

Aktuelle Entwicklungen der Energieversorgung anhand der Energy-Charts

Leonhard Probst
Rosenheimer Energiedialoge: Strategien gegen die Dunkelflaute
2. April 2025, Zoom
www.energy-charts.info

Agenda

- 1. Emissionen und Klimawandel**
- 2. Stromerzeugung in 2024**
- 3. Der Strommarkt während der Dunkelflaute**
- 4. Solarspitzen**
- 5. Zusammenfassung**

Quellen und Senken für Kohlendioxid (CO₂)

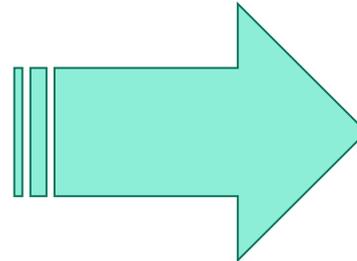
Quellen



34,4 GtCO₂/yr
86%



14%
5,7 GtCO₂/yr



Senken

31%

12,5 GtCO₂/yr



23%

9,2 GtCO₂/yr



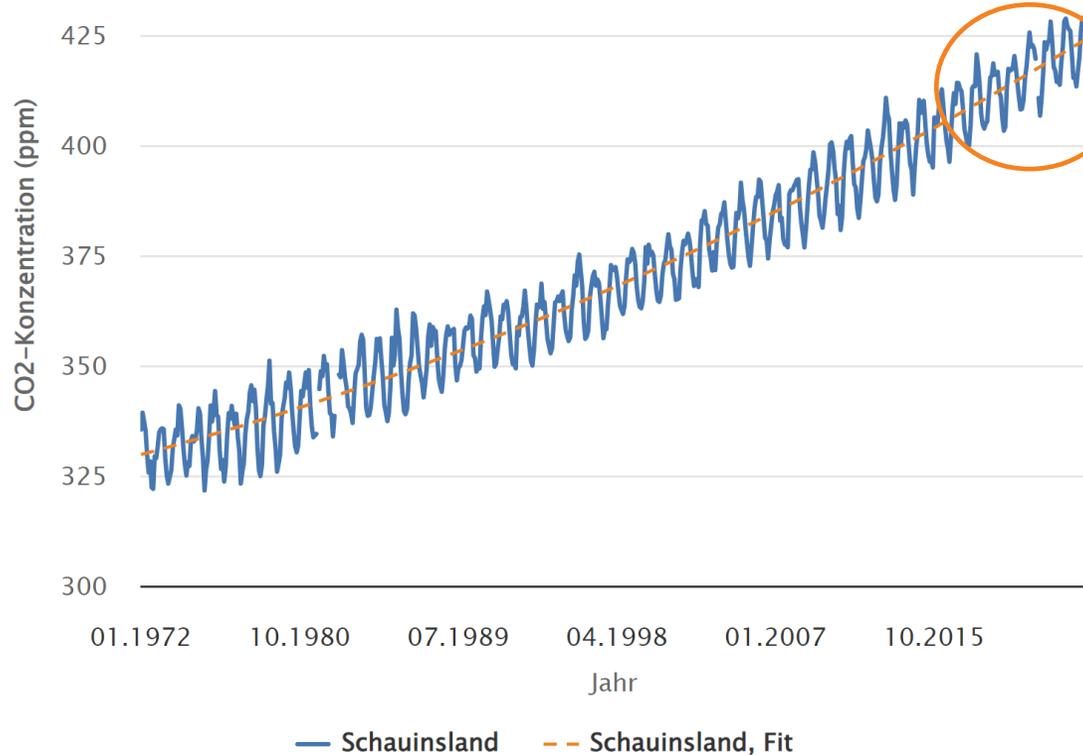
18,6 GtCO₂/yr

46%



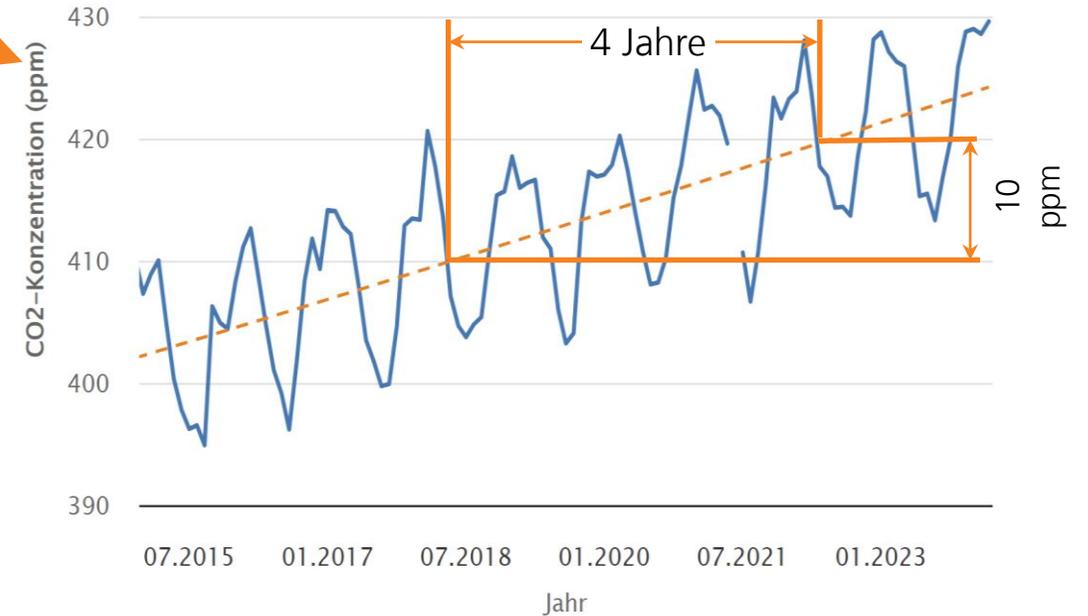
Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre in ppm

Messwerte vom Schauinsland bei Freiburg



Januar 1958: 315 ppm CO₂
Juli 2024: 425,55 ppm CO₂ (+35%)

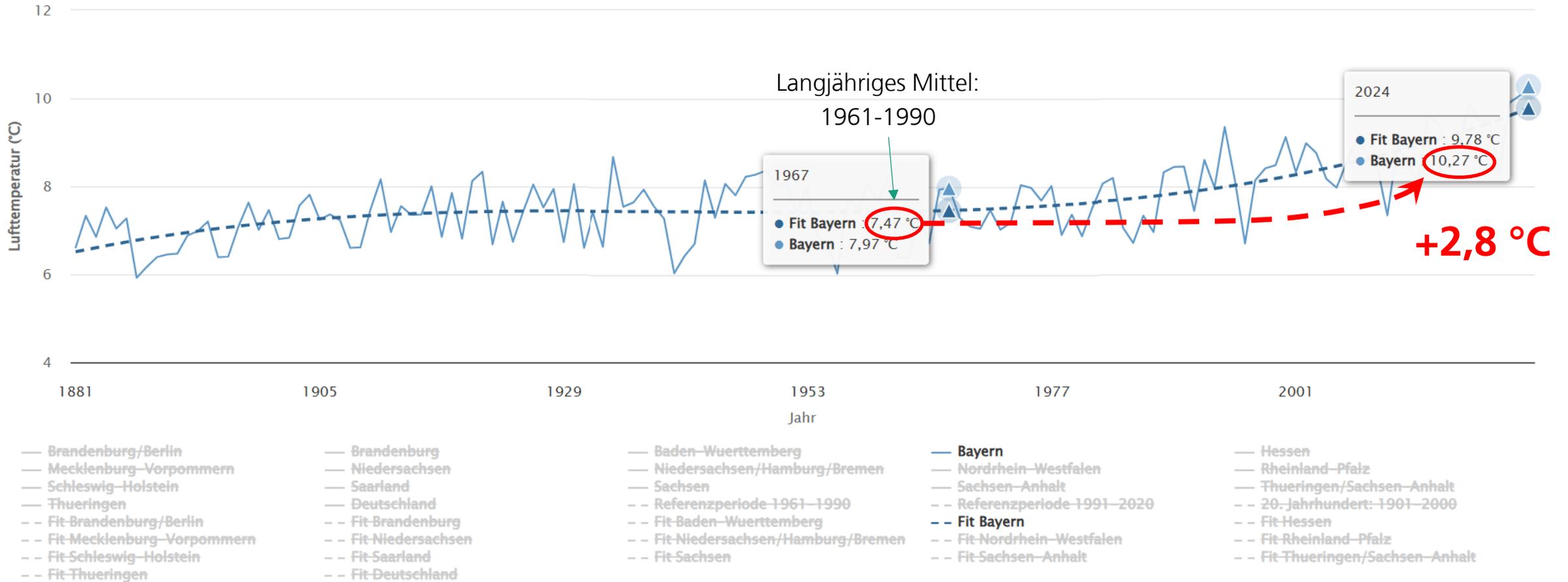
$$\text{Fit} = 315 \text{ ppm} + 0.754 \text{ ppm (Jahr} - 1958) + 0.0133 \text{ ppm (Jahr} - 1958)^2$$



Plus 10 ppm CO₂ in vier Jahren ergibt ungefähr +0,1°C globale Temperaturerhöhung

Mittlere Lufttemperatur in Bayern

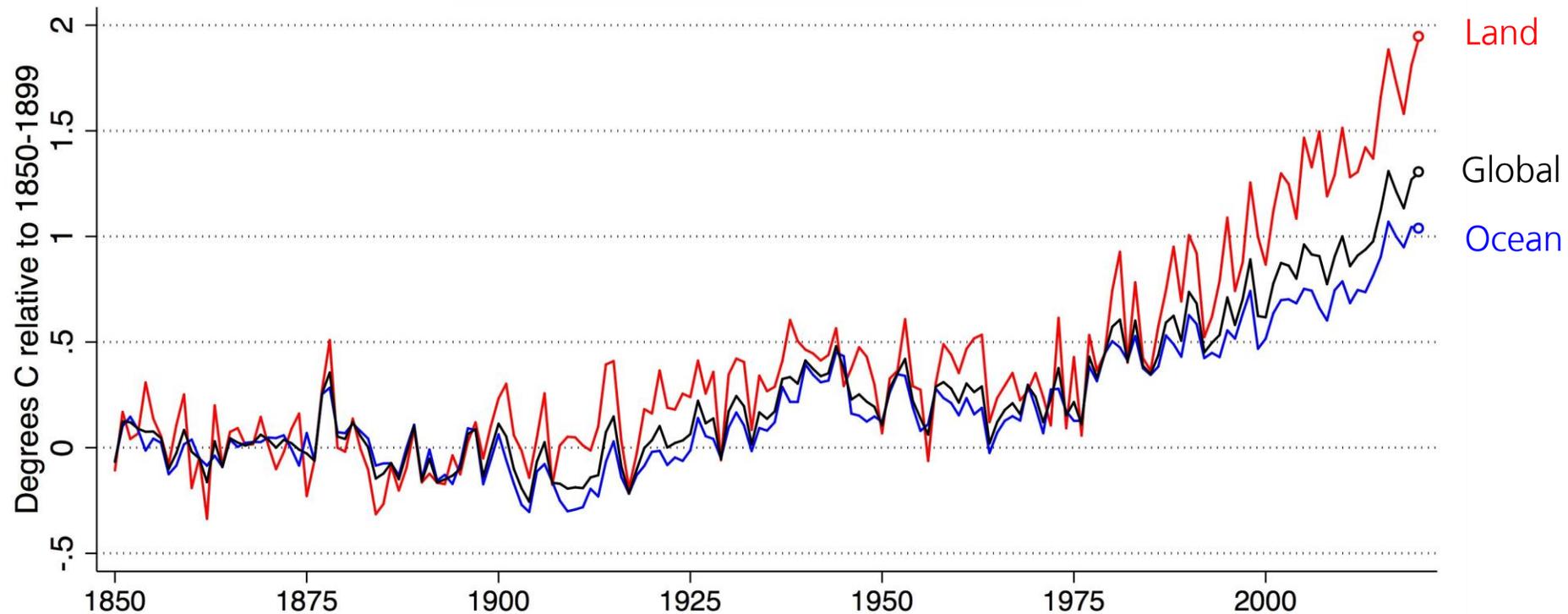
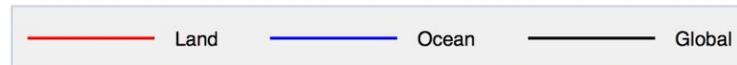
Jahr 1881 bis 2024



