

Über die Grenzen des Ausbaus von Wind- und Solaranlagen und die Rolle von Speichern

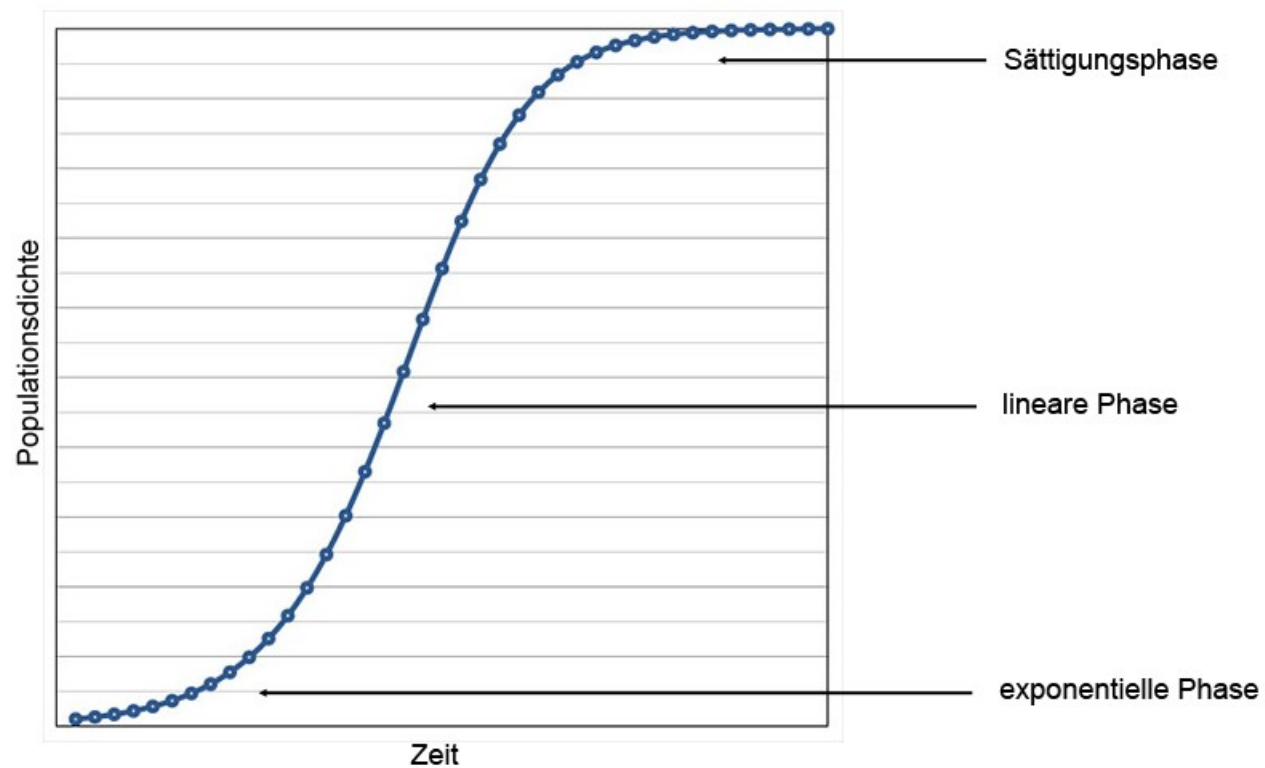
Sigismund KOBE

Institut für Theoretische Physik, Technische Universität Dresden
<https://tu-dresden.de/mn/physik/itp/das-institut/beschaefigte/kobe>

