

# Wie schaffen wir die Energiewende?

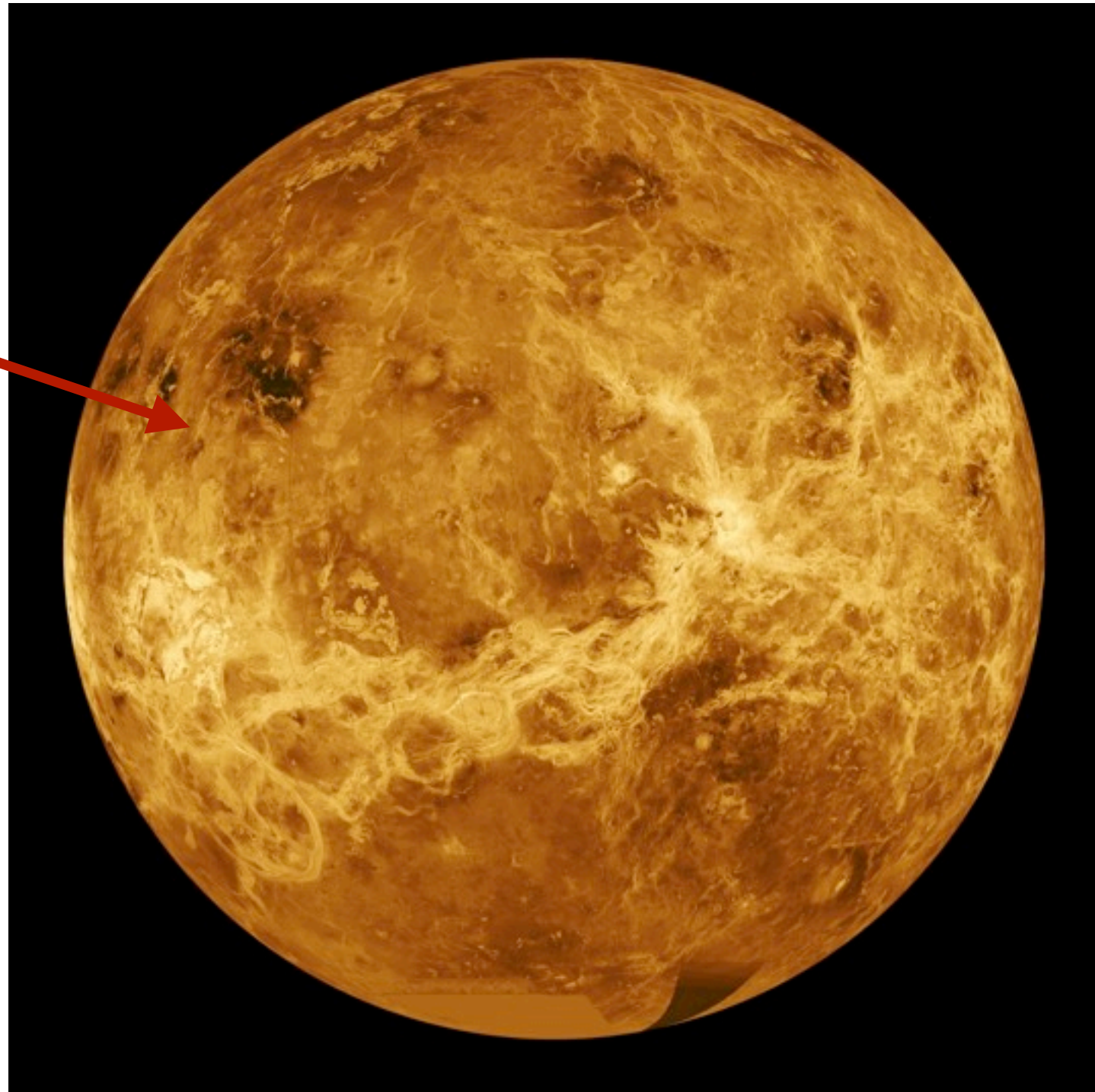
Prof. Dr. Robi Banerjee  
Hamburger Sternwarte  
Universität Hamburg

# Warum?





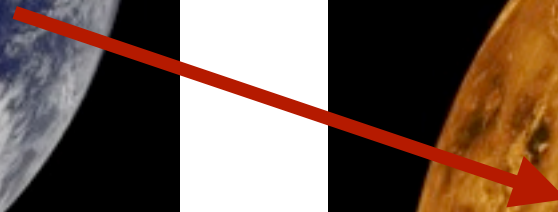
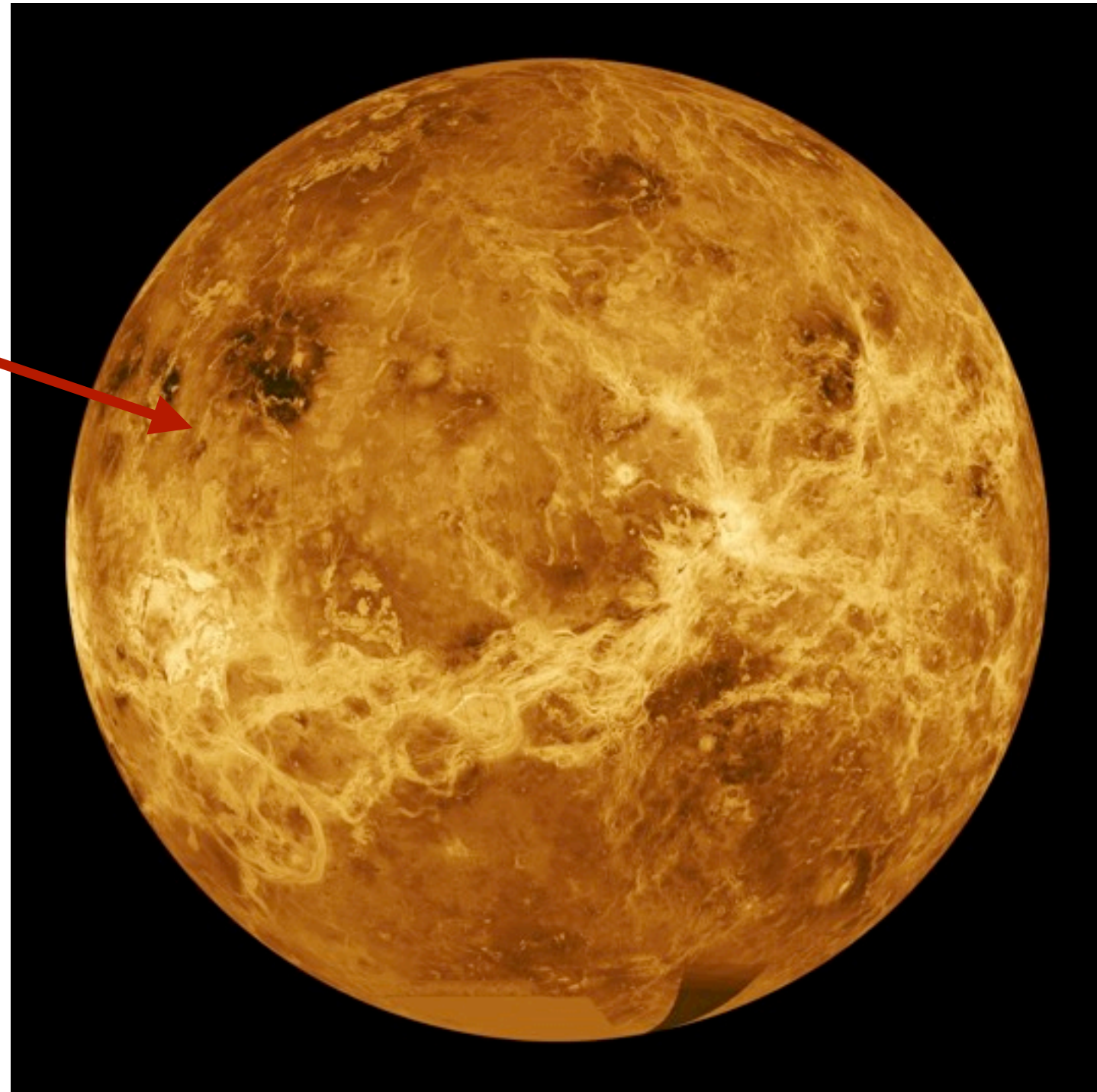
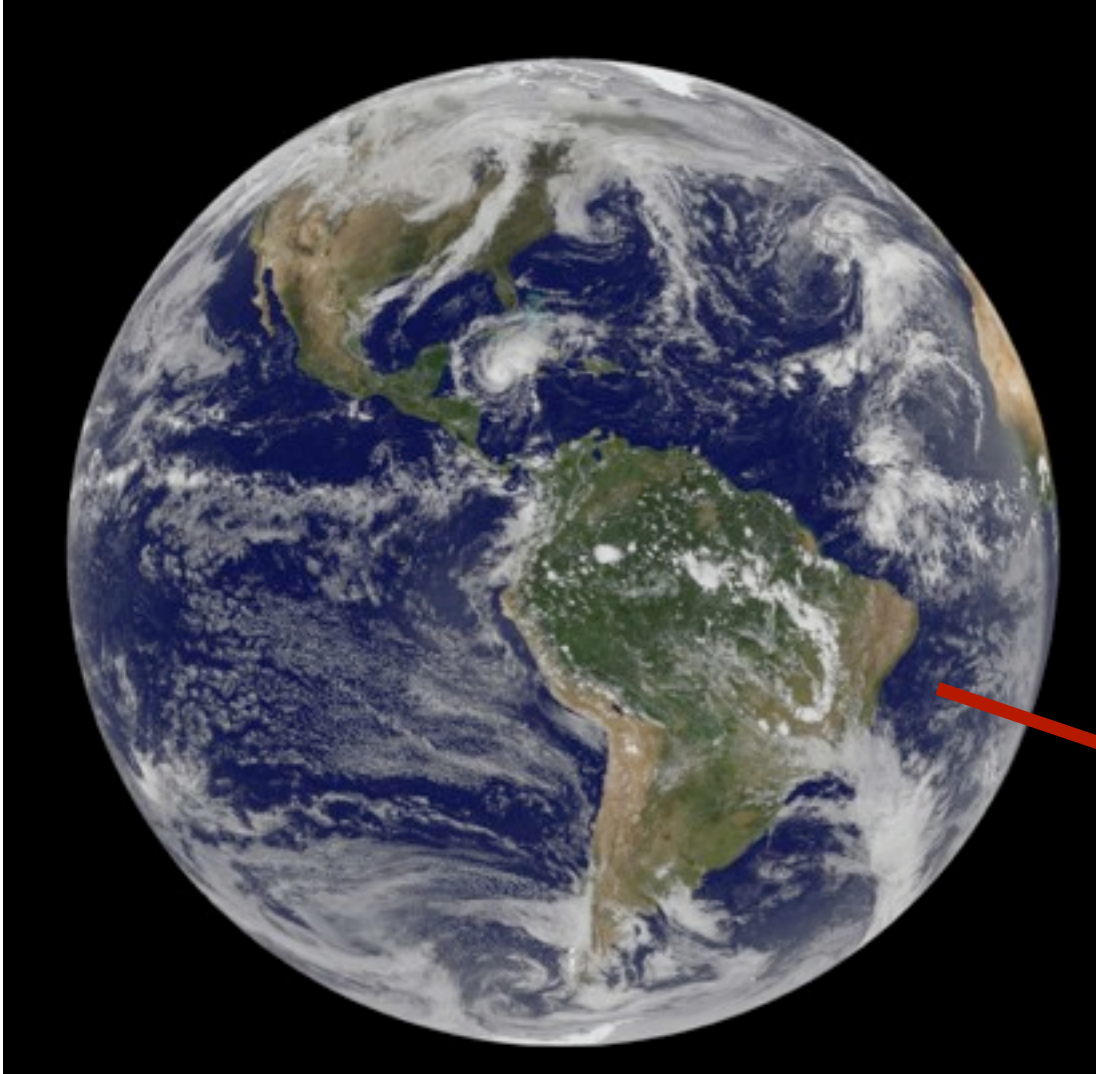
# Warum?



Venus Atmosphäre:  
96% CO<sub>2</sub>



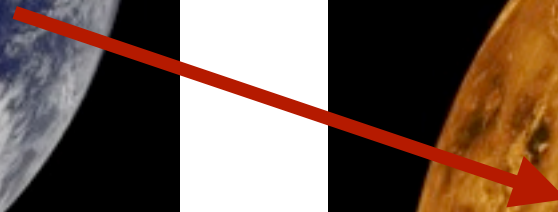
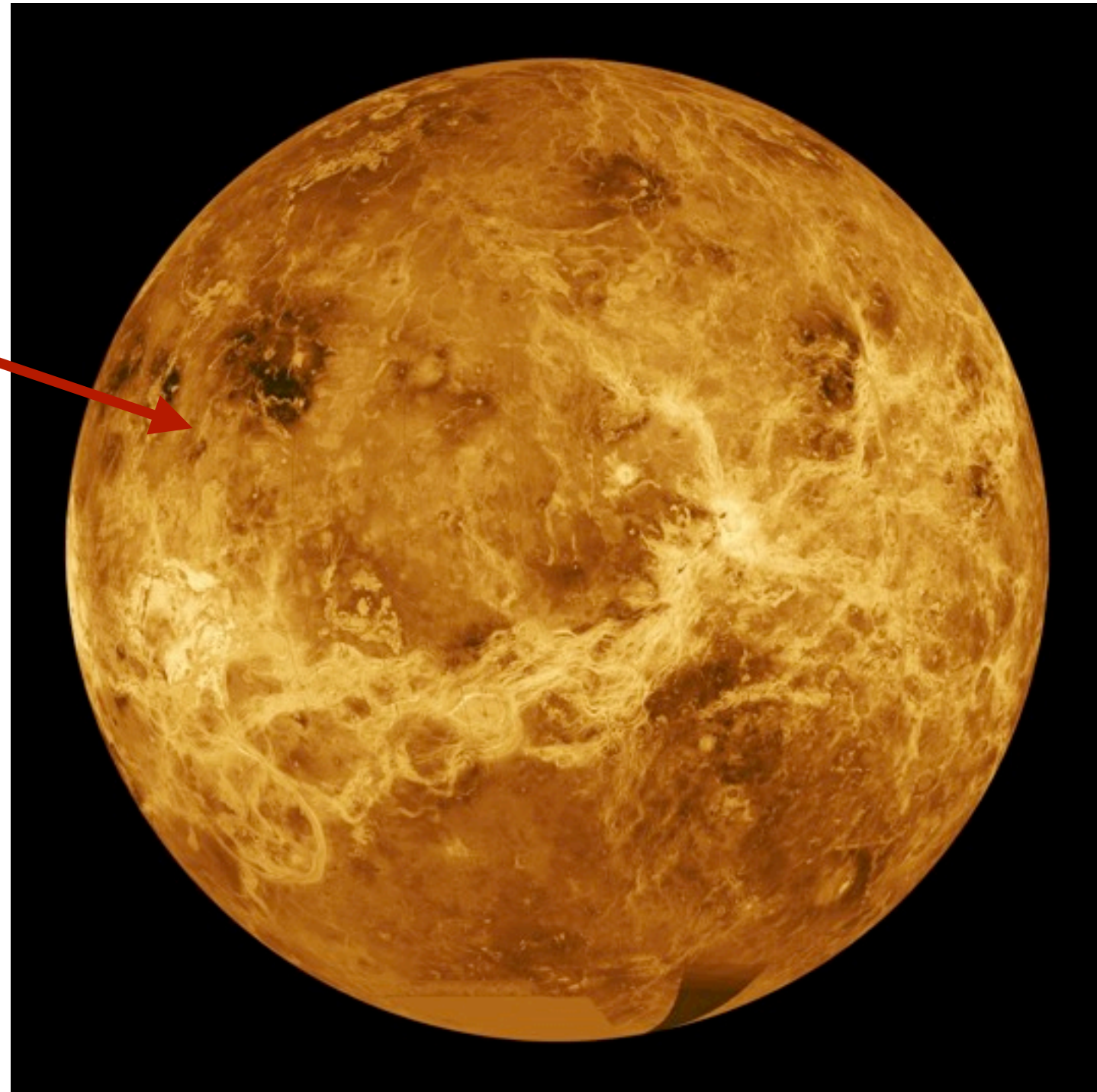
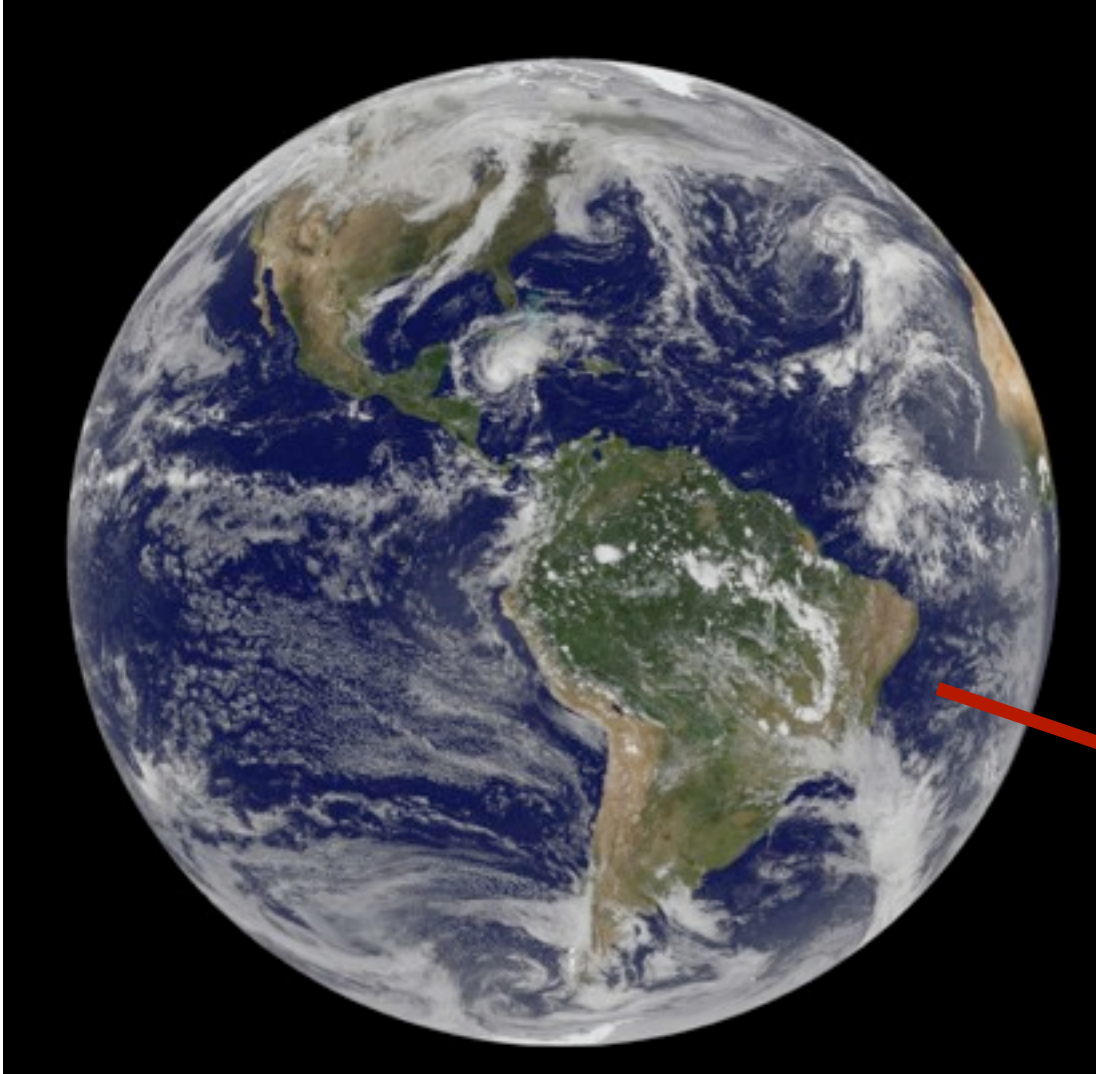
# Warum?



