

Klimaschutz und Energiewende – wie können sie gelingen?

Hartmut Graßl

Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

Vortrag anlässlich des 20jährigen Jubiläums der Solarfreunde Moosburg

26. November 2016

Klima ist die wichtigste natürliche Ressource

Klimafaktoren:

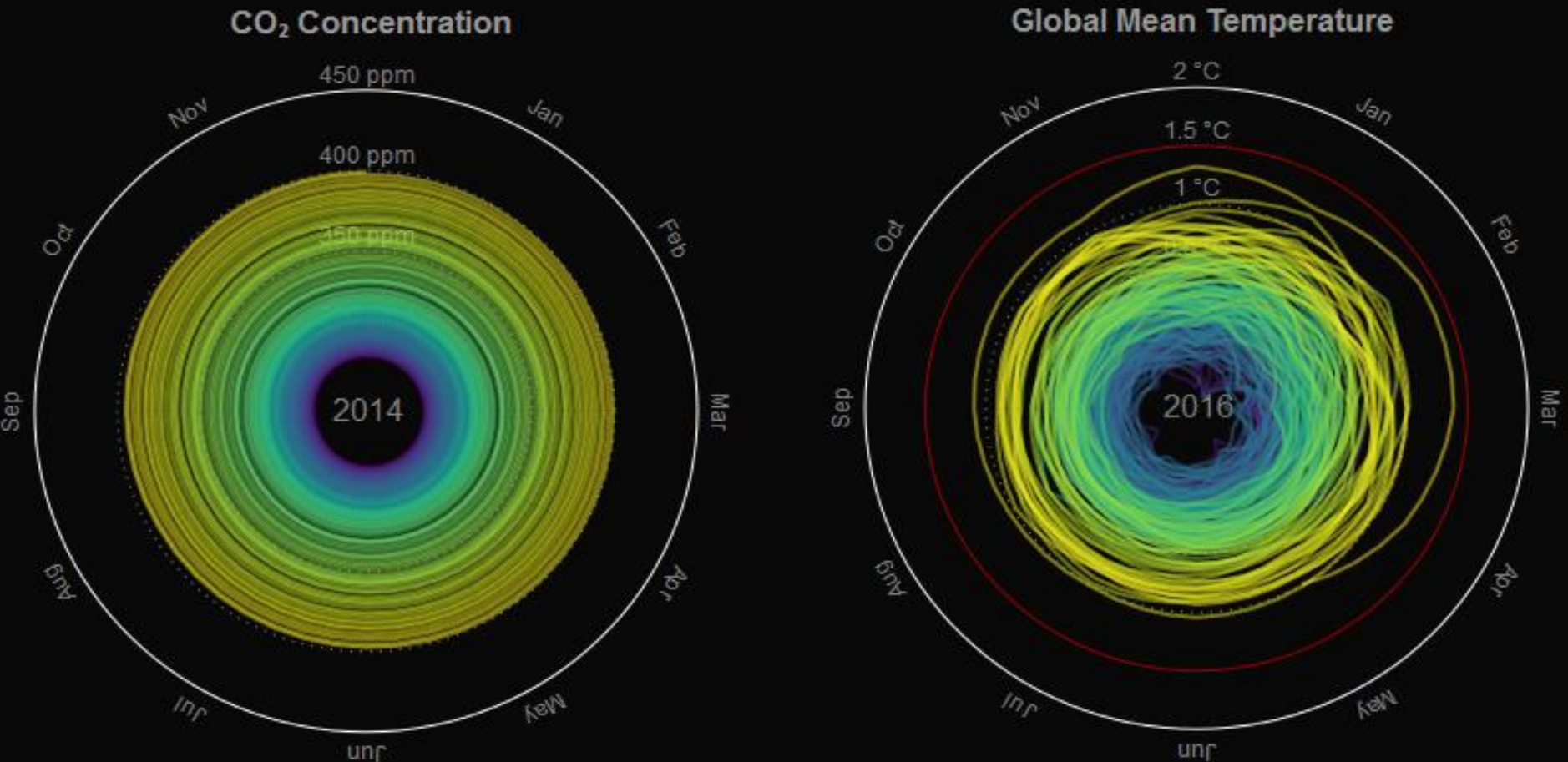
Sonne und Größe des Planeten

*Folge: Es gibt Ozean und Atmosphäre sowie
Wasser in allen drei Aggregatzuständen*

*Weitere Folge: **Leben und Vegetationszonen***

*Moosburg: **Laubwaldzone mittlerer Breiten bei
Niederschlag wesentlich über 500 mm pro Jahr
und Sommertemperaturen um 15°C***

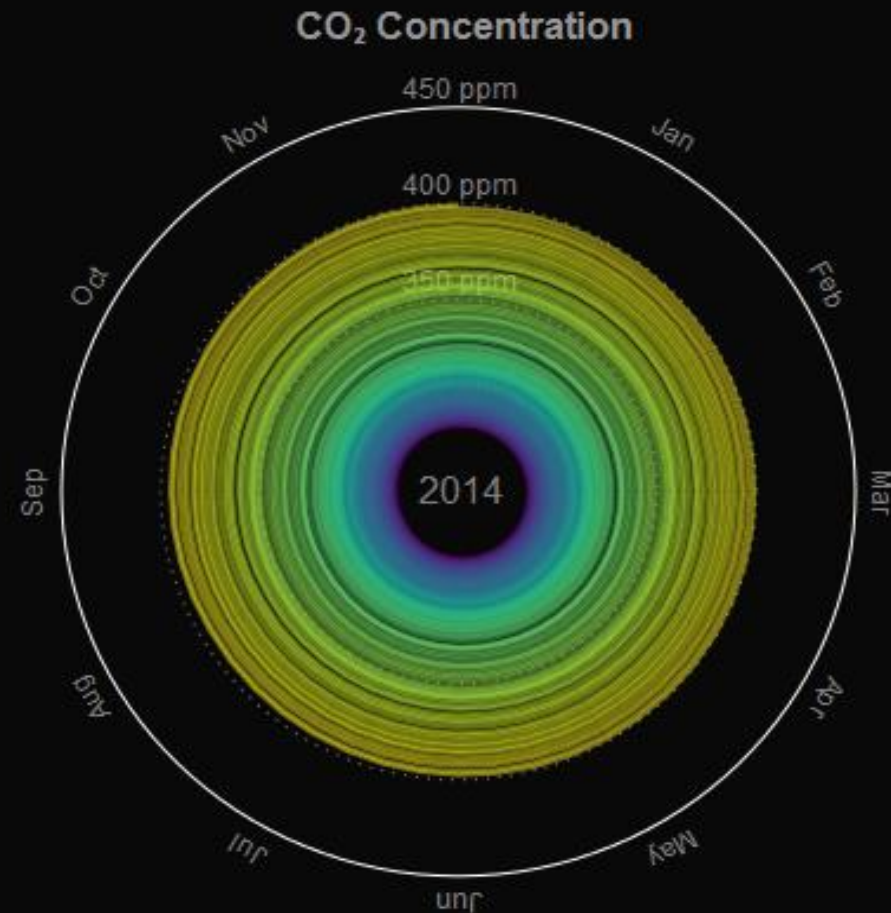
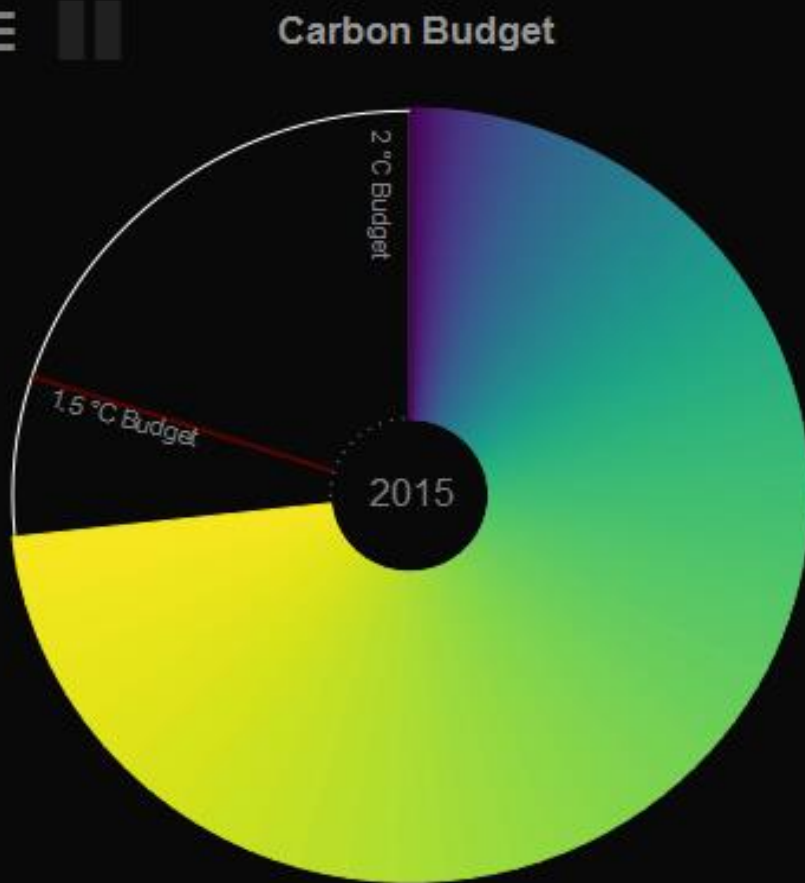
CO₂- und Temperaturzunahme seit 1860 Das hat die Politiker aber erst nach 1990 bewegt



