

Wie stark wird sich das Klima ändern?
oder
CO₂ - Anstieg – Klimawandel – Was tun?

Hartmut Graßl

Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

Beitrag zum 18. Schönauer Stromseminar

1. Juli 2017

Ein klein wenig Geschichte

1986: Ein GAU in etwa 1650 km Entfernung erschüttert viele Bürger in Schönau

1987: Wenige Schönauer unter Leitung von Frau Ursula und Michael Sladek nehmen das zum Anlass für eine weitere Initiative gegen die friedliche Nutzung der Kernenergie

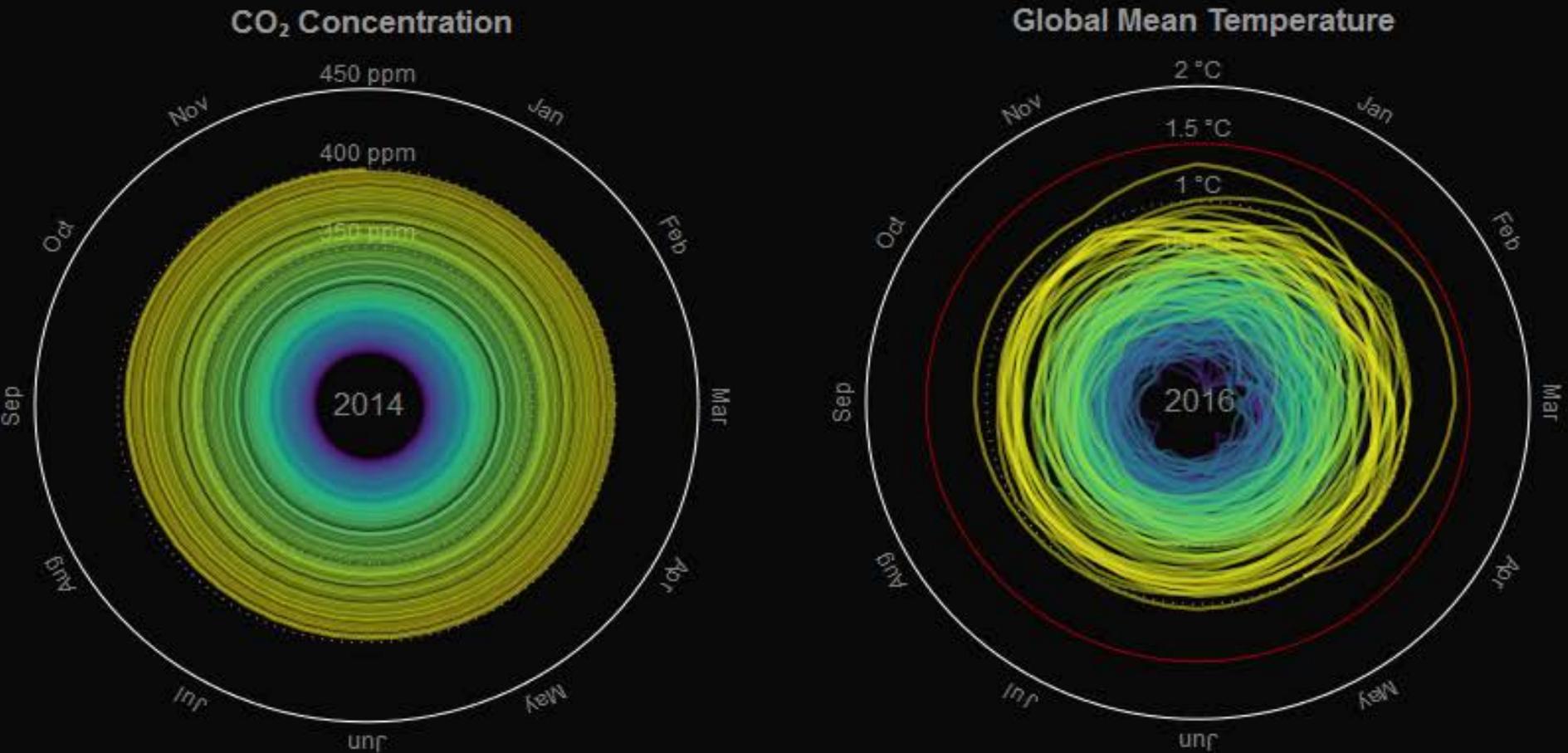
1991: Mein Schwager Ulrich Schwarz in Schönau empfiehlt mich als einen Redner zum Thema Klimaänderungen durch den Menschen bei einem Stromseminar. Seitdem bin ich mit den Schönauern verbunden.

Der grundlegendste physikalische Prozess für das angenehme Leben auf der Erde ist der *Treibhauseffekt der Atmosphäre*. Er trägt zurzeit ca. 30 bis 33 °C. Da er nur von kleinen Beimengungen ganz wesentlich bestimmt wird (seit etwa einer Million Jahre weniger als 0,3 Promille der Moleküle), hat der Mensch eine gewisse Einflussmöglichkeit. Er erhöht seit wenigen Jahrhunderten die Konzentration aller langlebigen Treibhausgase, des Kohlendioxids, des Methans und des Lachgases, vor allem durch die Nutzung von Kohle, Erdöl und Erdgas sowie durch die Landwirtschaft, und er verursacht dadurch eine mittlere globale Erwärmung

Der *anthropogene* Klimawandel hat ein hohes Konfliktpotenzial, weil Klima die wichtigste natürliche Ressource ist. Die Verursacher der raschen Klima-änderungen sind wegen ihrer hohen finanziellen Macht fähig Anpassungen zu bezahlen und auch Klimaschutz zu betreiben. Diejenigen, die Klima kaum ändern, sind weniger anpassungsfähig. Je nach politischer Lage fliehen deshalb schon jetzt viele Menschen aus ihrer Heimat.

CO₂- und Temperaturzunahme seit 1860

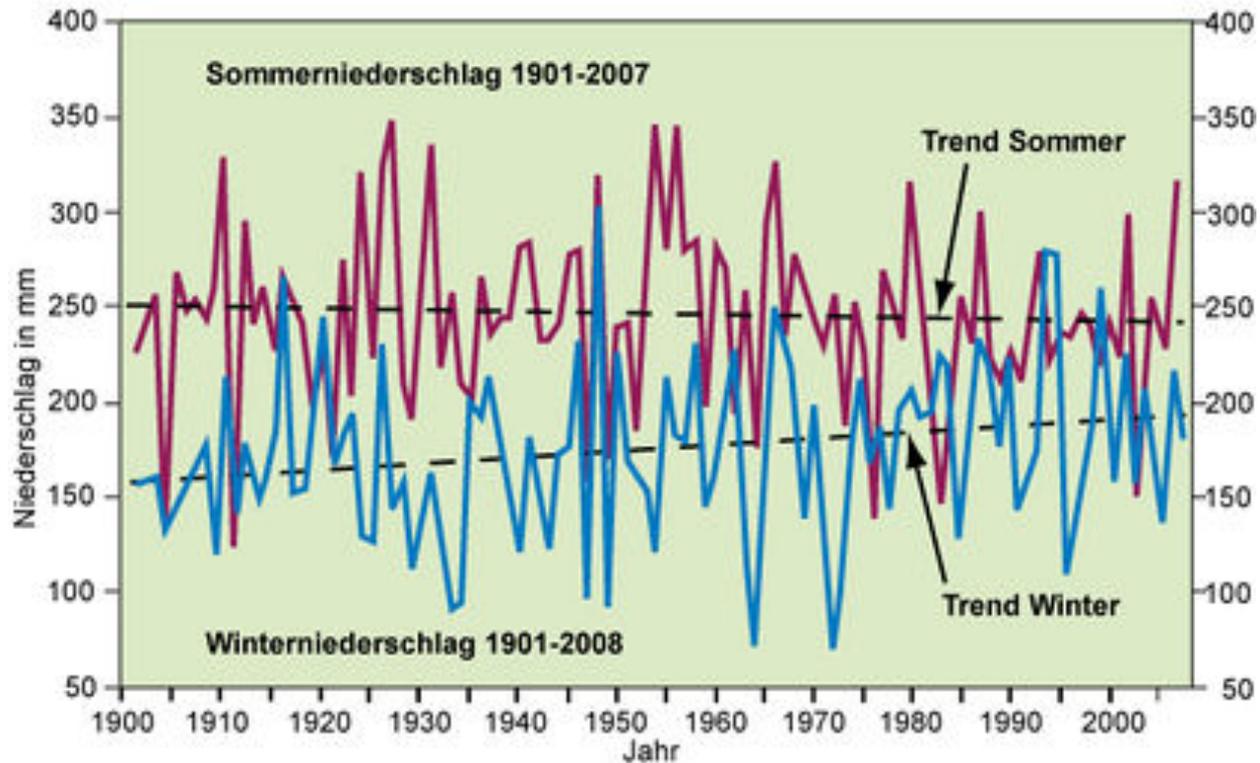
Das hat die Politiker aber erst nach 1990 bewegt



CO₂ ist das zweitwichtigste Treibhausgas der Atmosphäre
(aus PIK, 2016)

