

# Regenerative Energien

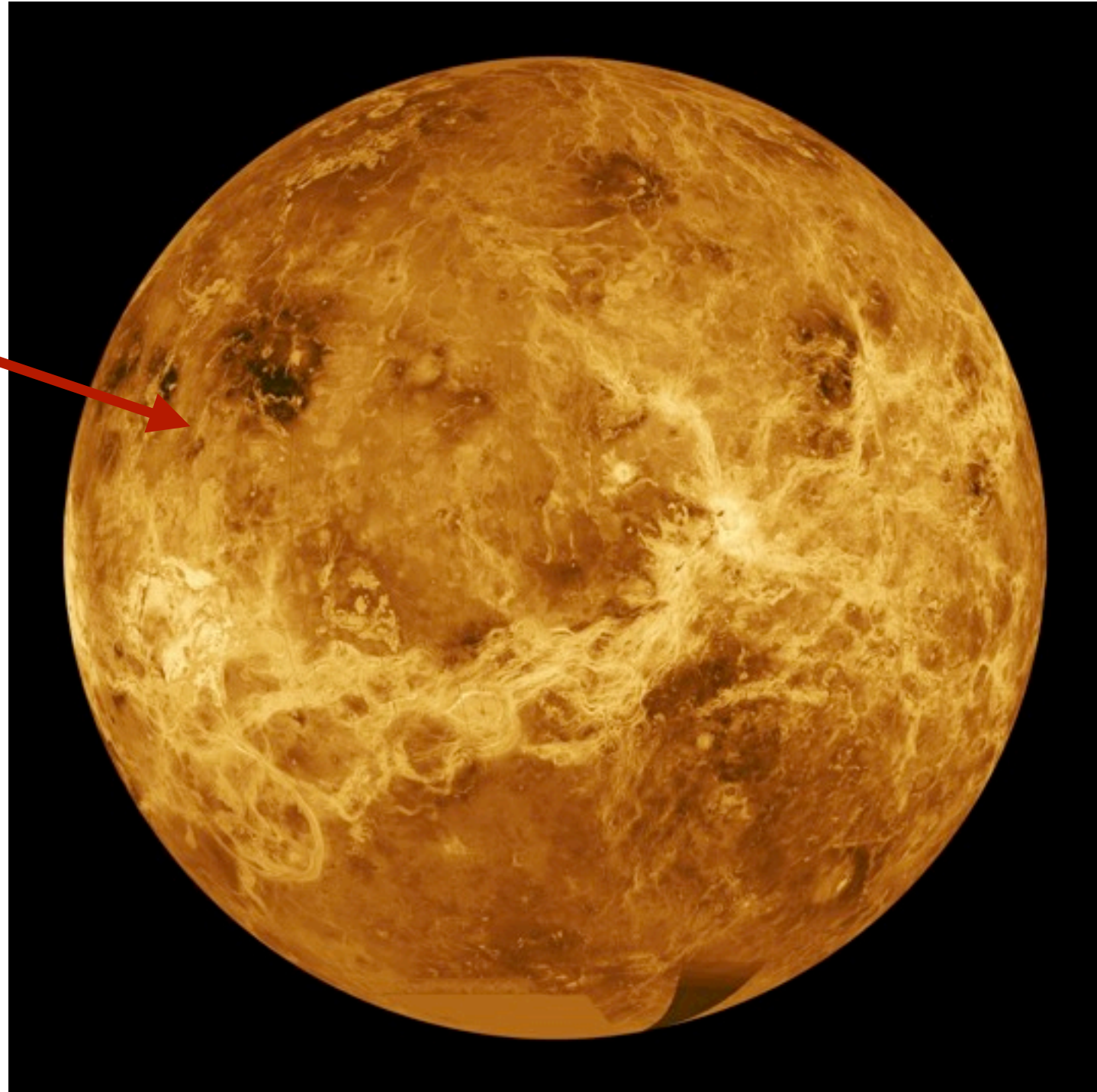
## Warum & Woher ?

Prof. Dr. Robi Banerjee  
Hamburger Sternwarte

# Warum?



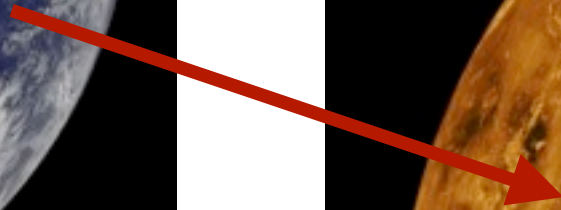
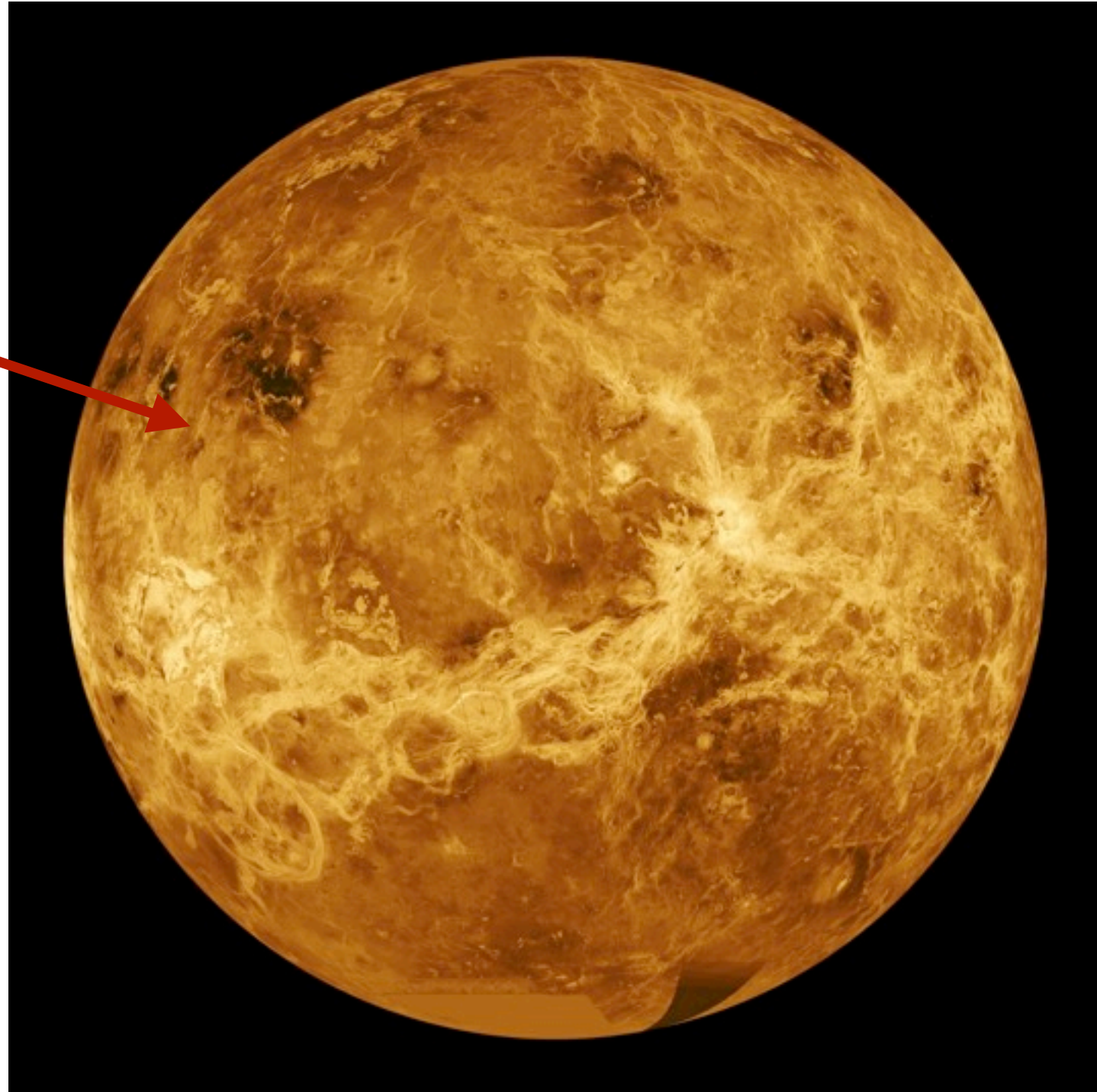
# Warum?



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



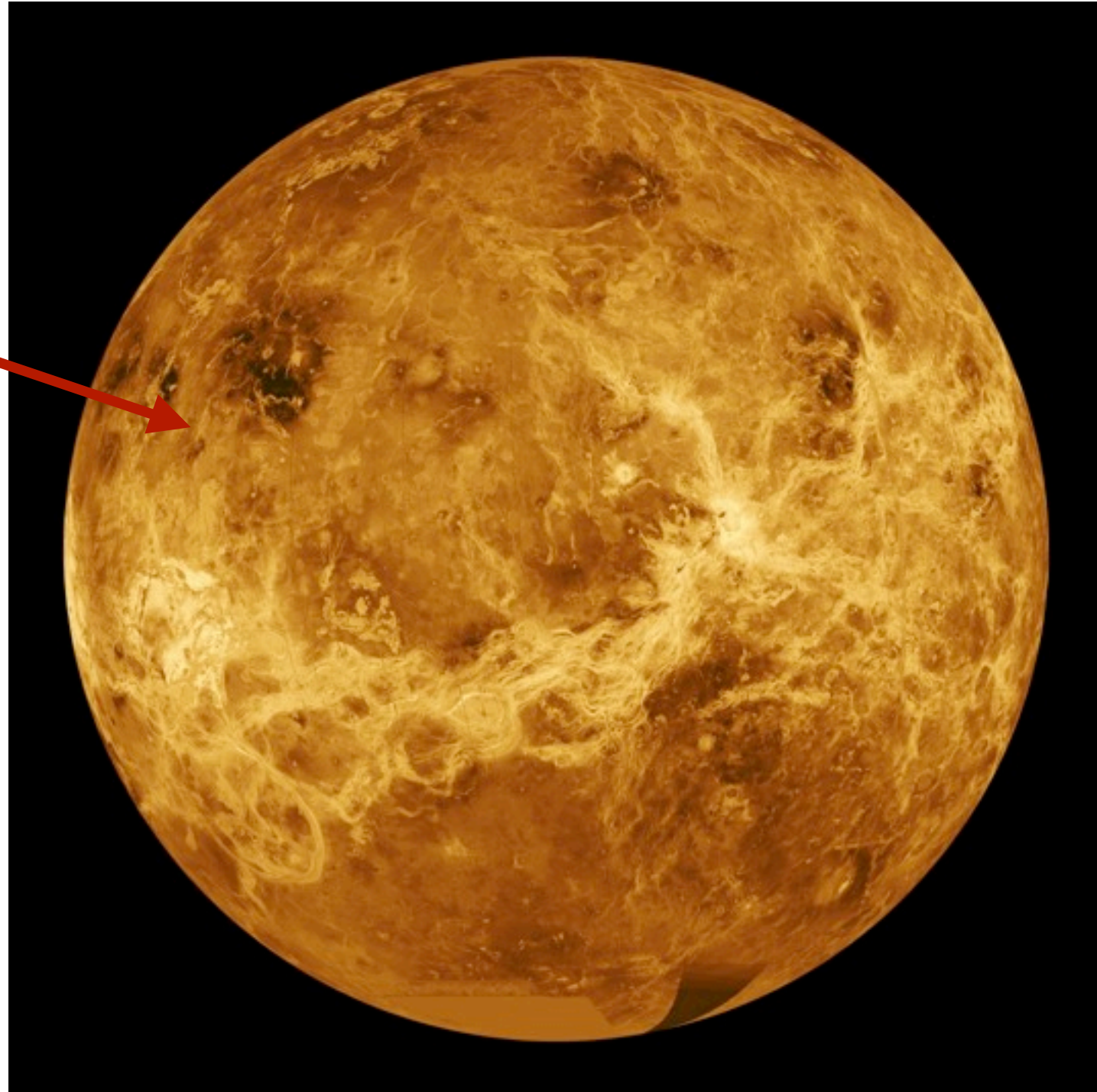
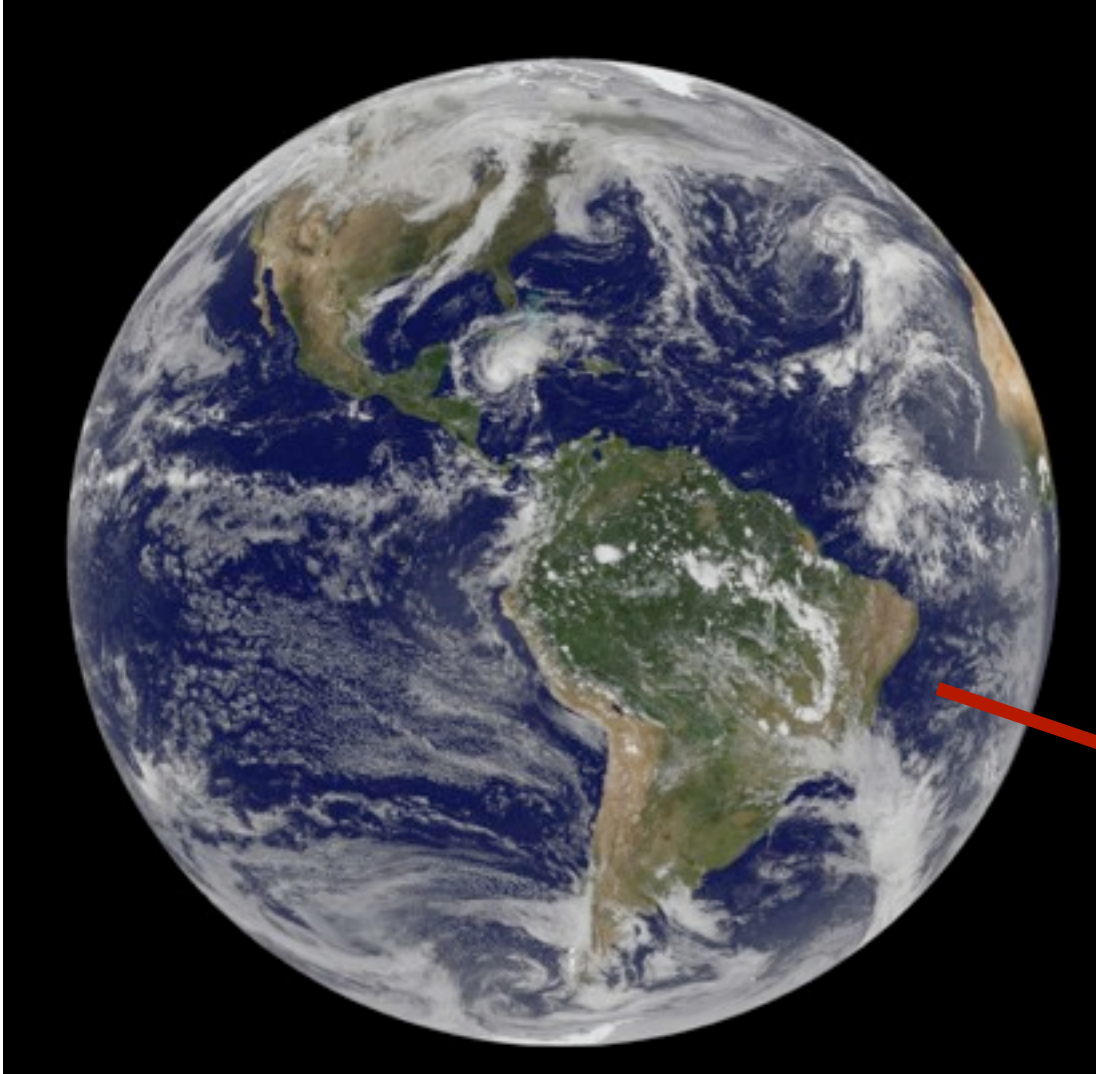
# Warum?



- Anthropogener Klimawandel
- Endliche Ressourcen



# Warum?



- Anthropogener Klimawandel
- Endliche Ressourcen
- Verantwortungsvoller Umgang



# Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Assessment Report 5 (AR5) 2014 Bericht Synthese:

## Beobachteter Klimawandel

Die **Erwärmung des Klimasystems ist eindeutig** und es ist *äußerst wahrscheinlich*<sup>1</sup>, dass der **menschliche Einfluss die Hauptursache** der beobachteten Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts war. Die bereits heute eingetretenen Klimaänderungen haben weitverbreitete Auswirkungen auf Mensch und Natur.

<sup>1</sup>äußerst wahrscheinlich = 95–100% (wissenschaftlich: Tatsache)



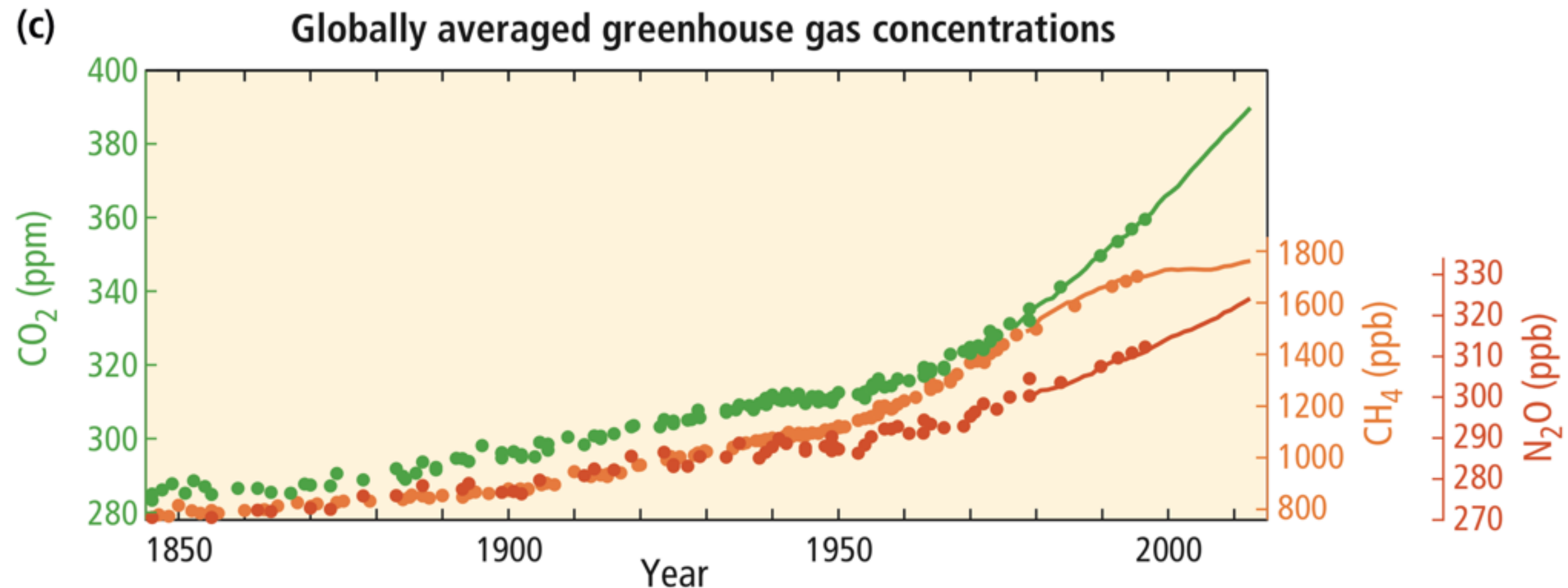


# Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Assessment Report 5 (AR5) 2014 Bericht Synthese:

## Ursachen des Klimawandels

Der **menschliche Einfluss** wurde in der Erwärmung der Atmosphäre und des Ozeans, in Veränderungen des globalen Wasserkreislaufs, in der Abnahme von Schnee und Eis und im Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels **nachgewiesen**. Auch einige Veränderungen von extremen Wetter- und Klimaereignissen wurden auf **menschlichen Einfluss zurückgeführt**.

# Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Assessment Report 5 (AR5) 2014 Bericht Synthese:





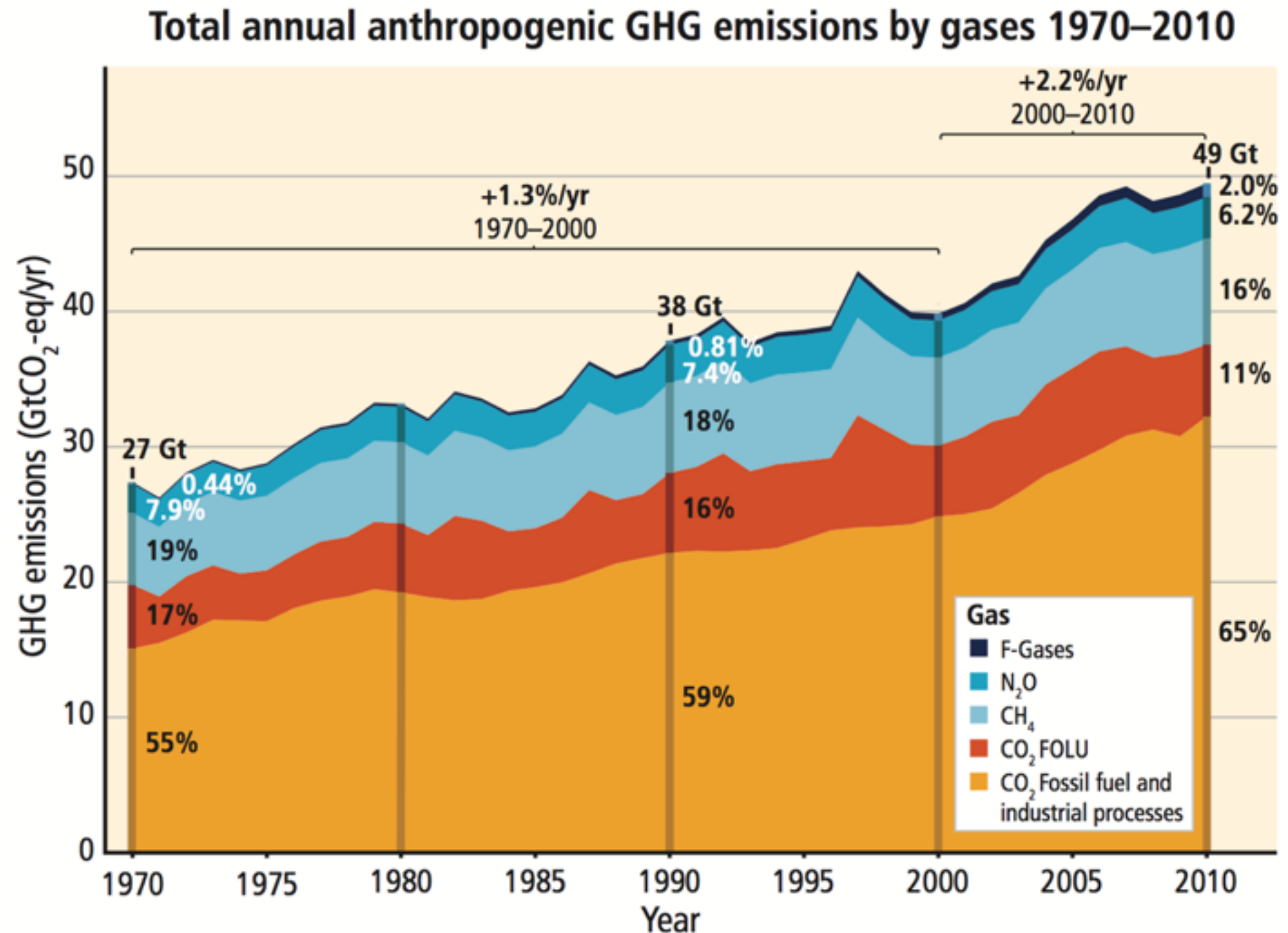
# Treibhauspotenzial / Global Warming Potential (GWP)

CO<sub>2</sub>-Äquivalente / CO<sub>2</sub>e

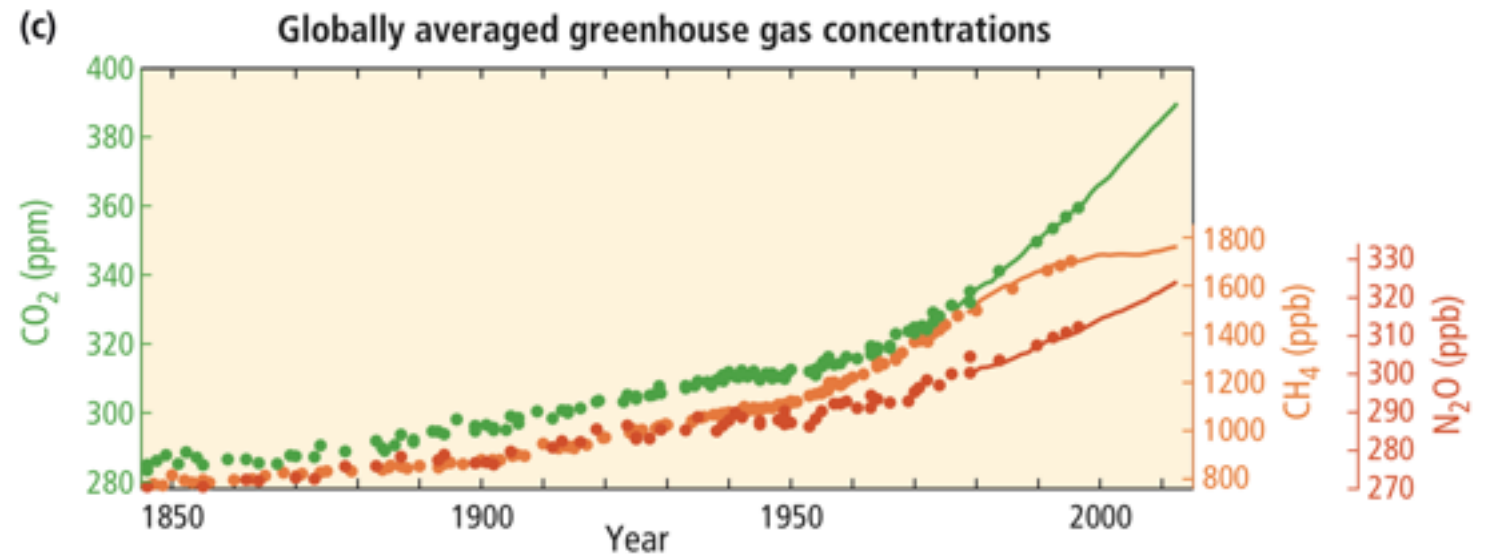
z.B.

- Methan (CH<sub>4</sub>) : 28
- Lachgas (N<sub>2</sub>O) : 265
- FCKWs : 14.000

(IPCC, AR5)

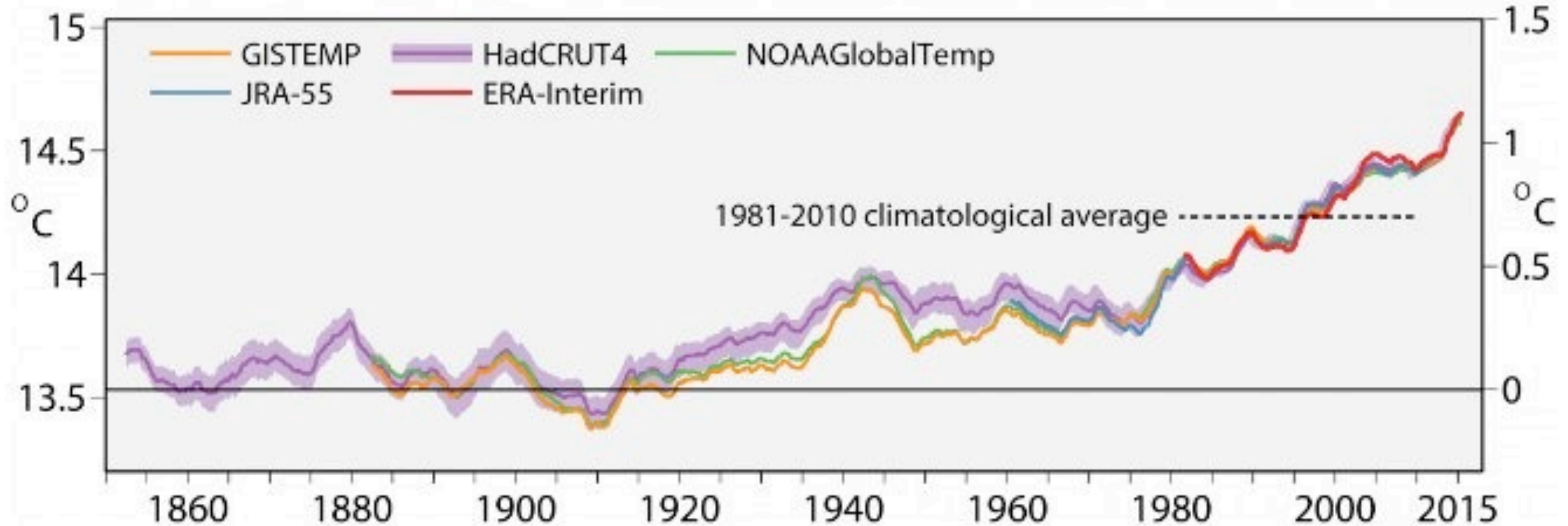


# Anthropogener Klimawandel



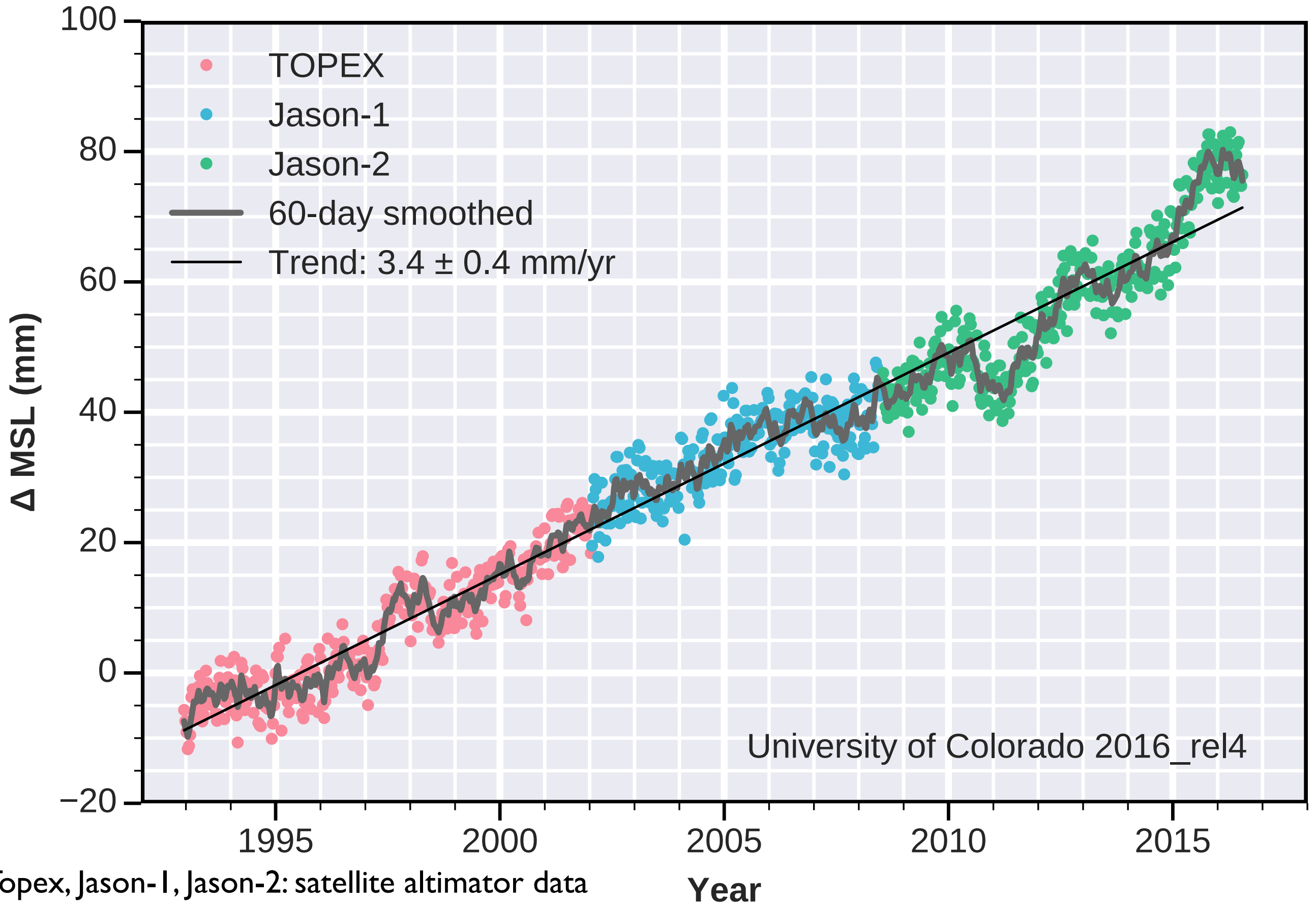
Global 60-month average temperature

Change over industrial era





# Anstieg der Meeresspiegel



# Meine CO<sub>2</sub>-Bilanz erfassen

Hilfe und Infos

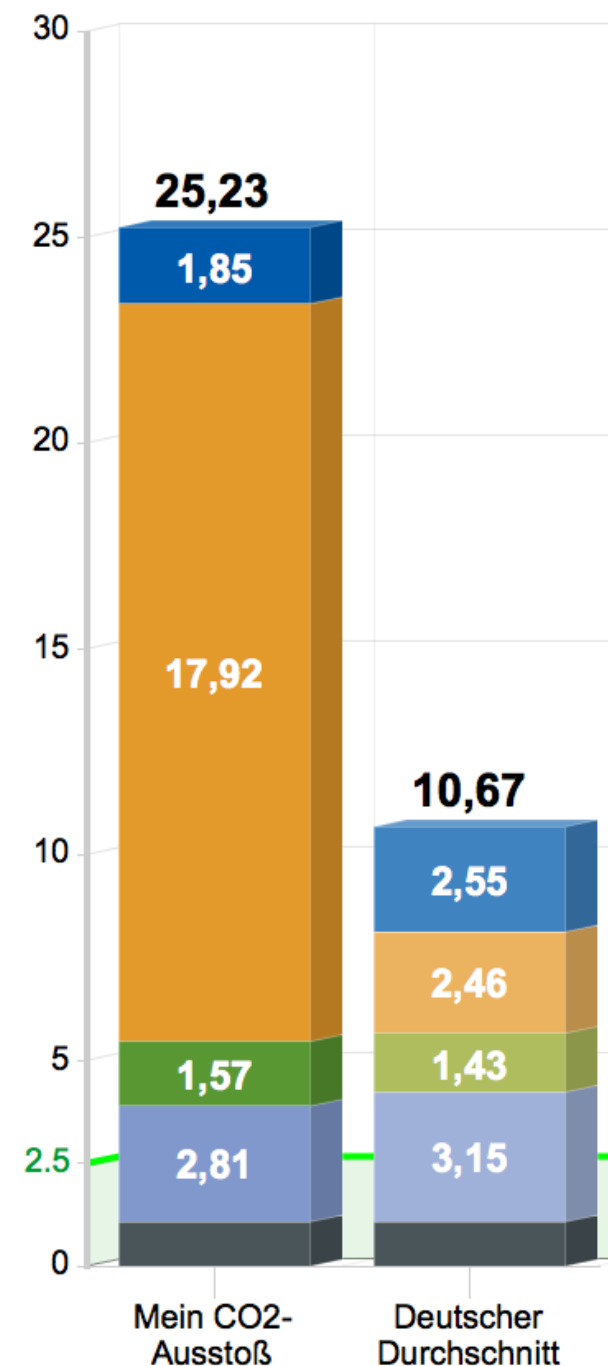
CO<sub>2</sub>-Äquivalente [t/Jahr]

Ein Tipp: **Erstellen Sie ein CO<sub>2</sub>-Konto** und speichern Sie Ihre Ergebnisse. So können Sie Ihr Ergebnis dokumentieren und nachverfolgen.

Personen im Haushalt:	<b>2 Person(en)</b>	<input type="button" value="Einstellungen ändern"/>
Art der Erfassung:	<b>Einzelperson</b>	
Bezugsjahr:	<b>2016</b>	

Starten Sie eine neue Bilanz in der Kategorie Heizung.