***CO₂ ist das zweitwichtigste Treibhausgas der Atmosphäre
(PIK 2016)***

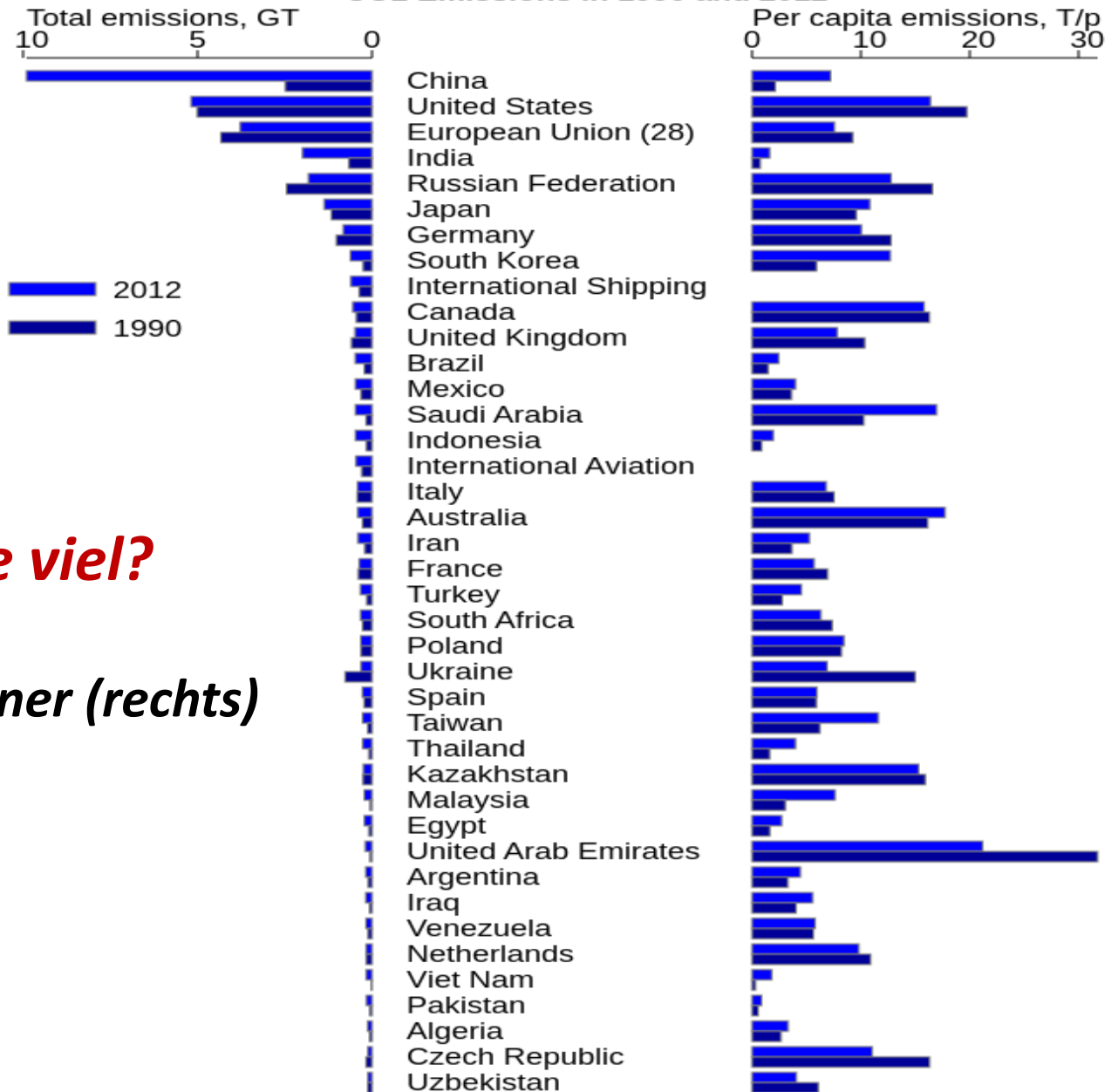
CO₂- und Temperaturzunahme

Das 1,5°C Budget ist schon fast erreicht



(PIK 2016)