Bürgerinitiative „Wir für ein schönes Klipphausen“
Klipphausen, 16. Juli 2025

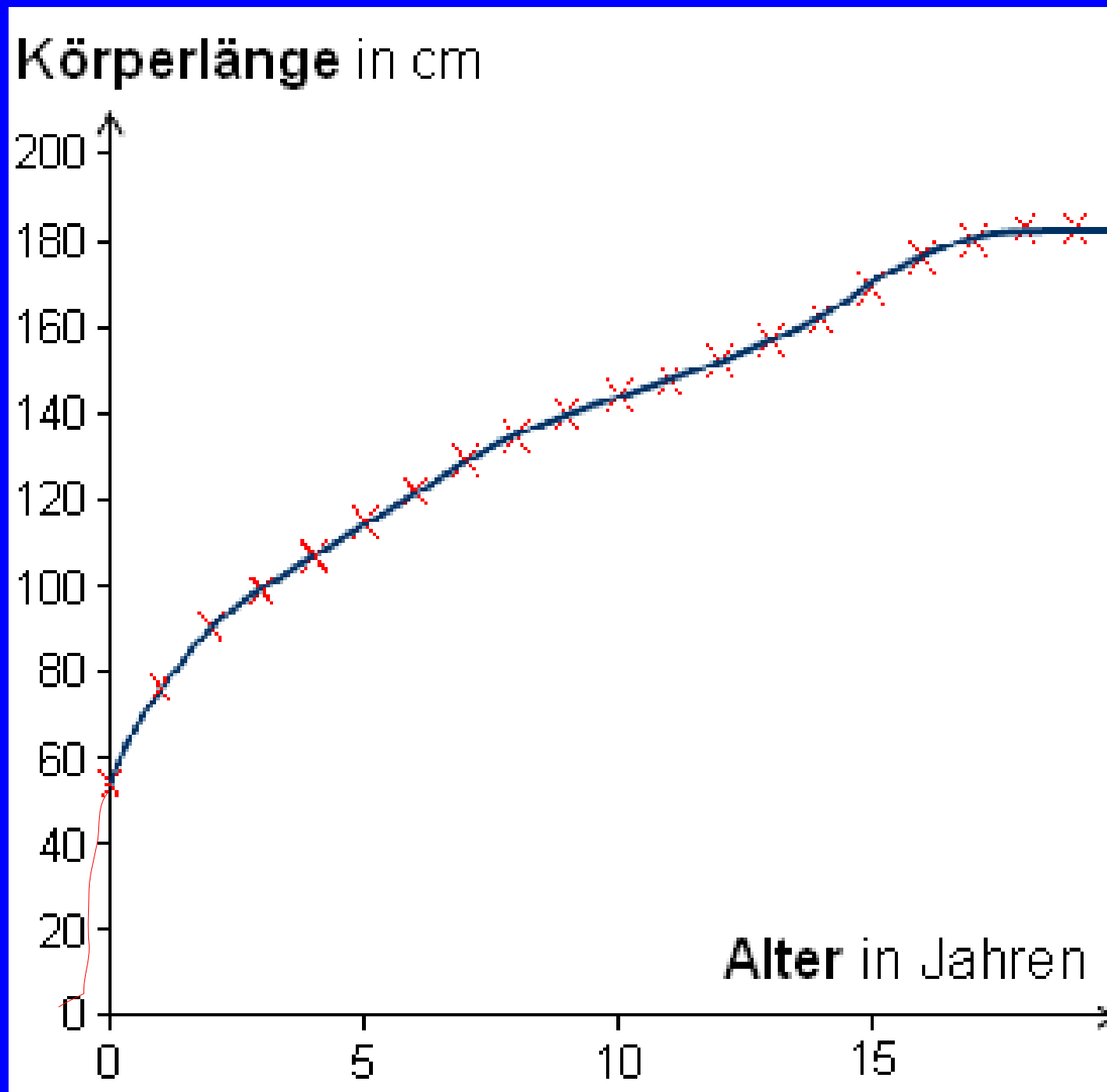
PROLOG

**Warum Bäume
nicht in den Himmel wachsen**

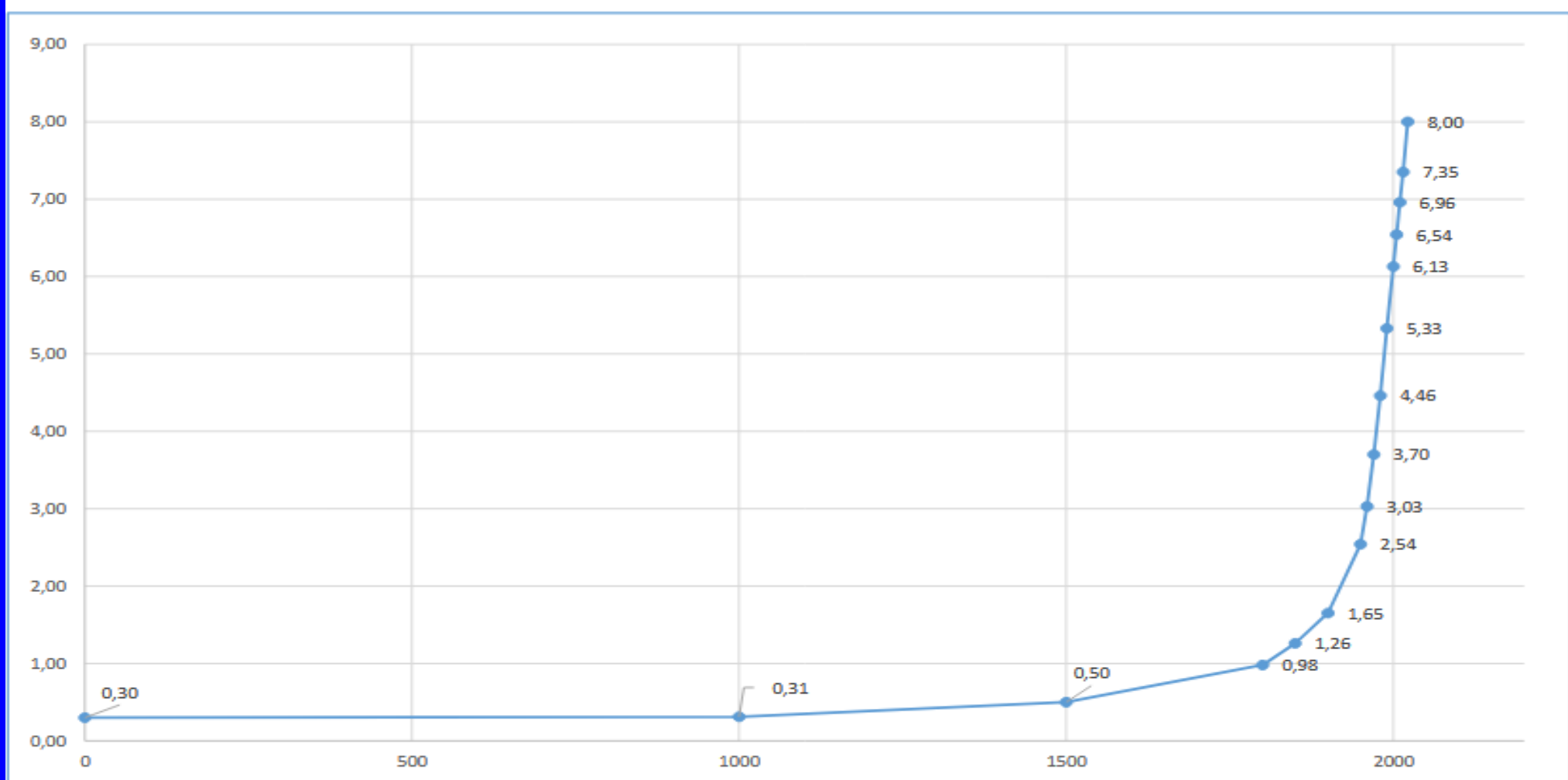


$$f(t) = \frac{a \cdot S}{a + (S - a) \cdot e^{-S \cdot k \cdot t}}$$

$$f(t \rightarrow \infty) = S$$



Weltbevölkerung 0 - 2022

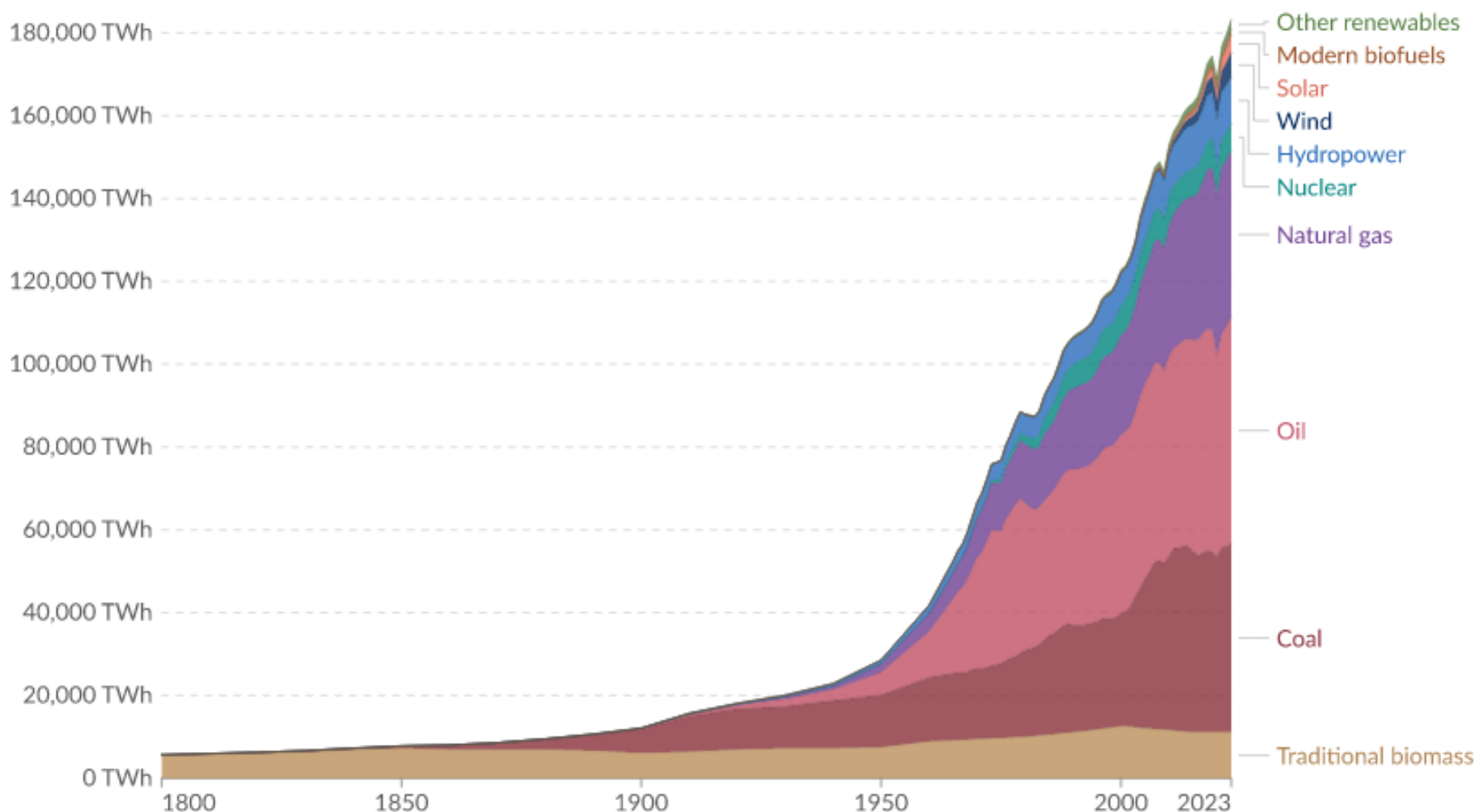


Quelle: Statistika.com / UN-DESA (Population Division)

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1716/umfrage/entwicklung-der-weltbevoelkerung/>

Global primary energy consumption by source

Primary energy is based on the substitution method and measured in terawatt-hours.



Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024); Smil (2017)

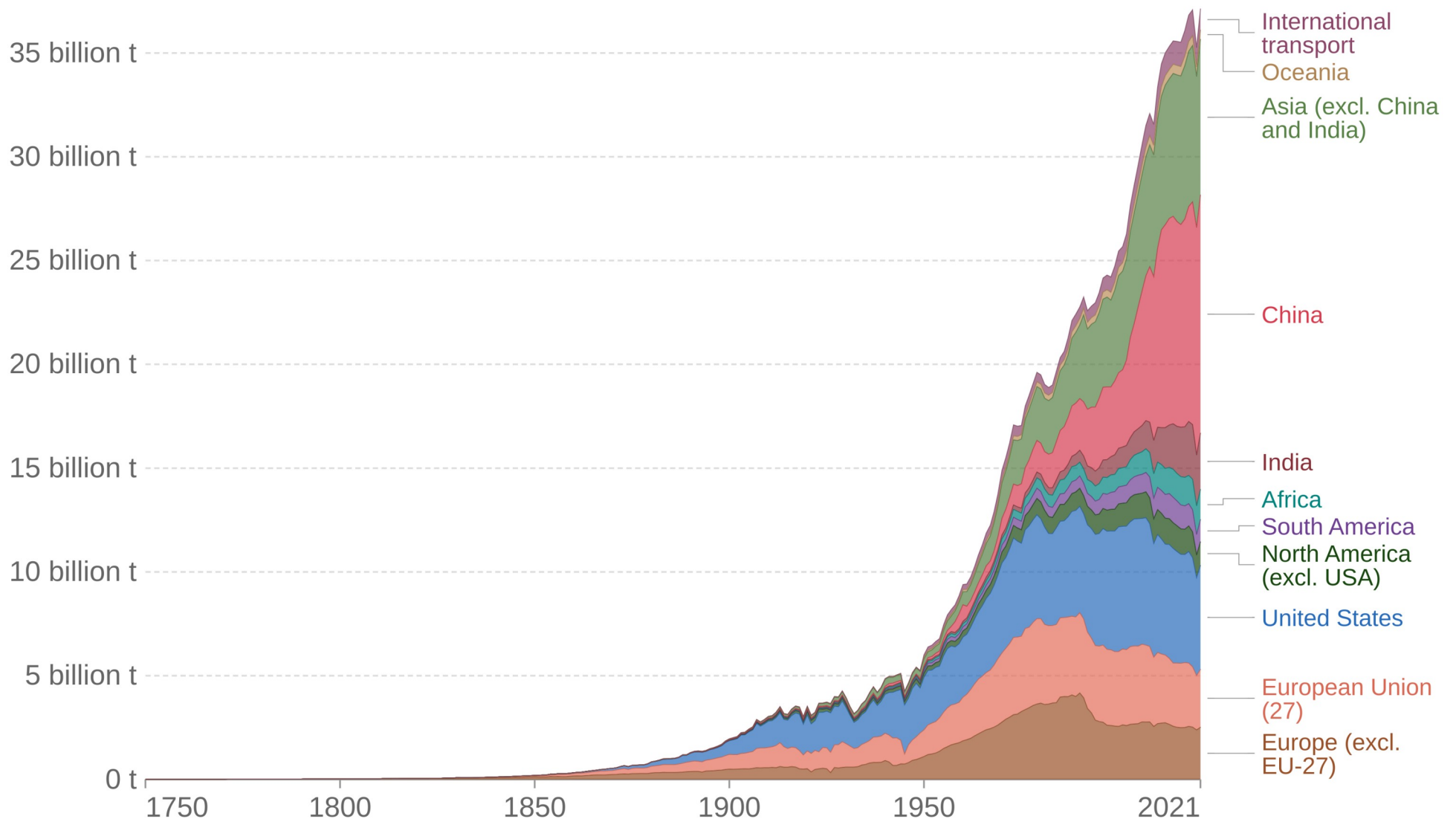
OurWorldinData.org/energy | CC BY

Note: In the absence of more recent data, traditional biomass is assumed constant since 2015.

Annual CO₂ emissions by world region

Our World
in Data

This measures fossil fuel and industry emissions¹. Land use change is not included.



