The Physical Boundaries for the Energy System Transformation

Hartmut Grassl
Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg

Contribution to
Development towards Sustainability
ENSSER Annual Conference 2014
Berlin, 10 September 2014

Greenhouse Earth

(Tropical temperatures may reach poles)

Icehouse Earth

(Global climate when ice ages are possible)

Snowball Earth

(Earth's surface became nearly or entirely frozen over)

Stadial

(cooler period in an interglacial like the Little Ice Age) and Interstadial (warmer period within a Glacial)

Holocene

Anthropocene

Did it exist 670 Mill years ag?

Warm period

Interglacial

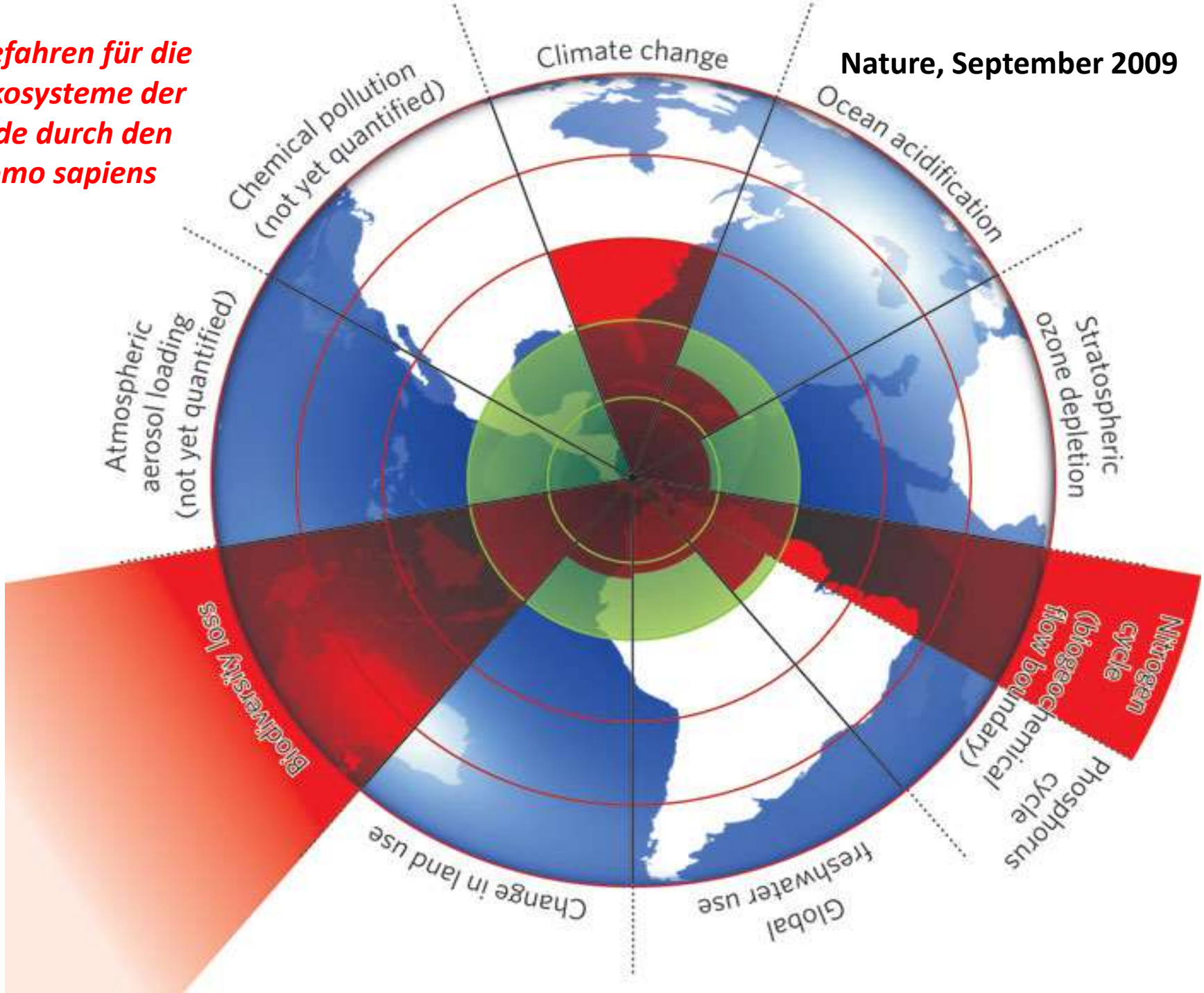
Glacial

Cold period

Temperature difference only 4 to 5°C

Gefahren für die Ökosysteme der Erde durch den homo sapiens

Nature, September 2009



Physical Boundaries for Climate Change

Macro parameters

The size of the planet
Distance to the star
Composition of the atmosphere
Surface properties

Micro parameters

Absorption characteristics of greenhouse gases
Scattering and absorption by cloud elements
Scattering and absorption by aerosol particles

Can Carbon Dioxide be called Hazardous Waste?

1. ***It is an important greenhouse gas (No. 2) of the atmosphere;***
2. ***it is the key substance for photosynthesis of plants;***
3. ***it is the final product (exhaust) of metabolism of bacteria, fungi, animals and humans;***

4. ***it is a waste originating predominantly from industrialized societies as well as from vegetation destruction and soil degradation in many other countries, and it is the main cause of observed climate change since about 1950. The rapidly growing surplus in the atmosphere is hazardous.***

IPCC (2013)

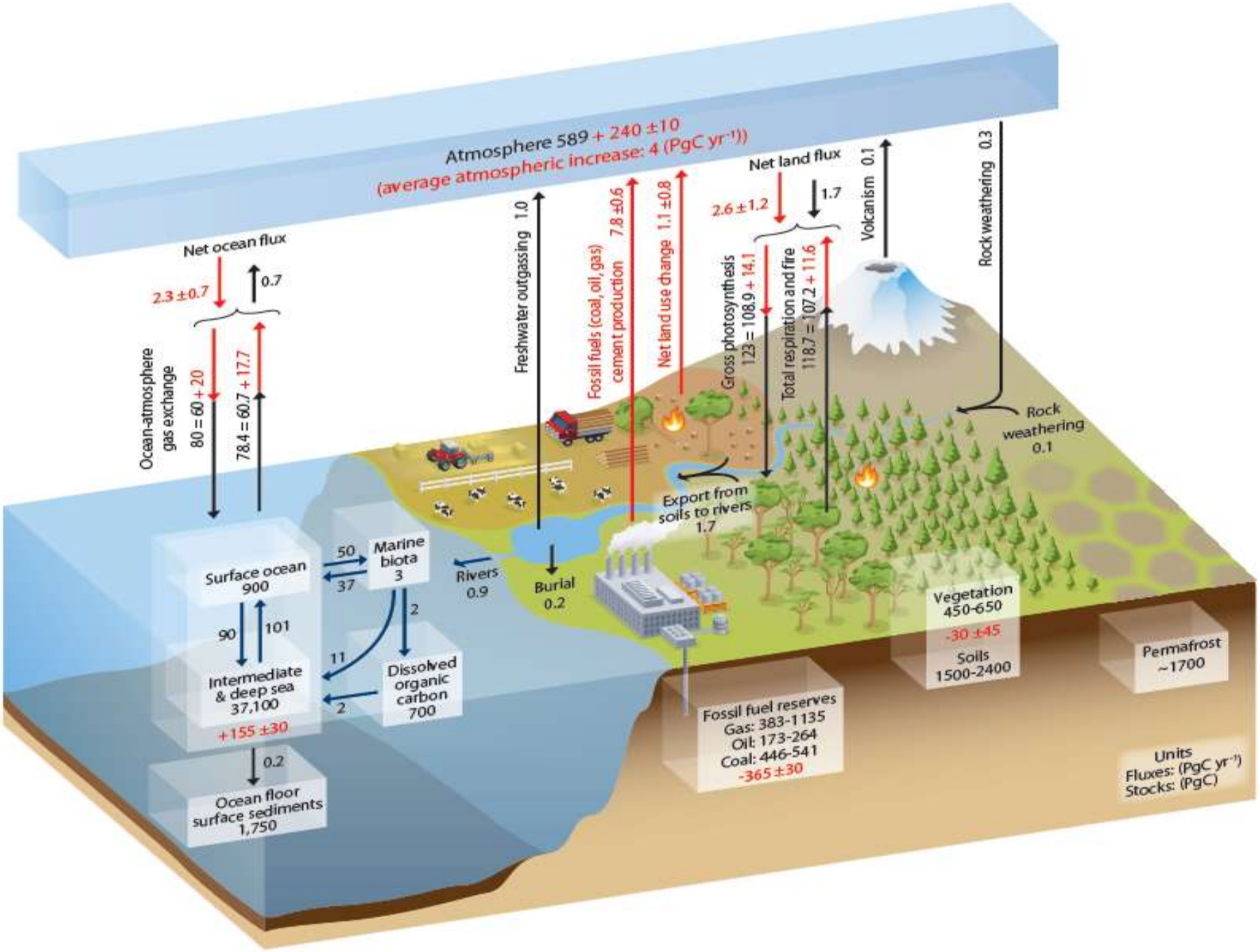
Atmospheric CO_2 concentration increased at an average rate of 2.0 ± 0.1 ppm/yr during 2002 – 2011. This decadal rate of increase is higher than during any previous decade since direct atmospheric concentration measurements began in 1958.