Resultat

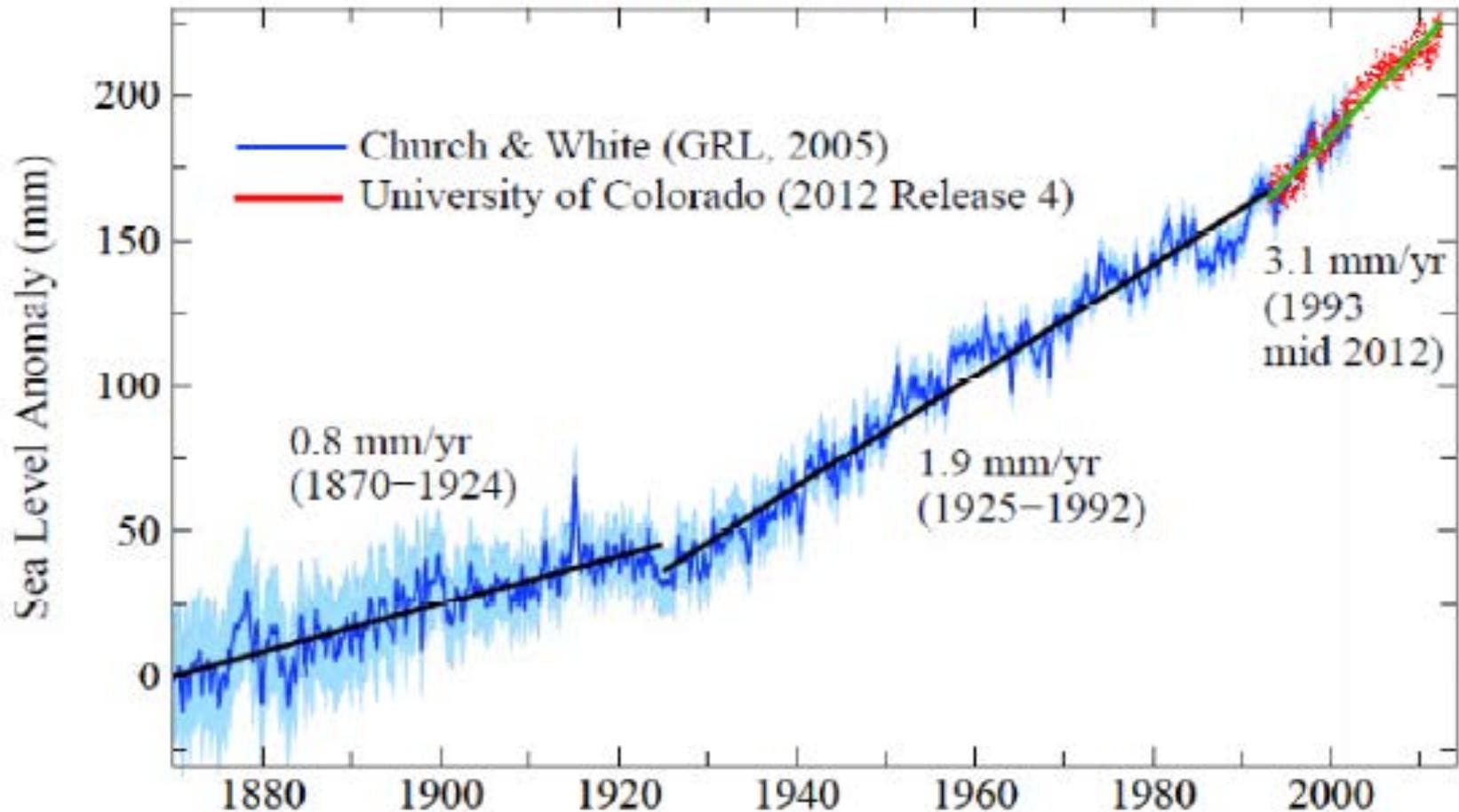
Seit 1900 stieg wegen des erhöhten Treibhauseffektes die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche um ziemlich genau 1°C und der insgesamt erhöhte Niederschlag wurde umverteilt. Bei erhöhter Verdunstung führt das trotzdem in den meisten Gebieten zu höherer Dürrefrequenz und –intensität. Weil das Eis der Gletscher und der Inlandeisgebiete schmilzt sowie das erwärmte Meerwasser sich ausdehnt, steigt der Meeresspiegel seit etwa 25 Jahren um über 3 mm pro Jahr an.



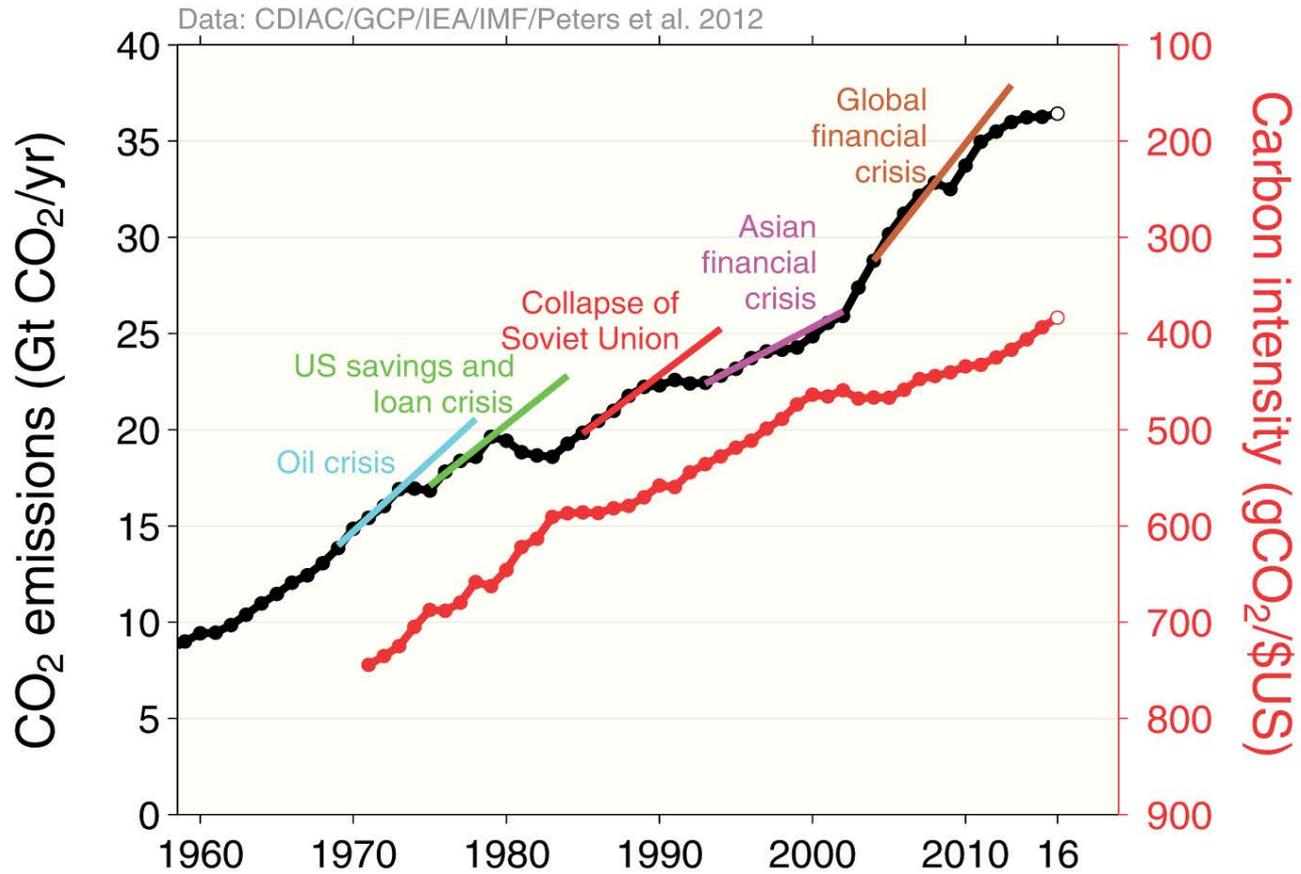
Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, dass der Niederschlag im Winter zunehmend als Regen denn als Schnee fiel. So nahm die Schneedeckendauer in Bayern und Baden-Württemberg in Lagen unterhalb 300 m seit 1950 um 30-40 % ab, und in mittleren Lagen bei 300-800 m um 10-20 %.

Der beschleunigte Anstieg des mittleren Meeresspiegels seit 1870

Global Mean Sea Level Change

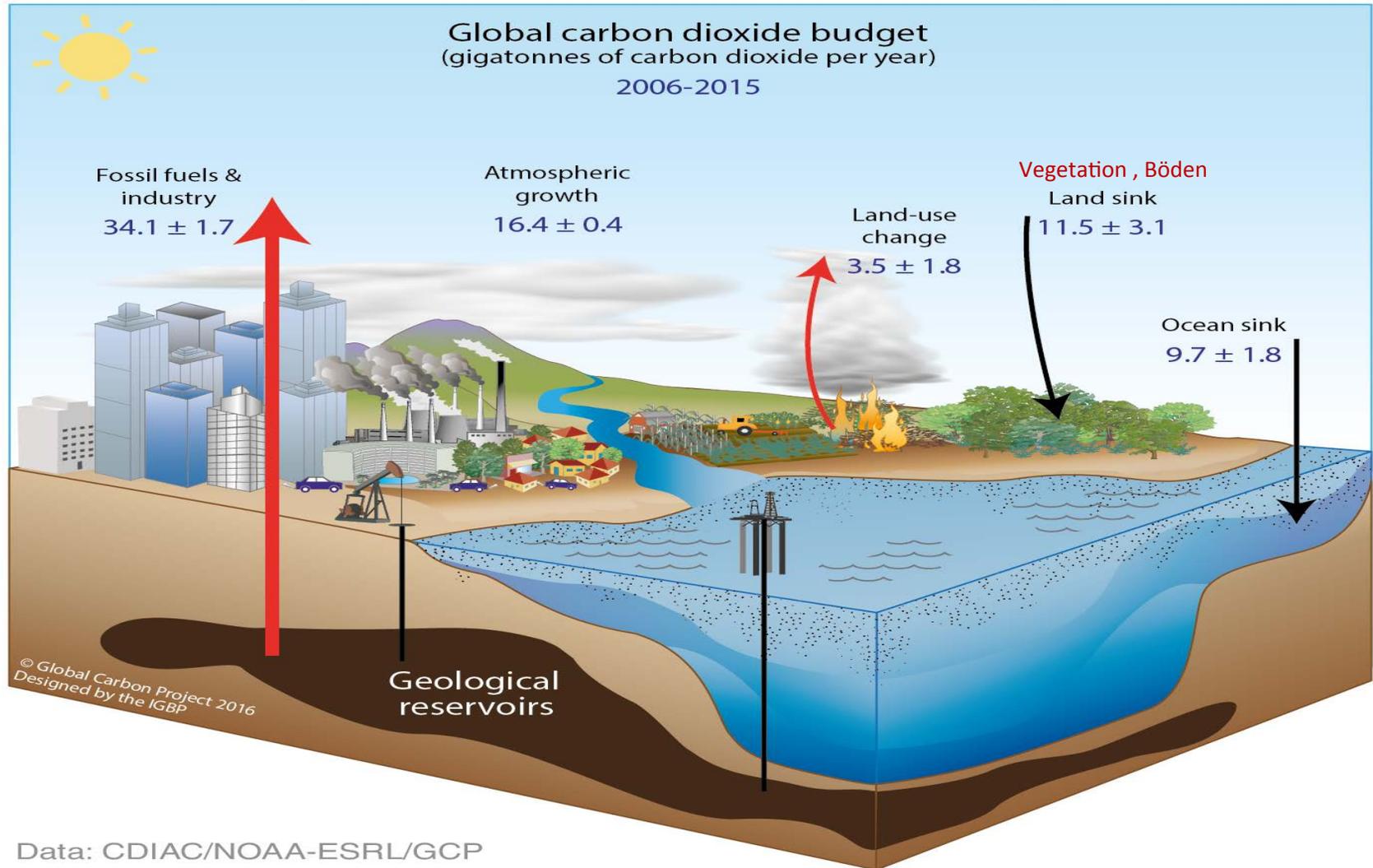


Seit 1993 ist die Genauigkeit angestiegen, weil Radare mit hoher Präzision im Weltraum als Abstandsmesser eingesetzt werden (rot)



Neues vom Kohlenstoffkreislauf

Störung des globalen Kohlenstoffkreislaufes durch den Menschen für das Jahrzehnt von 2006 bis 2015 in GtCO₂/yr



Fate of anthropogenic CO₂ emissions (2006-2015)