- Anthropogener Klimawandel
- Endliche Ressourcen



# Warum?



- Anthropogener Klimawandel
- Endliche Ressourcen
- Verantwortungsvoller Umgang



# Welt-Energiebedarf

ca. 505 Exa Joule pro Jahr  
 $\approx 140$  Trillionen kWh / Jahr

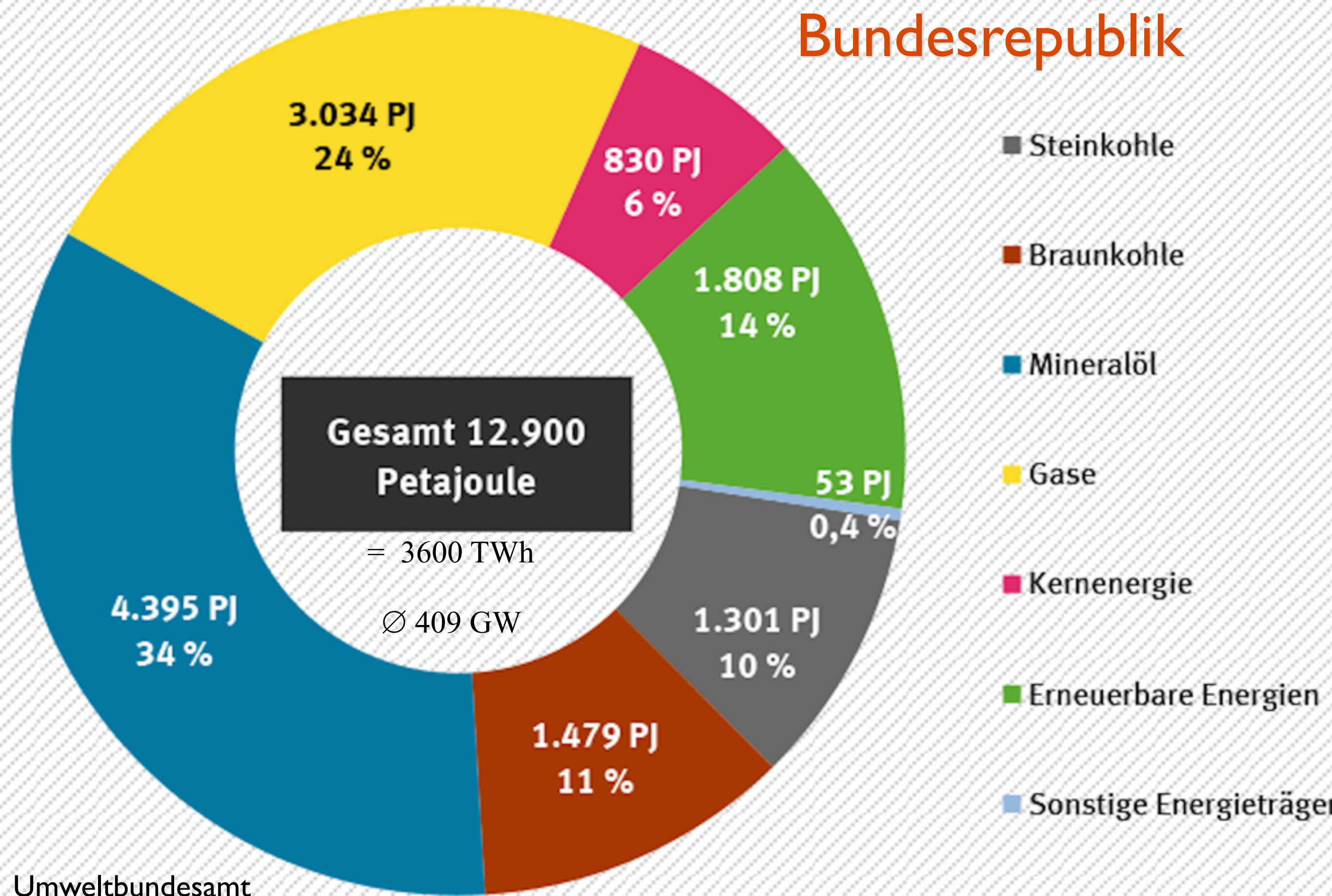
durchschnittlicher **Leistungsbedarf**  
 $\approx 16$  TW





2018\*

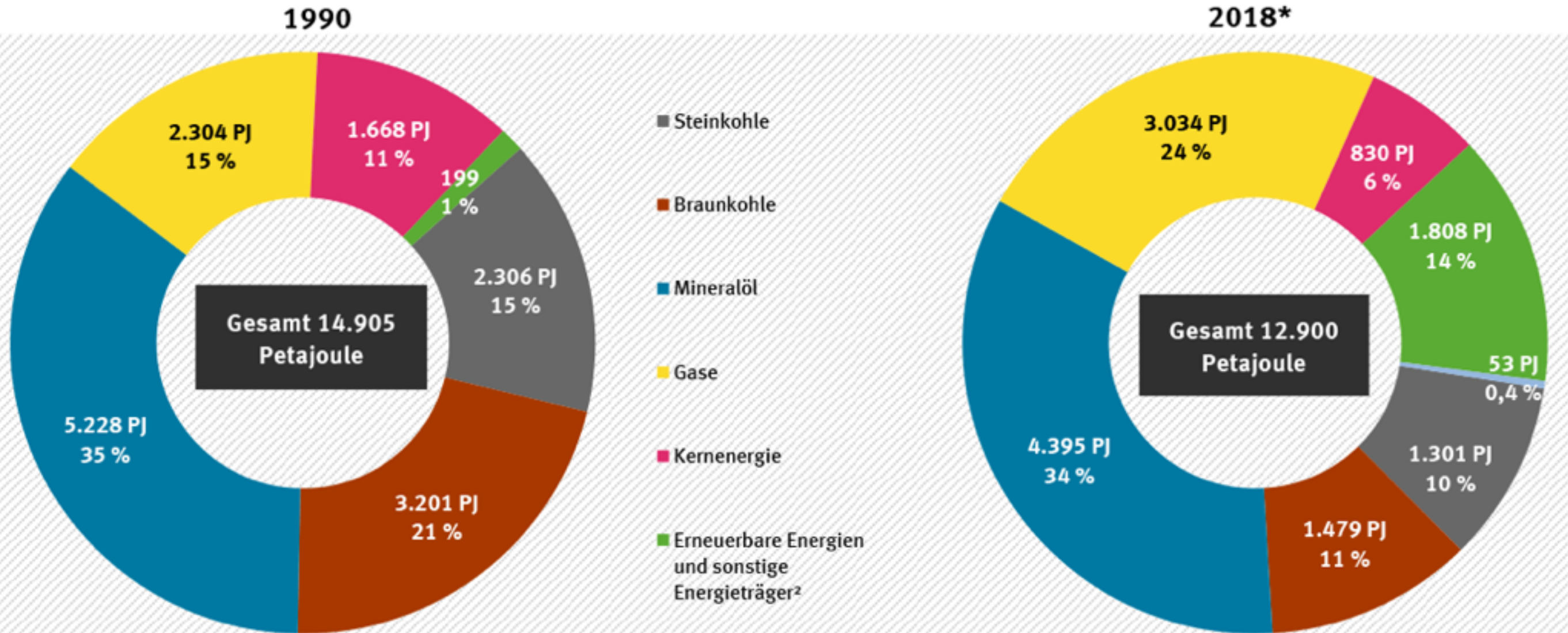
# Primärenergiebedarf Bundesrepublik





# Primärenergiebedarf Bundesrepublik

## Energieverbrauch<sup>1</sup> nach Energieträgern



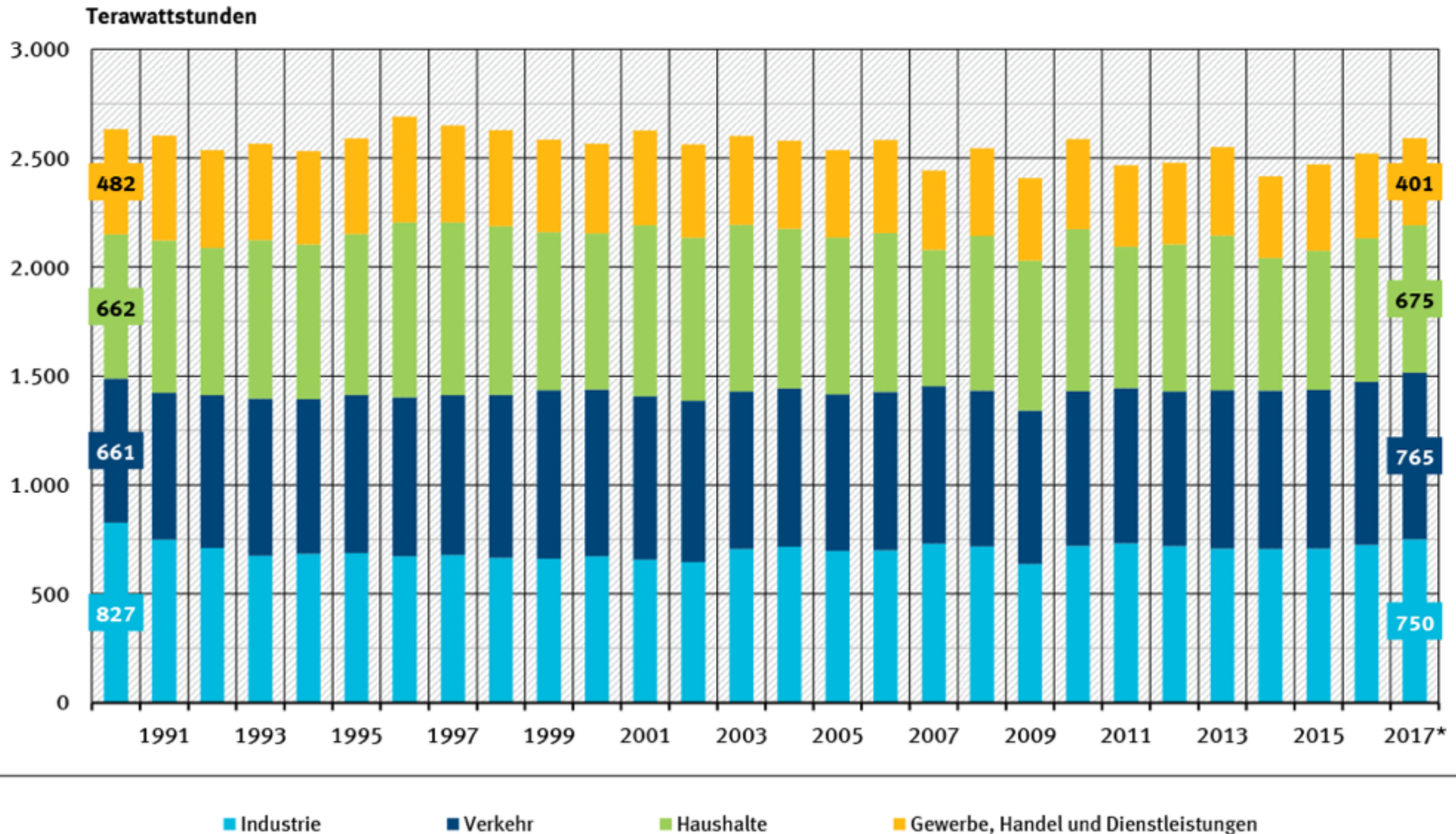
<sup>1</sup> auf der Basis des Wirkungsgradansatzes.  
<sup>2</sup> Erneuerbare Energien mit sonstigen Energieträgern, ab 2000 getrennte Erfassung, Sonstige sind: Nichterneuerbare Abfälle, Abwärme und Außenhandelsaldo von Fernwärme und Angaben

Quelle: für 1990-Umweltbundesamt auf Basis AG Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2017, Stand 0 Basis AG Energiebilanzen,



# End-Energiebedarf

Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Sektoren\*



\* vorläufige Angaben

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2017, Stand 07/2018

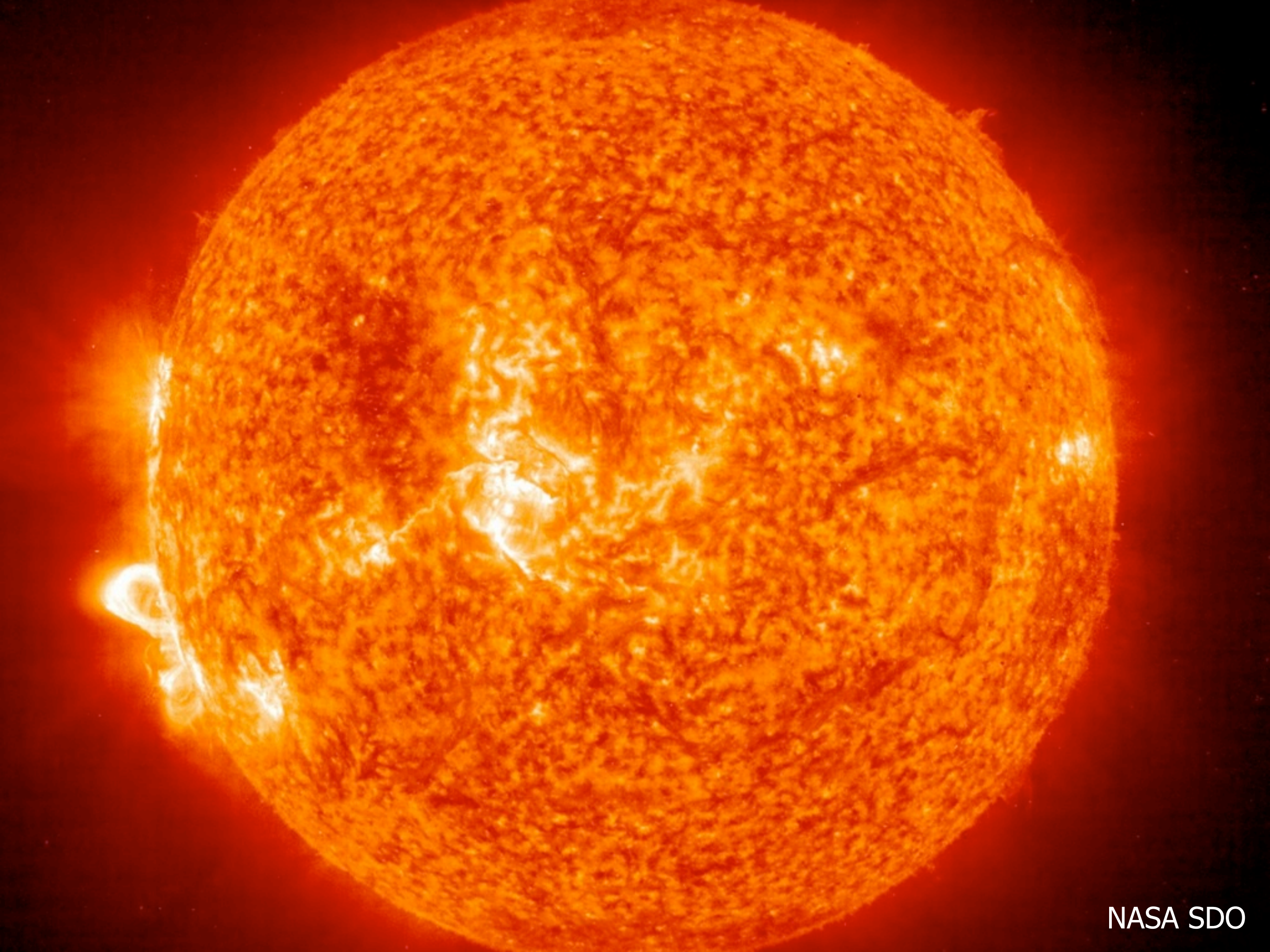
\*Differenz zum Primärenergiebedarf: Verluste ca. 30%



**Woher?**

**CO<sub>2</sub>-freie  
Energiequellen?**







# Sonne



- Leuchtkraft / Leistung:

$$L_{\odot} = 3 \times 10^{26} \text{ W} = 3 \times 10^{14} \text{ TW}$$

- davon Erdeinstrahlung

$$L_{\oplus} = 1.7 \times 10^{17} \text{ W} = 173.000 \text{ TW}$$

- Solarkonstante

$$s_{\oplus} = 1.36 \text{ kW/m}^2$$



# Sonne

- Leuchtkraft / Leistung:

$$L_{\odot} = 3 \times 10^{26} \text{ W} = 3 \times 10^{14} \text{ TW}$$

- davon Erdeinstrahlung

$$L_{\oplus} = 1.7 \times 10^{17} \text{ W} = 173.000 \text{ TW}$$

- Solarkonstante

$$s_{\oplus} = 1.36 \text{ kW/m}^2$$

- Sonne erzeugt **Winde!**

geringer Wind :  $75 \text{ W/m}^2$   
(5 m/s)