After almost one decade of stable CH4 concentrations since the late 1990s, atmo-spheric measurements have shown renewed growth since 2007.

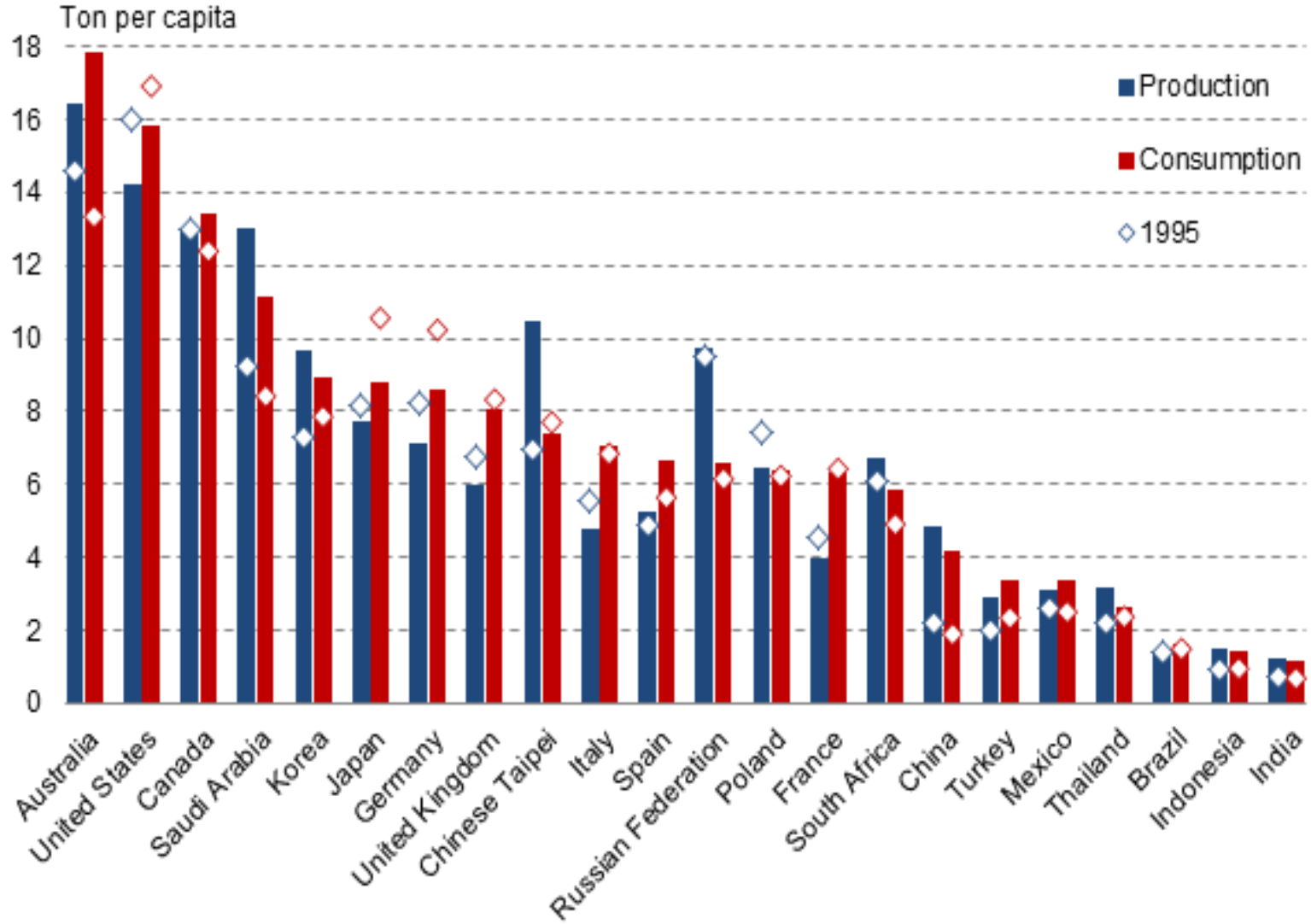
CO_2 increased by 40% from 278 ppm about 1750 to 390.5 ppm in 2011. During the same time interval, CH_4 increased by 150% from 722 ppb to 1803 ppb, and N_2O by 20% from 271 ppb to 324.2 ppb in 2011.