Data source: Global Carbon Budget (2022)

OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

1. Fossil emissions: Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO₂) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO₂ includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

PHYSIK

Wiederholung Physik:

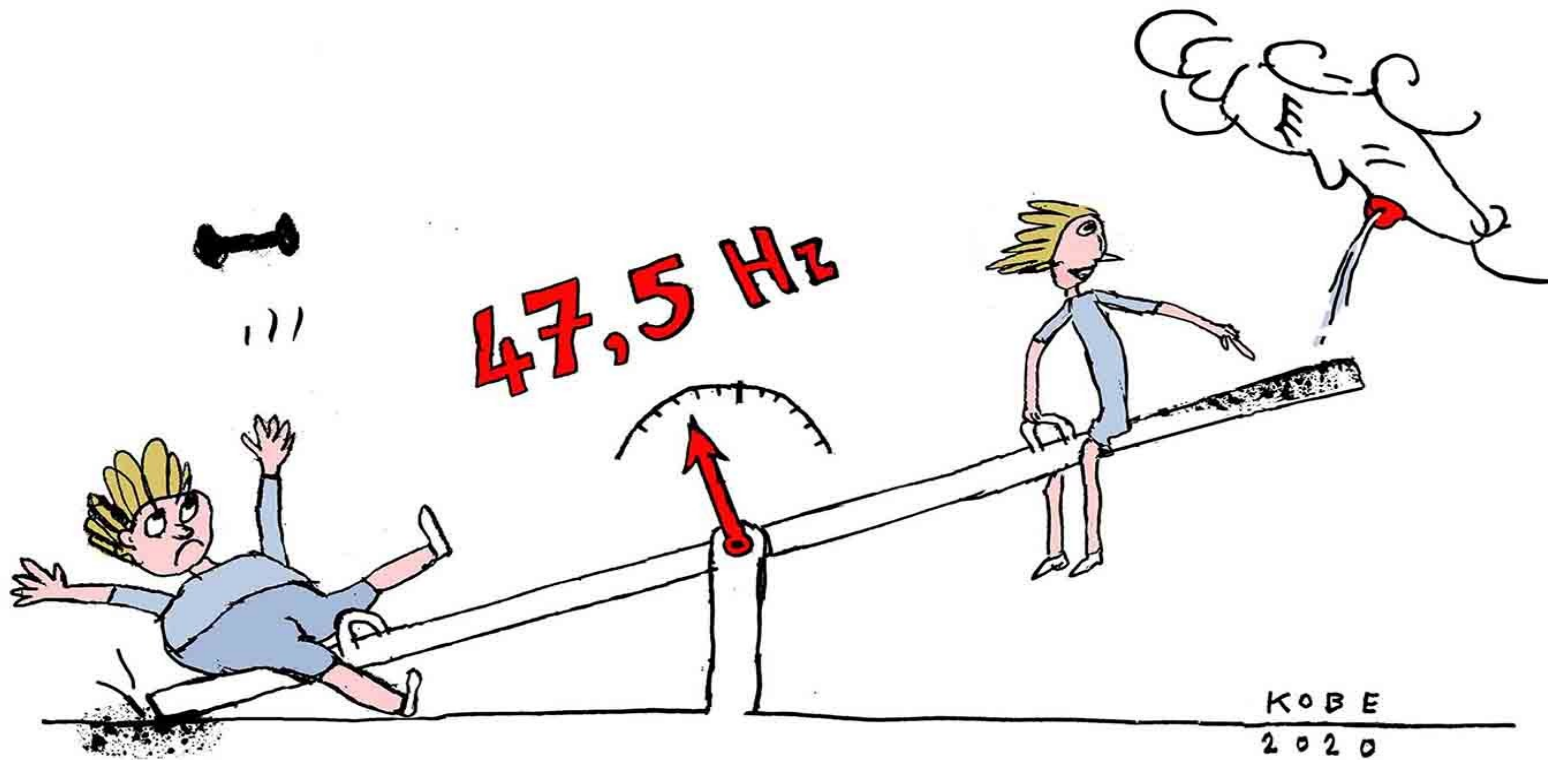
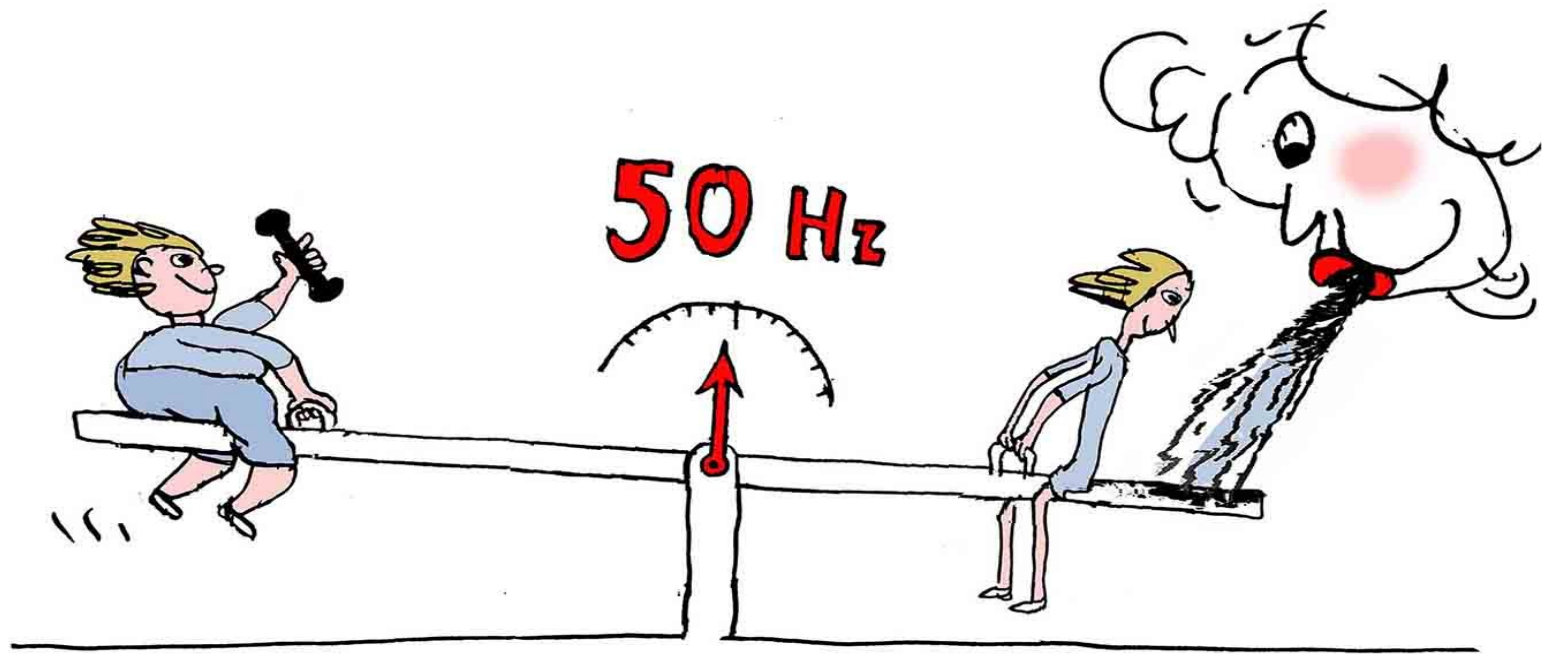
Leistung: Einheit: Kilowatt (kW)
z.B.: Staubsauger mit 1000 W = 1 kW

Deutschland braucht ca.
50 Millionen kW = 50 000 MW = 50 GW

Energie: Einheit: Kilowattstunde (kWh)
z.B. „eine Stunde saugen“: 1 kWh

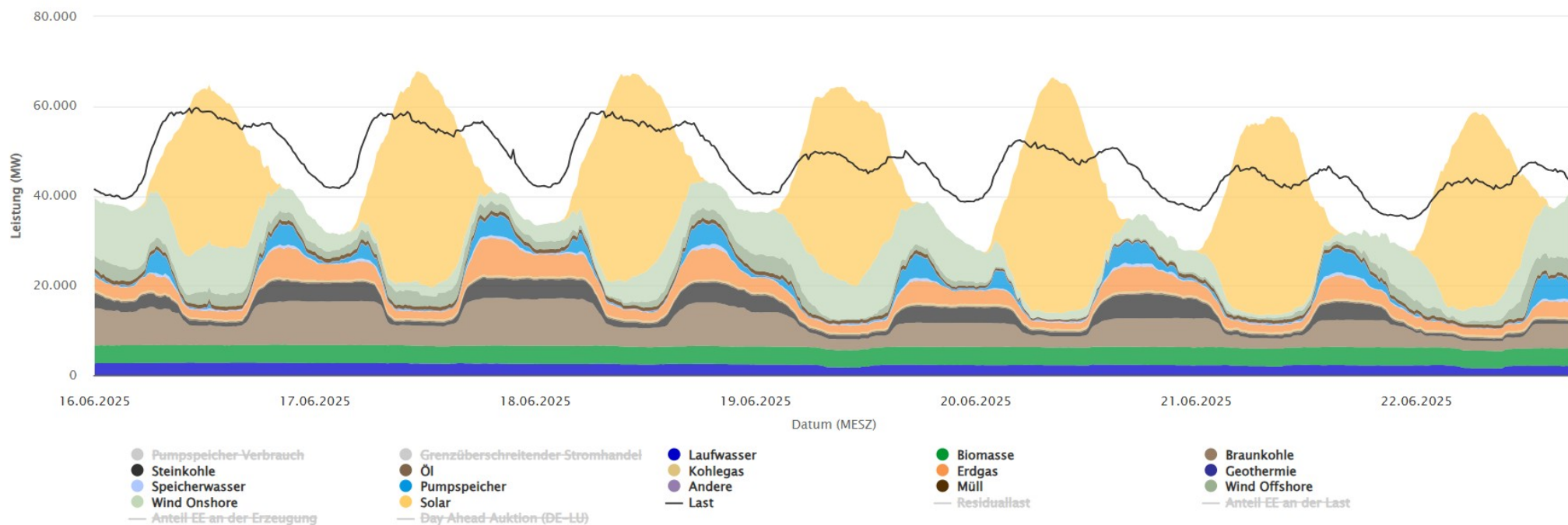
Verbrauch Deutschlands pro Jahr ca.
500 Milliarden kWh = 500 TWh

(1 Terawattstunde = 1 Milliarde Kilowattstunden)



Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland in Woche 25 2025

Energetisch korrigierte Werte



WELT

2023	2024	jährl. Zuw.	10-Jahreszuw. pro Jahr
------	------	-------------	------------------------

gehandelte Energie in EJ

580.28	592.22	1.78%	1.29%
--------	--------	-------	-------

in TWh (Umrechnung wegen Vergleich mit Elektroenergie)

161 183	164 506
---------	---------

Weltbevölkerung in Milliarden geschätzt

8,06	8,13	0,9%	1,1%	(2025: 0,836%)
------	------	------	------	----------------

CO2-Emission in Millionen t

35 024	35 492	1.1%	0.8%
--------	--------	------	------

Öl+Erdgas+Kohle in EJ

505,11	512,71	1,5%
--------	--------	------

Anteil von (Öl+Erdgas+Kohle) an weltweit gehandelter Energie

87%	86,6%	-0,4%
-----	-------	-------

Anteil von Kernenergie an weltweit gehandelter Energie

5,1%	5,2%	0,1%
------	------	------

Anteil von Wasserkraft an weltweit gehandelter Energie

2,6%	2,7%	0,1%
------	------	------

Anteil von EE an weltweit gehandelter Energie

5,1%	5,5%	0,4%
------	------	------

CO2-Emissionen in Mill. t

Germany:

576.7	569.7	-1.5%	-2.7%
-------	-------	-------	-------

2024 wurden in Deutschland 7 Mill. t weniger emi. als 2023, in der Welt 468 Mill. t mehr.
Die Einsparung in D in einem Jahr betrug 0,03 % der Gesamtemission weltweit.
Der Anteil Deutschlands betrug 1,6 % der Gesamtemission.