	Einzelperson	Dt. Durchschnitt
<b>Heizung</b>	1,20 t	1,76 t
<b>Strom</b>	0,65 t	0,79 t
<b>Privatfahrzeug</b>	0,52 t	1,45 t
<b>Öffentlicher Verkehr</b>	0,26 t	0,13 t
<b>Flugverkehr</b>	17,14 t	0,88 t
<b>Ernährung</b>	1,57 t	1,43 t
<b>sonstiger Konsum</b>	2,81 t	3,15 t
<b>Öffentliche Emissionen</b>	1,08 t	1,08 t
<b>Ergebnis</b>	<b>25,23 t</b>	<b>10,67 t</b>
<b>Differenz</b>	<b>+14,56 t</b>	
<b>Verträgliche Quote</b>	<b>2,50 t</b>	



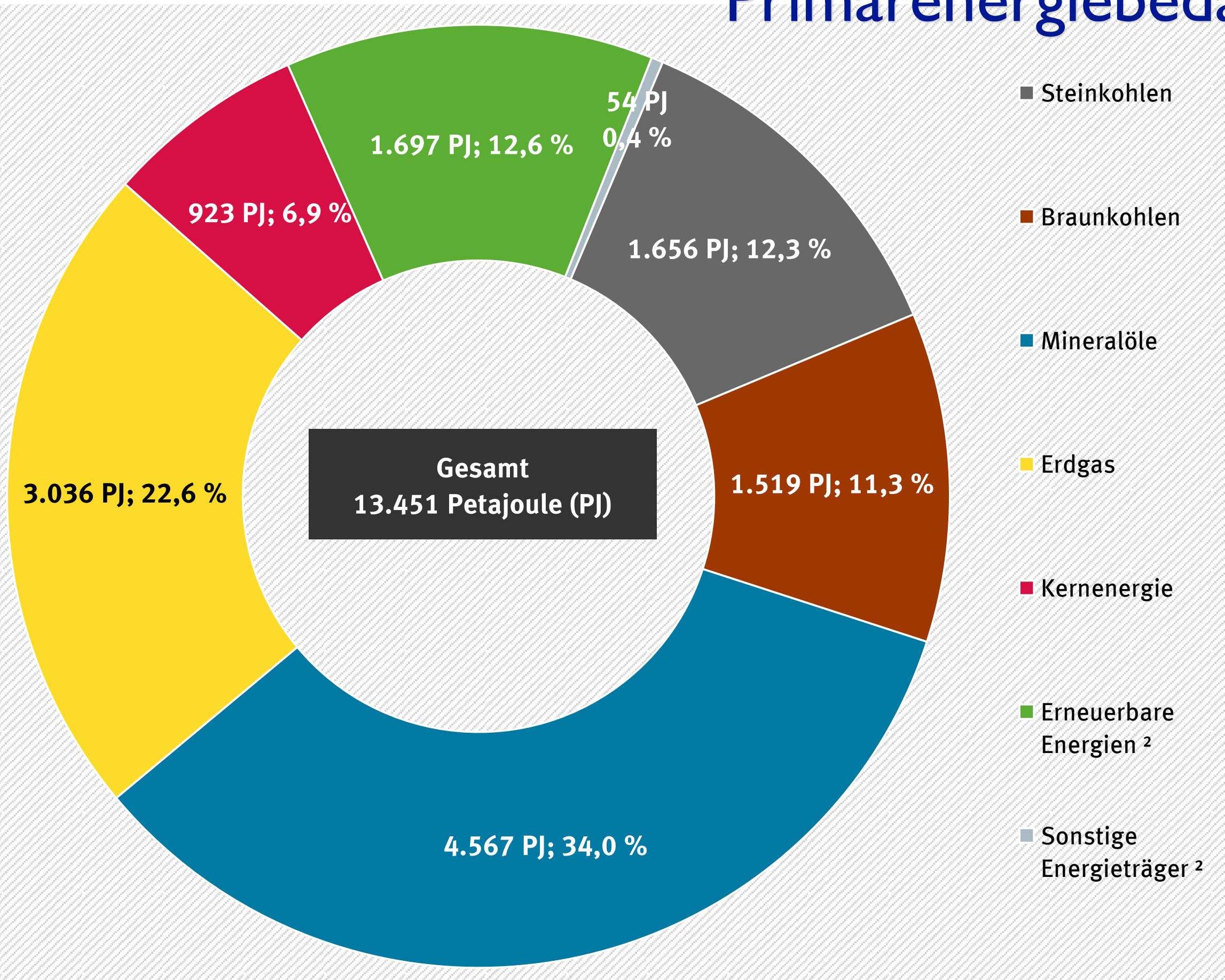
Umweltbundesamt:

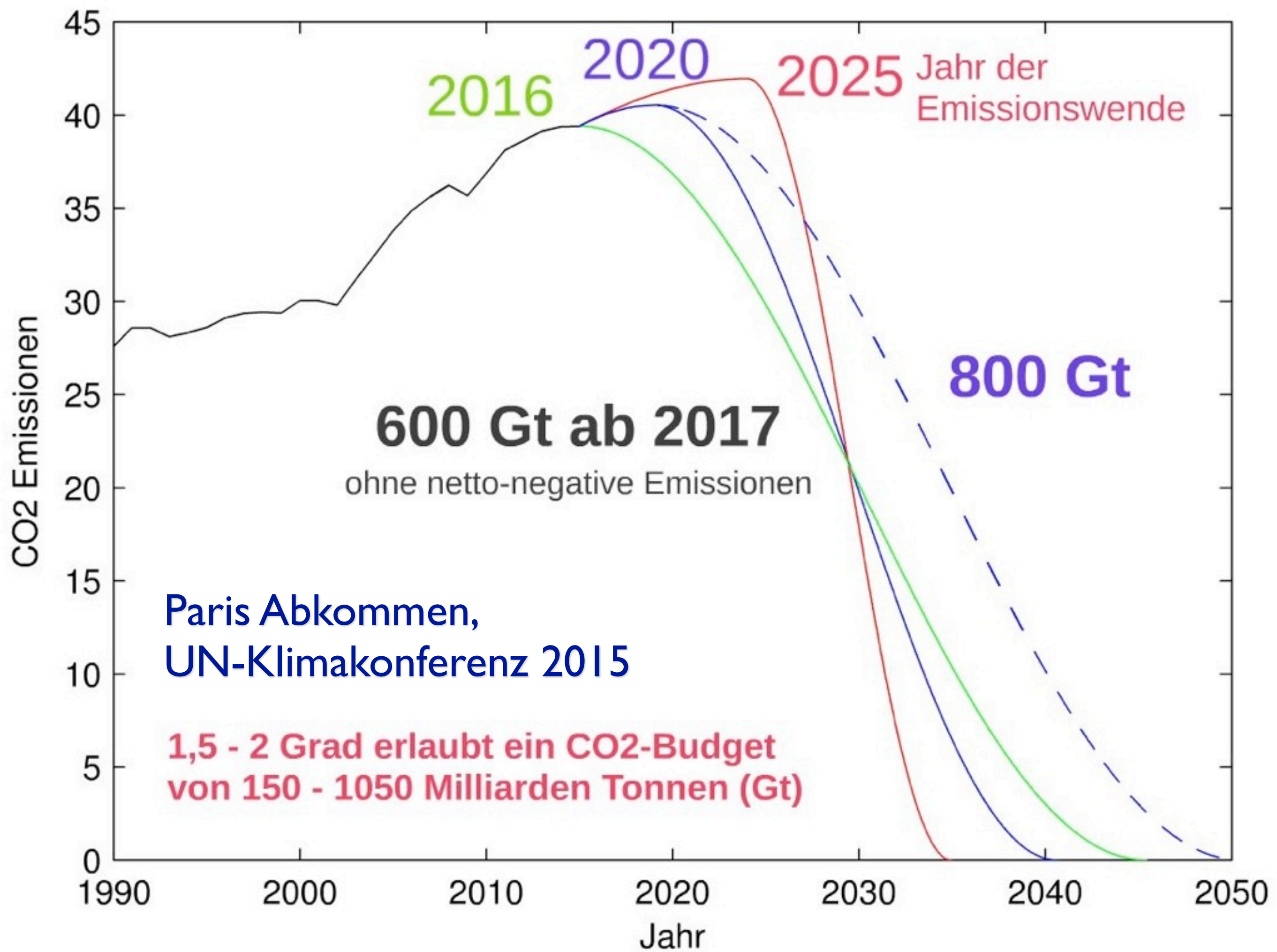
[uba.klimaktiv-co2-rechner.de/de\\_DE/page/](http://uba.klimaktiv-co2-rechner.de/de_DE/page/)



2016\*

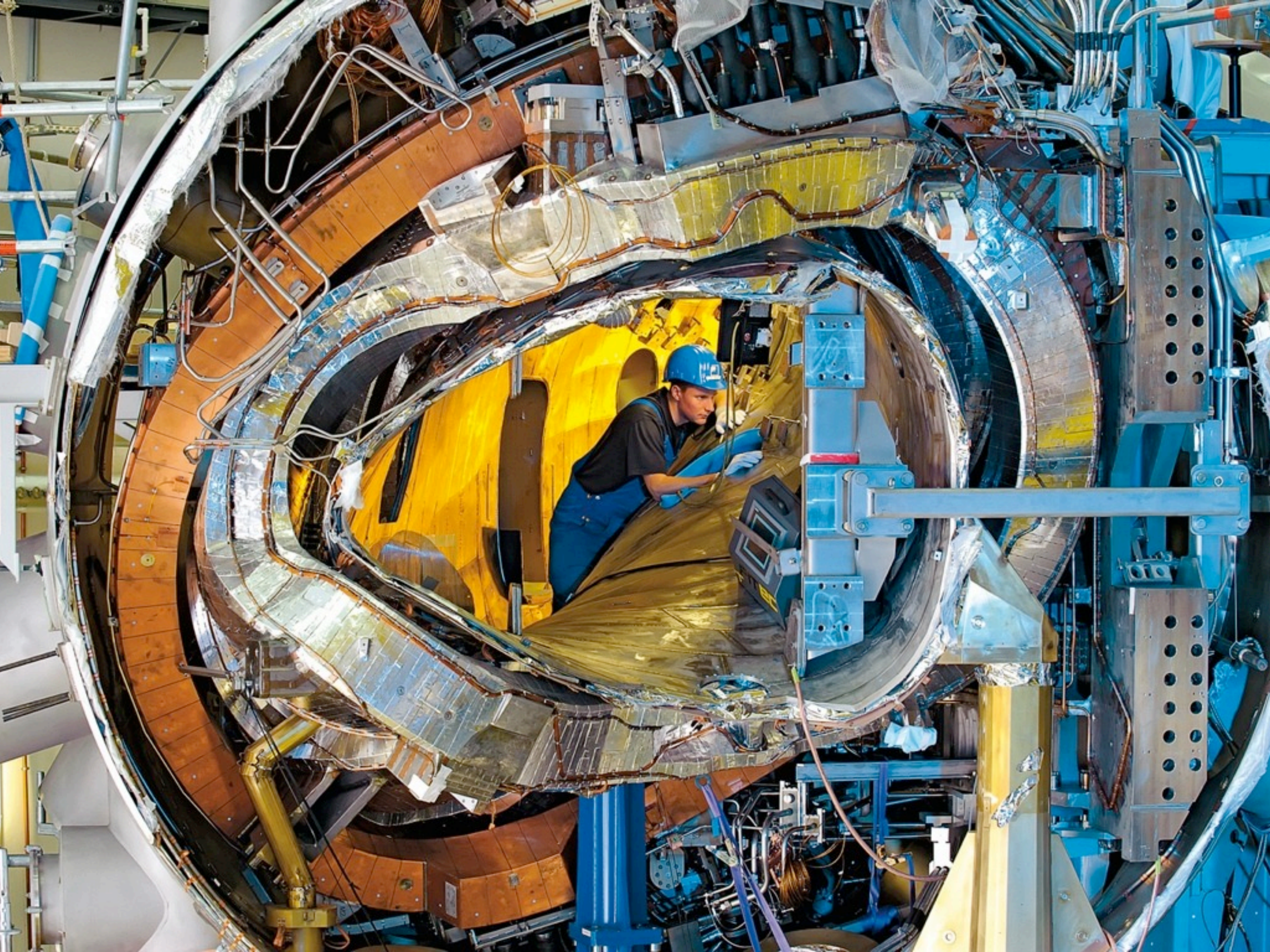
# Primärenergiebedarf BRD



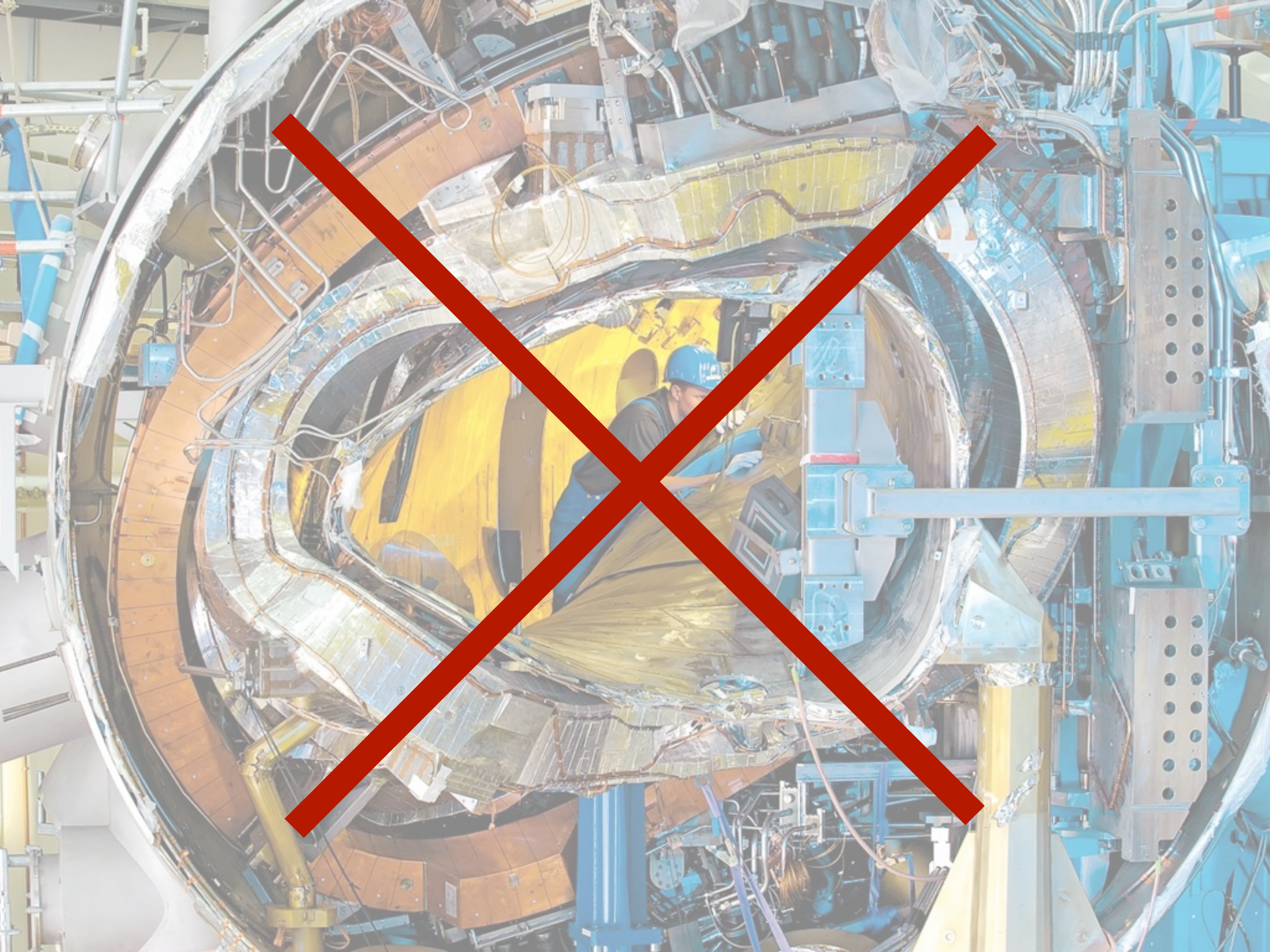


# CO<sub>2</sub>-neutrale und erneuerbare Energiequellen

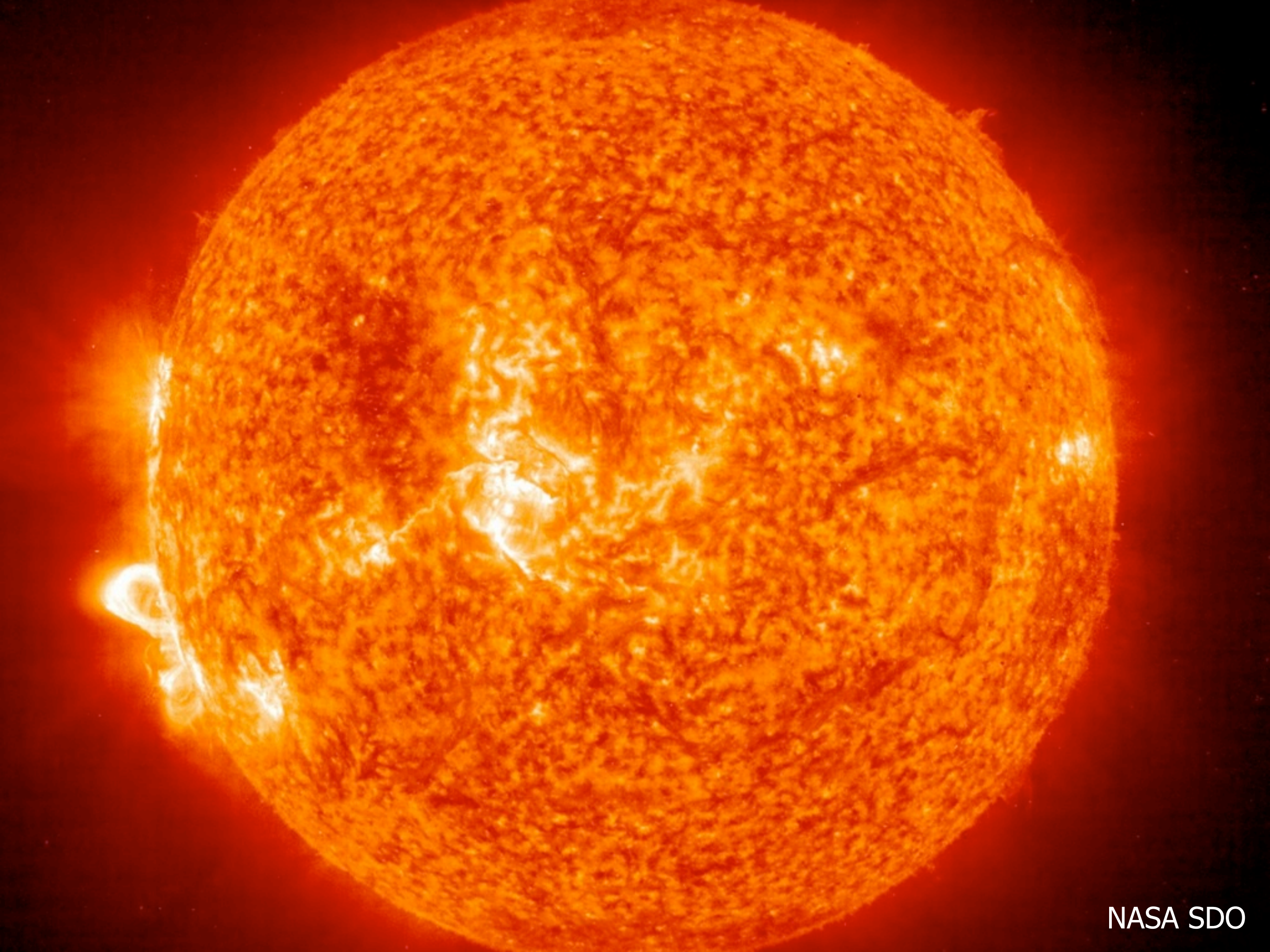














# Sonne

- Leuchtkraft / Leistung:

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

- davon Erdeinstrahlung

$$L_{\oplus} = 3.5 \times 10^{17} \text{ W} = 350.000 \text{ TW}$$

- 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

$$L_{\oplus} = 3.5 \times 10^{17} \text{ W} = 350.000 \text{ TW}$$

- Solarkonstante

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

- Sonne erzeugt **Winde!**

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

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







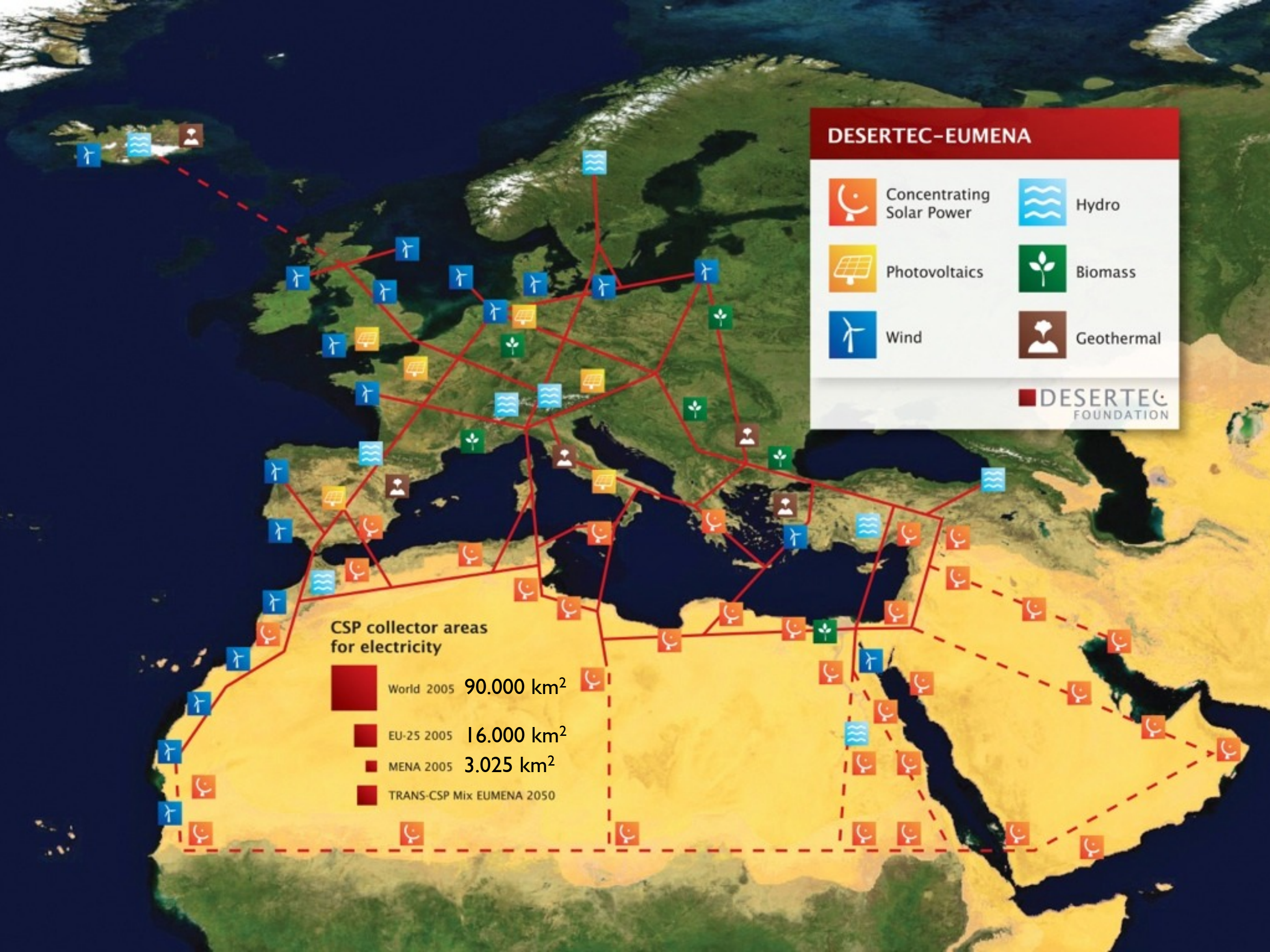
# DESERTEC-EUMENA

-  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	



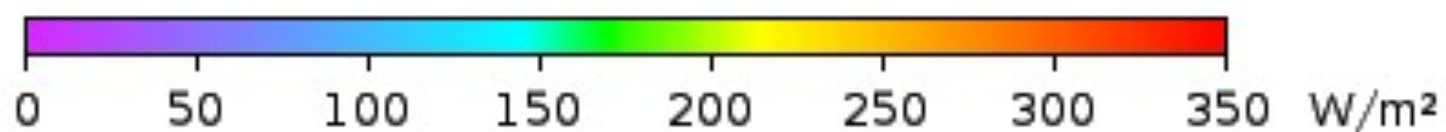
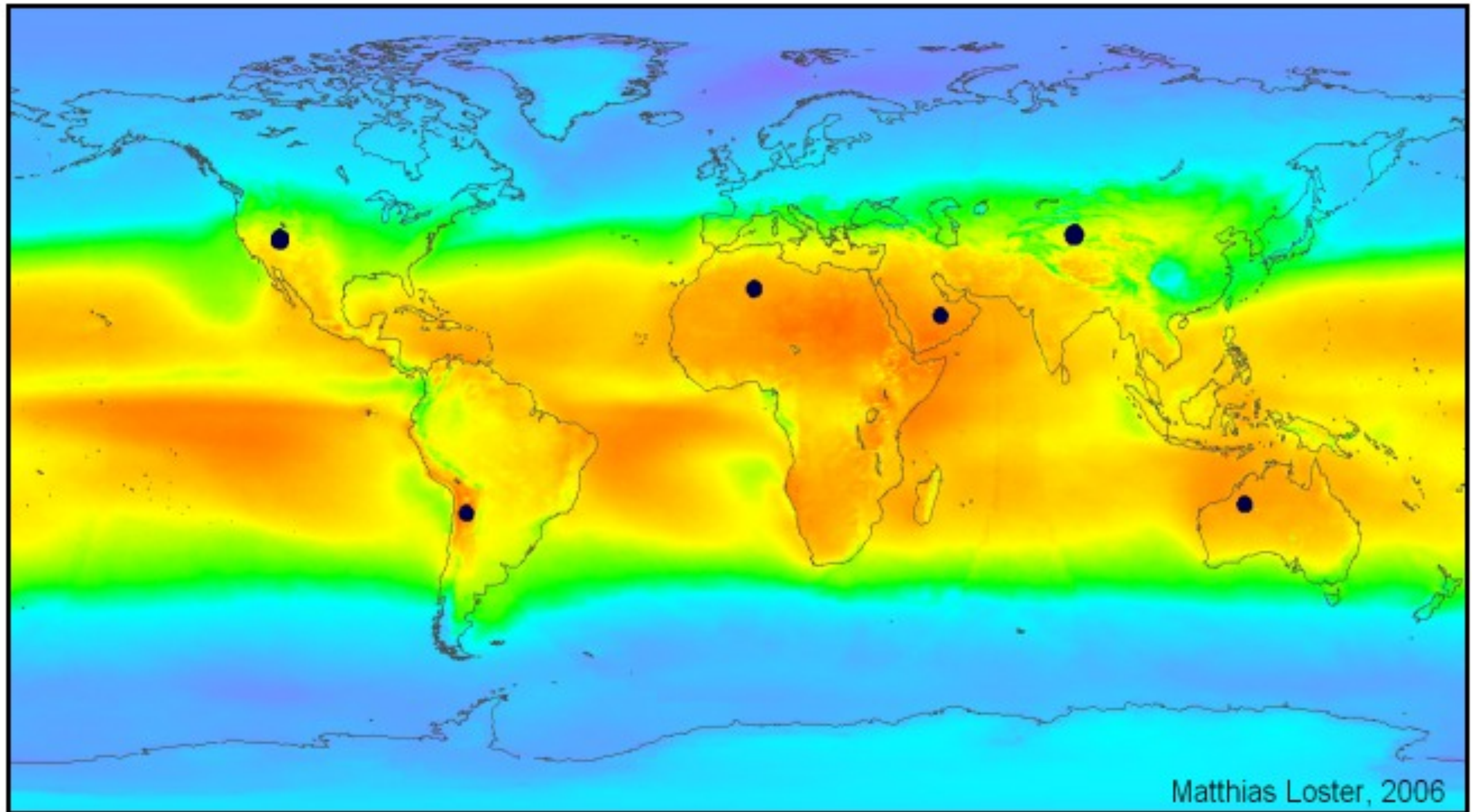






# Sonnenenergie

- Solarthermie

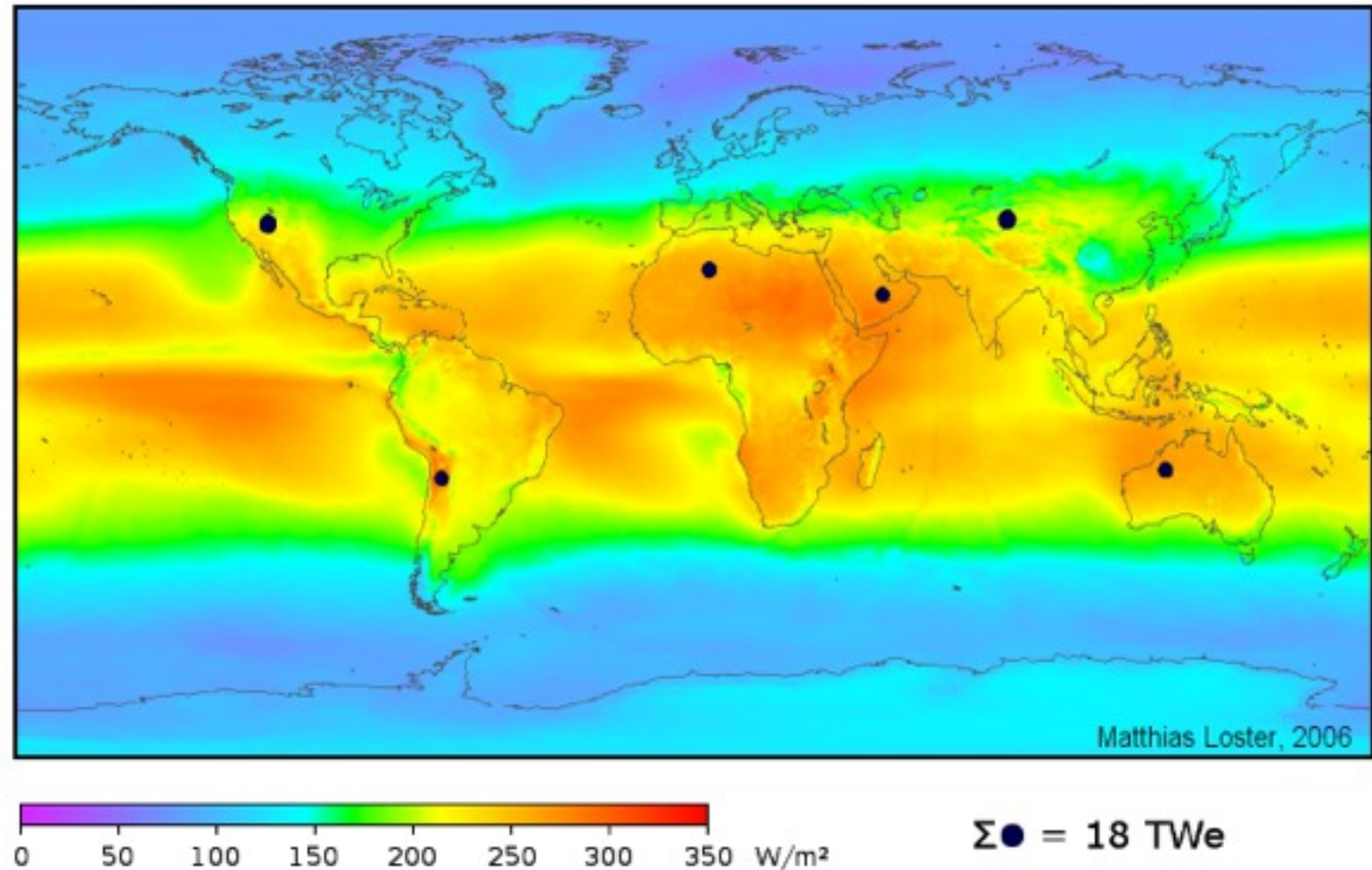


$\Sigma \bullet = 18 \text{ TWe}$

# Sonnenenergie

- globale durchschnittliche Strahlungsleistung:

~ 165 W/m<sup>2</sup>



installierte Anlagen\*:

- ~ 456 GW für Warmwasser  
(China: 325 GW)
- ~ 4,8 GW Solarwärmekraftwerke  
(Spanien: 2,3 GW, USA: 1.7 GW)

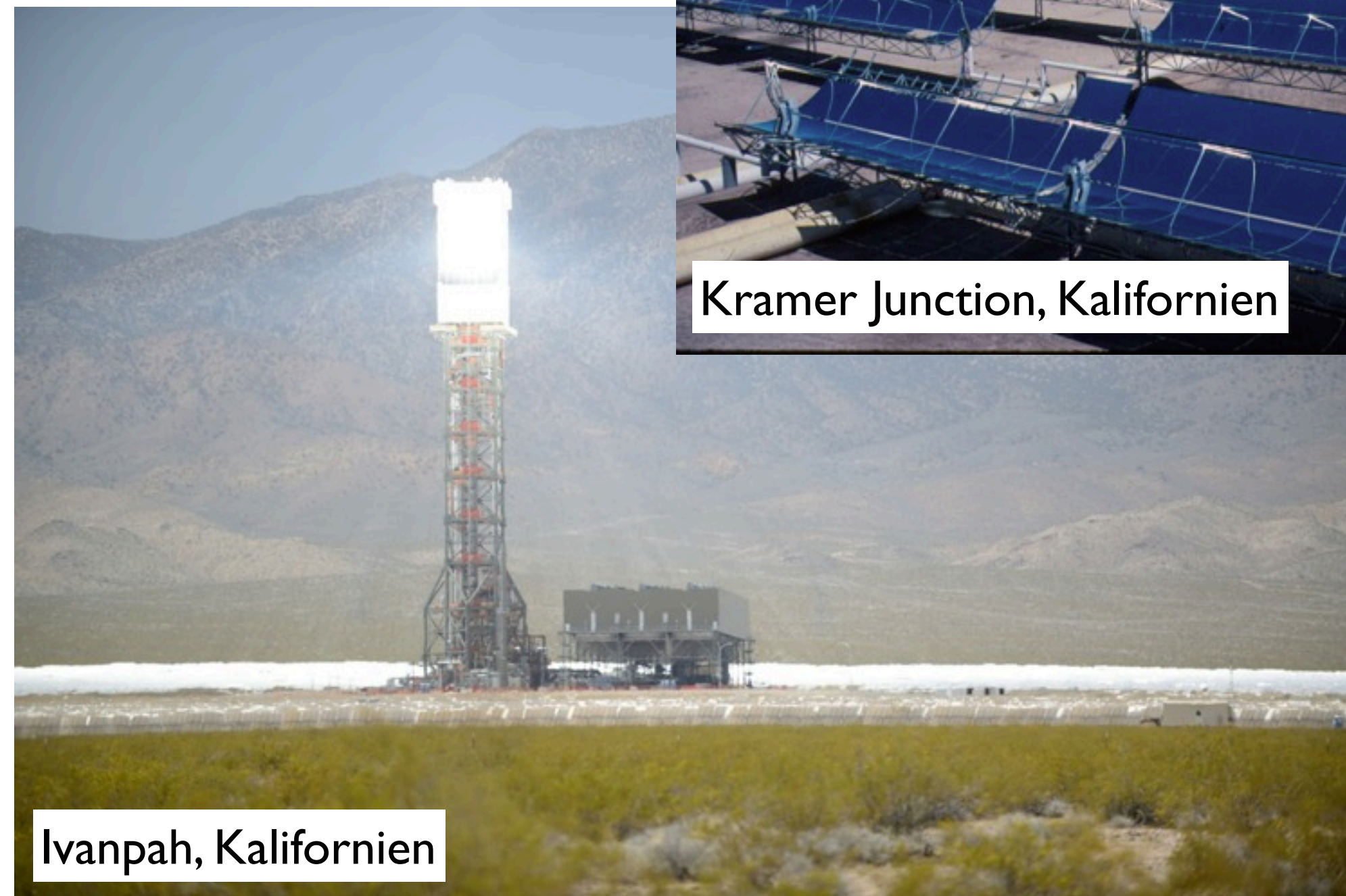
\*Quelle: Renewables 2017, Global Status Report REN21