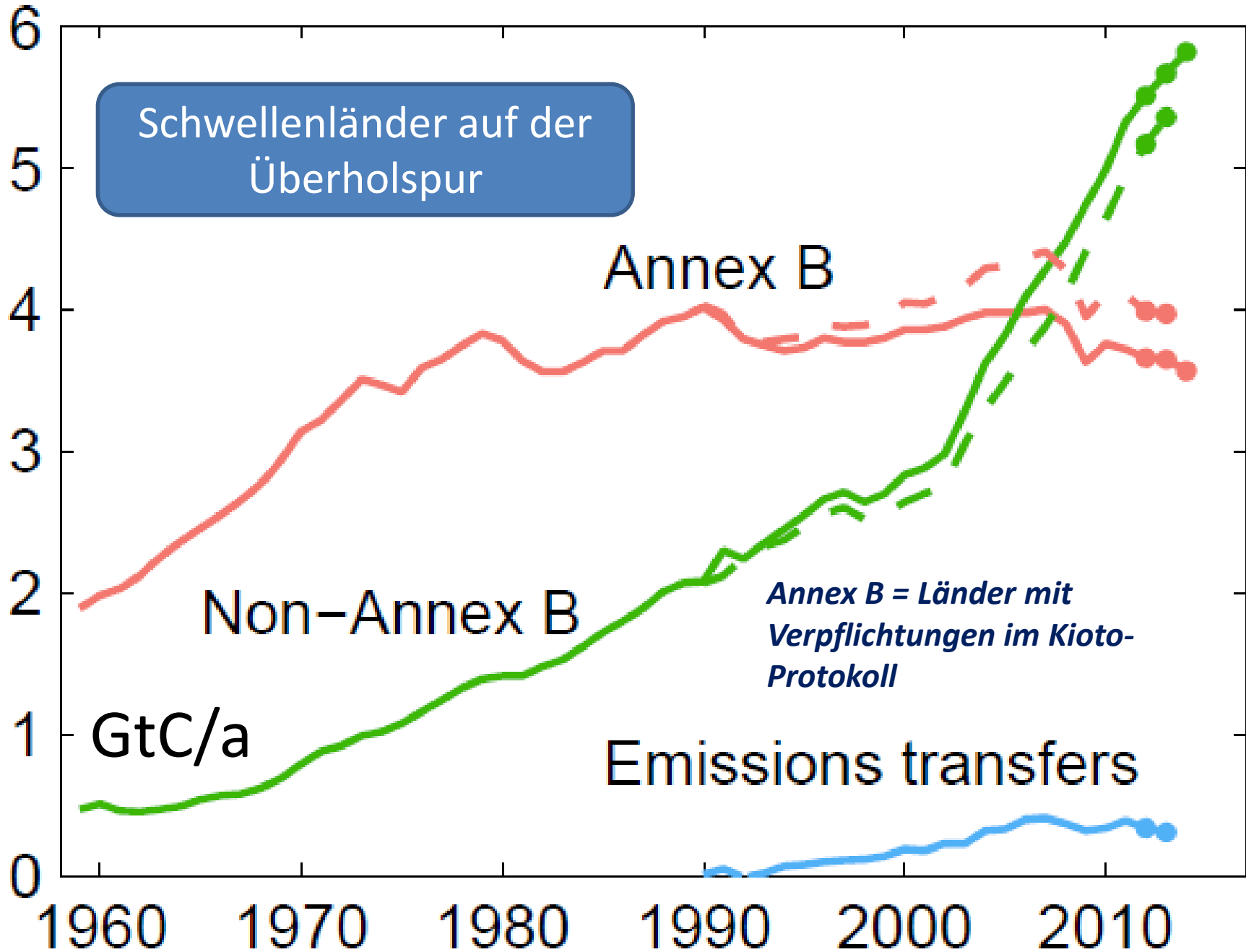
CO2 Emissions in 1990 and 2012

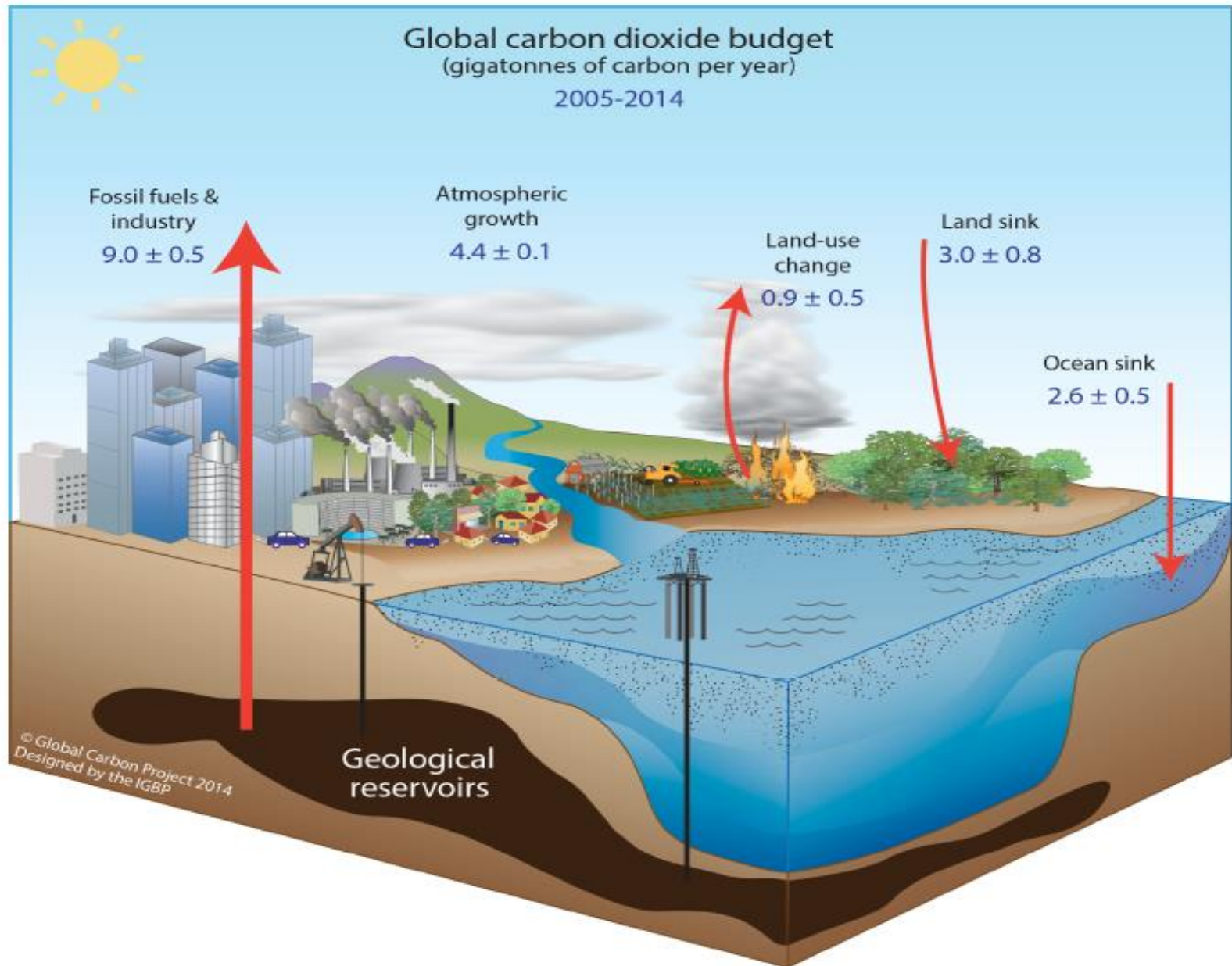


Wer emittiert wie viel?

Insgesamt (links)

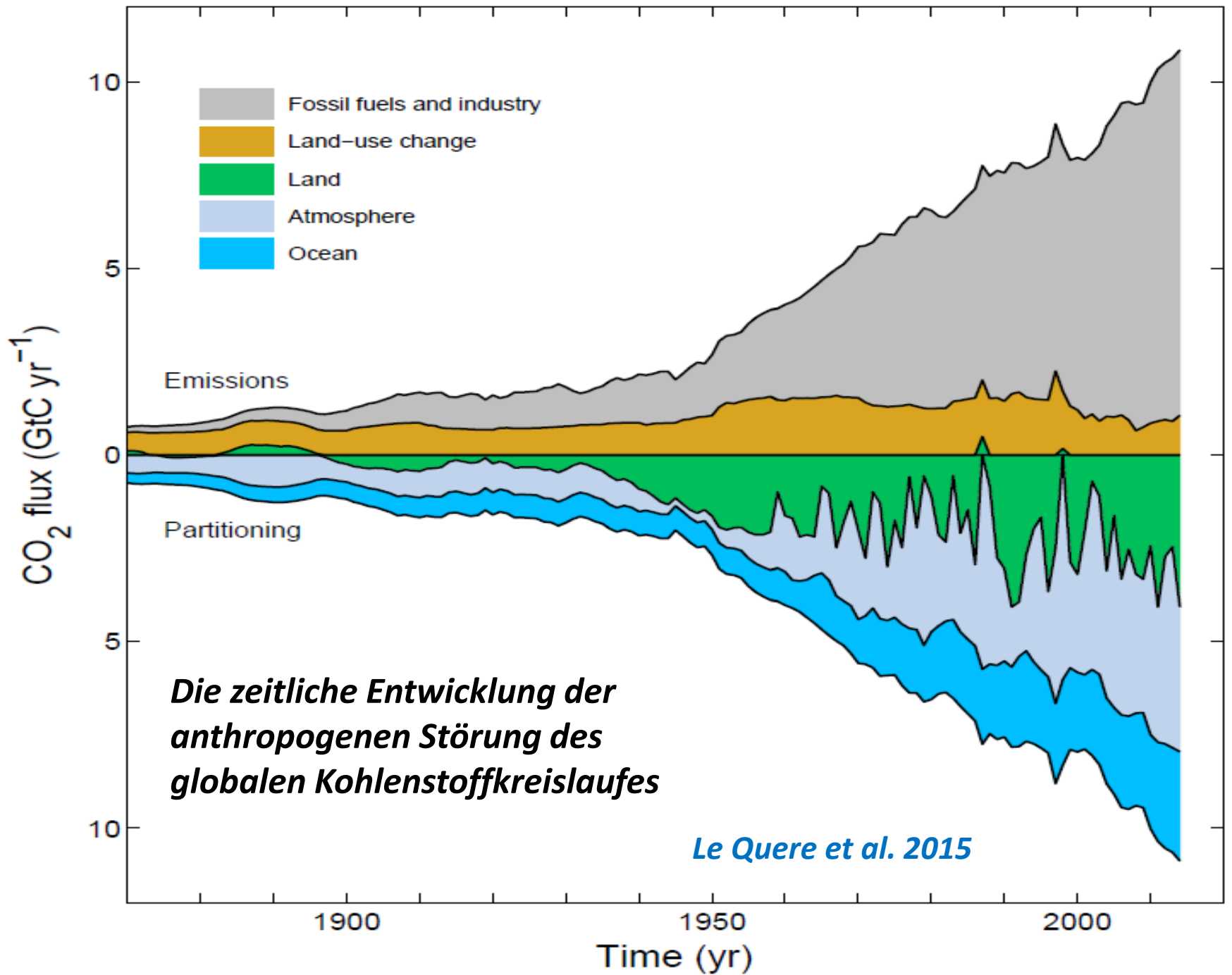
Wie viel pro Einwohner (rechts)