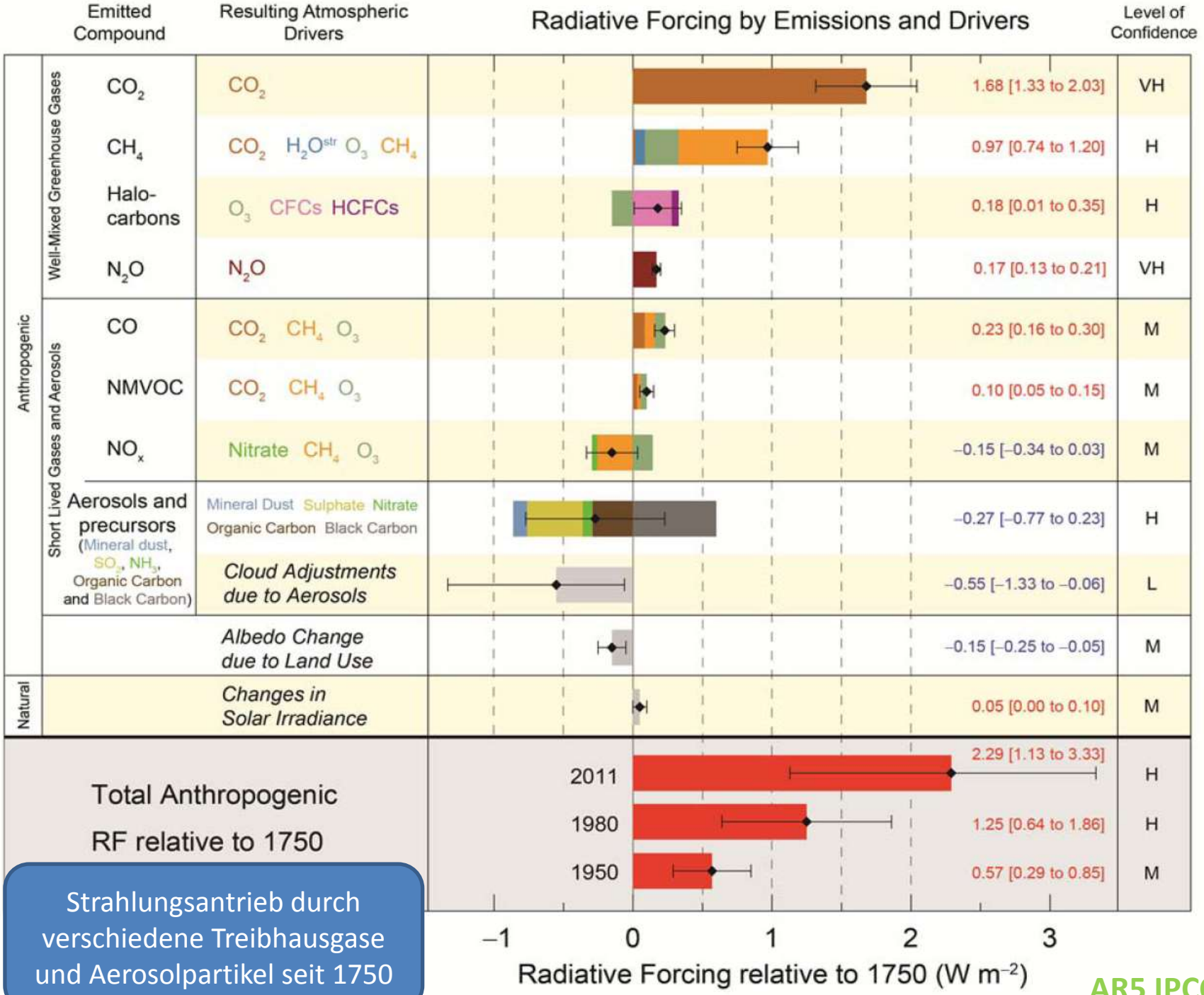
IPCC 2013

Despite a growing number of climate change mitigation policies, annual GHG emissions grew on average by 1.0 giga tonne carbon dioxide equivalent (GtCO2eq) (2.2%) per year from 2000 to 2010 compared to 0.4 GtCO2eq (1.3%) per year from 1970 to 2000. Total anthropogenic GHG emissions were the highest in human history from 2000 to 2010 and reached 49 (±4.5)GtCO2eq/yr in 2010. The global economic crisis 2007/2008 only temporarily reduced emissions. ***(IPCC WG III 2014)***


Atmosphere 589 + 240 ±10
(average atmospheric increase: 4 (PgC yr⁻¹))
Net ocean flux
2.3 ±0.7
0.7
Ocean-atmosphere gas exchange
80 = 60 + 20
78.4 = 60.7 + 17.7
Freshwater outgassing 1.0
Fossil fuels (coal, oil, gas) cement production 7.8 ±0.6
Net land use change 1.1 ±0.8
Net land flux
2.6 ±1.2
1.7
Gross photosynthesis 123 = 108.9 + 14.1
Total respiration and fire 118.7 = 107.2 + 11.6
Volcanism 0.1
Rock weathering 0.3
Rock weathering 0.1
Export from soils to rivers 1.7
Surface ocean 900
50
37
Marine biota 3
Rivers 0.9
Burial 0.2
90
101
2
11
2
Intermediate & deep sea 37,100
+155 ±30
Dissolved organic carbon 700
0.2
Ocean floor surface sediments 1,750
Vegetation 450-650
-30 ±45
Soils 1500-2400
Permafrost ~1700
Fossil fuel reserves
Gas: 383-1135
Oil: 173-264
Coal: 446-541
-365 ±30
Units
Fluxes: (PgC yr⁻¹)
Stocks: (PgC)