# Parabolrinnenkollektoren ~ 350 MW



Kramer Junction, Kalifornien



Ivanpah, Kalifornien

Solarturm-  
Kraftwerk  
~ 400 MW



PS10 & PS20  
Kraftwerke  
11 + 20 MW



Sevilla, Spanien





Solarturmkraftwerk Jülich, Solar-Institut Jülich & DLR Forschungseinrichtung



# Solar-Thermie-Forschung



Synlight seit 03/2017, Jülich, DLR Forschungseinrichtung



# Photovoltaik

Stromerzeugung durch photoelektrischen Effekt

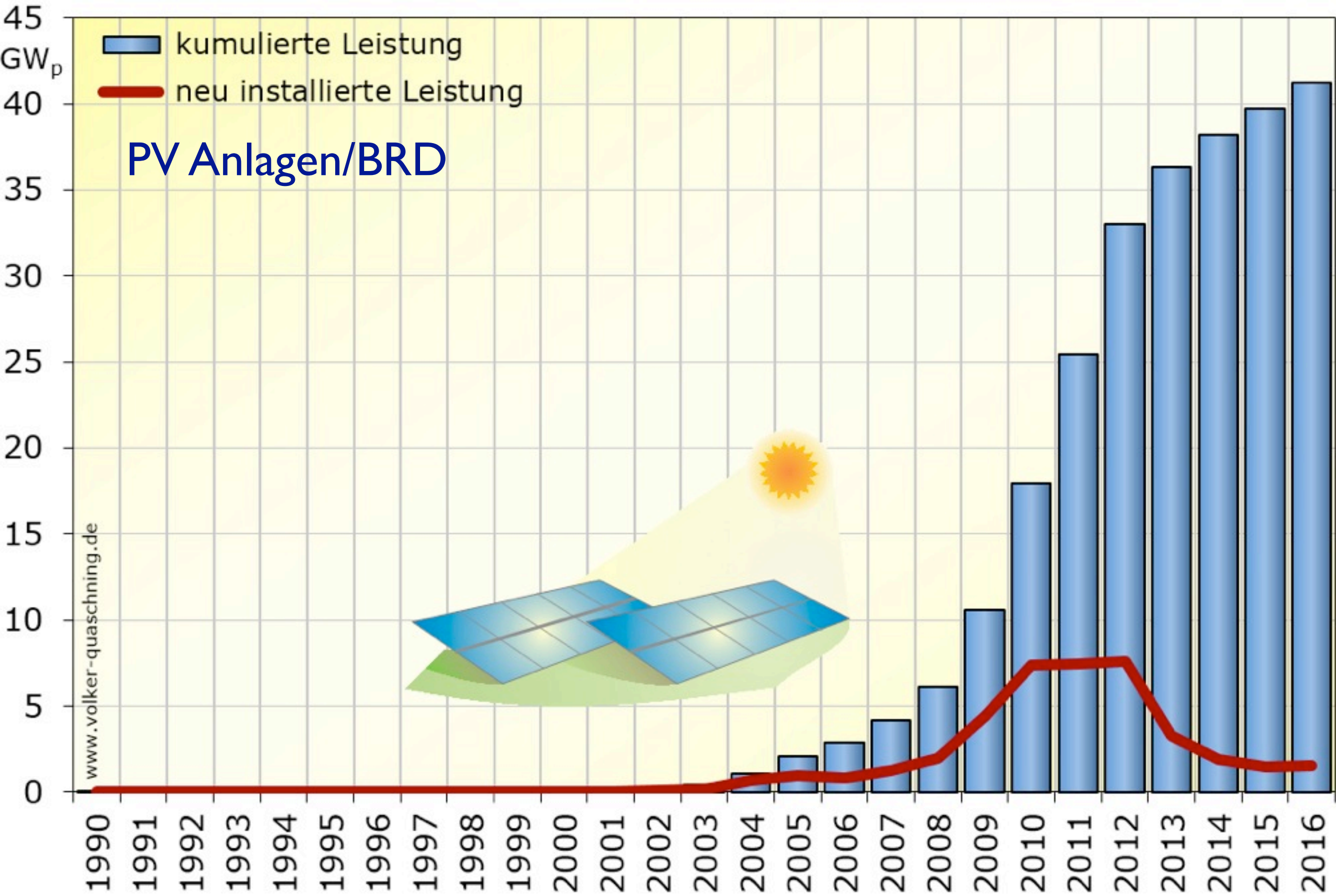
(Albert Einstein 1905, Nobelpreis 1921)

mit photovolatischen Zellen  
(= Solarzellen)

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



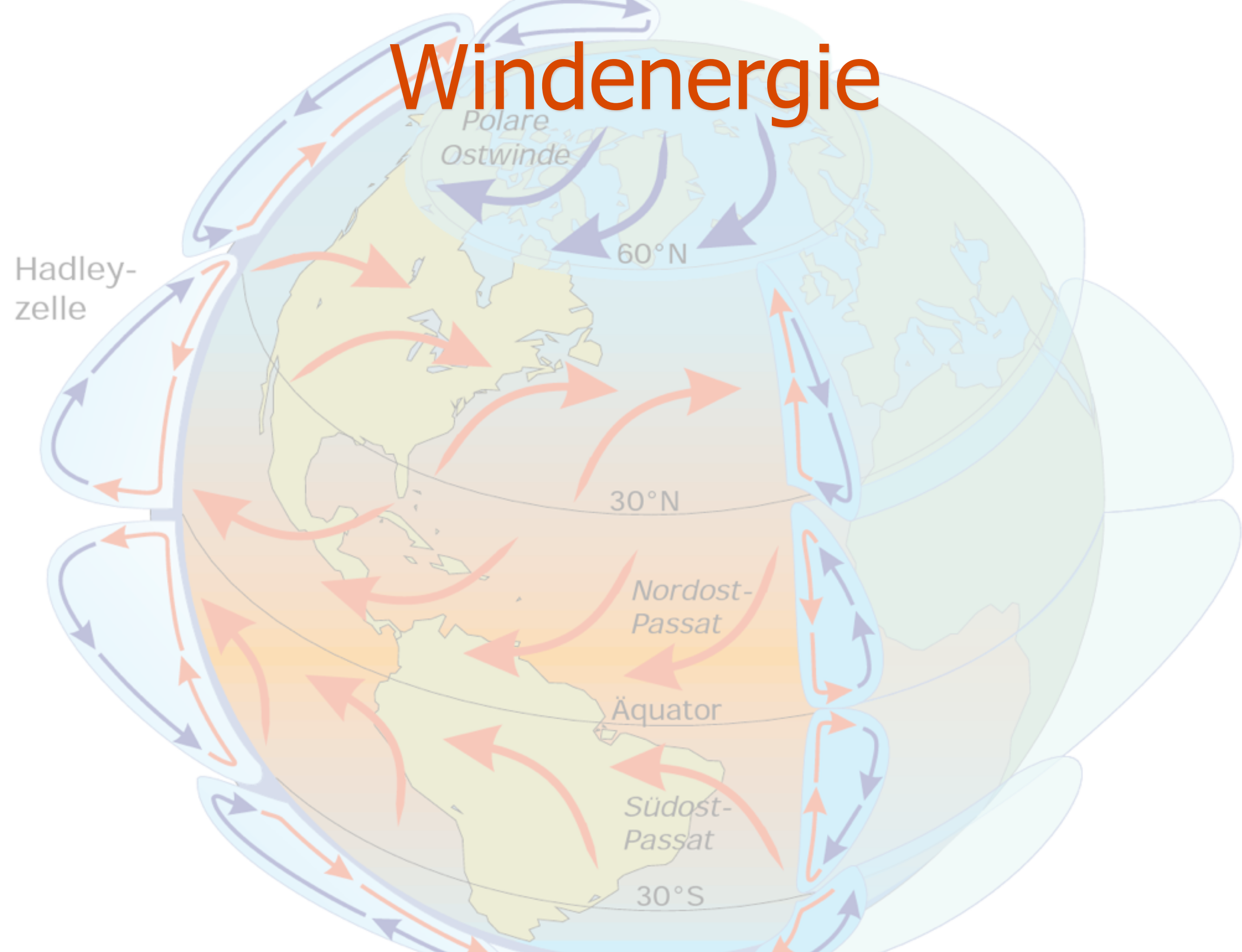




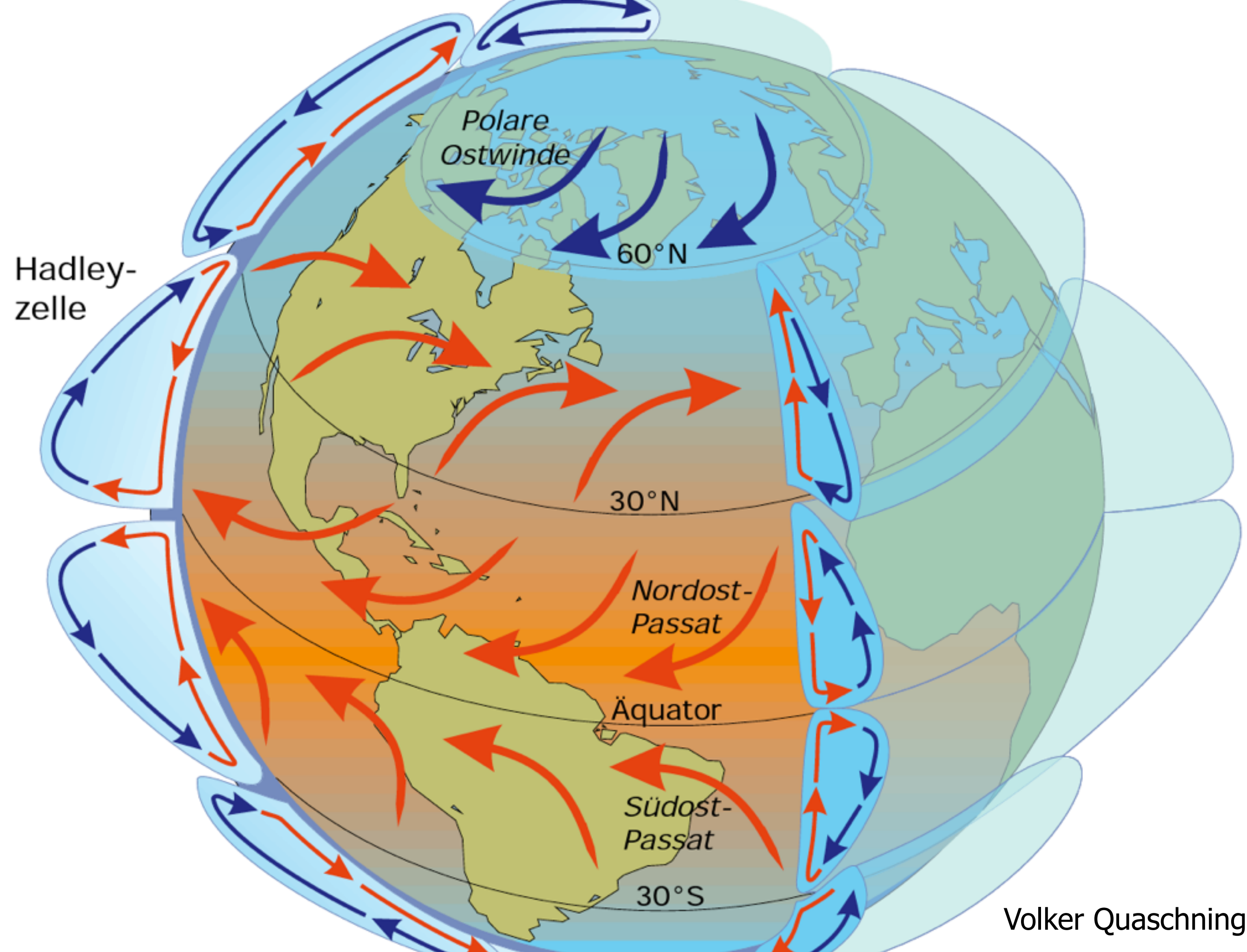
Quelle: Volker Quaschnig



# Windenergie

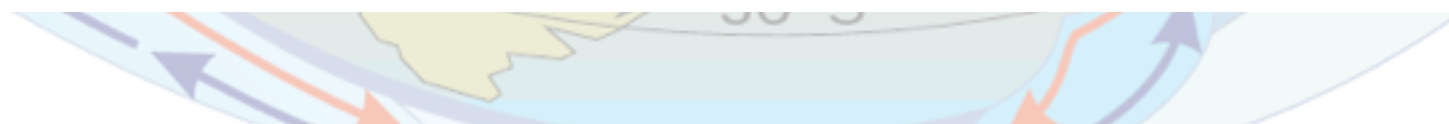
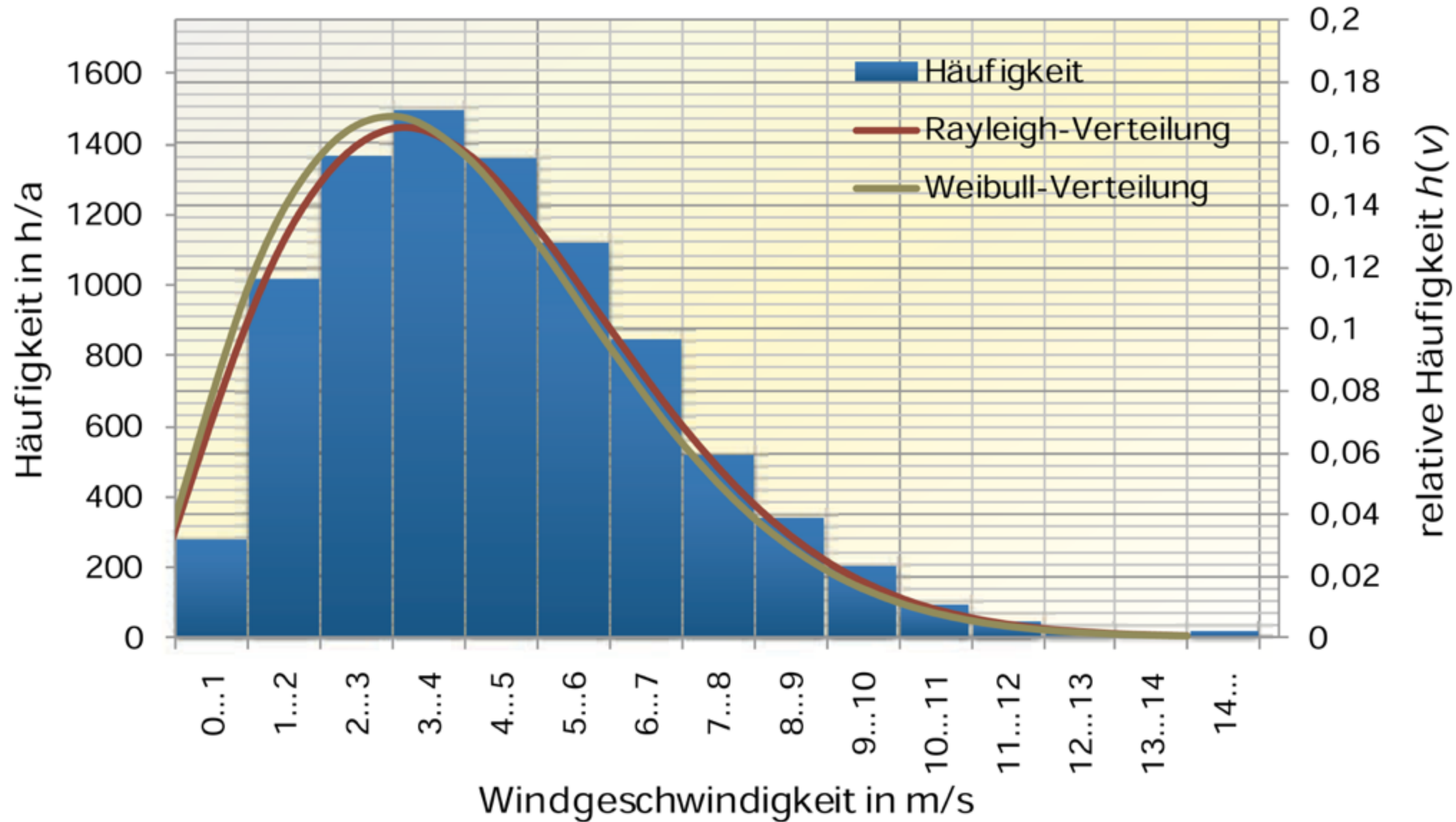








# Windenergie





# SCIENTIFIC AMERICAN

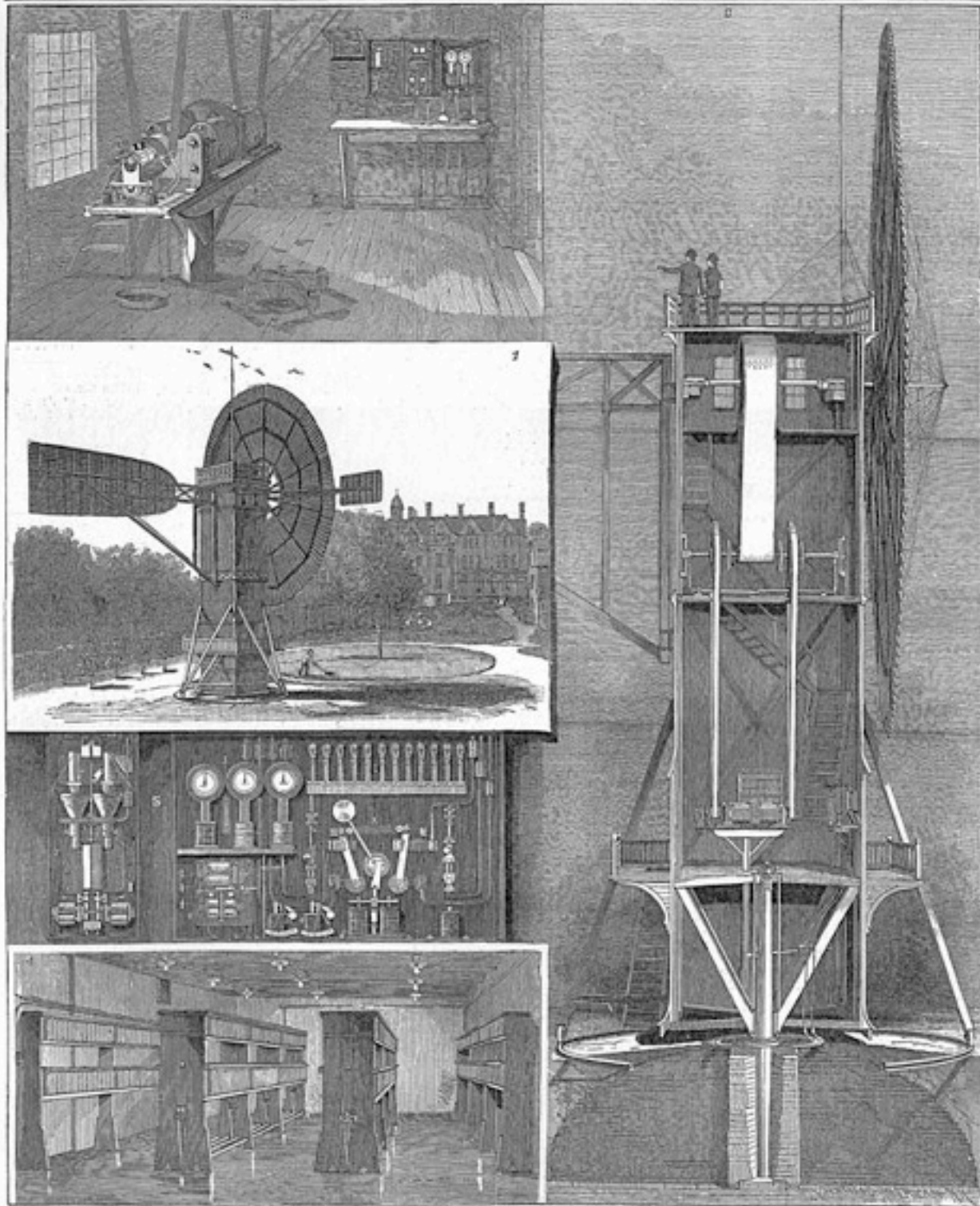
[Printed at the Post Office of New York, N. Y., as Second Class Matter. Copyrighted, 1891, by Munn & Co.]