Globale Erwärmung

Land, Ocean, and Global Surface Temperatures, ERA5

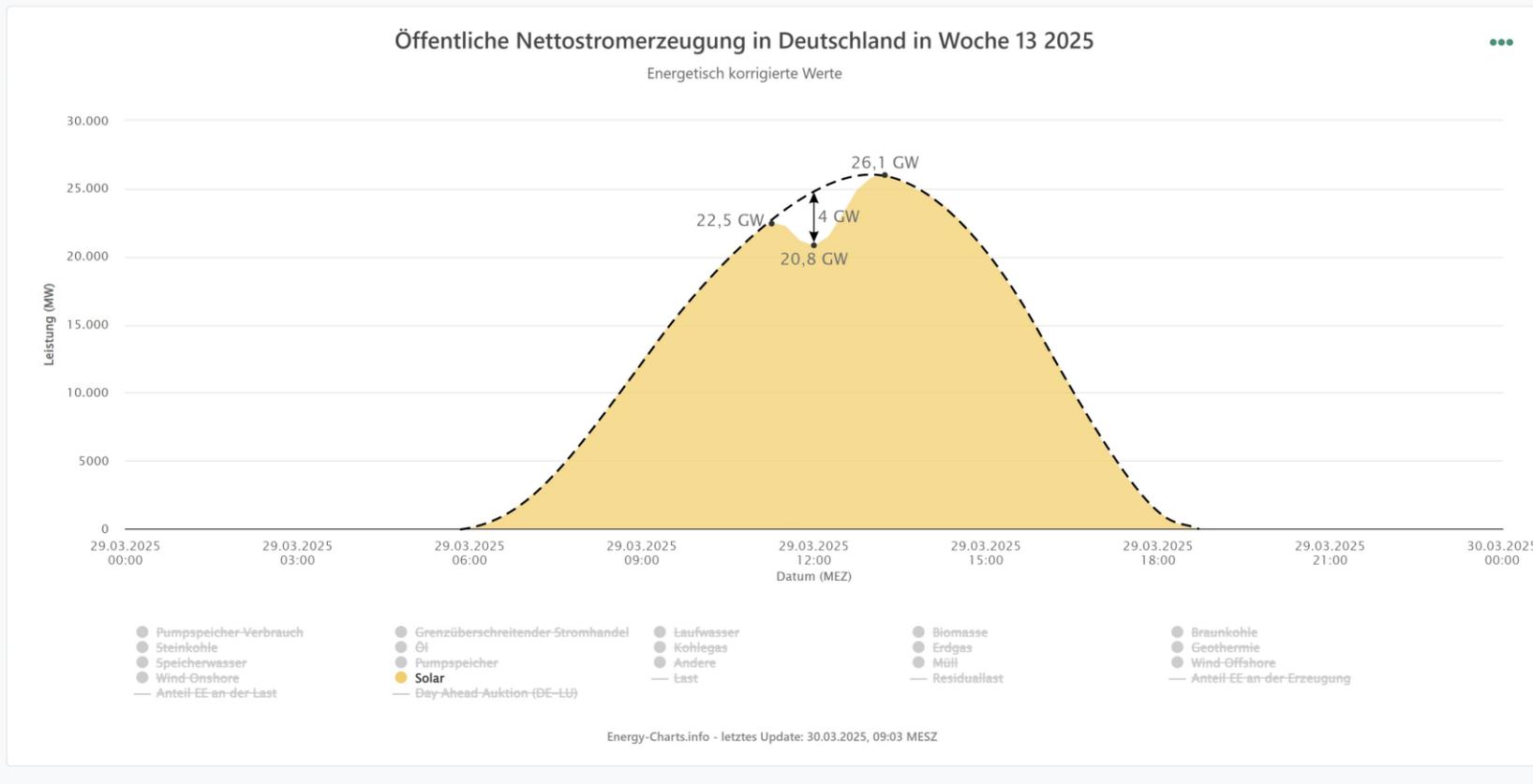
HadCRUT5 data used prior to ERA's 1979 start



Agenda

1. Emissionen und Klimawandel
2. Stromerzeugung in 2024
3. Der Strommarkt während der Dunkelflaute
4. Solarspitzen
5. Zusammenfassung

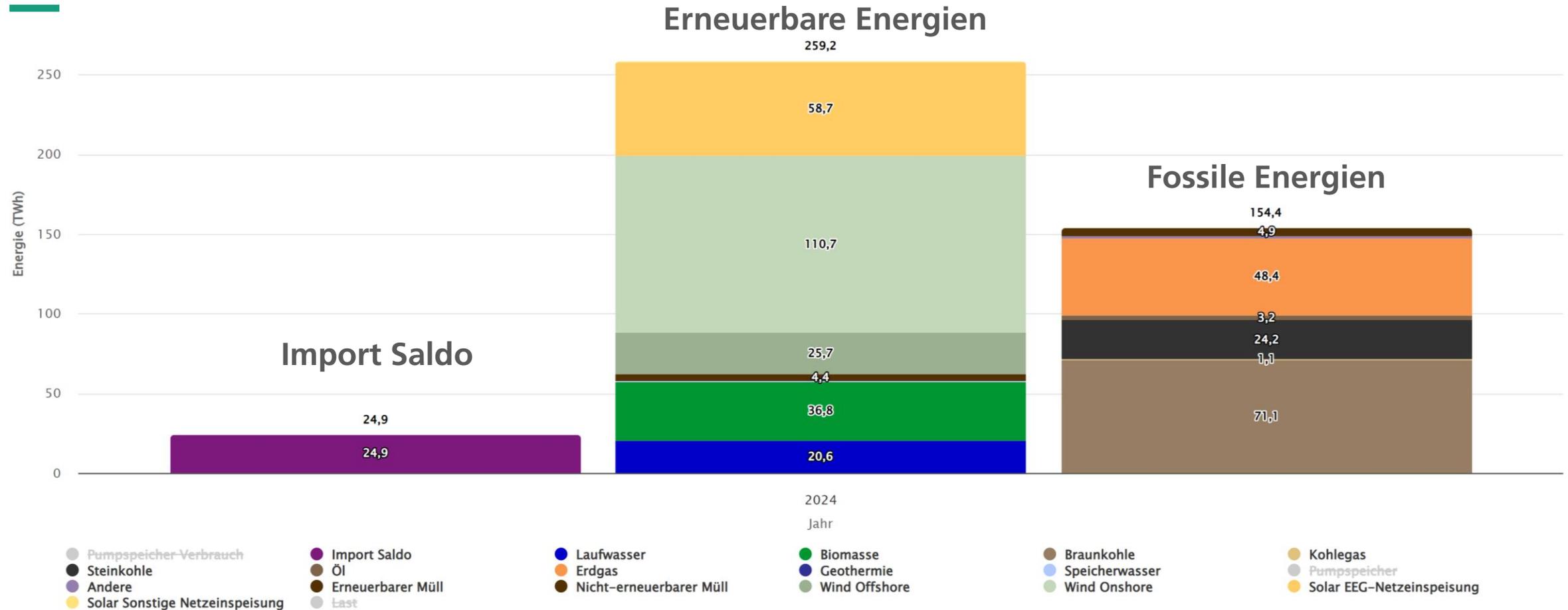
Partielle Sonnenfinsternis am 29. März 2025



Quelle: <https://energy-charts.info/charts/power/chart.htm?l=de&c=DE×lider=1&min=480&max=576&legendItems=myg&week=13&year=2025>

Öffentliche Nettostromerzeugung

Jahr 2024

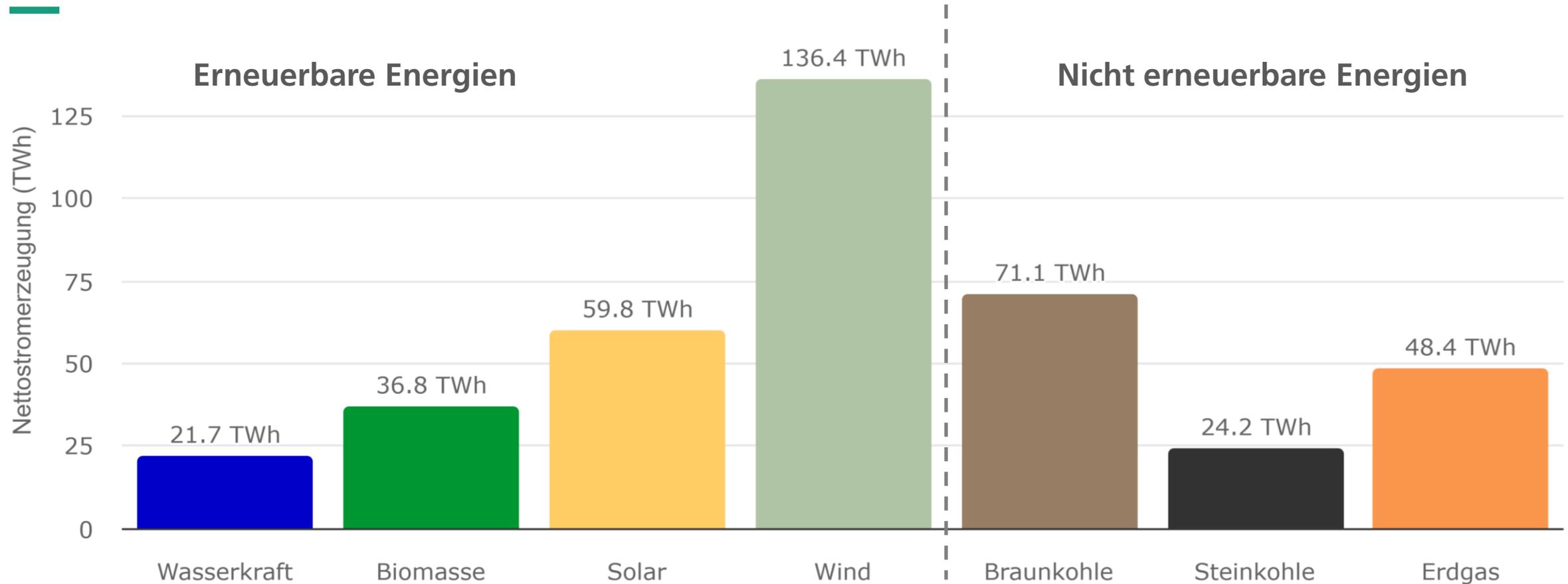


Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2025, 13:52 MEZ

Quelle: <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&legendItems=0xfvnu&year=2024>

Öffentliche Nettostromerzeugung

Jahr 2024

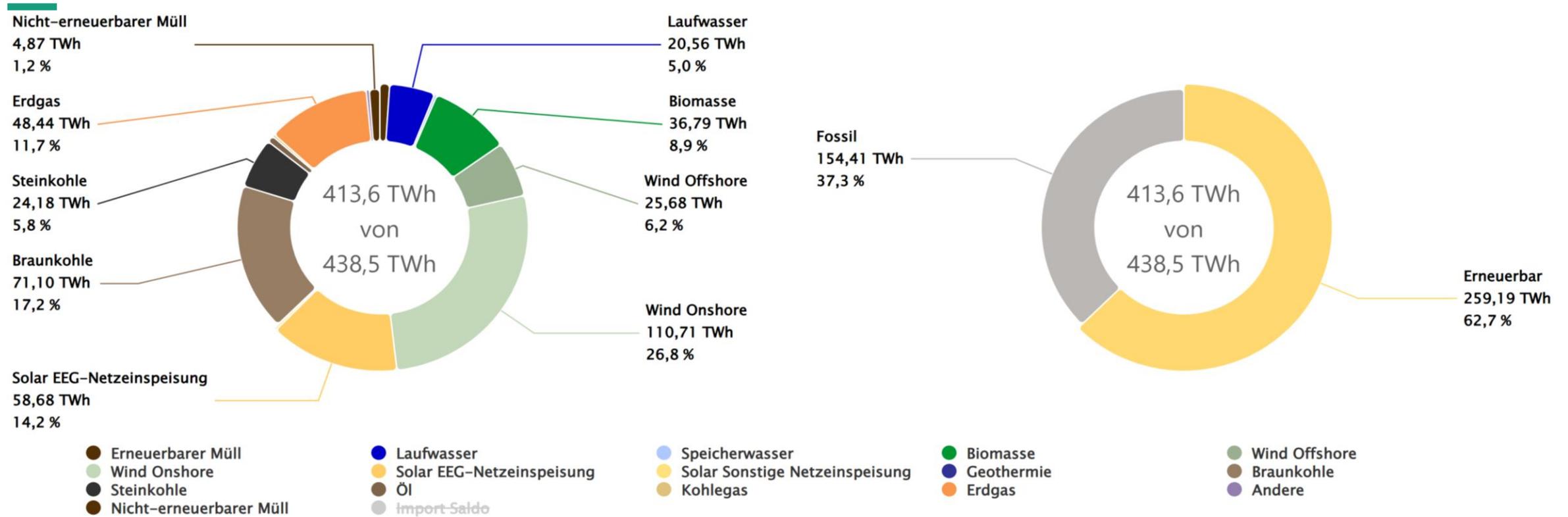


Die Grafik zeigt die Nettostromerzeugung aus Kraftwerken zur öffentlichen Stromversorgung. Das ist der Strommix, der tatsächlich aus der Steckdose kommt. Der Selbstverbrauch von Solarstrom und die Erzeugung aus Kraftwerken von „Betrieben im verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden“, d.h. die industrielle Erzeugung für den Eigenverbrauch, ist bei dieser Darstellung nicht berücksichtigt.

Quelle: <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&legendItems=0x7a0u&year=2024&stacking=single>

Öffentliche Nettostromerzeugung

Jahr 2024



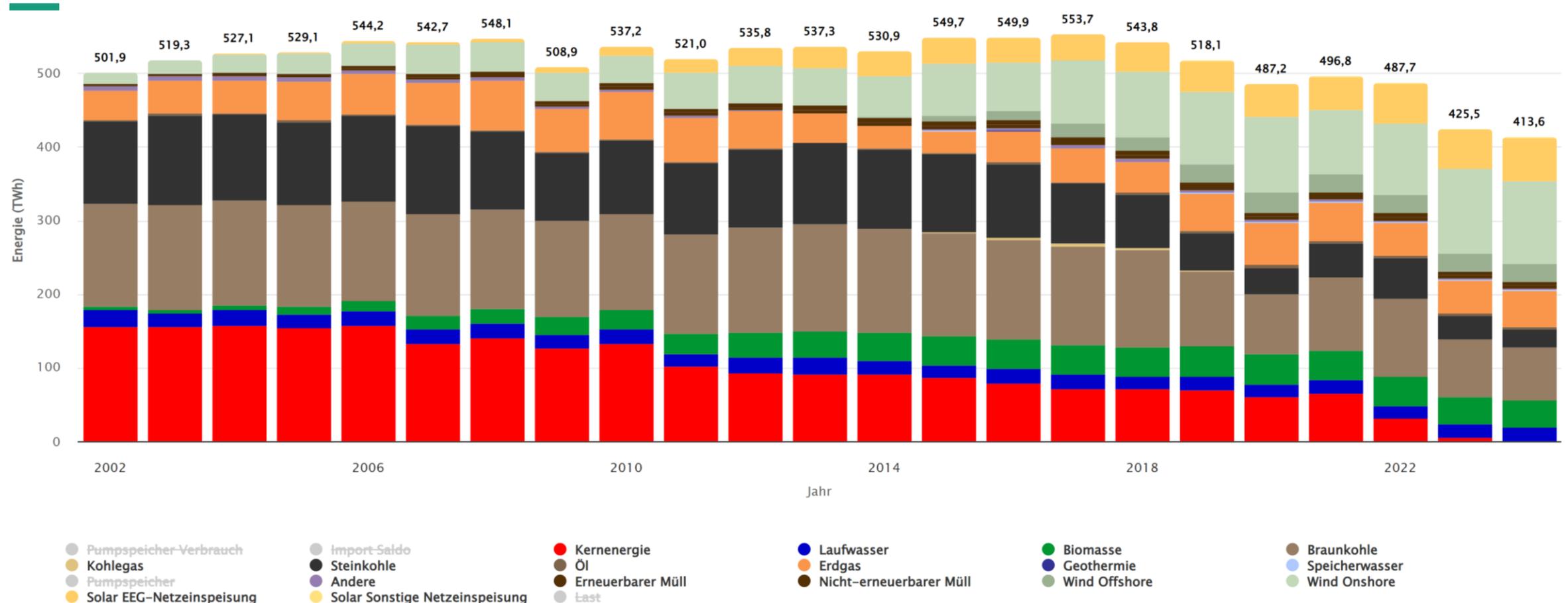
Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2025, 13:52 MEZ

Die Grafik zeigt die Nettostromerzeugung aus Kraftwerken zur öffentlichen Stromversorgung. Das ist der Strommix, der tatsächlich aus der Steckdose kommt. Der Selbstverbrauch von Solarstrom und die Erzeugung aus Kraftwerken von „Betrieben im verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden“, d.h. die industrielle Erzeugung für den Eigenverbrauch, ist bei dieser Darstellung nicht berücksichtigt.