34.1 GtCO₂/yr
91%



9%
3.5 GtCO₂/yr

Sources = Sinks

16.4 GtCO₂/yr
44%



31%
11.6 GtCO₂/yr

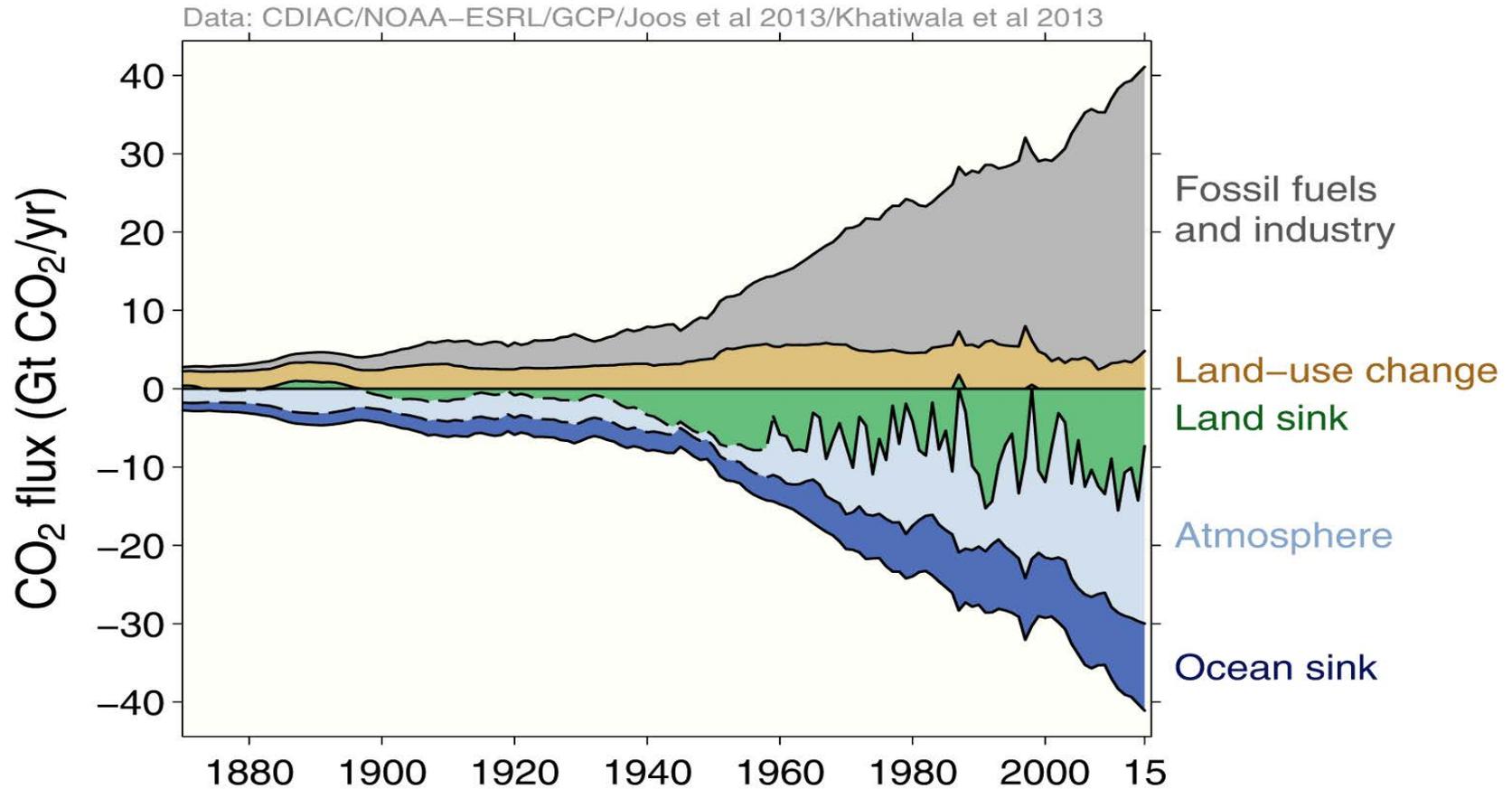


26%
9.7 GtCO₂/yr



Global carbon budget

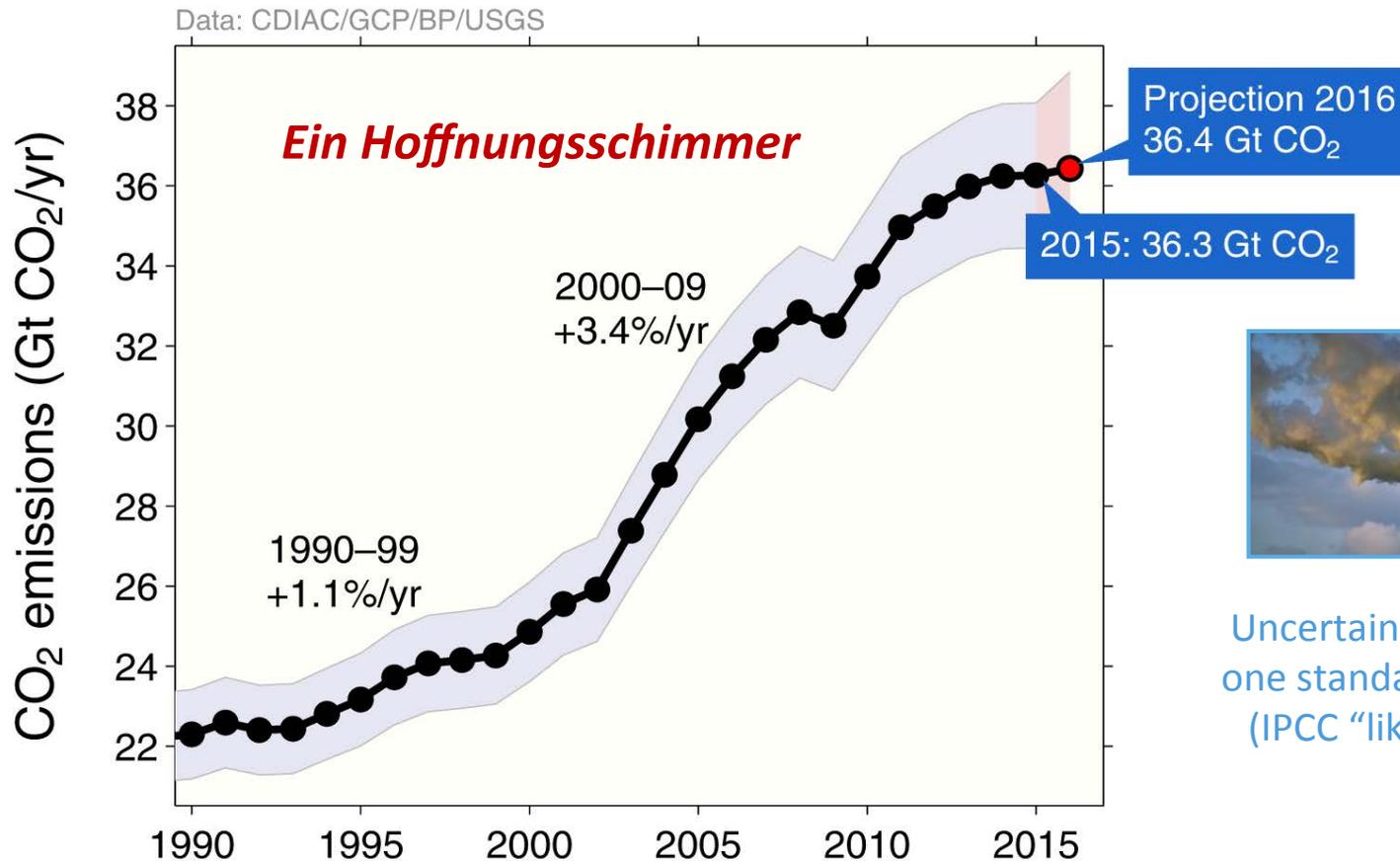
The carbon sources from fossil fuels, industry, and land use change emissions are balanced by the atmosphere and carbon sinks on land and in the ocean



Emissions from fossil fuel use and industry

Global emissions from fossil fuel and industry: 36.3 ± 1.8 GtCO₂ in 2015, 63% over 1990

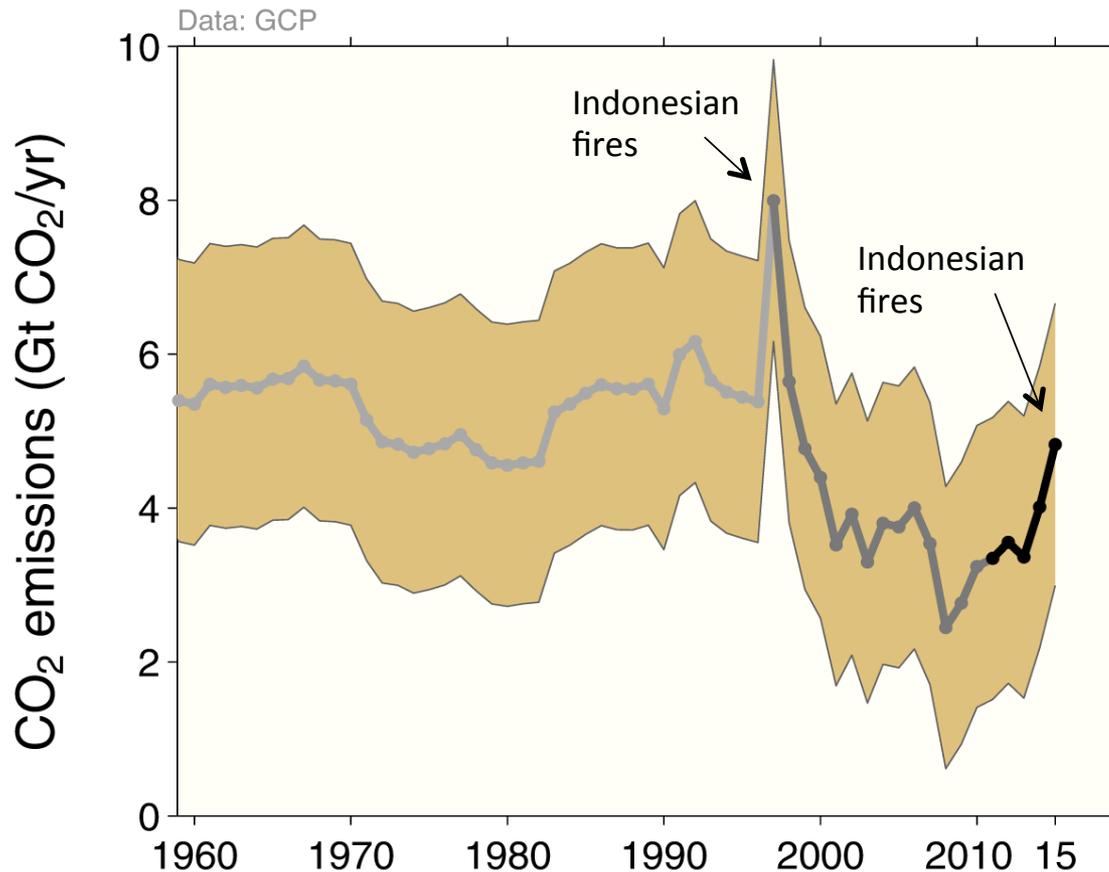
- Projection for 2016: 36.4 ± 2.3 GtCO₂, 0.2% higher than 2015



