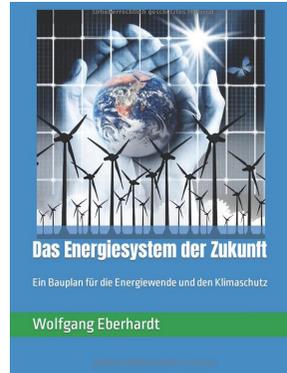
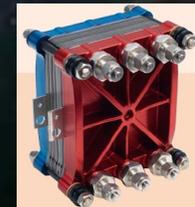




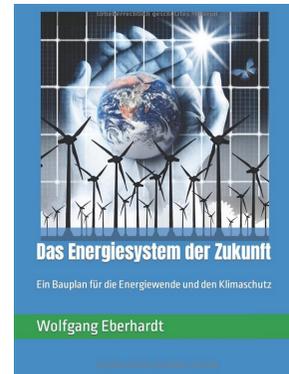
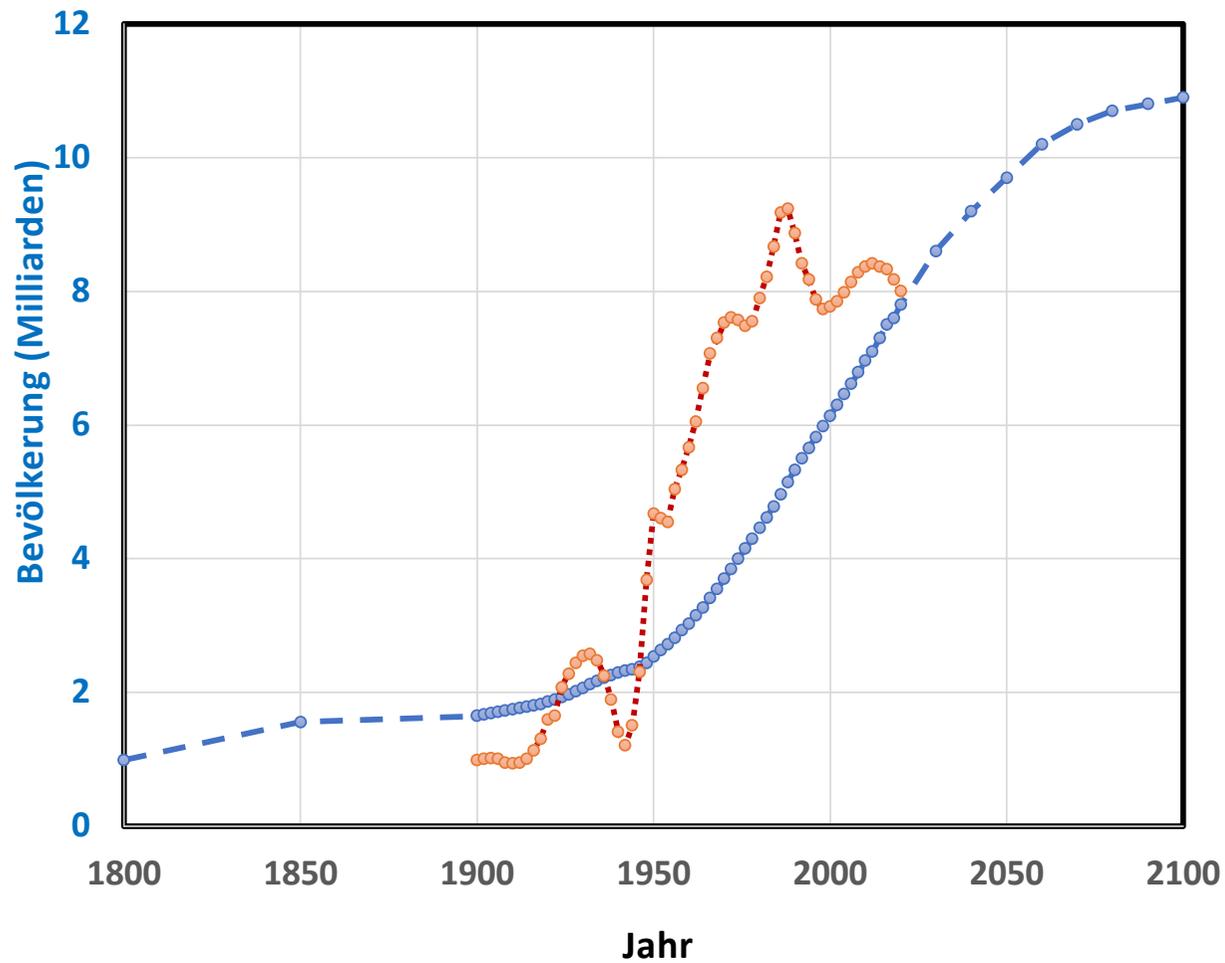
# Das Energiesystem der Zukunft

Ein Bauplan für die Energiewende und den Klimaschutz

W. Eberhardt



## Welt-Bevölkerung und Wachstum



### Industrielle Revolution

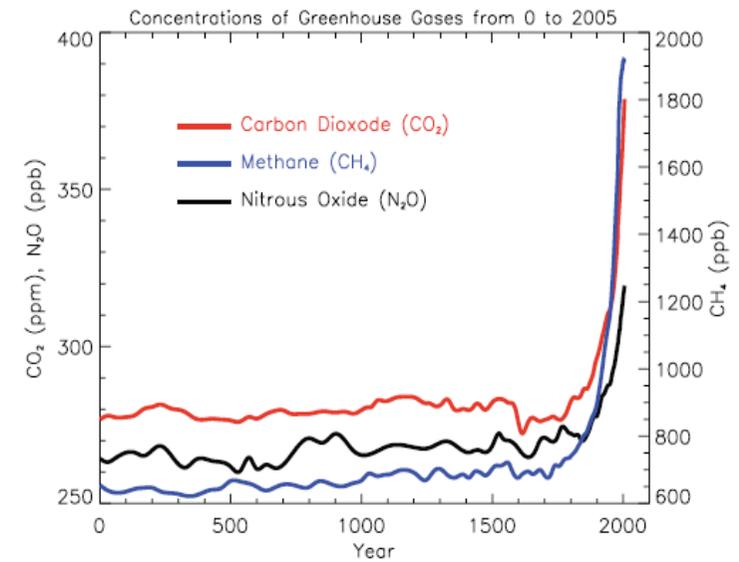
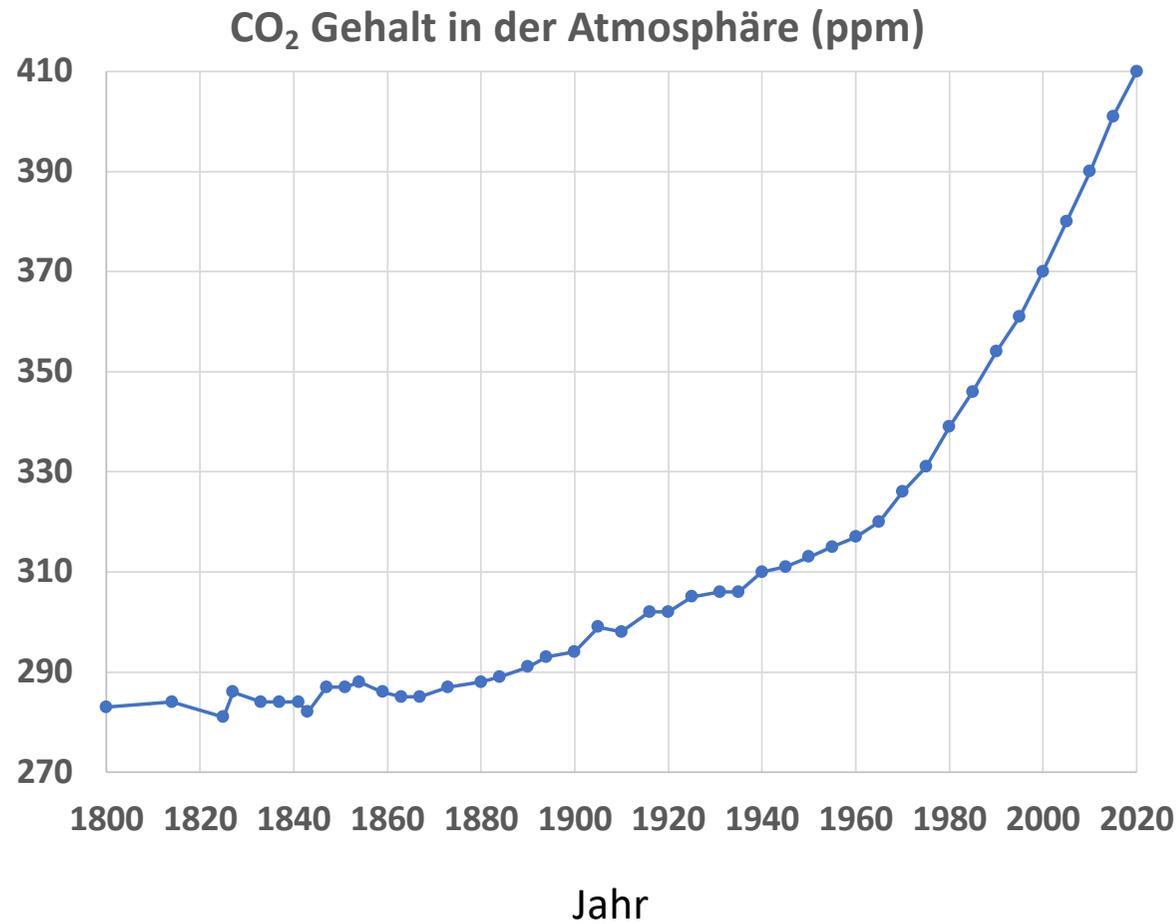
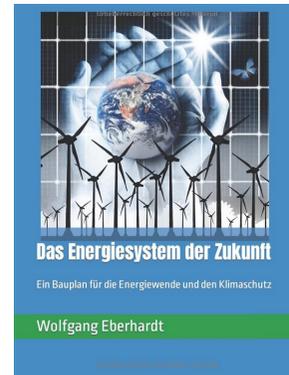
Fossile Energiereserven  
Produktion  
Verkehr

Nahrungsmittel

Gesundheit (Pharmazie)

Treibhausgase (CO<sub>2</sub>)  
Bevölkerungs-Wachstum

Kohlendioxid in der Atmosphäre steigt an.....  
 .....seit wir fossile Brennstoffe nutzen



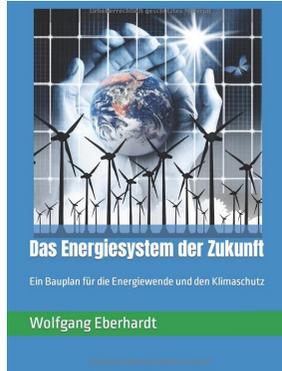
Wir fokussieren uns auf Kohlendioxid .....  
.....um den Klimawandel zu besiegen

THE  
LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN  
PHILOSOPHICAL MAGAZINE  
AND  
JOURNAL OF SCIENCE.