China:

11007.5	11172.8	1.2%	2.0%
---------	---------	------	------

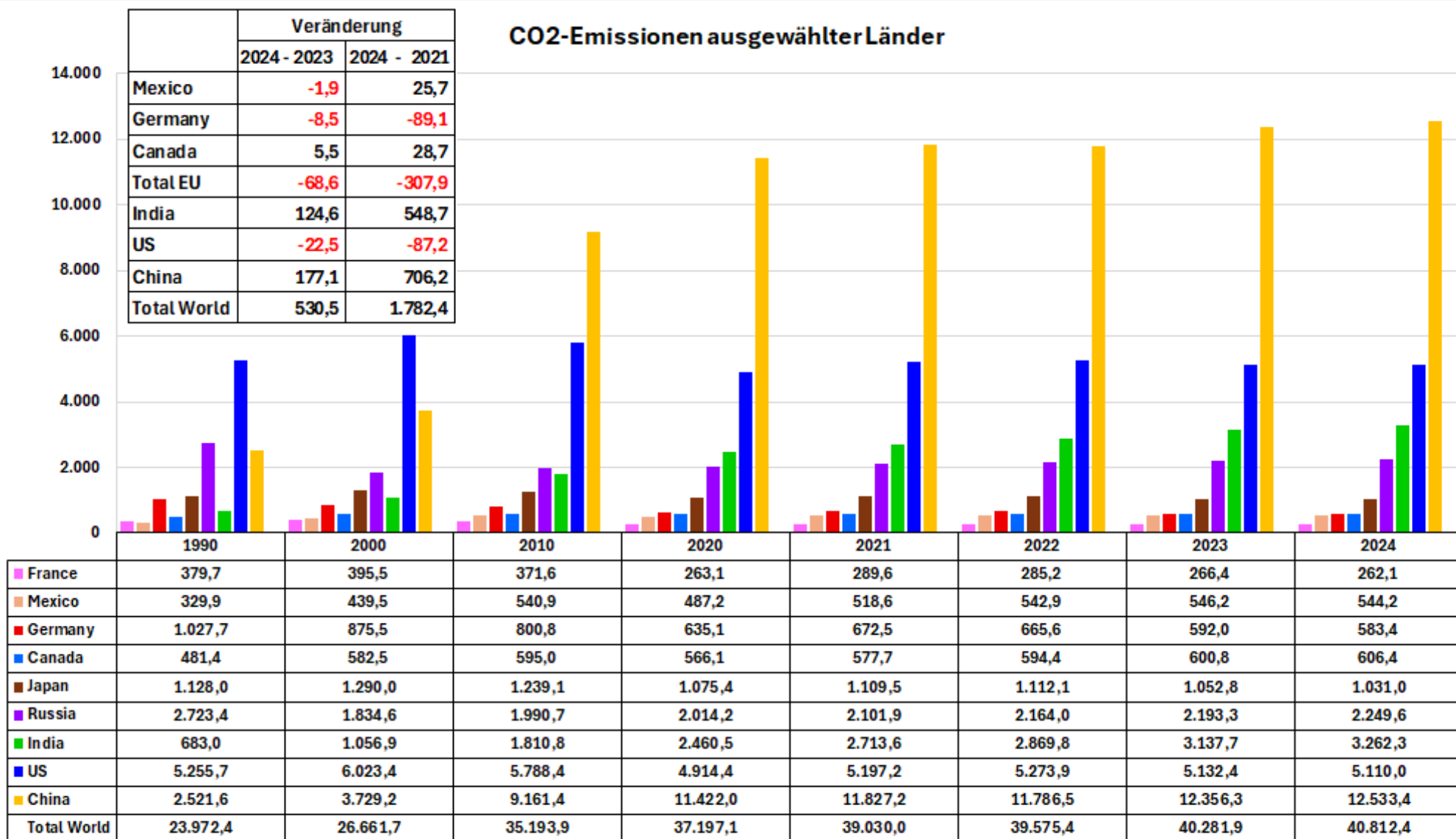
2024 wurden in China 165,3 Mill. t mehr emittiert als 2023.
Der jährlich Zuwachs betrug 0,47 %.
Der Anteil Chinas betrug 31,5 % der Gesamtemission.

Frankreich:

258.1	254.2	-1.8%	-1.8%
-------	-------	-------	-------

2024 wurden in Frankreich 3,9 Mill. t weniger emittiert als 2023.
Die Einsparung in F in einem Jahr betrug 0,01 % der Gesamtemission weltweit.
Der Anteil Frankreich betrug 0,7 % der Gesamtemission.

CO2-Emissionen ausgewählter Länder



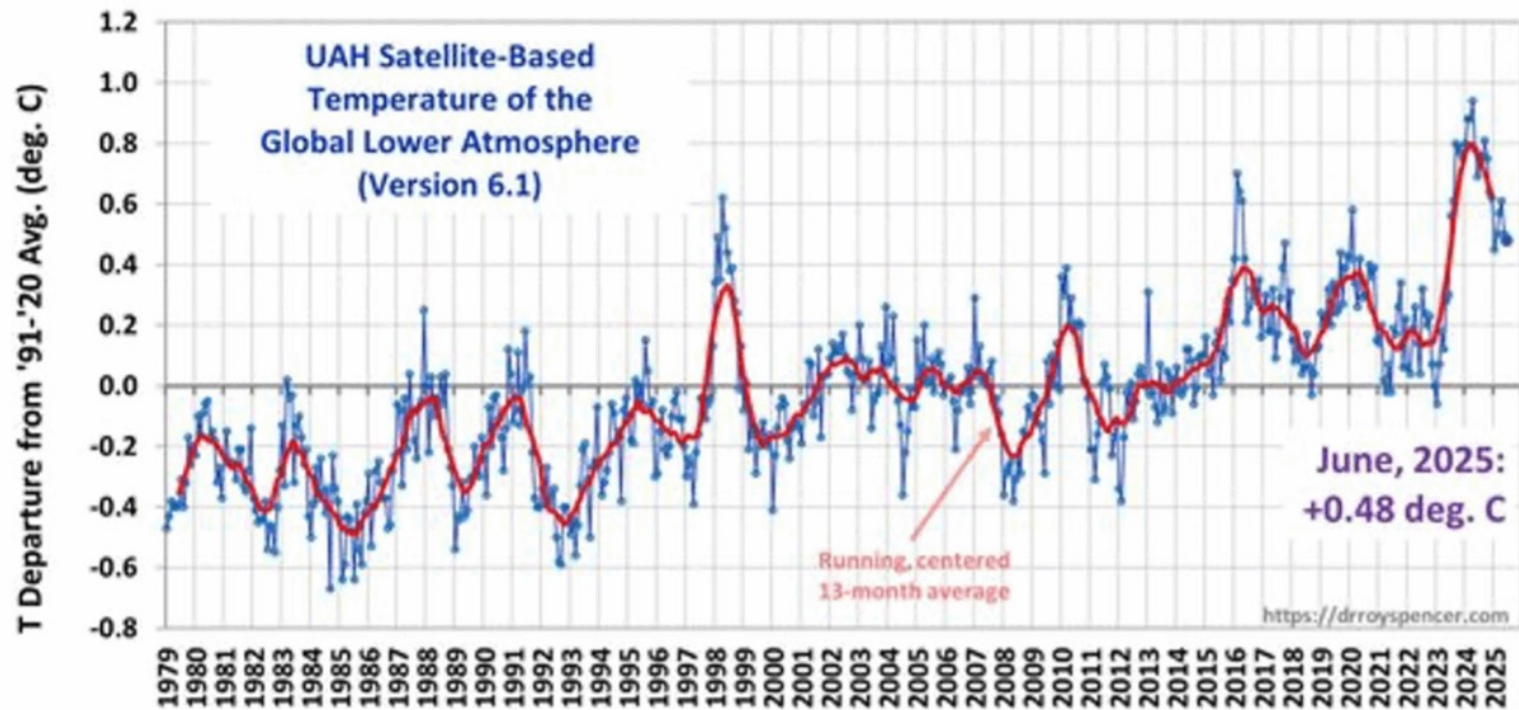
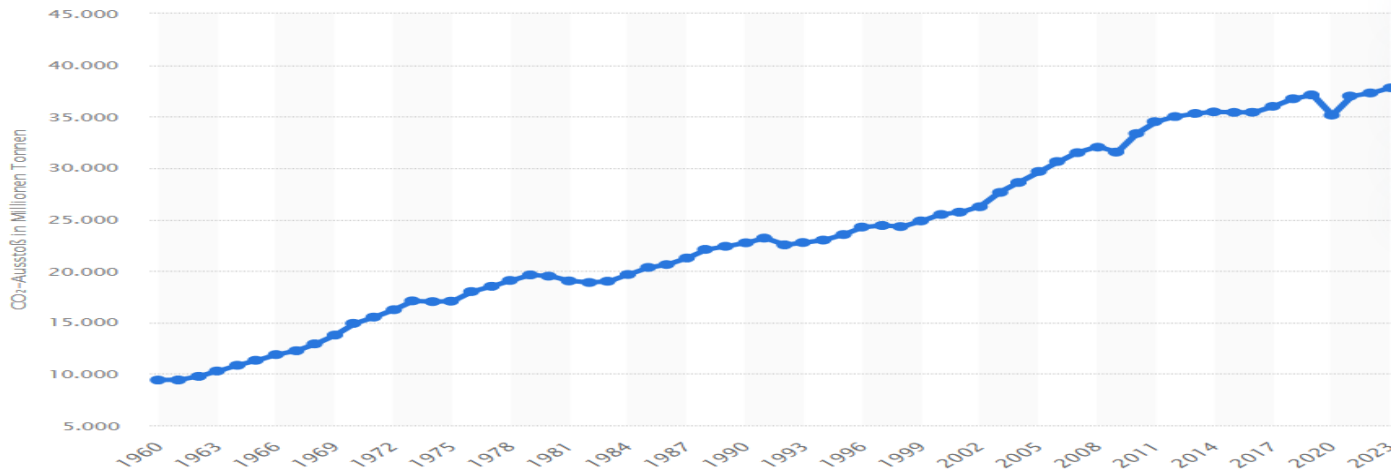
Datenquelle: 2025 Energy Institute Statistical Review of World Energy

Darstellung: Rolf Schuster

CO₂-Emissionen weltweit in den Jahren 1960 bis 2023

(in Millionen Tonnen)

Zoombare Statistik: Wählen Sie den Bereich im Diagramm aus, in den Sie zoomen möchten.