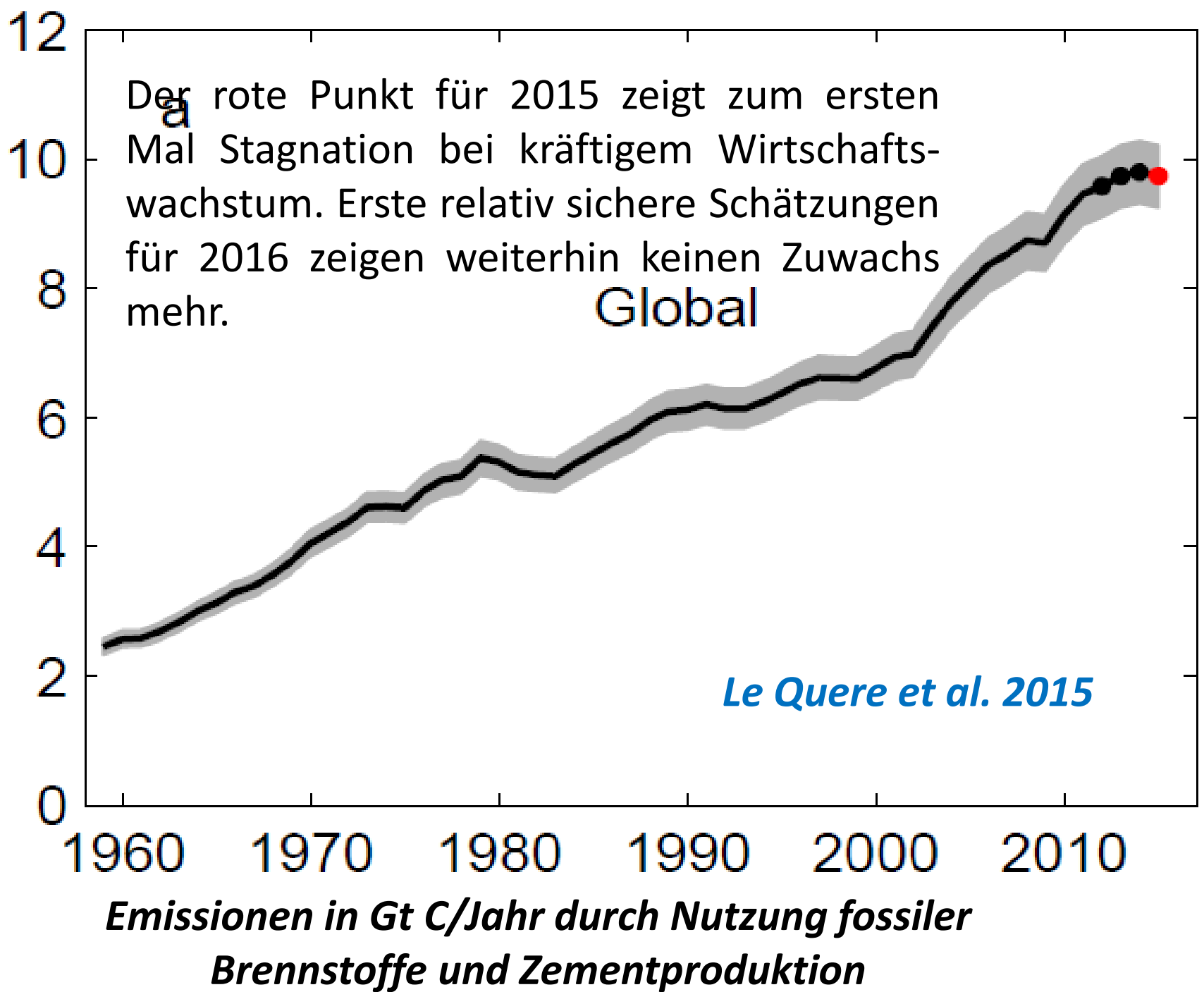




Kohlenstoffflüsse im Jahrzehnt von 2005 bis 2014 in Gt/a

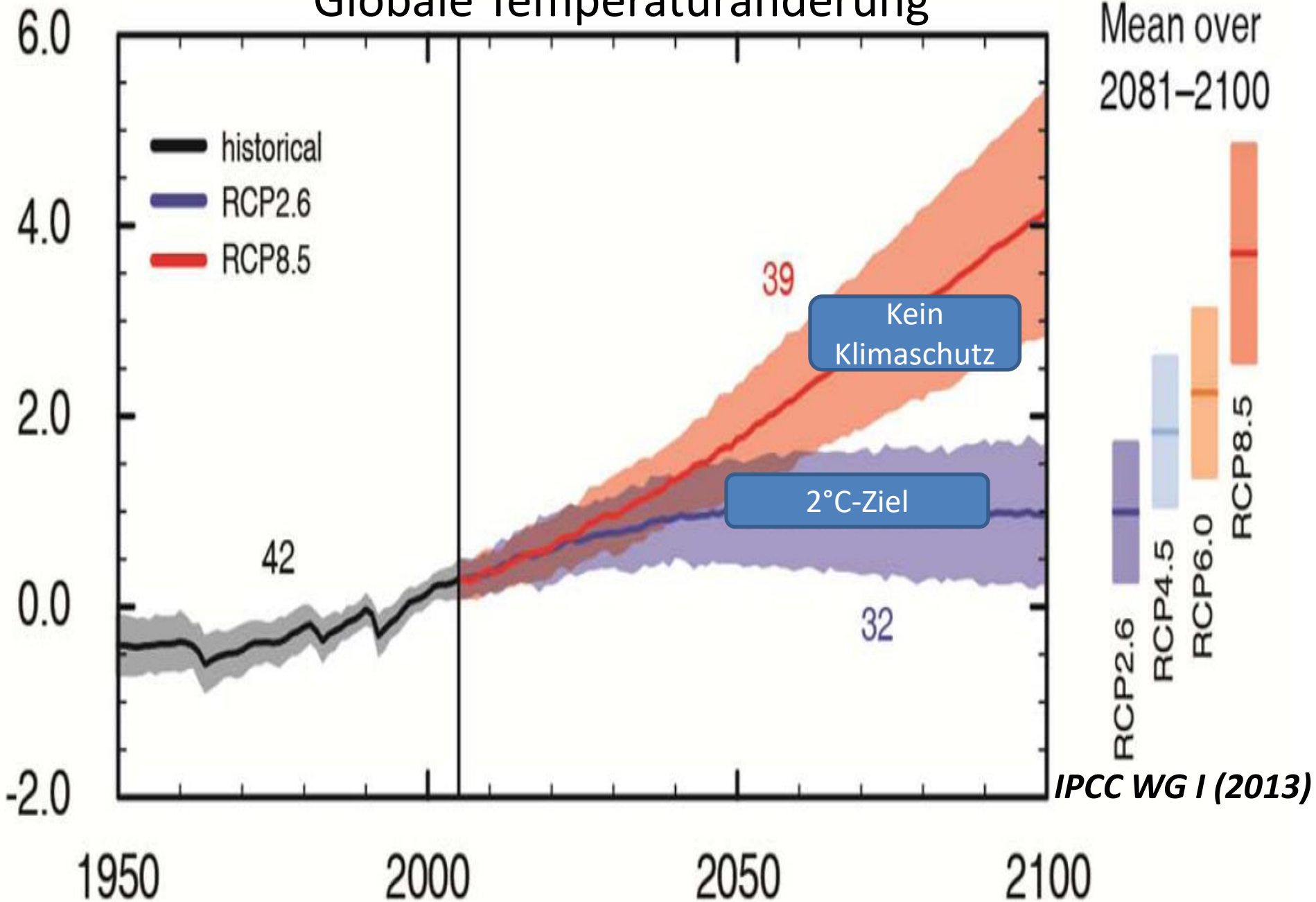
Le Quere et al. 2015





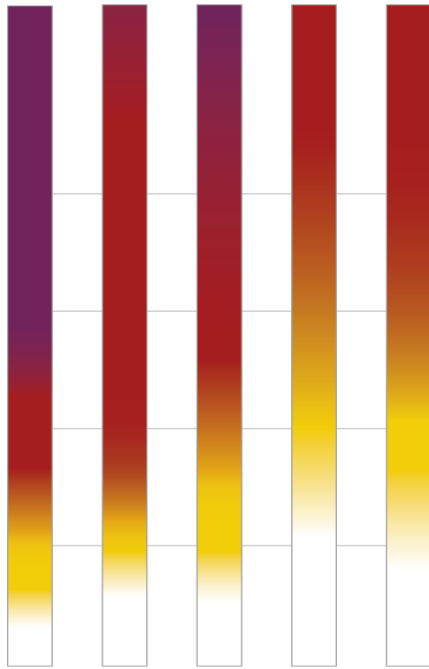
***Welche Klimaänderungen stehen bei
welchem Verhalten bevor?***

Global average surface temperature change Globale Temperaturänderung

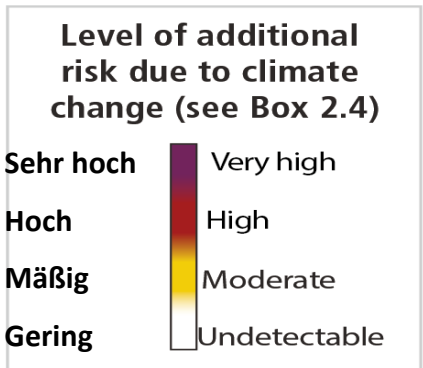


(a) Risks from climate change...

