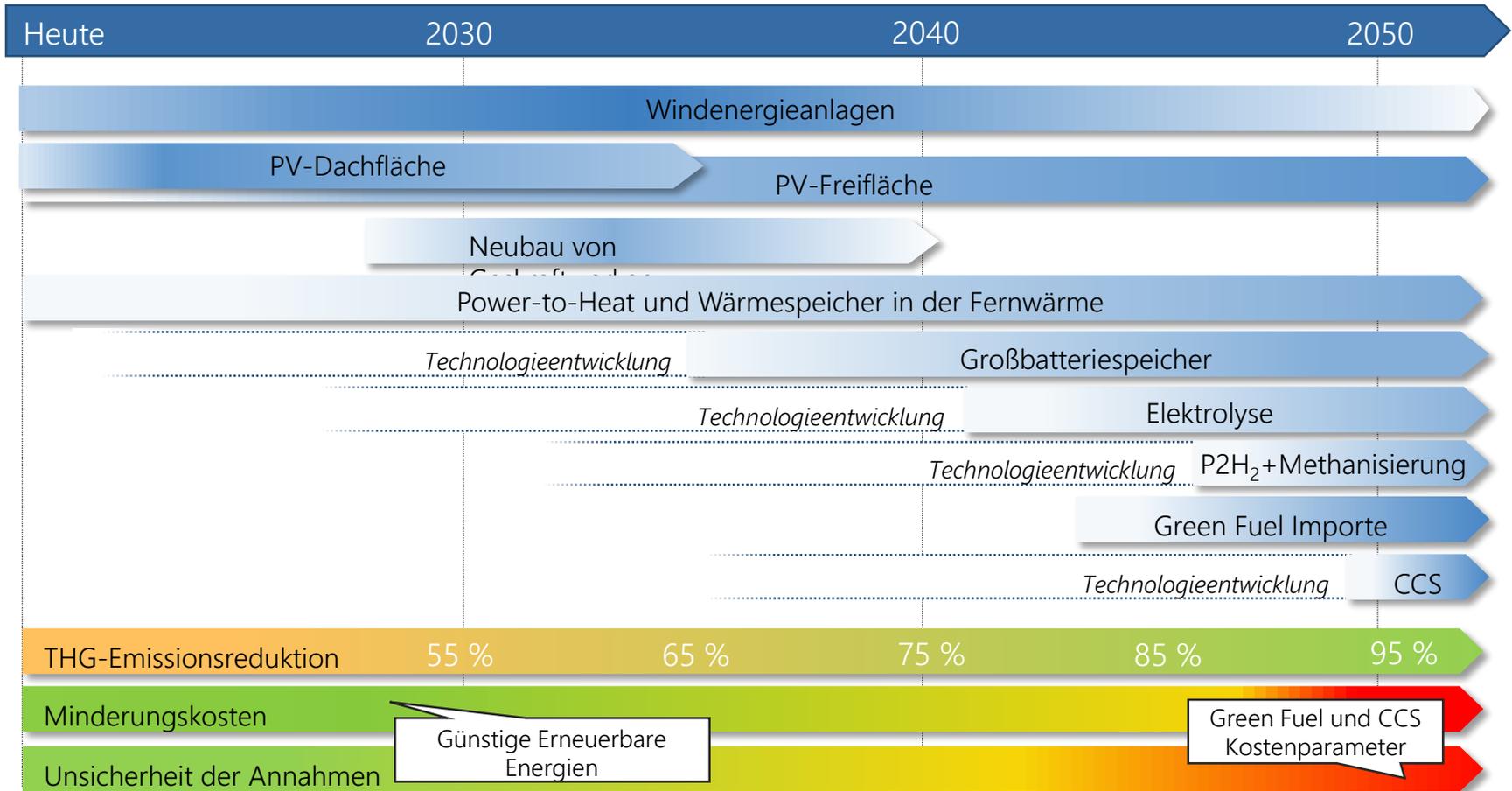
- Elektrifizierung



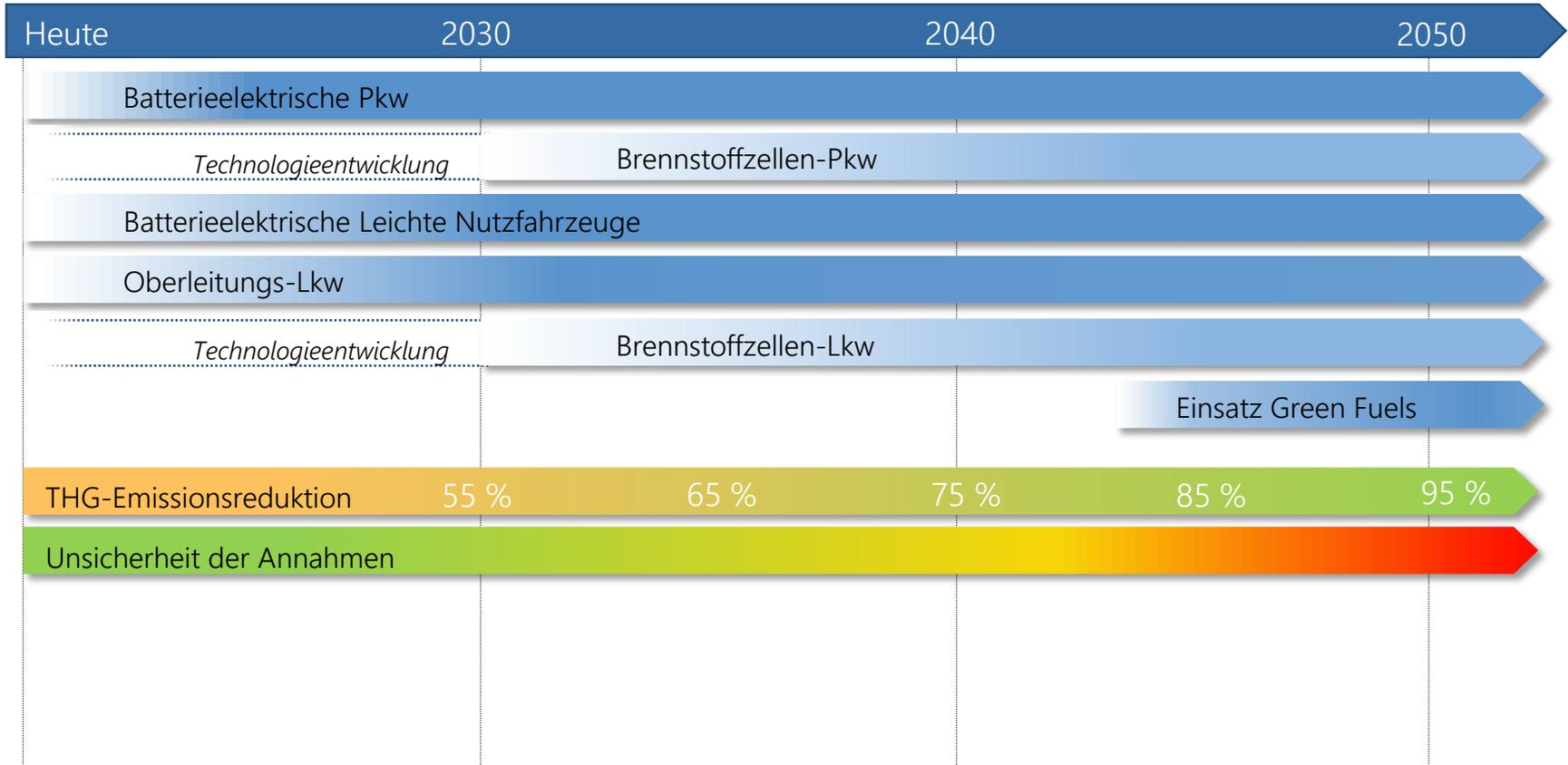
Zeitschienen zur Erreichung der Klimaschutzziele



Entwicklungen im Szenario fuEL



Entwicklung der Maßnahmen im Szenario fuEL (Verkehr)



Die 6 sozialen Kipp-Elemente:

STE 1: Energieproduktion und Speichersysteme

- STI 1: 1. Stopp der Subventionen in fossile Energien, CO2-Bepreisung**
- 2. Investitionen in den Ausbau einer dezentralen Energieversorgung mit erneuerbaren Energien**

STE 2: Städtebau

- STI 2: Bau klimaneutraler Städte**

STE 3: Finanzmärkte

- STI 3: Divestment aller Beteiligungen an fossilen Energien**

STE 4: Normen und Werte

- STI 4: Aufdecken der und Information über die moralischen Folgen der Nutzung fossiler Energien**

STE 5: Erziehung und Bildung

- STI 5: Stärkung des Wissens über und des Engagements zu Klimawandel**

STE 6: Information an Gesellschaft und Öffentlichkeit

- STI 6: Transparenz bzgl. Treibhausgas-Emissionen bei Unternehmen, u.a., Offenlegung von Interessenkonflikte, Kennzeichnung des fossilen Fußabdruckes von Produkten**