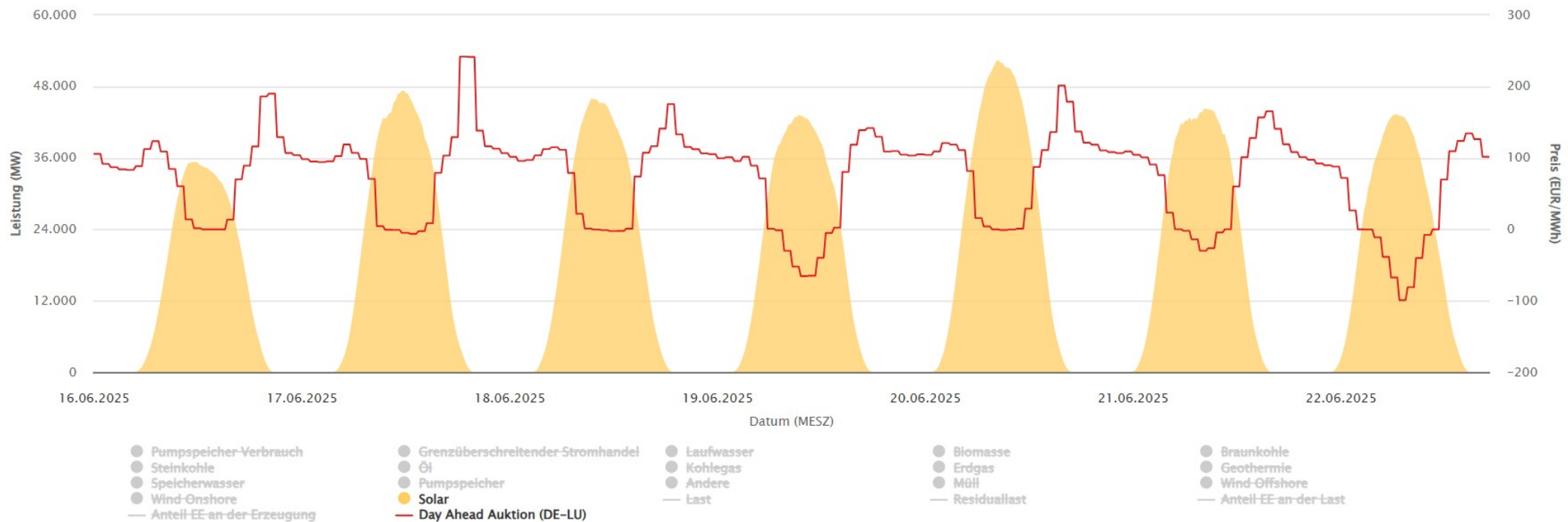


DEUTSCHLAND

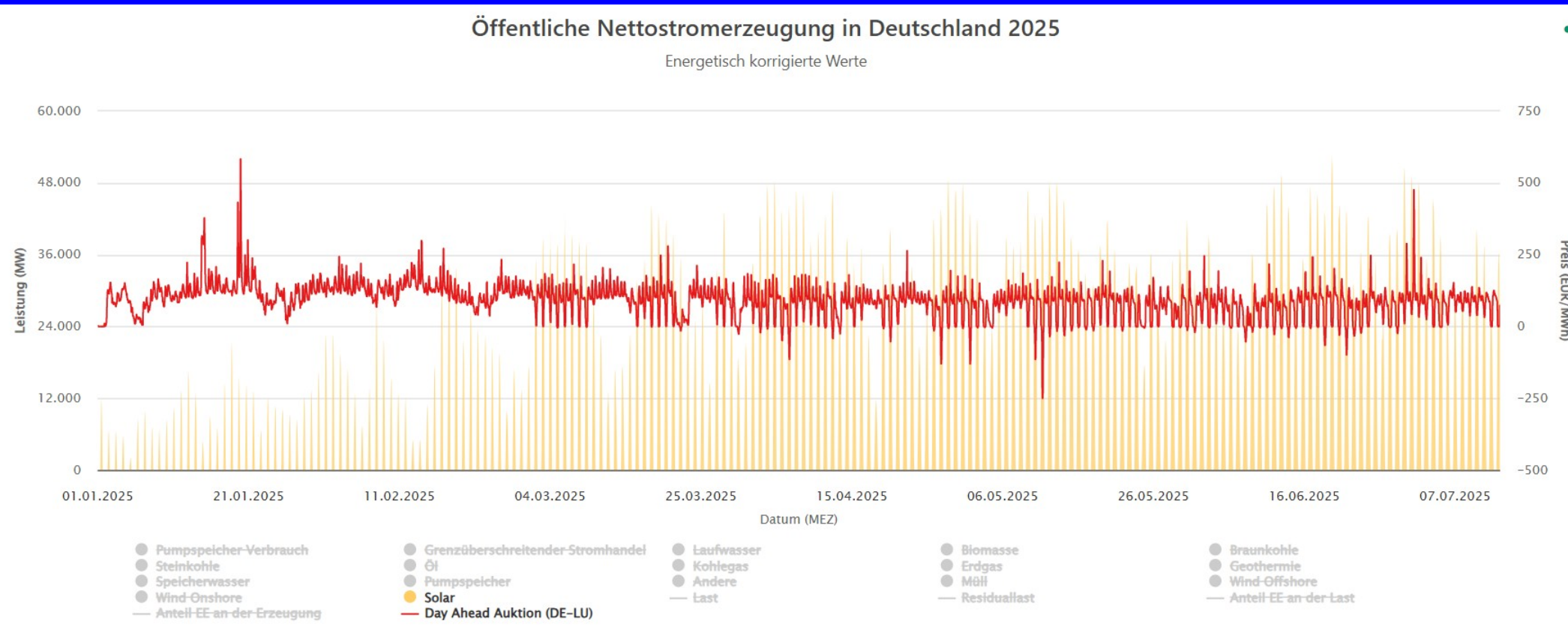
Photovoltaik und Börsenpreis in der 25. KW 2025

Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland in Woche 25 2025

Energetisch korrigierte Werte



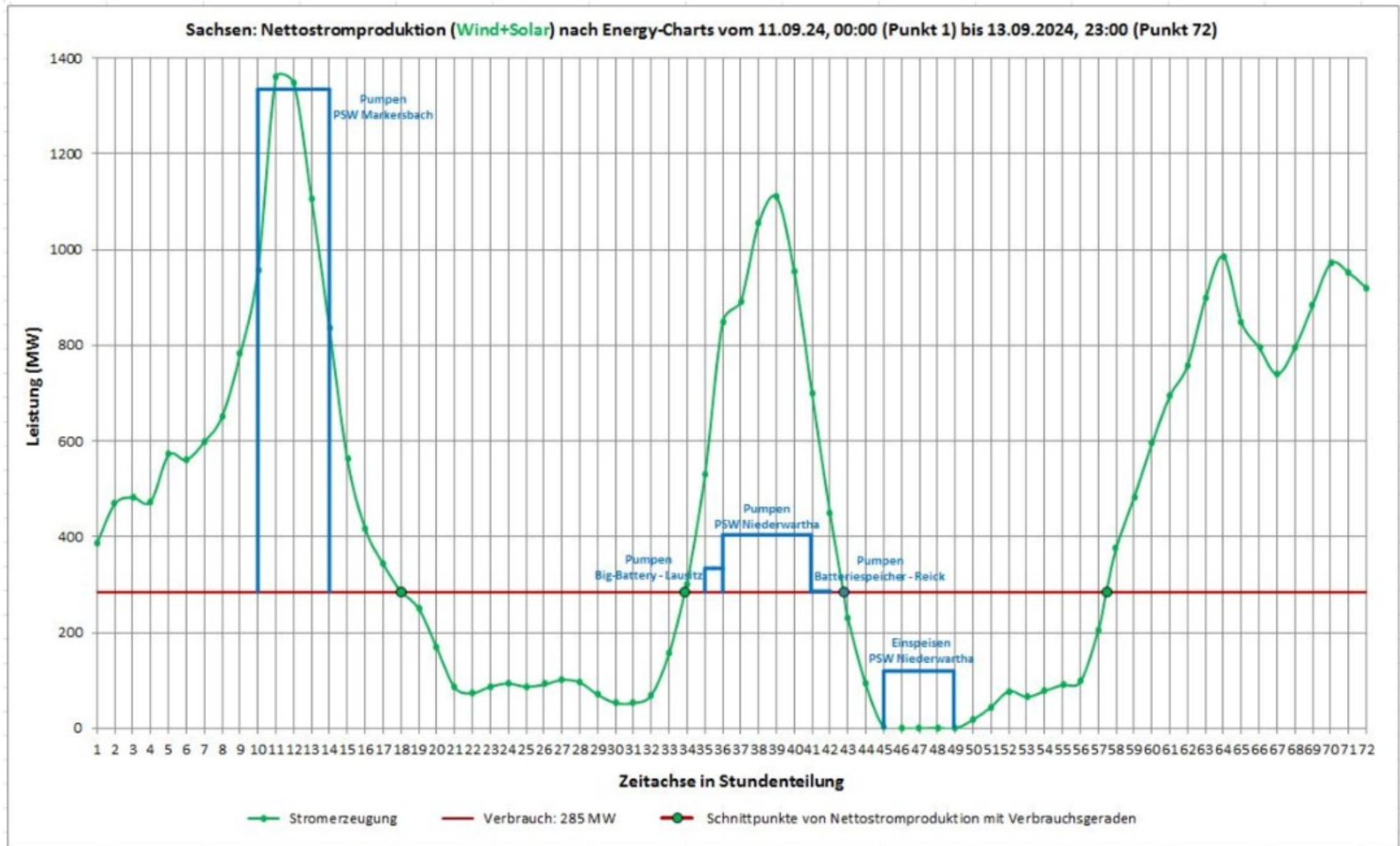
Photovoltaik und Börsenpreis 2025



„Kipppunkt“ am 2. März 2025 ???

