

Energiewende im Gegenwind: Szenarien, Soll- und Ist-Zustand

Leonhard Gandhi

Aktuelle Fragen der Wirtschaftspolitik - Akademie für Politische Bildung

Tutzing, den 13.02.2026

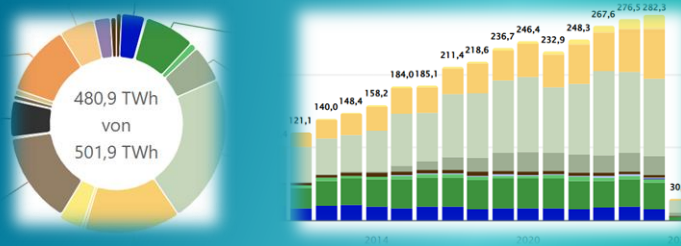
www.energy-charts.info

Energy-Charts

Strategieplan 2026 – Mission und Vision



Mission



Wir machen komplexe Energiedaten **transparent, verständlich** und **frei** zugänglich.

Durch interaktive Visualisierungen und wissenschaftlich aufbereitete Rohdaten ermöglichen wir **Bürger:innen, Medien, Wirtschaft** und **Politik** eine **faktenbasierte Einordnung** der Entwicklungen im Energiesystem.

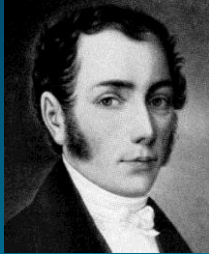
Vision



Wir wollen die **zentrale, vertrauenswürdige Referenz für Energiedaten** im deutschsprachigen Raum sein und so zu einer sachlichen, informierten und **konstruktiven Debatte** über die Energiewende beitragen.

Fraunhofer-Gesellschaft

Der Namensgeber Joseph von Fraunhofer



**Joseph von Fraunhofer
(1787-1826)**

Entdeckung der »Fraunhofer-Linien« im Sonnenspektrum

Neue Bearbeitungsverfahren für Linsen

Leiter und Teilhaber einer Glashütte

Forscher

Erfinder

Unternehmer

Die Fraunhofer-Gesellschaft



Forschung und Entwicklung im Auftrag von Industrie und Staat

Musikformat mp3, weiße LED, QuNET – hochsicheres Quantennetz

**Forschungsvolumen:
ca. 3,6 Mrd. € pro Jahr**

Fraunhofer-Gesellschaft

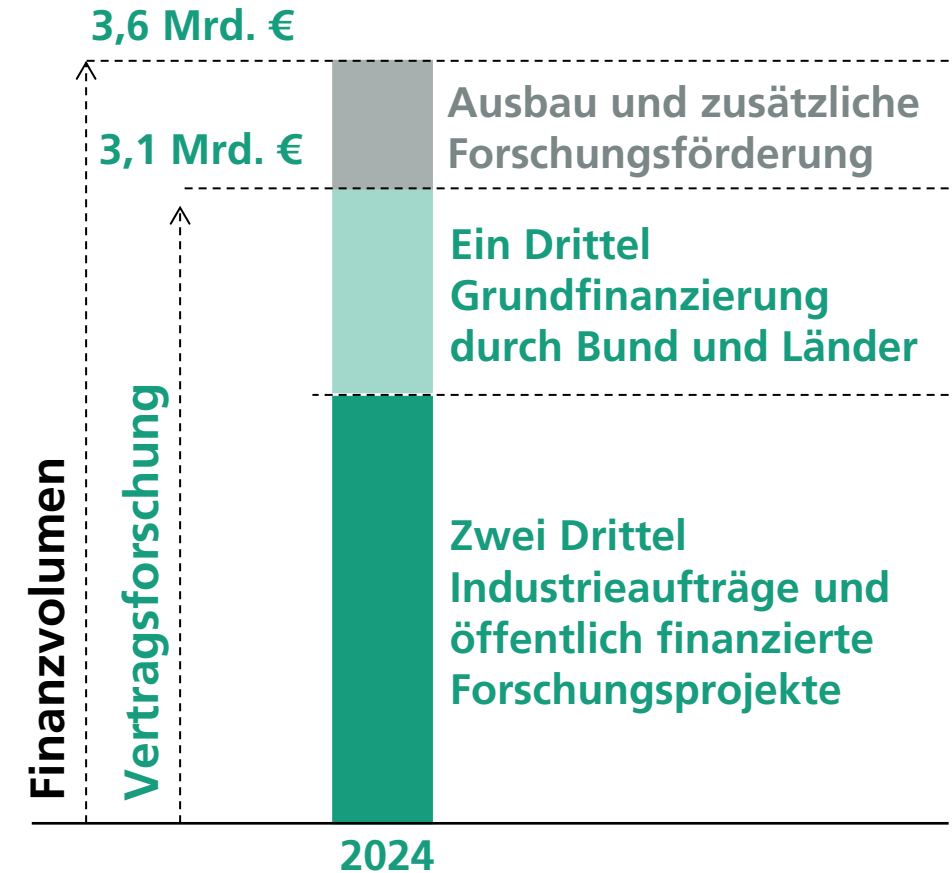
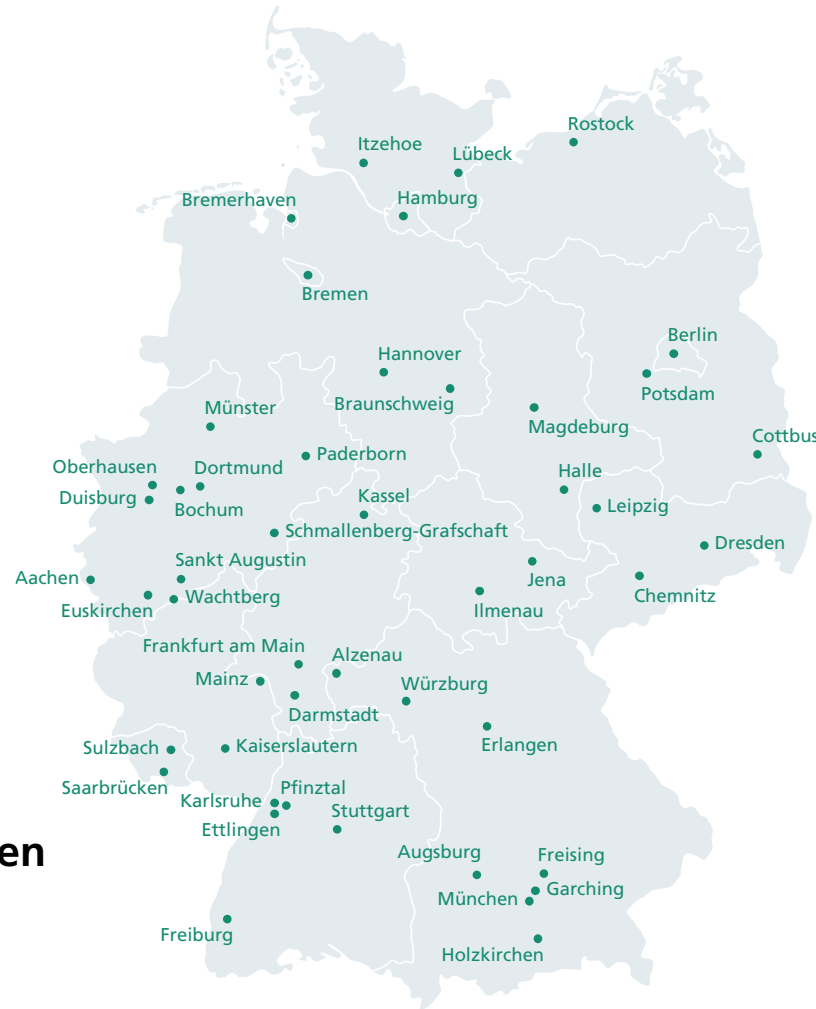
Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen



**rund 32 000
Mitarbeitende**



**75 Institute und
Forschungseinrichtungen**



Stand: Juni 2025

Fraunhofer-Gesellschaft

Auf einen Blick

Anwendungsorientierte Forschung mit Fokus auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie. Wegweiserin und Impulsgeberin für innovative Entwicklungen.

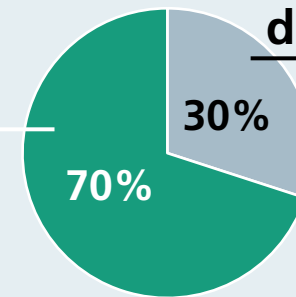

Rund 32 000
Mitarbeitende

75 Institute und
Forschungseinrichtungen


3,6 Mrd. € Finanzvolumen



Industrieraufträge und
öffentlich finanzierte
Forschungsprojekte

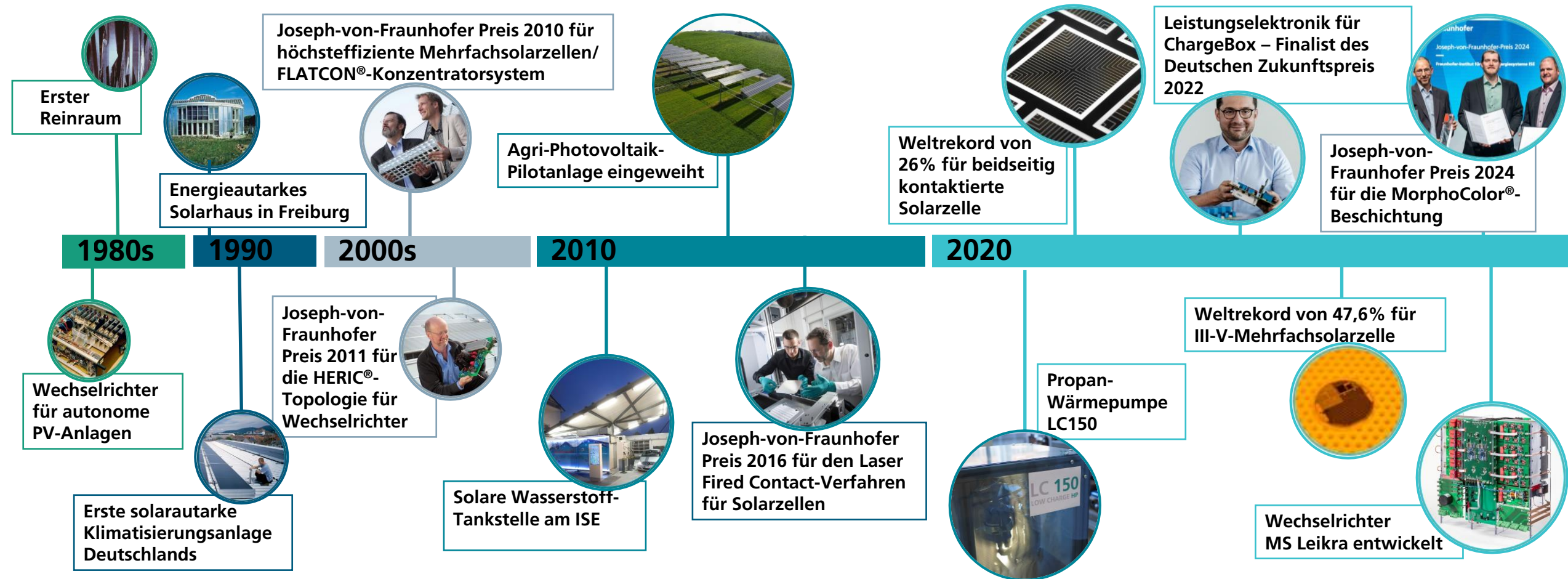


Grundfinanzierung
durch Bund und Länder

Stand: Juni 2025

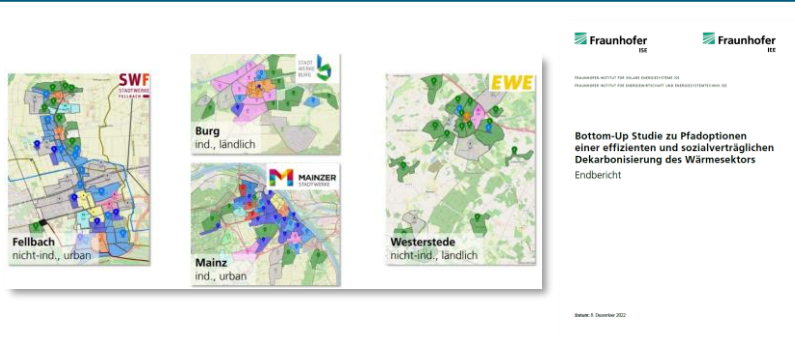
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Höhepunkte aus der Forschung – Eine Auswahl seit der Institutsgründung in 1981