Caron dioxide emissions in tons per capita per year in 2010

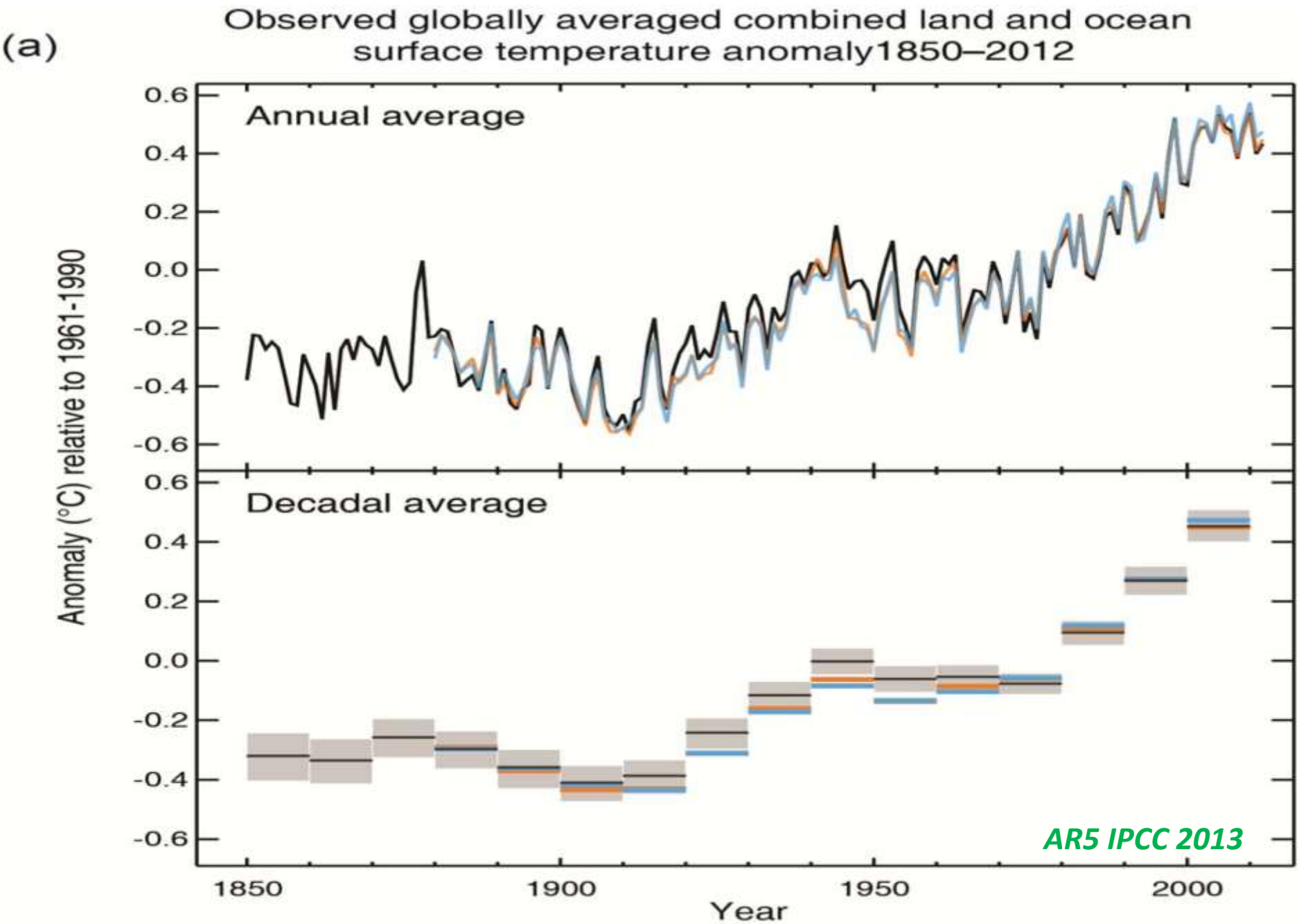




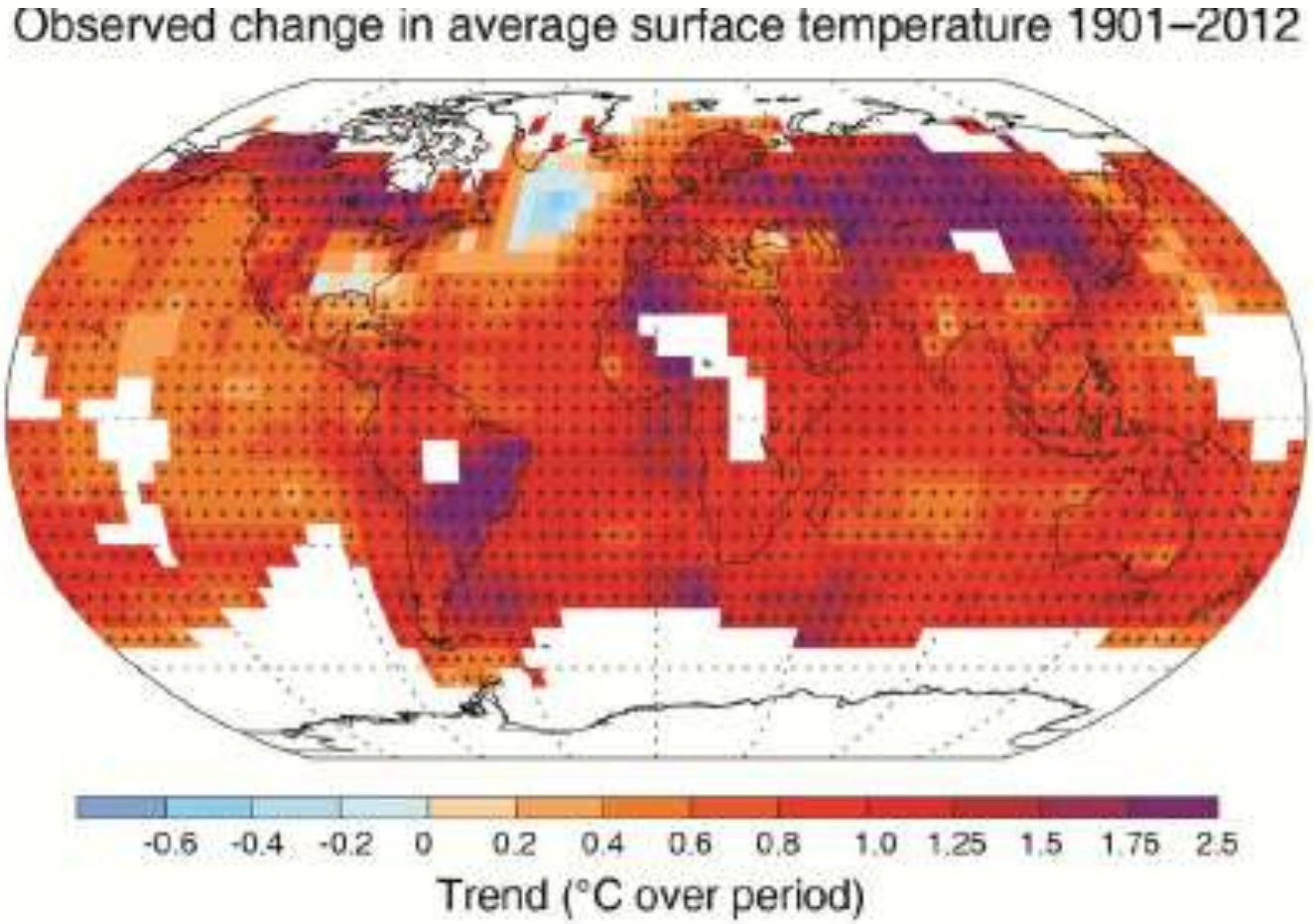
Strahlungsantrieb durch verschiedene Treibhausgase und Aerosolpartikel seit 1750