SACHSEN

- Sachsen Wind + Solar, drei windschwache Tage im September 2024 mit Speicher-Optionen (Markersbach, Niederwartha, Big-Battery-Lausitz, Batteriespeicher Reick)
- rote Linie → mittleren Bedarf von 1 Mill. Haushalten



KLIPPHAUSEN

Datenstand: 14.10.2024

Rote Zahlen = Gesamthöhe der Anlage In Betrieb
Gelbe Zahlen = Gesamthöhe der Anlage In Planung

10_14_SN_Betrieb

10_14_SN_Plan

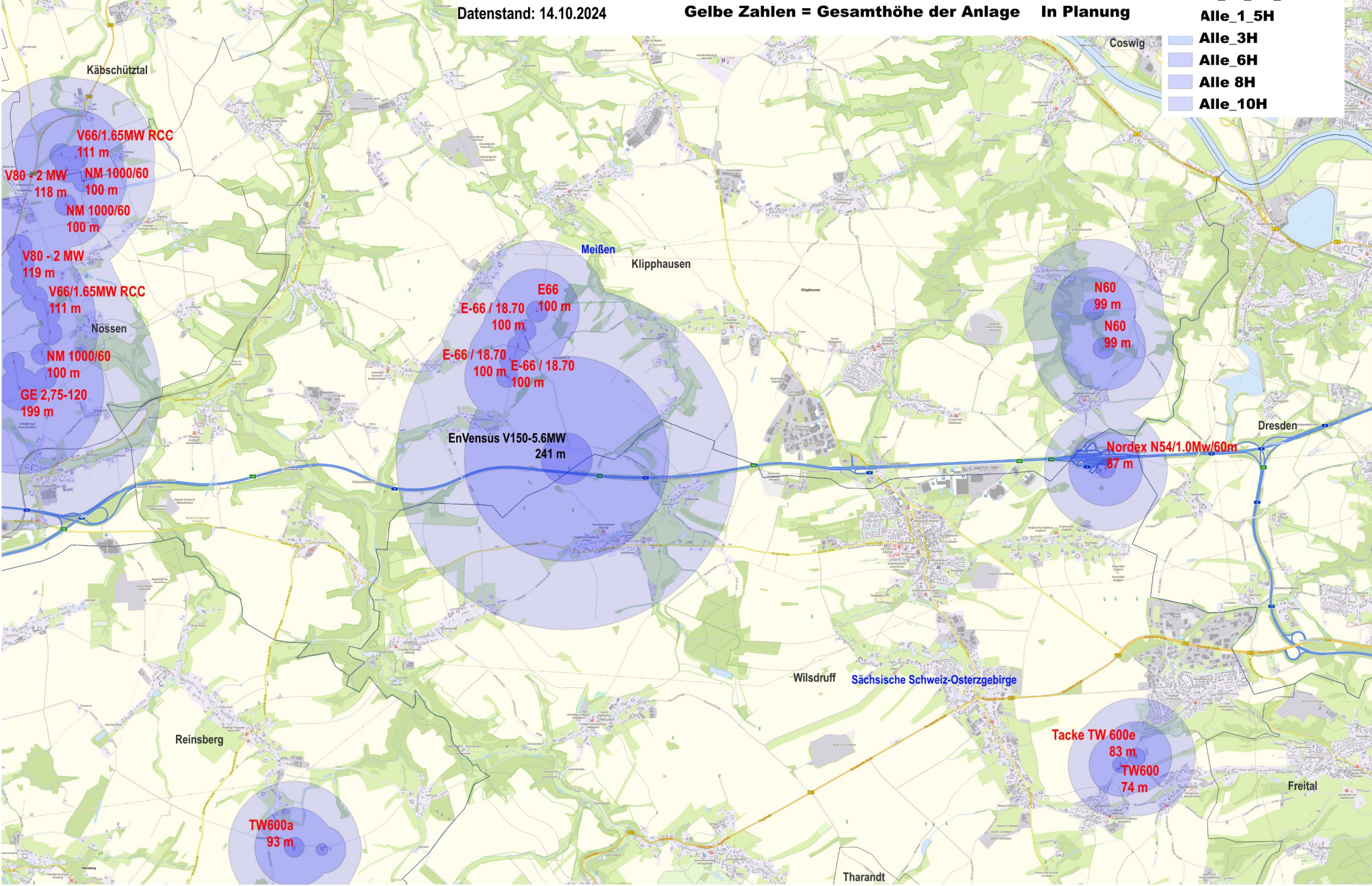
Alle_1_5H

Alle_3H

Alle_6H

Alle_8H

Alle_10H





Jahr

Typ

Inst. Lstg. (kW)

Höhe (m)

VLS 2016

2021

kWh 2020

kWh 2021

Verg. €
2020

2021

Klipphaus	37958	2003		E-66/18.7	1800	4	100	1708	1388	1770	1462	1669	1559	1391	2806504	2503120	194760,1	71788
Klipphaus	37959	2003		E-66/18.7	1800	4	100	1708	1388	1770	1462	1669	1559	1391	2806501	2503117	194759,9	71787,9
Klipphaus	37959	2003		E-66/18.7	1800	4	100	1708	1388	1770	1462	1669	1559	1391	2806504	2503120	194760,1	71788
Klipphaus	38244	2004		E-66/18.7	1800	4	100	1708	1388	1770	1462	1669	1559	1391	2806504	2503120	189147,1	68627,5
Klipphaus	35677	1997		E-66 1.5M	1500	3	100	1755	1356	1671	1499	1095	1552	1389	2327690	2083667	98491,54	59082,5
Klipphaus	36931	2001		E40 600	600	2	87	1714	1445	1840	1498	1662	1524	1364	914198	818356	65543,25	25379,4
Klipphaus	36931	2001		E40 600	600	2	87	1714	1445	1840	1498	1662	1524	1364	914195	818356	65543,05	25379,3

**GRENZEN
DES
AUSBAUS ?**

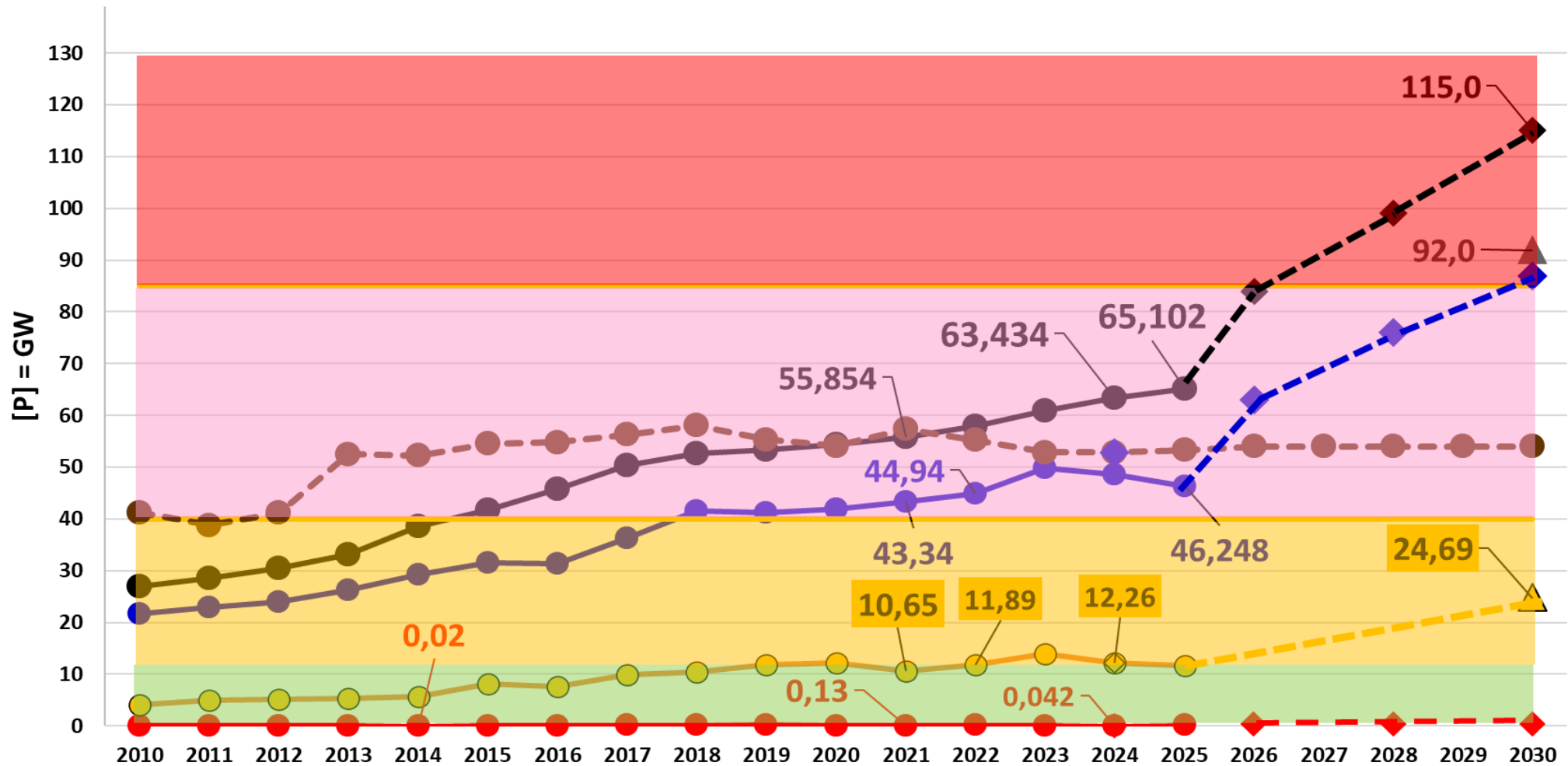


Sachsens Ministerpräsident Kretschmer

»Die Energiewende, so wie sie geplant war, ist gescheitert«

Energie sei die »Achillesferse« der Volkswirtschaft – und Deutschland gerade verwundbar, mahnt Sachsens Regierungschef Michael Kretschmer. Der Bund müsse seine Strategie ändern: Kraftwerke abzuschalten, sei falsch.