Energiewirtschaftliche Studien und Energiesystemanalyse am Fraunhofer ISE

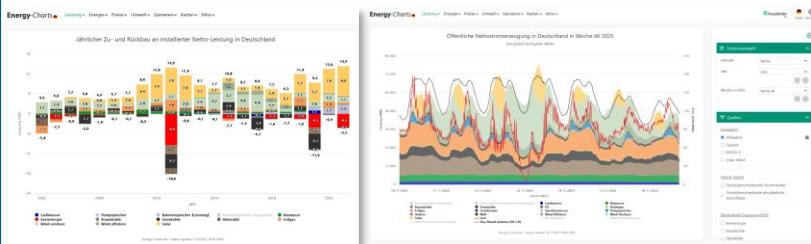
Integrierte Energieplanung



Transformation DE



Energiemärkte (energy-charts.info)



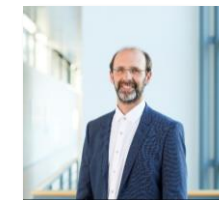
Erzeugungskosten



Fraunhofer ISE in Freiburg



Zur Person



Dr. Christoph Kost
Abteilungsleiter Energiesystemanalyse
Gruppenleiter Energiesysteme & Energiewirtschaft

christoph.kost@ise.fraunhofer.de

Themen und Projekte

Energiesystemanalyse @Fraunhofer ISE

1. Nationale Energiesystemanalysen zu Klimaneutralität

- Transformationspfade analysieren
- Quantitative Abbildung mittels REMod
- Projekte: Kopernikus-Ariadne, Manifold, Souverän

2. Rolle von Sektorkopplung und Infrastruktur im Rahmen der Energiewende

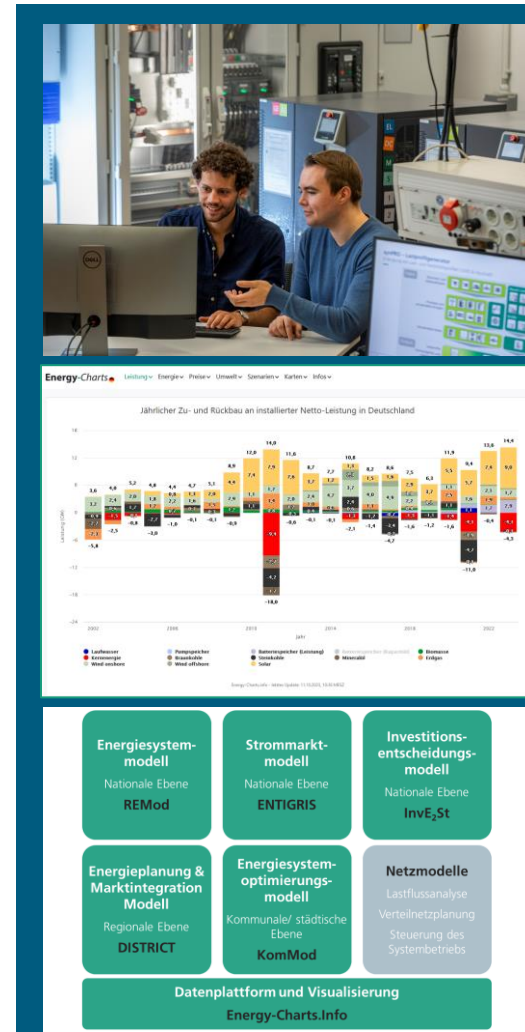
- Integrierte Analyse
- Verknüpfung mit Netzanalyse
- Projekte: KOMPARE, DENA-Bottom-up, Kommunale Wärmeplanung, Fluseeq

3. Dekarbonisierung der Industrie

- Dekarbonisierungsstrategien
- CO₂-Bewertung
- Maßnahmen und Akteure
- Projekte: Ind-Supply, INDE, IHK-Stromstudien,

4. Klimaneutrale Städte und Quartiere

- Stadtentwicklung und Reallabore
- Wärmenetze und Gebäude
- Projekte: Enstadt Pfaff, PEDurban, FernWP, Kompere



5. Transformationsprozess begleiten

- Co₂-Pfade und Sektorziele bzw. -Maßnahmen
- Sozialwissenschaftliche Experten
- Projekte: Expertenrat Klima, WisskommEnergiewende, BBSR-Gebäude

6. Geschäftsmodelle und Technologien in einer sich verändernden Welt

- Wirtschaftlichkeitsanalysen
- Regulatorik und neue Geschäftsmodelle
- Projekte: BKM2.0, BSW-PV-Studie, FAME4ME, Dyn. Tarife

7. Zubau und Vermarktung von EE

- Vermarktungsoptionen und Marktregularien
- Zubau und Marktzahlen
- Projekte: Energy-Charts, Strompreisanalyse/Prognose Leit-faden-Gewerbe-PV, DNR-Solarstandard,

8. Rolle von Wasserstoff

- Wasserstoff in Industrie und Wärme
- Wasserstoffimporte
- Projekte: H2Global, DENA-Bottom-Up, PTX Algerien,

Agenda

9:15 – 10:00: Stromerzeugung, Anteil erneuerbarer Energien, Volllaststunden, Installierte Leistung

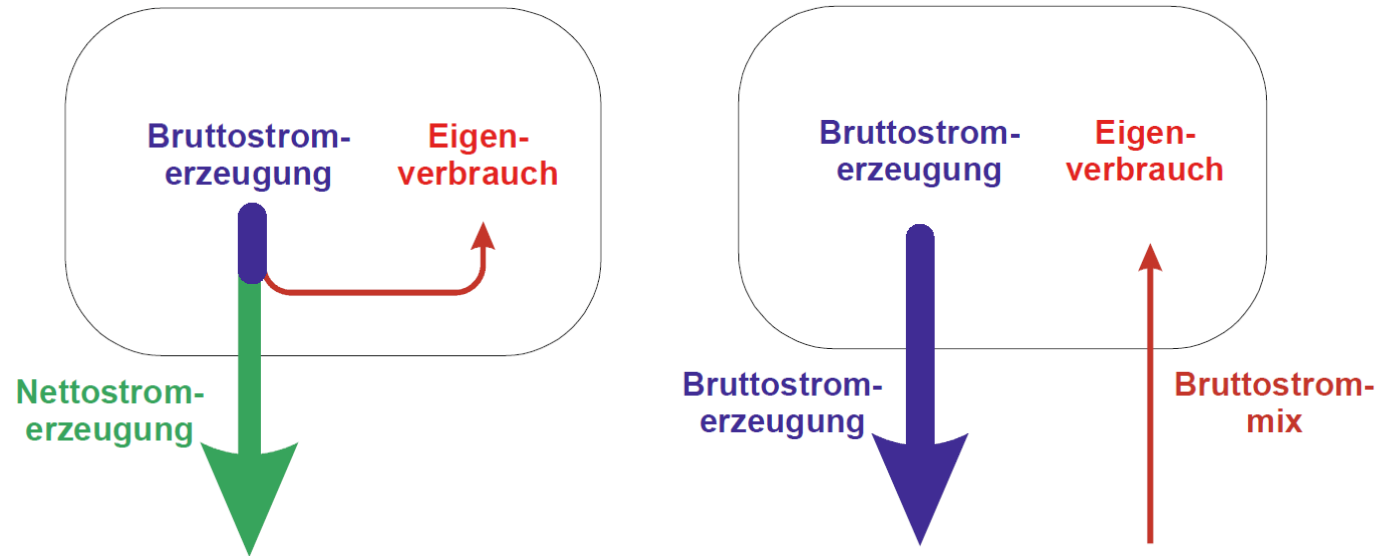
10:00 – 10:30: Importe und Exporte, Preise