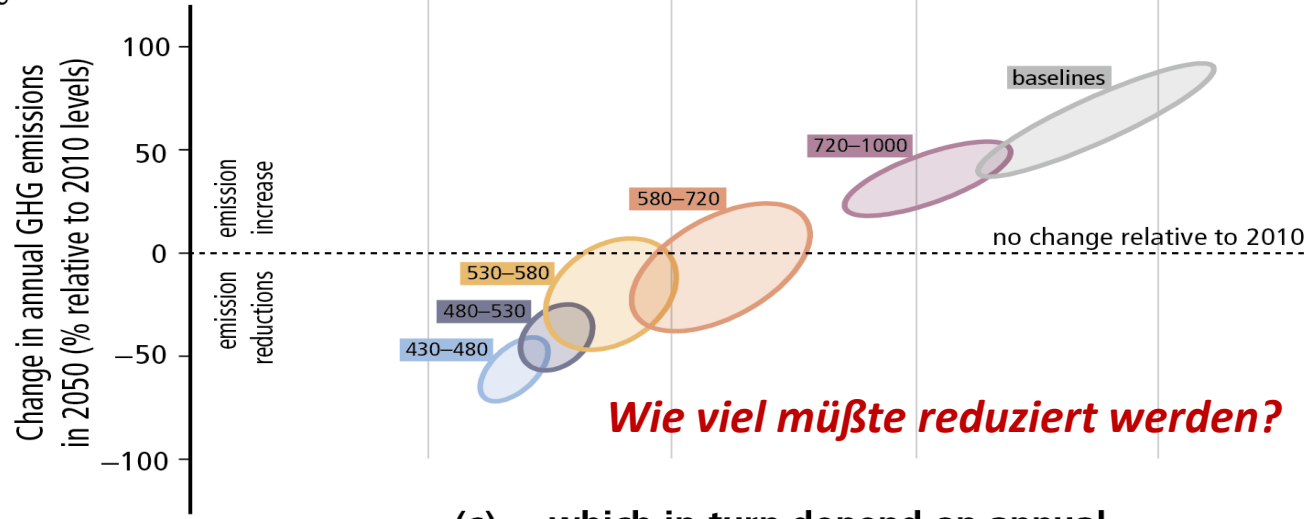
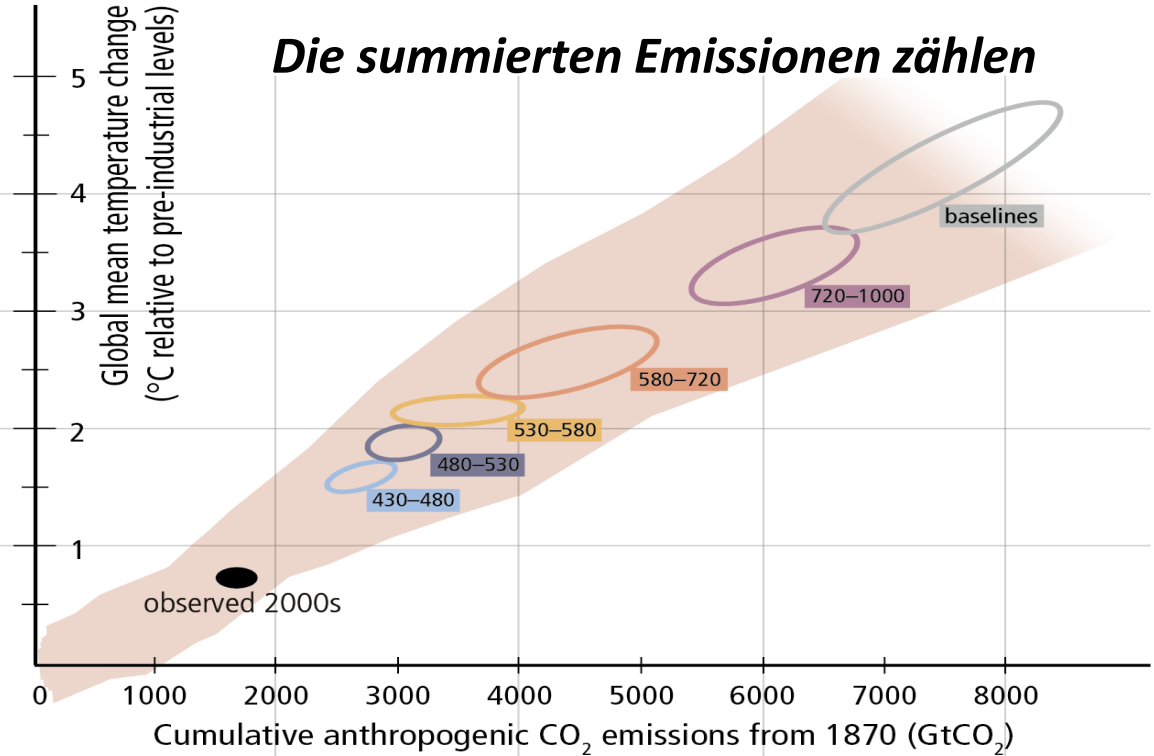
Risiken für
Teile des
Systems
Erde



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



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



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

Gründe für die Energiewende

Warum ist die globale Energiewende unumgänglich?

- **Erstens**, weil die schlampige Verbrennung fossiler Brennstoffe weltweit sehr vielen Menschen durch Luftverschmutzung das Leben verkürzt.
- **Zweitens**, weil fossile Brennstoffe (Reste von Lebewesen) gegenüber ihrer Bildungsrate mit millionenfach erhöhter Geschwindigkeit verbrannt werden, also bald zu Ende gehen.
- **Drittens**, weil die vom Klimawandel besonders betroffenen Menschen nicht die wesentlichen Verursacher sind, also die Ungerechtigkeit noch weiter zunimmt (siehe dazu „Laudato Si“).
- **Viertens**, weil es in unserer Umwelt Energieflüsse gibt, die den *homo sapiens* sicher - was die Verfügbarkeit anlangt - überleben werden, und die wir also für unsere Zwecke - so lange wir es möchten - nützen können.
- **Fünftens**, weil es seit 4. November 2016 ein völkerrechtlich verbindliches Abkommen zur Begrenzung der mittleren globalen Erwärmung gibt.

Ausgangslage:

Wird die seit 4. November 2016 völkerrechtlich verbindliche Paris-Vereinbarung im Wesentlichen umgesetzt, dann sollte in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts gelten:

Balance between anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases! In Deutsch: Treibhausgasneutralität!

Man könnte auch sagen:

Kohle, Erdöl und Erdgas müssen überwiegend in der Erdkruste bleiben

oder

Die globale Energiewende ist jetzt Völkerrecht

Reichen die Energieflüsse in der Umwelt für die komplette Energieversorgung von etwa neun Milliarden Menschen im Jahre 2050?

Eine erste oberflächliche Antwort:

Wir brauchen zurzeit im globalen Mittel nur eine Energieflussdichte von $0,03 \text{ W/m}^2$ (bis zu $0,06$ im Jahre 2050) und die Sonne bietet an der Erdoberfläche im Mittel ca. 165 W/m^2 an

Folgerung: Eine solare Gesellschaft ist aus physikalischen Gründen leicht möglich!

Die Lobby für die erneuerbaren Energien, meist NROs, war sehr erfolgreich in der Vermittlung der folgenden Überzeugung des Normalbürgers: *Die Erneuerbaren schaffen das locker! Und zwar immer dezentral!*

Ich möchte heute zeigen, dass das für ein dicht besiedeltes Land bei hohem Lebensstandard nur schwer oder gar nicht zu erreichen ist.