AR5 IPCC 2013

Mittlere globale Temperaturänderungen seit 1850

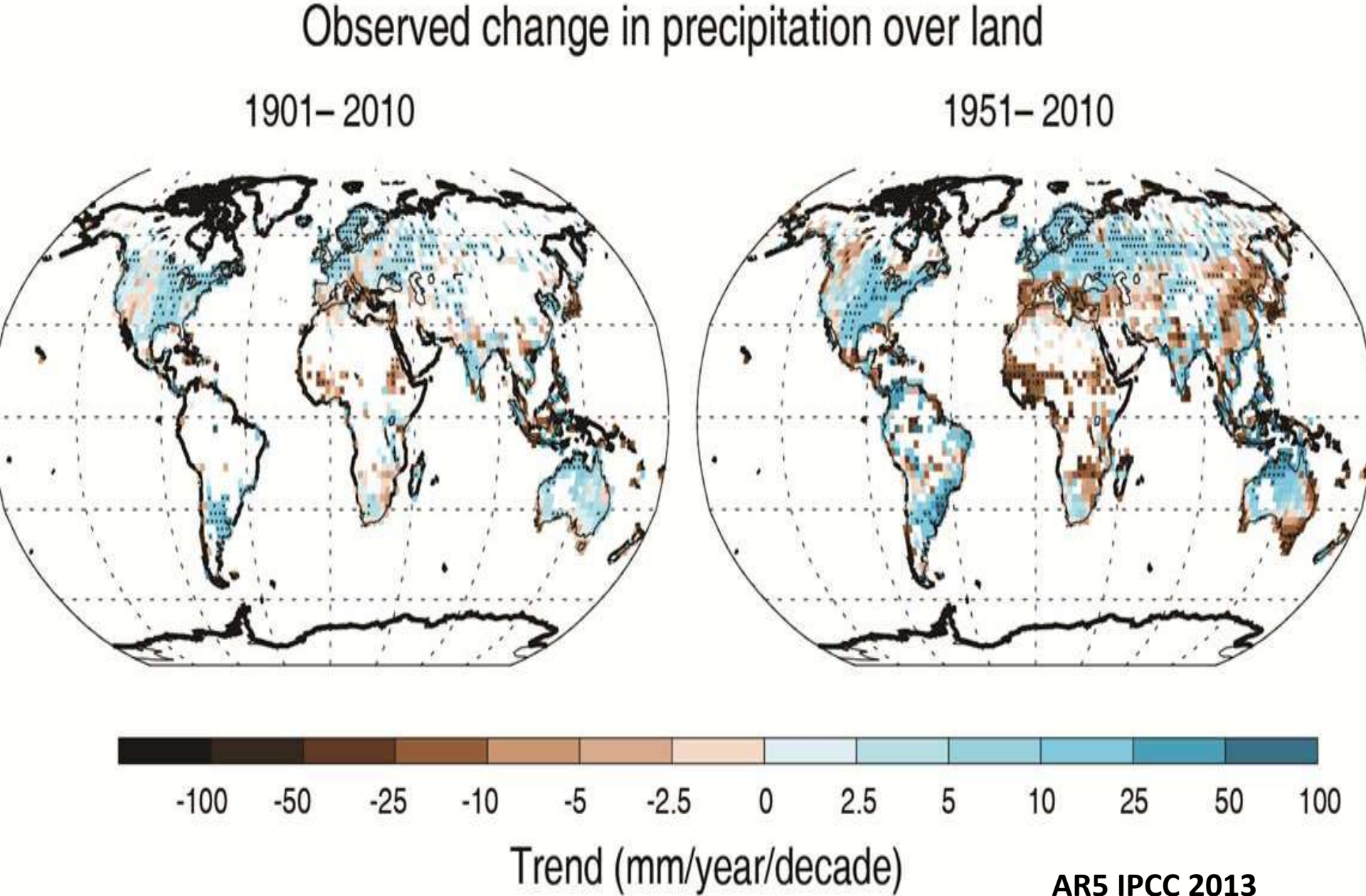


Beobachtete Änderung der bodennahen Lufttemperatur von 1901 bis 2012



AR5 IPCC 2013

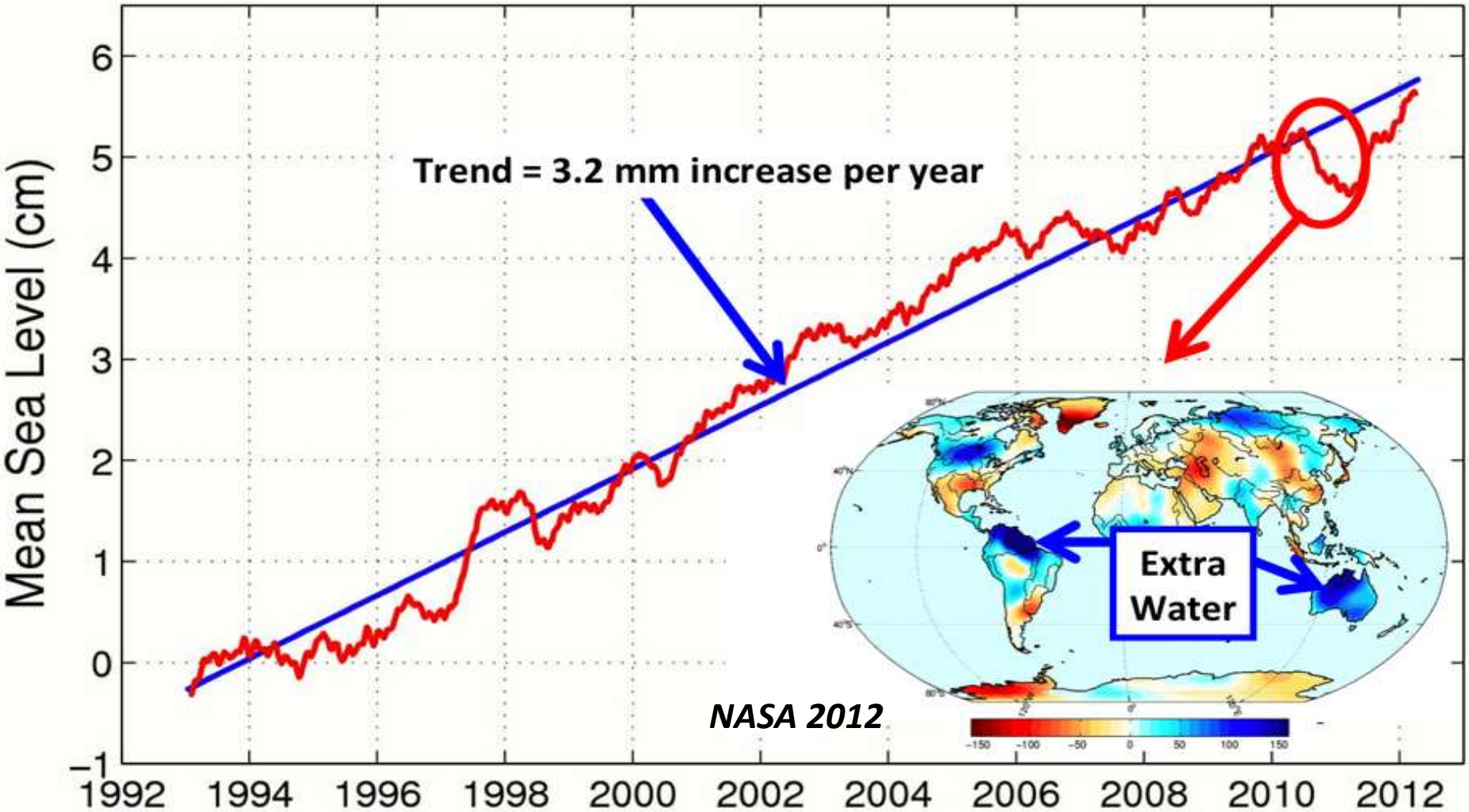
Niederschlagsänderungen über Landgebieten



AR5 IPCC 2013

Recent sea level changes as observed from satellites

Mit Satelliten beobachteter mittlerer Meeresspiegelanstieg



Der mittlere globale Meeresspiegel schwankt wegen veränderlicher Bodenfeuchte und Schneedecke von Jahr zu Jahr

Eine neue zentrale Frage für die Klimawissenschaft:
A new major question for climate science*:*

Wie lange hält der erhöhte Treibhauseffekt an?
How long will the enhanced greenhouse effect last?

In der Klimageschichte der letzten Million Jahre galt:
In climate history of the last million years we had:

Eine Erwärmung von 1°C ist gleichbedeutend mit etwa 20 m Meeresspiegelanstieg bei über Jahrtausende anhaltendem Antrieb
A warming of 1°C is equivalent to about 20 m sea level rise if the forcing lasted over millennia

Wie viel davon in den kommenden Jahrhunderten realisiert wird, ist in unserer Hand
How much will be realized in the coming centuries is in our hands

Acceleration of anthropogenic climate change in comparison to natural global climate change

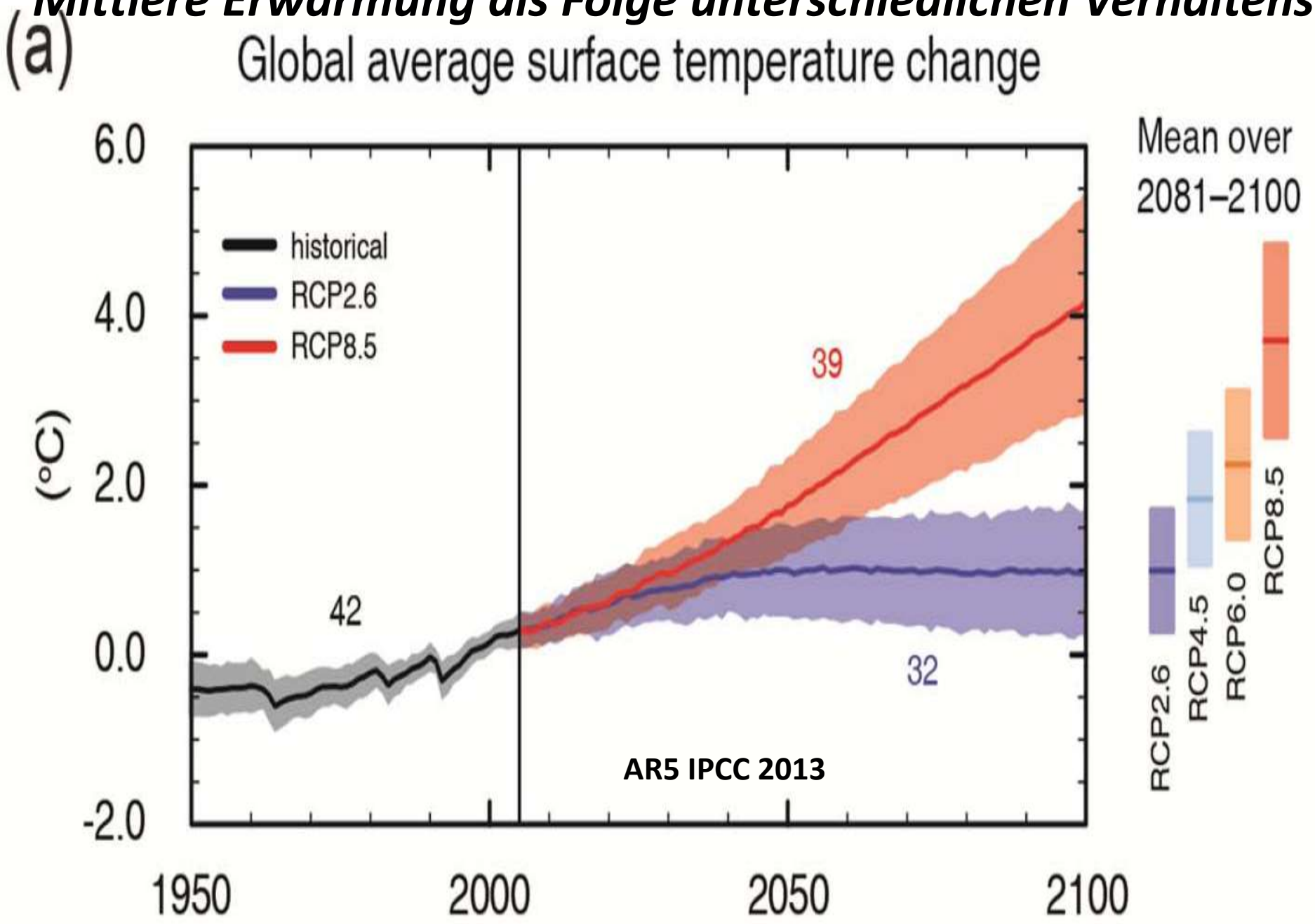
What is the fastest mean global climate change in the recent millions of years?