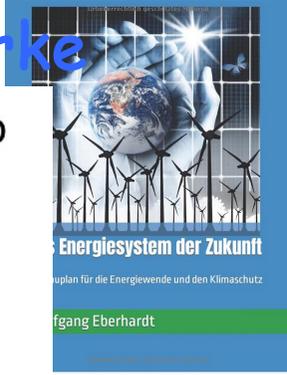
[FIFTH SERIES.]

APRIL 1896.

XXXI. *On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon  
the Temperature of the Ground.* By Prof. SVANTE  
ARRHENIUS \*.



# Umweltverschmutzung: Verborgene Kosten der Kohlekraftwerke



**HEAL**  
Promoting environmental justice that contributes to good health

## WAS KOHLESTROM WIRKLICH KOSTET

Gesundheitsfolgen und externe Kosten durch Schadstoffemissionen

Quecksilber (Hg) Emissionen aus Kohlekraftwerken in D  
3,6 t im Jahr 2015



Abbildung 1: Jährliche Gesundheitsfolgen durch Kohlekraftwerke in der EU (27 Länder)  
(Quelle: HEAL-Expertenanalyse, s. Anhang 1; gerundete Zahlen)

1,4 Mrd Energiesparlampen  
(17 pro Einwohner)

Max 2,5 mg Hg

# Das Energiesystem (Stand heute)

- Der Zuwachs des CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre wird durch Verbrennung fossiler Energiestoffe verursacht. > Das ist die Hauptursache des Klimawandels
- Zusätzliche lokale Auswirkungen:  
Umweltverschmutzung durch Kohlenstoff-Partikel und Schwermetalle  
Gesundheits-Risiken und vorzeitige Todesfälle
- Wieviel Klimawandel können und wollen wir uns leisten?  
(Soziale, ökologische und ökonomische Konsequenzen----'2 Grad Ziel')

**Wir müssen jetzt handeln →**

**Das bedeutet wir müssen auf existierende Technologie zurückgreifen**

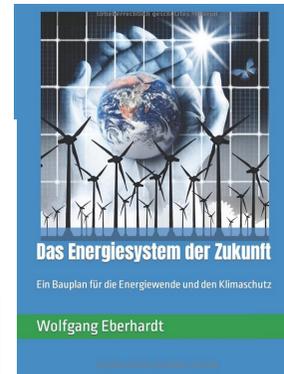
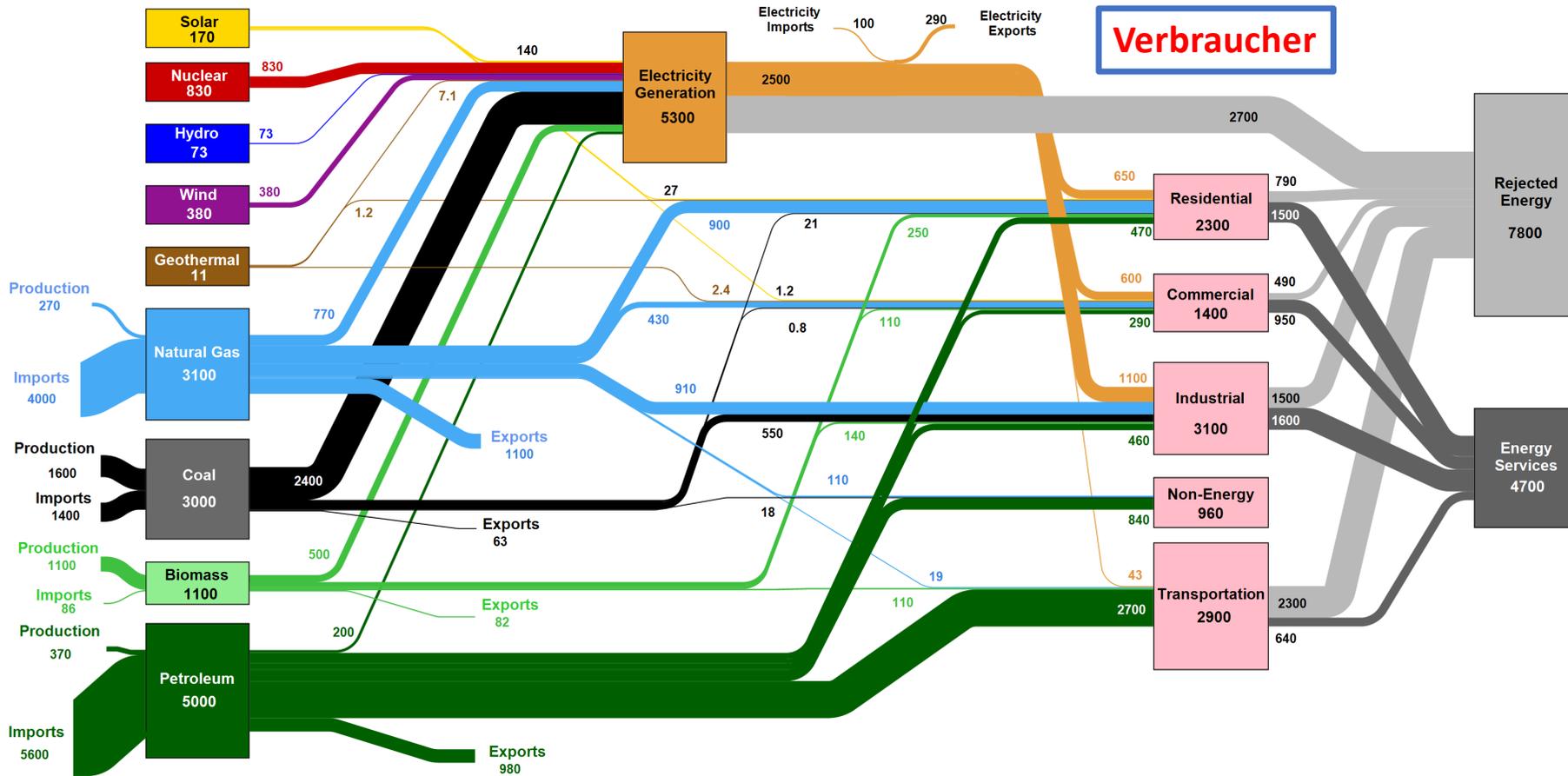
**--- und wir werden auch sofort lokale Verbesserungen erreichen**

# Primärenergie

## Germany Energy Flow in 2017: 14,000 PJ



# Verbraucher



Source: LLNL 2021. Data is based on IEAs Detailed World Energy Balances (2019 Edition). If this information, or a reproduction of it is used, credit must be given to the Lawrence Livermore National Laboratory and the U.S. Department of Energy, under whose auspices this work was performed. All quantities are rounded to 2 significant digits and annual flows of less than 0.10 PJ are not included. Total energy supply (top of chart) and energy resource statistics (left-side boxes) represent national energy use which is the sum of production and imports minus exports. Totals may not equal sum of flows due to independent rounding, stock changes, statistical difference and reporting inconsistencies. Further information can be accessed at <https://flowcharts.llnl.gov>. LLNL-MI-410527

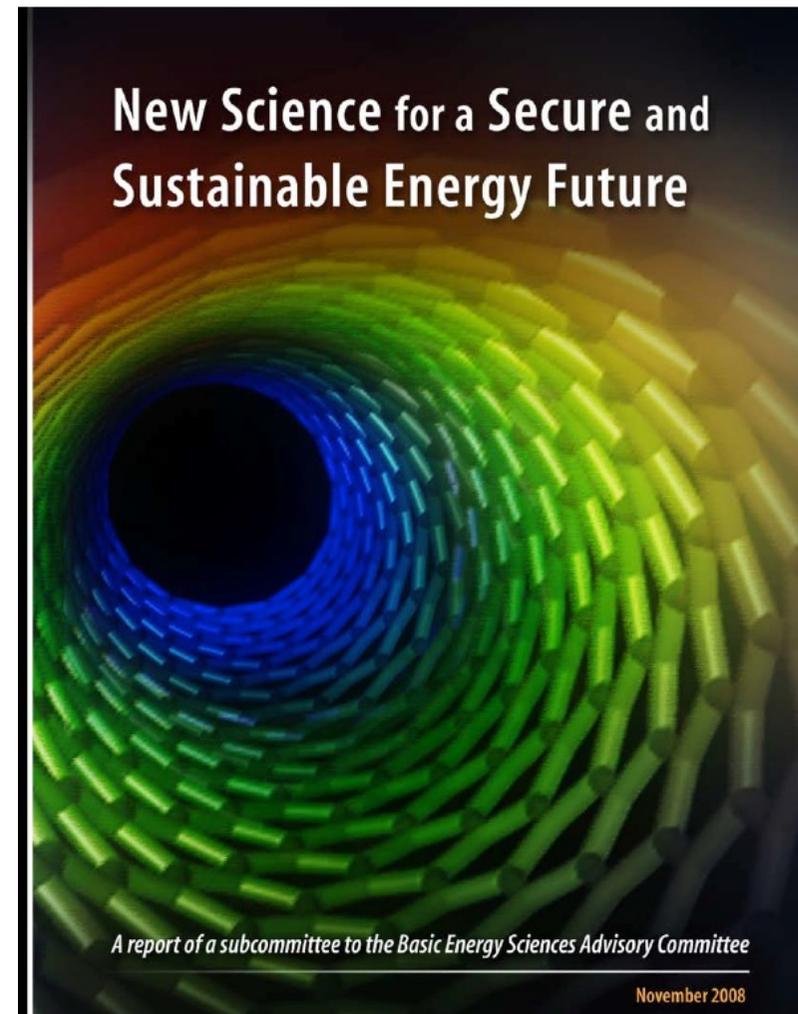
## USA (DOE) 2008 --- Wahl des Präsidenten

### Lösungen:

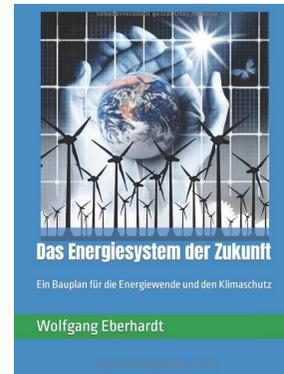
- Elektrizität ohne CO<sub>2</sub>
- Treibstoff CO<sub>2</sub> neutral
- Energie Effizienz