Starkwind :  $10 \text{ kW/m}^2$



# Sonne



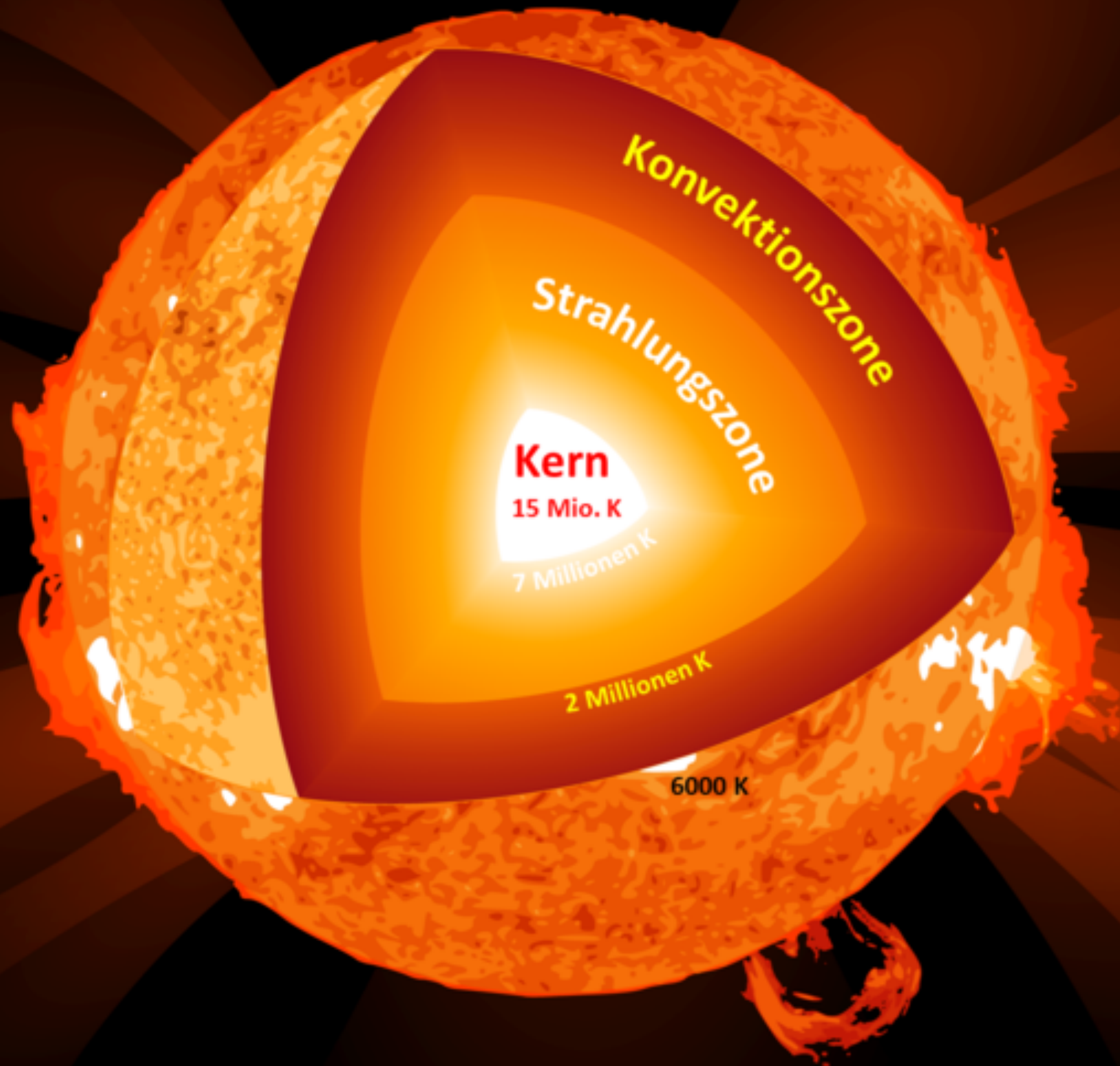
- Erdeinstrahlung

$$L_{\oplus} \approx 1.7 \times 10^{17} \text{ W} \approx 173.000 \text{ TW}$$

→ mehr als **10.000** × Weltenergiebedarf

→ weniger als **50 Minuten** um den Weltenergiebedarf eines Jahres zu decken





**Kern**

15 Mio. K

7 Millionen K

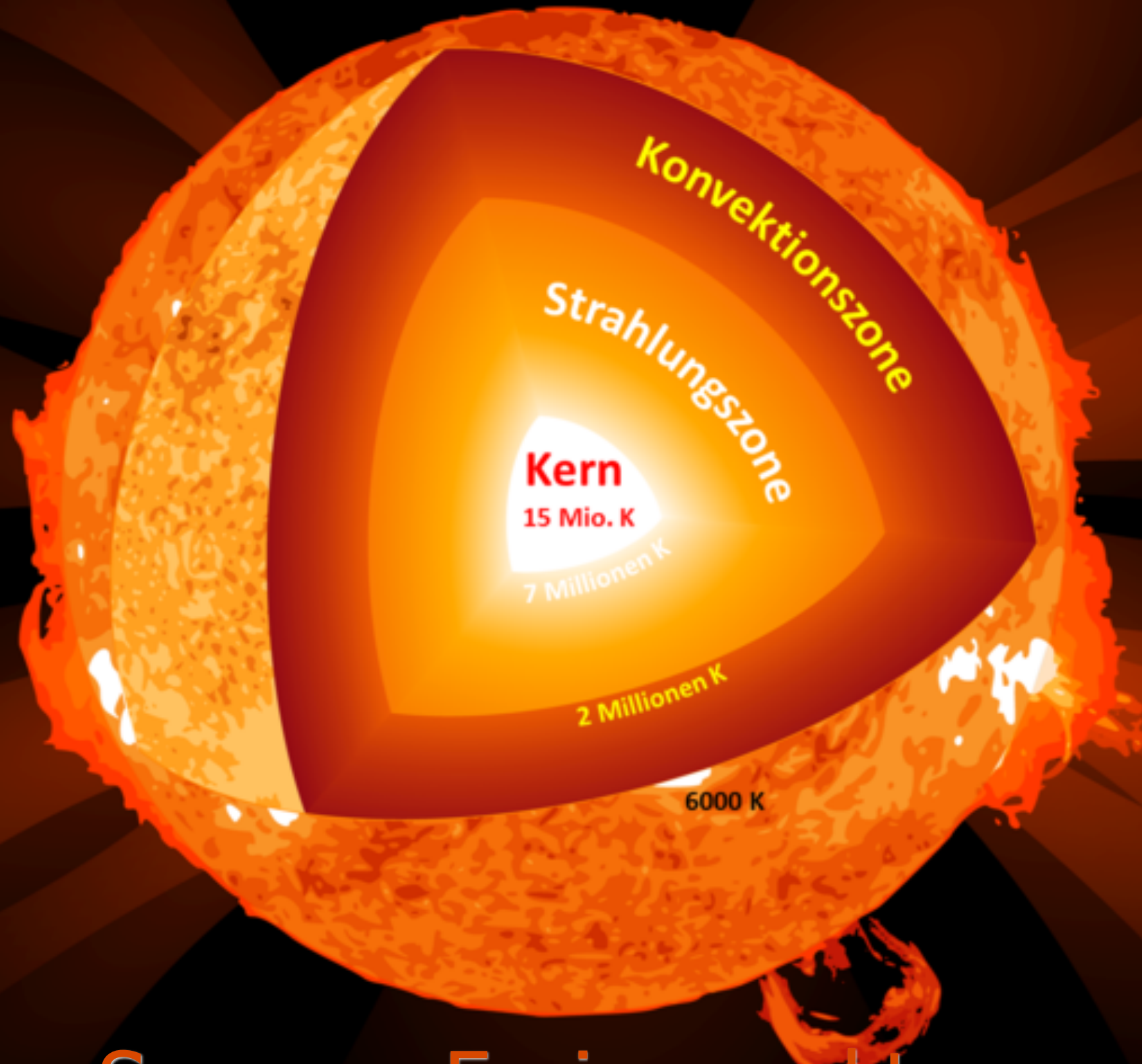
2 Millionen K

6000 K

Konvektionszone

Strahlungszone

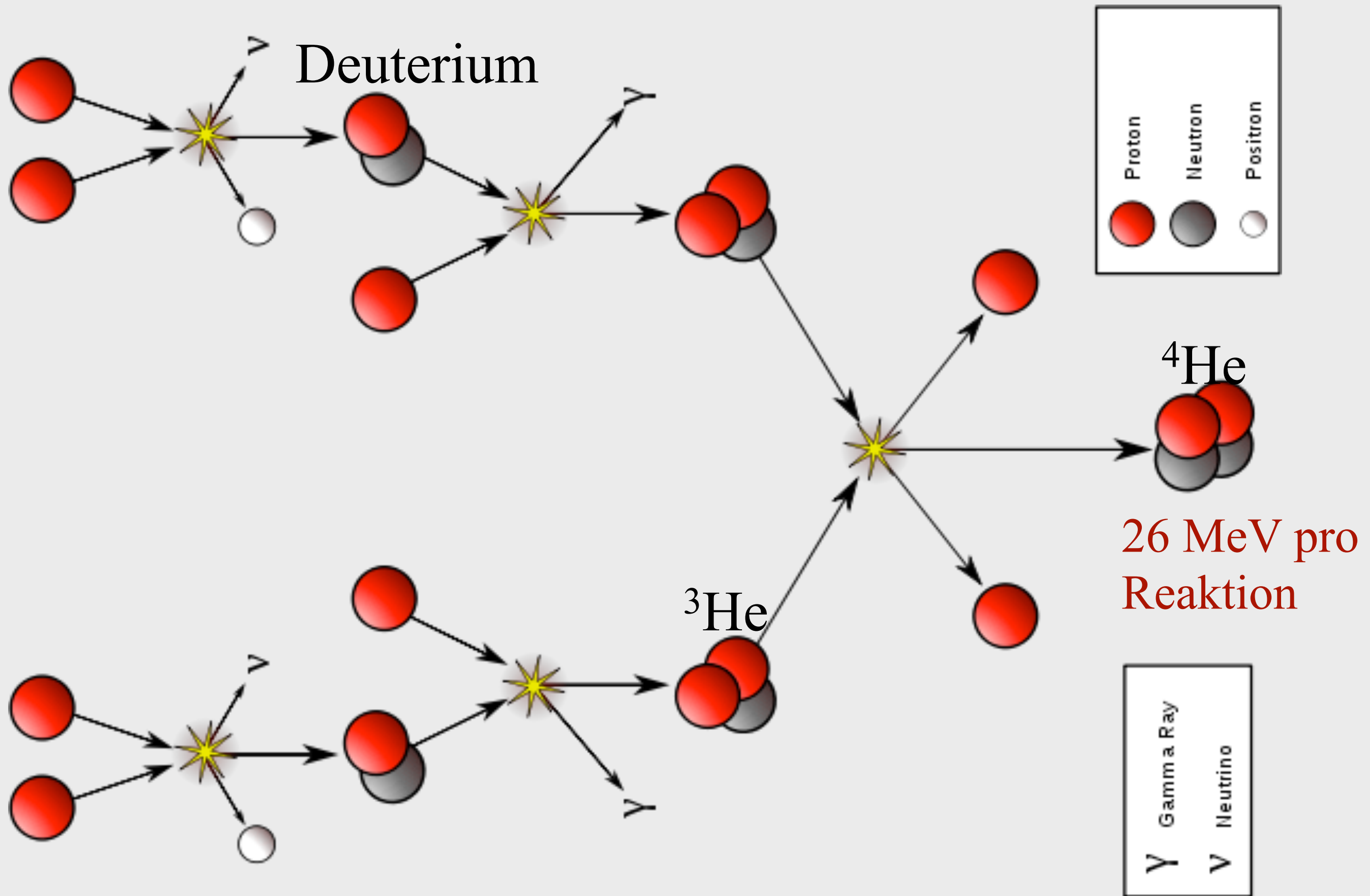




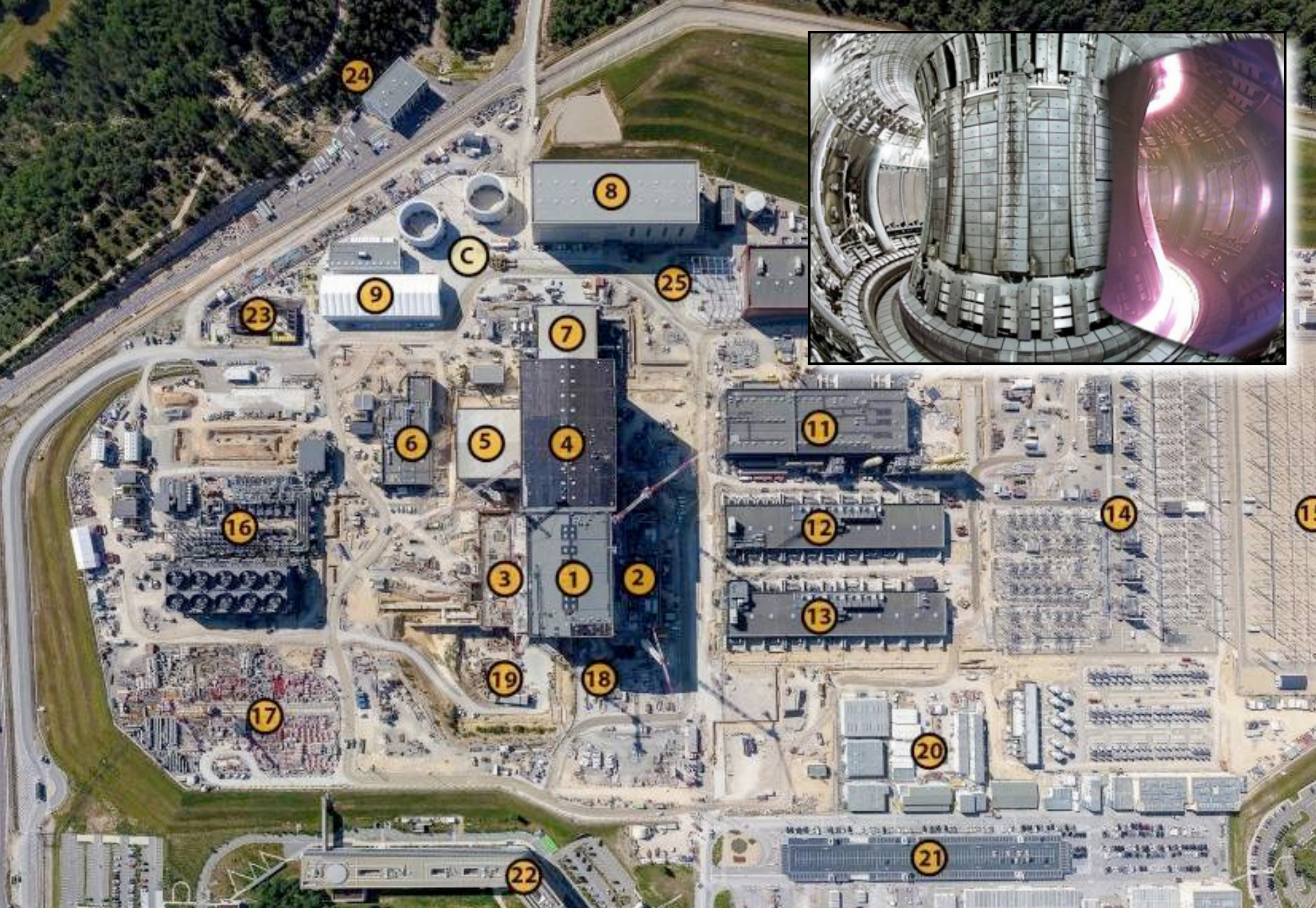
**Sonne = Fusionsreaktor**



# sun's energy generation

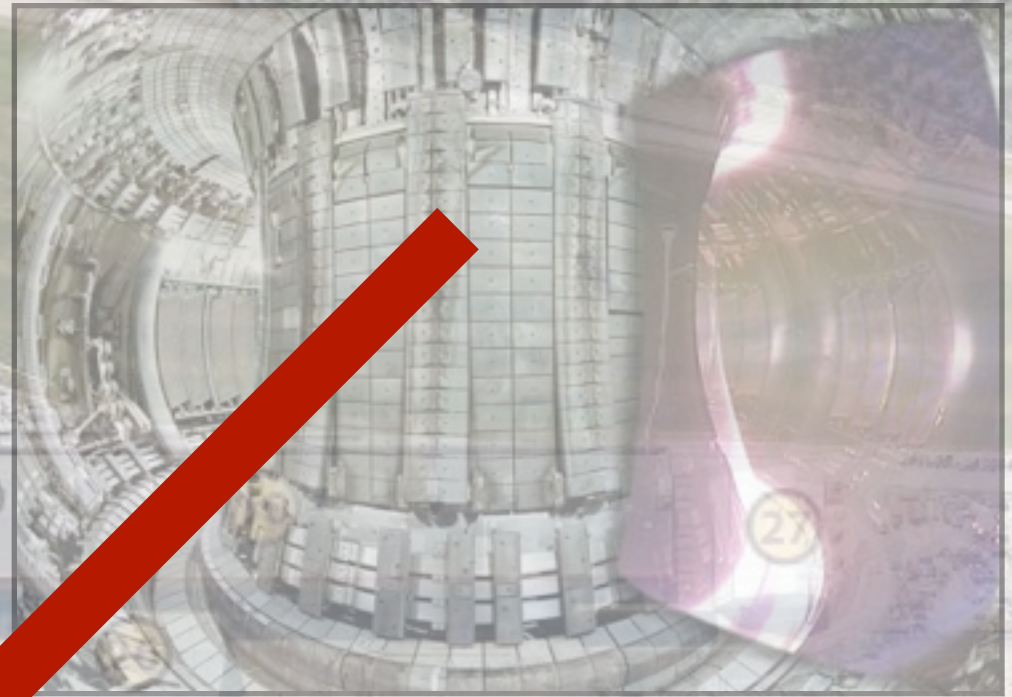






ITER Beginn der Assembly Phase: 28.07.2020











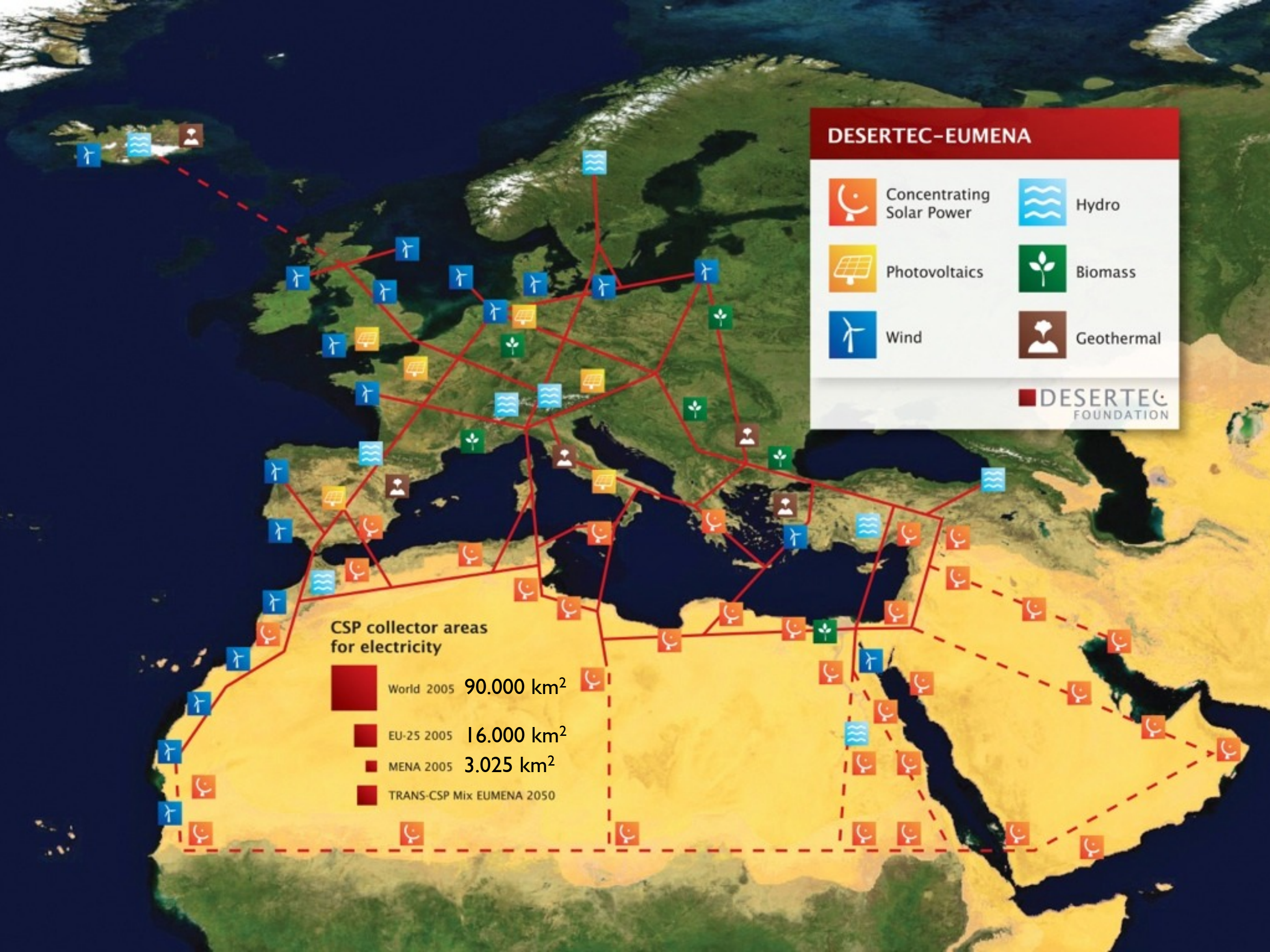
# DESERTEC-EUMENA

-  Concentrating Solar Power
-  Hydro
-  Photovoltaics
-  Biomass
-  Wind
-  Geothermal