Das Angebot: Rangliste der Potenziale Erneuerbarer Energiequellen

Ranking of technical potentials of renewable energy types

Energietyp	Globaler Mittelwert	Deutschland/Germany	Angebotstyp/Type of offer
Sonne Sun	~ 165	~ 110	stark schwankend, nur tagsüber; strongly varying, daytime only
Wind	~ 2	~ 2	unregelmäßig, Tag und Nacht; variable, day and night
Biomasse Biomass	~ 0,1	< 0,3 Gedüngter Maisacker <0,5 Zuckerrohr	steuerbar, jedoch großer Flächenverbrauch, Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung; manageable, but low energy flux density, competition with food production
Tiefe Geothermie Deep Geothermal Energy	~ 0,1	~ 0,08	kontinuierlich, risikohafte Erkundung continuous, risky exploration
Gezeiten Tides	<< 0,1		regelmäßig, jedoch alternierend, nur wenige Küstenabschnitte; regularly alternating, only few coastal areas
Ozeanwellen Ocean waves	< 0,1		unregelmäßig, fast wie Wind, küstennah; irregular, nearly as wind, coastal areas
Energieflussdichte heute Energy flux density today	< 0,03	~ 1,5	
Energieflussdichte in 2050 Energy flux density in 2050	< 0,06	< 1.5	

Globale Mittelwerte der Energieflussdichten an der Erdoberfläche, in Watt pro Quadratmeter (Wm^{-2}), für verschiedene erneuerbare Quellen, gereiht nach Bedeutung; zum Vergleich sind auch aktuelle Werte des Energieversorgungssystems mit angegeben.

Wiederholung: Die Reihung der Potenziale der „erneuerbaren“ Energien in Deutschland

- 1) Sonne 110 W/m^2 , starker Jahres- und Tagesgang**
- 2) Wind $1 \text{ bis } 2 \text{ W/m}^2$, Faktor 100 schwächer als die Sonne, Faktor 10 schwächer (bei 10% Effizienz der Solarzellen), bei Beachtung von maximal 60 Prozent Effizienz der Rotoren**
- 3) Biomasse $<0,3 \text{ W/m}^2$, Faktor ca. 5 schwächer als der Wind aber flexibel einsetzbar**
- 4) Tiefe Geothermie $0,08 \text{ W/m}^2$, etwa Faktor 3 schwächer als die Biomasse aber sehr stetig**
- 5) Wasserkraft $0,022 \text{ W/m}^2$, fast nicht mehr ausbaubar**

Kleine Rechenbeispiele

Deutsche Bürger benötigen zurzeit eine Energiedichte von etwa $1,5 \text{ W/m}^2$ für ihr „Luxusleben“

1. Frage: Reicht dafür die Windenergie?

Antwort: Nein, weil auf höchstens 30% der Fläche höchstens 1 W/m^2 im Mittel geerntet werden kann. Der Beitrag wäre dann etwa nur ein Fünftel des gesamten Energiebedarfs.

2. Frage: Reichen Strom und Wärme aus Biomasse?

Antwort: Nein, bei weitem nicht. Würden wir von einem Fünftel des Landes jährlich alles dafür ernten, bekämen wir einen Beitrag von nur einigen Prozent.

3. Frage: Reicht die Sonnenenergie?

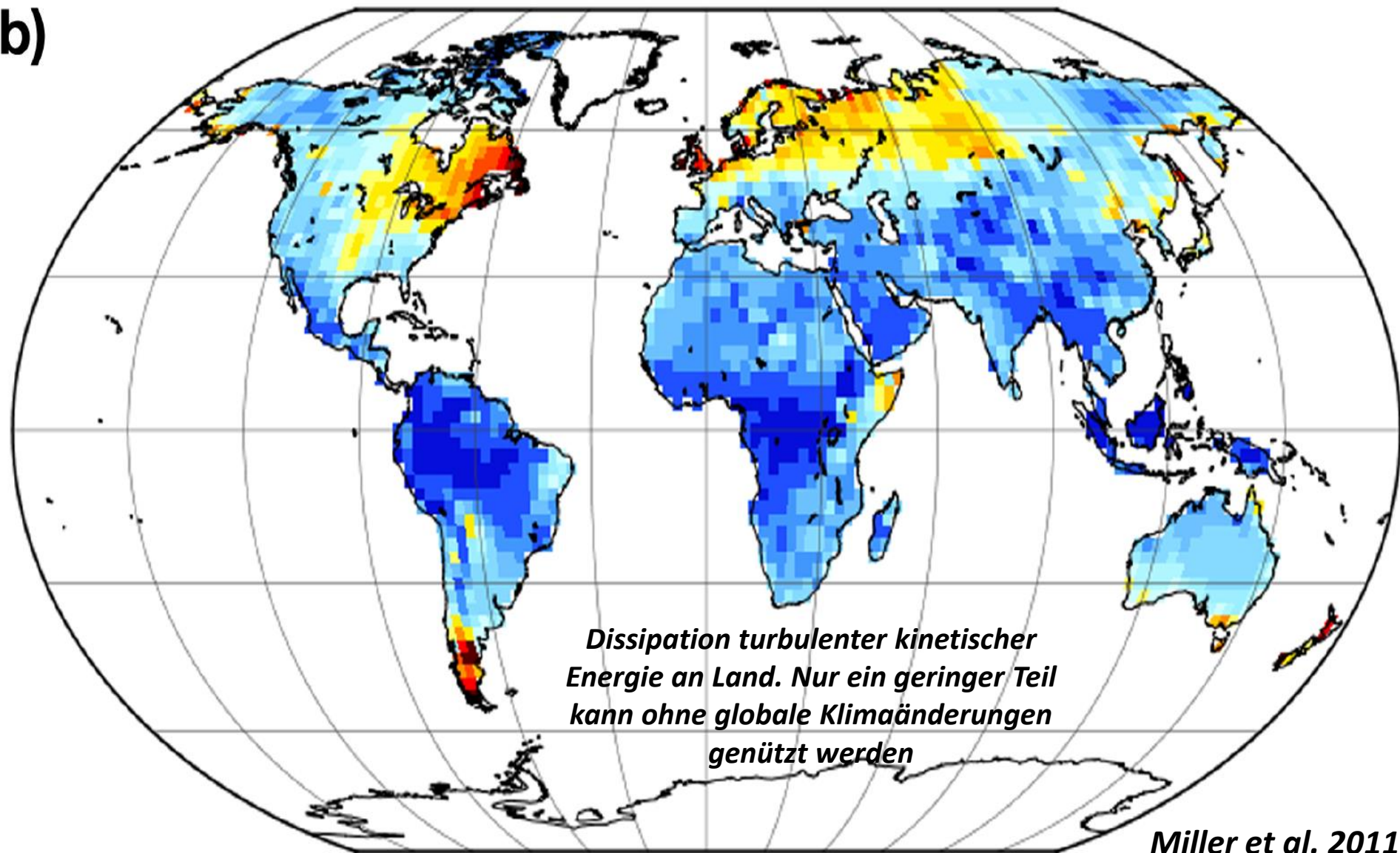
Antwort: Ja, wenn Teilspeicherung für das Winterhalbjahr gelingt.

4. Frage: Können alle Erneuerbaren zusammen die Versorgung sichern?

Antwort: Ja, aber nur mit weit mehr Speicherung und Ferntransport sowie kräftiger Effizienzsteigerung

Die Begrenztheit der Windenergie

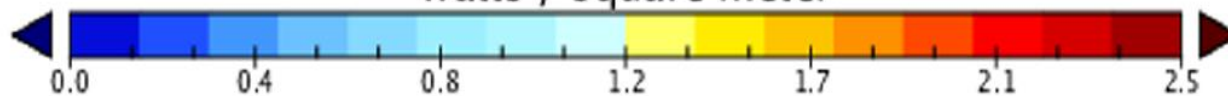
b)



*Dissipation turbulenter kinetischer
Energie an Land. Nur ein geringer Teil
kann ohne globale Klimaänderungen
genützt werden*