„Nationale Sicherheit“

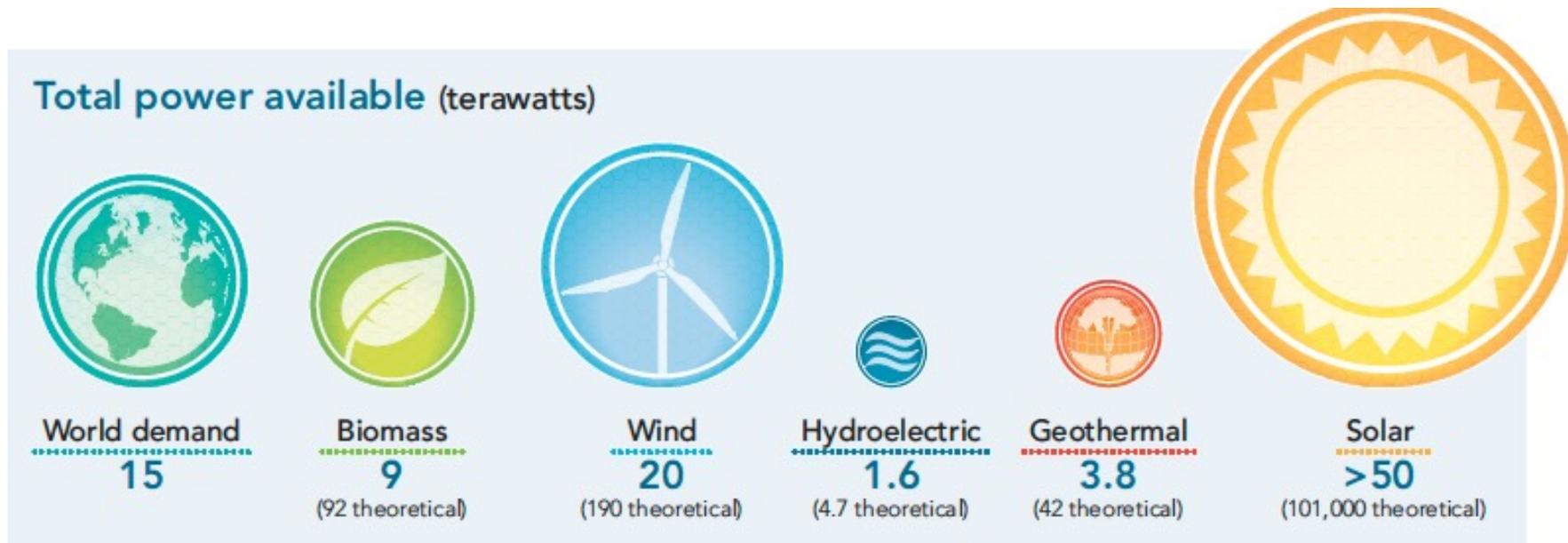
Christian Lindner 27.2.2022 --- Bundestag  
„Erneuerbare Energien sind Freiheitsenergieen“



# HERAUSFORDERUNGEN an die ENERGIEVERSORGUNG



# Potential der erneuerbaren Energiequellen

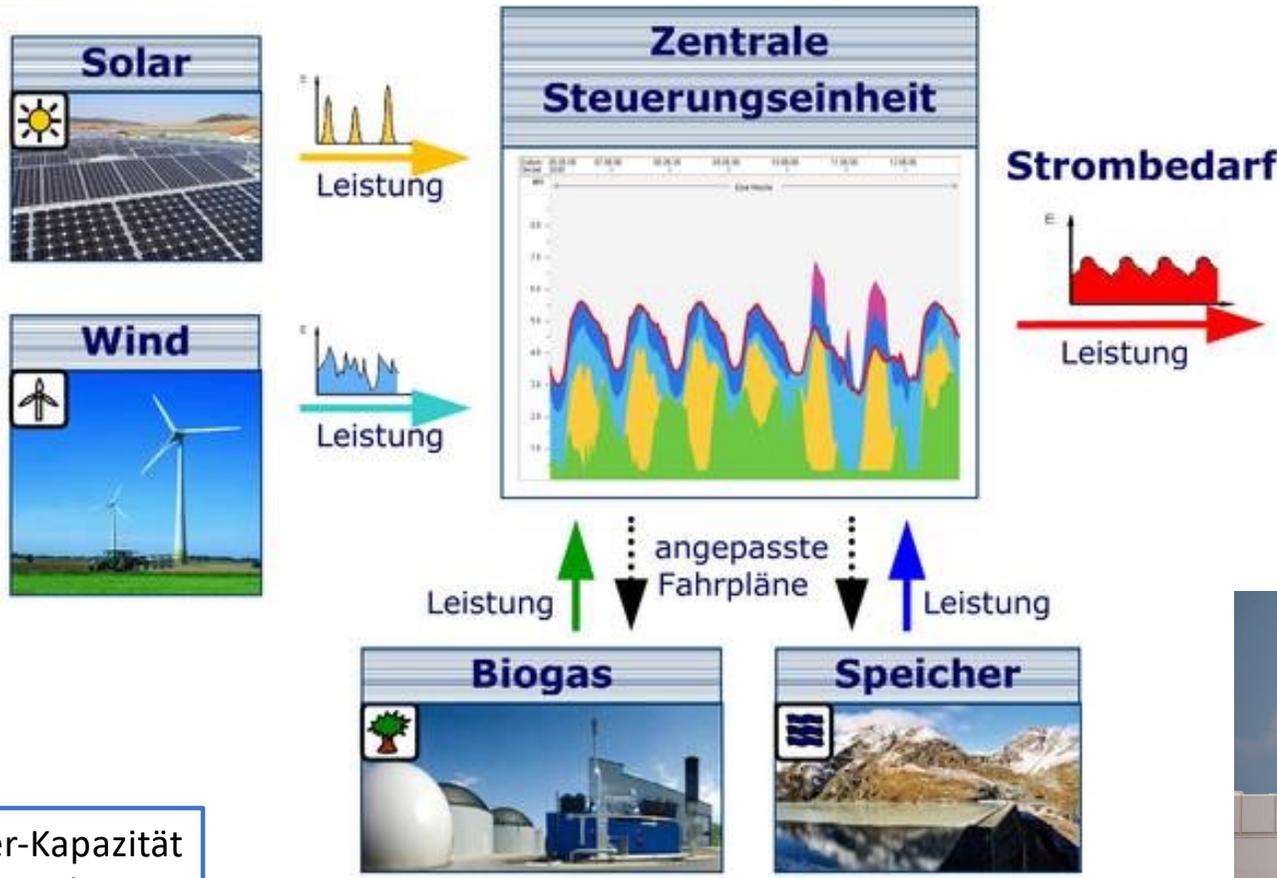


Science **329**, 786 Aug 13, 2010

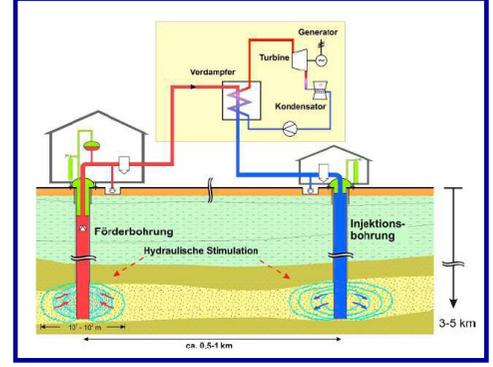
Theoretisches Potential > technisch realisierbar > ökonomisch > regulatorisch

In einer Stunde trifft soviel Solarenergie auf die Erde, wie wir in einem Jahr verbrauchen

# Energiebereitstellung der Zukunft: Erneuerbare Energie kann den Grundlastbedarf decken



Geothermische Stromerzeugung

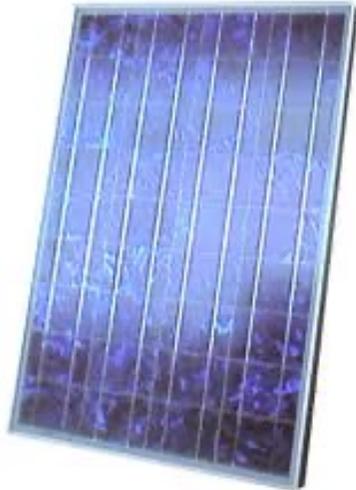


Kern-Reaktoren

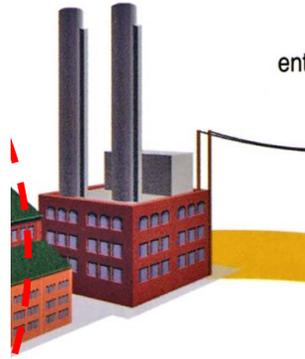
Über-Kapazität  
Netzausbau

[www.kombikraftwerk.de](http://www.kombikraftwerk.de)

# Energie Effizienz : Glühlampe



or coal: 100 units



ent



Nur 2% der  
Primärenergie wird  
umgewandelt in  
Licht



in the light



Energy used to  
power the lightbulb:  
36 units

# Das Strombasierte Energiesystem der Zukunft

„Wir müssen das Feuer verbannen“

## Elektrizität



Braunkohle-Kraftwerk Frimmersdorf  
(1,2 Kg CO<sub>2</sub>/KWh), Effizienz 38%

## Windpark (Nordsee)



## PV-Anlagen



## Wärmepumpe



## Gebäude



Ölbrenner



Glühlampe

## LED



## Verkehr



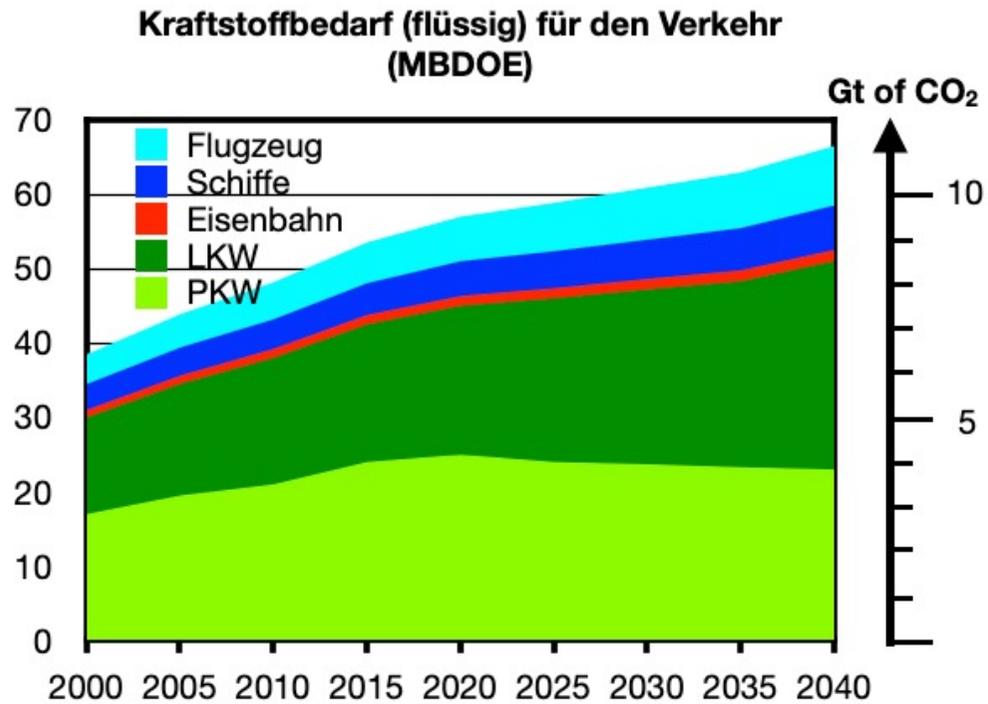
PORSCHE Boxster  
9,4L ----- 87 kWh/100 km