 DESERTEC FOUNDATION

**CSP collector areas for electricity**

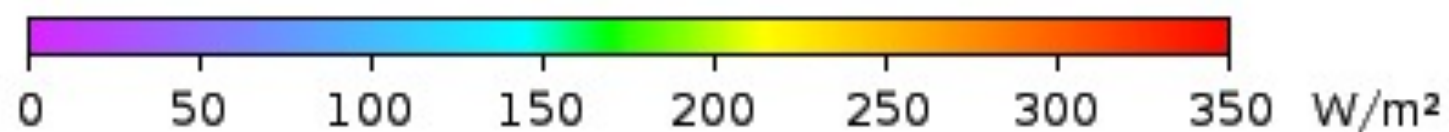
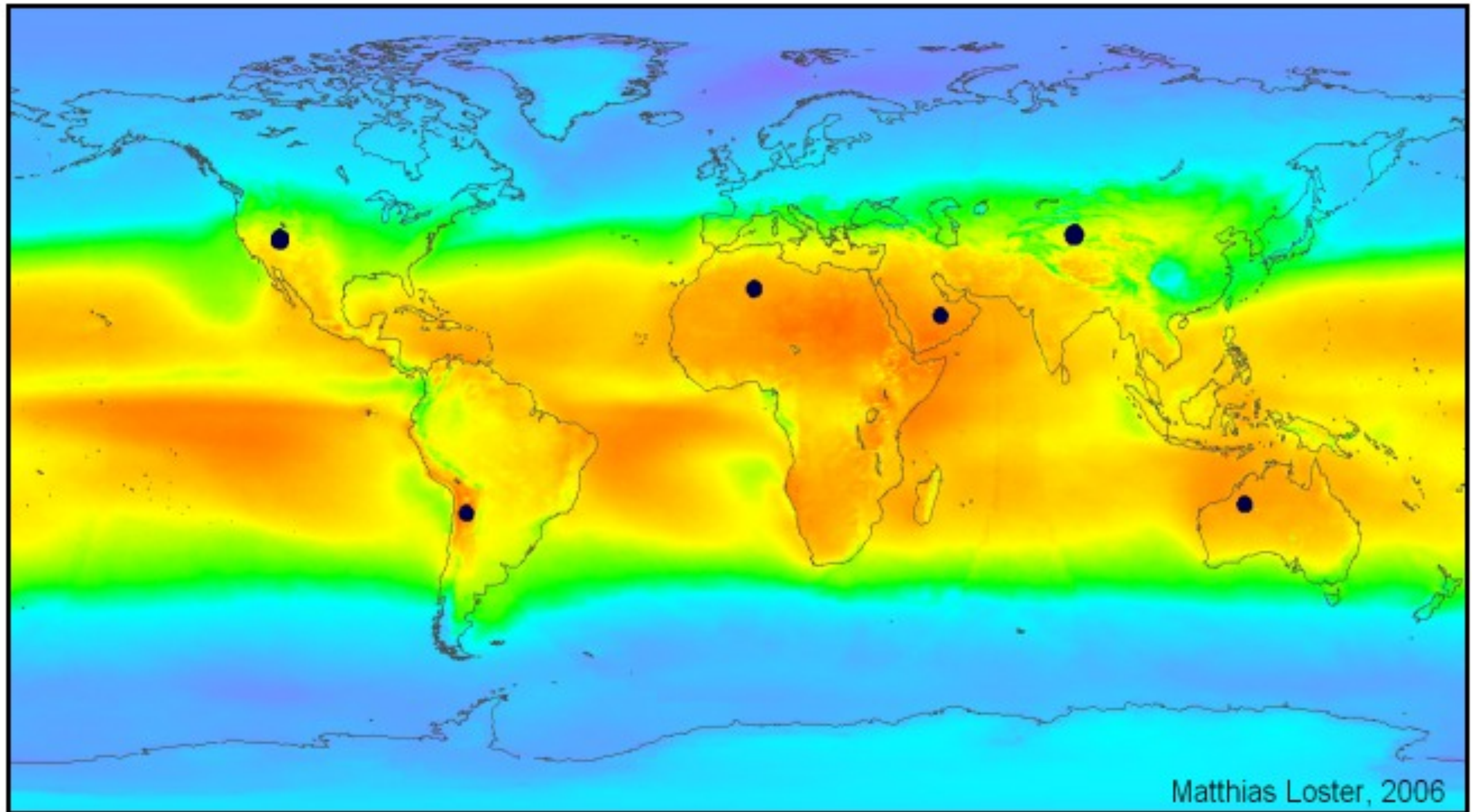
-  World 2005 90.000 km<sup>2</sup>
-  EU-25 2005 16.000 km<sup>2</sup>
-  MENA 2005 3.025 km<sup>2</sup>
-  TRANS-CSP Mix EUMENA 2050





# Sonnenenergie

- Solarthermie



$\Sigma \bullet = 18 \text{ TWe}$



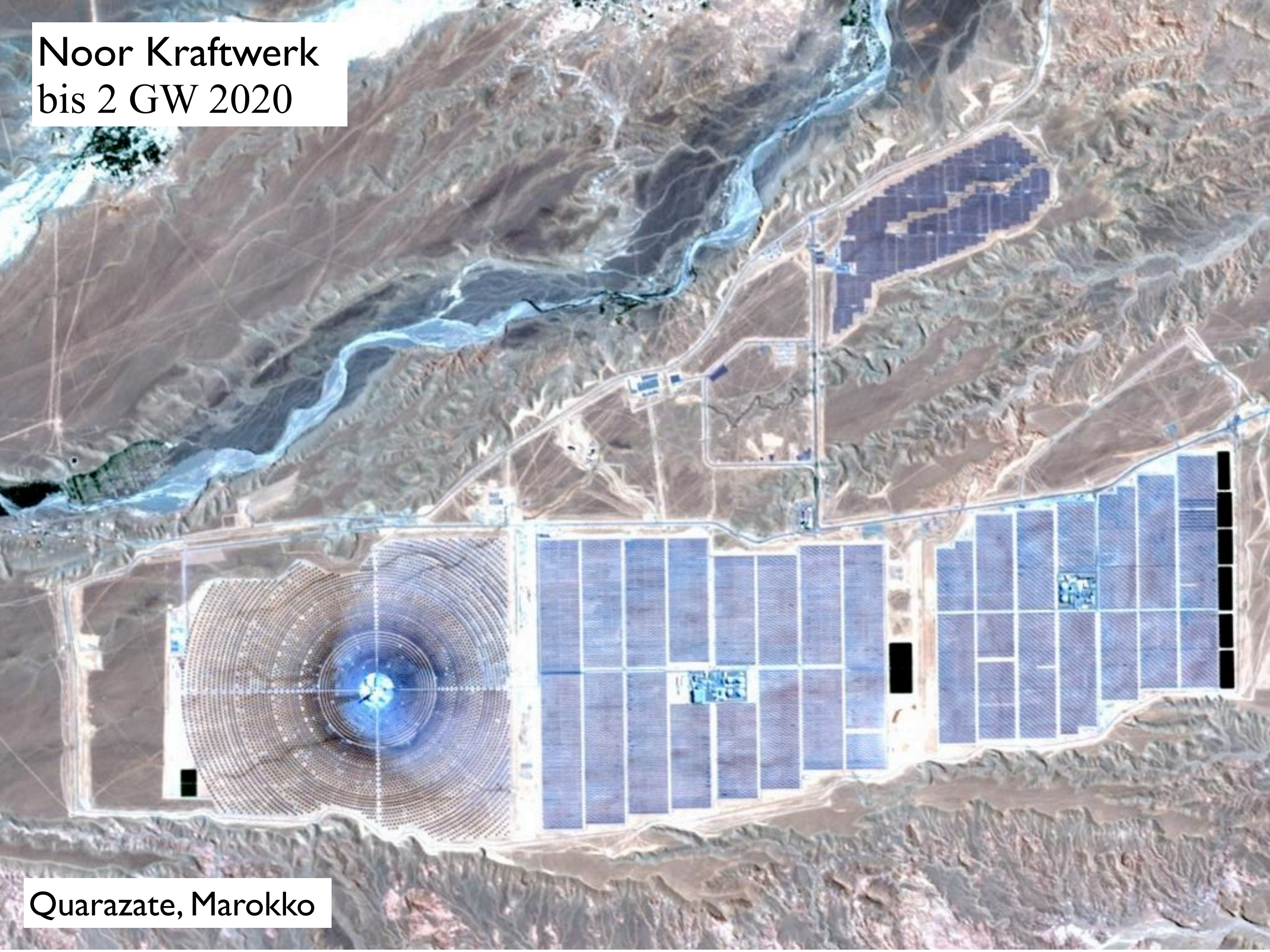
PS10 & PS20  
Kraftwerke  
11 + 20 MW



Sevilla, Spanien



Noor Kraftwerk  
bis 2 GW 2020



Quarazate, Marokko



# Photovoltaik

Stromerzeugung durch photoelektrischen Effekt

(Albert Einstein 1905, Nobelpreis 1921)

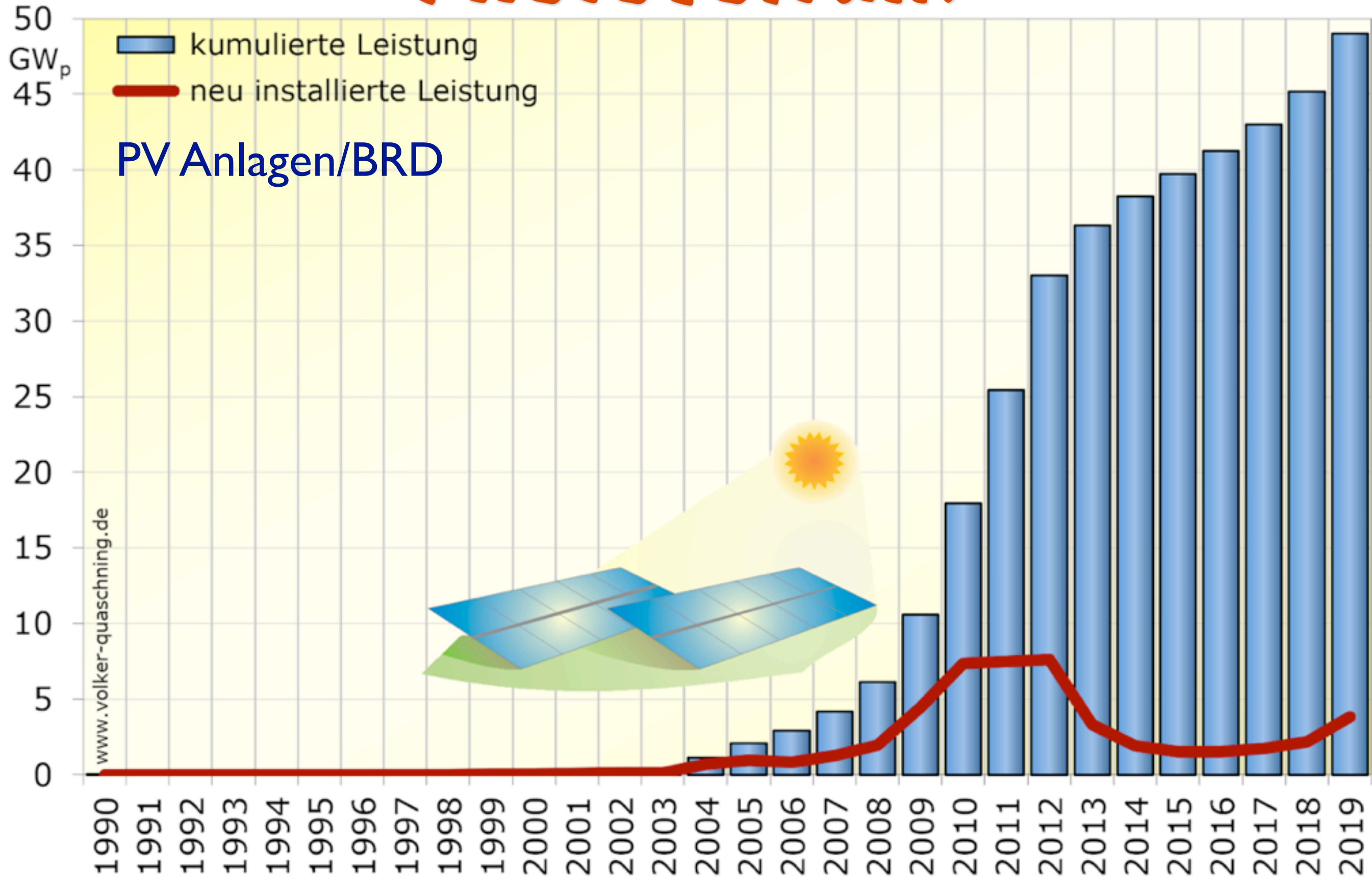
mit photovolatischen Zellen  
(= Solarzellen)

- Silizium Module  
(mono-, polykristallin)
- Wirkungsgrad  $\sim 20\%$
- Stromerzeugung auch  
auch bei schwächerer  
Sonneneinstrahlung