10:30 – 10:45: Pause

10:45 – 11:15: Emissionen und Klimadaten

11:15 – 12:00: Energiesystemmodellierung und Szenarien bis 2045

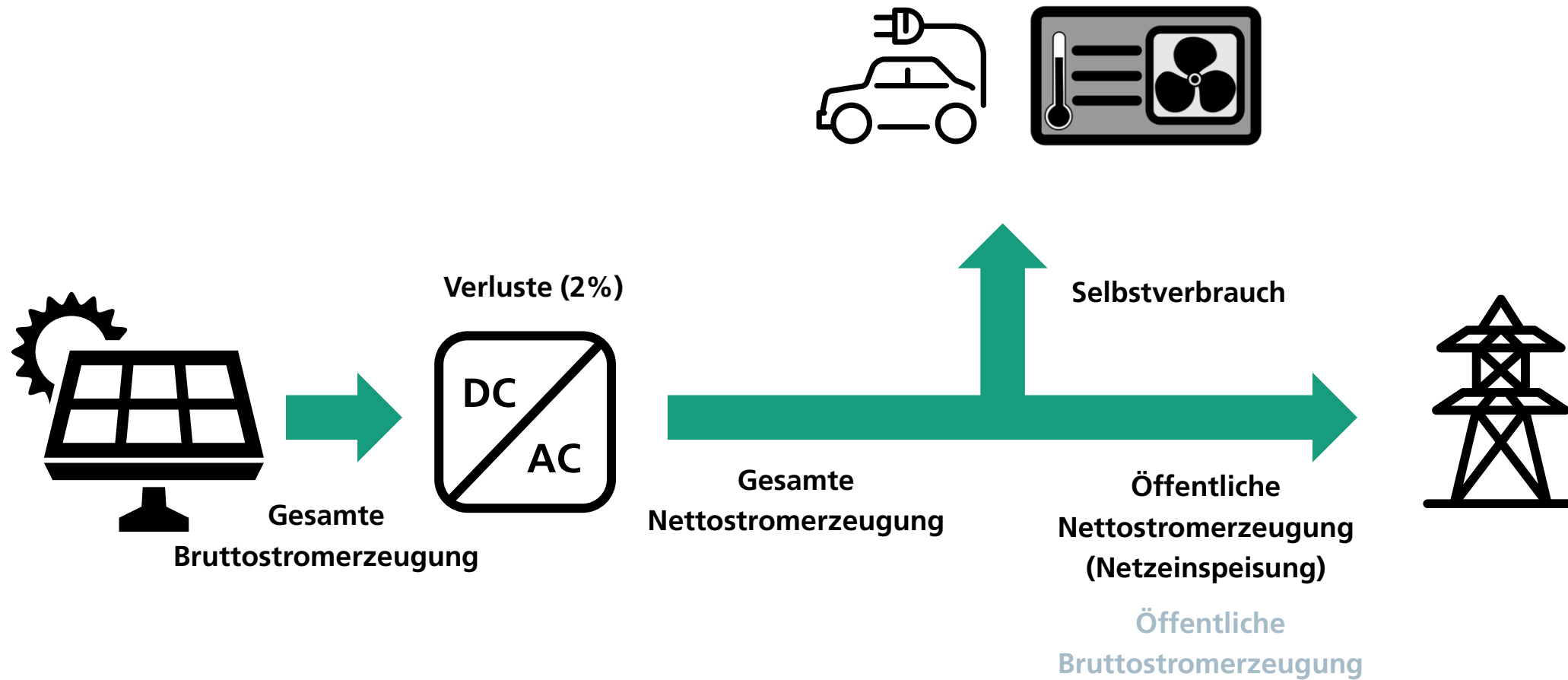
Unterschied Brutto / Netto



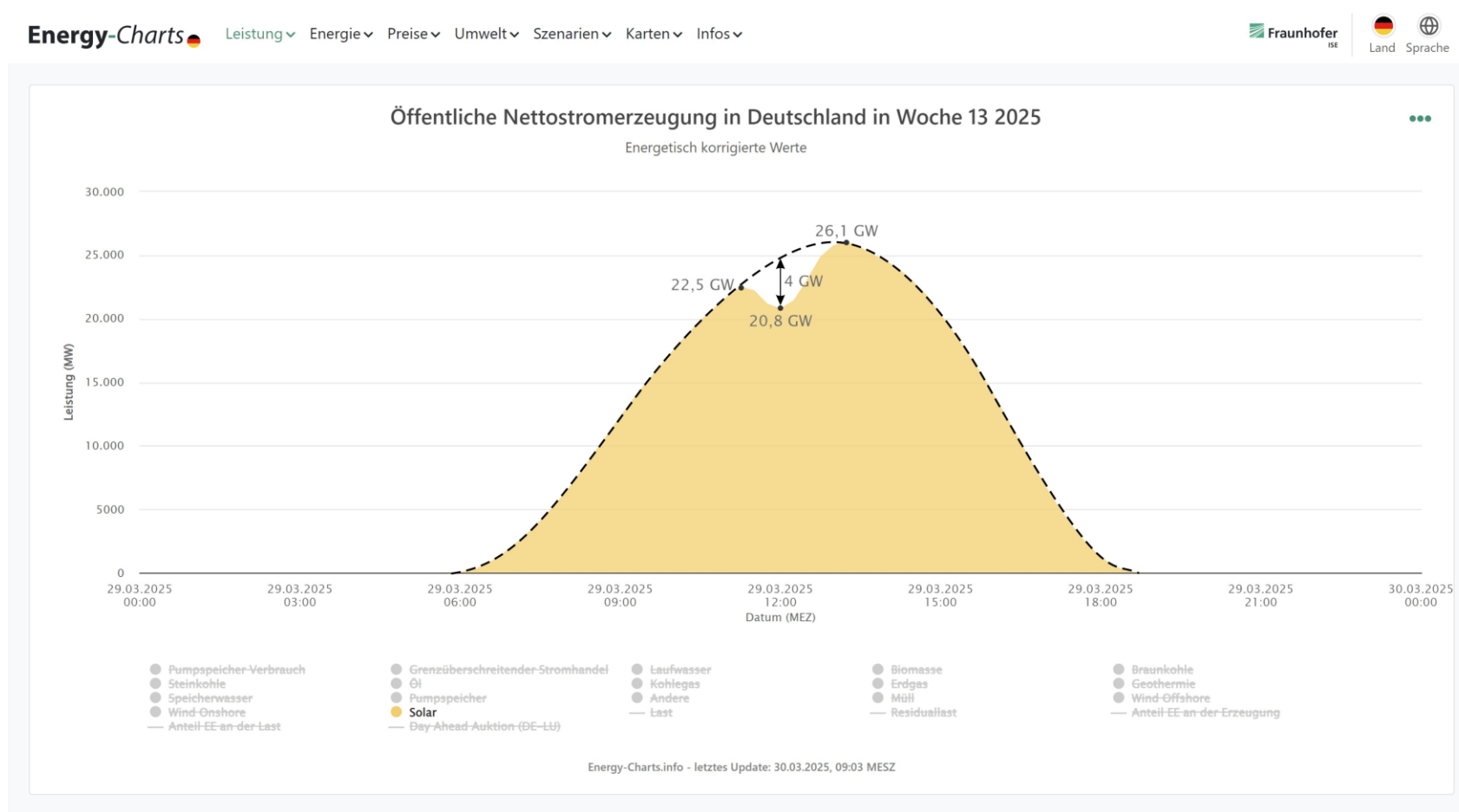
- Entscheidende Frage: Wie ist der Eigenverbrauch definiert?
- Betrieb von Anlagen / Verbrauchern **mit** oder **ohne** Zusammenhang zur Stromerzeugung
- Zweites Merkmal zur Unterscheidung notwendig:
Öffentlich / Gesamt

Definitionen: Brutto / Netto und Gesamt / Öffentlich

am Beispiel der Photovoltaik



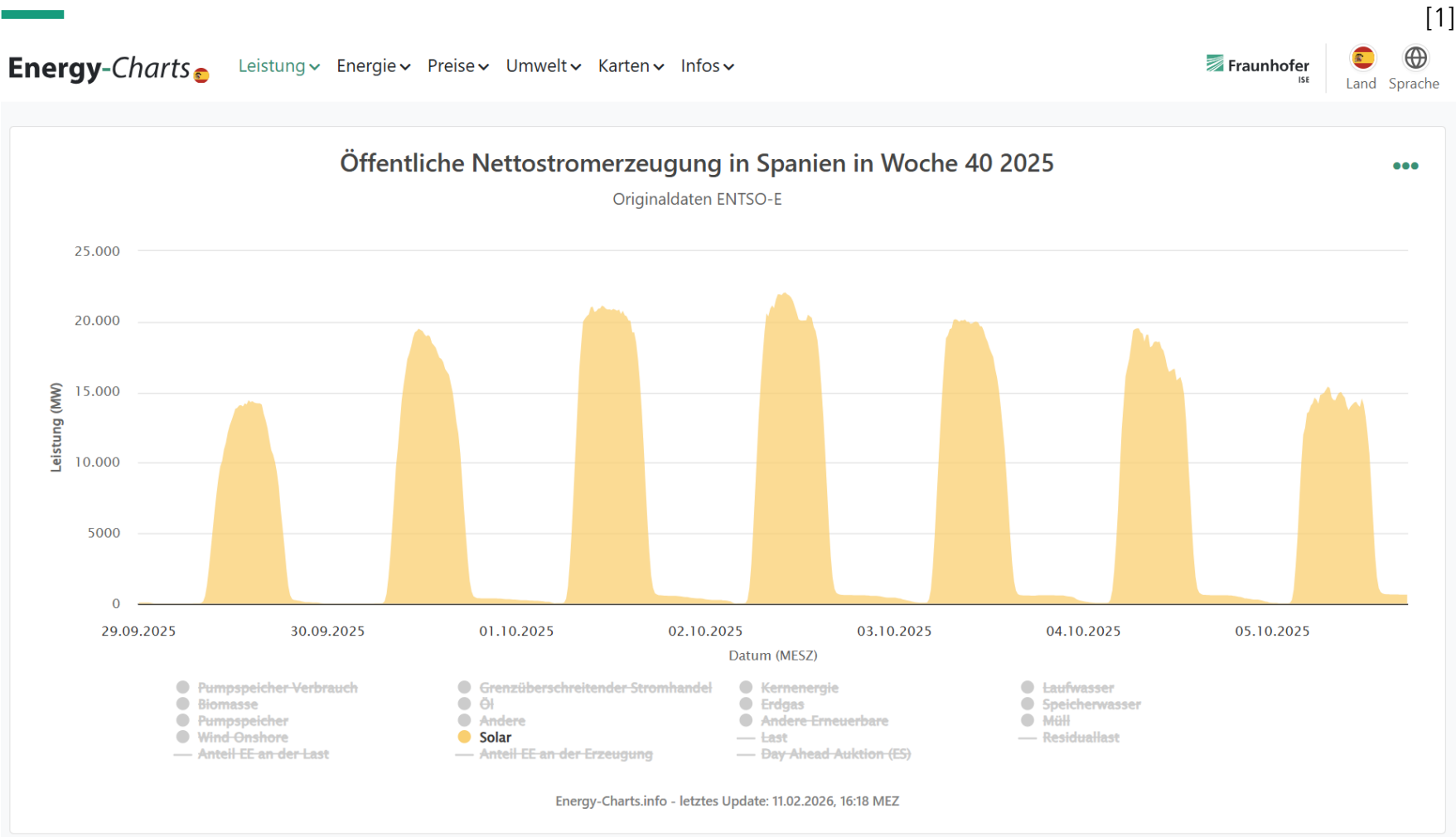
Netzeinspeisung aus Photovoltaik in Deutschland am 29. März 2025



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 in Spanien in Woche 40, 2025

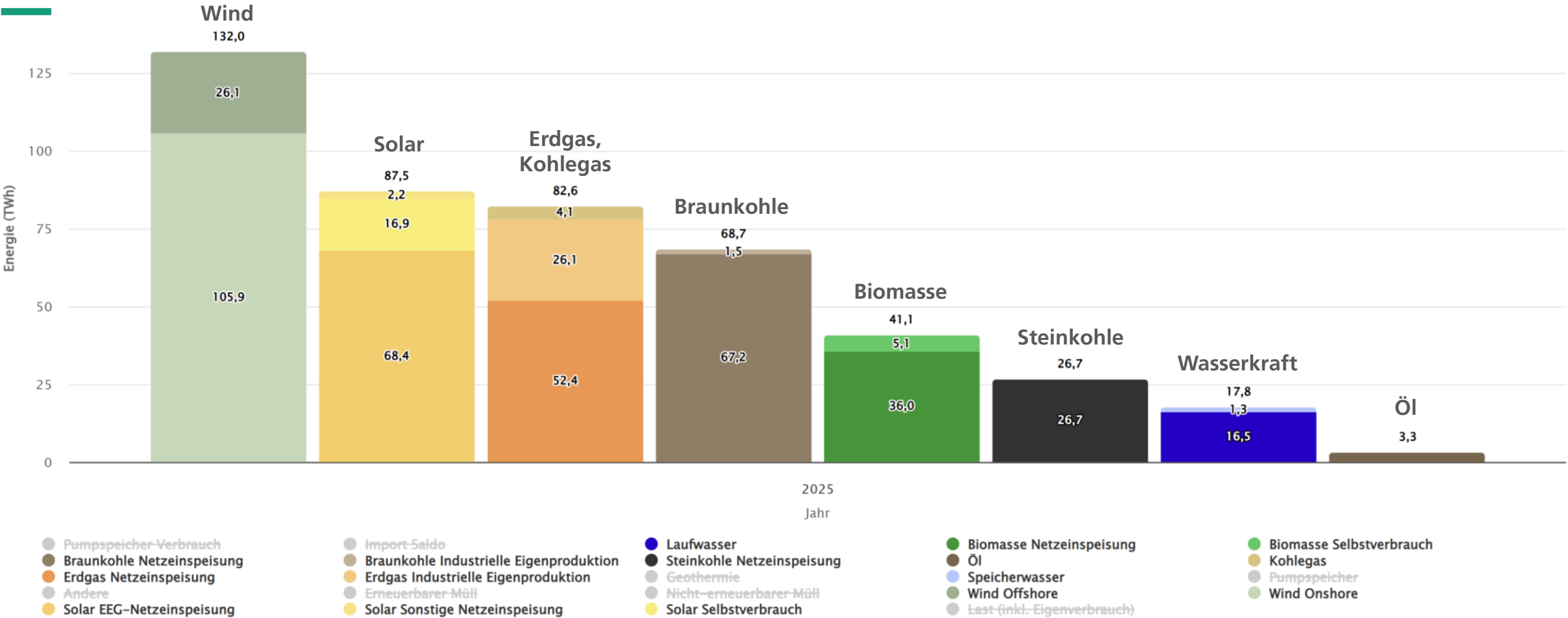
Solar



[1] <https://energy-charts.info/charts/power/chart.htm?l=de&c=ES&legendItems=jyd&week=40&year=2025>