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 689.]

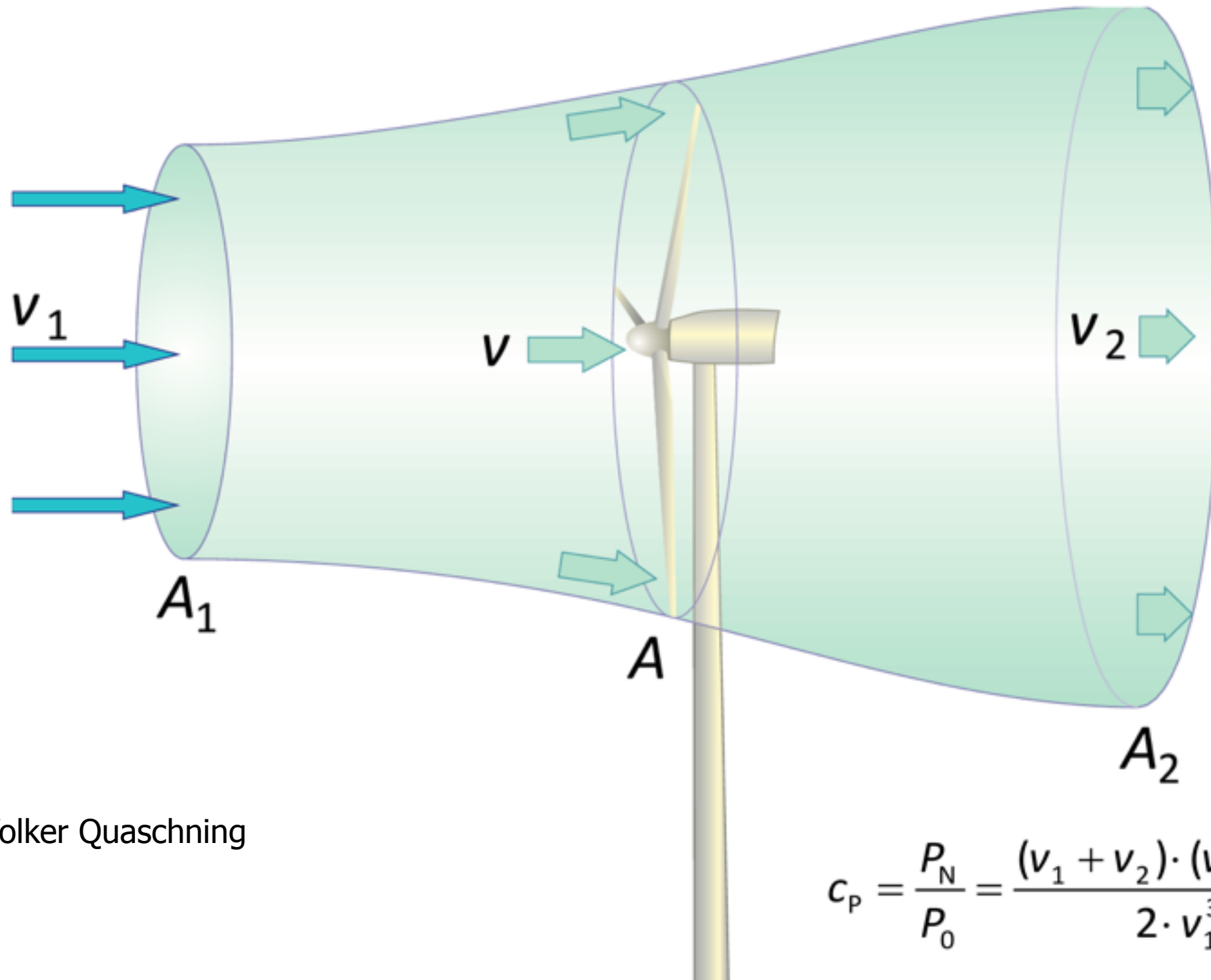


Windmühle Bergedorf von 1831

Windkraftanlage von Charles Brush 1888



# Windkraftanlage



Wind  
Leistungsdichte:

$$\propto v^3$$

Volker Quaschnig

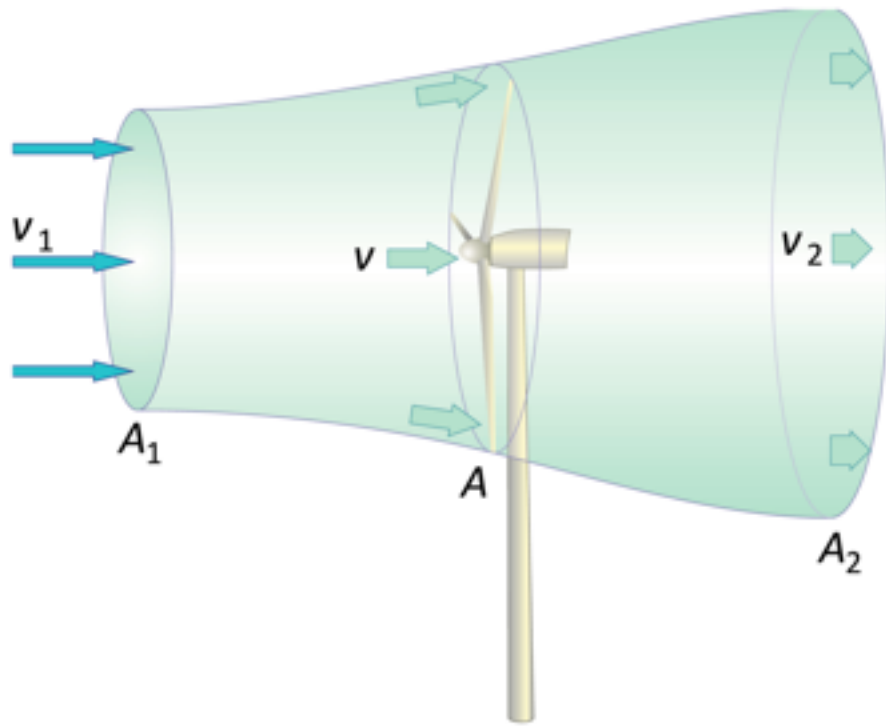
$$c_p = \frac{P_N}{P_0} = \frac{(v_1 + v_2) \cdot (v_1^2 - v_2^2)}{2 \cdot v_1^3} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{v_2^2}{v_1^2}\right)$$