# Photovoltaik

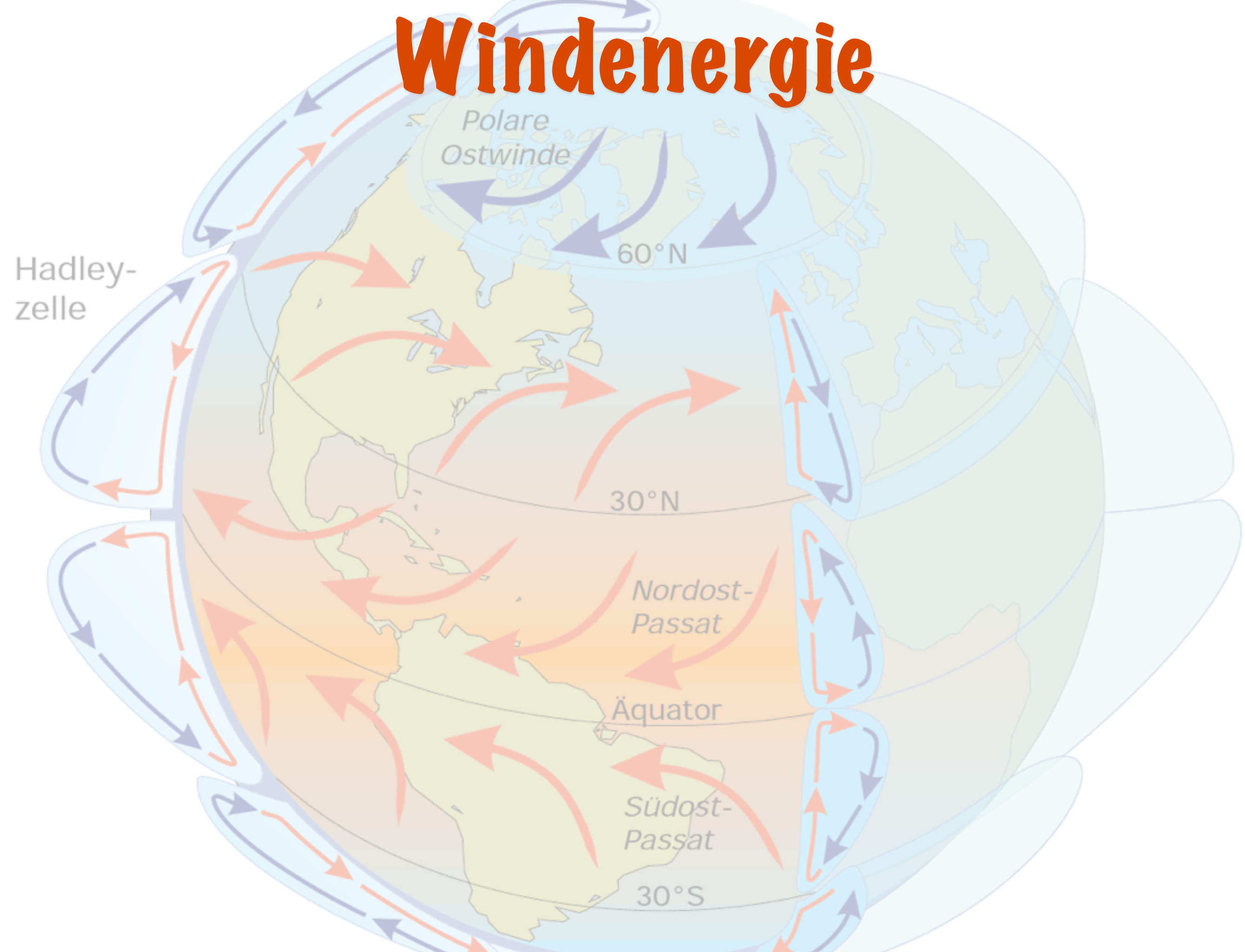


PV Anlagen/BRD

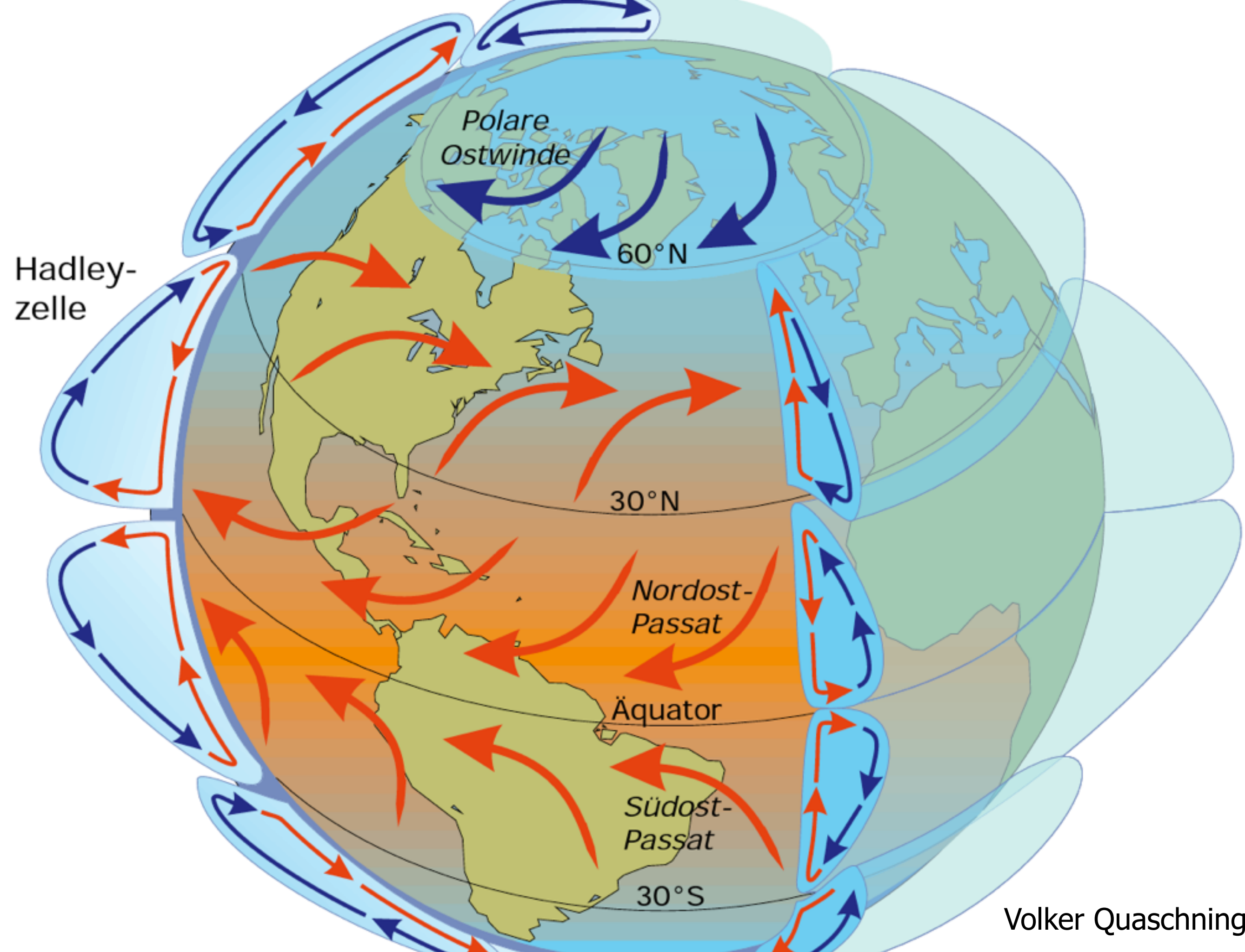
www.volker-quaschnig.de



# Windenergie









# SCIENTIFIC AMERICAN

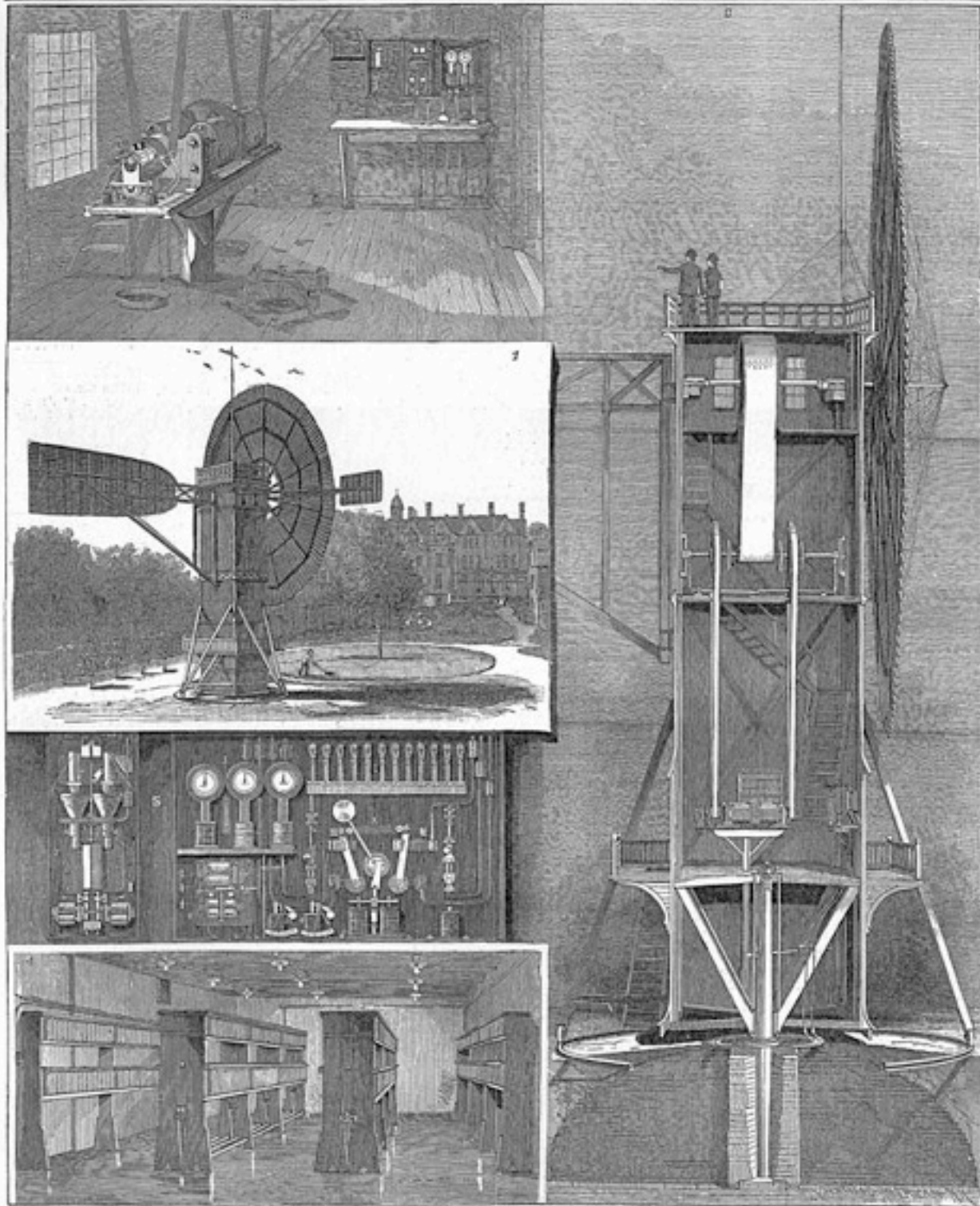
[Printed at the Post Office of New York, N. Y., as Second Class Matter. Copyright, 1891, by Munn & Co.]

A WEEKLY JOURNAL OF PRACTICAL INFORMATION, ART, SCIENCE, MECHANICS, CHEMISTRY, AND MANUFACTURES.

Vol. LXIII.—No. 51.  
Established 1831.

NEW YORK, DECEMBER 20, 1890.

[\$2.00 A YEAR.  
Weekly.]



1. Windmill in the park. 2. Vertical section of the tower. 3. Dynamo. 4. Storage battery. 5. Regulating apparatus.  
THE WINDMILL DYNAMO AND ELECTRIC LIGHT PLANT OF MR. CHARLES F. BRUSH, CLEVELAND, O.—[See page 889.]