Uncertainty is $\pm 5\%$ for one standard deviation (IPCC “likely” range)

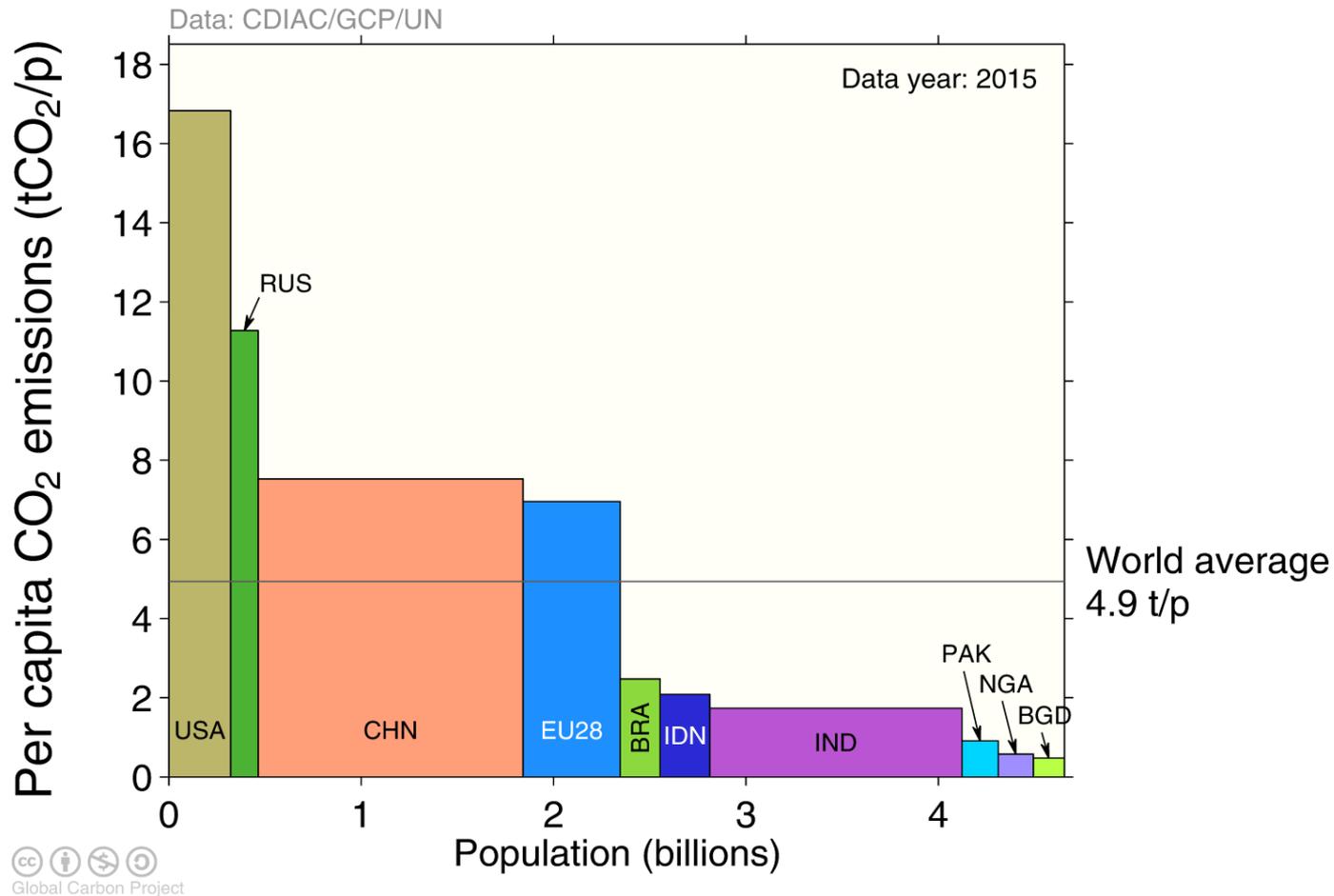
Land-use change emissions

Emissions in the 2000s were lower than earlier decades, but highly uncertain
 Higher emissions in 2015 are linked to increased fires during dry El Niño conditions in Asia



Emissions per capita

The 10 most populous countries span a wide range of development and emissions per person

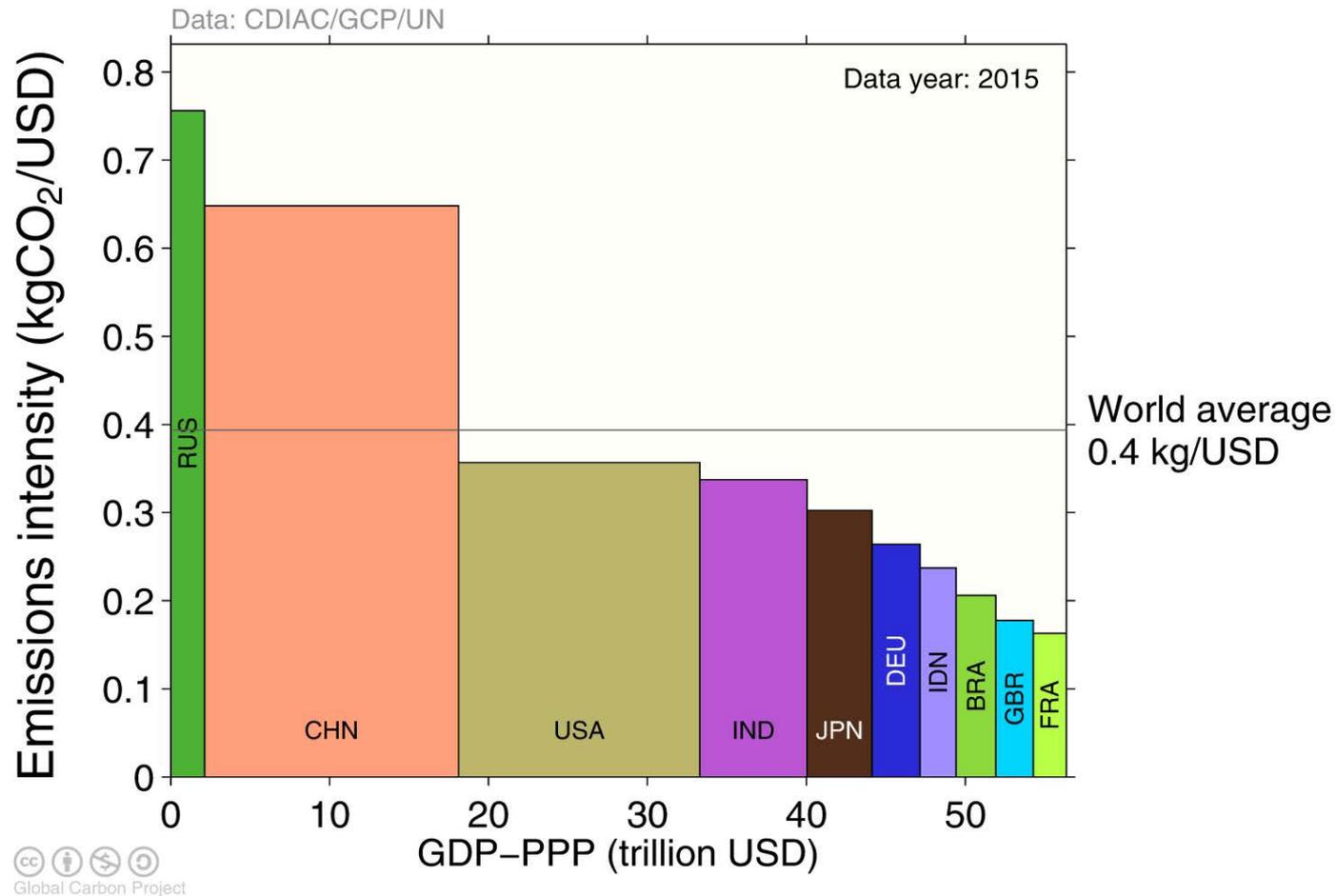


Emission per capita: CO₂ emissions from fossil fuel and industry divided by population

Source: [Global Carbon Budget 2016](#)

Emissions intensity per unit economic activity

The 10 largest economies have a wide range of emissions intensity of economic production

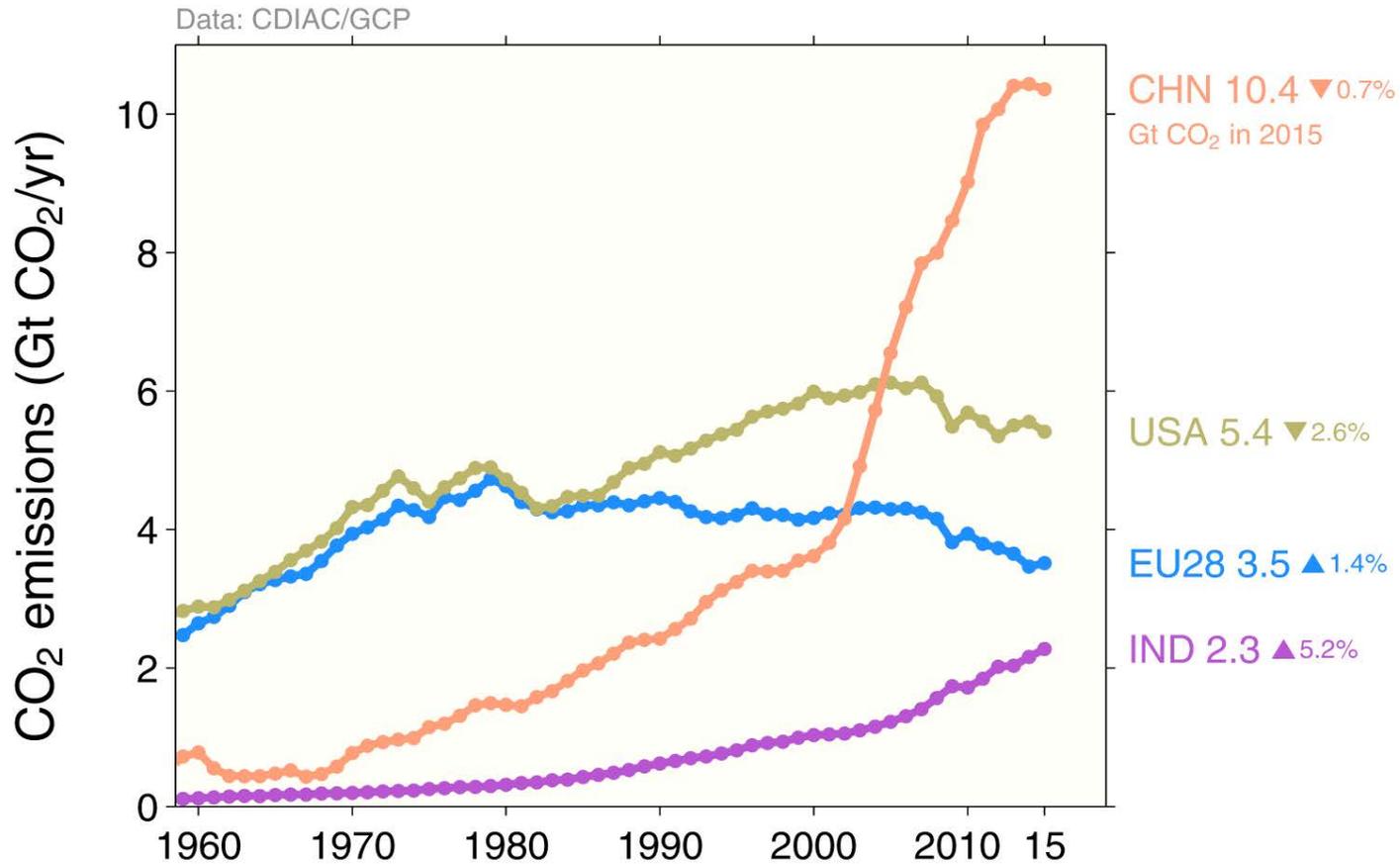


Emission intensity: CO₂ emissions from fossil fuel and industry divided by Gross Domestic Product