$$c_{p,\text{Betz}} = \frac{16}{27} \approx 0,593$$

$$\zeta_{\text{id}} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$$

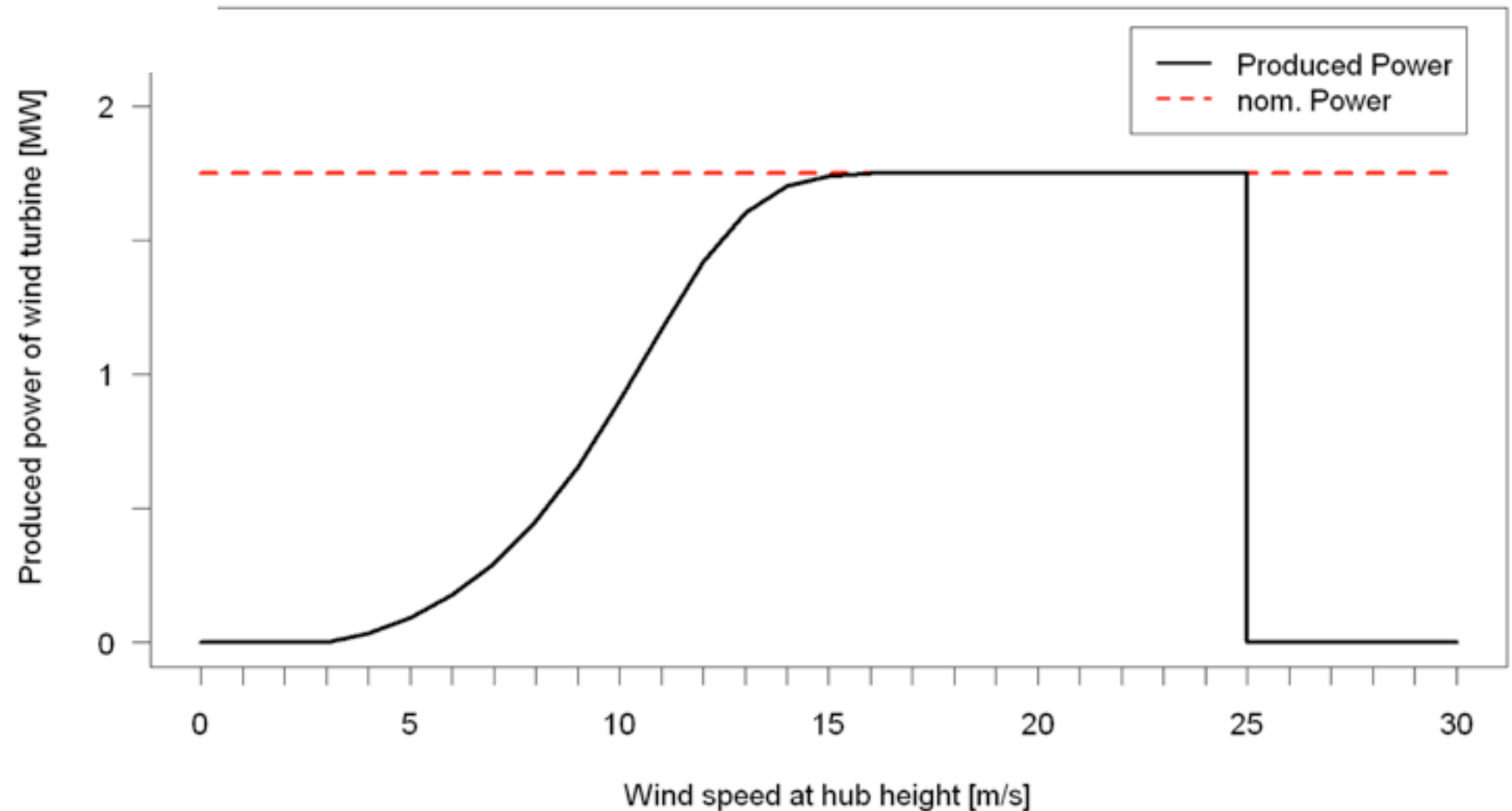


# Windkraftanlage

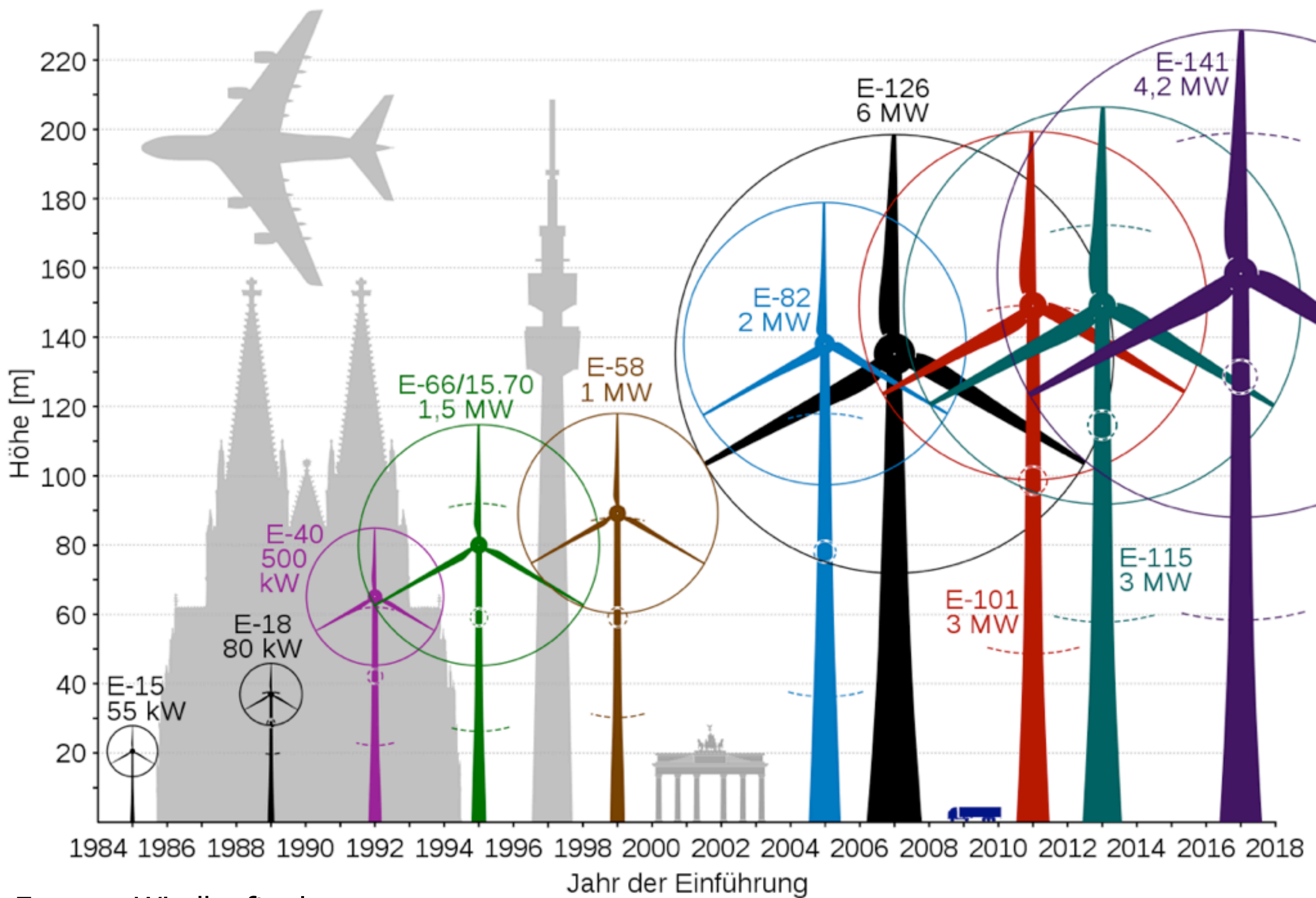


typische Kennlinie einer WKA

Power production of a typical wind turbine







Enercon Windkraftanlagen





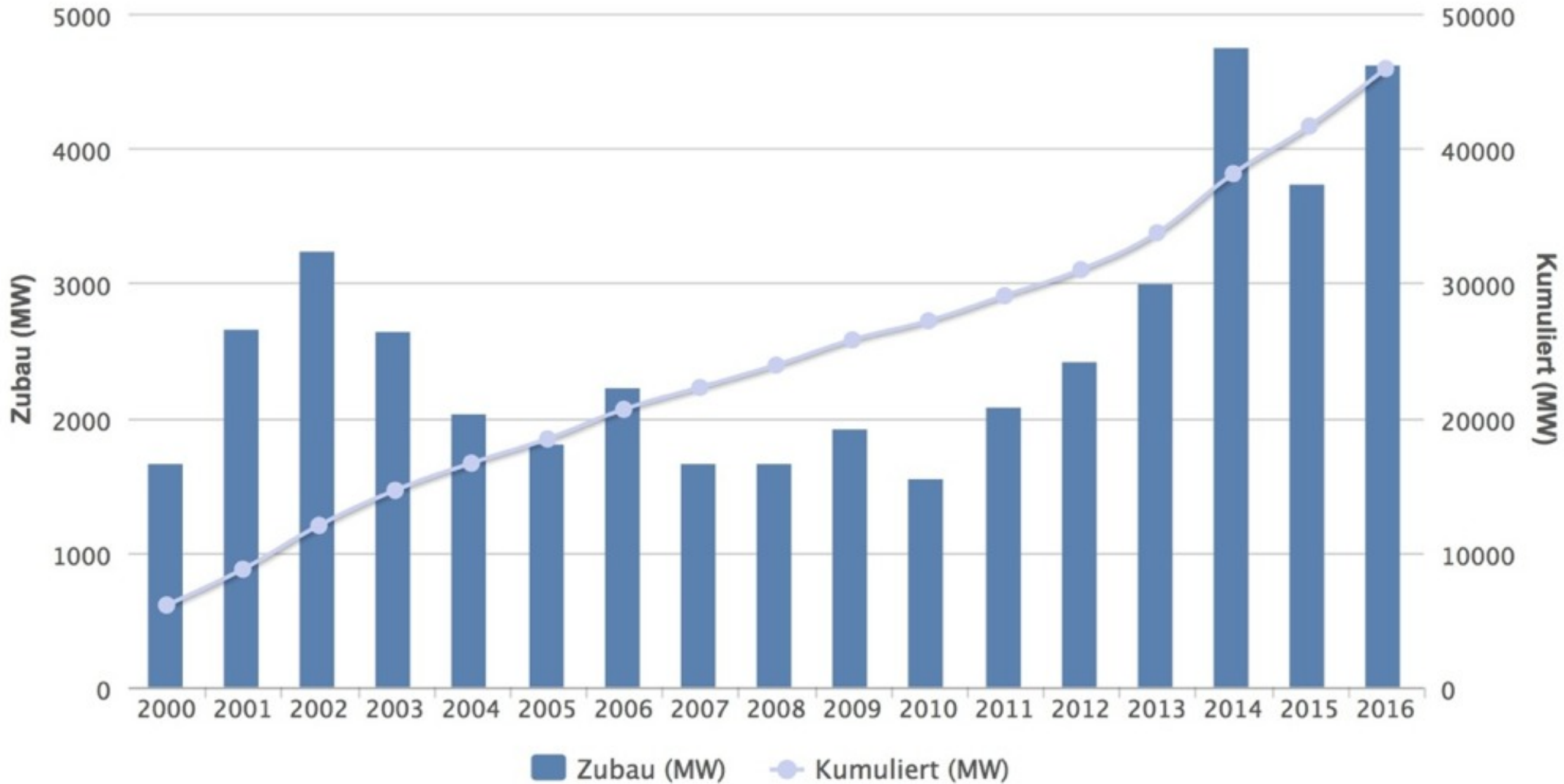
Veja Mate, Nordsee, ca. 400 MW



Stöben-Teuchern ca. 177 MW



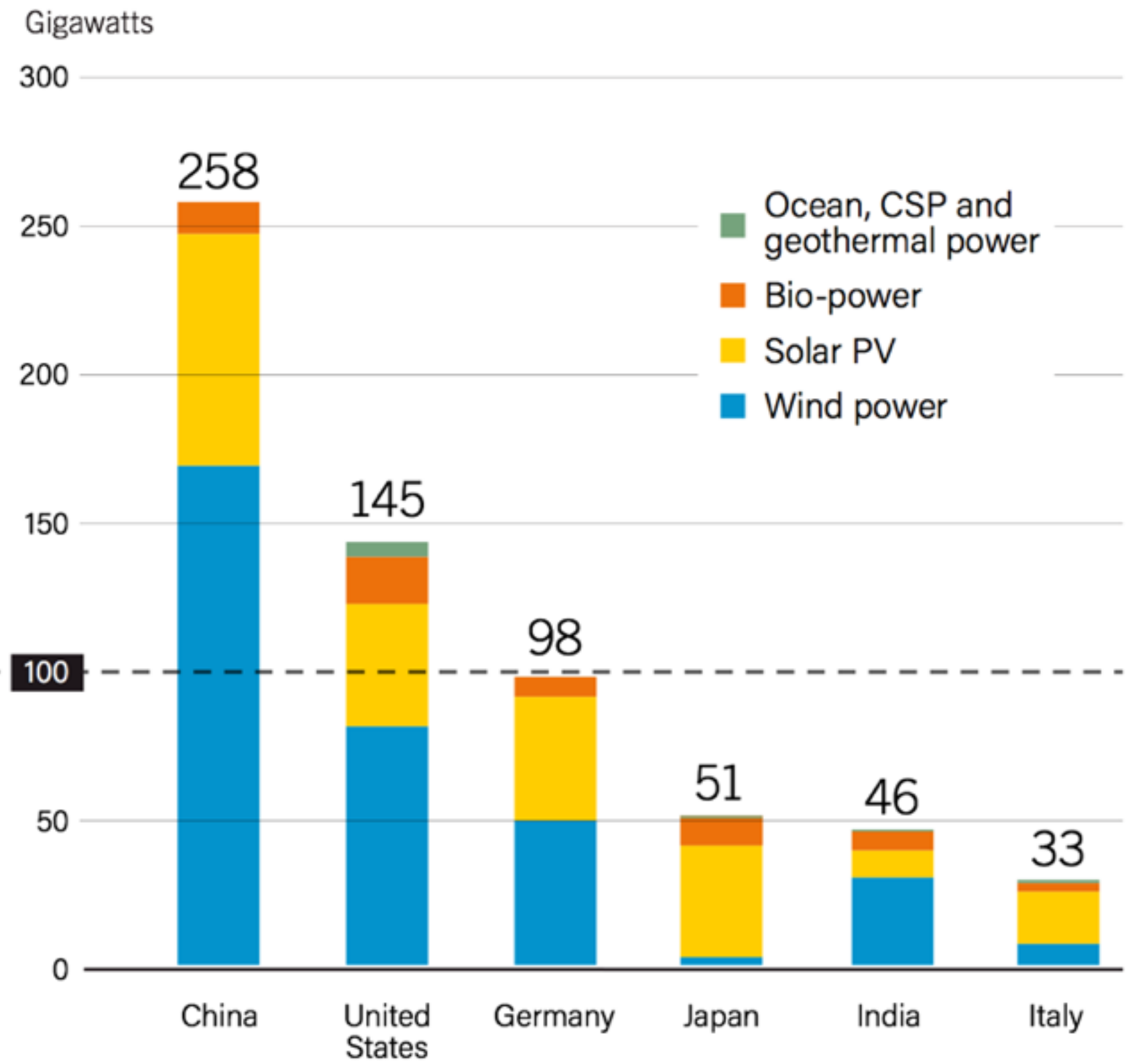
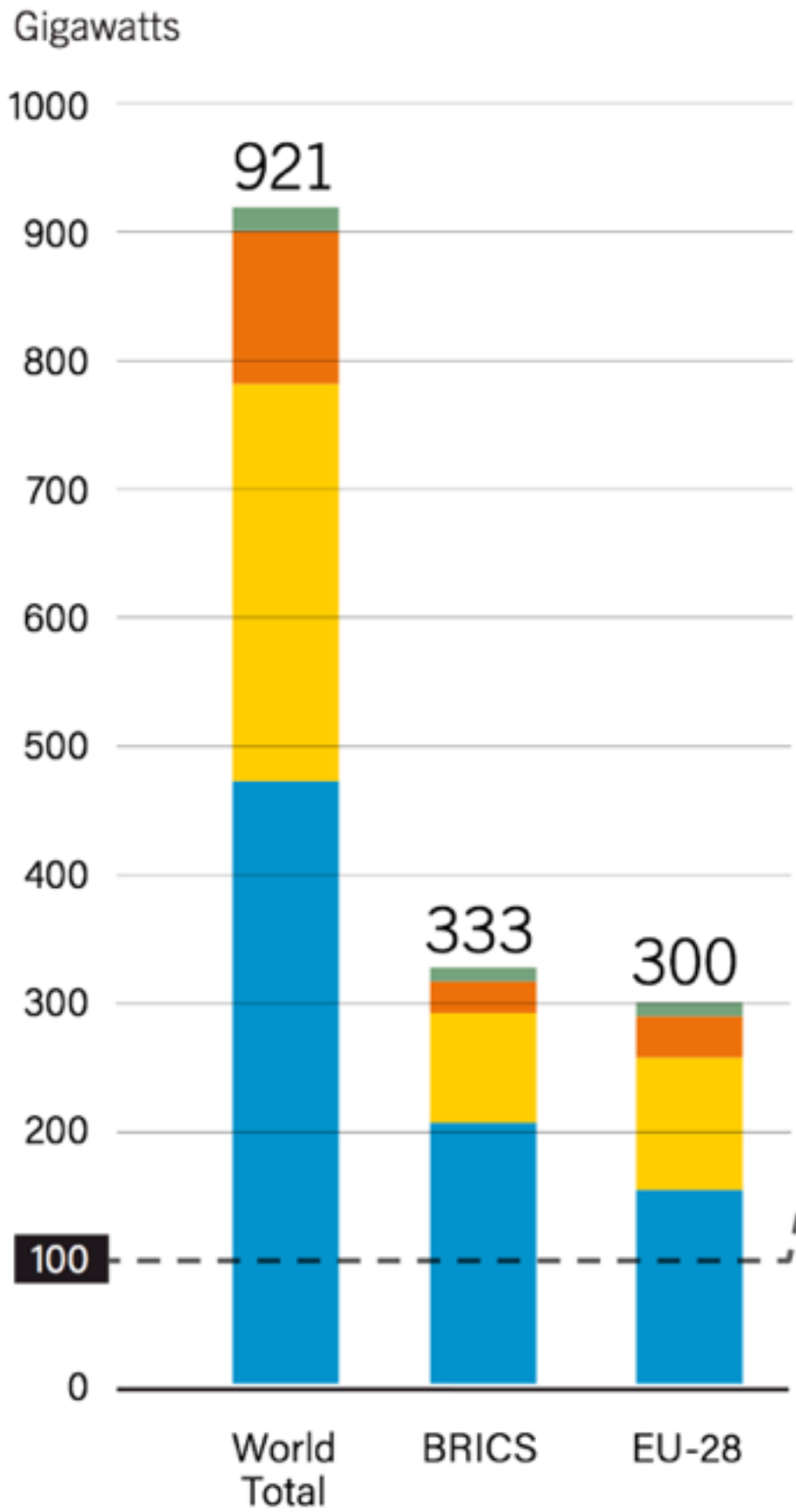
# Installierte Windenergieleistung in Deutschland



4.625 MW Onshore-Windleistung wurden im Jahr 2016 neu installiert. Die installierte Gesamtleistung aus Windenergie beträgt damit 45.910 MW.

Quelle: Bundesverband WindEnergie



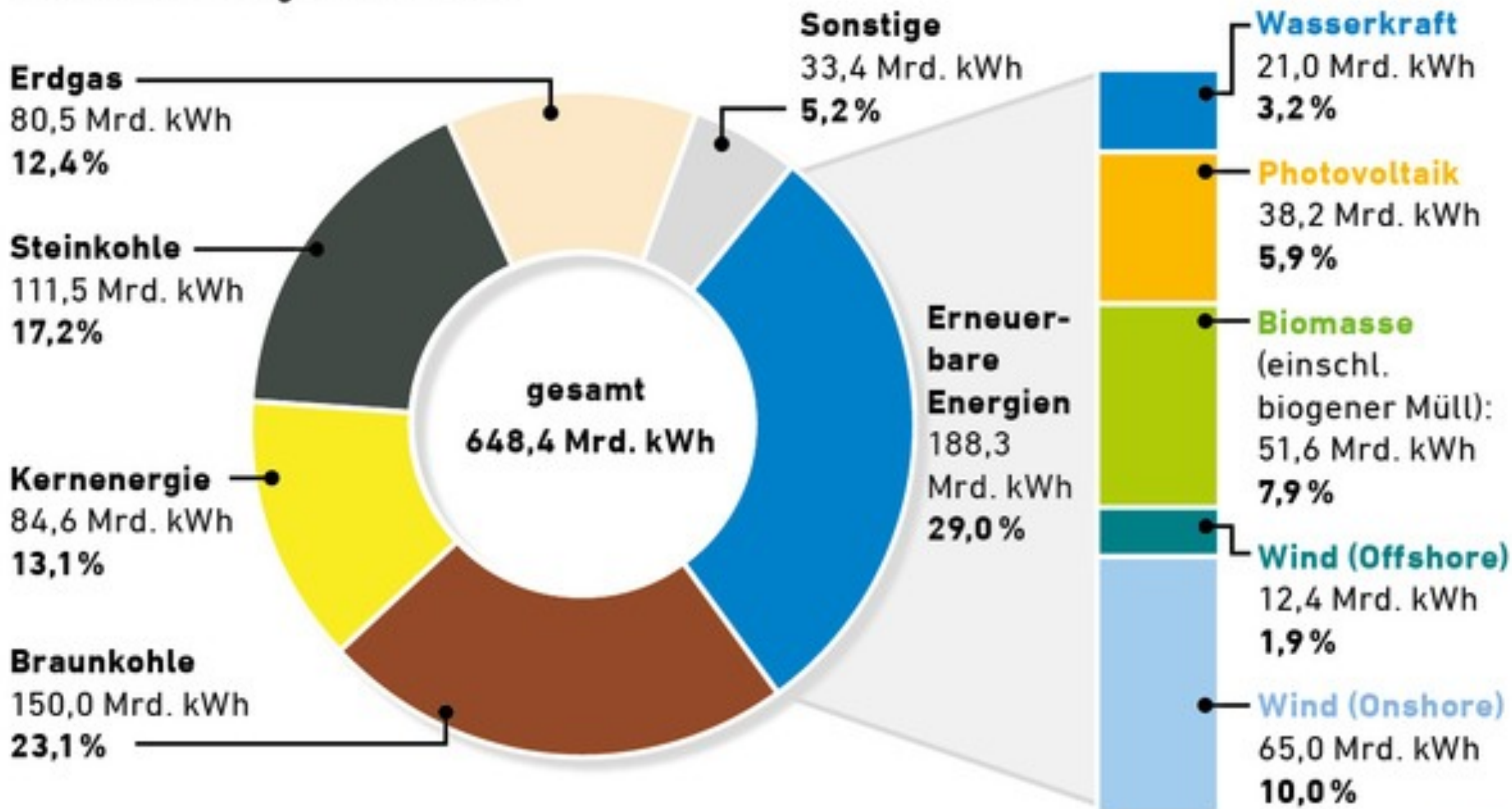


\*Quelle: Renewables 2017, Global Status Report REN21



# Der Strommix in Deutschland im Jahr 2016

Mit rund 188 Milliarden Kilowattstunden lieferten Erneuerbare Energien 29 Prozent der deutschen Bruttostromerzeugung und sind damit der wichtigste Energieträger zur Stromproduktion. Ihr Anteil am Stromverbrauch lag bei 32 Prozent.



Quelle: AGEE-Stat, AG Energiebilanzen  
Stand: 02/2017

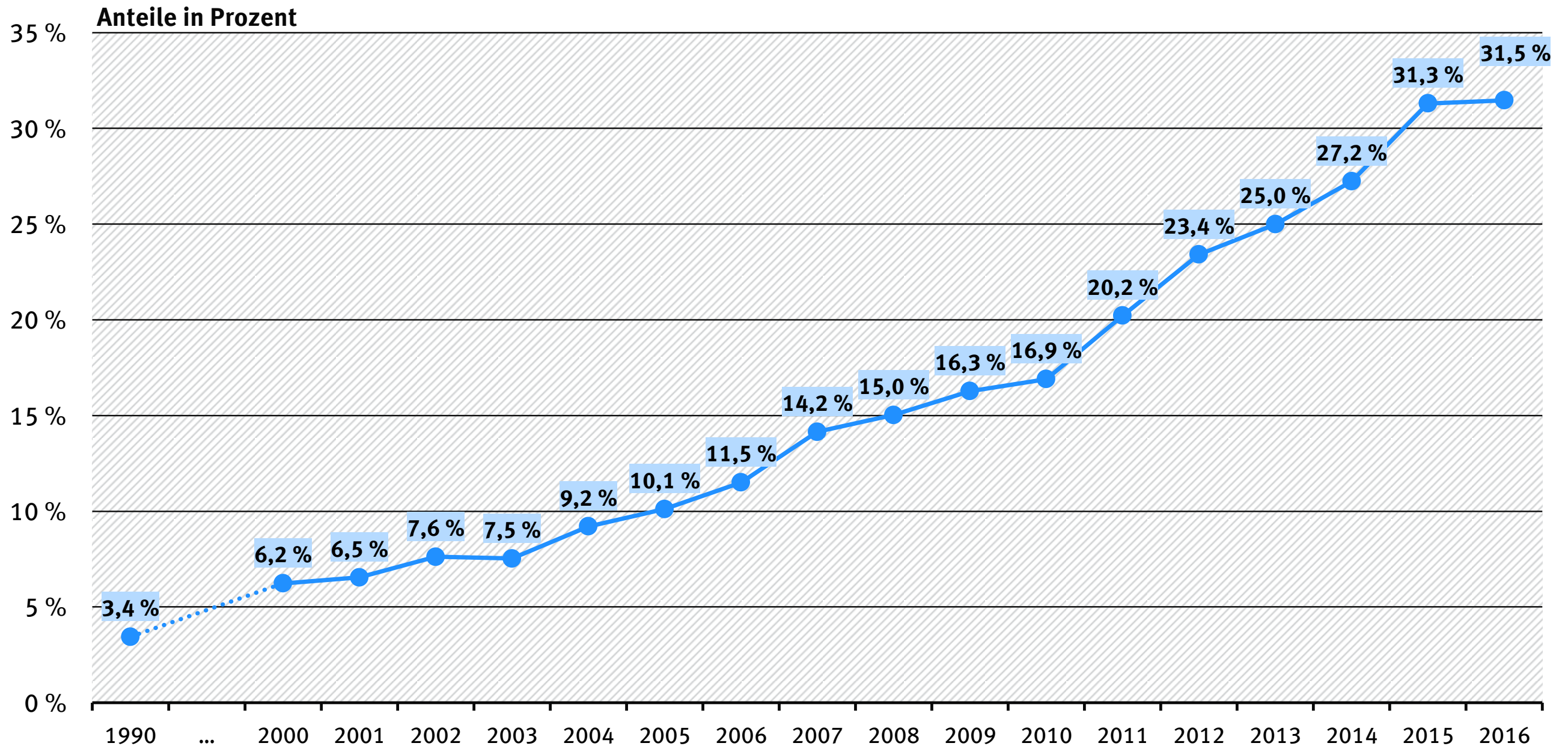
© 2017 Agentur für Erneuerbare Energien e.V.



AGENTUR FÜR  
ERNEUERBARE  
ENERGIEN  
[unendlich-viel-energie.de](http://unendlich-viel-energie.de)