Windmühle Bergedorf von 1831

Windkraftanlage von Charles Brush 1888, Cleveland, Ohio





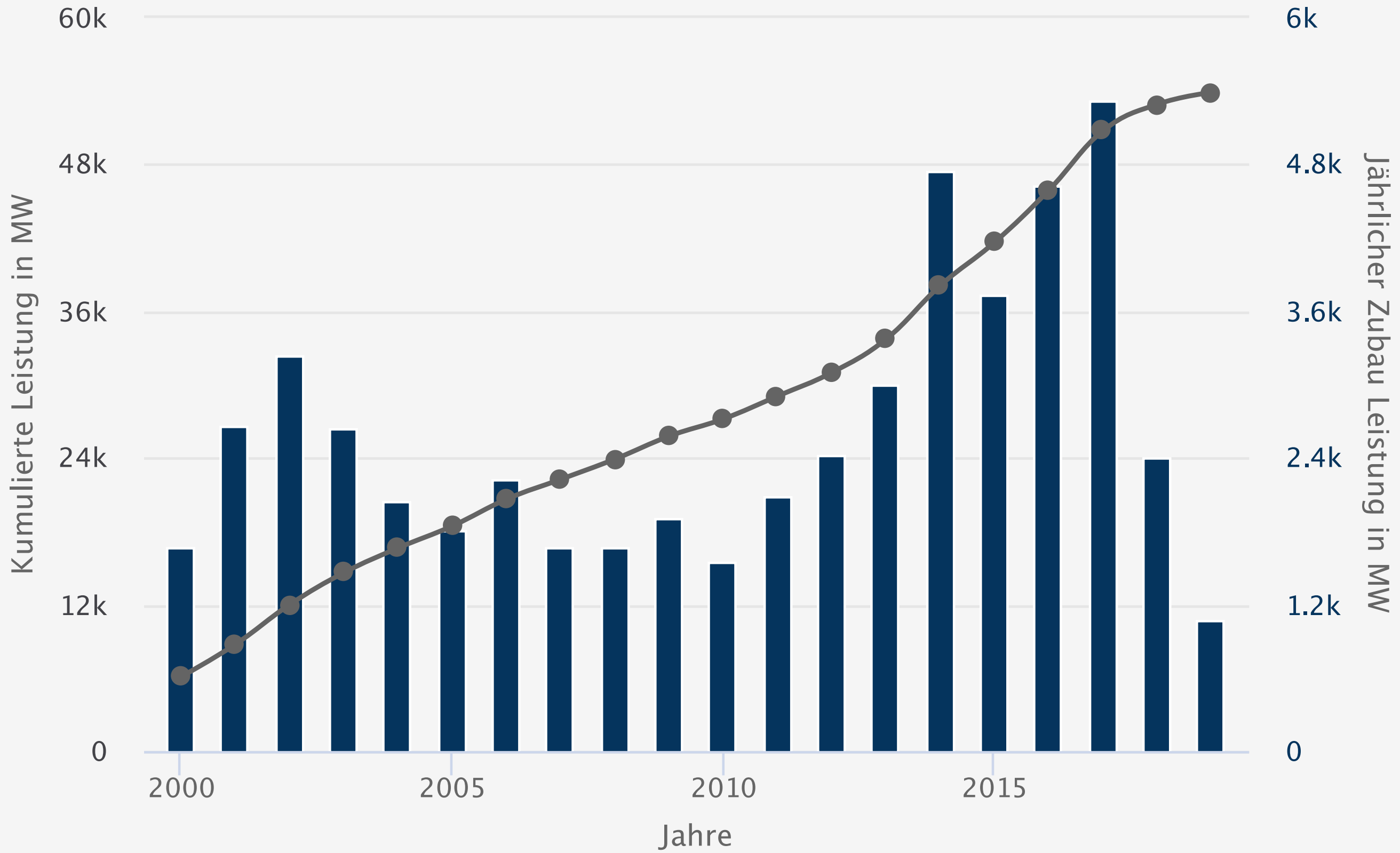
Veja Mate, Nordsee, ca. 400 MW



Stöben-Teuchern ca. 177 MW



# Onshore, installierte Leistung 2019: 54 GW





# Offshore, installierte Leistung 2019: 7.5 GW

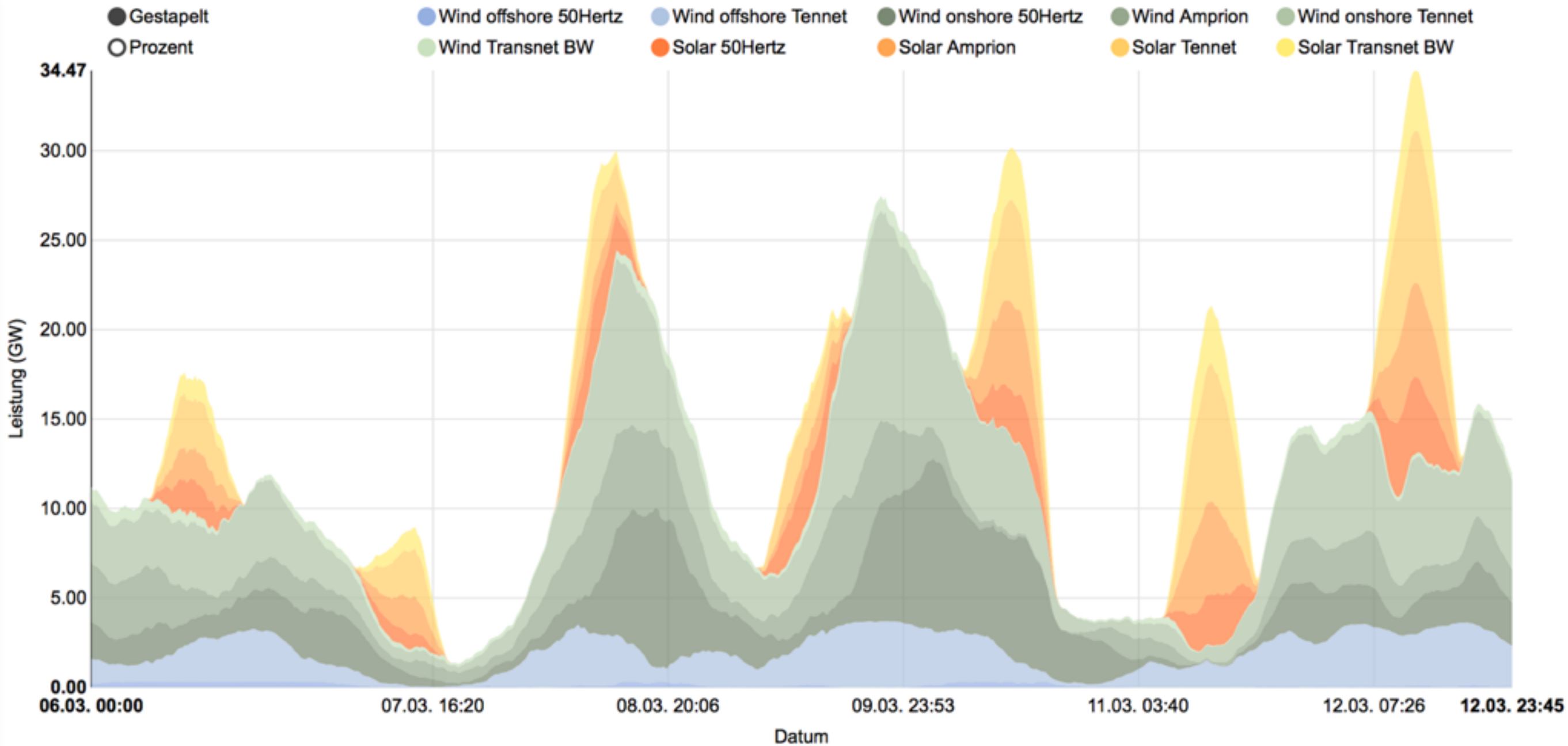


### LEISTUNG DER OFFSHORE-WINDENERGIEANLAGEN NORD-/OSTSEE

MIT NETZEINPEISUNG	112 MW
INSTALLIERT OHNE NETZEINPEISUNG	118 MW
IM BAU	0 MW
FINALE INVESTITIONSENTSCHEIDUNG	0 MW



# Transport & Speicher

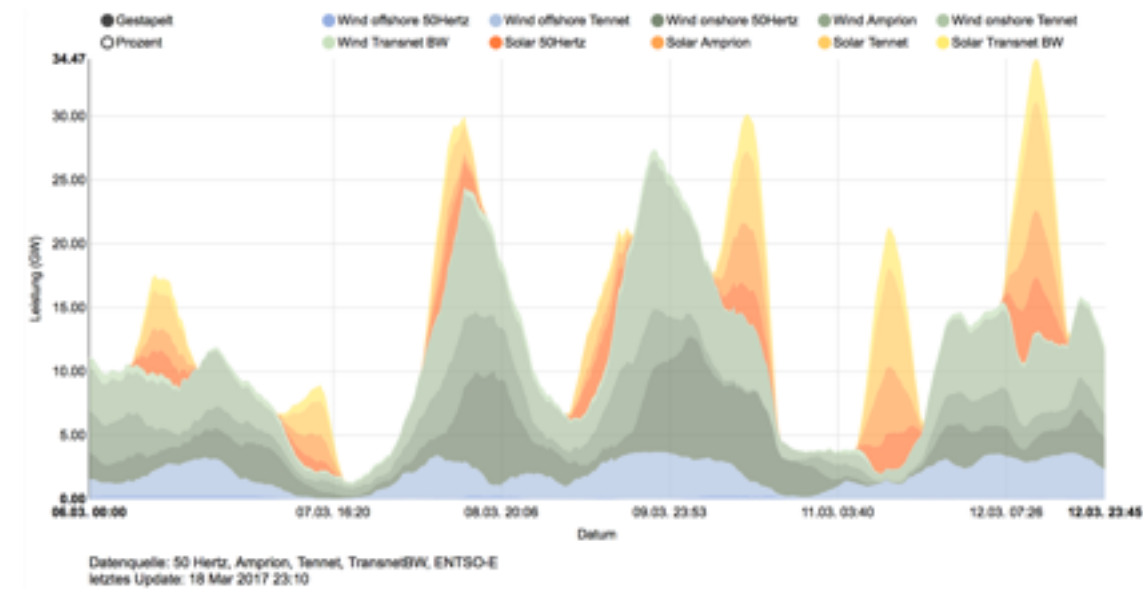
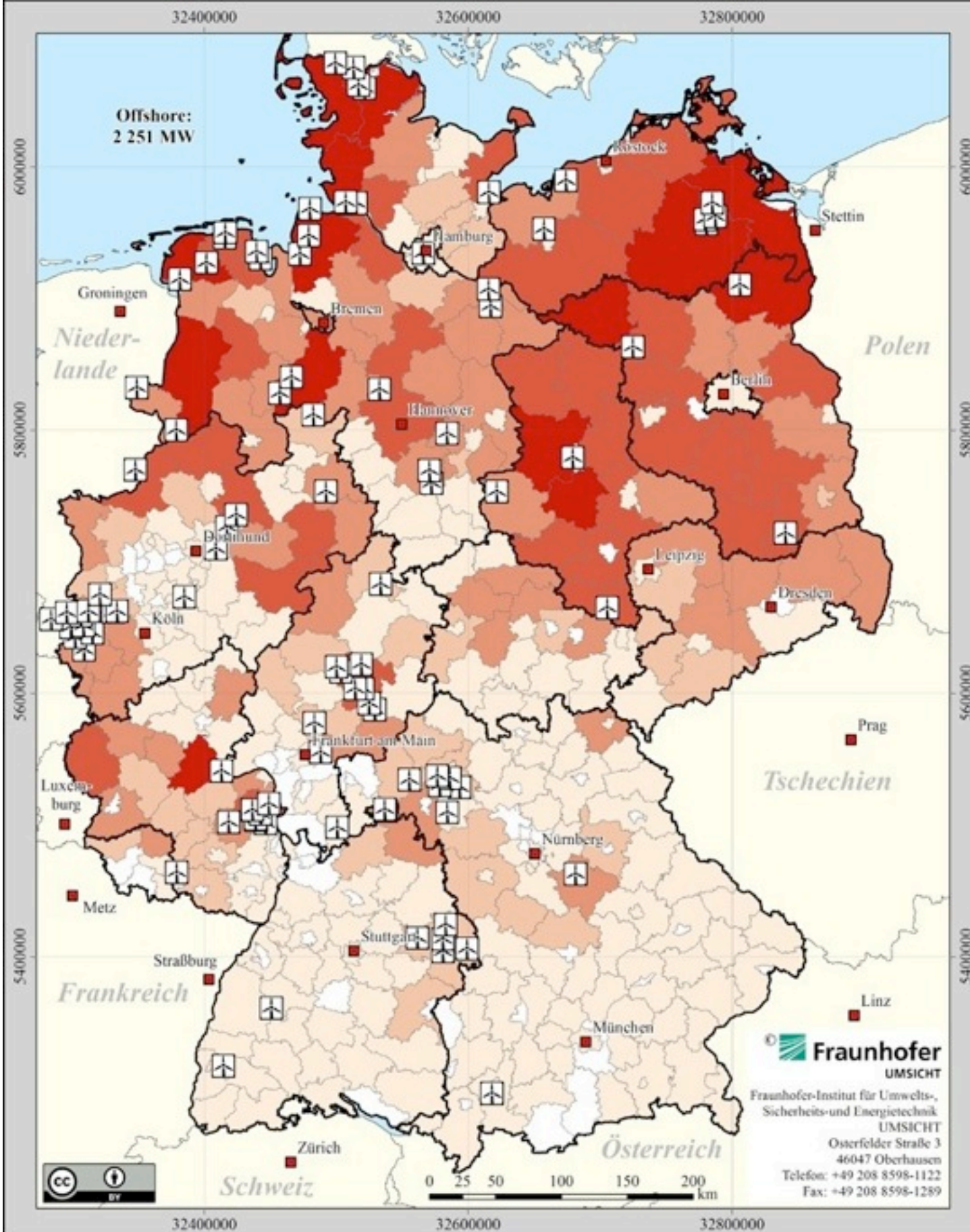


Datenquelle: 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, ENTSO-E  
letztes Update: 18 Mar 2017 23:10

## Stromproduktion März 2017



# Transport & Speicher

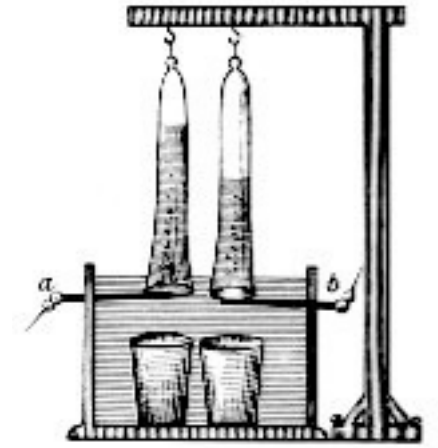


abgeregelter EE-Strom  
 ~ 4,5 TWh (2015)  
 ~ 3,7 TWh (2016)

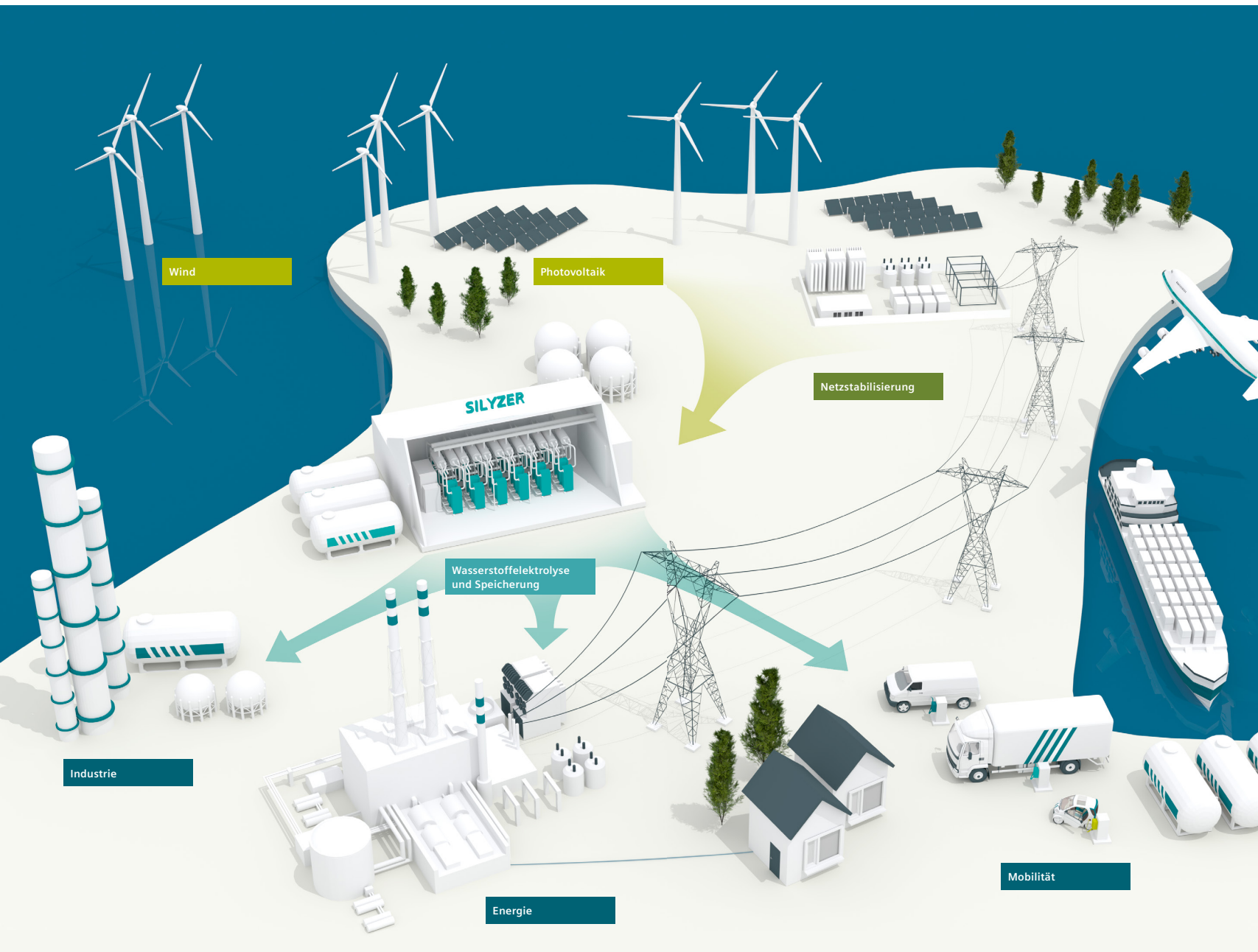
Bundesnetzagentur



# Power to Hydrogen



Johann Wilhelm  
Ritter um 1800

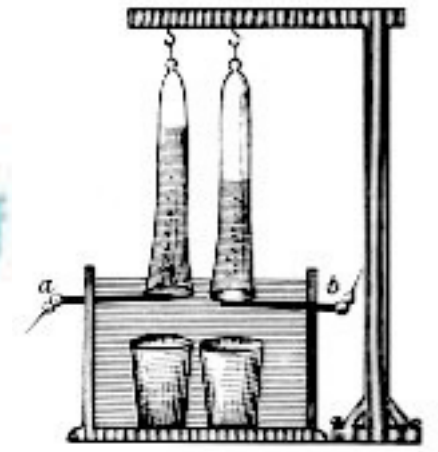
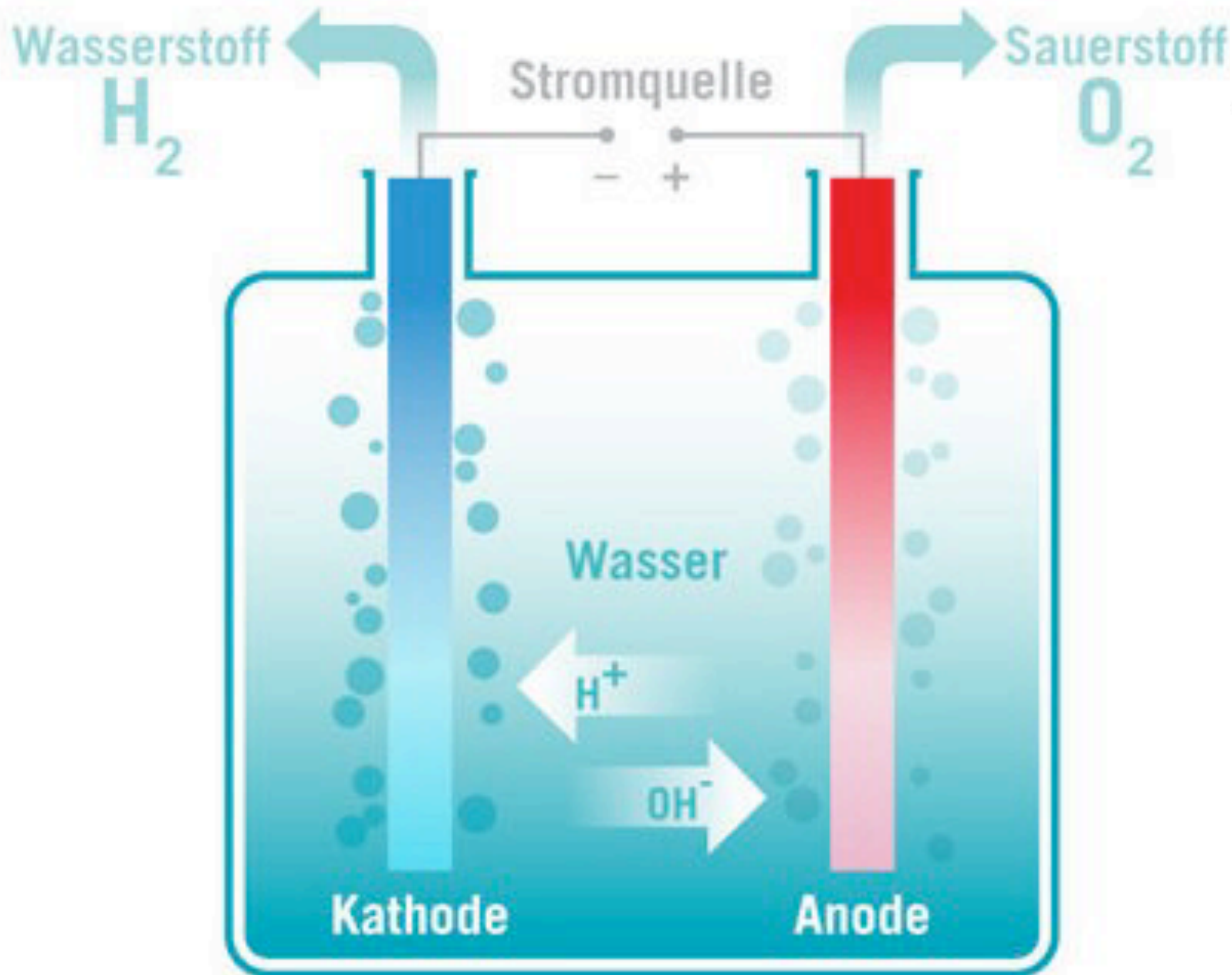


## Wasserstoff: $H_2$

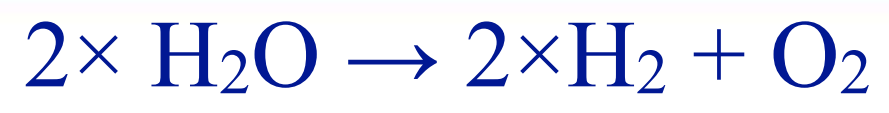
- flexible: storage /  
Mobilität / Wärme  
⇒ *Sektorkopplung*
- höchste Energiedichte:  
33,6 kWh/kg
- Netz vorhanden:  
Gasnetz (max. 5%)  
u.a. > 50% im Stadtgas