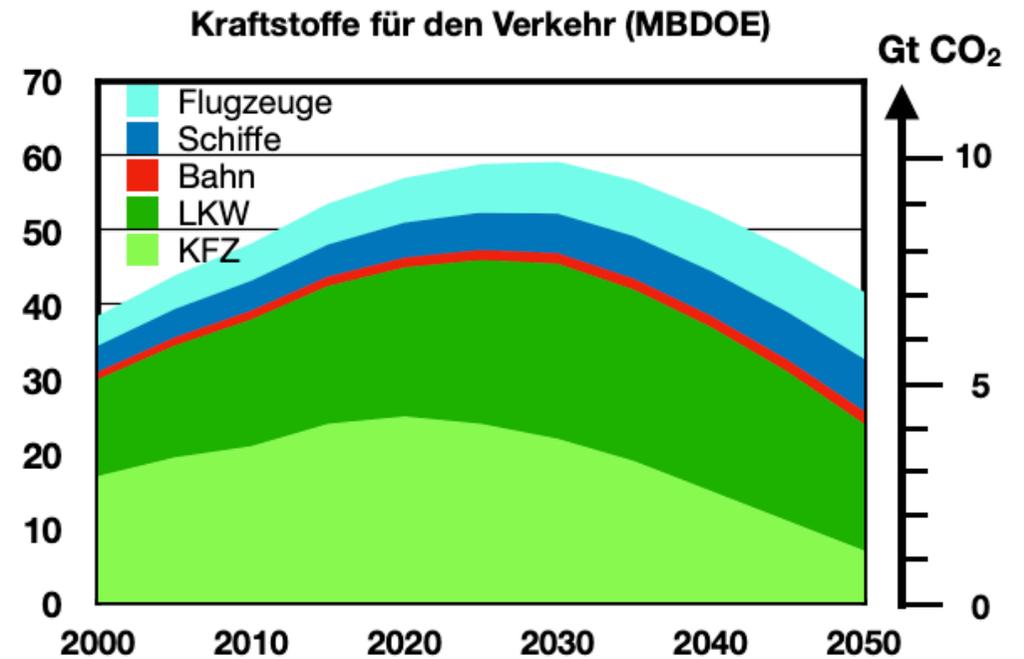
TESLA Roadster  
20 kWh/100 km

# Kraftstoffe für den Verkehr

der Transportsektor verursacht  $\geq 25\%$  der weltweiten CO<sub>2</sub> Emissionen



ExxonMobil (2018)



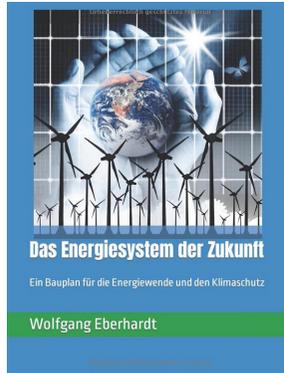
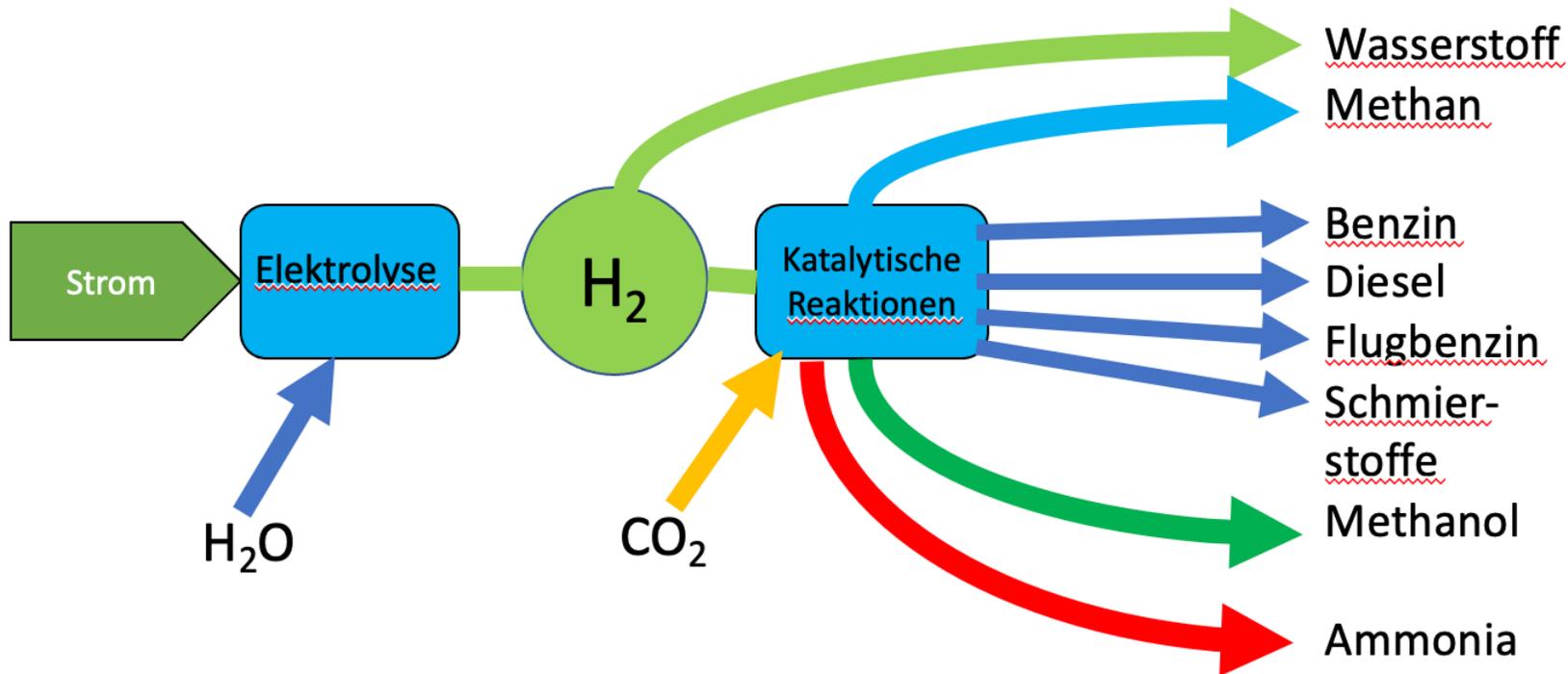
Bloomberg NEF (2021)

## E-LKW überquert die Alpen



# Treibstoffe aus 'Strom-Überfluss'

## "Power-to-X" Schema



## Verkehr (Zusammenfassung)

Flugverkehr:

Langstrecke ---keine Alternative (Effizienzsteigerung)

Kurzstrecke: neue Konzepte (Hybrid)

Schiffe:

Bann von 'heavy fuel oil' (Filter als Notlösung)---- LNG—CNG

Elektro (Hybrid) Antrieb auf Fährstrecken

Land-Verkehr:

Ausbau des Bahnnetzes

PKW elektrisch

LKW - elektrisch (Leitung/Hybrid) --- Schwerlastverkehr CNG

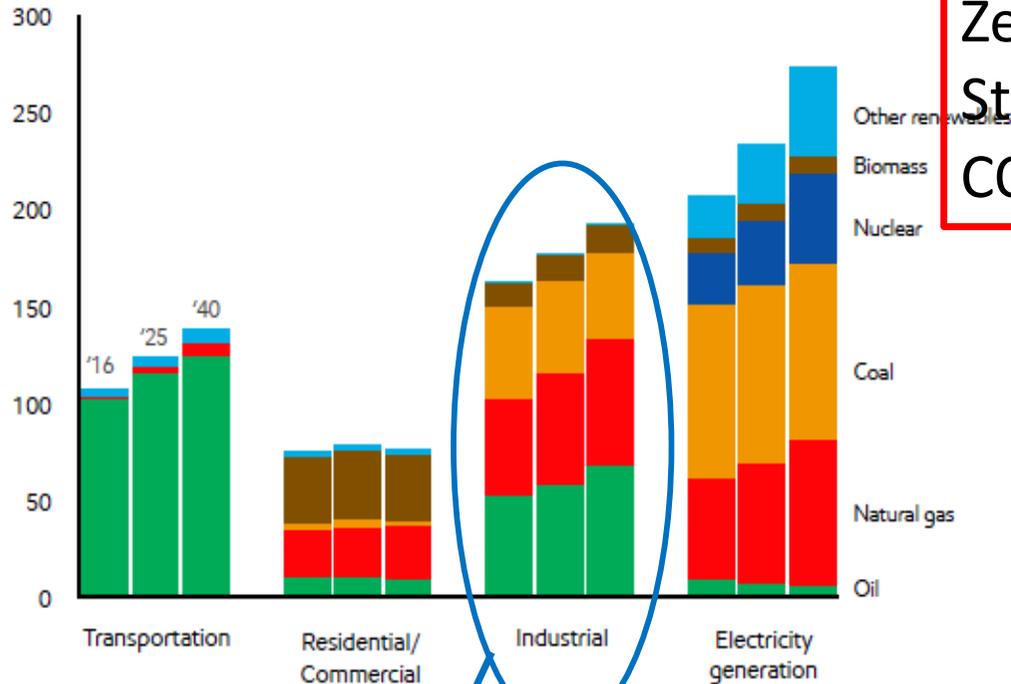
Geschwindigkeitslimit auf Autobahnen

Bann von Verbrennungsmotoren

# Energieverbrauch der Sektoren

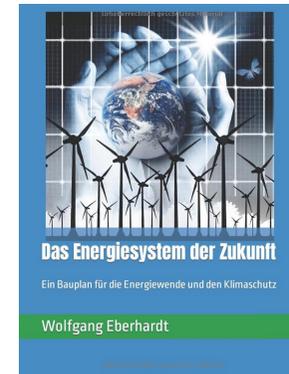
Global energy demand varies by sector

Primary energy\* <sup>(3)</sup> – quadrillion BTUs



Eingriff in industrielle Fertigungsprozesse  
 Stahl  
 Zement  
 Düngemittel/Chemie

Industrie:  
 H<sub>2</sub> aus Strom statt CH<sub>4</sub>  
 Zement---  
 Stahlerzeugung  
 CO<sub>2</sub> Abscheidung und Nutzung



## Eisen- und Stahlbranche verursacht meiste Treibhausgase

Industrieemissionen nach Branche 2022, in Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent



Quelle: Deutsche Emissionshandelsstelle des Umweltbundesamts, Statista

WELT

# Attribute eines Null-Energie Hauses

Solar PV System  
Batterie Speicher

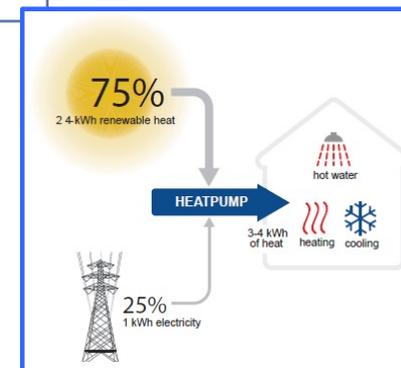
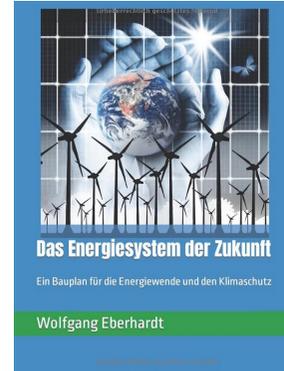
Doppelte Isolation  
Drei-Scheiben Fenster

luftdichte Konstruktion  
Wärmetauscher für Lüftung

LED Beleuchtung  
Smarte Haushaltsgeräte

Smart Metering  
Energie Management

Wärmepumpe für  
Heizung/Kühlung  
und Warmwasser



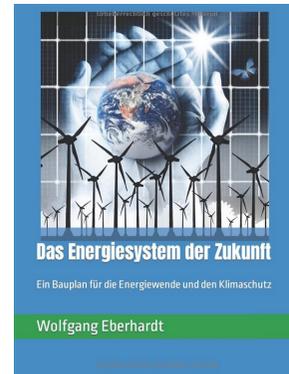
# 'Ausgezeichnete' Wolkenkratzer'