Gesamte Nettostromerzeugung

Jahr 2025

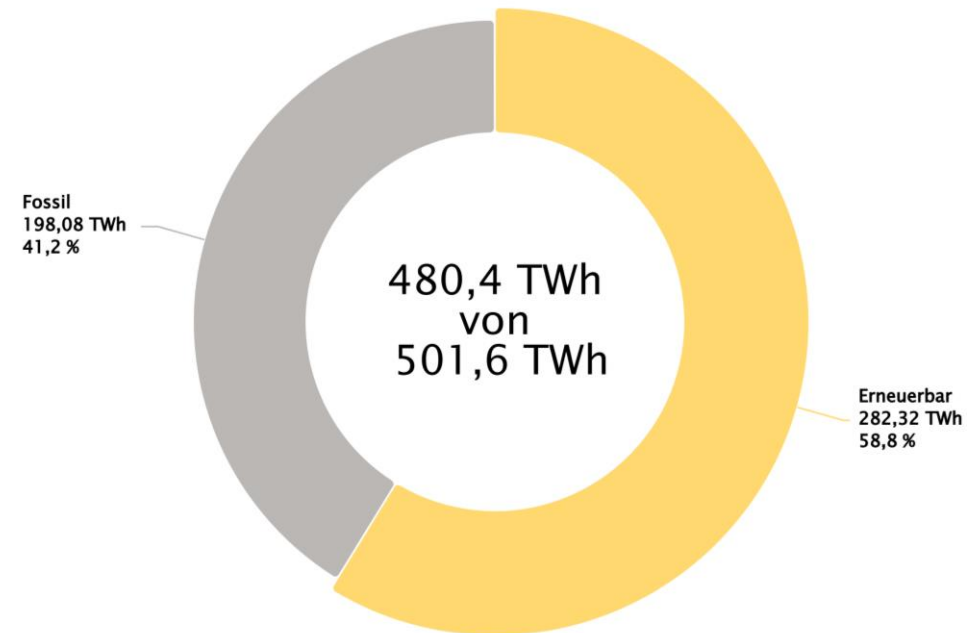
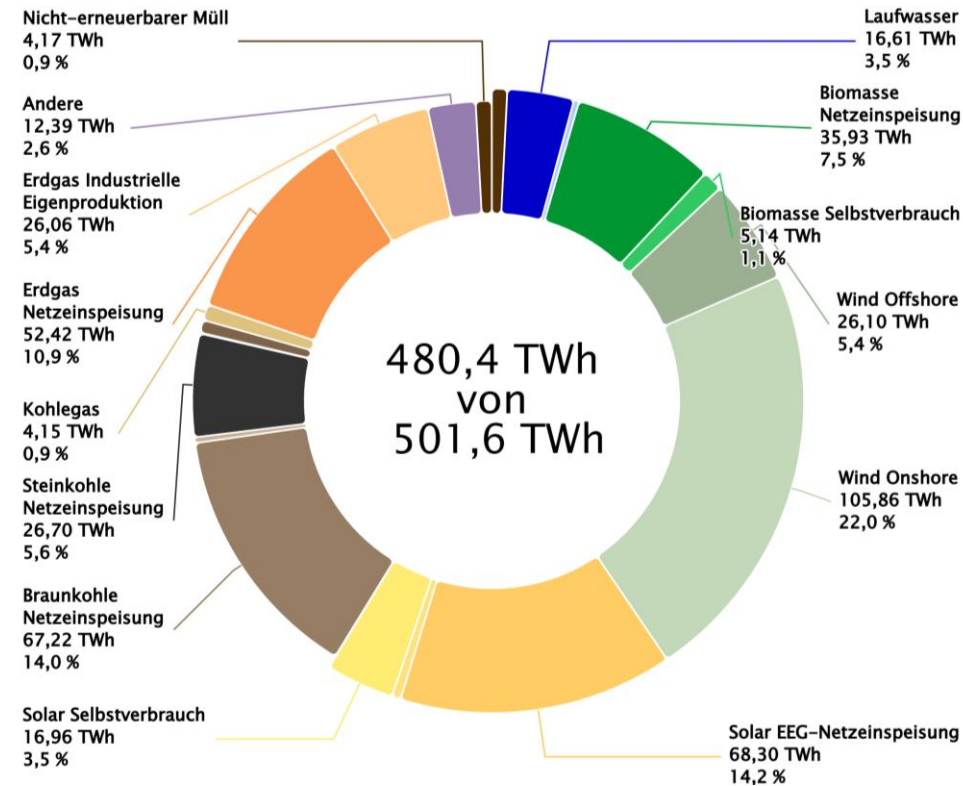


Energy-Charts.info - letztes Update: 01.01.2026, 07:38 MEZ

Quelle: <https://energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&year=2025&source=total&legendItems=1x3vt1u&chartColumnSorting=descending>

Gesamte Nettostromerzeugung

Jahr 2025

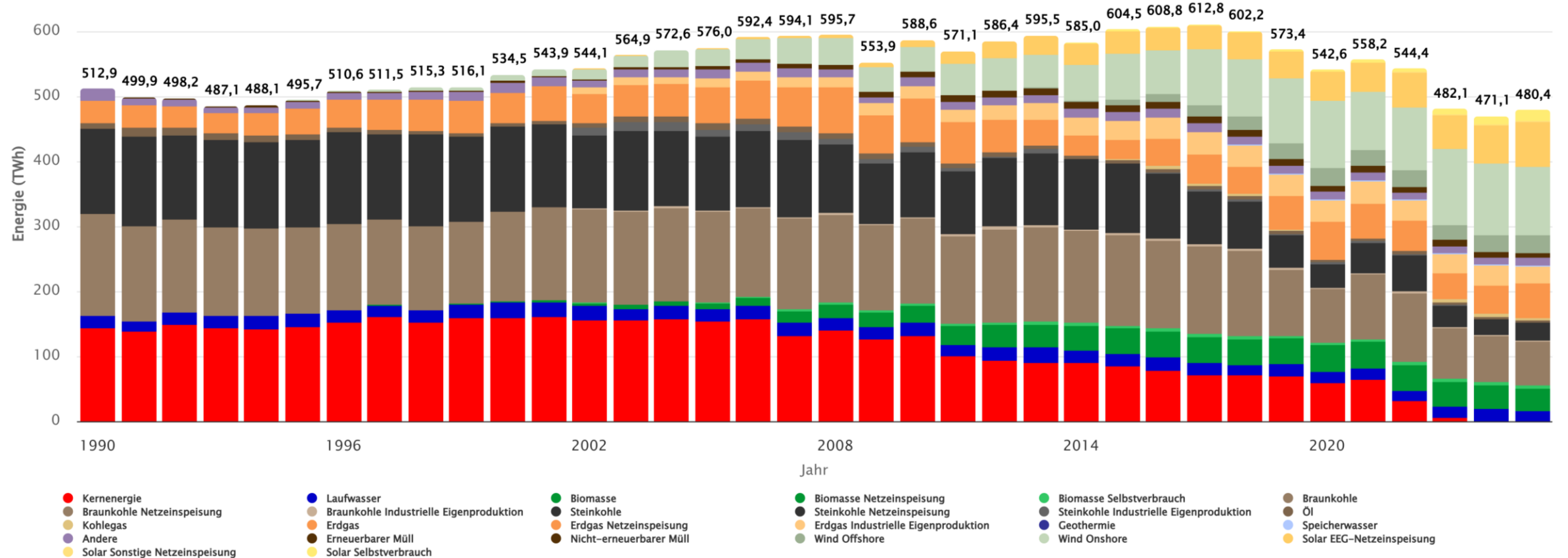


Die Grafik zeigt die gesamte Nettostromerzeugung. Das ist die Summe aus der öffentlichen Nettostromerzeugung, dem solaren Selbstverbrauch und der Erzeugung von „Betrieben im verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden“ für den Eigenbedarf.

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/energy_pie/chart.htm?l=de&c=DE&source=total&interval=year&year=2025

Gesamte Nettostromerzeugung

Jahr 1990 - 2025



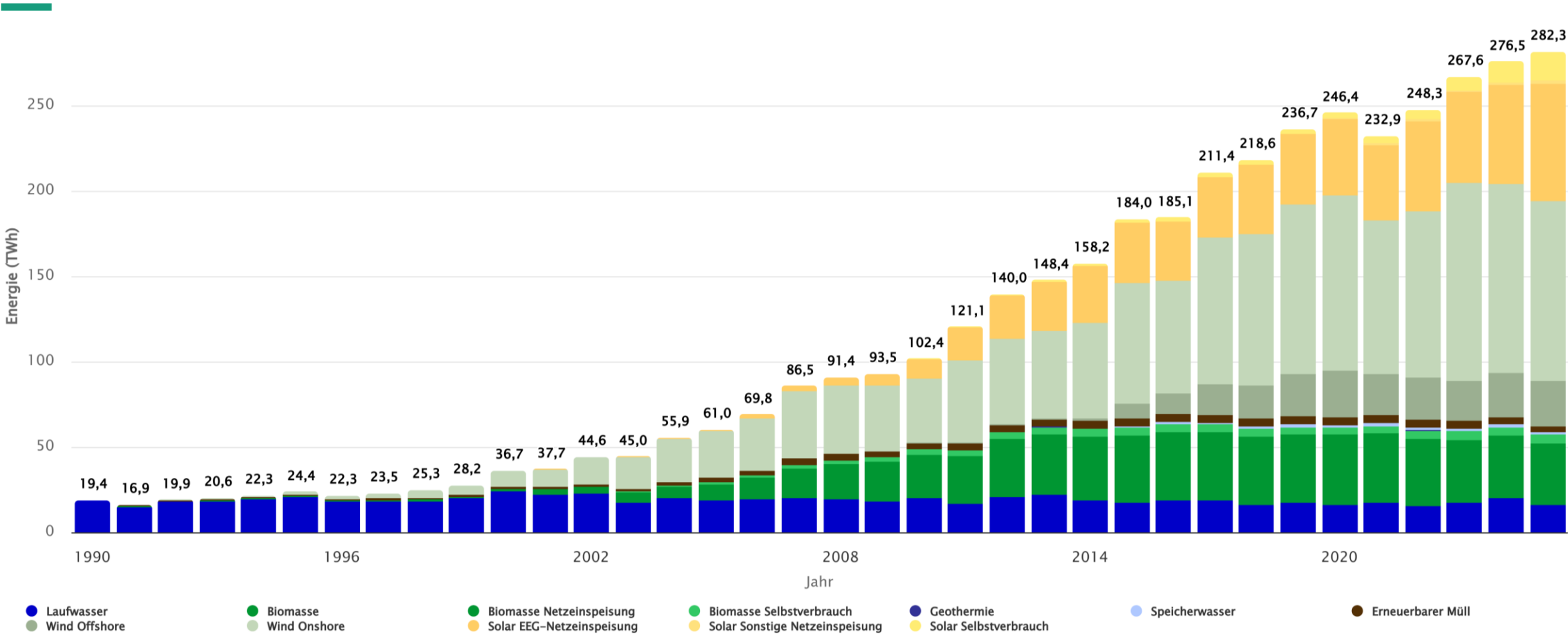
Energy-Charts.info; Datenquelle: ENTSO-E, AG Energiebilanzen, BDEW; Letztes Update: 22.01.2026, 13:24 MEZ

Die Grafik zeigt die gesamte Nettostromerzeugung. Das ist die Summe aus der öffentlichen Nettostromerzeugung, dem solaren Selbstverbrauch und der Erzeugung von „Betrieben im verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden“ für den Eigenbedarf.