The recovery from maximum glaciation to an interglacial needs about 10 000 years leading to roughly 5°C mean global warming

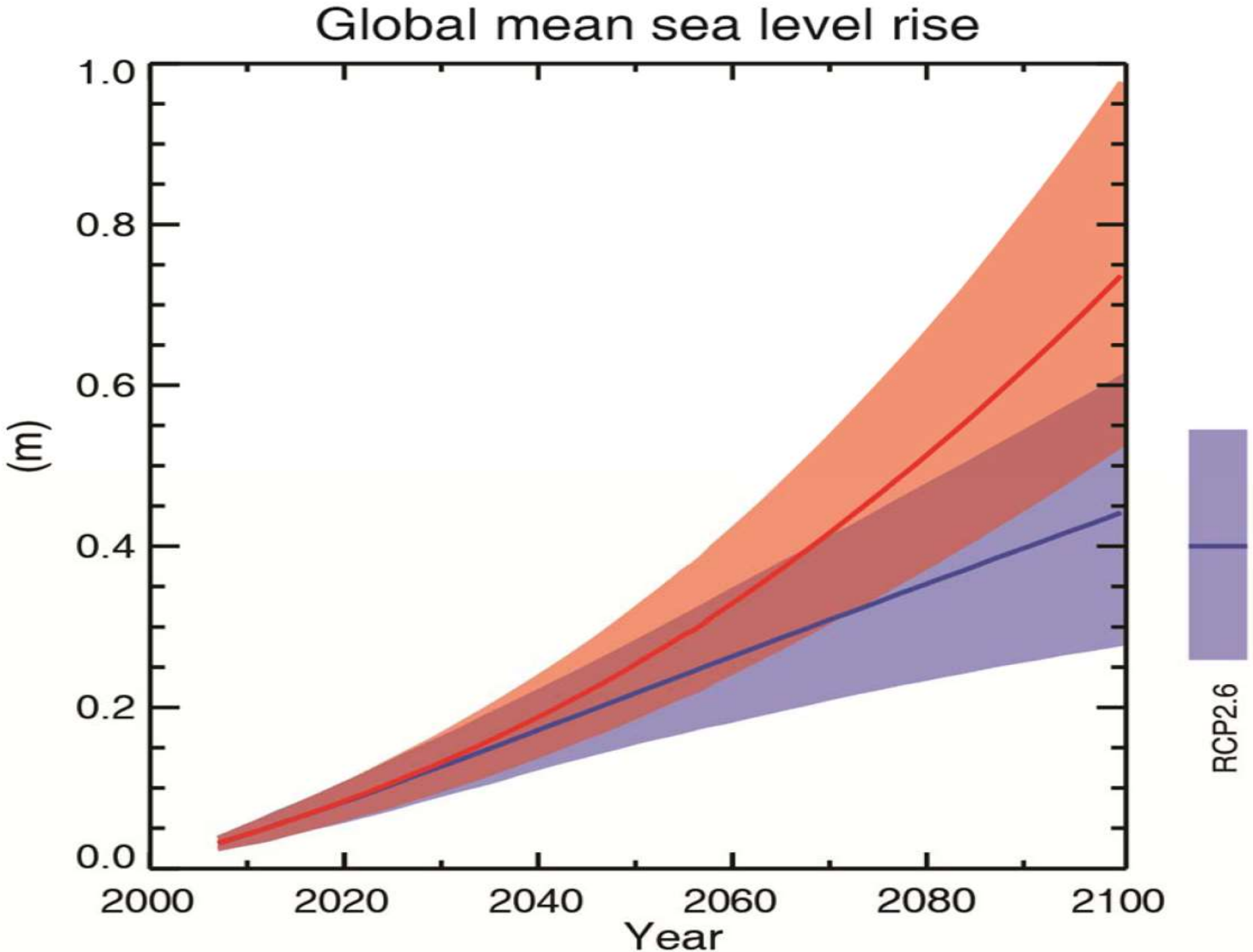
Anthropogenic mean global warming:

The projected warming for the 21st century without globally co-ordinated climate policy is calculated to range from 1.5 to about 4°C depending on scenarios accounting for different development paths. Hence, there is an acceleration by factors up to 80, which is with high probability beyond the capability for adaption of many natural ecosystems.

Mittlere Erwärmung als Folge unterschiedlichen Verhaltens



AR5 IPCC 2013


Global mean sea level rise
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
(m)
2000
2020
2040
2060
2080
2100
Year
RCP2.6

- ***Tipping Points with certainly Global Impacts:***

- Rapid melting of ice sheets, ice caps and glaciers

- Thawing of permafrost

- ***Other more regional Tipping Points:***

- Stop of deep ocean convection in the North and South Atlantic

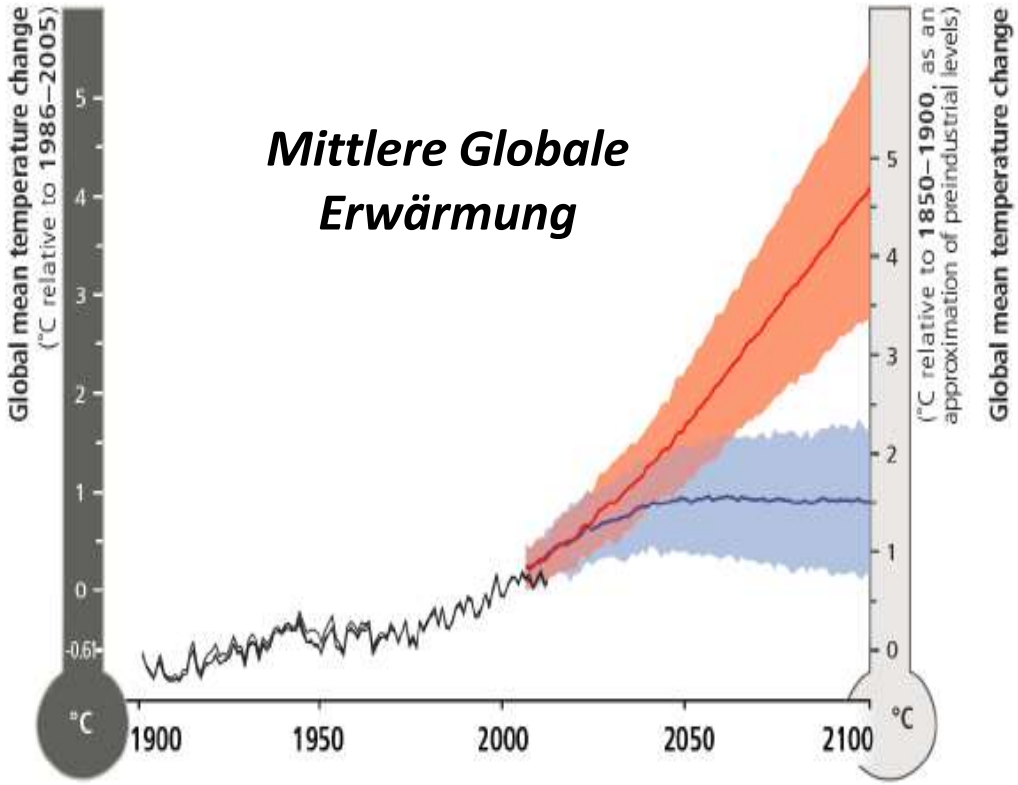
- Changed frequency and intensity of ENSO