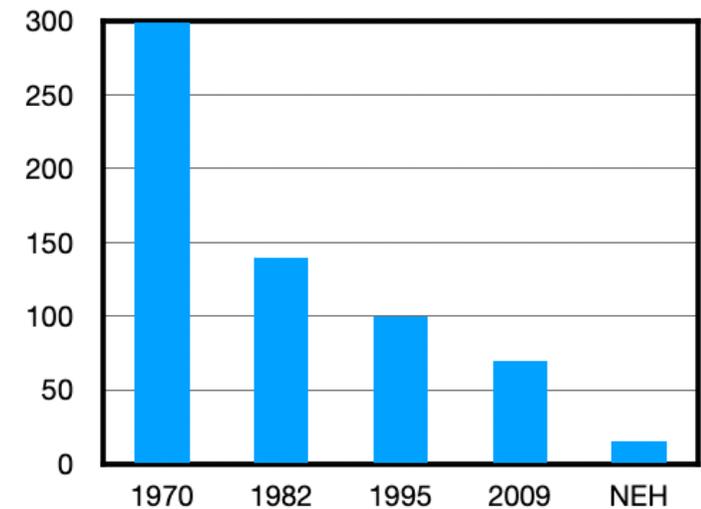
Bank of America, New York City  
(eröffnet 2010)

Platinum Award  
Leadership in Energy and Environmental Design

Energieverbrauch:  
665 kWh/m<sup>2</sup>/Jahr  
200 000 m<sup>2</sup>



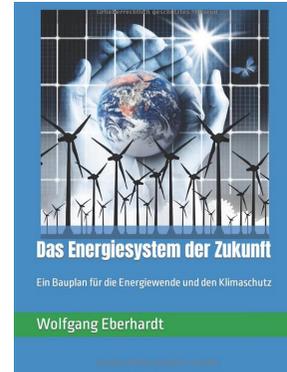
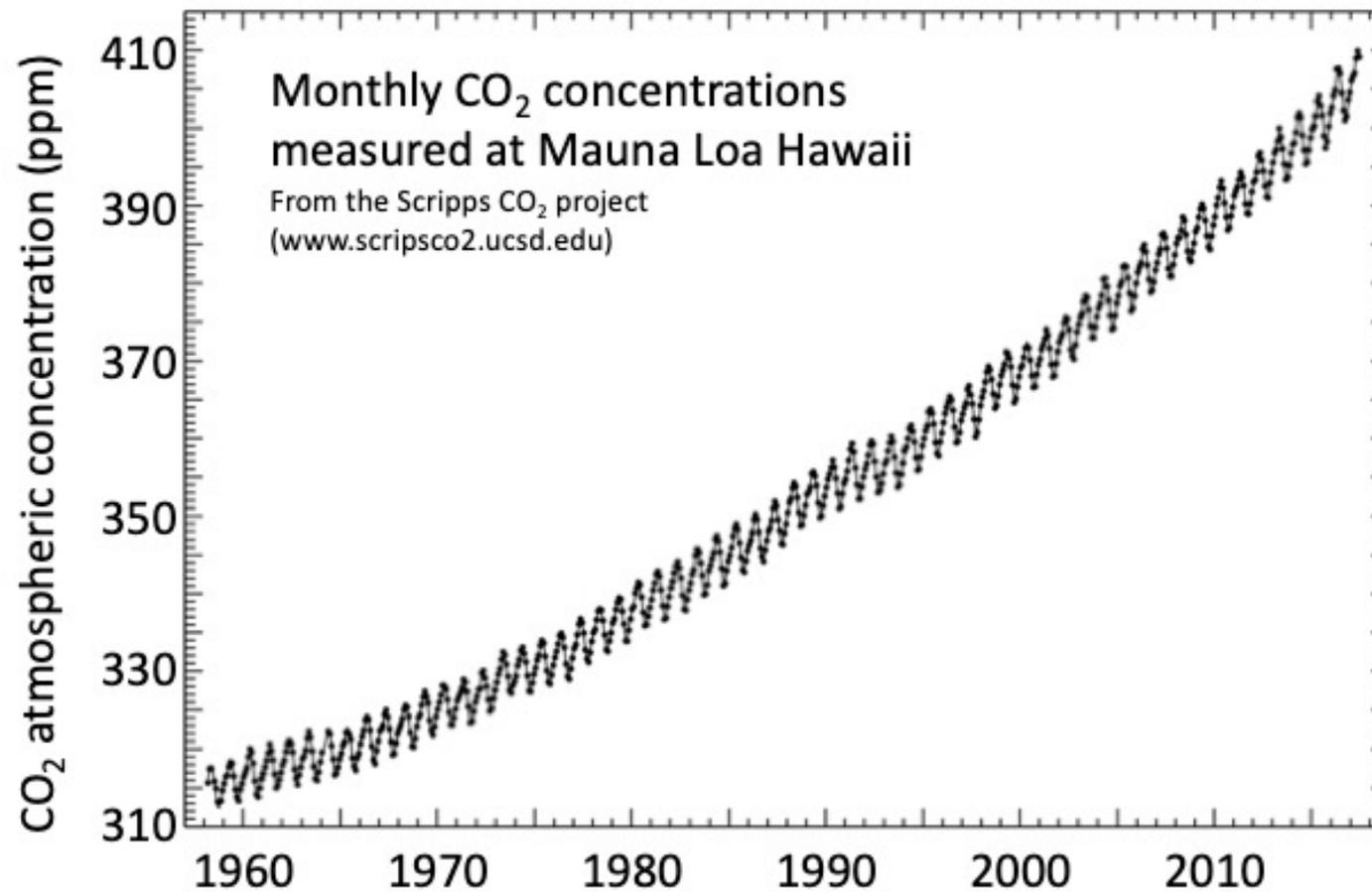
Heizung von Gebäuden kWh/m<sup>2</sup>



Wieviel Kohlendioxid müssen wir einsparen.....

.....um den Klimawandel zu besiegen?

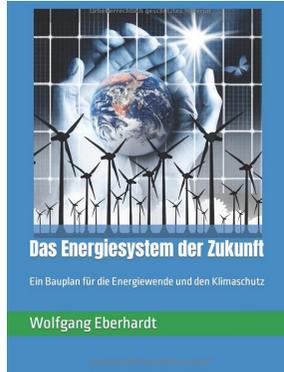
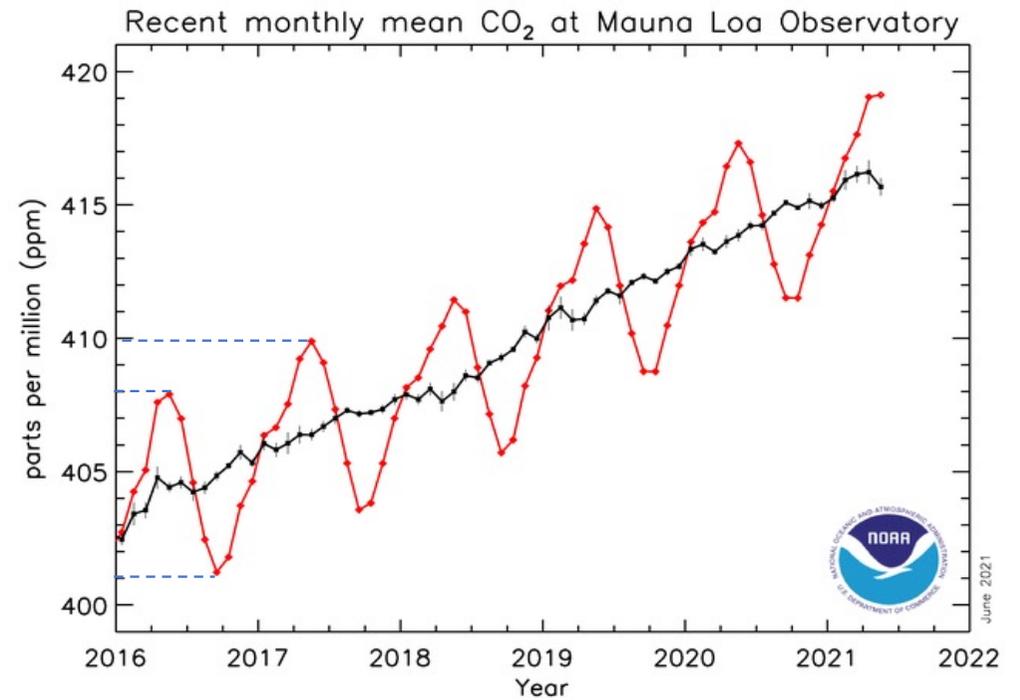
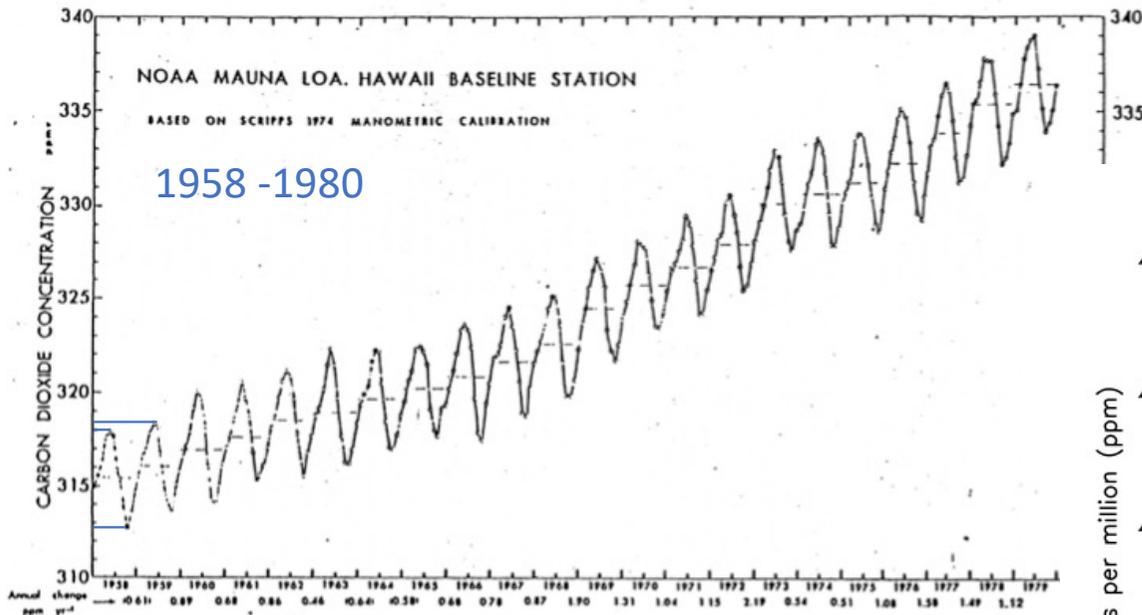
“Keeling-Kurve”