18.07.2022, 09.32 Uhr



Datenquelle: Netzbetreiber / BMWK / DENA

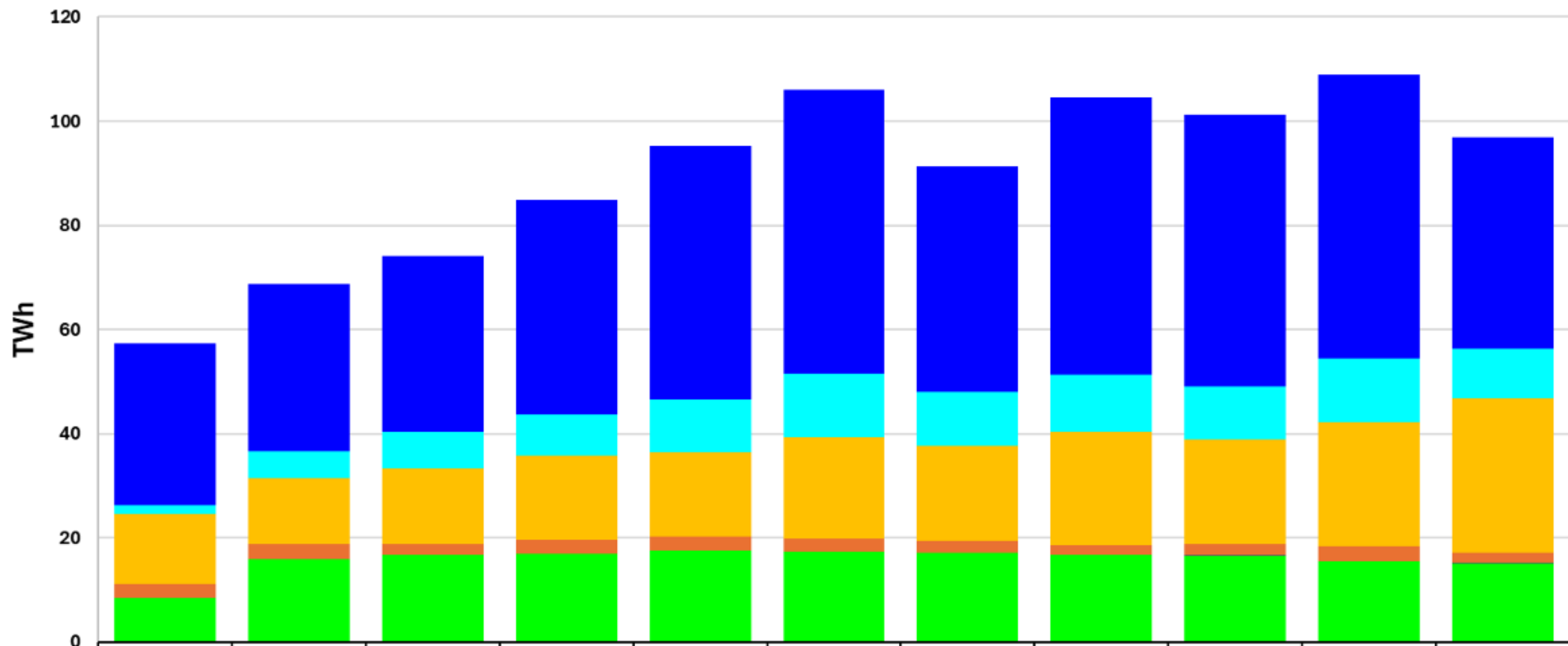
Wind an Land 2010 – 2025

Leistungen: minimal (rot), Mittelwert (gelb), maximal (blau)
installiert (schwarz), Netzllast (braun)

Flächen: grün – möglich, gelb – mit Speicher möglich,

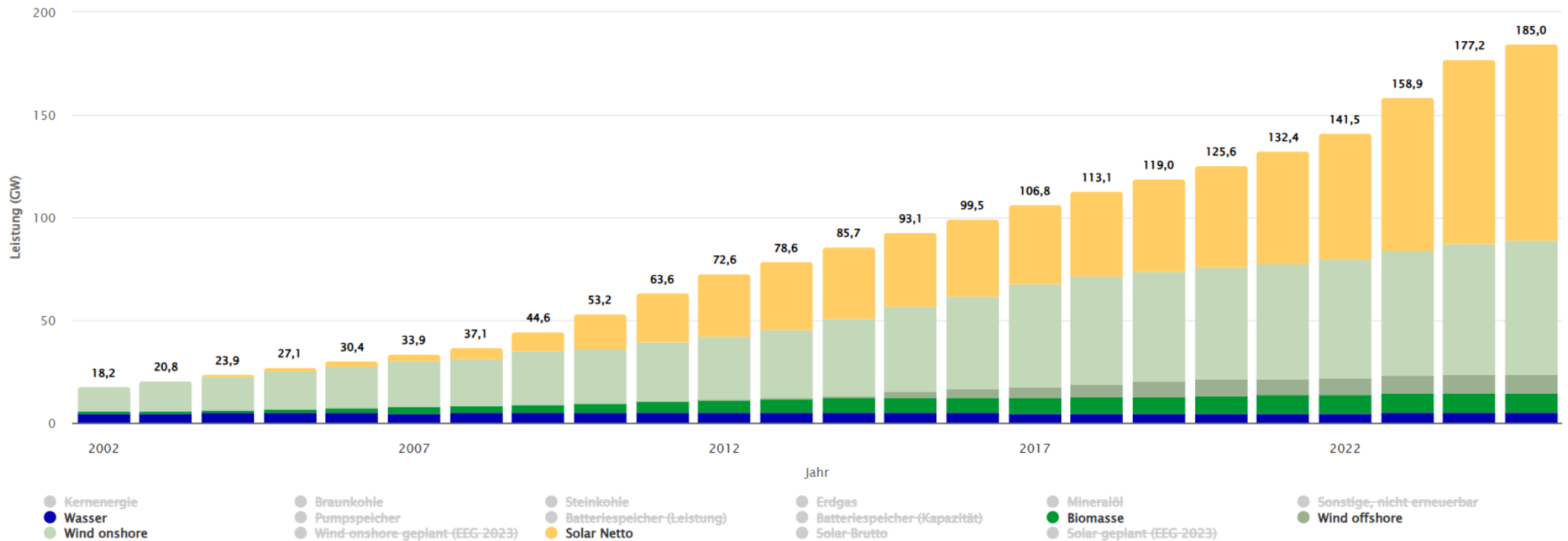
pink – mehr als 2 % der Landesfläche nötig, rot – „Energieentnahme“

Januar bis Juni Einspeisungen = TWh



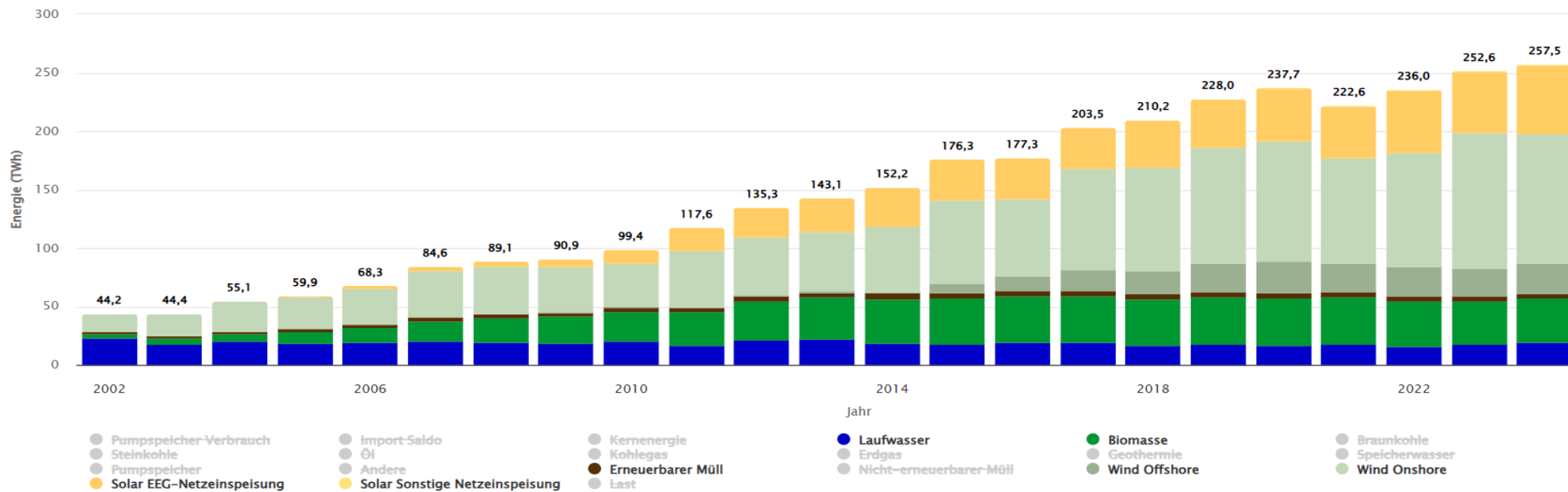
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Summe	57,7	69,0	74,6	85,7	96,1	106,6	92,4	105,4	102,1	109,7	97,6
Onshore	31,1	31,9	33,6	41,2	48,7	54,4	43,4	53,2	52,1	54,4	40,6
Offshore	1,6	5,2	7,2	7,9	10,2	12,3	10,4	10,9	10,1	12,3	9,6
Solar	13,6	12,8	14,5	16,0	16,1	19,4	18,1	21,7	20,2	23,8	29,5
Hydro	2,6	2,8	2,0	2,7	2,6	2,4	2,3	1,9	2,1	2,8	2,0
Geo TWh	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Bio	8,5	15,9	16,7	17,0	17,6	17,4	17,1	16,7	16,6	15,5	15,1

Installierte Netto-Leistung zur Stromerzeugung in Deutschland



Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland

Energetisch korrigierte Werte - bis 14.07.2025, 10:00 MESZ



Schlussfolgerung:

Ein weiterer Ausbau von WEA und PV ist nur dann zielführend und steht unter dem Vorbehalt, dass

- bei Unterdeckung das Gleichgewicht von Erzeugung und Verbrauch durch **back-up** Kraftwerke eingehalten wird,
- **Speicher** und Wandler existieren, die Überschuss-Strom direkt aus WEA und PV aufnehmen können,
- **Verbraucher** existieren, die entsprechend dem Leistungsangebot von WEA und PV sekundengenau zeitsynchron zu- bzw. abgeschaltet werden können.

FAZIT:

Grenzen des Zubaus der Erneuerbaren Energien in Deutschland werden bestimmt durch meteorologische, technologische, ökonomische, ökologische und soziale Randbedingungen. Diese Grenzen sind derzeit erreicht.