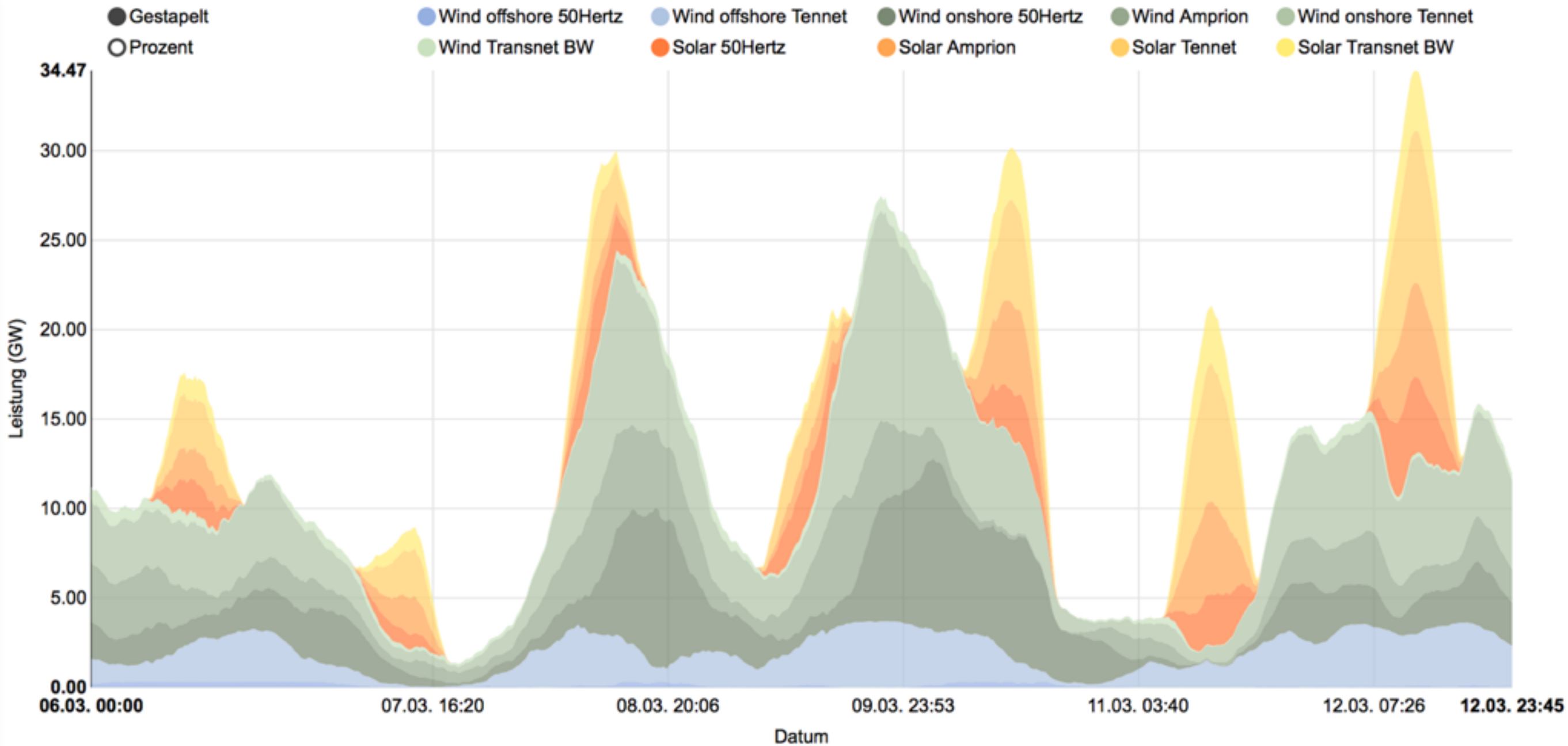


# Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch





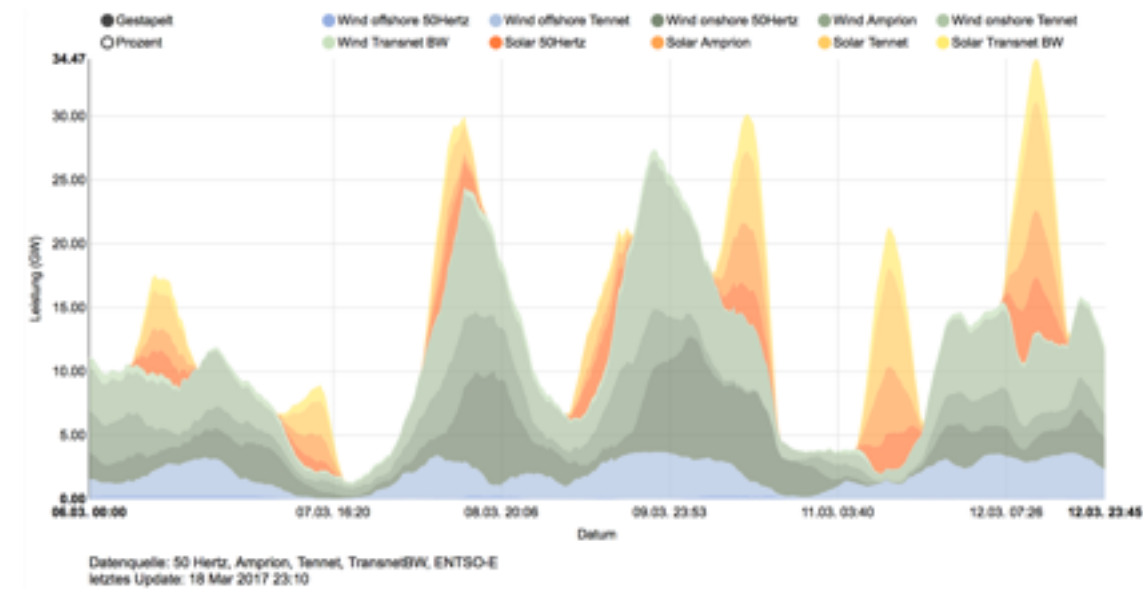
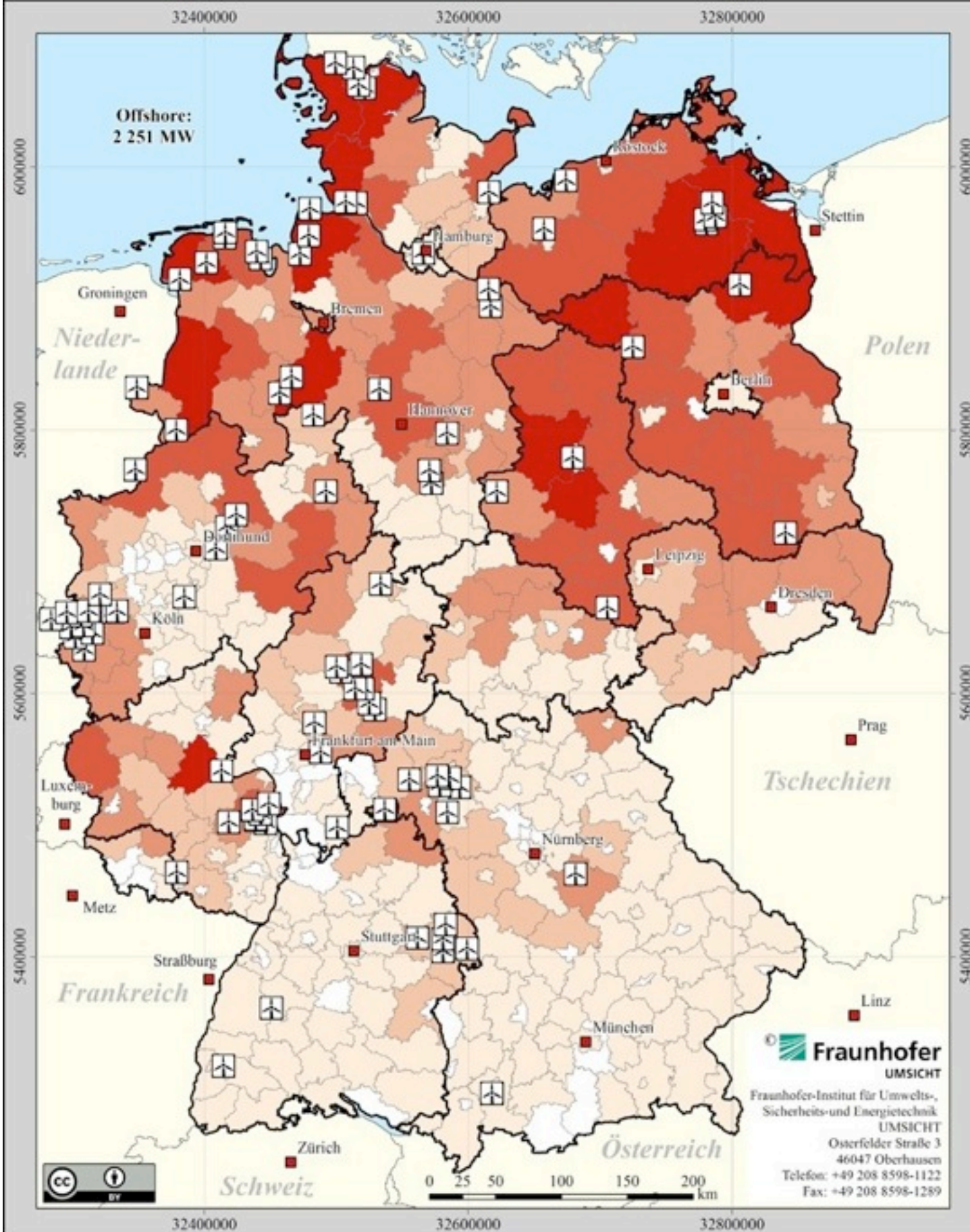
# Transport & Speicher



Stromproduktion KW 10 2017



# Transport & Speicher



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

Bundesnetzagentur





# Netzwerkentwicklungsplan nach

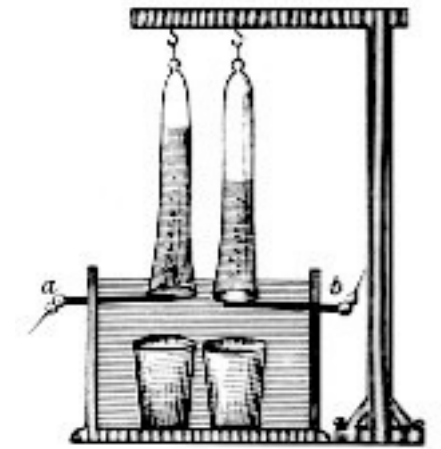
## Bundesbedarfplangesetz (BBPIG 2013):

- ca. 4000 km Höchstleistungstrassen (> 220 kV) notwendig:
- Kosten: 21 Mrd. EUR

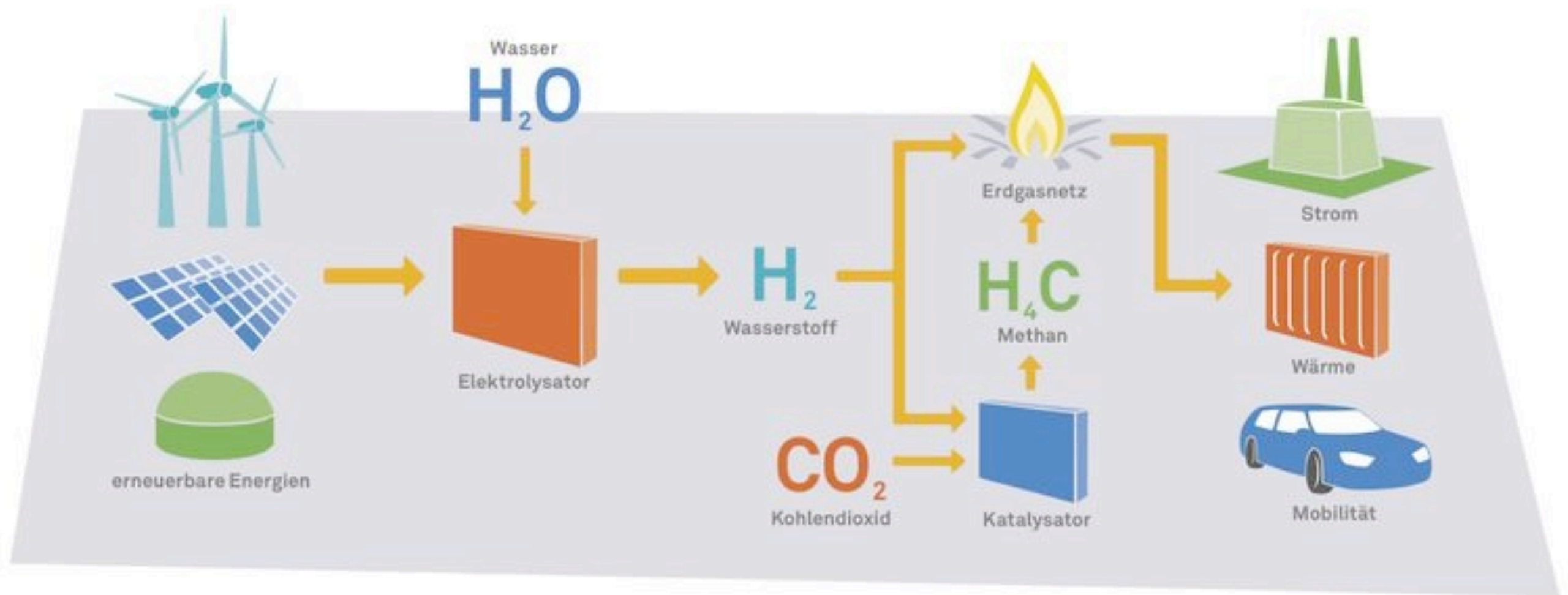


# Power to Gas

- flexibel: Speicher/Mobilität/Wärme  
⇒ *Sektorkopplung*
- Netz vorhanden: Gasnetz (z.Z. max. 5% )
- u.a. Stadtgas: > 50% H<sub>2</sub> (bis 1989 in Berlin)

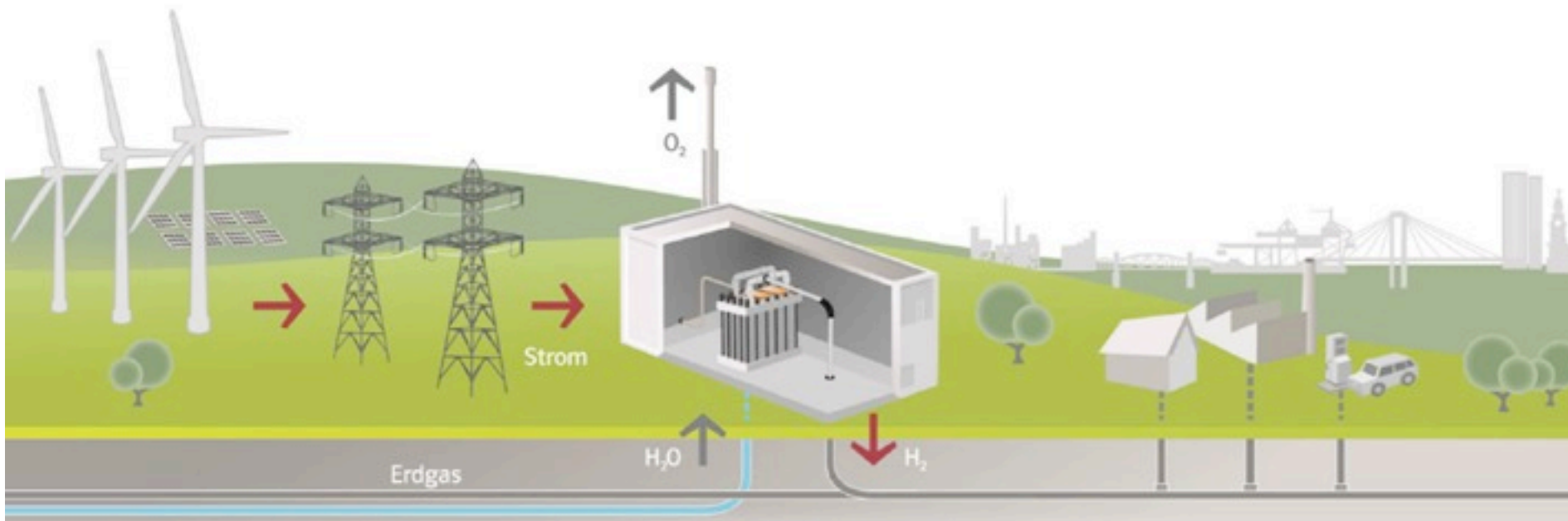


Johann Wilhelm Ritter 1800





Wir speichern  
Grünstrom im Gasnetz



## Proton Exchange Membran (PEM)

### Elektrolyse:

- ~ 1 MW / Stack
- ~ 50 kg H<sub>2</sub>/h





Mobilität

Wasserstoffstation HafenCity



Sektor-  
kopplung

mit Brennstoffzelle

Wärme



Viessmann Vitovalor

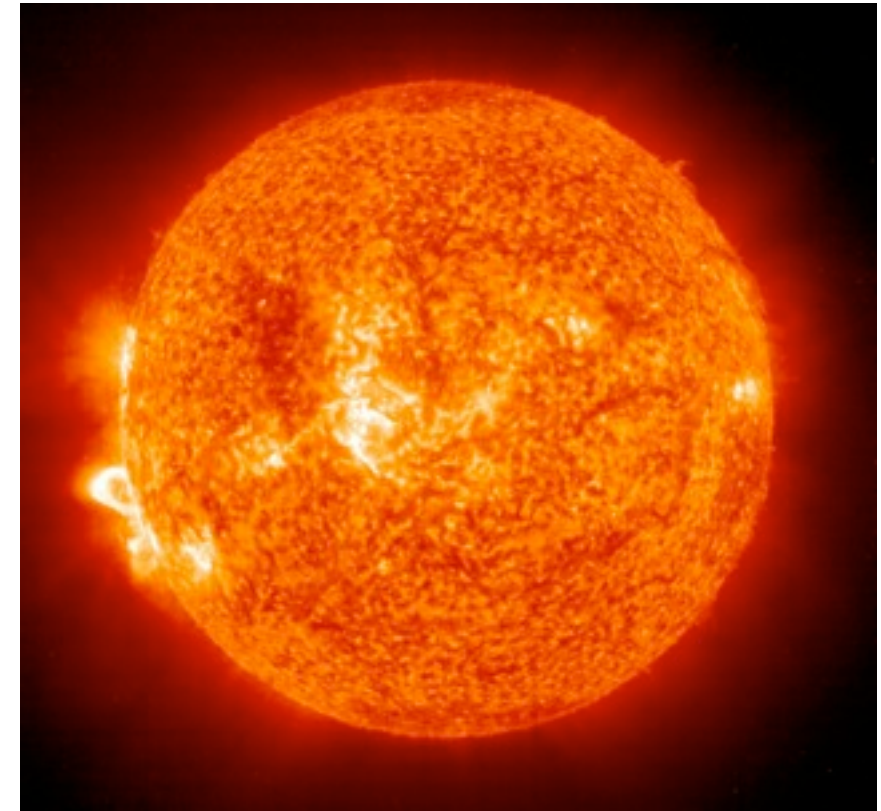


FZ Jülich



# Fazit

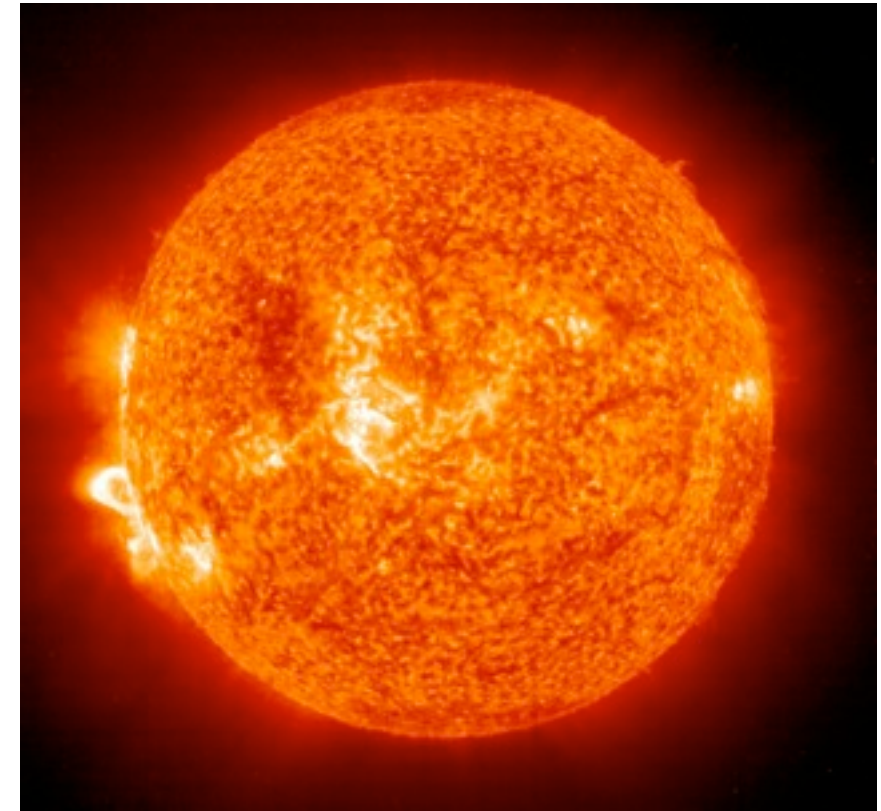
- “regenerative” Energiequelle *existiert*:  
**Sonne**
- Technologie zur Nutzbarmachung  
*existiert* (Solarkraftwerke, Windkraft, ...)
- Versorgungsnetzwerk (Leitung, H<sub>2</sub>, ...) muss weiter ausgebaut werden
- Politische / wirtschaftliche / gesellschaftliche Weichenstellung  
**nicht** ausreichend





# Fazit

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



**Chancen nutzen !**