Miller et al. 2011

watts / square meter



simple top-down estimate

174 000

incoming solar radiation flux density

122 000

30% atmos. reflection

87 000

20% atmos. absorption

31% conversion efficiency

29 000

maximum photovoltaic conversion rate

45 000

differential solar heating

0.06%
extraction

900

atmospheric wind energy generation rate

large-scale
and
convective heating

17

human energy demand

450

wind energy dissipation in the atmospheric boundary layer

6%
extraction

112

wind energy dissipation over land

60% conversion efficiency

267

maximum wind energy extraction rate from atmospheric boundary layer

68

continually extractable wind energy over land

dependent processes

Miller et al. 2011

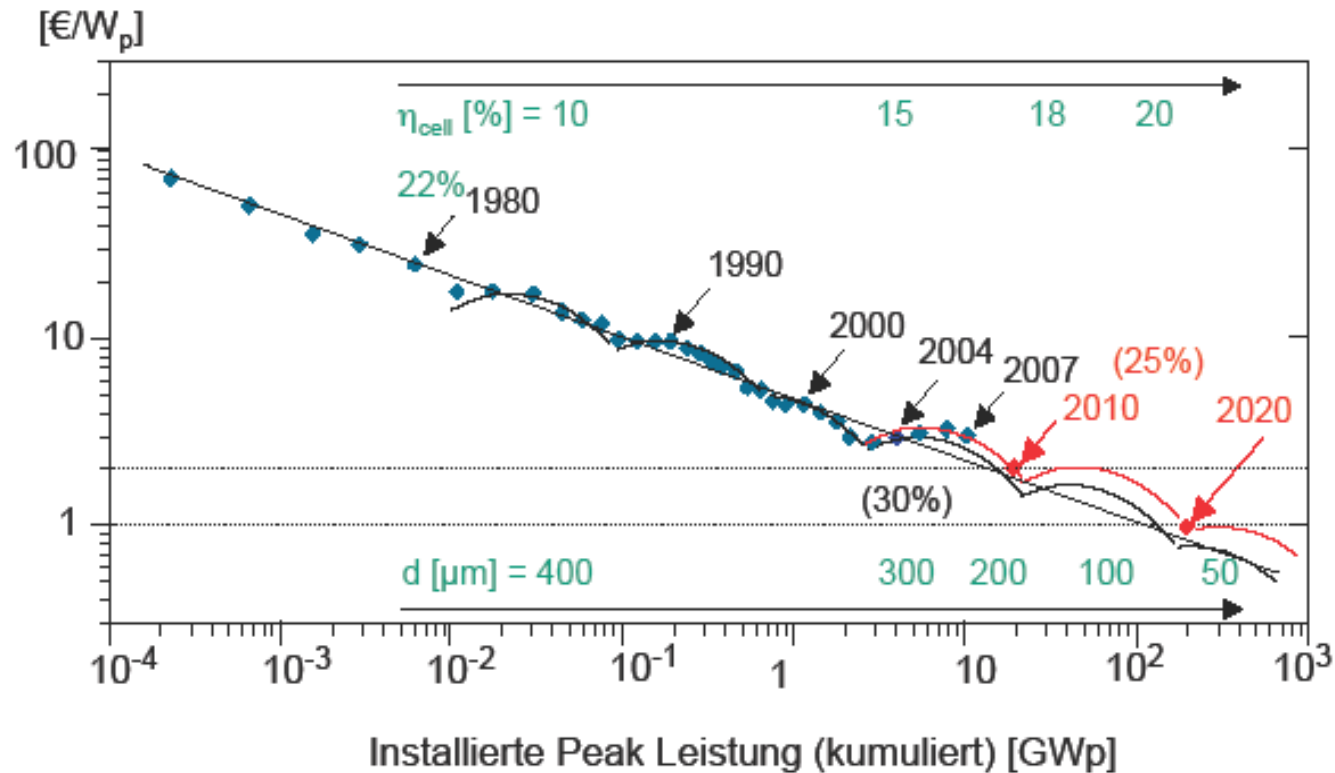
* all quantities are in terawatts (TW) unless otherwise noted

Haupthürden für eine Energieversorgung mit fast ausschließlicher Nutzung von Sonnen- und Windenergie (in Deutschland)

- ***Lobby für die fossilen Brennstoffe***
- ***Hochdrucklage Mitteleuropa im dunkelsten Abschnitt des Jahres (Ende November bis Ende Januar)***
- *Begrenztheit der Windenergie*
- ***Bürger mit wenig Gemeinsinn***
- ***Geringe Unterstützung der Effizienzsteigerung durch die Politik und die Bürger***

Diese Kurve war der wichtigste Helfer für die Paris-Vereinbarung

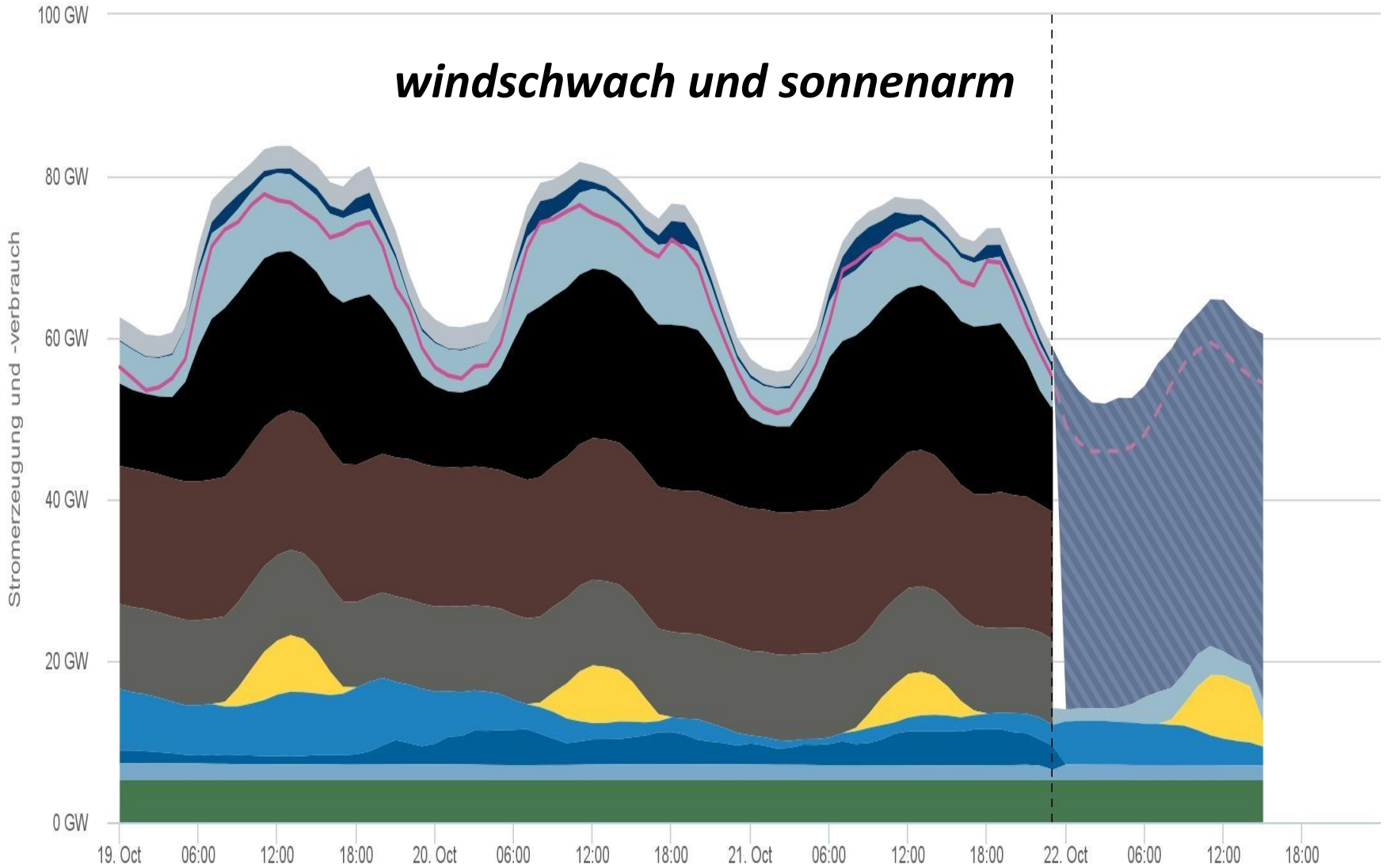
Preis-Lernkurve von PV-Modulen aus kristallinem Si