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&year=2024

Öffentliche Nettostromerzeugung

Jahr 2002 - 2024

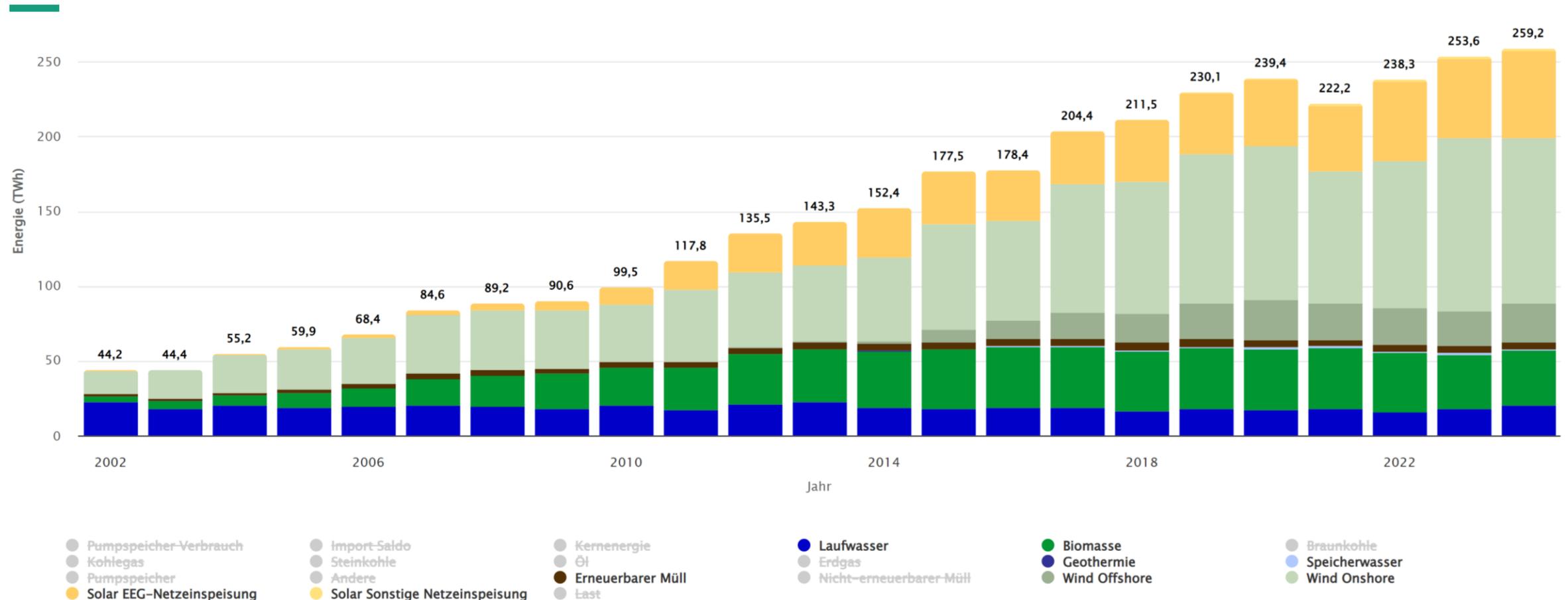


Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2025, 13:52 MEZ

Quelle: <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&chartColumnSorting=default&interval=year&year=-1>

Öffentliche Nettostromerzeugung aus erneuerbaren Energien

Jahr 2002 - 2024

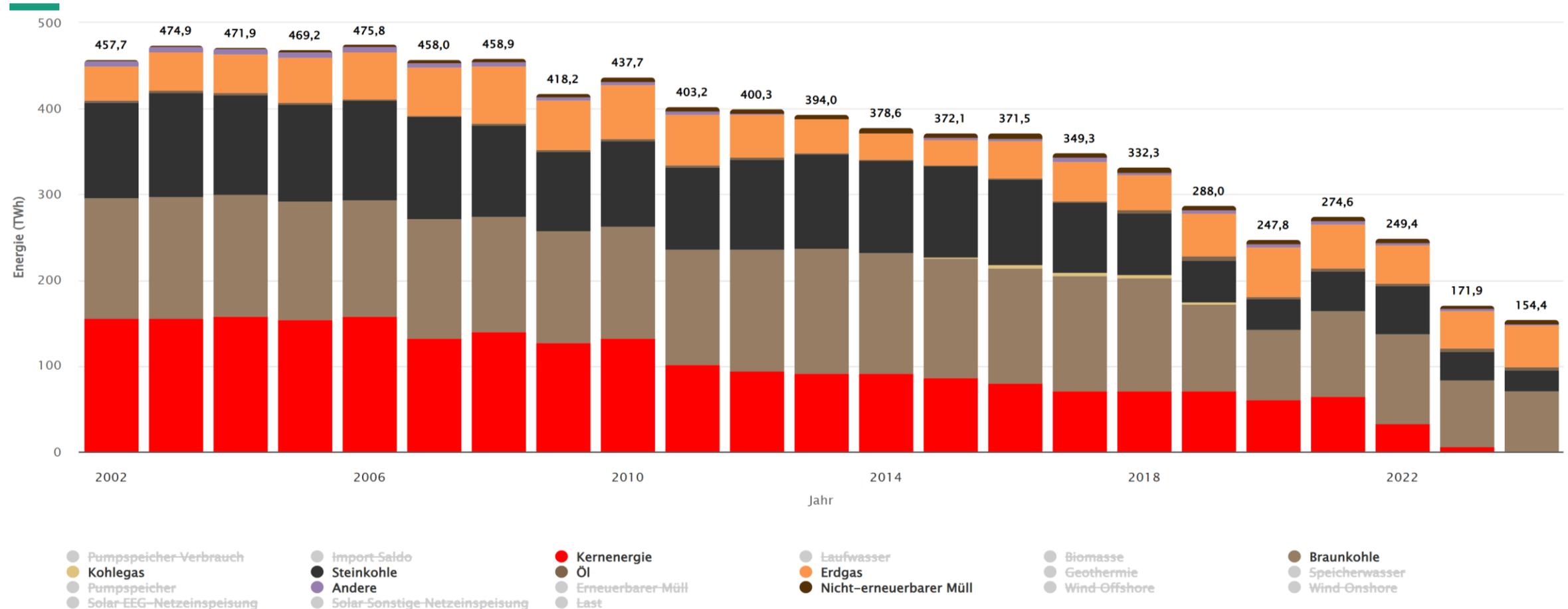


Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2025, 13:52 MEZ

Quelle: <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&chartColumnSorting=default&interval=year&year=-1&legendItems=4x061iu>

Öffentliche Nettostromerzeugung aus nicht erneuerbaren Quellen

Jahr 2002 - 2024

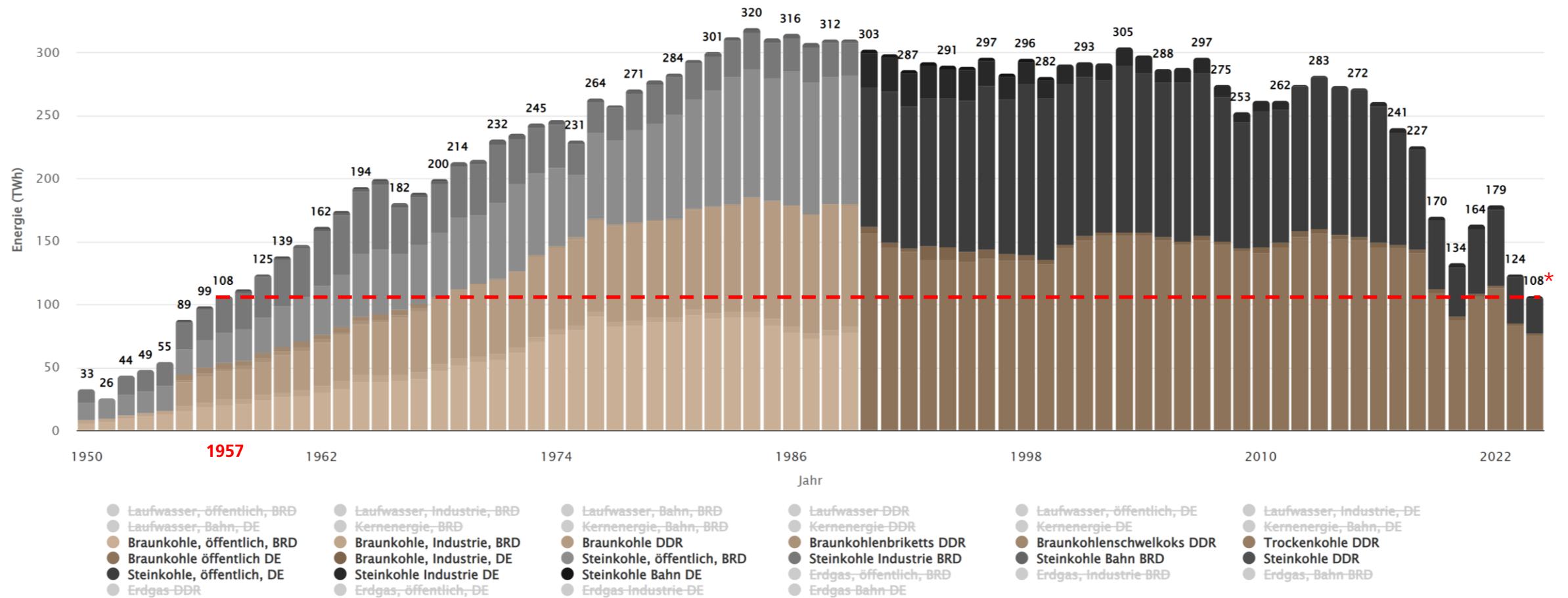


Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2025, 13:52 MEZ

Quelle: <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&chartColumnSorting=default&interval=year&year=-1&legendItems=4x09u50>

Bruttostromerzeugung aus Braun- und Steinkohle

Jahr 1950 bis 2024



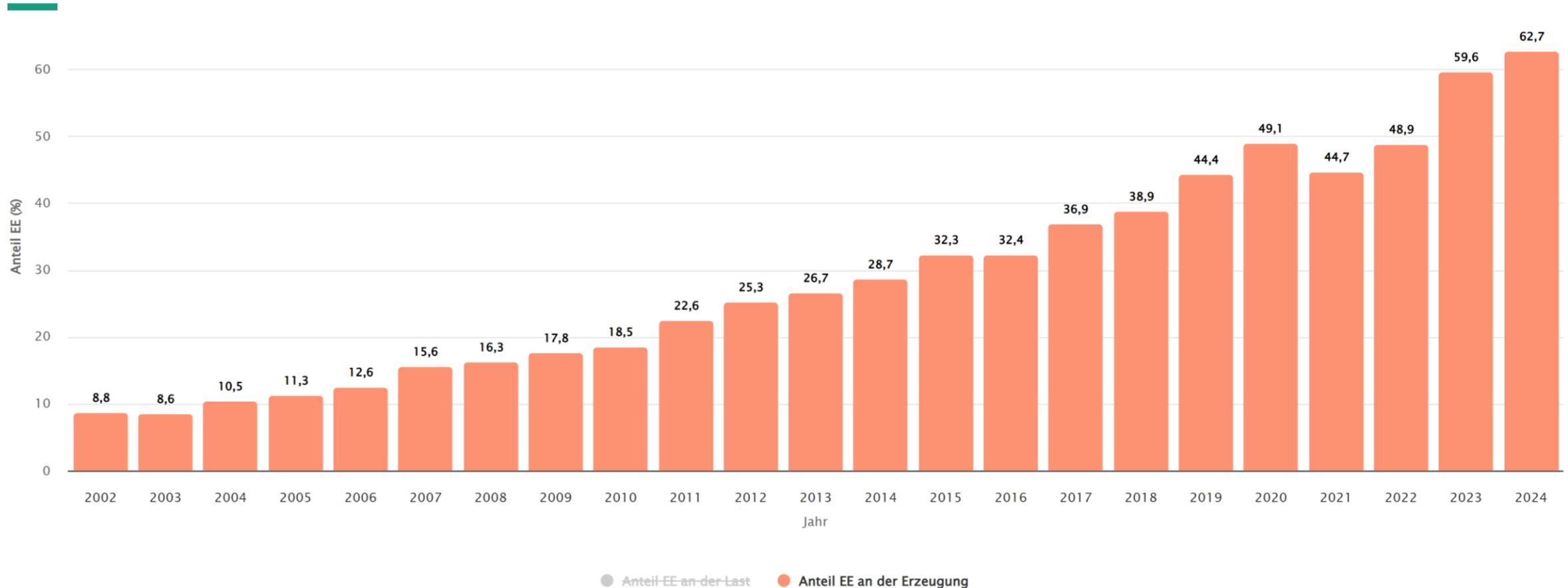
* Hochrechnung 2024

Energy-Charts.info - letztes Update: 27.12.2024, 15:18 MEZ

Quelle: <https://energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&source=historical&legendItems=cwfw7>