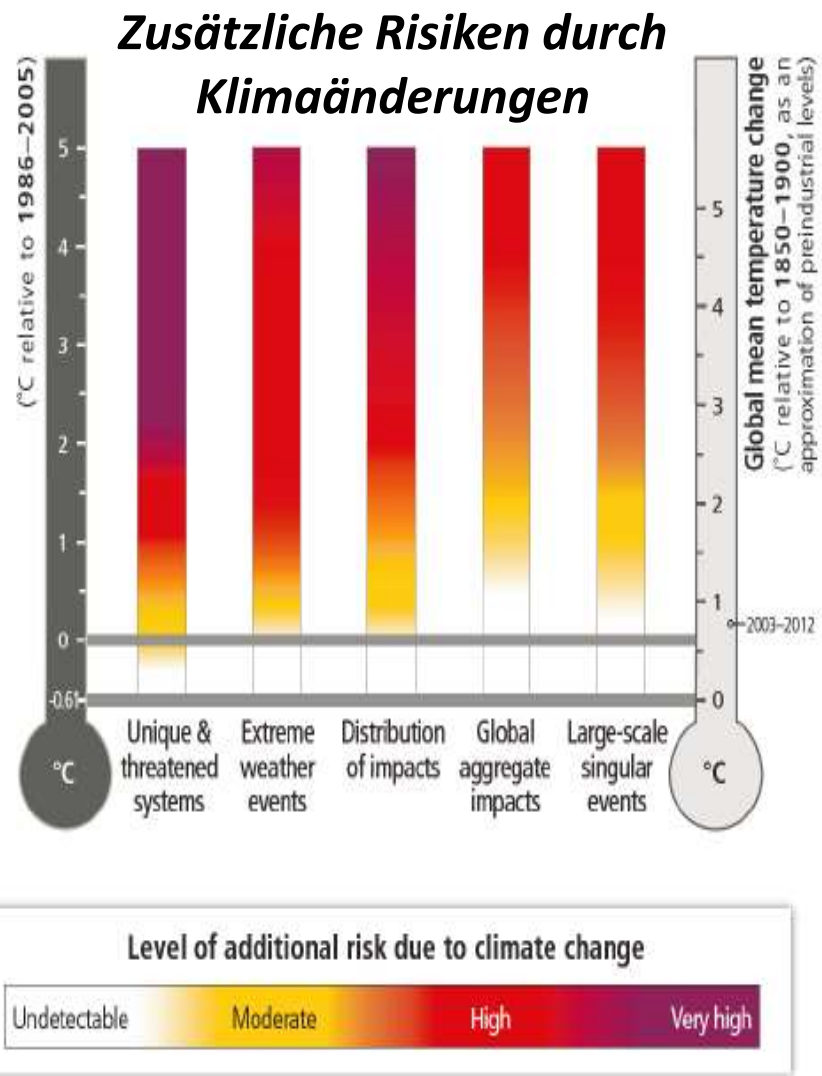
- Dieback of Amazonian forest

- Complete loss of multiyear Arctic sea ice

1.5 °C or 2.0 °C maximum warming?

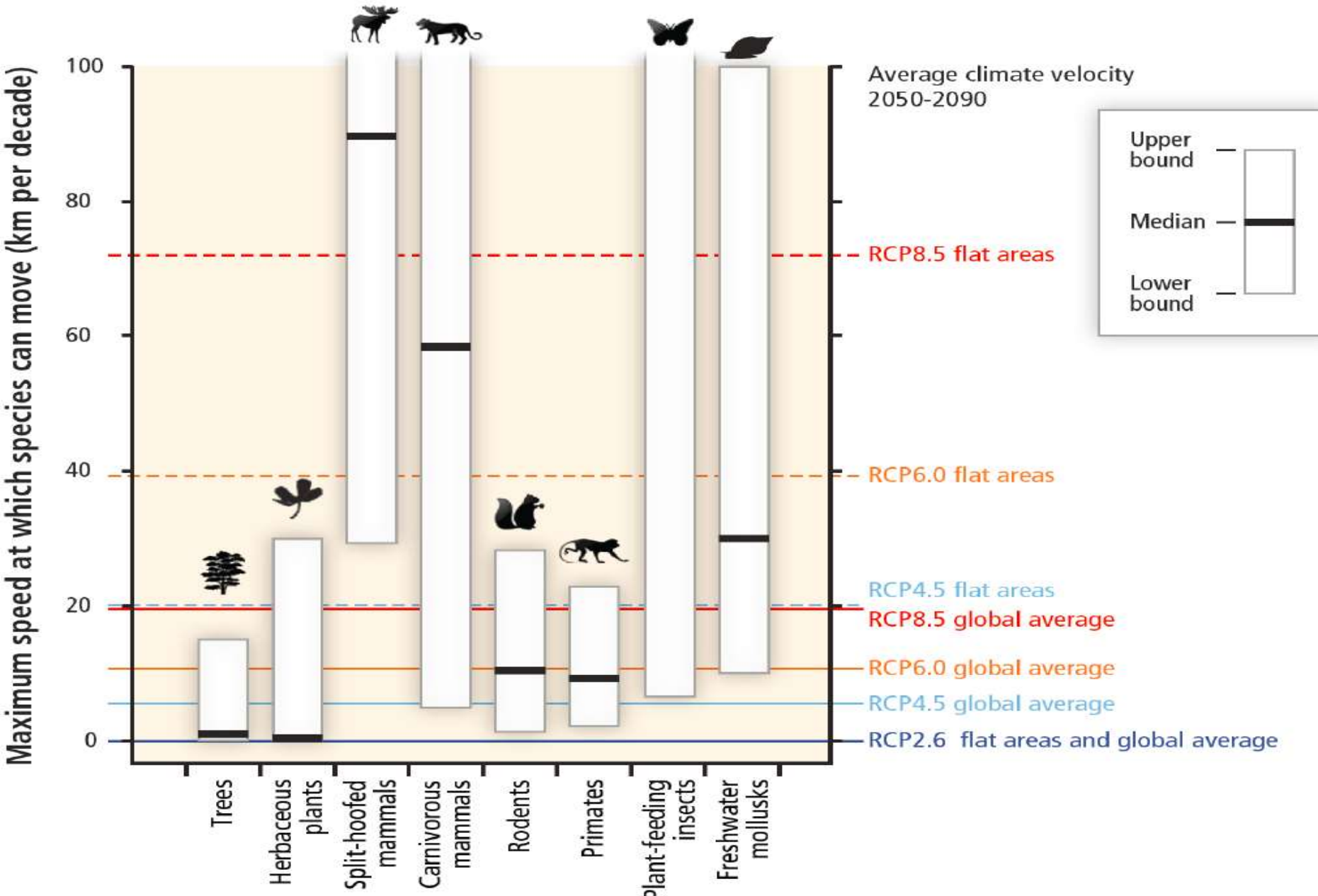
We scientists are confronted with a dilemma. Finally politicians have accepted the 2°C goal in Cancun at COP 16, but more and more we realize a higher sensitivity of eco-systems to temperature change, leading to more rapidly approaching tipping points. Therefore many of us as well as the governments of the island states favour 1.5°C as an upper limit, despite of the lack of time for its realization.





Assessment Box SPM.1 Figure 1.