Source: [Global Carbon Budget 2016](#)

Top emitters: fossil fuels and industry (absolute)

The top four emitters in 2015 covered 59% of global emissions
 China (29%), United States (15%), EU28 (10%), India (6%)



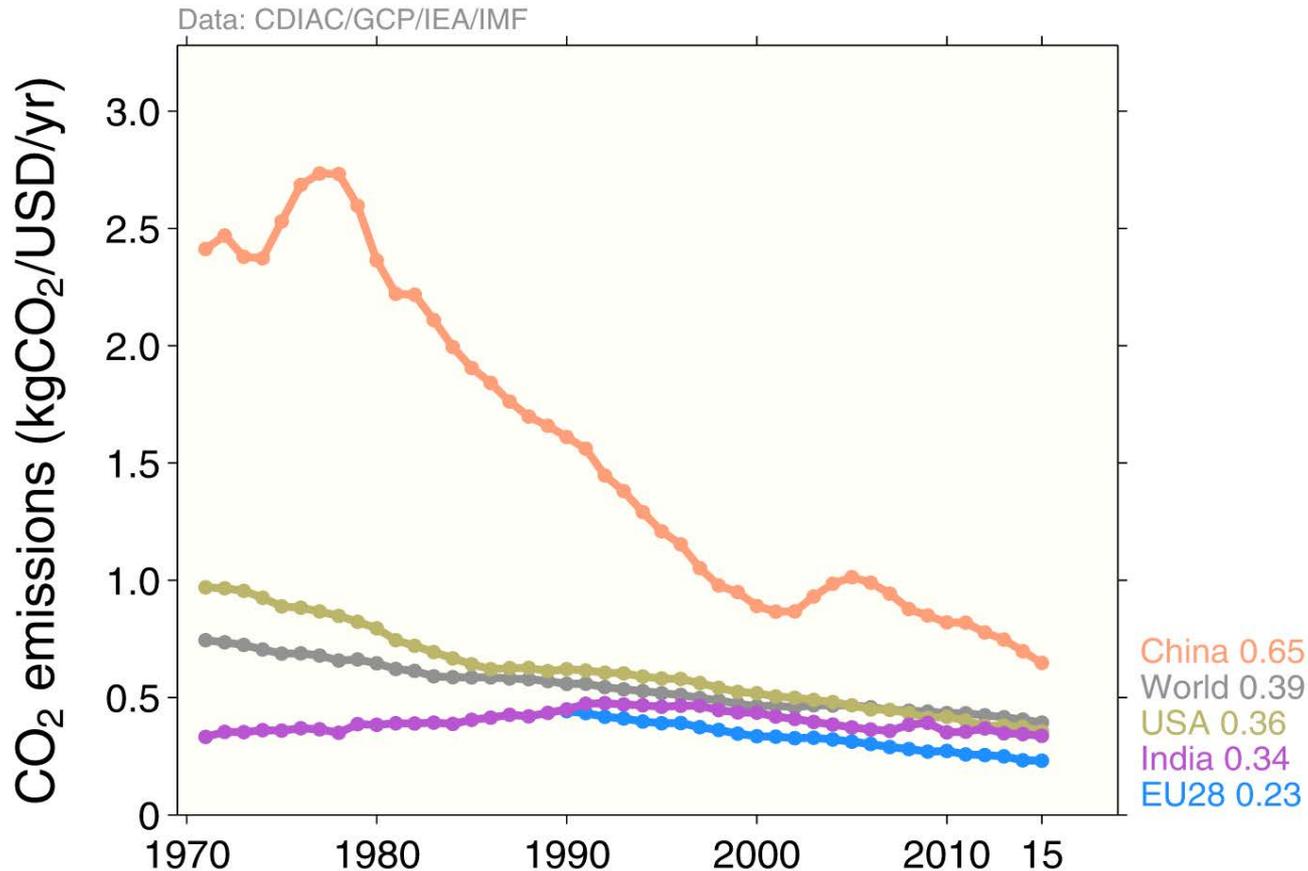
Bunker fuels are used for international transport is 3.1% of global emissions.

Statistical differences between the global estimates and sum of national totals are 1.2% of global emissions.

Source: [CDIAC](#); [Le Quéré et al 2016](#); [Global Carbon Budget 2016](#)

Top emitters: fossil fuels and industry (per dollar)

Emissions per unit economic output (emissions intensities) generally decline over time
 China's intensity is declining rapidly, but is still much higher than the world average



GDP are measured in purchasing power parity (PPP) terms in 2005 dollars.

Source: [CDIAC](#); [IEA 2015](#) GDP to 2013, [IMF 2016](#) growth rates to 2015; [Le Quéré et al 2016](#); [Global Carbon Budget 2016](#)

The cumulative contributions to the global carbon budget from 1870

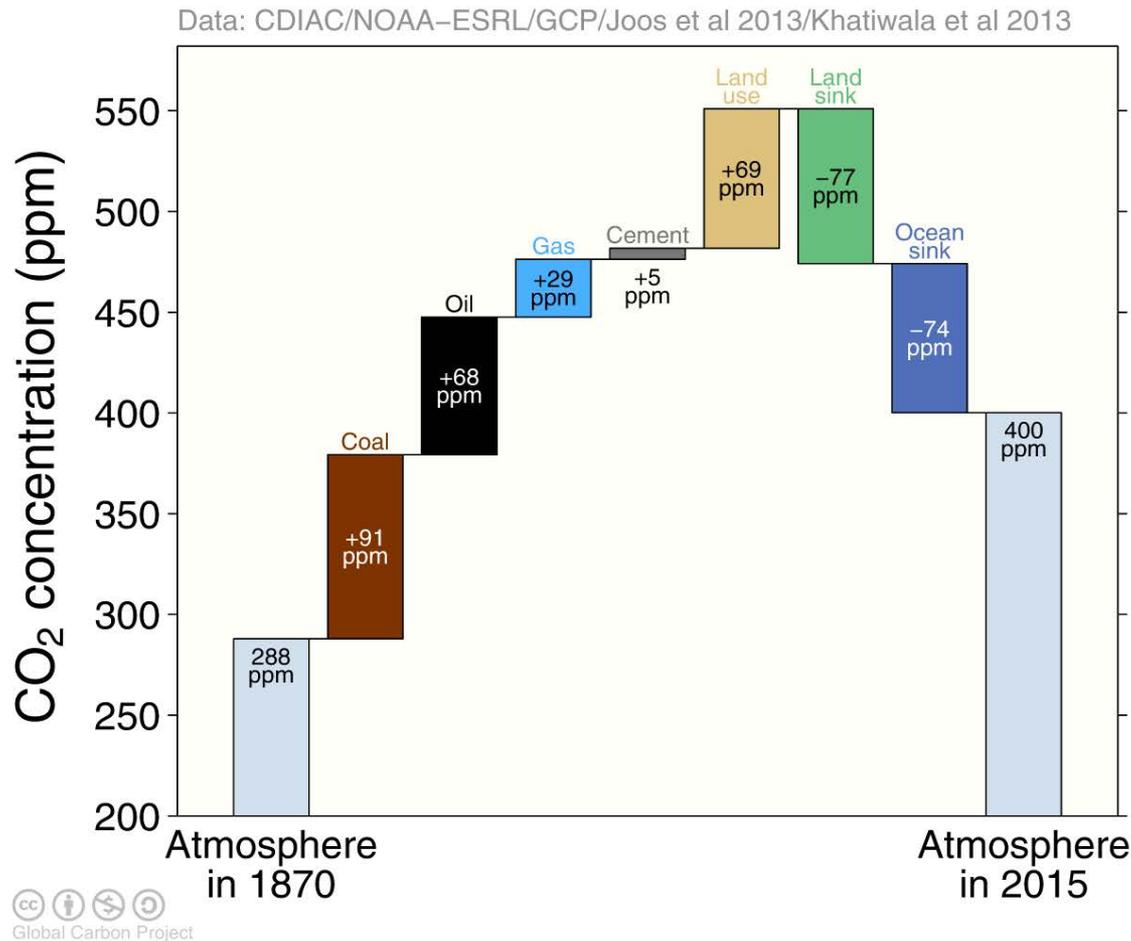
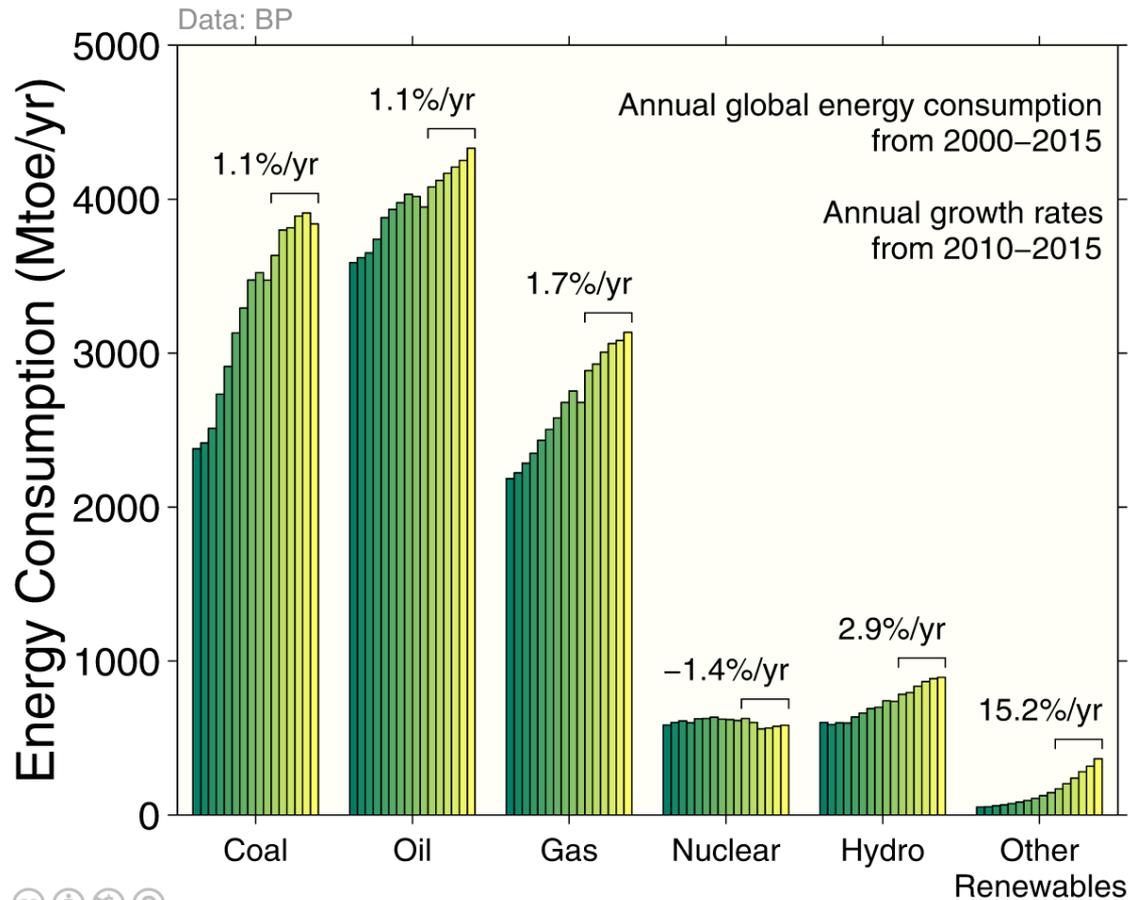