Anteil erneuerbarer Energien an der öffentlichen Nettostromerzeugung

Jahr 2002 bis 2024

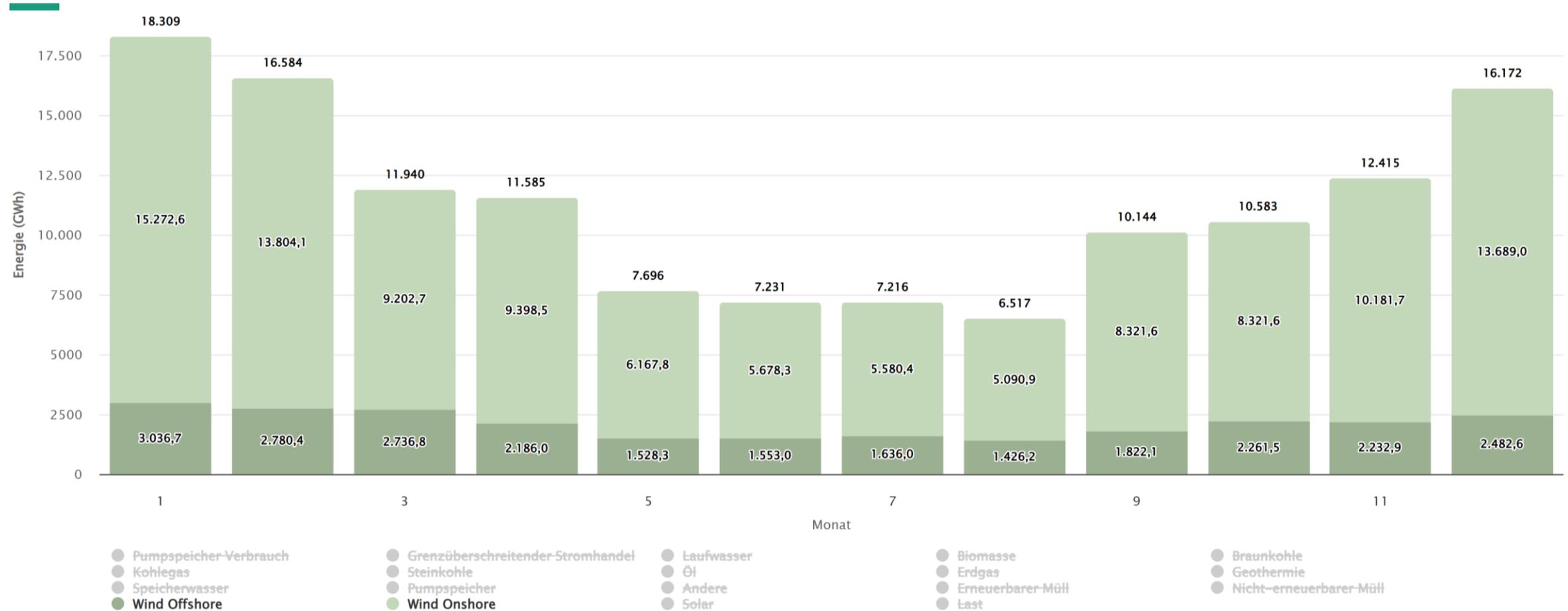


Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2025, 14:52 MEZ

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/renewable_share/chart.html?l=de&c=DE&interval=year&legendItems=01&share=ren_share

Monatliche Windstromerzeugung onshore und offshore

Jahr 2024



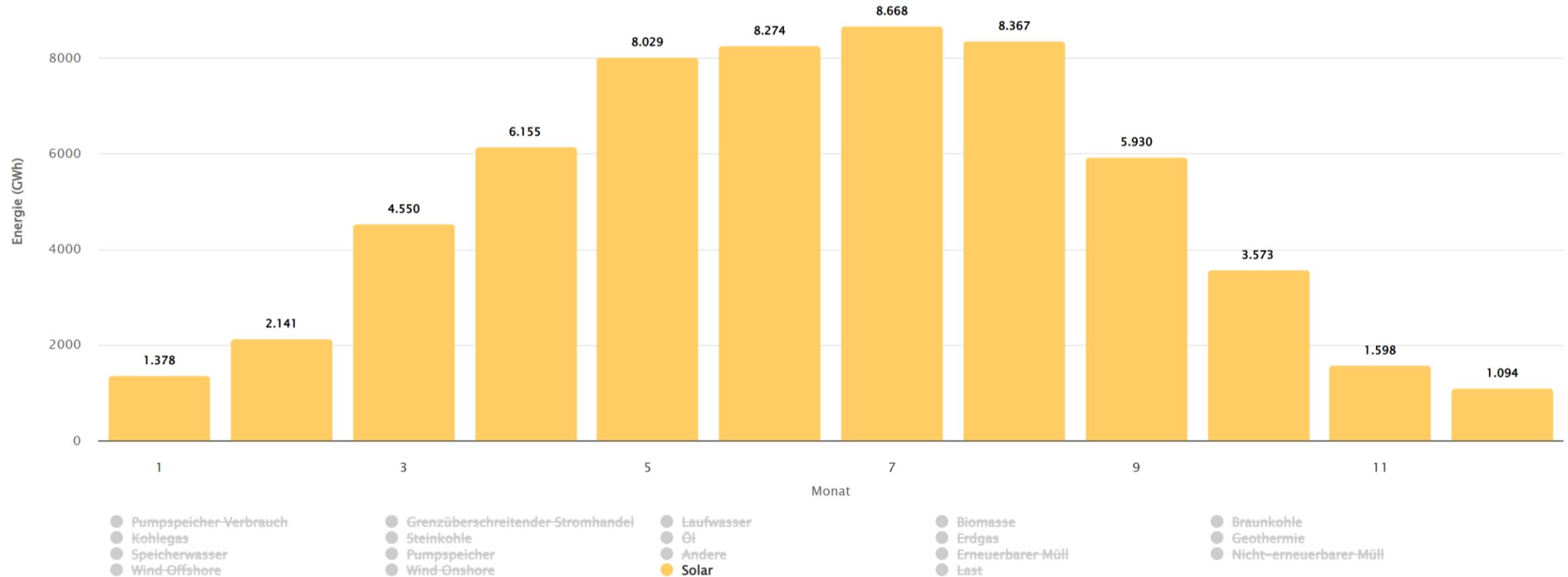
Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2025, 15:53 MEZ

*Daten zur öffentlichen Stromerzeugung

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&month=-1&stacking=stacked_grouped&legendItems=fw2w2&year=2024&partsum=1

Monatliche Solarstromerzeugung

Jahr 2024



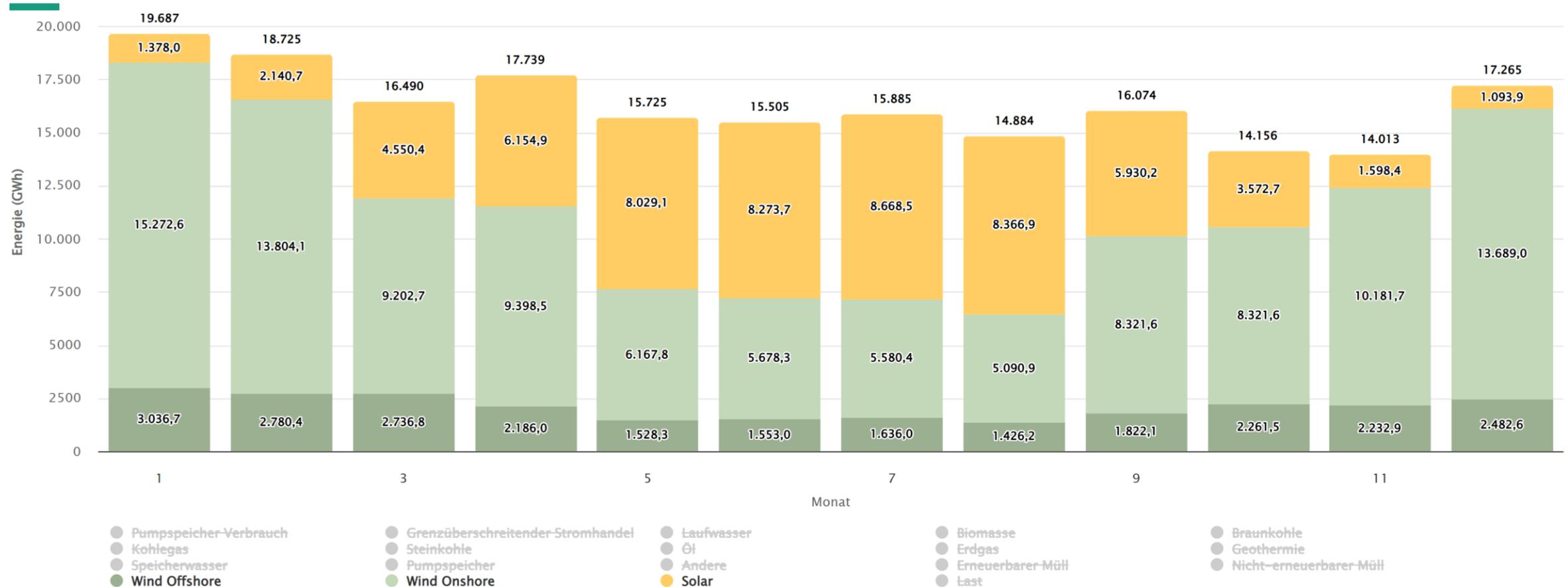
Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2025, 15:53 MEZ

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.html?l=de&c=DE&month=-1&stacking=stacked_grouped&legendItems=jyh&year=2024

*Daten zur öffentlichen Stromerzeugung

Monatliche Wind- und Solarstromerzeugung

Jahr 2024



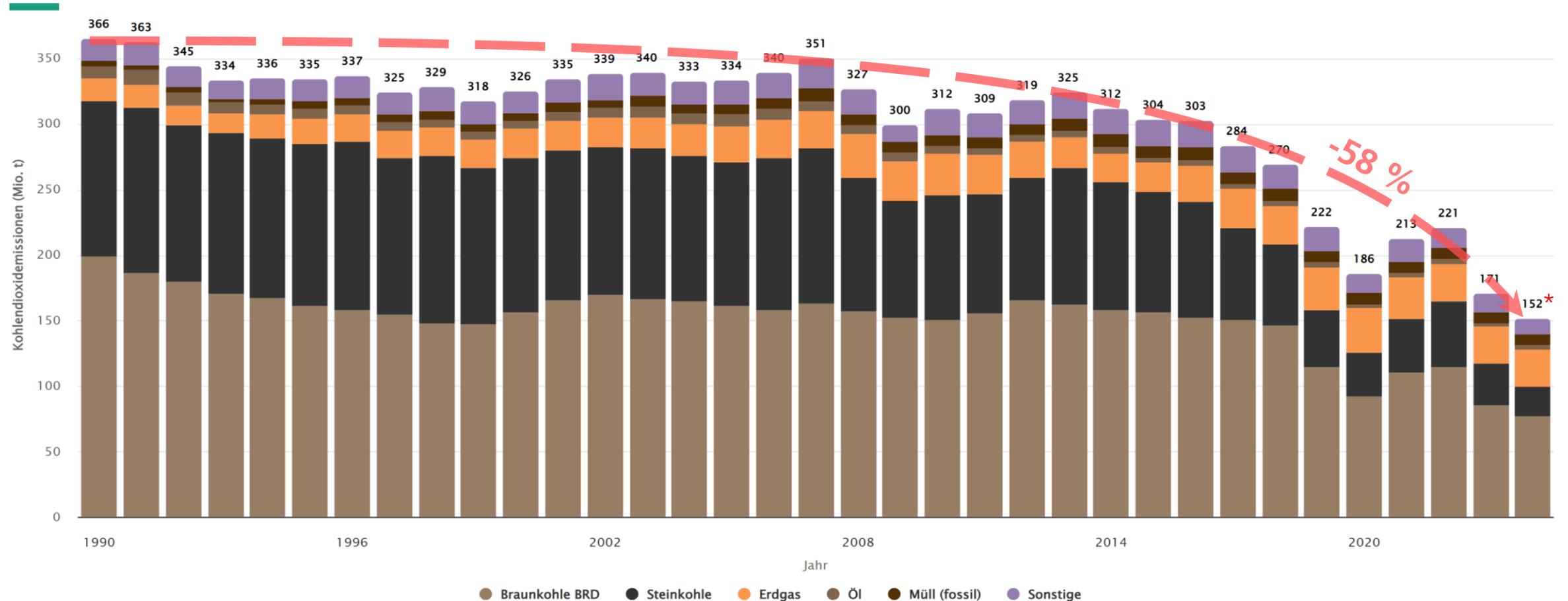
Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2025, 15:53 MEZ

*Daten zur öffentlichen Stromerzeugung

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&month=-1&stacking=stacked_grouped&legendItems=fw3w1&year=2024&partsum=1