# Elektrolyse



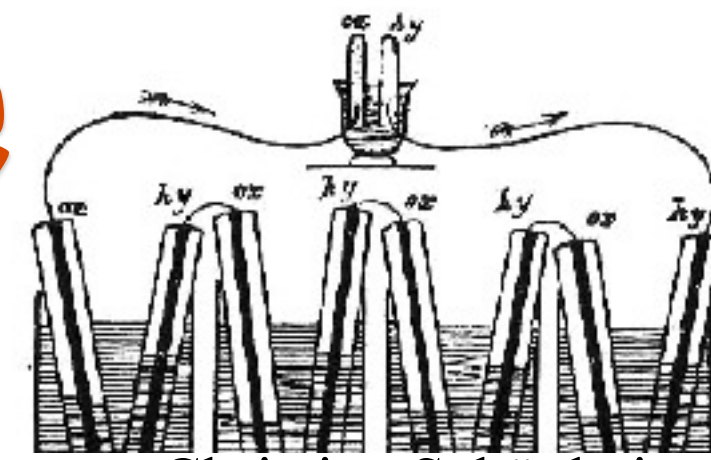
Johann Wilhelm Ritter um 1800



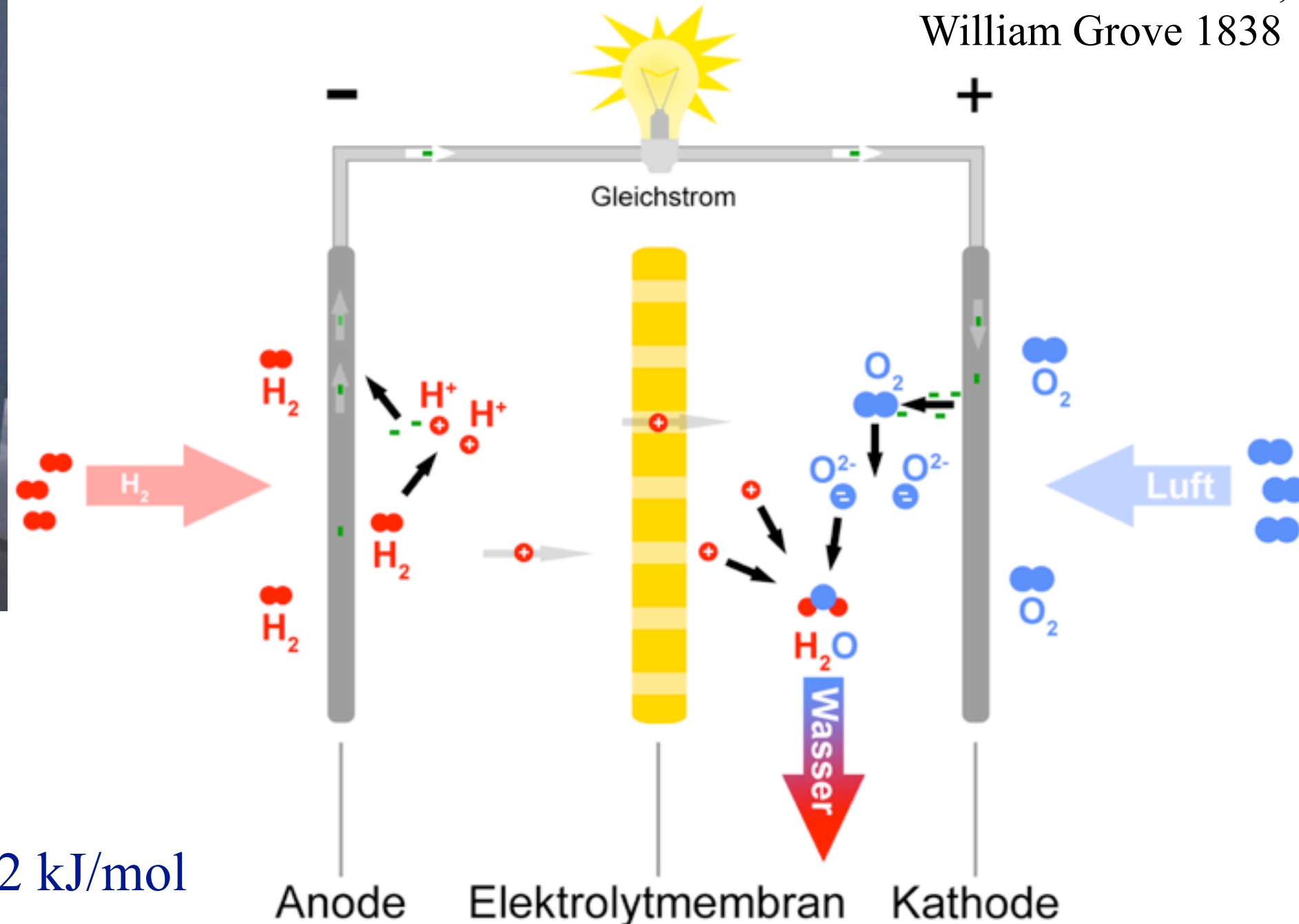
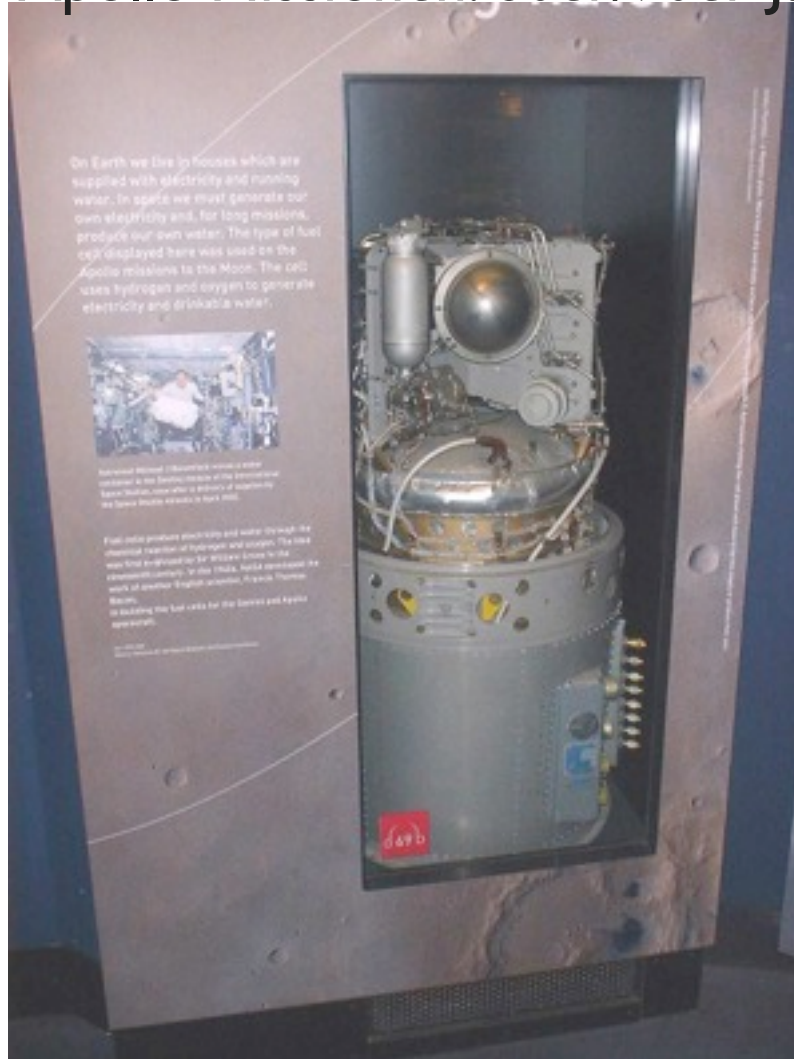


# Brennstoffzelle (fuel cell)

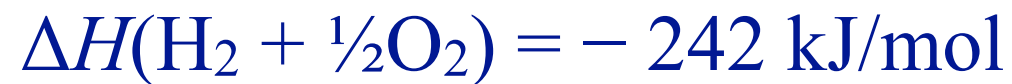
Apollo Missionen: 60er/70er Jahre



Christian Schönbein,  
William Grove 1838



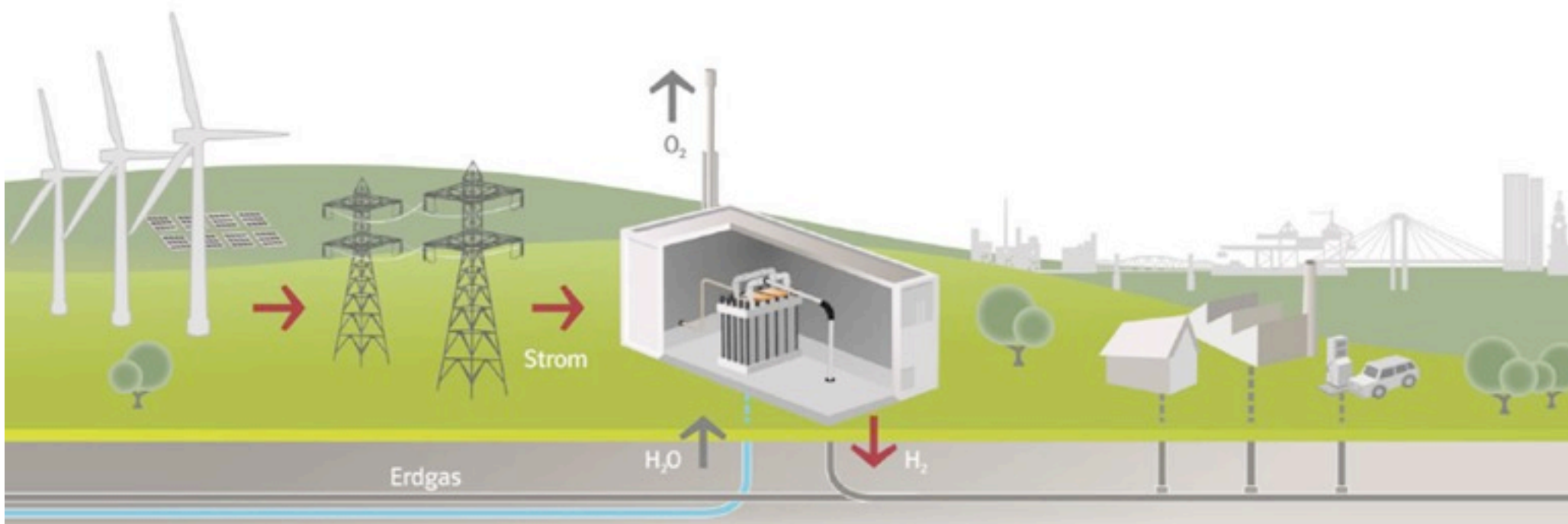
exothermer Prozess:



“kalte Verbrennung”



Wir speichern  
Grünstrom im Gasnetz



## Technologie vorhanden

Proton Exchange Membran  
(PEM) Elektrolyse:

- ~ 1 MW / Stack
- ~ 20 kg H<sub>2</sub>/h

\*z.B. SILYSER Siemens





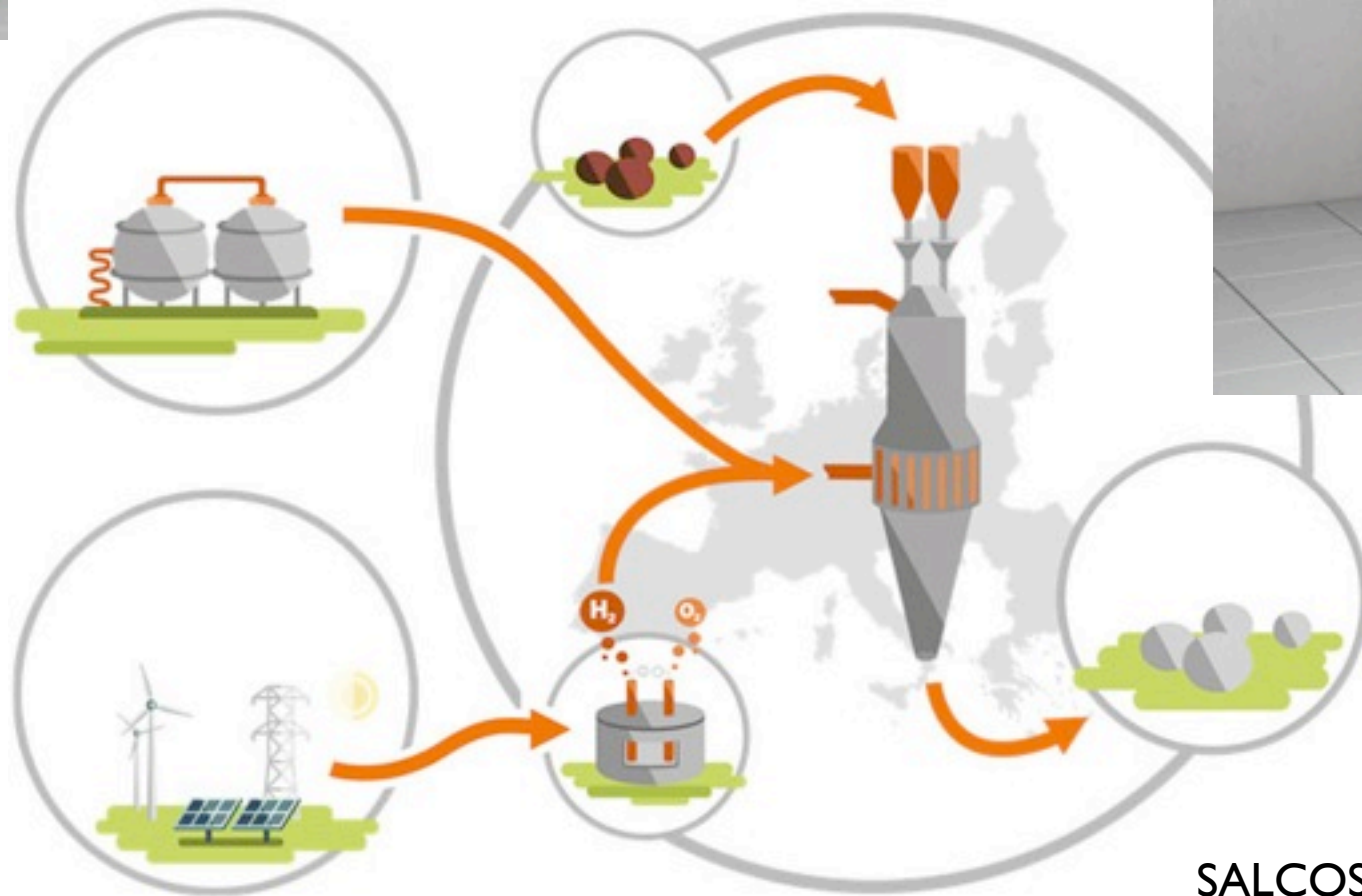
Mobilität

Wasserstoffstation HafenCity

# Sektor- kopplung

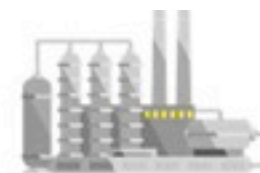
Wärme

Viessmann Vitovalor



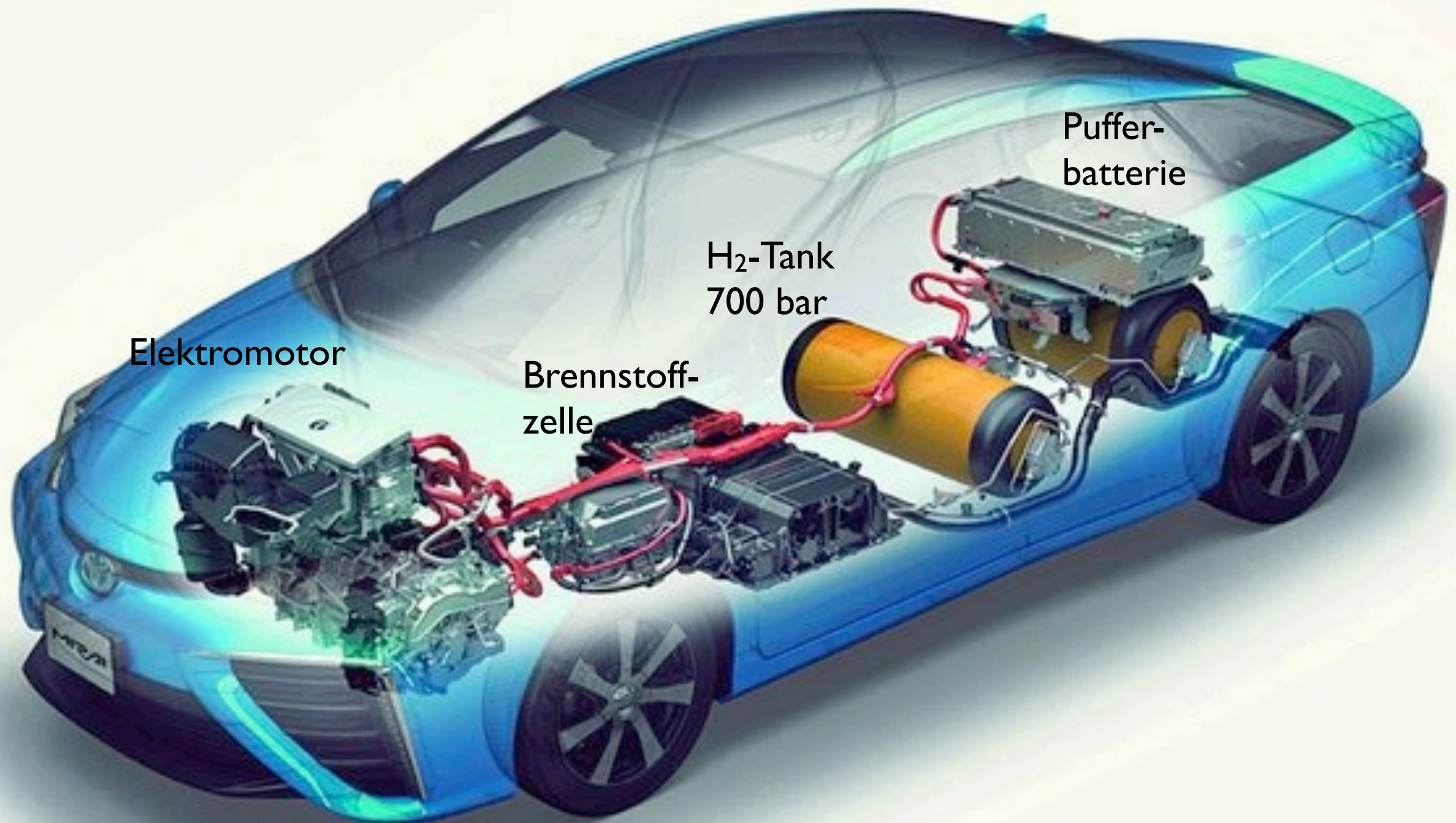
CDA  
up to 82%

Industrie





# Brennstoffzellen Fahrzeuge



Toyota Mirai, Fuel Cell Vehicle





The Telegraph, Andrew Crowley



# Brennstoffzellen Fahrzeuge

- keine CO<sub>2</sub> Emission
- keine Abgase ... nur Wasser
- keine Verbrennungsrückstände
- kein Gestank
- kaum Motorgeräusche
  
- kein Getriebe
- kein Anlasser
- einfacher Motor: **Elektromotor**
- bessere Beschleunigung
- ...