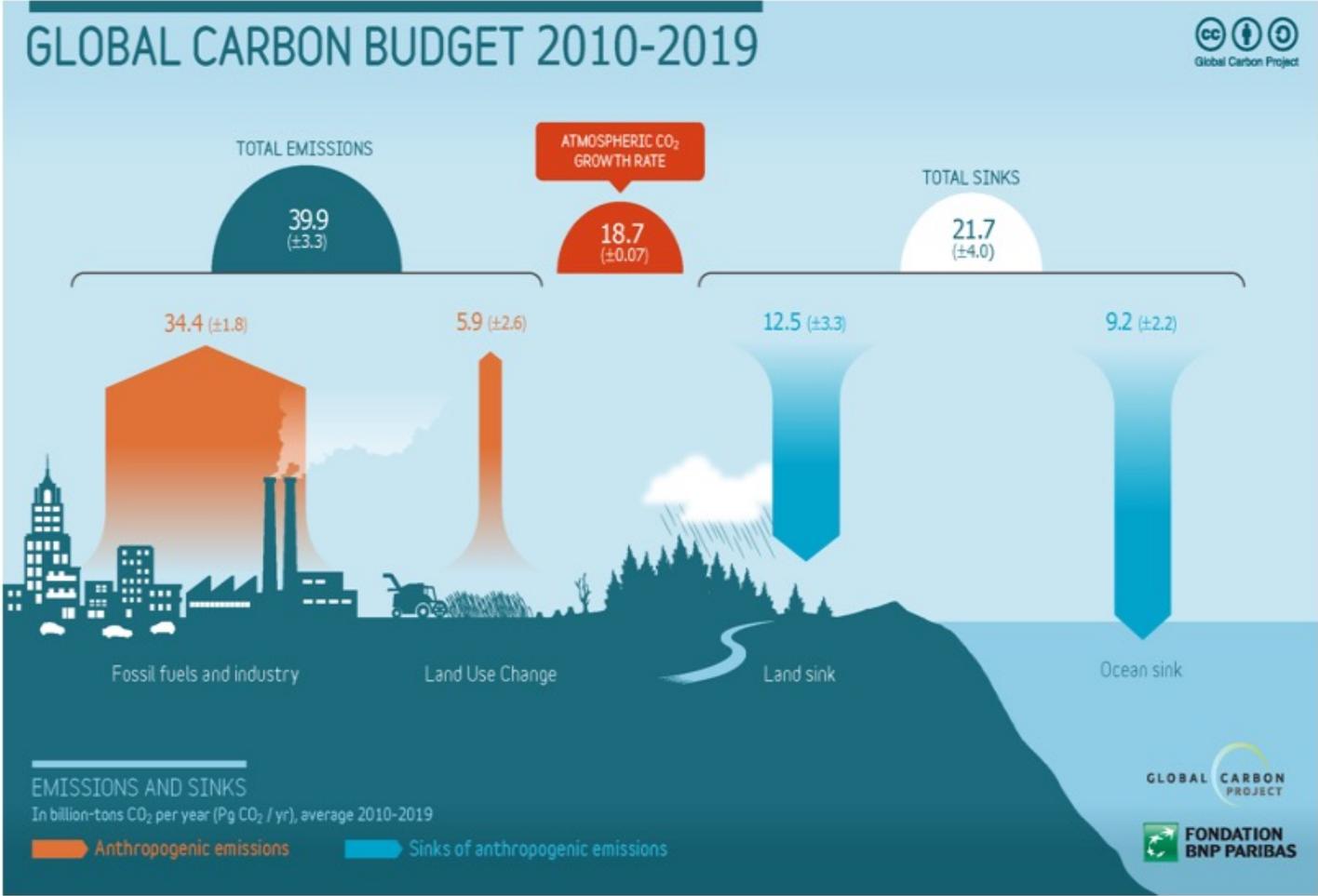
Wieviel Kohlendioxid müssen wir einsparen.....

.....um den Klimawandel zu besiegen?

Detail-Ansicht der "Keeling-Kurve"

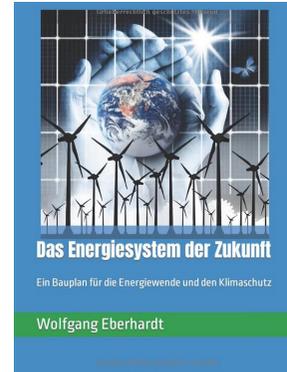
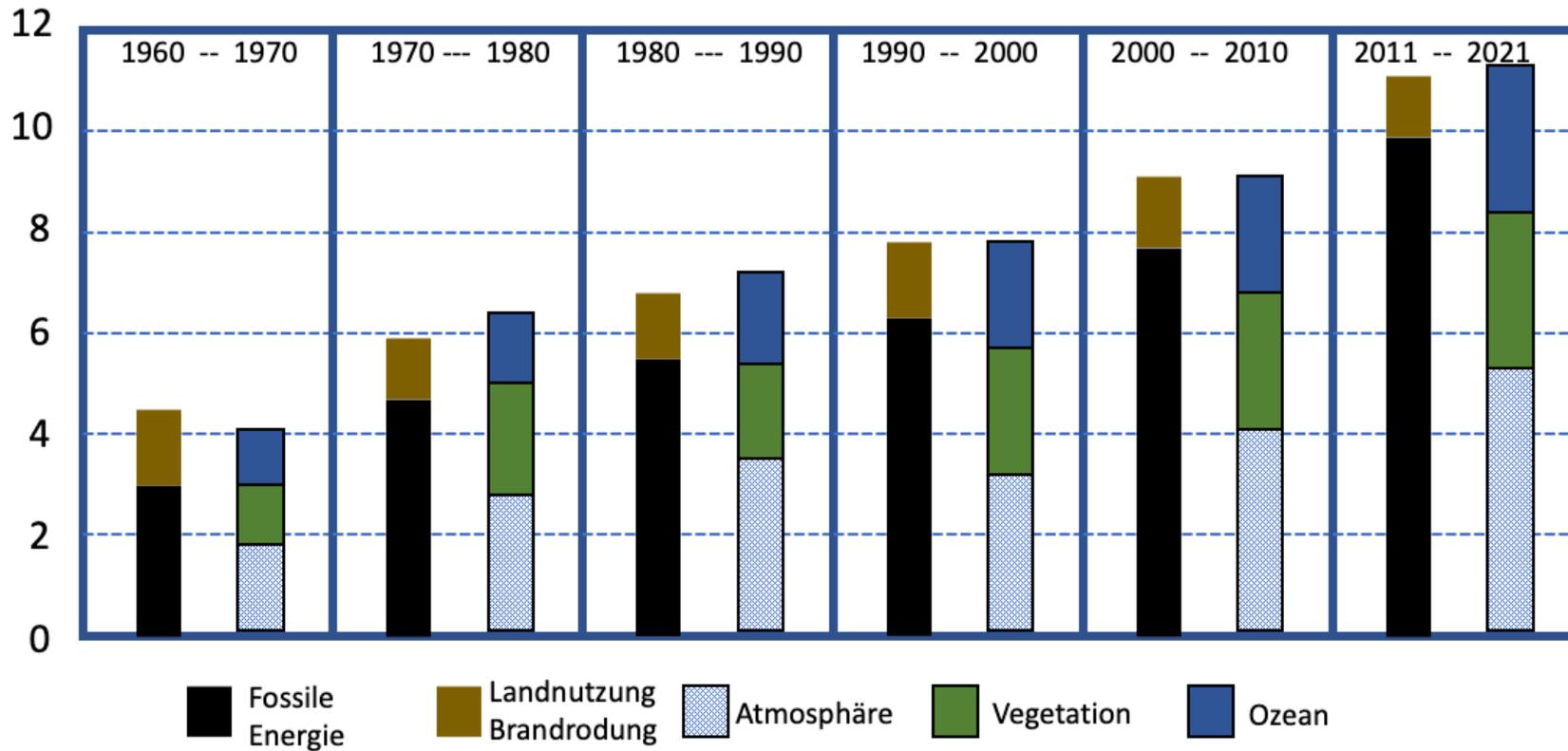


# Global Carbon Budget



Data source: Friedlingstein et al. 2020 Global Carbon Budget 2020. Earth System Science Data.

## Gemittelte jährliche CO<sub>2</sub> Emissionen und Ablagerungen in Gt C



Daten aus: "The Global Carbon Project" und IPCC 'Science case'

Die Aufnahme durch Pflanzen und Ozean hängt von der CO<sub>2</sub> Konzentration in der Atmosphäre ab---- nicht von der Größe der Emissionen

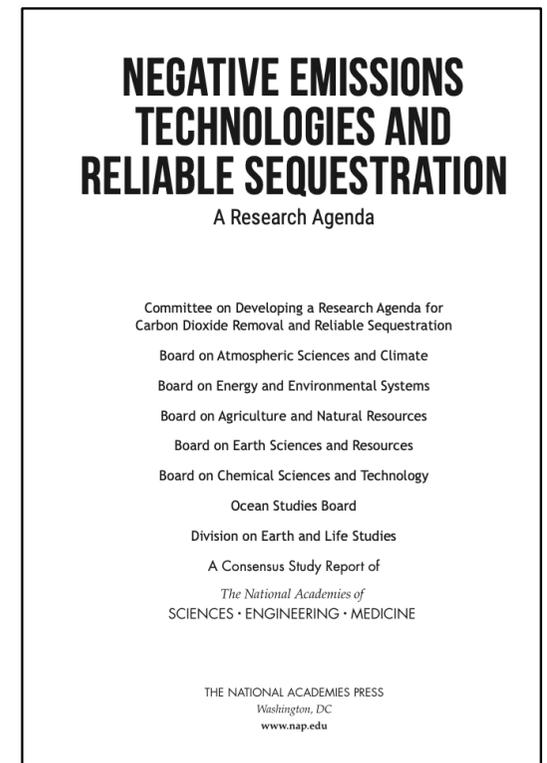
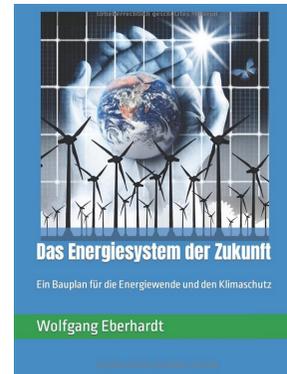
# Schlussfolgerungen aus der “Keeling-Curve”

- (weniger als) die Hälfte der CO<sub>2</sub> Emissionen wird in der Atmosphäre abgelagert (seit 60 Jahren gemessen)
- Mit steigender CO<sub>2</sub> Konzentration in der Atmosphäre wächst auch die Aufnahme durch Biomasse und Ozean (+ 50% seit 1960)



- **Sobald wir die CO<sub>2</sub> Emissionen um 50% gesenkt haben, wird die CO<sub>2</sub> Konzentration in der Atmosphäre abnehmen → der Klimawandel ist besiegt**