Kohlendioxidemissionen (CO₂) der Stromerzeugung

Jahr 1990 bis 2024



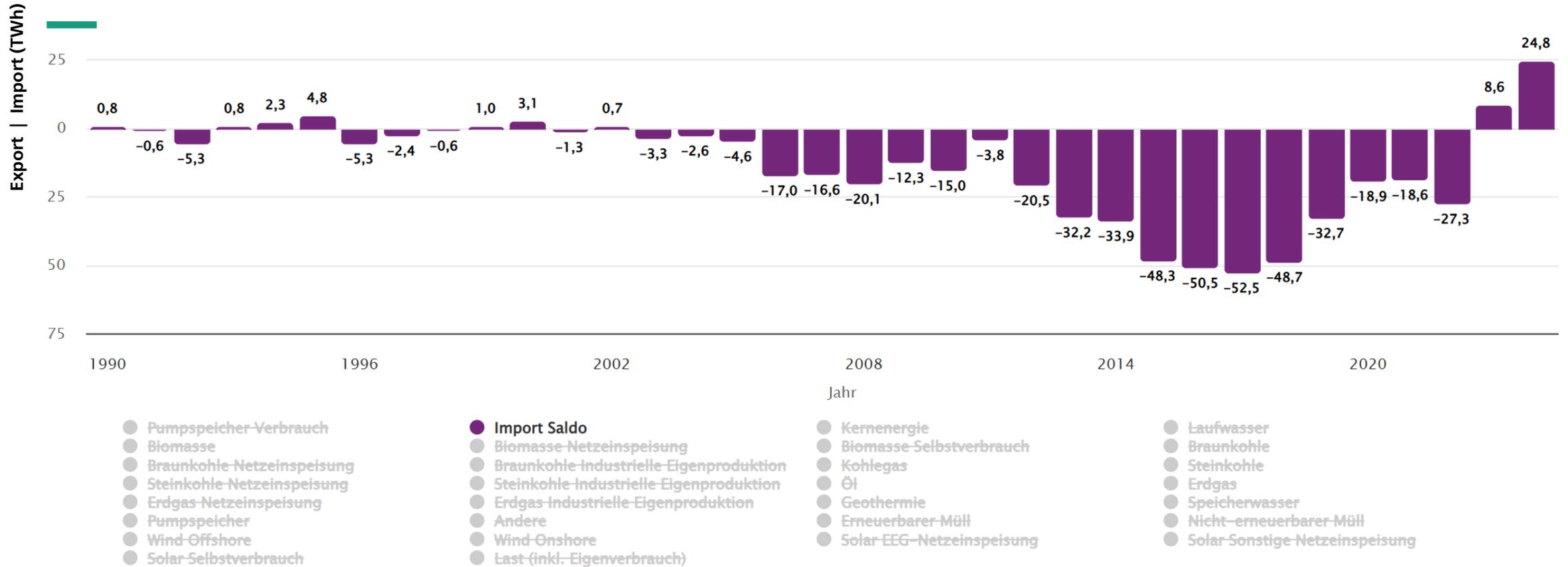
Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2025, 09:36 MEZ

* Hochrechnung 2024

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/co2_emissions/chart.htm?l=de&c=DE&legendItems=4x1g

Strom austauschsaldo

Jahr 1990 bis 2024



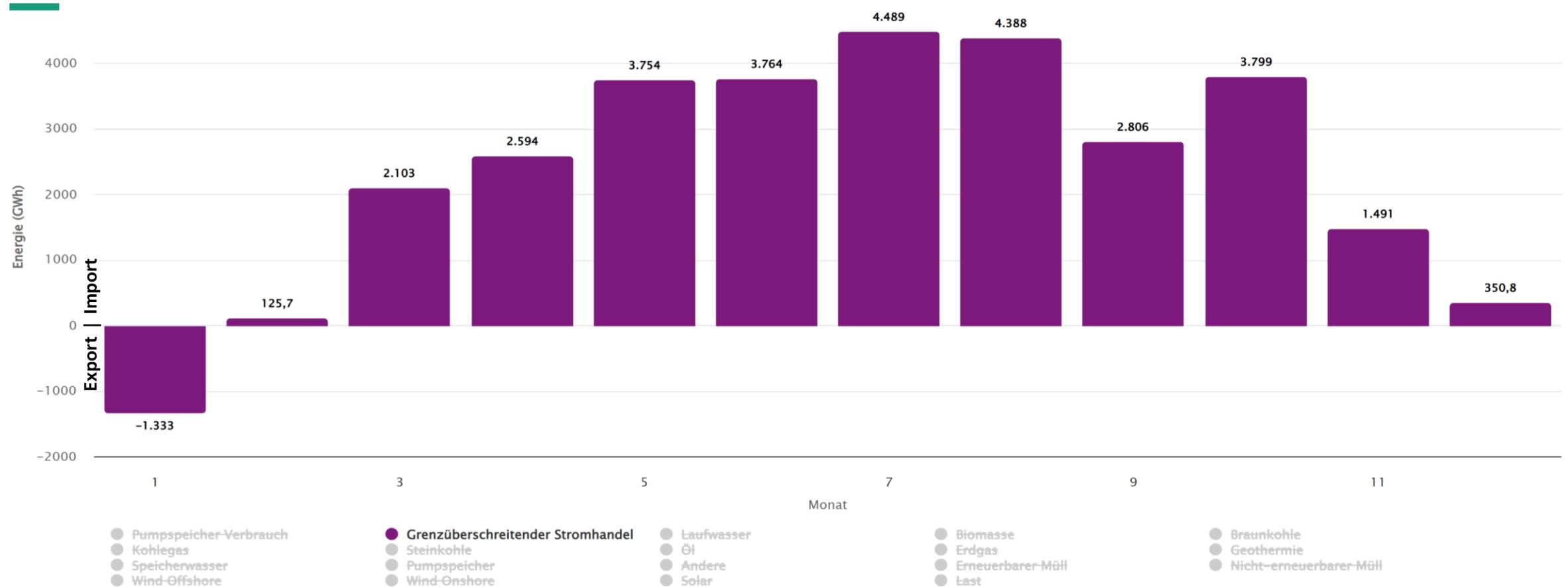
Energy-Charts.info - letztes Update: 07.01.2025, 15:45 MEZ

Positive Werte bedeuten Importe. Negative Werte bedeuten Exporte.

Quelle: <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&year=-1&chartColumnSorting=default&sum=1&source=total&legendItems=ly1>

Monatliche Importe und Exporte

Jahr 2024



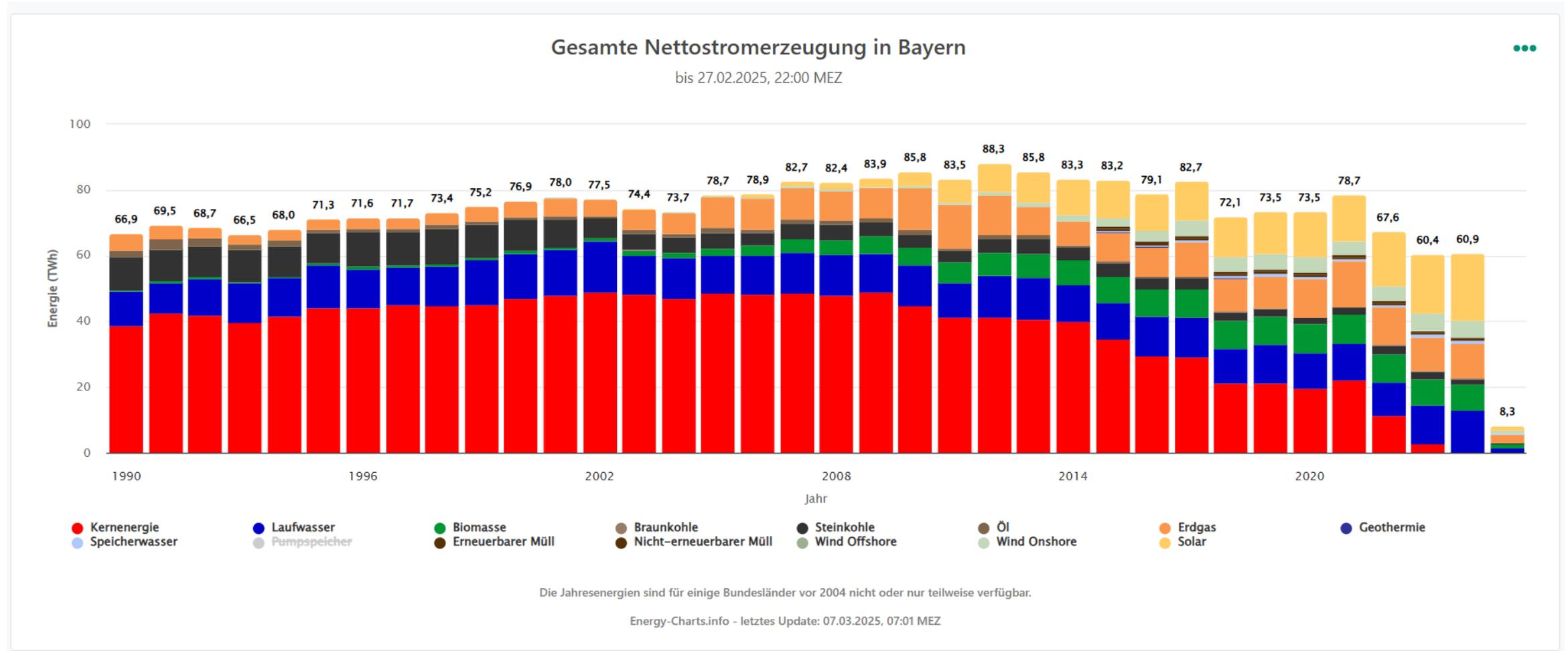
Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2025, 18:53 MEZ

Positive Werte bedeuten Importe. Negative Werte bedeuten Exporte.

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&chartColumnSorting=default&source=public&month=-1&sum=1&stacking=stacked_grouped&year=2024&legendItems=jy1

Gesamte Nettostromerzeugung in Bayern seit 1990

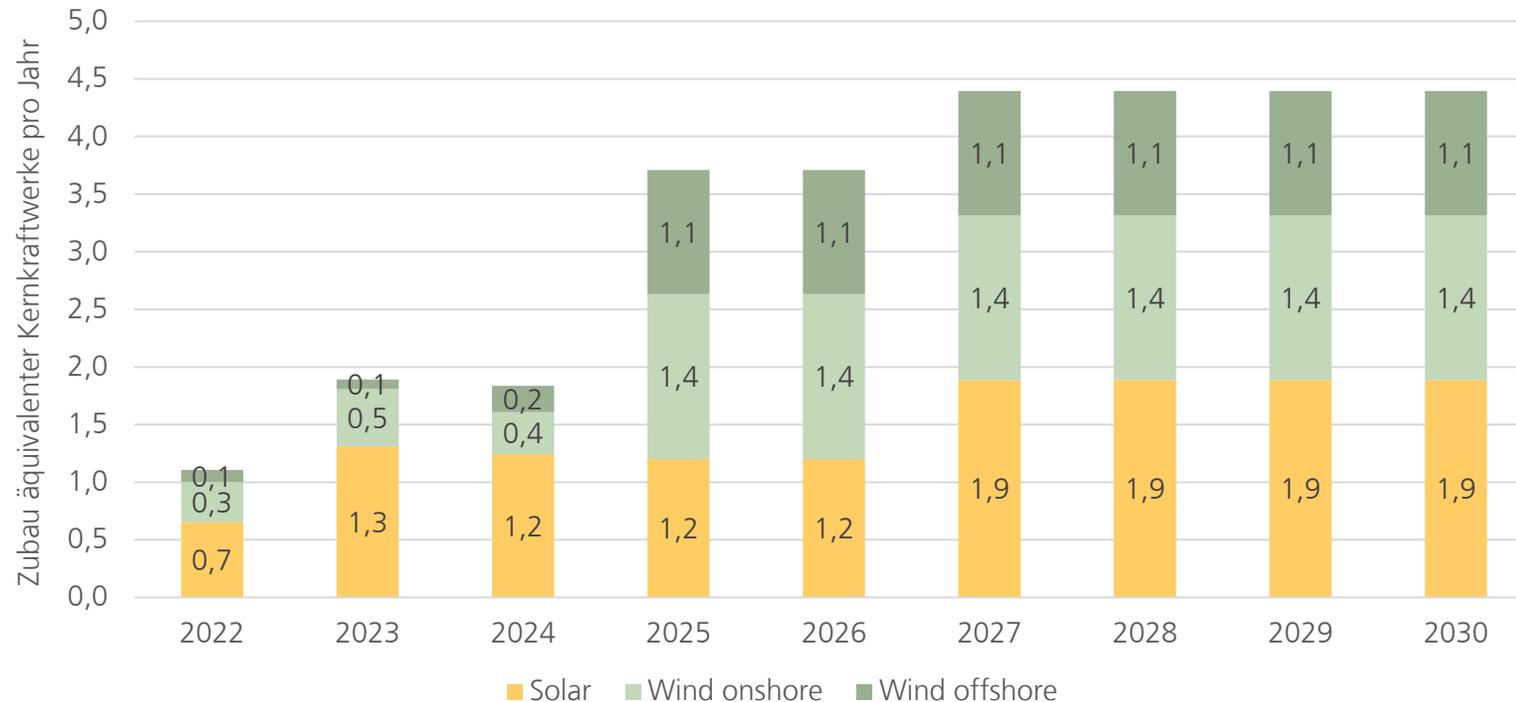
Stromverbrauch in 2024: 77,3 TWh | Importsaldo: 16,4 TWh (Deutschland: 28,7 TWh)



Zubau von Solar und Wind, umgerechnet in äquivalente Kernkraftwerke

Planung bis 2035

Volllaststunden				Leistung KKW/GW
PV	Wind Onshore	Wind Offshore	KKW	1,4
911	1770	3276	7595	



- Zubau äquivalenter Kernkraftwerke à 1,4 GW
- bis 2025: 8,5
- bis 2030: 30
- bis 2035: 59