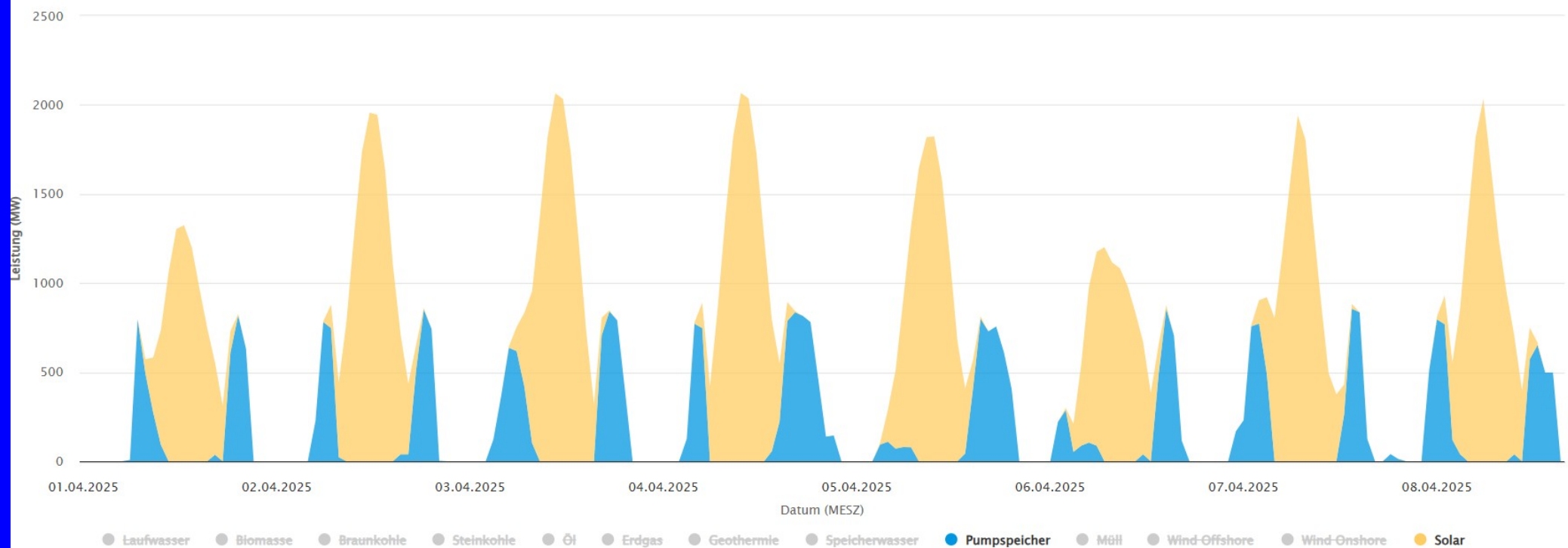
Ein weiterer Zubau ist deshalb nicht im öffentlichen Interesse und gefährdet die Versorgungssicherheit.

Nächster Schritt: Speicher

SPEICHER

Photovoltaik und PSW-Einspeisung (d.h. Markersbach) SACHSEN (1.-8. April 2025)

Gesamte Nettostromerzeugung in Sachsen im April 2025



Potenzial des PSW Niederwartha – Beispiele

A) Photovoltaik in Dresden

Installierte Leistung: 45 MW

Annahme: Sommertag mit 4 Tages-Volllast-Stunden

Ertrag: 180 MWh pro Sommertag

Annahme: 1/3 des Ertrags muss gespeichert werden

Speicherbedarf: 60 MWh

(75 MWh nach EMBER-Modell: 17 x 4,5 MWh)

vorhandene „Hausspeicher“-Akkus: 10 MWh

Es fehlen derzeit schon: 50 MWh

PSW NW bietet maximal: 600 MWh

B) Photovoltaik-Freiflächen in Sachsen

Installierte Leistung: 900 MW

Annahme: Sommertag mit 4 Tages-Vollast-Stunden

Ertrag: 3600 MWh pro Sommertag

Annahme: 1/3 des Ertrags muss gespeichert werden

Speicherbedarf: 1200 MWh (EMBER: 1500 MWh)

Fazit:

PSW NW könnte die Hälfte des bereits heute vorhandenen Speicherbedarfs für PV-Freiflächen in Sachsen decken

C) Wasserstoffstrategie

**Für Elektrolyse mit Strom aus WEA und PV:
Hochlauf nur mit Speicher???**

Elektrolyse mit Strom aus Wasserkraft:

Assuan 2100 MW, davon alkalische Elektrolyse Lurgi: 160 MW (?)
Diese Verfahren ist Standard (konstanter Strom).

Moderne Entwicklungen haben das Ziel, fluktuierenden Strom zu verwenden:

Mainz <u>PEM</u> :	4 MW (max. 6 MW)
Wesseling <u>PEM</u> :	10 MW
Rotterdam (sunfire) <u>HTE</u>	2,6 MW

Herzlichen Dank an:

Dr.-Ing. Detlef AHLBORN

Rolf SCHUSTER

Dr.sc.nat. Wolfgang SCHILLER

Martin BRABAND

und

Ronald KOBE

(Cartoon[©])

Grafiken: Energy Charts, ISE Freiburg

EPILOG

„Mein Kraftwerk“ (EE, autark)



$P = 91 \text{ W}_{\text{peak}}$
0,6 qm (PV-Fläche)
62 €



Laderegler, Wechselrichter
Akku, Messelektronik ...
315 €

Ertrag seit 09.09.2021 (+ Erweiterung um weitere $91 \text{ W}_{\text{peak}}$):
171 kWh (54,72 €), bis zu 170 kg CO₂-Emission vermieden

Unser Projekt:

„Erneuerbare für Ida und Walid“

Crowdfunding für eine PV-Anlage in Syrien

Nach dem Ende des Assad-Regimes liegt das Land am Boden. Strom gibt es z.B. nur an wenigen Stunden des Tages.

Die Idee: PV für Ida (69) und Walid (73) zur Überbrückung der Ausfallzeiten, um z.B. den Kühlschrank zu betreiben. Ziel: 1500 EUR durch Kleinspenden kumulieren.



Installierte Leistung:

$4 \times 610 \text{ W}_{\text{peak}}$

$= 2440 \text{ W}_{\text{peak}}$

Lithium-Batterie:

24 V, 200 Ah

Sigismund Kobe

DE75 8505 0300 4121 6492 28
Verwendungszweck: EE für Ida

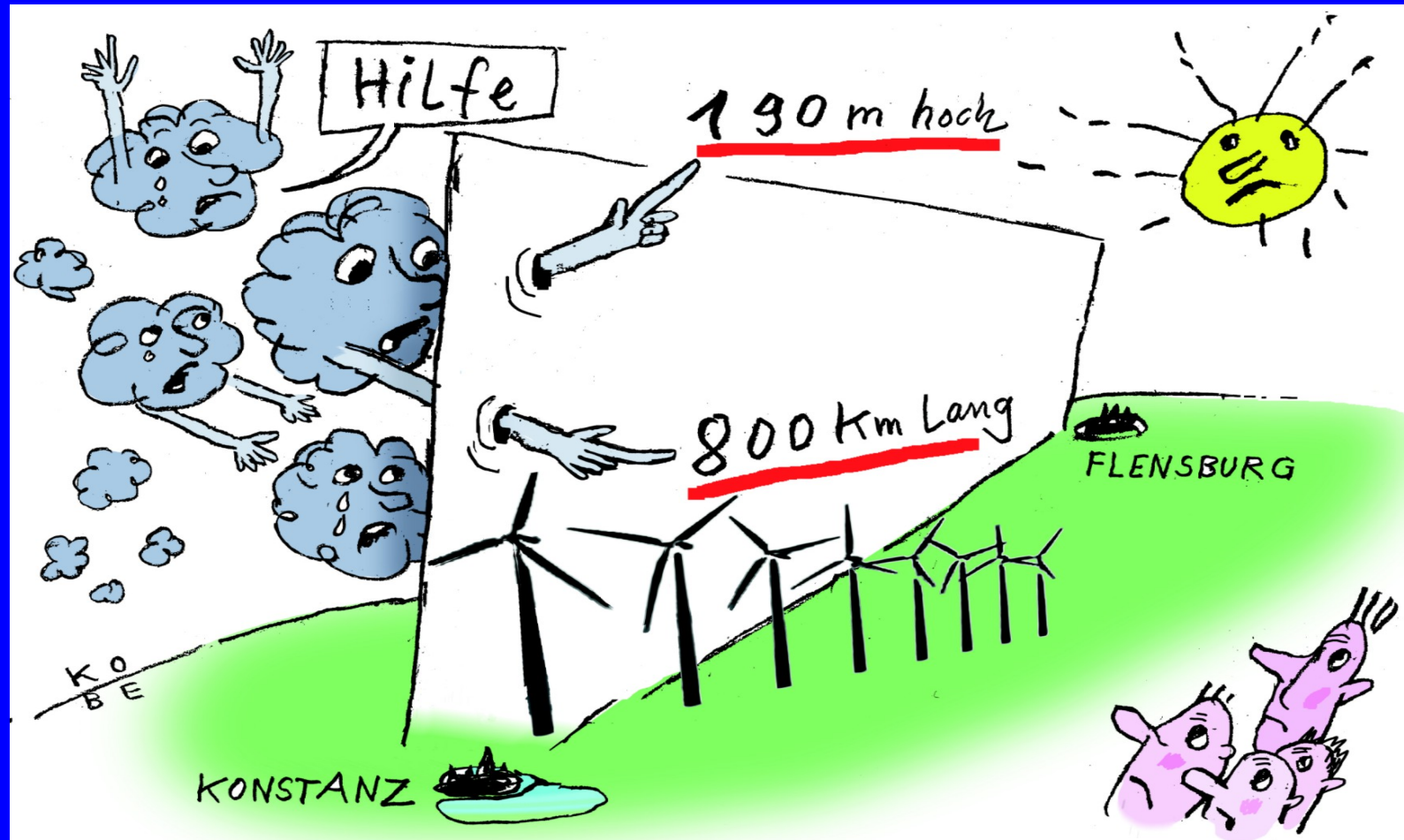
Vielen Dank !

Wird ein weiterer Ausbau von Windenergie- und Photovoltaikanlagen in Deutschland begrenzt?

- 1) Flächenbedarf**
- 2) Entnahme von Energie aus der
Umgebung**
- 3) Notwendigkeit der Einspeisung
in ein öffentliches oder lokales Netz**

→ Rechteck: $F_R = 800 \text{ km} \times 190 \text{ m}$

Dieser „Vorhang“ entnimmt den strömenden Luftmassen etwa die Hälfte ihrer Energie



Rückwirkung auf den Energiehaushalt der Umgebung?

„Entnahme“ von 99 TWh im Jahr 2022 !

Mit 99 TWh könnte man das Wasser ...

... des Bodensees (50 km^3) um 1,28 m anheben

... des Chiemsees (2 km^3) um 70 K erwärmen (power-to-heat)

... der Bleilochtalsperre ($0,2 \text{ km}^3$) verdampfen



Kleidon (2021): max. $0,25 \text{ W/m}^2 \rightarrow$ D: **85 GW** ($\rightarrow$ 750 TWh)