Maximale und mittlere Wanderungsgeschwindigkeit von Arten



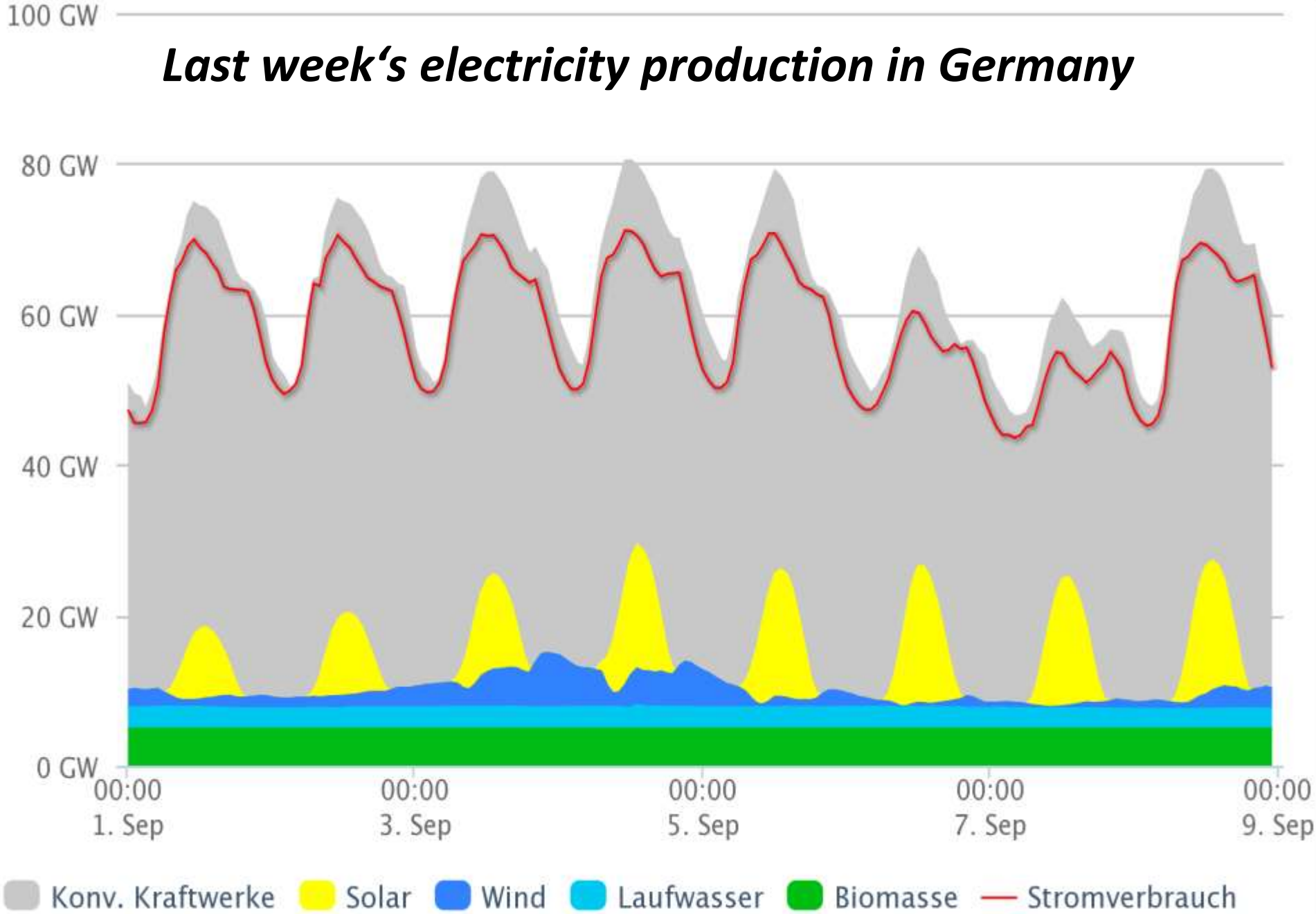
Rangliste der technischen Potenziale Erneuerbarer Energiequellen

Ranking of technical potentials of renewable energy types

Energiequelle	*Globaler Mittelwert*	*Deutschland/Germany*	*Angebotstyp/Type of offer*
Sonne *Sun*	*~ 165*	*~ 110*	*stark schwankend, nur tagsüber;* *strongly varying, daytime only*
Wind	*~ 3*	*~ 3*	*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* *Hydropower* *Wasserkraft*	*<< 0,1* *<0,01*	*0,02*	*regelmäßig, jedoch alternierend, nur wenige Küstenabschnitte;* *regularly alternating, only few coastal areas* *Umweltschäden oft nicht klein* *Environmental damages often considerable*
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 Quellen, gereiht nach Bedeutung; zum Vergleich sind auch aktuelle Werte des Energieversorgungssystems mit angegeben.

Last week‘s electricity production in Germany



Major physical and other hurdles for the „Energiewende“ in Germany

1. *Blocking by a high pressure system from end of November to end of January*
2. *Consequence: Energy storage over days and up to a week plus a European –wide grid*
3. *Consequence from 1 and 2: Optimization task to reach a still low cost energy supply system*
4. *Key consequence of all above points: Massively increased energy use efficiency and Negawatts by a changed lifestyle*

The reasons for the energy system change in Germany have been and are:

Dampening of the climate change rate
Reduction of the nuclear energy risk
Increase of chances to export
Stabilization of political power

Die Bedeutung der biologischen Vielfalt

Wir Menschen brauchen die Ökosystemdienste für unser Wohlergehen. Nach neuesten Schätzungen (Costanza et al. 2014) sind diese Dienste von 1997 bis 2007 durch Landnutzungsänderungen um mindestens 4,3 Billionen USD oder höchstens 20,2 Billionen USD geschrumpft. Ökosystemleistungen entsprechen etwa 125 Billionen USD. Landnutzungsänderungen sind fast ausschließlich verbunden mit der Reduzierung der biologischen Vielfalt. Auch bei uns ist dieser Verlust noch längst nicht gestoppt.

Energiewende als „alter Hut“

- *Das Wort Energiewende wurde vom Ökoinstitut im Jahre 1980 zum ersten Mal in einer berühmt gewordenen Studie verwendet.*
- *Die Debatte um den Übergang von den fossilen Brennstoffen auf erneuerbare ist jedoch viel älter. Bereits 1865 hat der Brite William Stanley Jevons von der drohenden Endlichkeit der Kohle gesprochen.*
- *Der WBGU hat im April 2003 der Bundesregierung für eine global veränderte Energiepolitik das Gutachten „Energiewende zur Nachhaltigkeit“ überreicht.*

Warum wurde die Energiewende in Deutschland noch einmal im Juni 2011 beschlossen?

1. ***Weil das „Restrisiko“ der Kernkraftwerke wieder einmal auf seine wahre Größe stieg***
2. ***Weil die Bürger über Jahrzehnte unter Mithilfe einiger Politiker die Machbarkeit der Energiewende entgegen den Falschaussagen der Oligopole bewiesen haben***
3. ***Weil die Kanzlerin Physikerin ist und Machtverlust fürchtete***
4. ***Weil die noch immer großen Elektroversorger kurze Zeit in Schockstarre verfielen***
5. ***Weil durch die vielen neuen erneuerbaren Energie-anlagen der Bürger eine Überkapazität bei Kraftwerken entstanden war***

Welche Energieträger stehen außer Kohle, Uran, Erdgas und Erdöl zur Verfügung?

1. ***Sonne***

2. ***Wind***

3. ***Biomasse***
4. ***Tiefe Geothermie***
5. ***Wasserkraft***

Warum sind die meisten Biogasanlagen kein Klimaschutz?

1. ***Weil der Einsatz von Energie für Dünger, Pflanzenschutzmittel und Transport die wirklich gewonnene Energie stark verringert.***
2. ***Weil die Emission des Lachgases aus stark gedüngten Feldern bei einem Treibhauspotential von ca. 300 gegenüber CO_2 das eingesparte CO_2 stark oder fast völlig kompensiert.***
3. ***Weil viele Biogasanlagen die Abwärme (ca. 50%) bei der Stromgewinnung nicht nützen.***

Einfache Tendenzvorhersagen

1. ***Elektrischer Strom wird immer bedeutender für die Energieversorgung, so dass stromerzeugende erneuerbare Energieanlagen eine vergrößerte Spielwiese bekommen***
2. ***Die besonders harten Energienüsse sind Straßengüter- und Flugverkehr***
3. ***Die Energiereduktion für das Heizen von Gebäuden ist schlicht eine Frage der Gesetzgebung mit Anreiz-systemen***
4. ***Geld für die Forschung zu erneuerbaren Energien wird andere Energieforschungssektoren überflügeln, so dass die Energie aus erneuerbaren Energieträgern ökonomisch wird, auch weil der Emissionshandel wenigstens etwas Internalisierung bringt***

Die globale Energiewende ist unumkehrbar, wenn der Preis für eine kWh Energie aus der Fotovoltaik unter die wahren Kosten für eine kWh Kohlestrom fällt. Das erleben wir jetzt für die sonnenreichen Zonen der Erde.