Figure concept from [Shrink That Footprint](#)

Source: [CDIAC](#); [NOAA-ESRL](#); [Houghton et al 2012](#); [Giglio et al 2013](#); [Joos et al 2013](#); [Khatiwala et al 2013](#); [Le Quéré et al 2016](#); [Global Carbon Budget 2016](#)

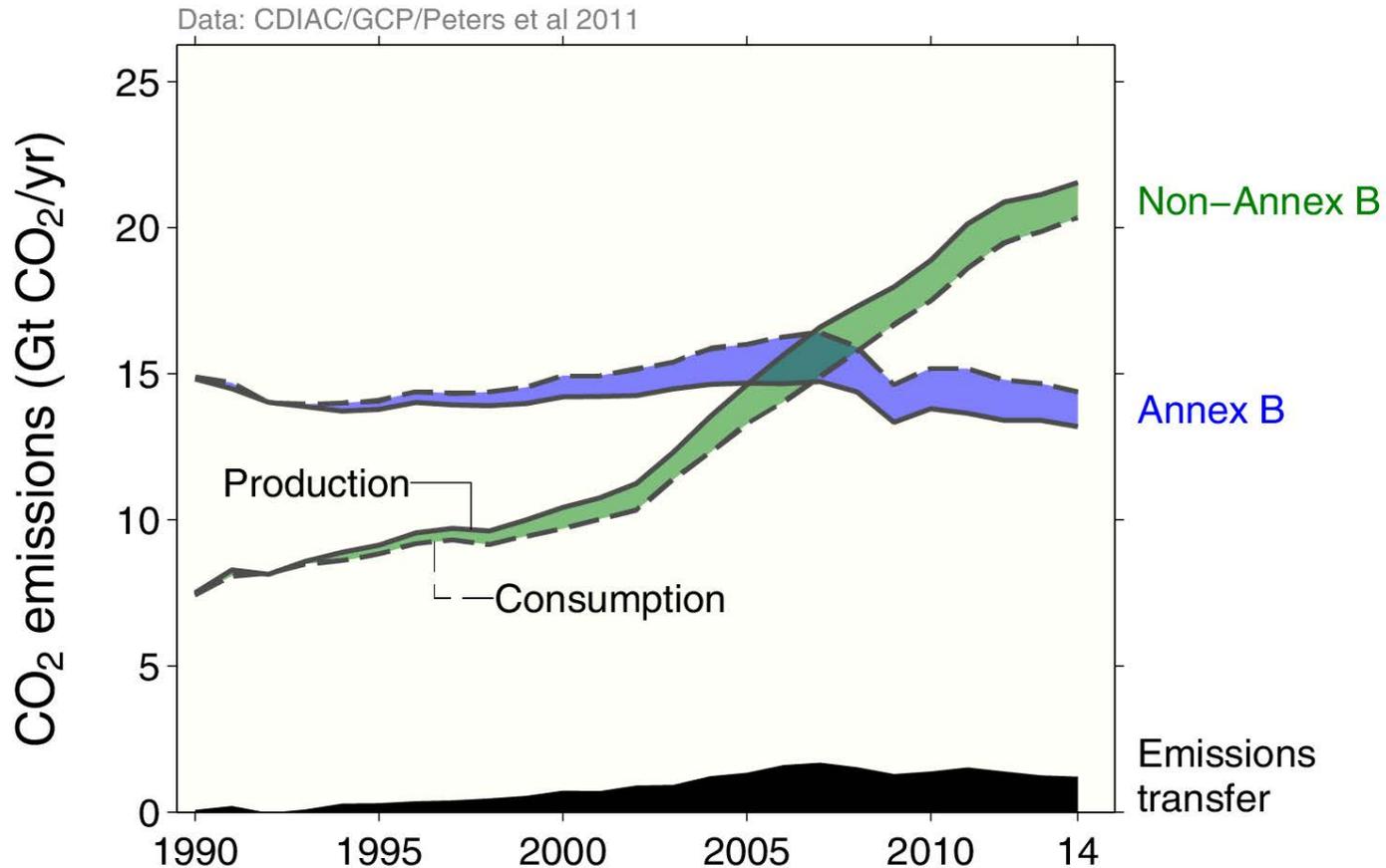
Energy consumption by energy type

Energy consumption by fuel source from 2000 to 2015, with growth rates indicated for the more recent period of 2010 to 2015



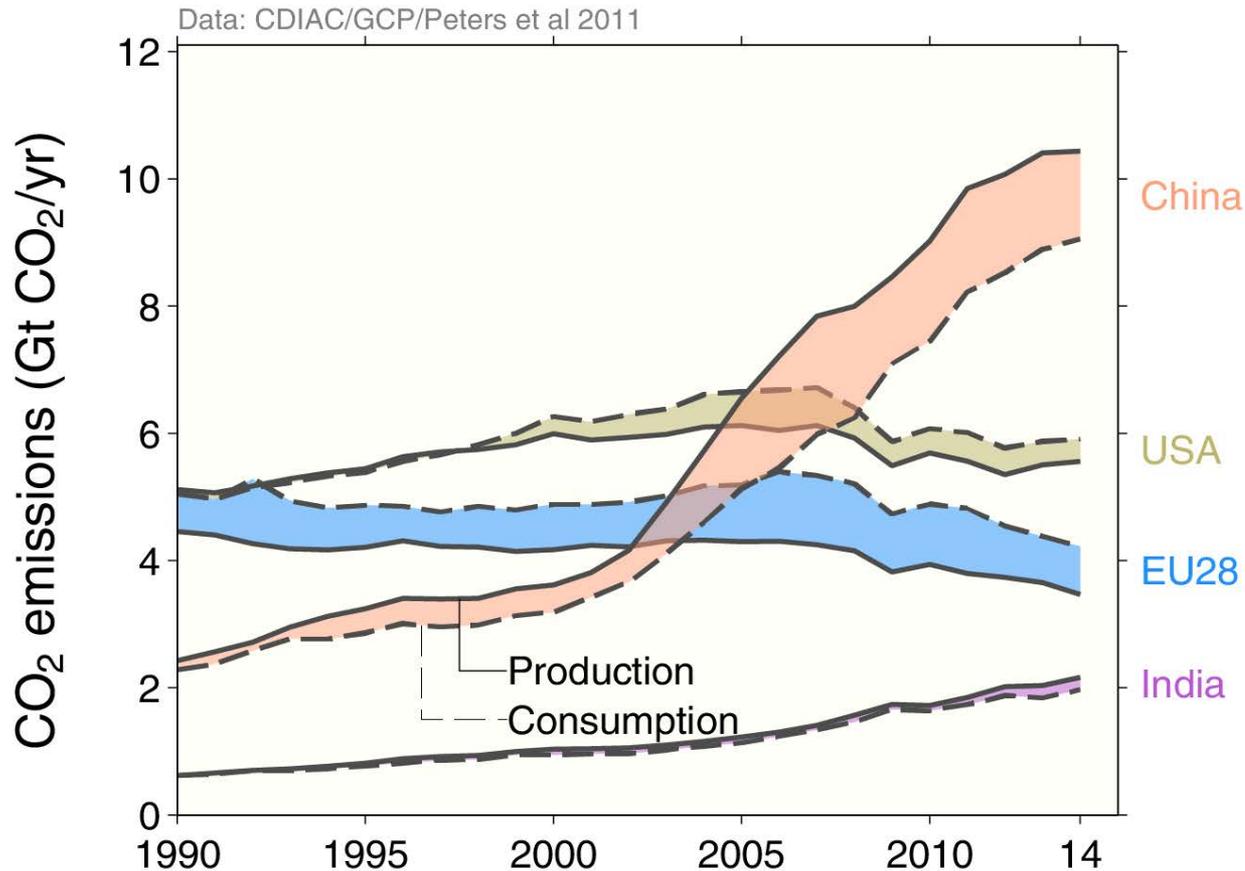
Consumption-based emissions

Transfers of emissions embodied in trade from non-Annex B countries to Annex B countries grew at about 19% per year between 1990 and 2007, but have since declined at nearly 4% per year.