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

Gesamte Nettostromerzeugung aus erneuerbaren Energien

Jahr 1990 - 2025

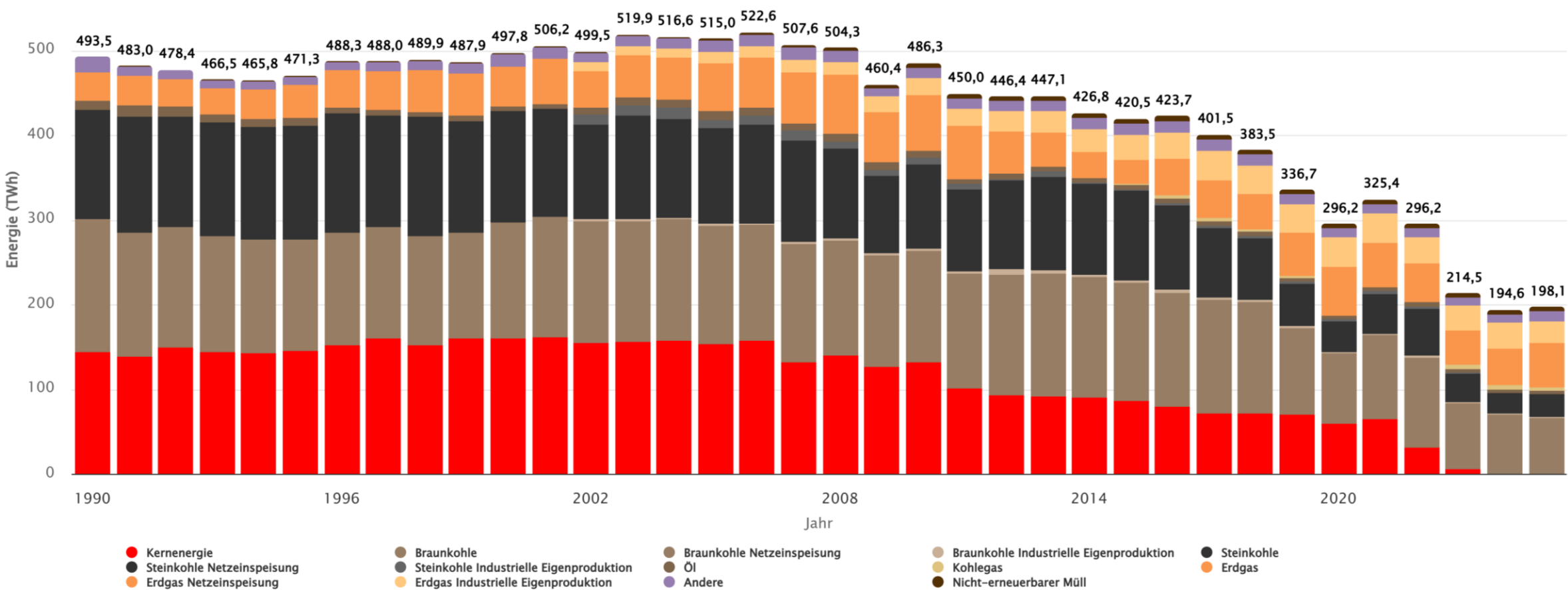


Energy-Charts.info; Datenquelle: ENTSO-E, AG Energiebilanzen, BDEW; Letztes Update: 22.01.2026, 13:24 MEZ

Quelle: <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&year=-1&source=total&legendItems=0x3o035u>

Gesamte Nettostromerzeugung aus nicht erneuerbaren Quellen

Jahr 1990 - 2025

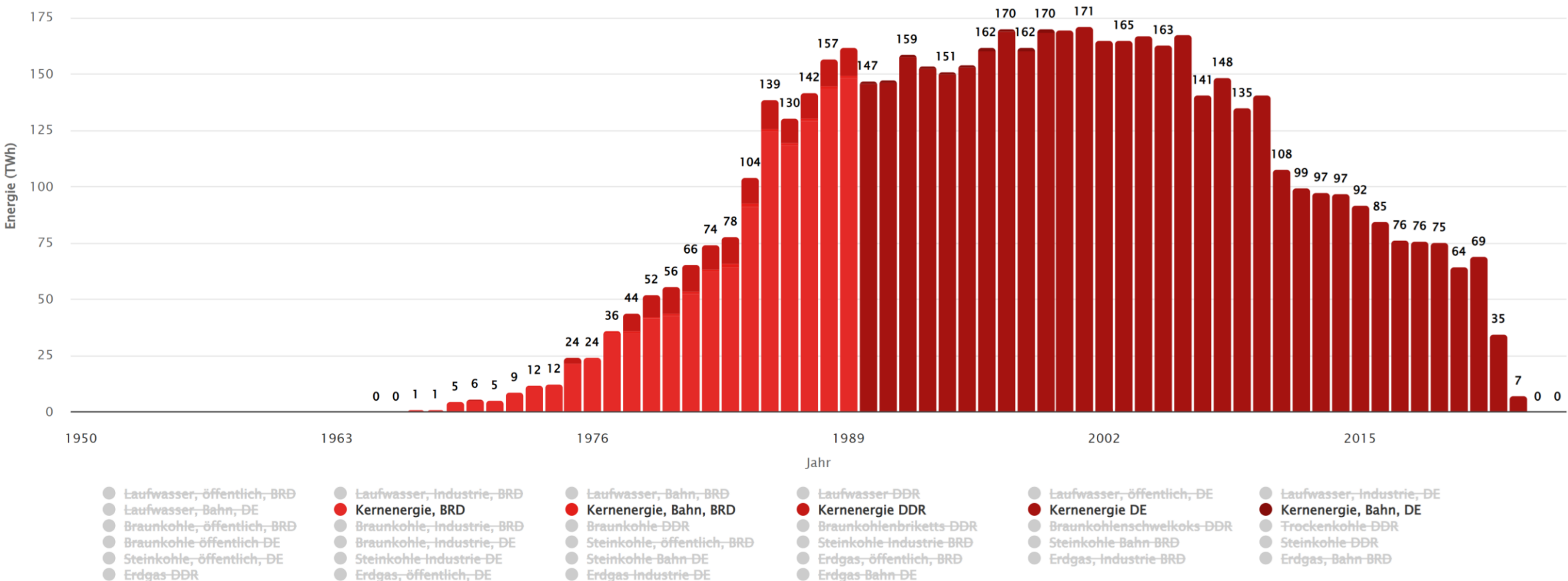


Energy-Charts.info; Datenquelle: ENTSO-E, AG Energiebilanzen, BDEW; Letztes Update: 22.01.2026, 13:24 MEZ

Quelle: <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&year=-1&source=total&legendItems=0x47vsa0>

Bruttostromerzeugung aus Kernenergie

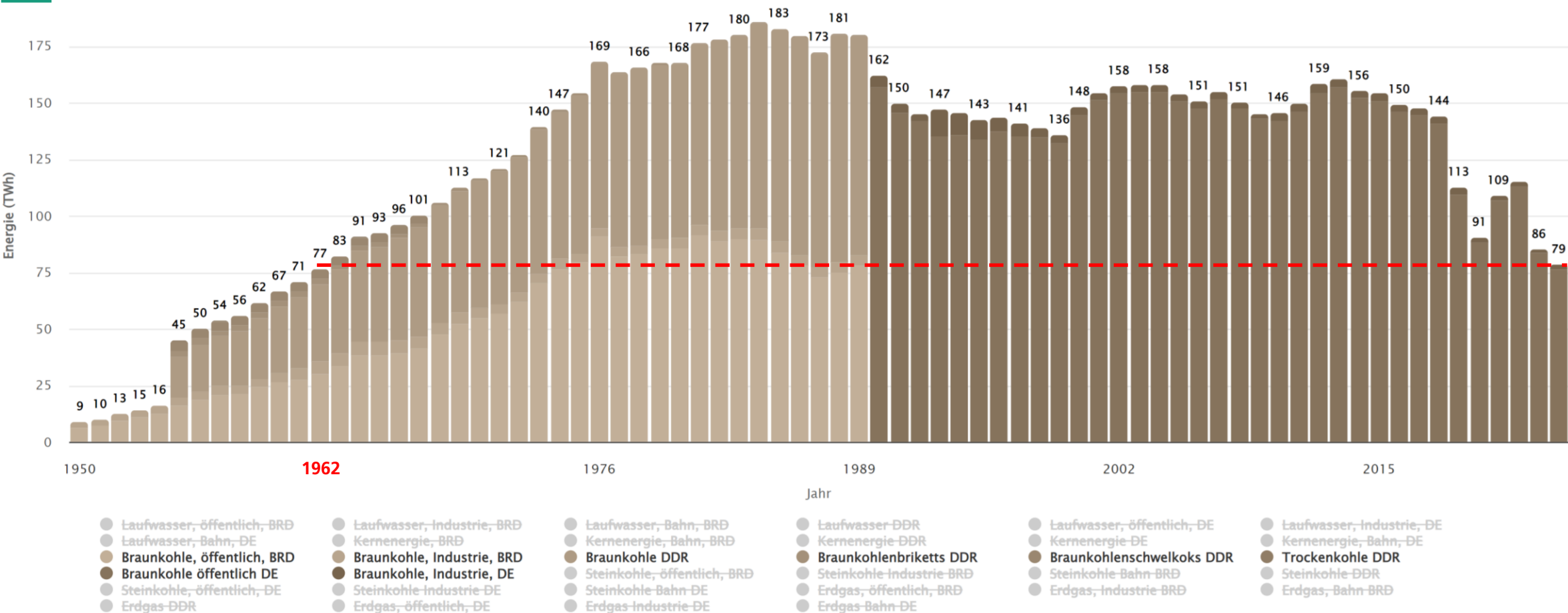
Jahr 1950 bis 2025



Quelle: https://energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&year=-1&source=gross_production&legendItems=7w5wm