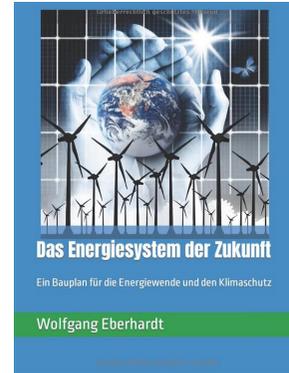
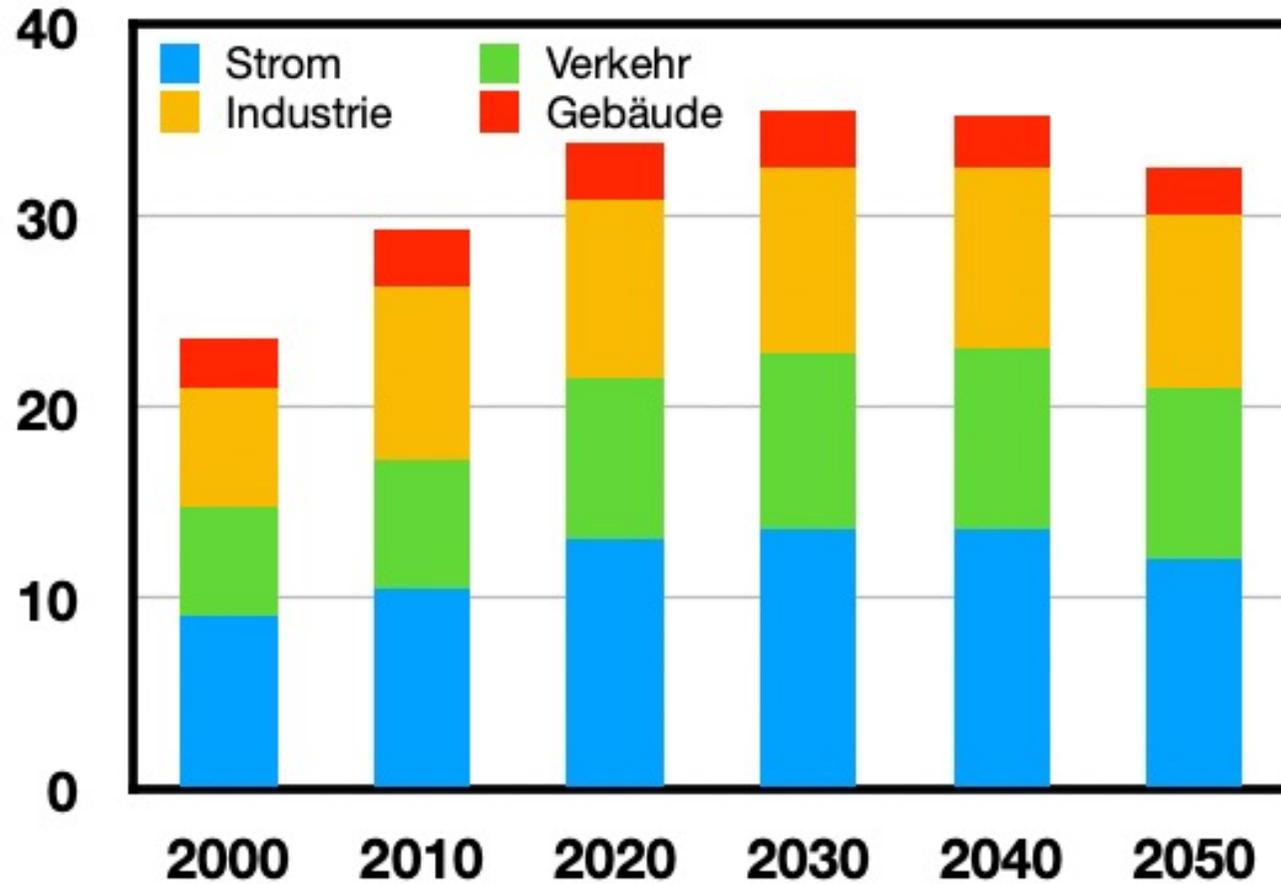
bestätigt durch: *Negative Emission Technologies and Reliable Sequestration*;  
*National Academy of Sciences, Engineering, and Medicine, USA 2019, DOI 10.17226/25259*  
*‘Misconceptions’ (of the IPCC)*



Derzeitiger Stand der Entwicklung (2019).....

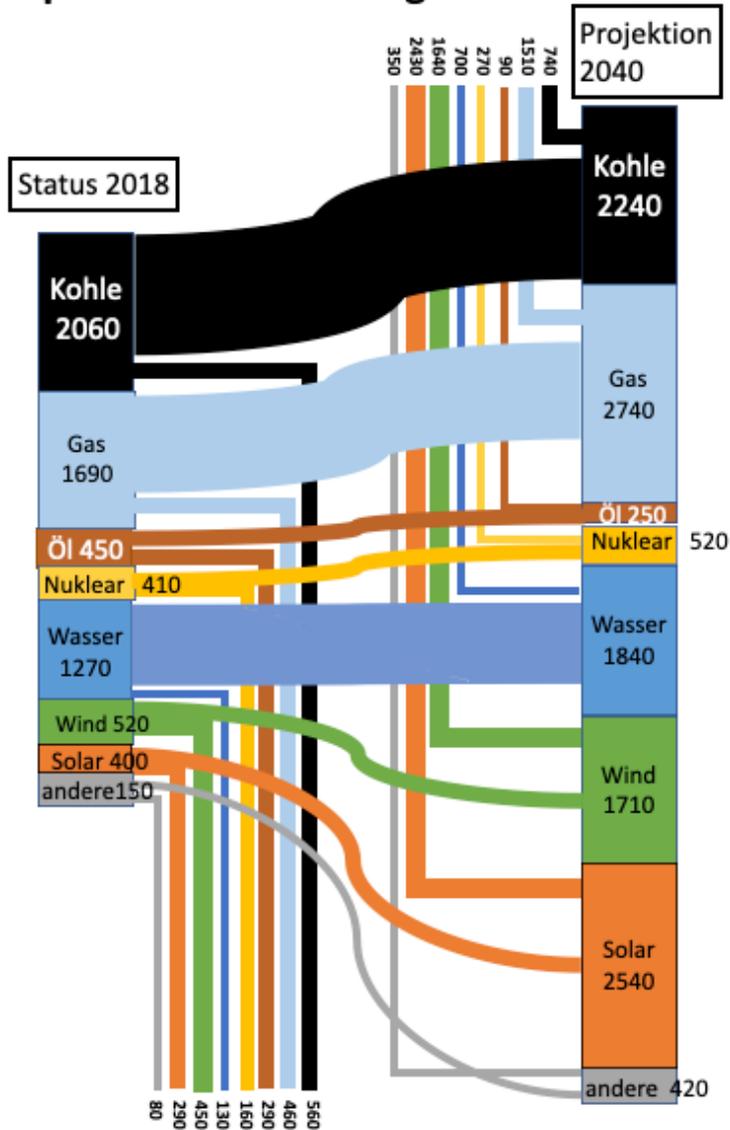
.....wir verfehlen die Klimaziele gewaltig!!!

### CO<sub>2</sub> Emissionen (Gt CO<sub>2</sub>)

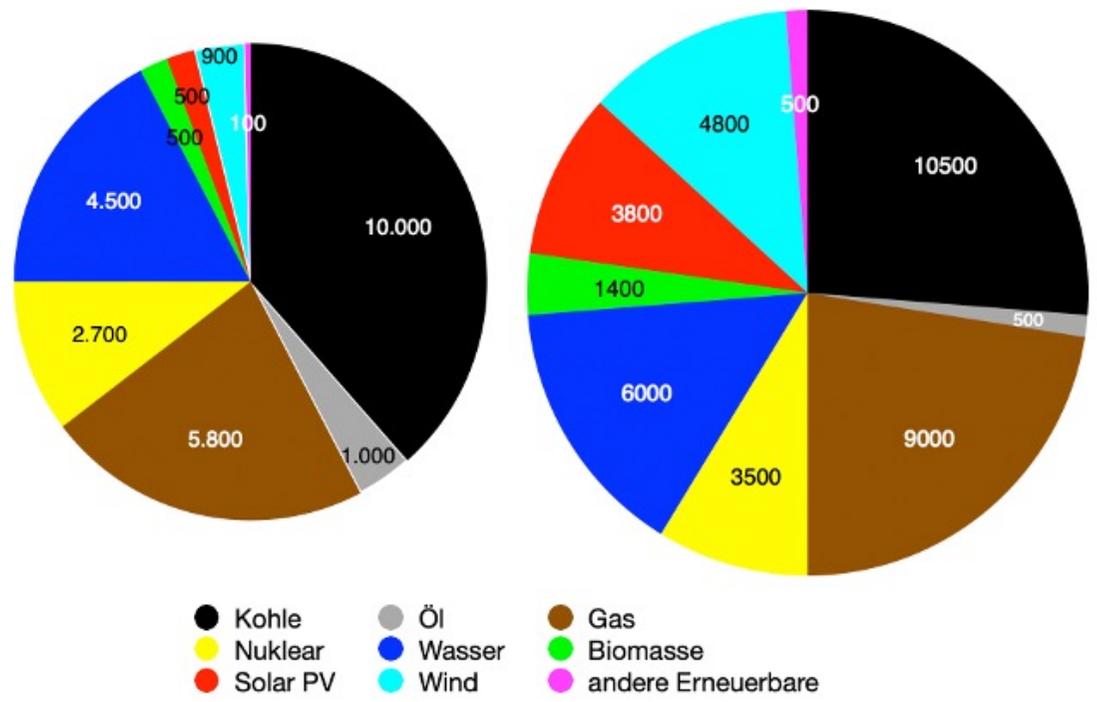


# Kraftwerke in der Welt

## Kapazitäts-Entwicklung 2018 bis 2040



**Stromerzeugung nach Projektion der IEA**  
 2017 26000 TWh      2040 40000 TWh



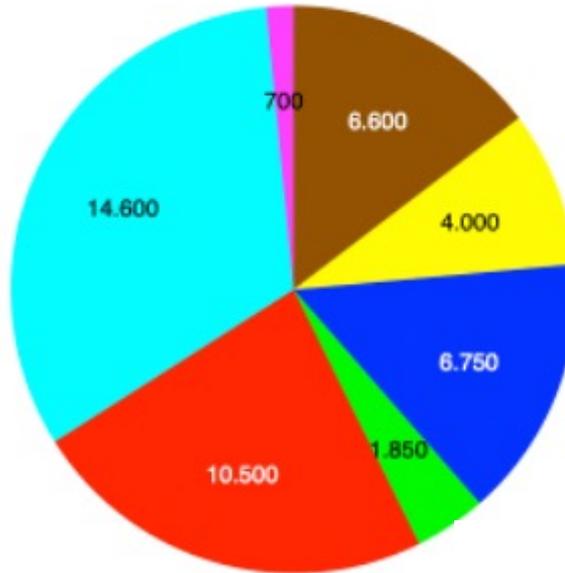
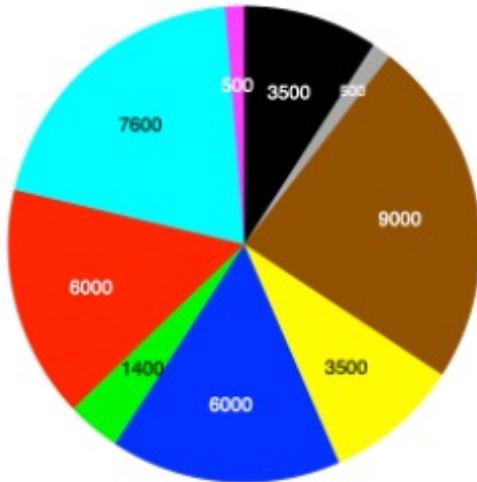
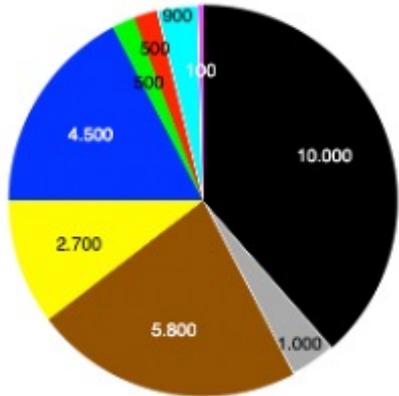
Quelle: IEA 2019