Consumption-based emissions (carbon footprint)

Allocating emissions to the consumption of products provides an alternative perspective
 USA and EU28 are net importers of embodied emissions, China and India are net exporters

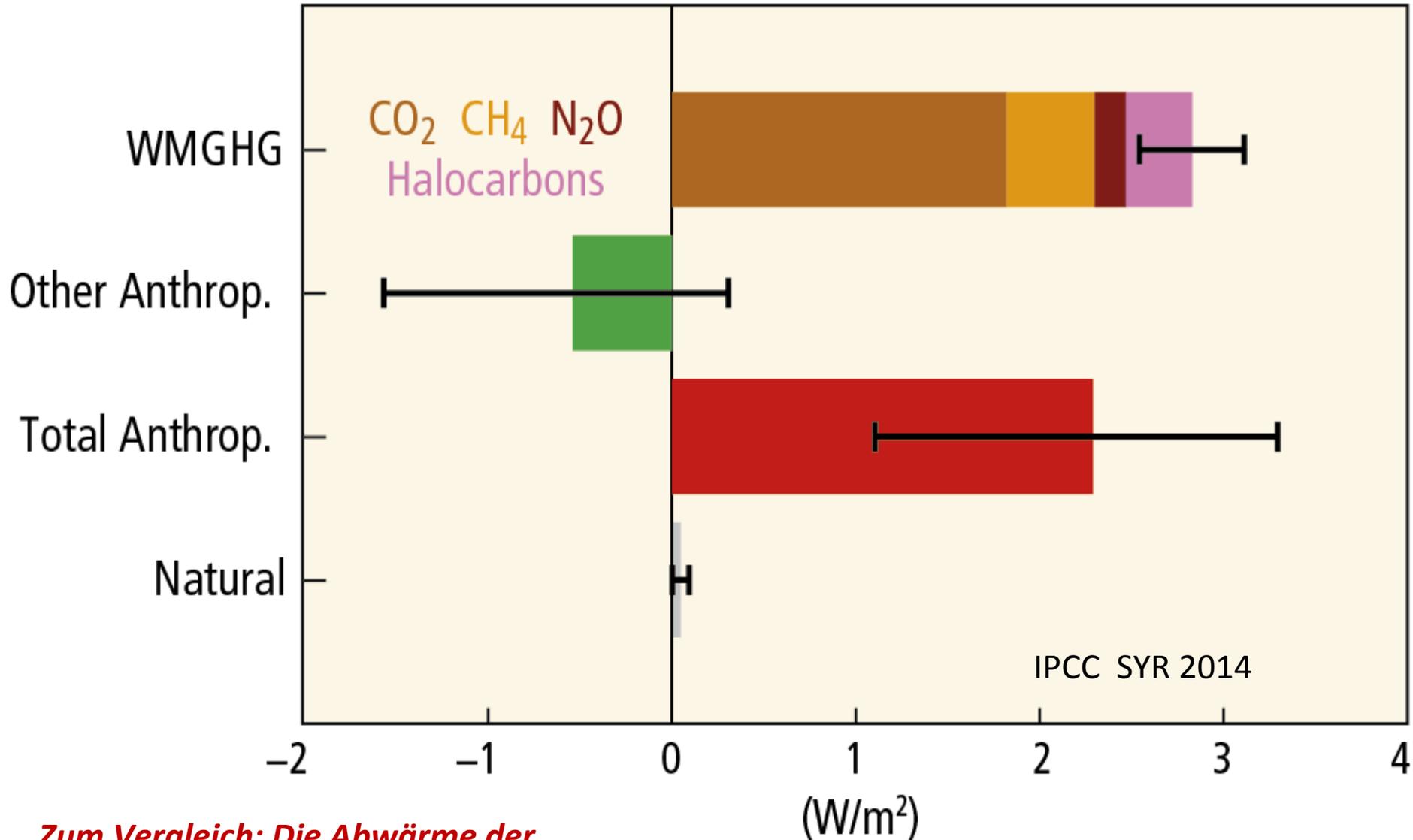


Consumption-based emissions are calculated by adjusting the standard production-based emissions to account for international trade
 Source: [Peters et al 2011](#); [Le Quéré et al 2016](#); [Global Carbon Project 2016](#)

***Wie stark ist der globale
Strahlungshaushalt durch die
Emissionen langlebiger
Treibhausgase im Ungleichgewicht
und welche Folgen hat das?***

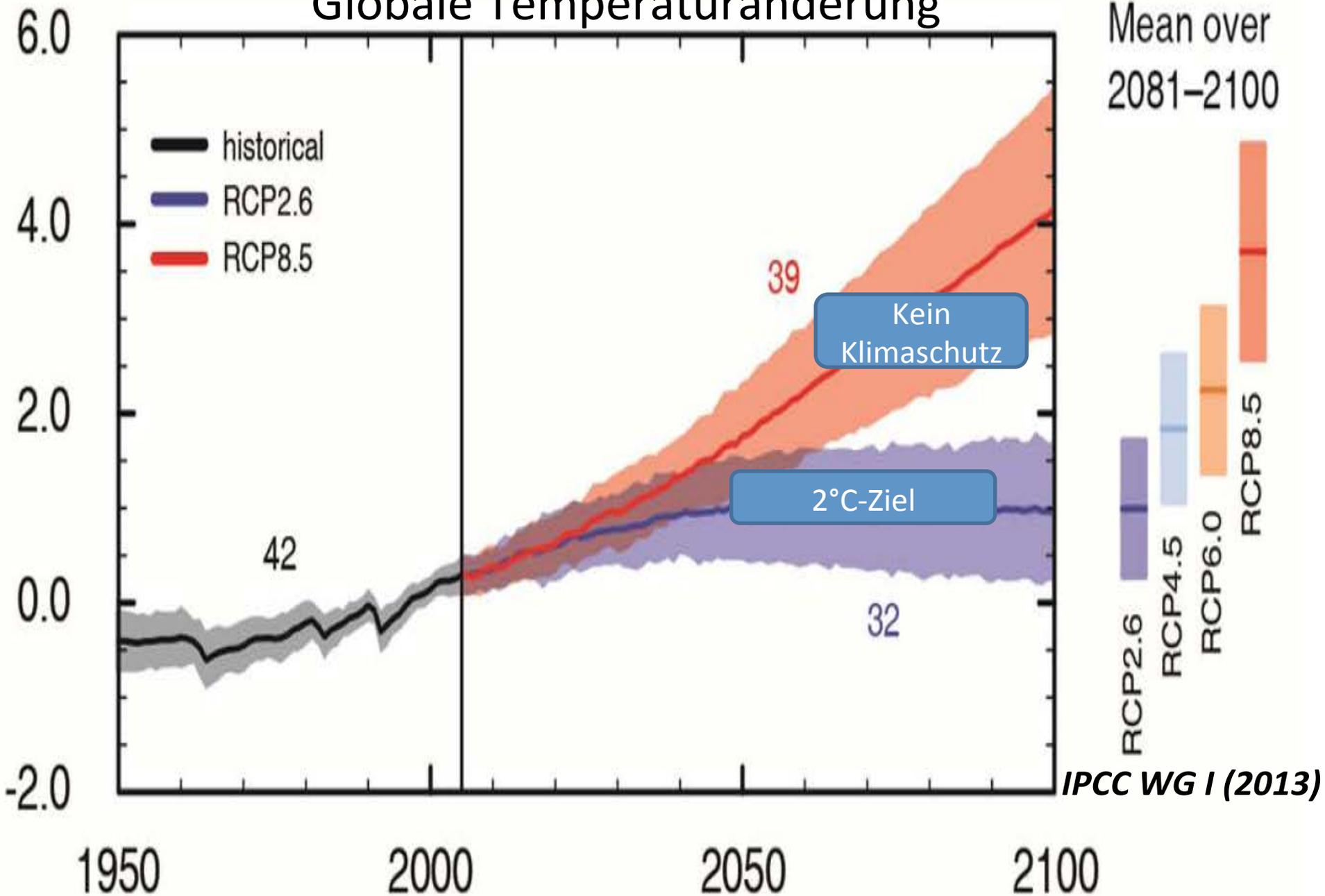
Strahlungsantrieb seit 1750

Radiative forcing in 2011 relative to 1750



Zum Vergleich: Die Abwärme der Anthroposphäre beträgt $0,03 \text{ W/m}^2$

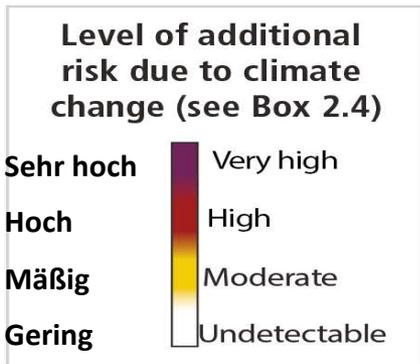
Global average surface temperature change Globale Temperaturänderung



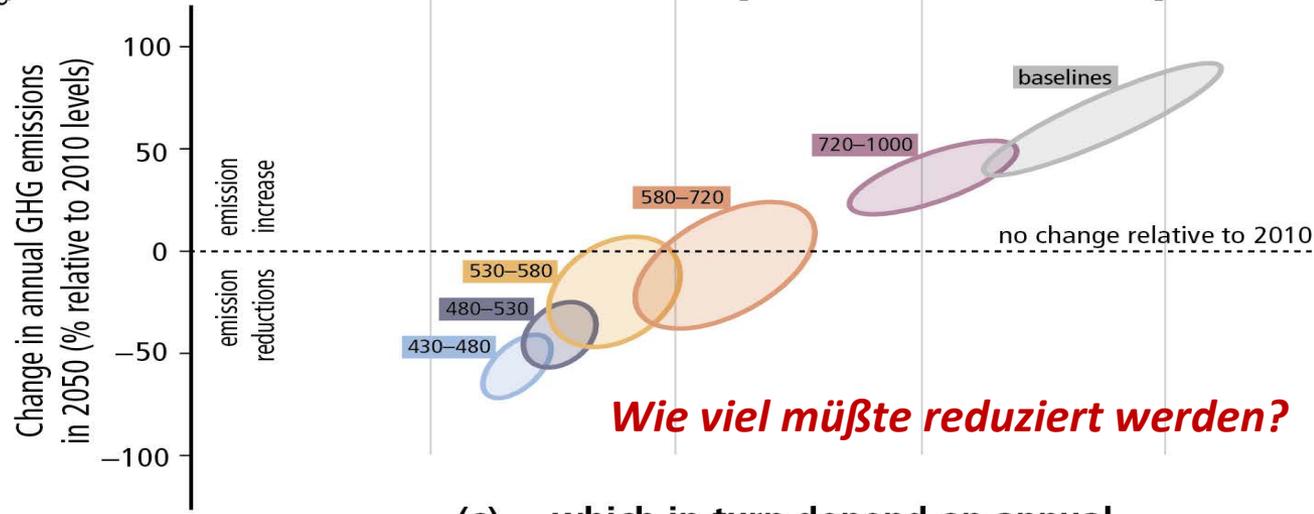
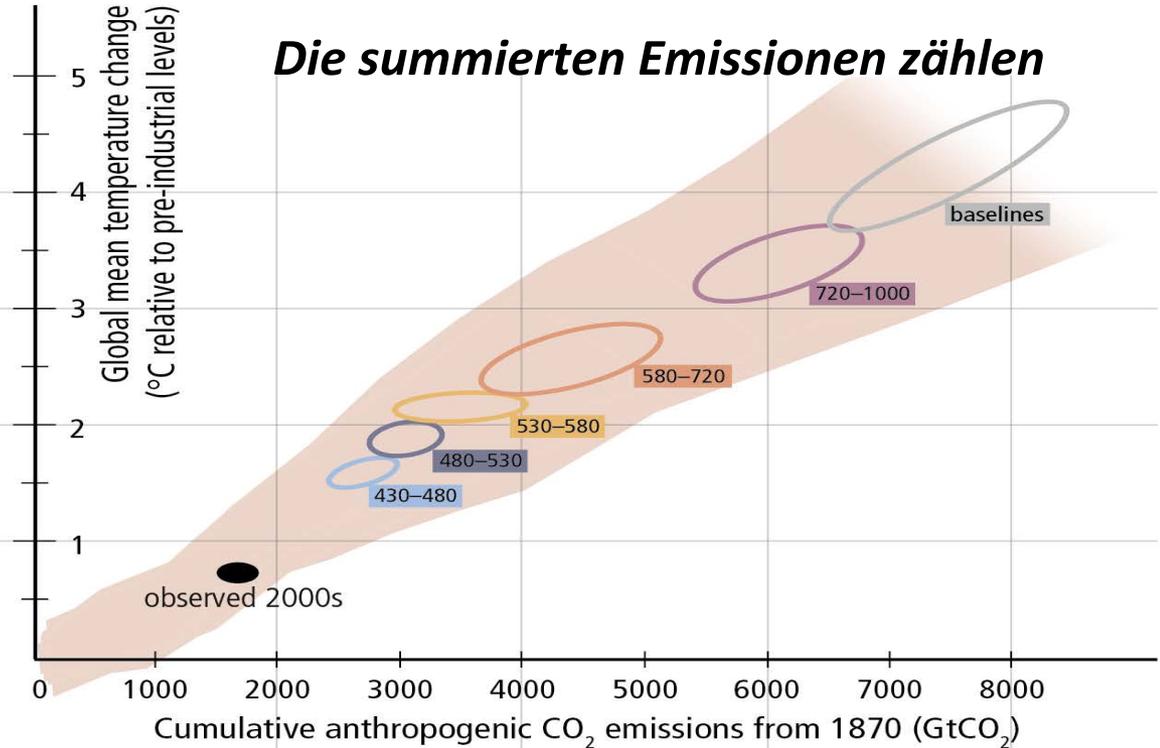
(a) Risks from climate change...