Bruttostromerzeugung aus Braunkohle

Jahr 1950 bis 2024

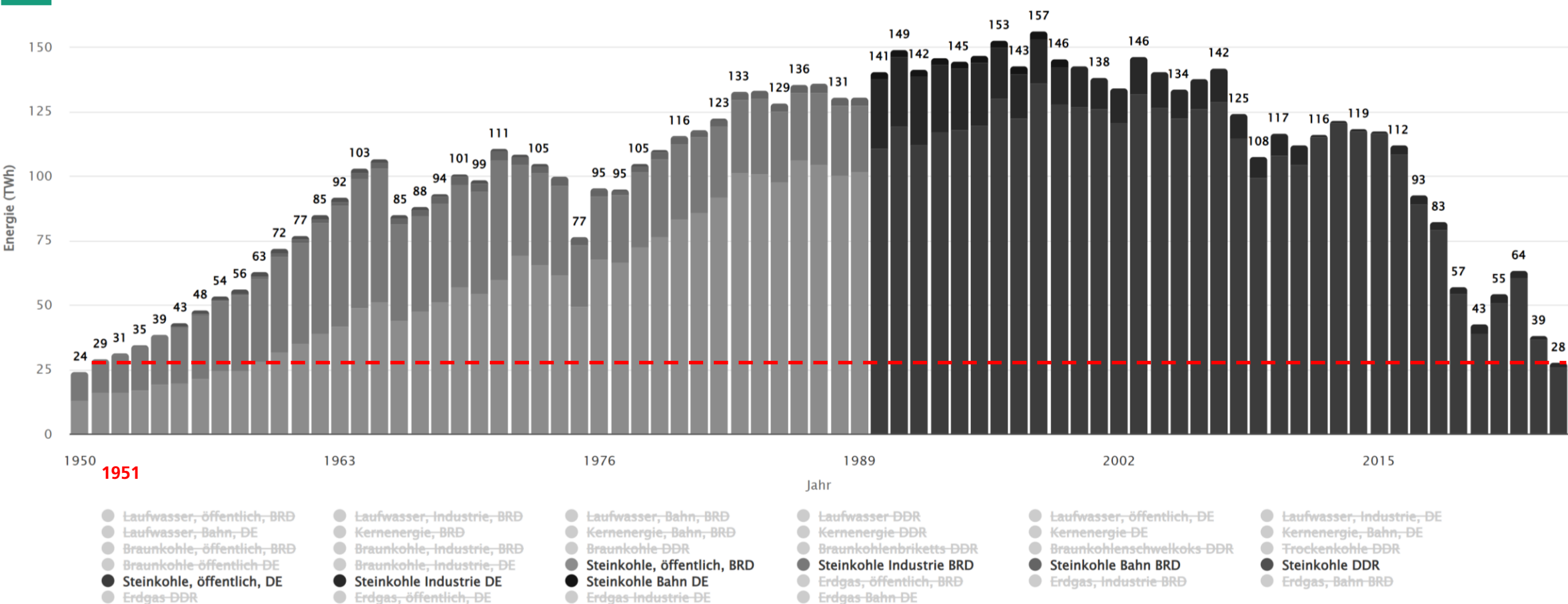


Energy-Charts.info - letztes Update: 31.03.2025, 08:18 MESZ

Quelle: <https://energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&source=historical&legendItems=cw8we>

Bruttostromerzeugung aus Steinkohle

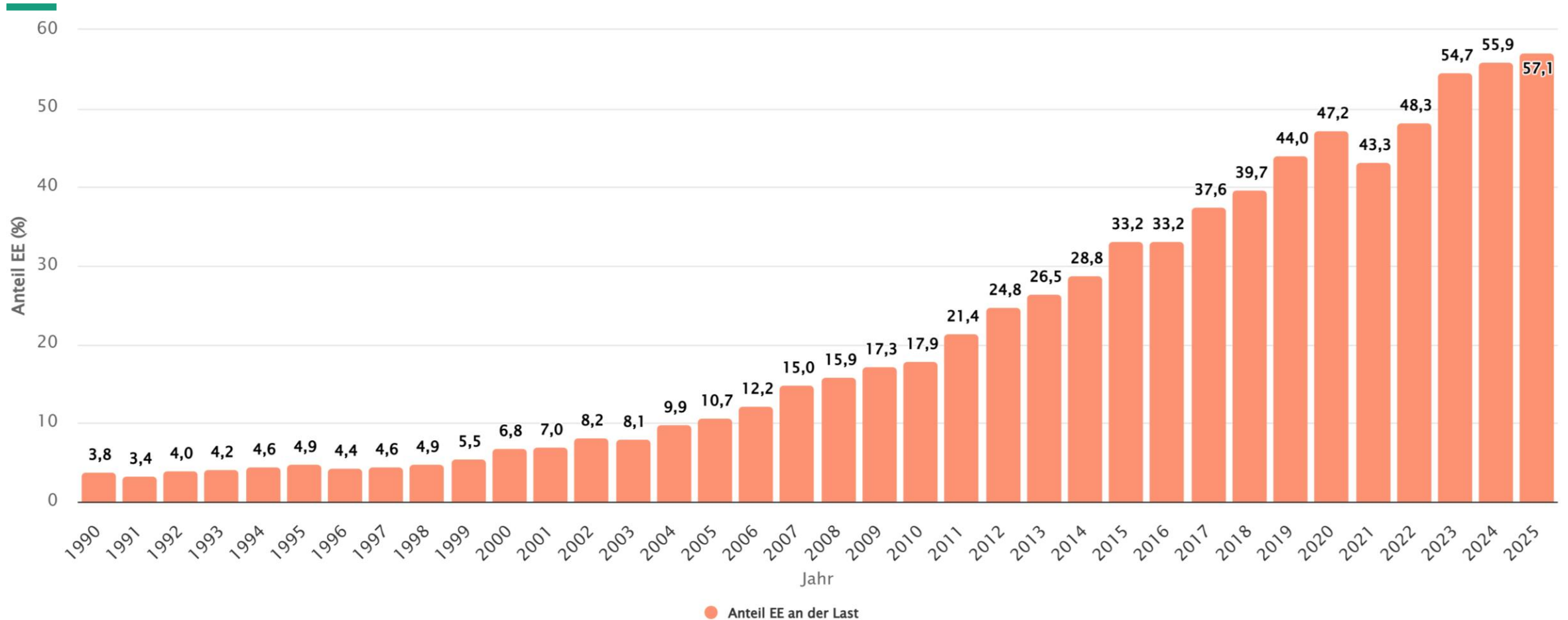
Jahr 1950 bis 2024



Quelle: <https://energy-charts.info/charts/energy/chart.html?l=de&c=DE&interval=year&source=historical&legendItems=kW7w7>

Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Stromverbrauch

Jahr 1990 bis 2025

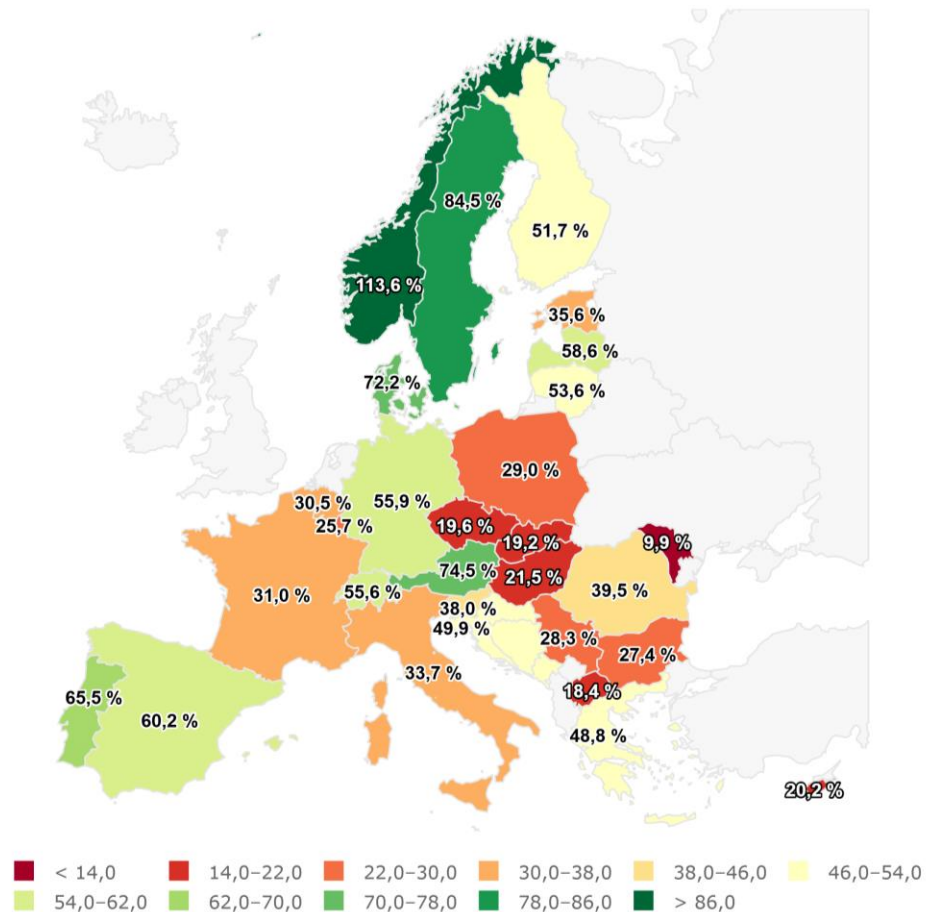


Energy-Charts.info; Datenquelle: ENTSO-E, AG Energiebilanzen, BDEW; Letztes Update: 22.01.2026, 13:25 MEZ

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/renewable_share/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&share=ren_share_total&legendItems=10

Anteil Erneuerbarer Energien an der elektrischen Last in Europa

Jahr 2025

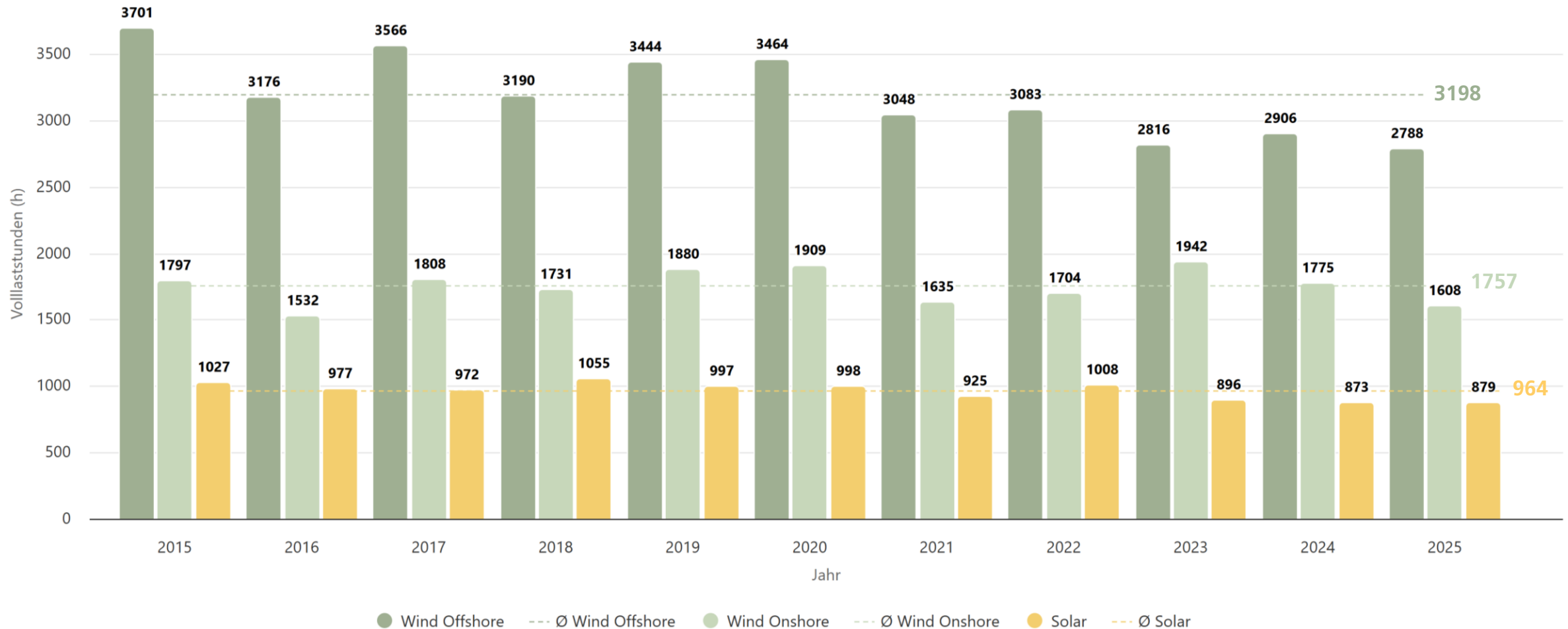


Energy-Charts.info; Letztes Update: 22.01.2026, 13:43 MEZ

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/renewable_share_map/chart.htm?l=de&c=DE&interval=year&year=2025