## Stromerzeugung in der beschleunigten Energiewende

2017 26000 TWh

2040 38000 TWh

2050 45000 TWh



### Zusatz-Installationen

150 GW/Jahr in PV und 100 GW/Jahr Wind ab 2030  
 180 GW/Jahr in PV und 170 GW/Jahr Wind ab 2040  
 einschließlich Netze und Speicher

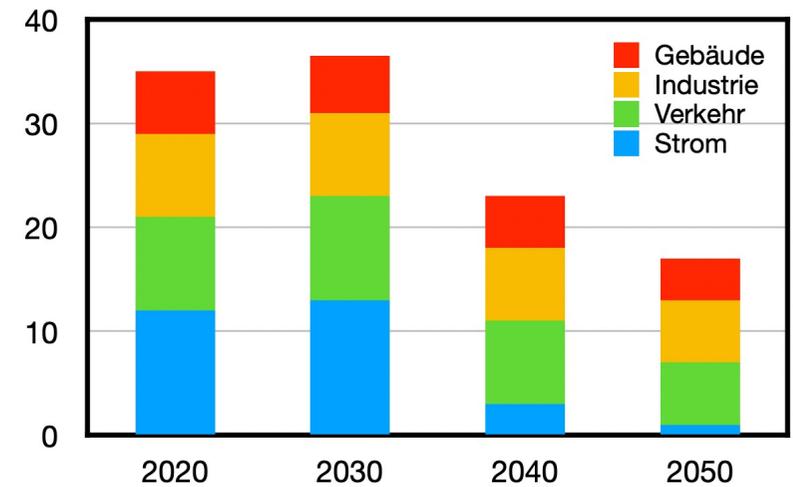
### Kosten IEA

900 Milliarden \$/Jahr

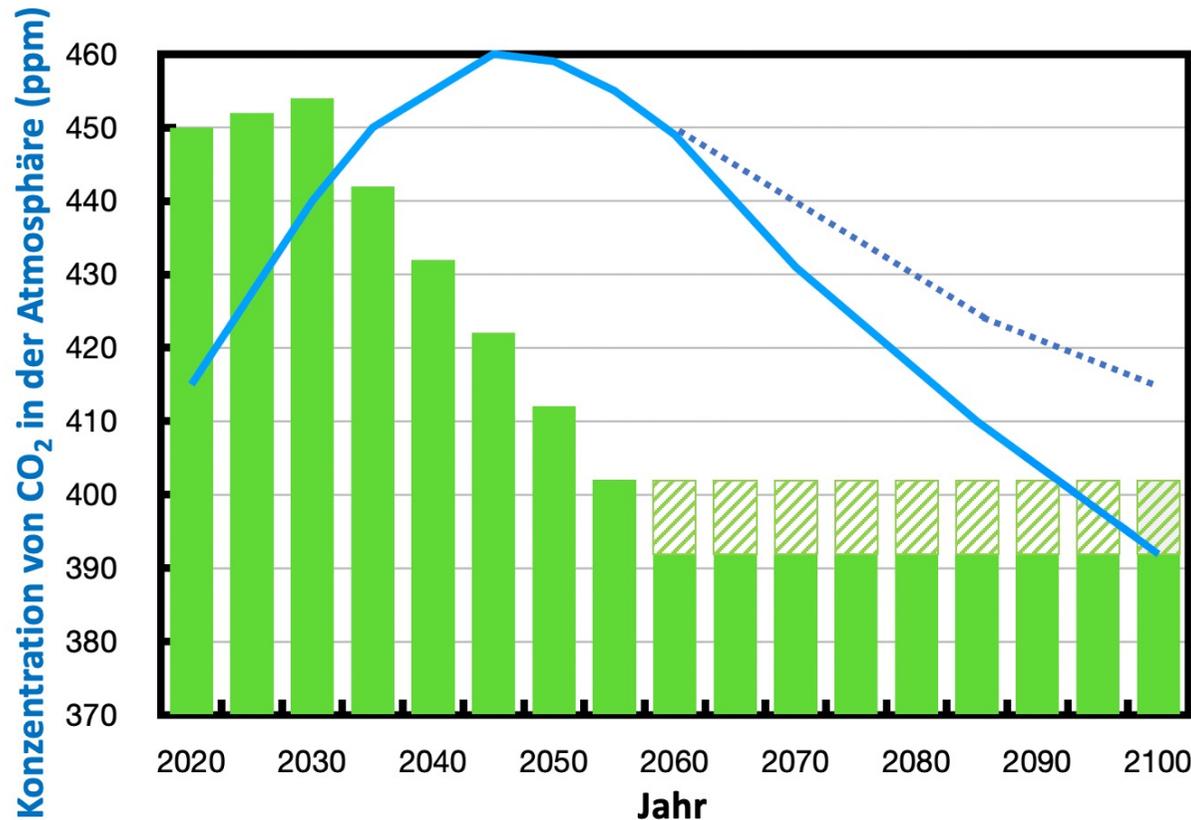
+400 Milliarden \$/Jahr ab 2030  
 einschl. Netze und Speicher

in Summe < 2% GDP

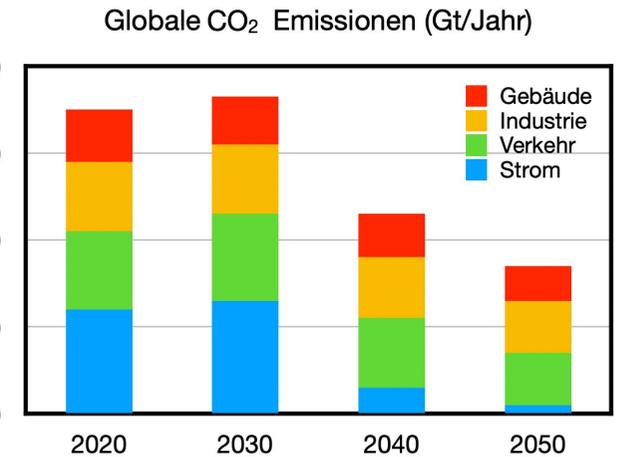
### Globale CO<sub>2</sub> Emissionen (Gt/Jahr)



# Modell der Emissionen und der daraus resultierenden Konzentration von $\text{CO}_2$ in der Atmosphäre



Emissionen und Land-Rodung (Gt  $\text{CO}_2$  /Jahr)



M. Vollmer, W. Eberhardt  
*„A simple model for the prediction of  $\text{CO}_2$  concentrations in the atmosphere depending on global  $\text{CO}_2$  emissions‘*

European Journal of Physics

in press (2024)

<https://doi.org/10.1088/1361-6404/ad230d>

# IPCC --- AR6-1 The Physical Science Base Chapter 5

Question 5.1, page 772: 'There is currently no direct evidence that the natural sinks are slowing down'

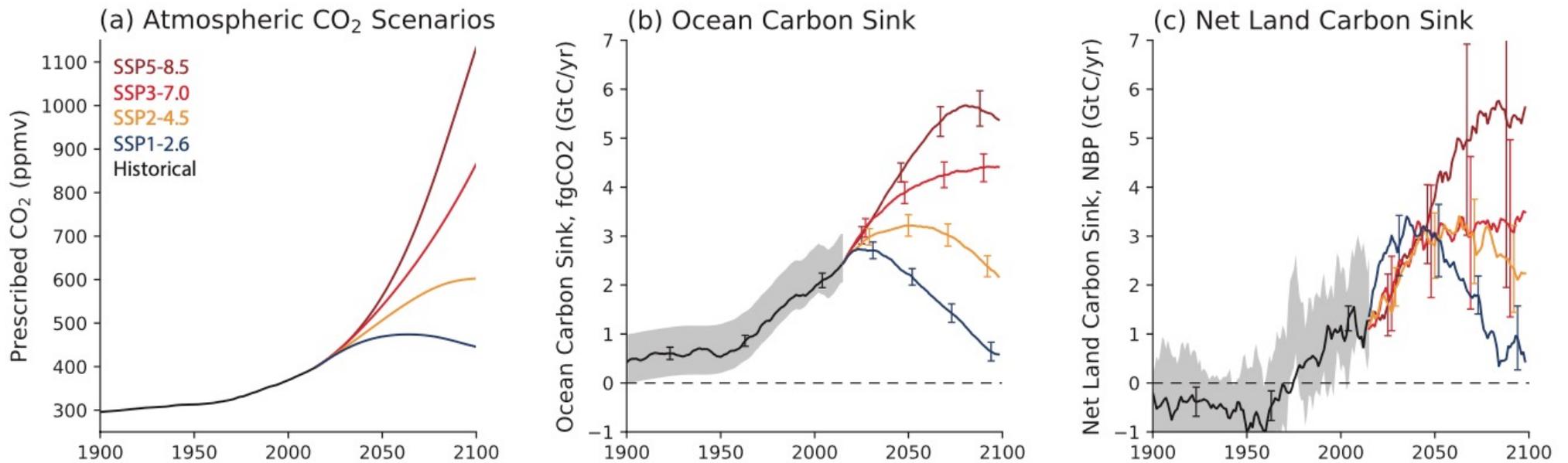


Figure 5.25 | Modelled evolution of the global land and ocean carbon sinks for 1900 to 2100

# Fazit

- Die Energiewende ist technisch und ökonomisch möglich  
Klimawandel und lokale Umweltverschmutzung werden drastisch reduziert
- Wesentliche Massnahmen:
  - Abschalten von (Braun-)Kohlekraftwerken --- CO<sub>2</sub> Abscheidung
  - Verbannung von Verbrennungsmotoren aus dem Landverkehr
  - Wärmepumpen im Neubau
- Die (weltweite) Energiewende ist eine absolute Notwendigkeit und eröffnet neue Marktchancen --- Das Schicksal der Welt wird in Südostasien und Afrika entschieden
- Wir brauchen dringend eine stetige Umsetzung durch die Politik ohne Einfluss von Lobbyisten und Partikularinteressen

Wir müssen jetzt anfangen  
.....und können das schaffen

**Die Welt wird nicht untergehen**  
(wegen des Klimawandels)

ISBN 9798772274453