Risiken für
Teile des
Systems
Erde

Unique & threatened systems
Extreme weather events
Distribution of impacts
Global aggregate impacts
Large-scale singular events



(b) ...depend on cumulative CO₂ emissions...



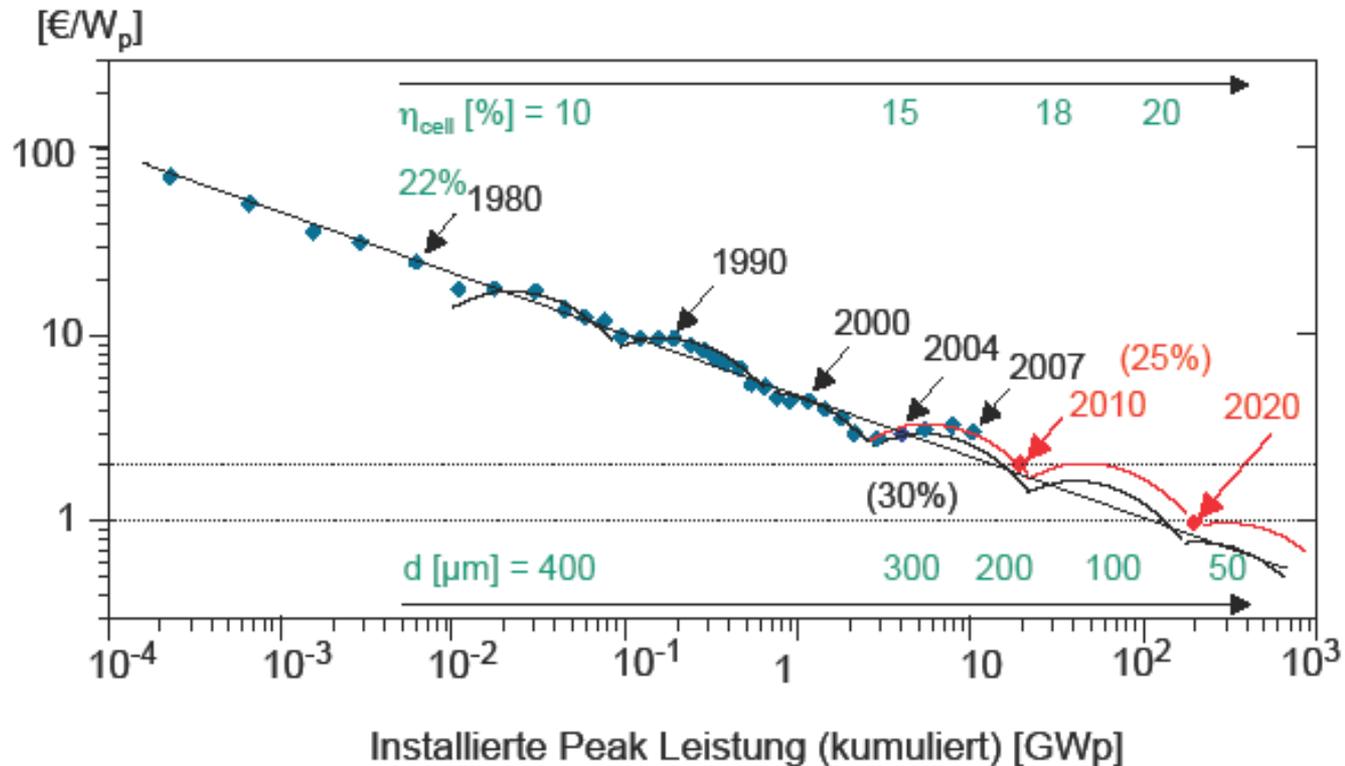
Wie viel müsste reduziert werden?

(c) ...which in turn depend on annual GHG emissions over the next decades

Gibt es erste Erfolge?

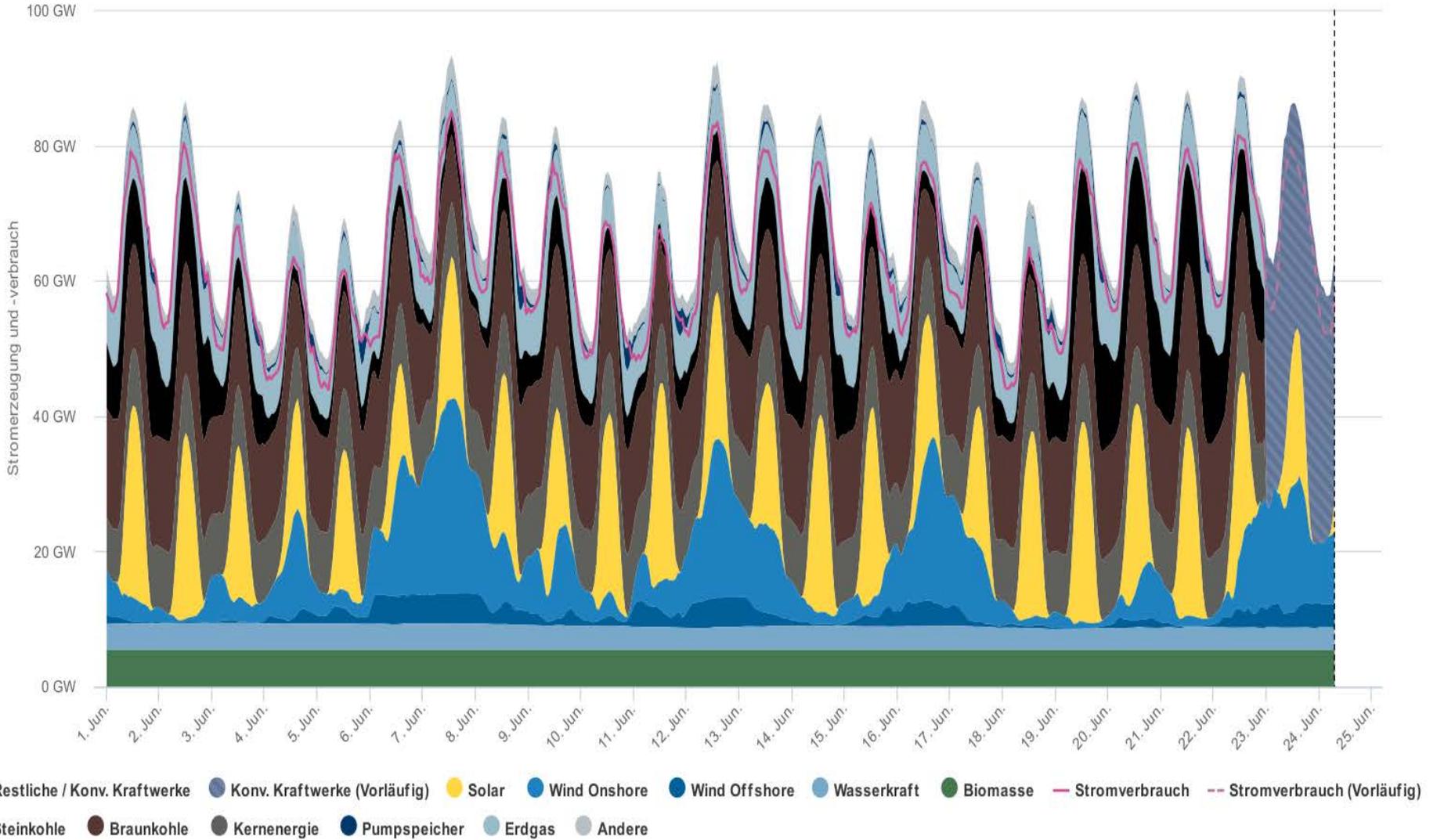
Diese Lernkurve für die Fotovoltaik war der wichtigste Helfer für die Paris-Vereinbarung

Preis-Lernkurve von PV-Modulen aus kristallinem Si



Graph: G. Willeke, ISE

Produktion elektrischen Stroms in Deutschland im Juni 2017



Was ist die Paris-Vereinbarung?

Ein seit 4. November 2016 völkerrechtlich verbindlicher Vertrag zum Klimaschutz für fast alle 195 Vertragsstaaten der UNFCCC. Zurzeit haben ihn bereits 160 ratifiziert.

Die zentralen Ziele der Paris-Vereinbarung:

- 1) Maximale mittlere globale Erwärmung wesentlich unter 2°C***
- 2) Treibhausgasneutralität in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts für alle Länder***
- 3) Mindestens 100 Milliarden USD pro Jahr für Anpassung an den Klimawandel und den Klimaschutz in den Entwicklungsländern***
- 4) Kompensation von Verlust und Schäden durch den anthropogenen Klimawandel***

Hoffnung

Bei der 24. Vertragsstaatenkonferenz 2018 muss über erhöhte Verpflichtungen ab 2020 diskutiert werden und kein Vertragsstaat darf unter bisherige Verpflichtungen absinken

Das Ziel der Paris-Vereinbarung ist noch erreichbar

Haupt Helfer ist die billige Sonne