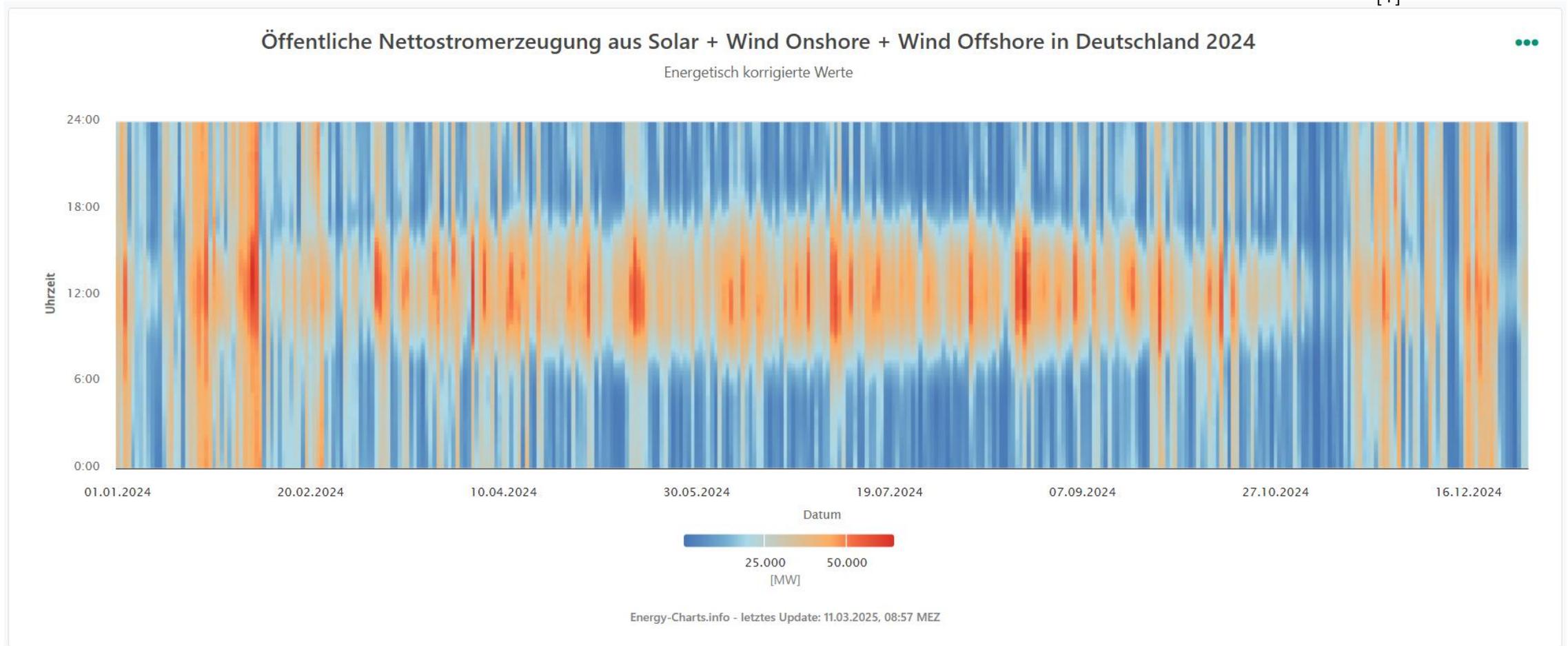
Agenda

1. Emissionen und Klimawandel
2. Stromerzeugung in 2024
3. Der Strommarkt während der Dunkelflaute
4. Solarspitzen
5. Zusammenfassung

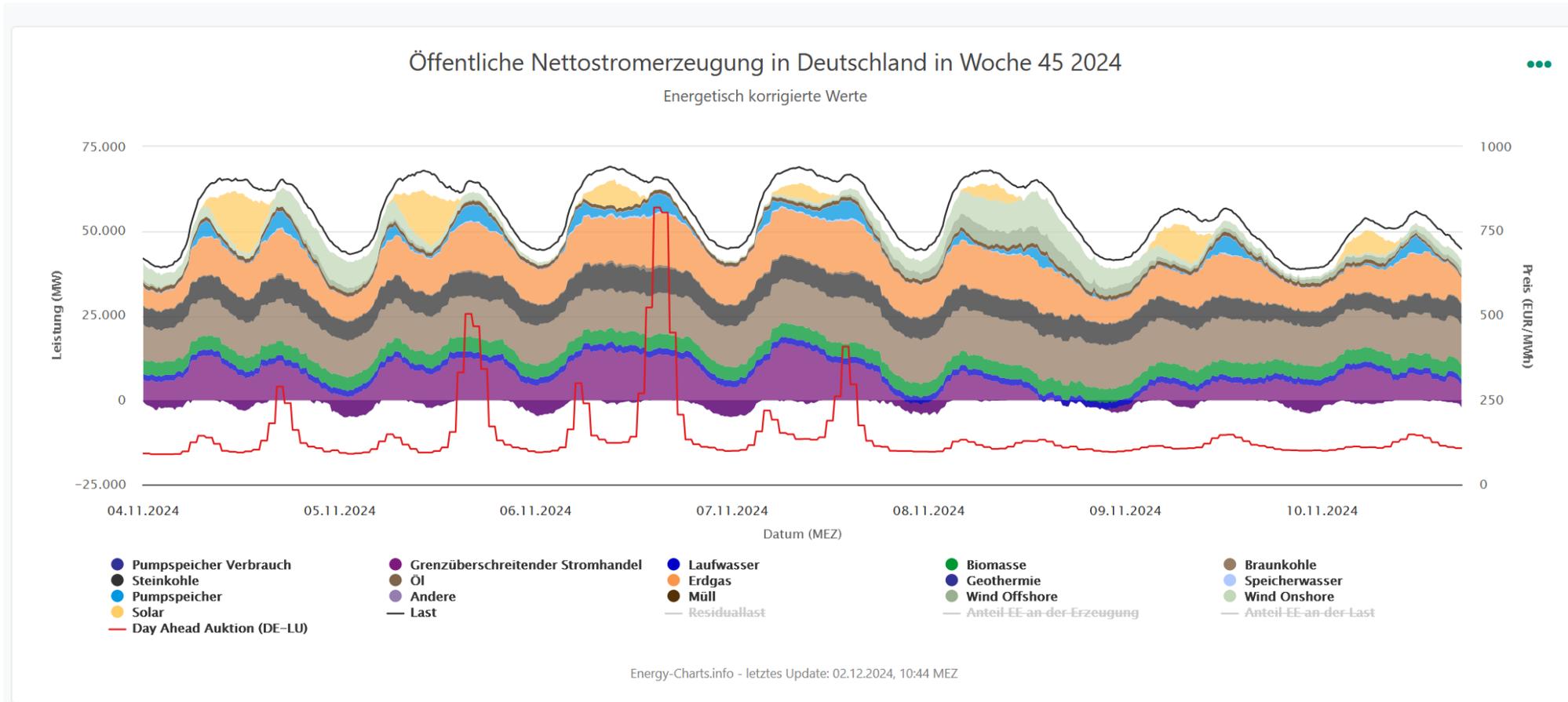
Dunkelflaute

Heatmaps

[1]



Öffentliche Nettostromerzeugung in Woche 45, 2024



Was passiert am Strommarkt bei einer Dunkelflaute?

1

Terminmarkt

Finanzielle Absicherung gegenüber Kursrisiken

2

Day-Ahead Markt

Angebot und Nachfrage
(- 500 €/MWh bis 4000 €/MWh)

3

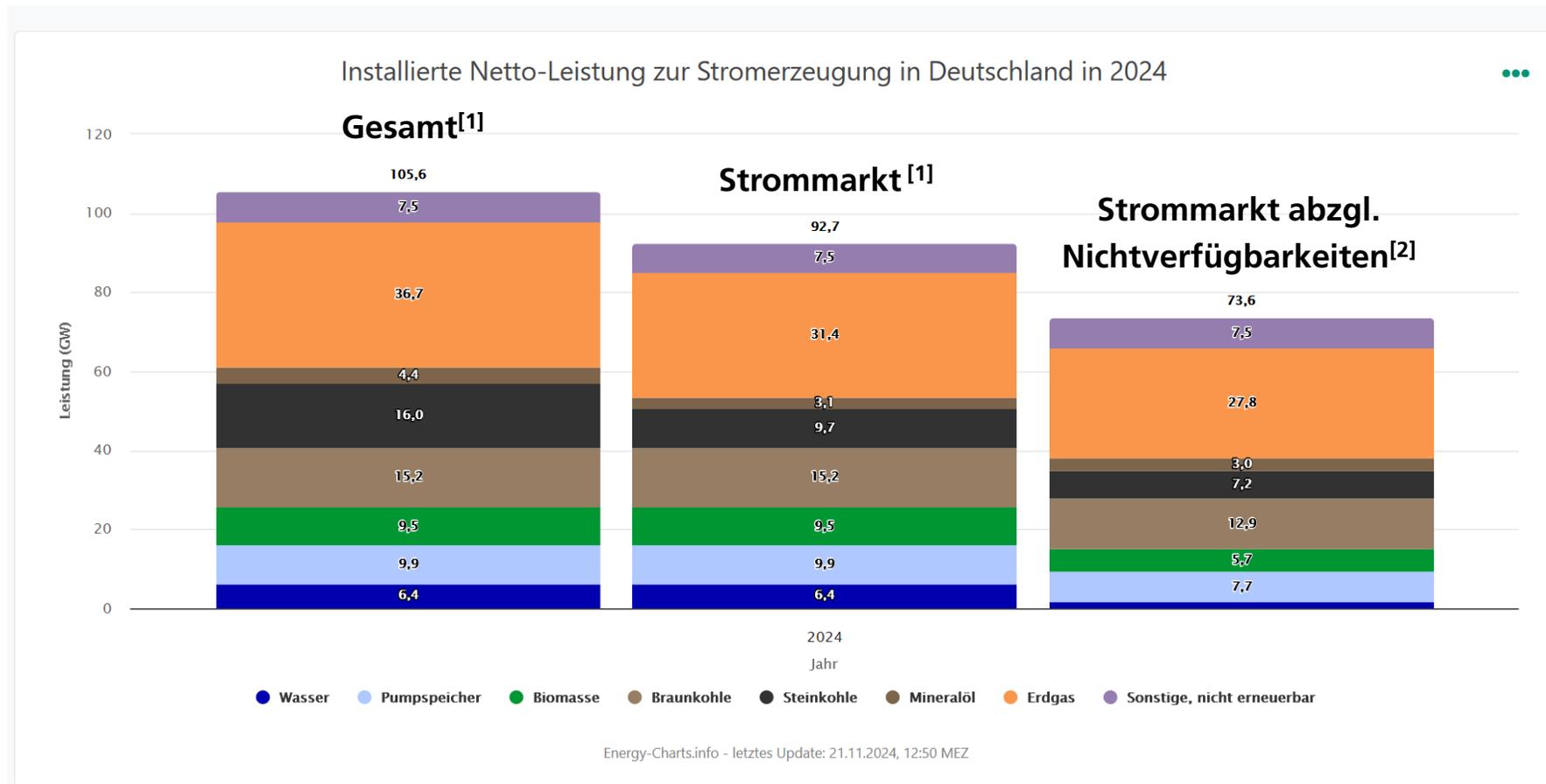
Intraday-Markt (+- 10 k€ / MWh)

Reaktion auf kurzfristige Änderungen
(Prognoseabweichungen, Kraftwerksausfälle)

- Für den Fall, dass Angebot und Nachfrage am Strommarkt nicht in Übereinstimmung gebracht werden kann, werden Kraftwerkskapazitäten außerhalb des Strommarktes vorgehalten:
 - Kapazitätsreserve
 - Netzreserve
 - Besondere netztechnische Betriebsmittel
 - Vorläufig stillgelegte Kraftwerke
- Kapazitätsreserve gemäß § 13e EnWG
 - Die Kapazitätsreserve soll in Zeiten, in denen trotz freier Preisbildung auf dem Großhandelsmarkt kein ausreichendes Angebot zur Deckung der gesamten Nachfrage zur Verfügung steht, zusätzliche Leistung bereitstellen. Dazu werden bestehende Erzeugungsanlagen außerhalb des Strommarktes vorgehalten und bei Bedarf auf Anweisung der ÜNB nach Ausschöpfung der marktlichen Alternativen eingesetzt. Zur Bildung der Kapazitätsreserve führen die Übertragungsnetzbetreiber alle zwei Jahre eine gemeinsame Ausschreibung durch.

Installierte Leistung

Gesamt – Strommarkt – Strommarkt abzgl. Nichtverfügbarkeiten (am 6.11.2024)



[1] Kraftwerksliste der BNetzA (Stand 21.11.2024):

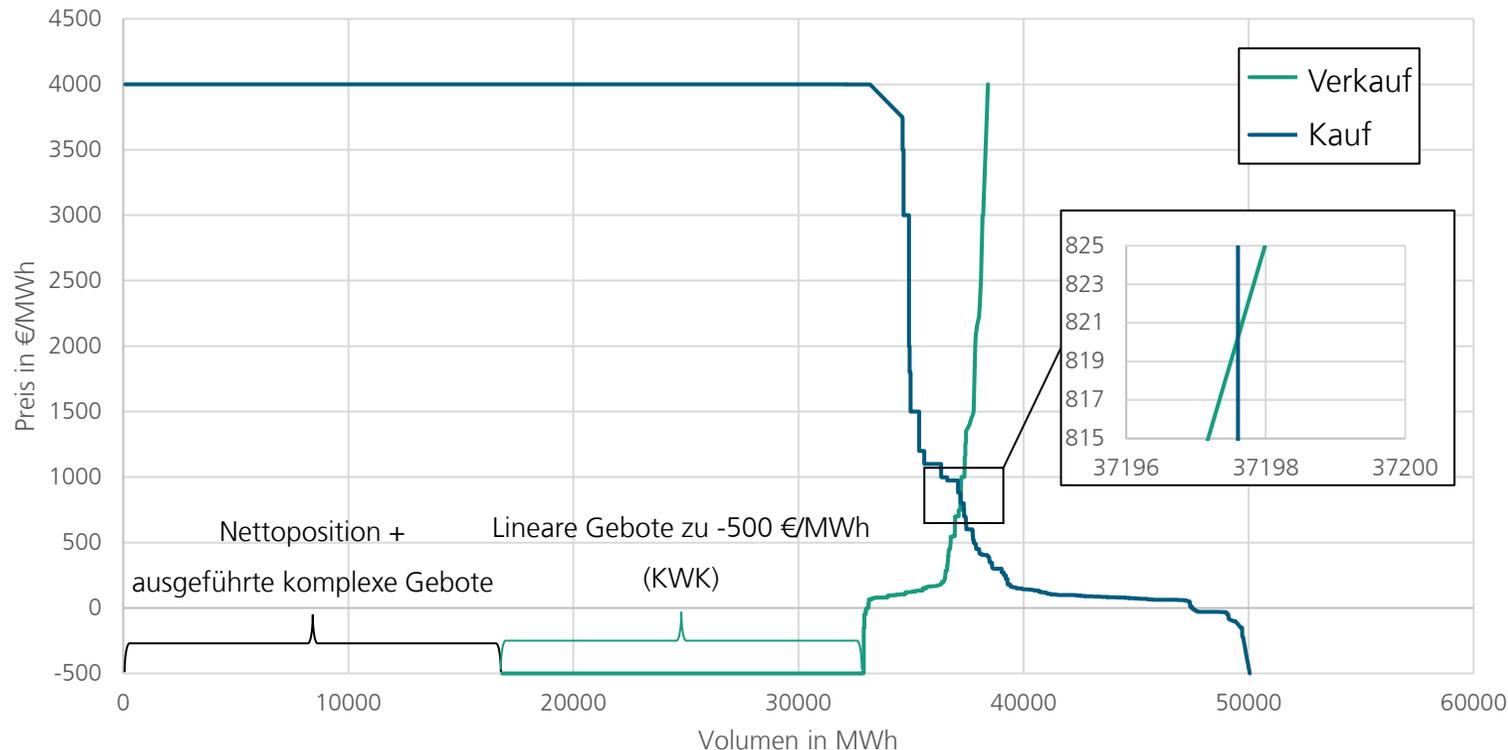
<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerksliste/start.html>