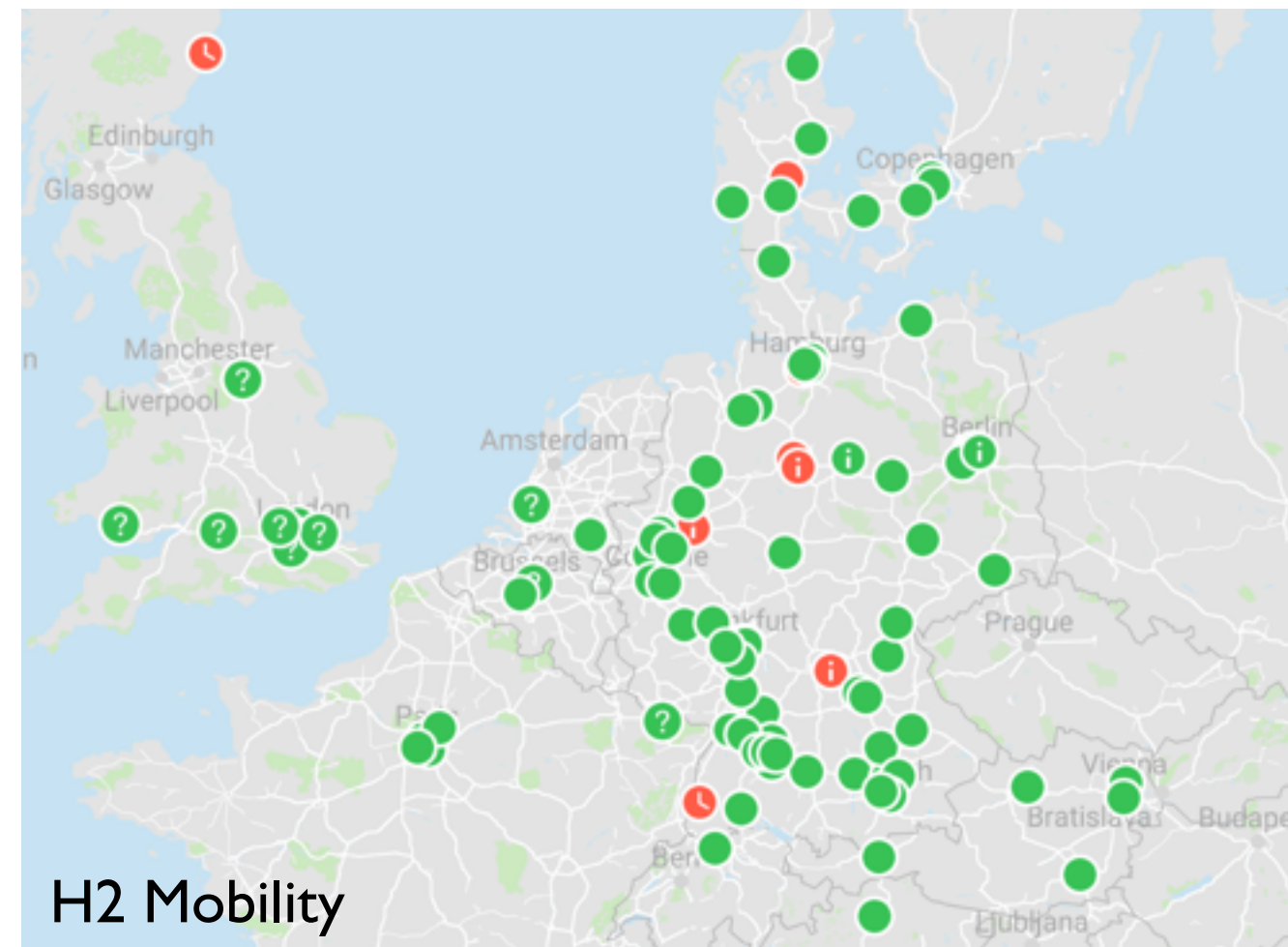
1919: Slaby-Beringer Elektroautos

das automobiler Zeitalter begann **elektrisch**



# Mobilität & Transport

- FCV (e.g., Toyota MIRAI, Hyundai NEXO/ix35)
- **Standard Einfüllstutzen** (e.g., WEH H70)
- **Standard Druck, PKW:** 700 bar,  
LKW: 350 bar
- ca. 85 H<sub>2</sub>-Tankstellen (2020)
- Japan 2020: 160 H<sub>2</sub>-Tankstellen  
40.000 FCV
- LKW: e.g. Nikola Motor
- Züge: e.g. Alstom 'Coradia'





# Mobilität & Transport

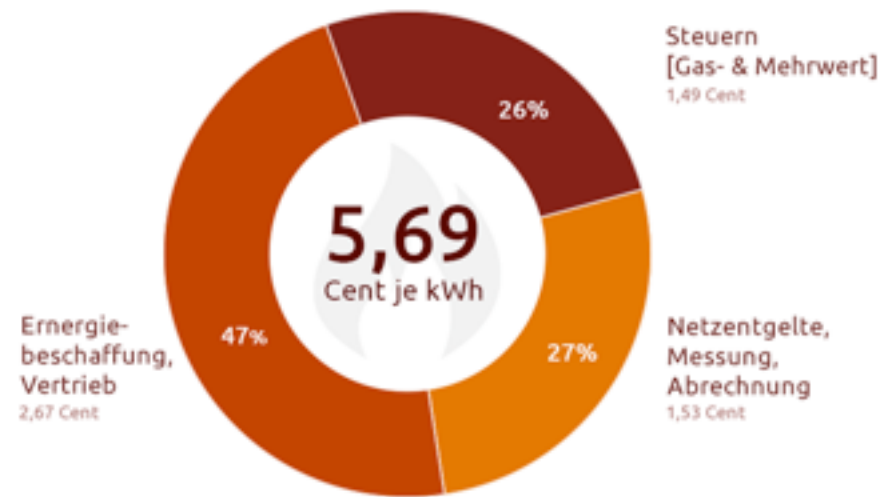




# Politische Energiekosten

## ZUSAMMENSETZUNG DES GASPREISES 2018

Durchschnittlicher Gaspreis für Haushaltskunden in Deutschland

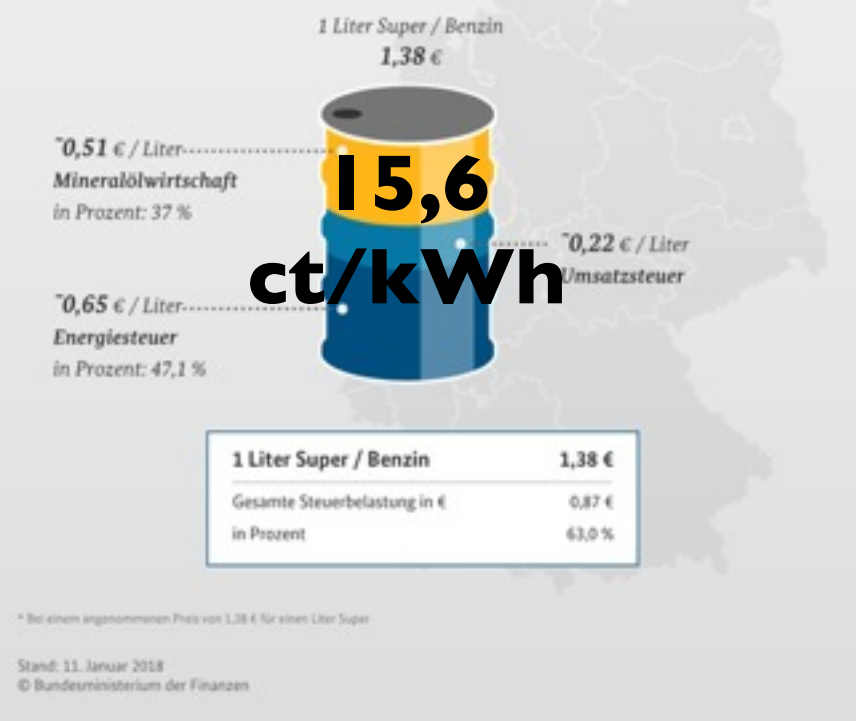


© 1-Gasvergleich.com

Daten: BDEW, Stand 2018

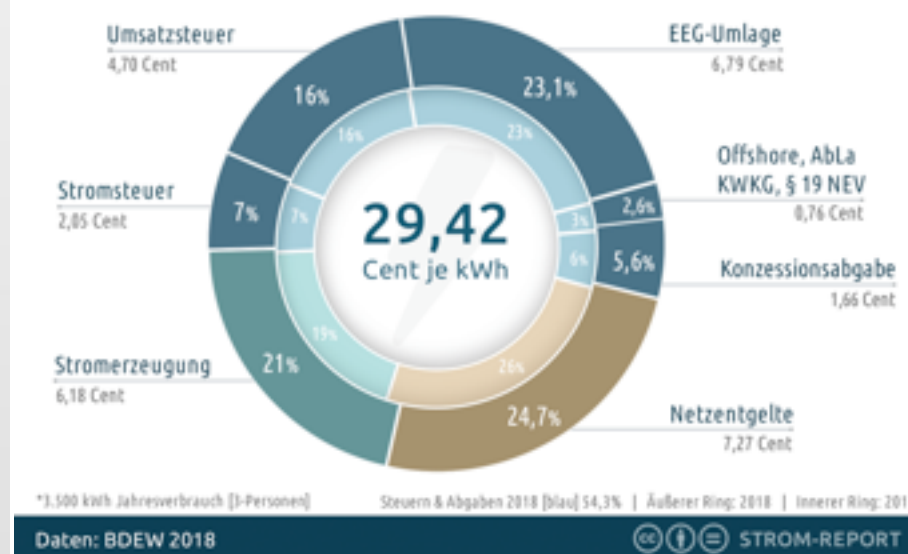
## Anteil Steuern am Benzinpreis in Deutschland

Wie setzt sich der Benzinpreis zusammen?\*



## STROMPREISZUSAMMENSETZUNG 2018

Durchschnittlicher Strompreis für Haushaltskunden in Deutschland\*



Erdgas

5 - 7 ct/kWh

Benzin

12 - 16 ct/kWh

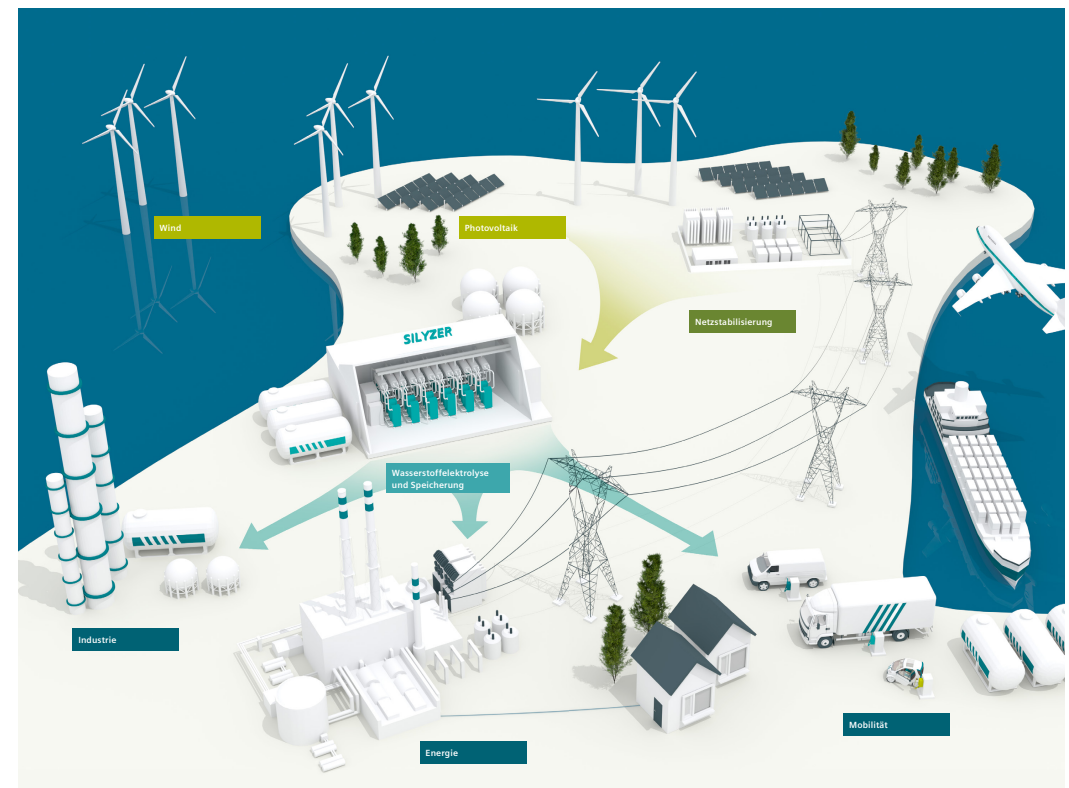
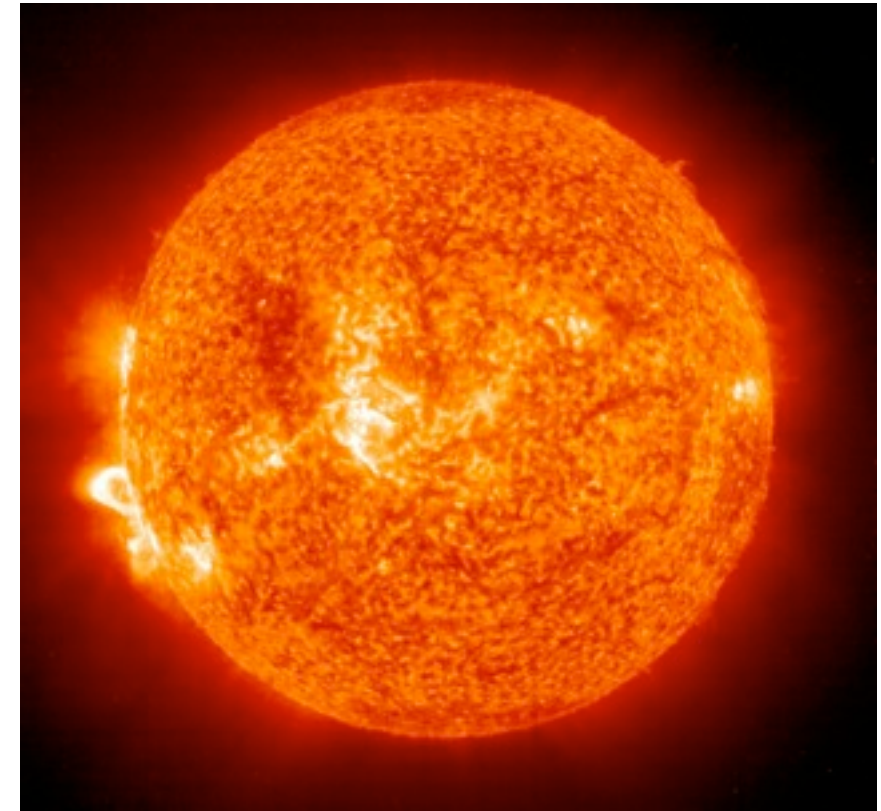
Strom

~ 30 ct/kWh



# Fazit

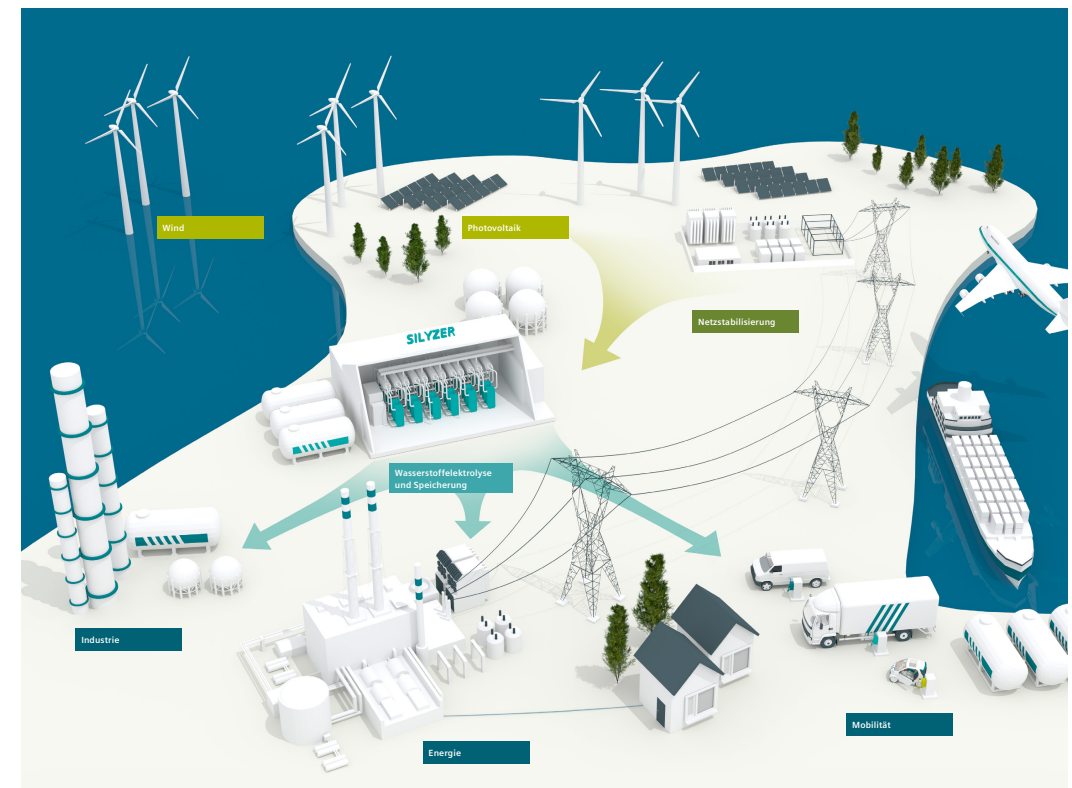
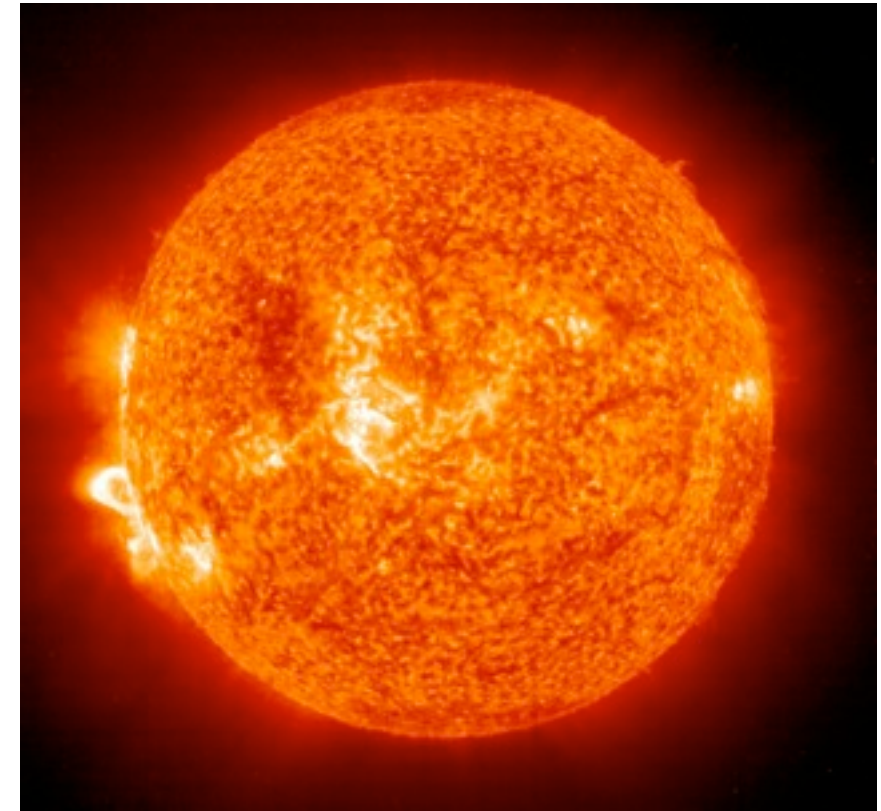
- “regenerative” Energiequelle *existiert*:  
**Sonne**
- Technologie zur Nutzarmachung  
*existiert* (Solarkraftwerke, Windkraft, ...)
- Versorgungsnetzwerk (Leitung, H<sub>2</sub>, ...) muss weiter ausgebaut werden
- Politische / wirtschaftliche / gesellschaftliche Weichenstellung **nicht** ausreichend





# Fazit

- “regenerative” Energiequelle *existiert*:  
**Sonne**
- Technologie zur Nutzarmachung  
*existiert* (Solarkraftwerke, Windkraft, ...)
- Versorgungsnetzwerk (Leitung, H<sub>2</sub>, ...) muss weiter ausgebaut werden
- Politische / wirtschaftliche / gesellschaftliche Weichenstellung **nicht** ausreichend



**Chancen nutzen !**