Graph: G. Willeke, ISE

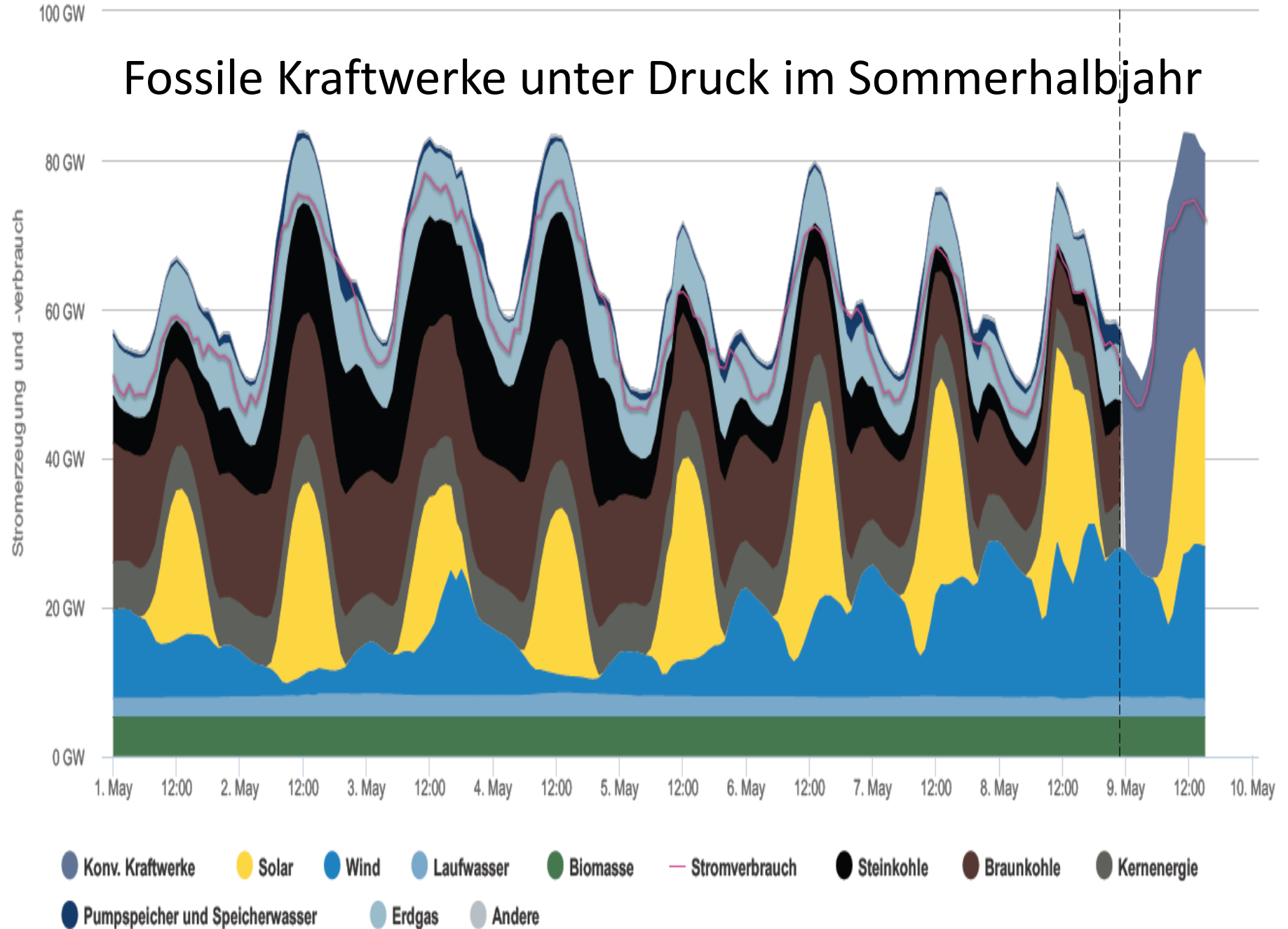
***Ein erster kleiner Teil der
Energiewende***

windschwach und sonnenarm

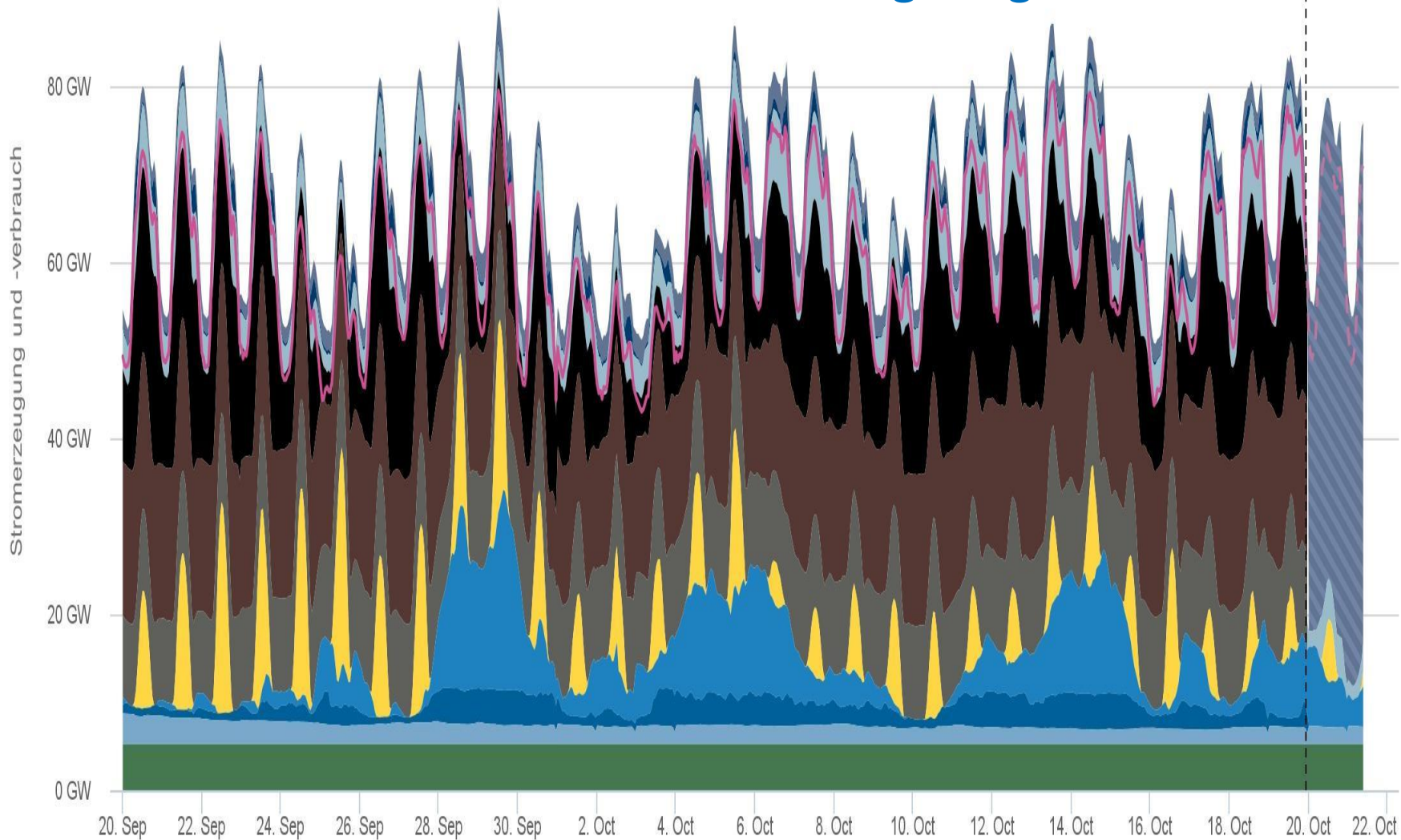


- Restliche / Konv. Kraftwerke
- Konv. Kraftwerke (Vorläufig)
- Solar
- Wind Onshore
- Wind Offshore
- Wasserkraft
- Biomasse
- Stromverbrauch
- Stromverbrauch (Vorläufig)
- Steinkohle
- Braunkohle
- Kernenergie
- Pumpspeicher
- Erdgas
- Andere

Fossile Kraftwerke unter Druck im Sommerhalbjahr



Stroms aus erneuerbaren Energieangeboten



- Restliche / Konv. Kraftwerke
- Konv. Kraftwerke (Vorläufig)
- Solar
- Wind Onshore
- Wind Offshore
- Wasserkraft
- Biomasse
- Stromverbrauch
- Stromverbrauch (Vorläufig)
- Steinkohle
- Braunkohle
- Kernenergie
- Pumpspeicher
- Erdgas
- Andere

Zwei besonders harte Nüsse:

Der Straßengüterverkehr

Die Luftfahrt

Schlussbemerkung aus Sicht eines Physikers und Politikberaters

- ***Die Energiewende ist unumkehrbar eingeläutet***
- ***Ihre zentrale Stütze wird im globalen Maßstab langfristig die Sonnenenergie sein***
- ***Windenergie wird in höheren mittleren Breiten und manchen Passatzonen wesentlich beitragen***
- ***Bioenergie und tiefe Geothermie werden nur einen kleinen Beitrag liefern***
- ***Kohle und Erdöl werden früher ausscheiden als Erdgas***
- ***Speicherung der Energie aus Sonne und Wind als Gas muss noch entwickelt werden***
- ***Das Energienetz muss mindestens ein europäisches sein, Autarkie in kleineren Regionen ist ein Traum***

*Ich gratuliere den Solarfreunden
Moosburg, sie sollten den Etappensieg
feiern, sie haben aber noch über
Jahrzehnte viel zu tun.*