[2] Ermittlung der Nichtverfügbarkeiten anhand der Meldungen an die EEX und an ENTSO-E inkl. eigener Berechnung für Kleinkraftwerke (Laufwasser, Biomasse)

Merit-Order-Kurve

Aggregierte Kurven zeigen nur lineare (einfache) Gebote der jeweiligen Gebotszone

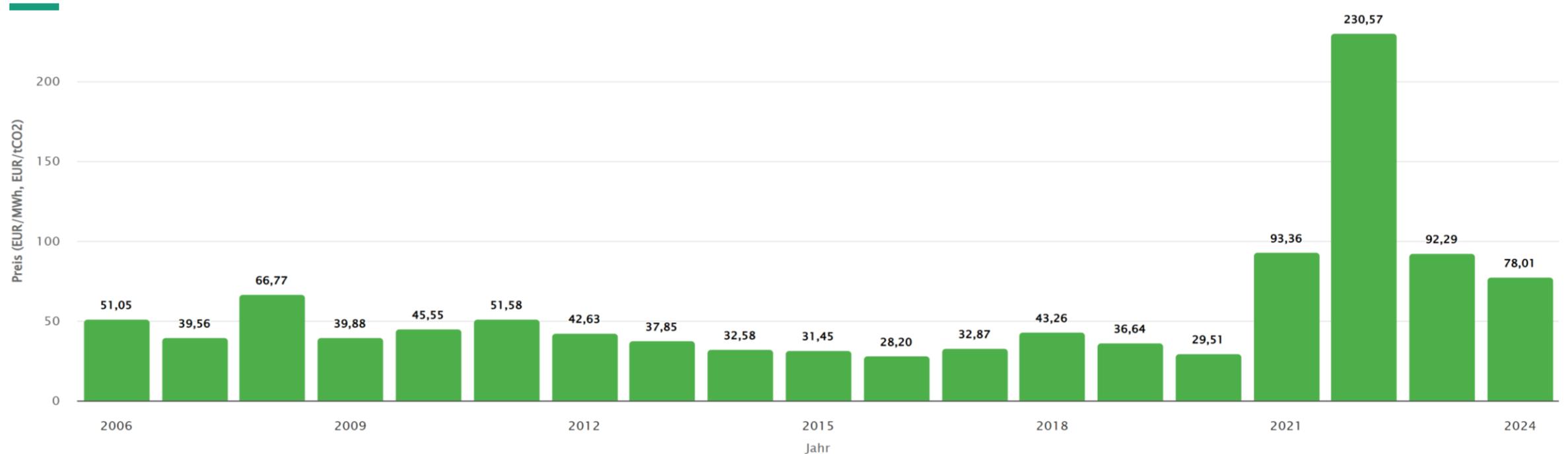
Aggregierte Kurve (6.11.24, 17:00 - 18:00 MEZ)



- Konventionelle Kraftwerke bieten mit komplexen Geboten (z.B. Blockgebote)
- Strommarktkopplung ebenfalls nur implizit enthalten
- Kurven verhalten sich in Realität deutlich flacher!
- Bei den linearen Geboten der deutschen Gebotszone wurden 20,4 GW von 21,6 GW oder 94,4% der linearen Gebote ausgeführt
- 10,5 GW Nettoposition (Import)
- 6,4 GW ausgeführte komplexe Gebote

EPEX Spotpreis Day-Ahead

Volumengewichtet, nicht inflationsbereinigt



- Day Ahead Auktion (arithmetisch) (DE-AT-LU, DE-LU)
- Intraday-kontinuierlich (volumengewichtet) (DE-AT-LU, DE-LU)
- Intraday-kontinuierlich, ID1-Preis (DE-AT-LU, DE-LU)
- Intraday-kontinuierlich, ID3-Preis (DE-AT-LU, DE-LU)
- Intraday Auktion, 15-Minuten-Preis (DE-AT-LU, DE-LU)
- Gekoppelte Intraday Auktion, 15-Minuten IDA3-Preis (DE-LU)
- CO2-Emissionszertifikate, Auktion-EU
- Day Ahead Auktion EXAA (arithmetisch) (DE-LU)
- Intraday-kontinuierlich 30-Minuten (volumengewichtet) (DE-AT-LU, DE-LU)
- Intraday-kontinuierlich, 30-Minuten ID1-Preis (DE-AT-LU, DE-LU)
- Intraday-kontinuierlich, 30-Minuten ID3-Preis (DE-LU)
- Gekoppelte Intraday Auktion, 15-Minuten IDA1-Preis (DE-LU)
- Intraday-Index-Ausgleichsenergiepreis (ID-AEP) 15-Minuten (DE-LU)
- Gas (NCG, THE)
- Day Ahead Auktion (volumengewichtet) (DE-AT-LU, DE-LU)
- Intraday-kontinuierlich 15-Minuten (volumengewichtet) (DE-AT-LU, DE-LU)
- Intraday-kontinuierlich, 15-Minuten ID1-Preis (DE-AT-LU, DE-LU)
- Intraday-kontinuierlich, 15-Minuten ID3-Preis (DE-AT-LU, DE-LU)
- Gekoppelte Intraday Auktion, 15-Minuten IDA2-Preis (DE-LU)
- CO2-Emissionszertifikate, Auktion-DE

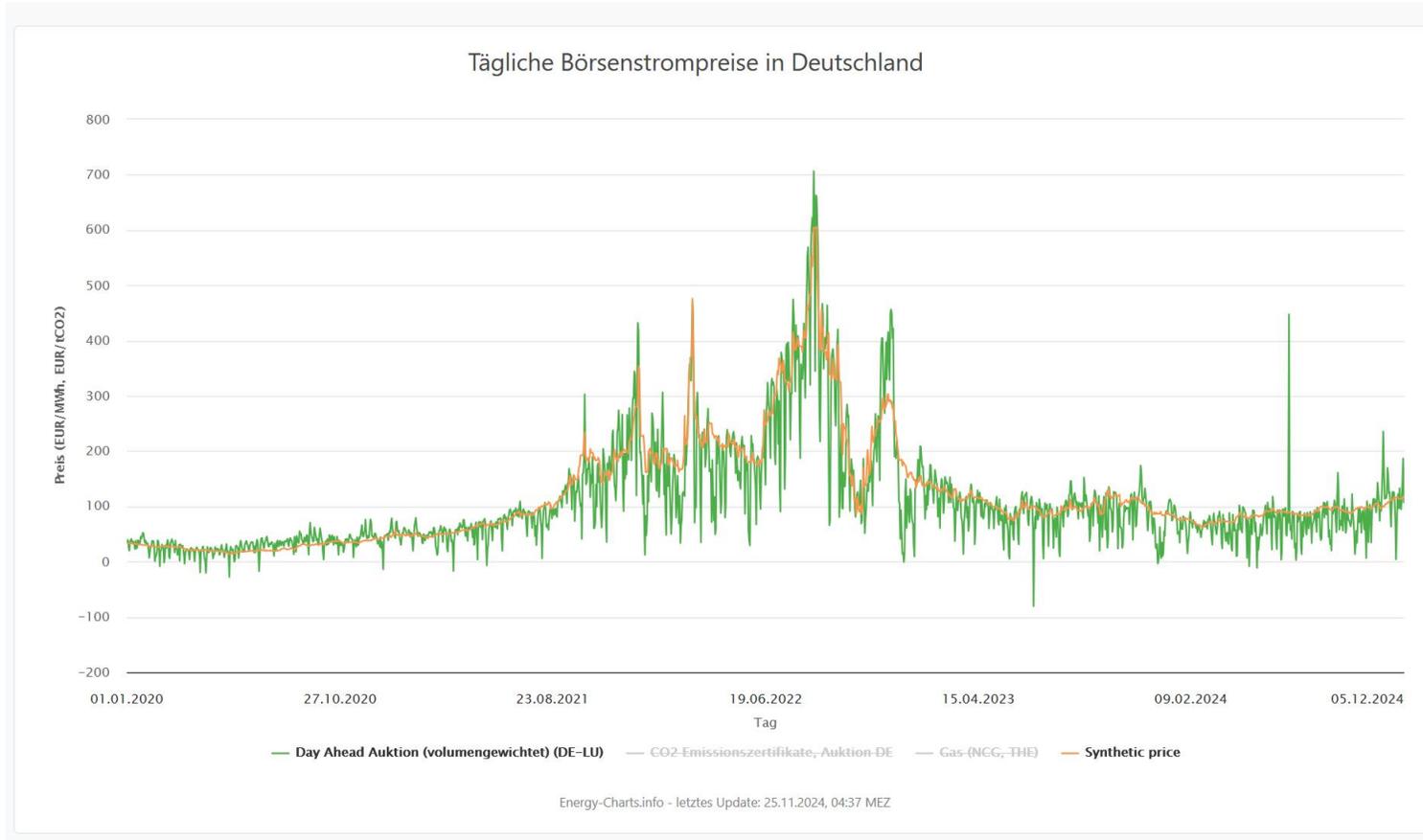
Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2025, 19:03 MEZ

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/price_average/chart.html?l=de&c=DE&chartColumnSorting=default&interval=year&year=-1&partsum=1

Synthetischer Strompreis

Berechnet aus Gaspreis und Emissionszertifikate-Preis

Energy-Charts  Leistung ▾ Energie ▾ Preise ▾ Umwelt ▾ Szenarien ▾ Karten ▾ Infos ▾



Wirkungsgrad: 55%

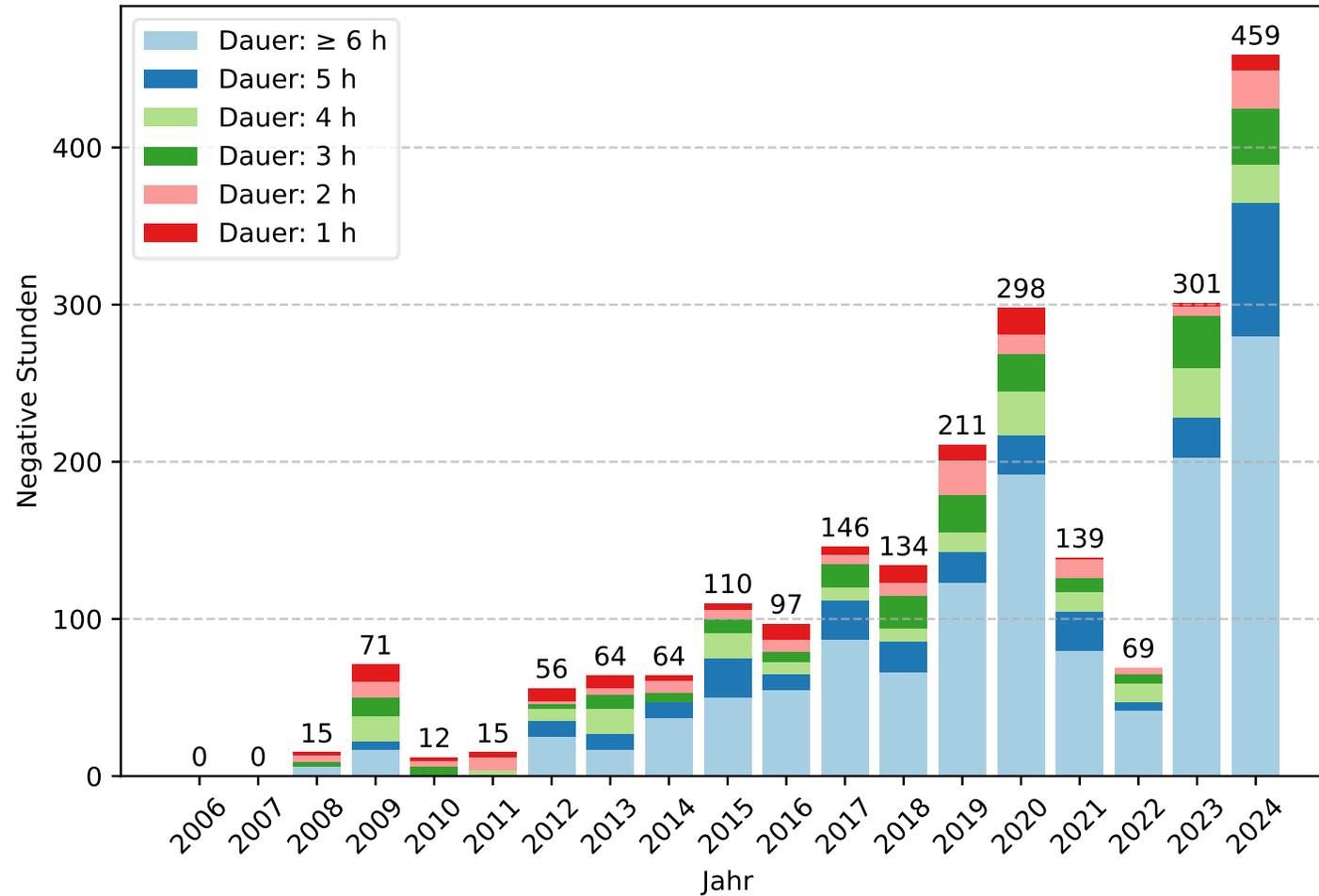
Emissionsintensität: 400 gCO₂ / kWh

Agenda

1. Emissionen und Klimawandel
2. Stromerzeugung in 2024
3. Der Strommarkt während der Dunkelflaute
4. Solarspitzen
5. Zusammenfassung