Volllaststunden von Wind offshore, Wind onshore und Solar

Jahr 2015 bis 2025

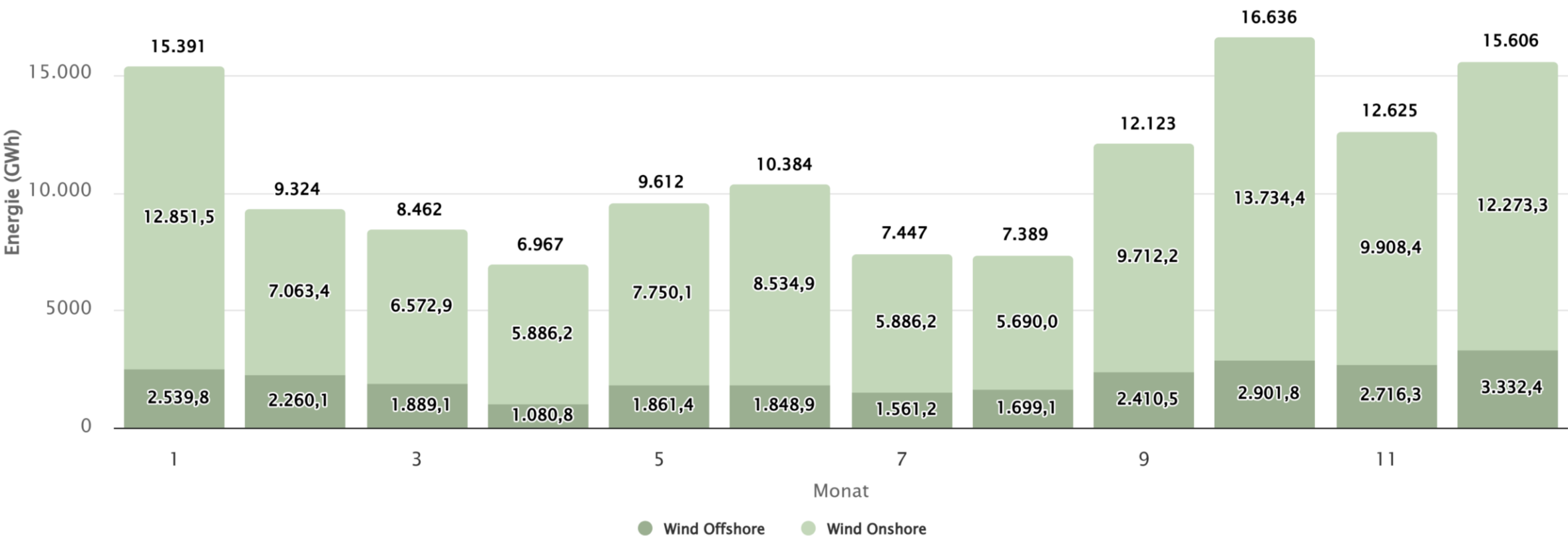


Grafik: B. Burger, Fraunhofer ISE

*Daten zur gesamten Stromerzeugung

Monatliche Netzeinspeisung aus Wind onshore und offshore

Jahr 2025

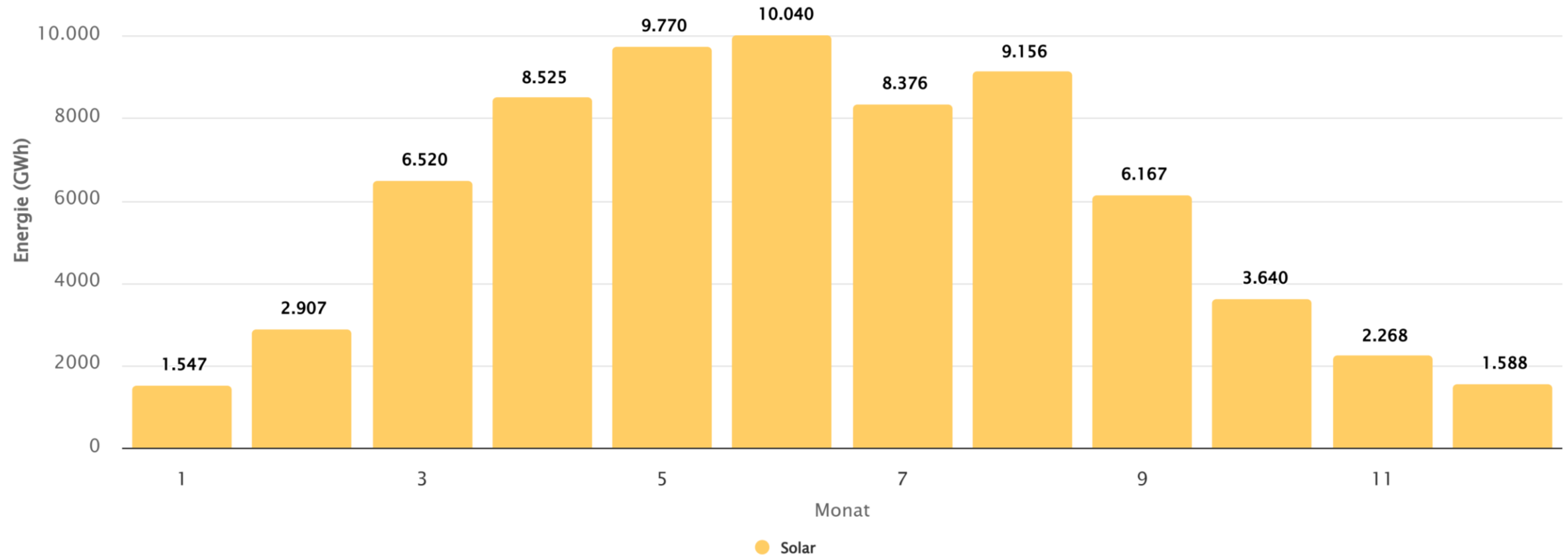


Energy-Charts.info; Datenquelle: ENTSO-E, AGEE-Stat, Destatis, Fraunhofer ISE, AG Energiebilanzen; Letztes Update: 22.01.2026, 13:34 MEZ

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&month=-1&stacking=stacked_grouped&legendItems=fw2w2&year=2025&partsum=1

Monatliche Netzeinspeisung aus Solar

Jahr 2025

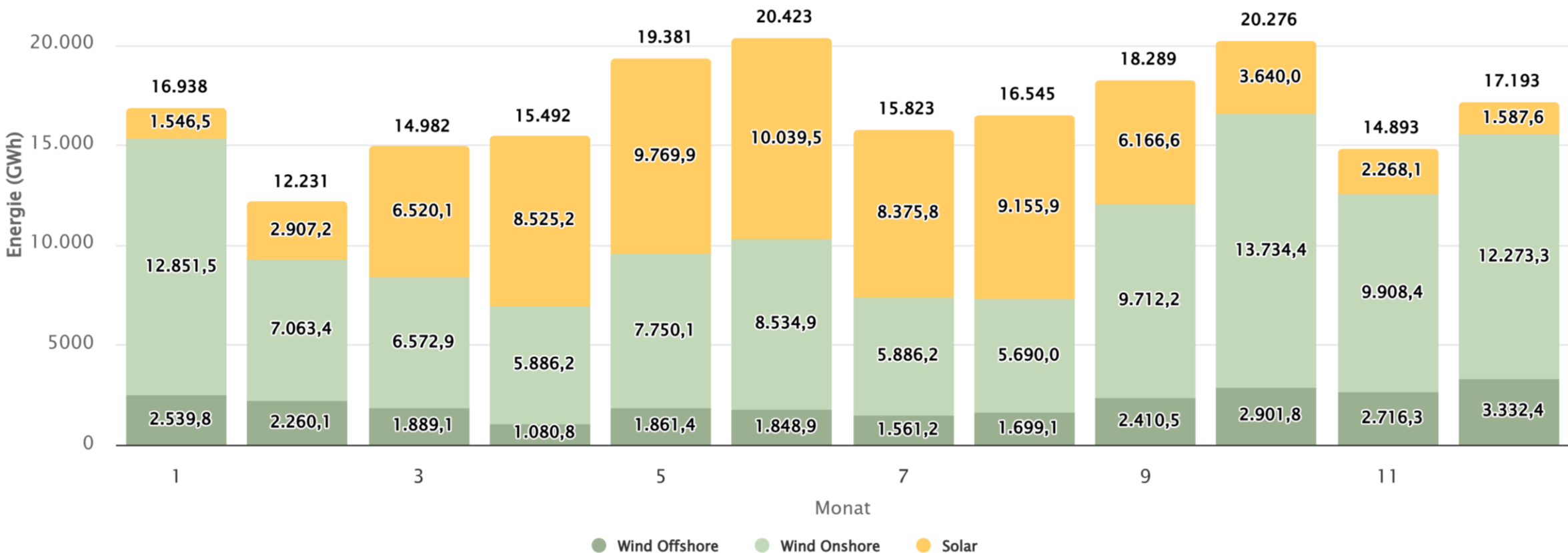


Energy-Charts.info; Datenquelle: ENTSO-E, AGEE-Stat, Destatis, Fraunhofer ISE, AG Energiebilanzen; Letztes Update: 22.01.2026, 13:34 MEZ

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&month=-1&stacking=stacked_grouped&legendItems=jyh&year=2025

Monatliche Netzeinspeisung aus Wind- und Solar

Jahr 2025

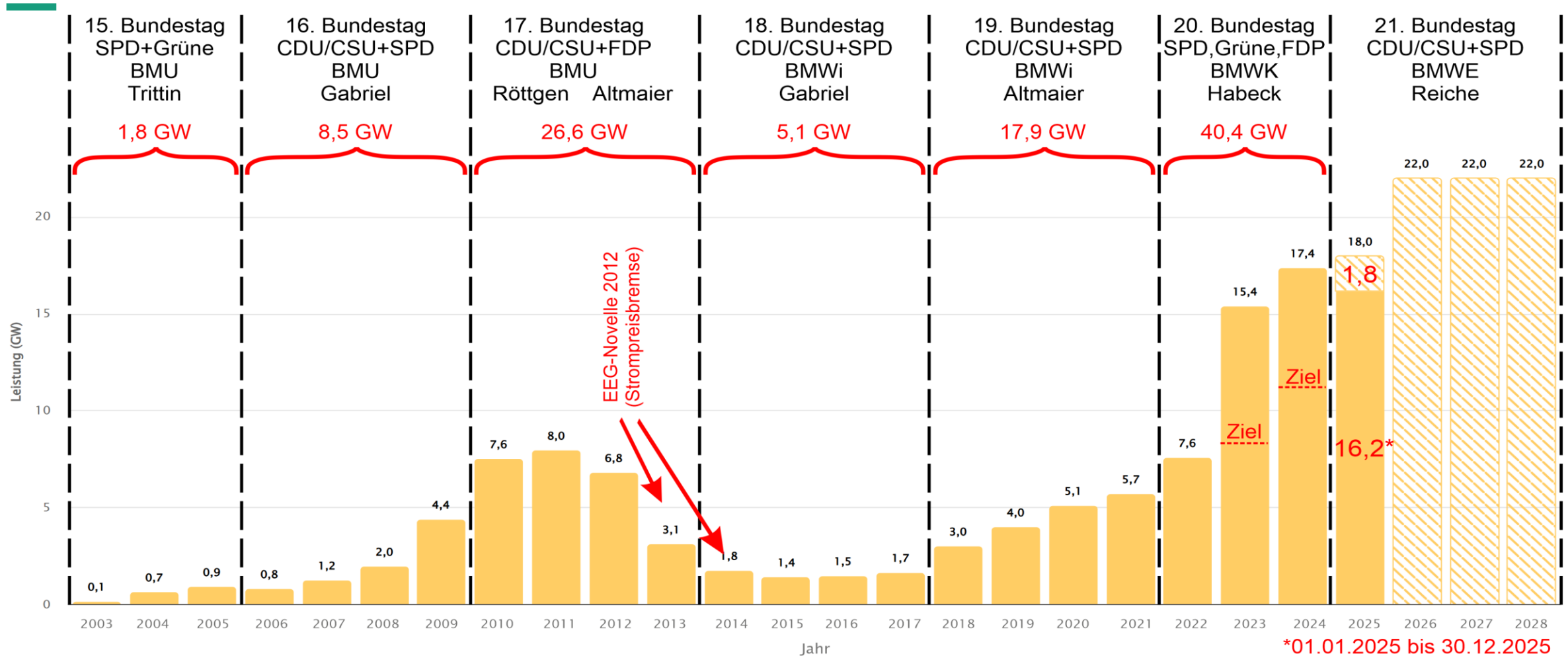


Energy-Charts.info; Datenquelle: ENTSO-E, AGEE-Stat, Destatis, Fraunhofer ISE, AG Energiebilanzen; Letztes Update: 22.01.2026, 13:34 MEZ