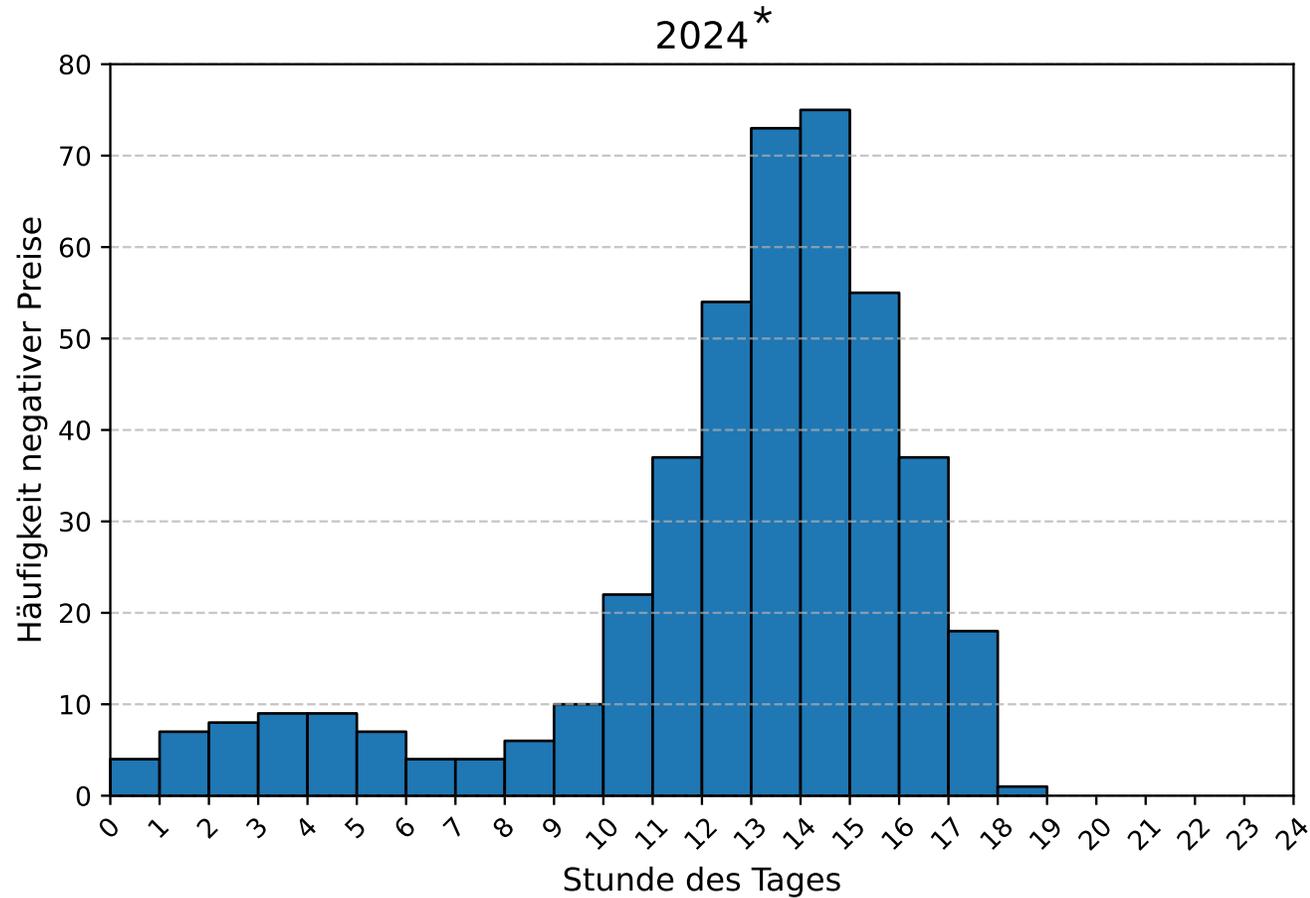
Negative Day-Ahead Börsenstrompreise

Stunden pro Jahr

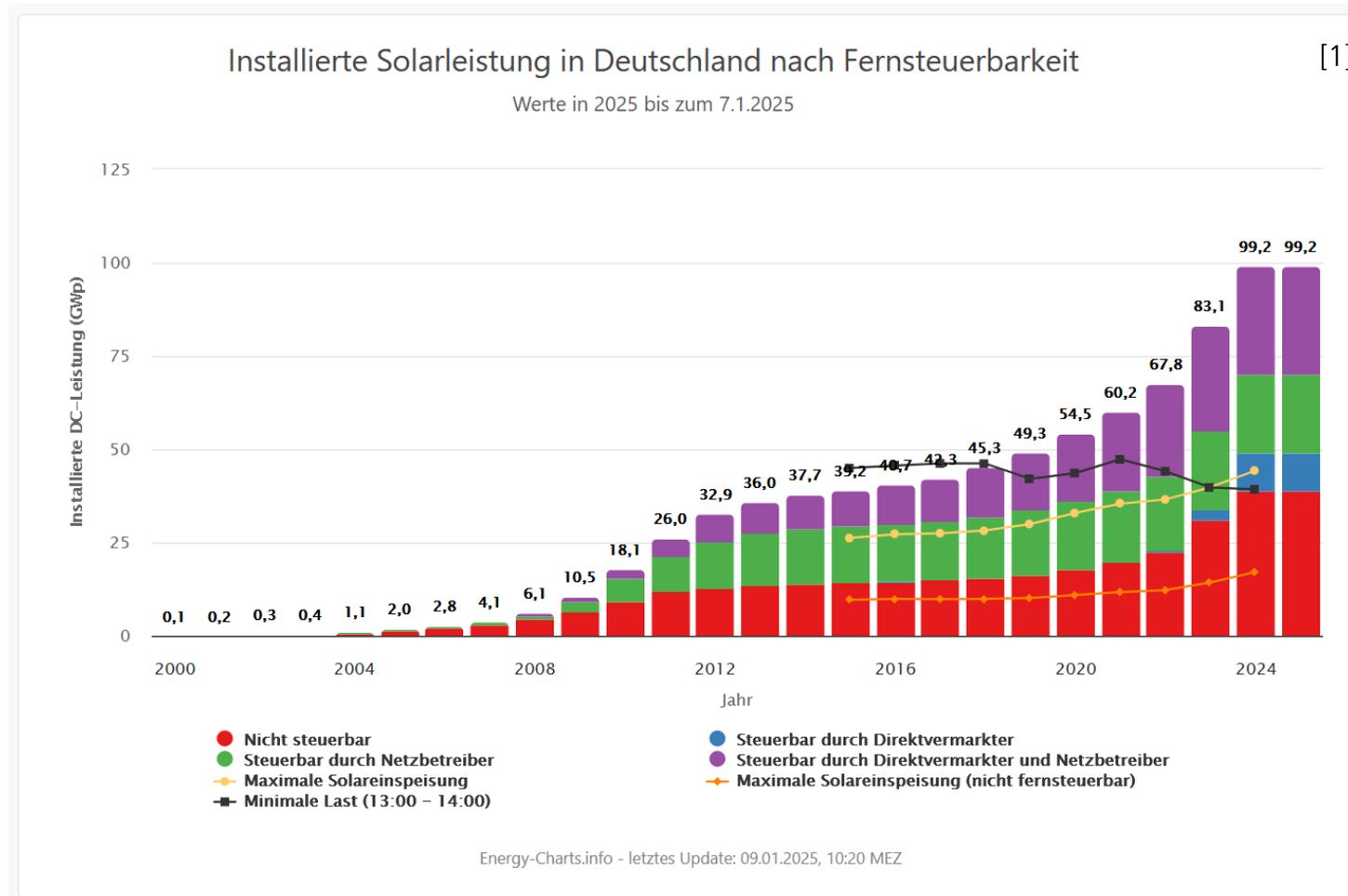


Verteilung der negativen Strompreise im Tagesverlauf

Negative Stunden überwiegend während der Mittagsstunden

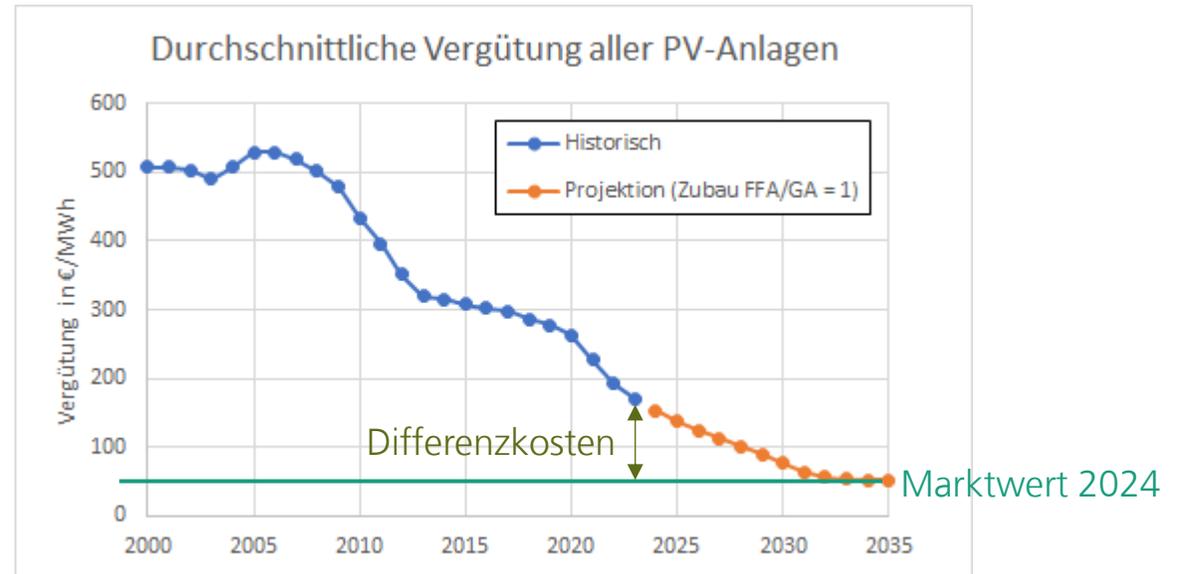
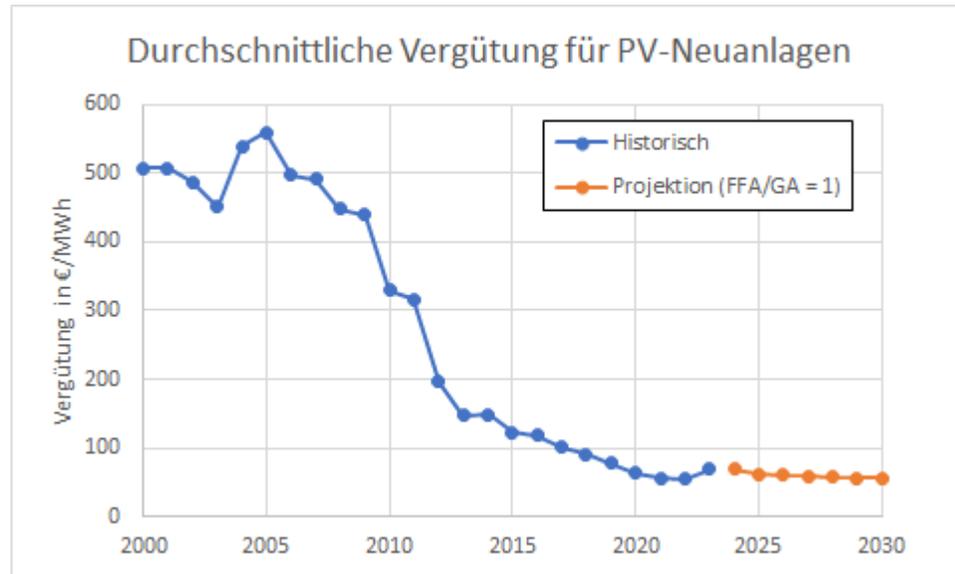


Fernsteuerbarkeit von Solaranlagen



Differenzkosten für EEG

Ermittlung der Vergütungen anhand der Installationszahlen im Marktstammdatenregister^[2]



- Marktwert Solar 2024: 4,70 ct/kWh (60,0 % des durchschnittlichen Börsenstrompreises)
- Marktwert Solar 2024 (neg. Preise = 0): 4,98 ct/kWh (62,6 % des durchschnittlichen Börsenstrompreises)



Zur Senkung der Differenzkosten werden Flexibilitäten benötigt:

Kurzzeitspeicher, Lastflexibilität und Stromhandel

Agenda

1. Emissionen und Klimawandel
2. Stromerzeugung in 2024
3. Der Strommarkt während der Dunkelflaute
4. Solarspitzen
5. Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Der Ausbau von Solarenergie und Speichern funktioniert gut. Die EEG-Novelle 2022 zeigt Wirkung.
- Die CO₂-Emissionen im Stromsektor sinken.
- Wind onshore und offshore hängen den Zeitplänen hinterher, es wurden aber viele neue Genehmigungen erteilt. Das „Wind-an-Land-Gesetz“ zeigt Wirkung.
- Der Netzausbau muss beschleunigt werden. Keine teuren Erdleitungen und keine Umwege.
- Im Verkehrssektor müssen wir schneller auf die E-Mobilität umsteigen.
- Der Wärmesektor muss schneller mit Wärmepumpen und Wärmenetzen dekarbonisiert werden (kommunale Wärmeplanung).
- Die Industrie muss dekarbonisiert werden.
- Die Energiewende ist ein großer Erfolg! Alle können mitmachen.

Online Medien

Energy-Charts Webseite <https://www.energy-charts.info>

X / Twitter https://twitter.com/energy_charts_d

LinkedIn <https://www.linkedin.com/in/leonhard-probst-4b2666284>

Bluesky <https://bsky.app/profile/energy-charts.bsky.social>

Mastodon https://wisskomm.social/@energy_charts_d

Threads https://www.threads.net/@energy_charts

Kontakt

Leonhard Probst

Tel. +49 761 4588-2278

leonhard.probst@ise.fraunhofer.de

<https://www.energy-charts.info>