Quelle: <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&legendItems=jy2yh&month=-1&stacking=single&sum=1&partsum=1&year=2025>

Jährlicher Zubau an installierter Solarleistung

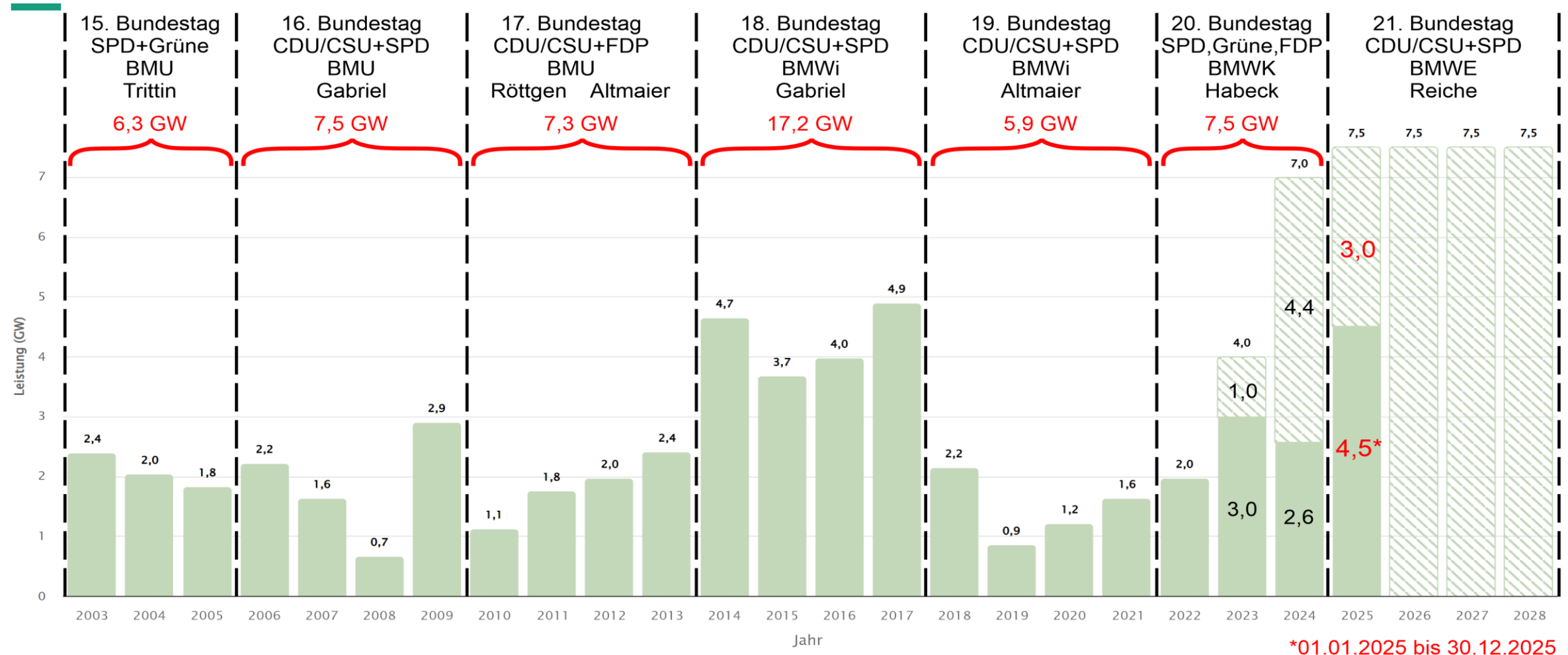
Istwerte von 2003 bis 2025 und Planung bis 2028



Quelle: https://energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=de&c=DE&year=-1&expansion=installation_decommission&legendItems=cw1

Jährlicher Zubau an installierter Leistung von Wind Onshore

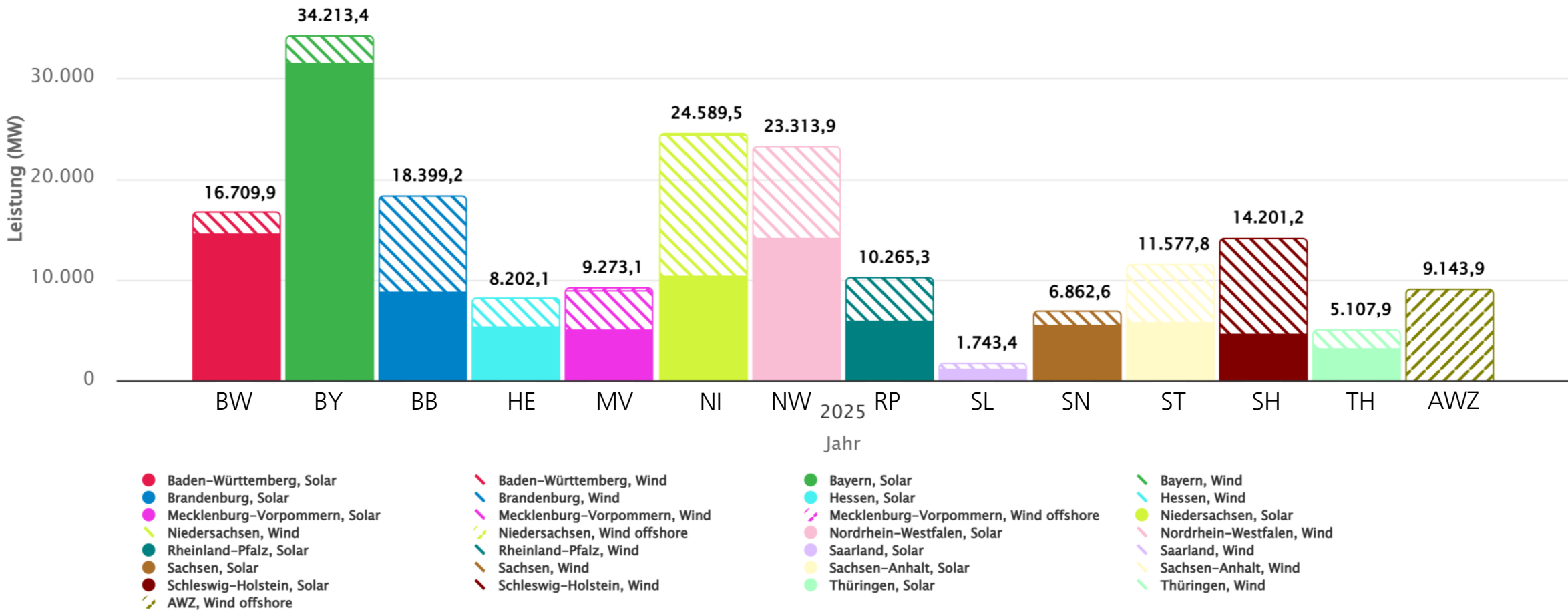
Istwerte von 2003 bis 2025 und Planung bis 2028



Quelle: https://energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=de&c=DE&year=-1&expansion=installation_decommission&legendItems=dyb

Installierte Solar- und Windleistung zur Stromerzeugung

Bundesländer, 2025

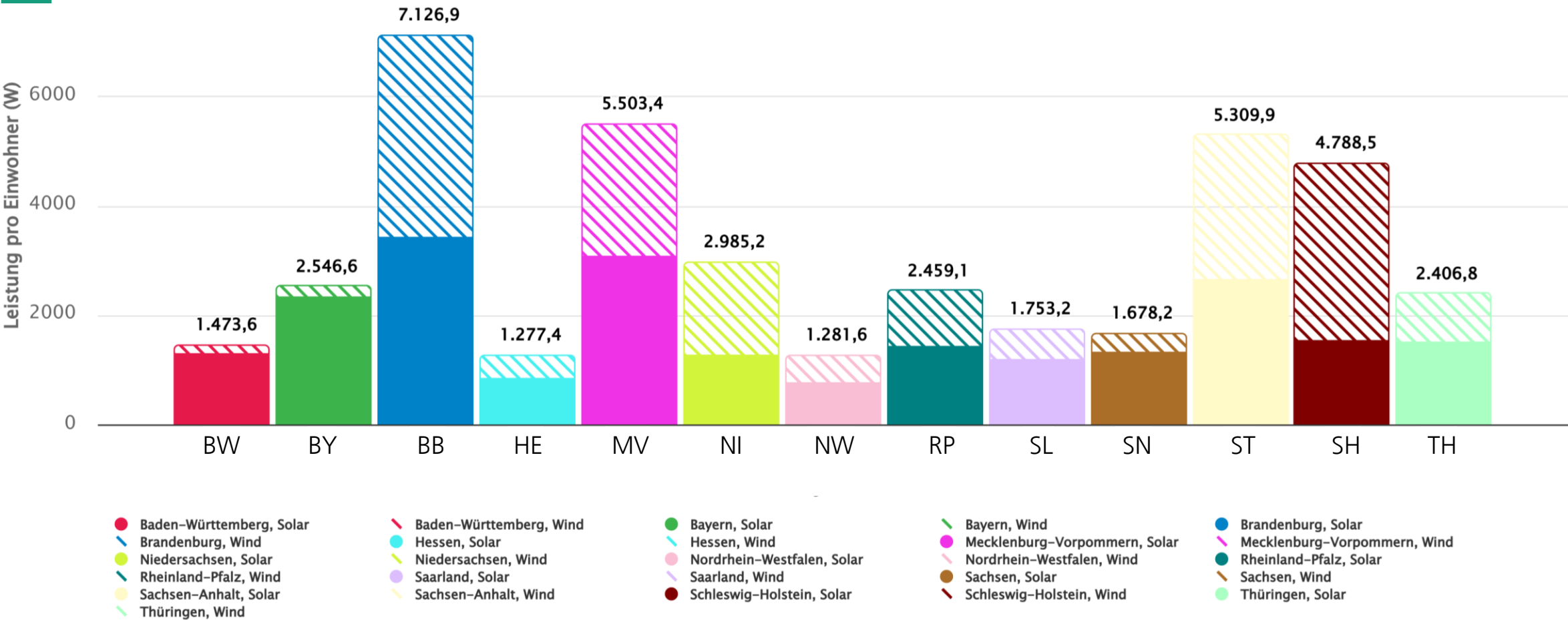


Energy-Charts.info; Datenquelle: Bundesnetzagentur (BNetzA); Letztes Update: 16.01.2026, 12:39 MEZ

Quelle: https://energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=de&c=DE&year=2025&expansion=p_inst_states

Installierte Solar- und Windleistung pro Einwohner

Bundesländer, 2025

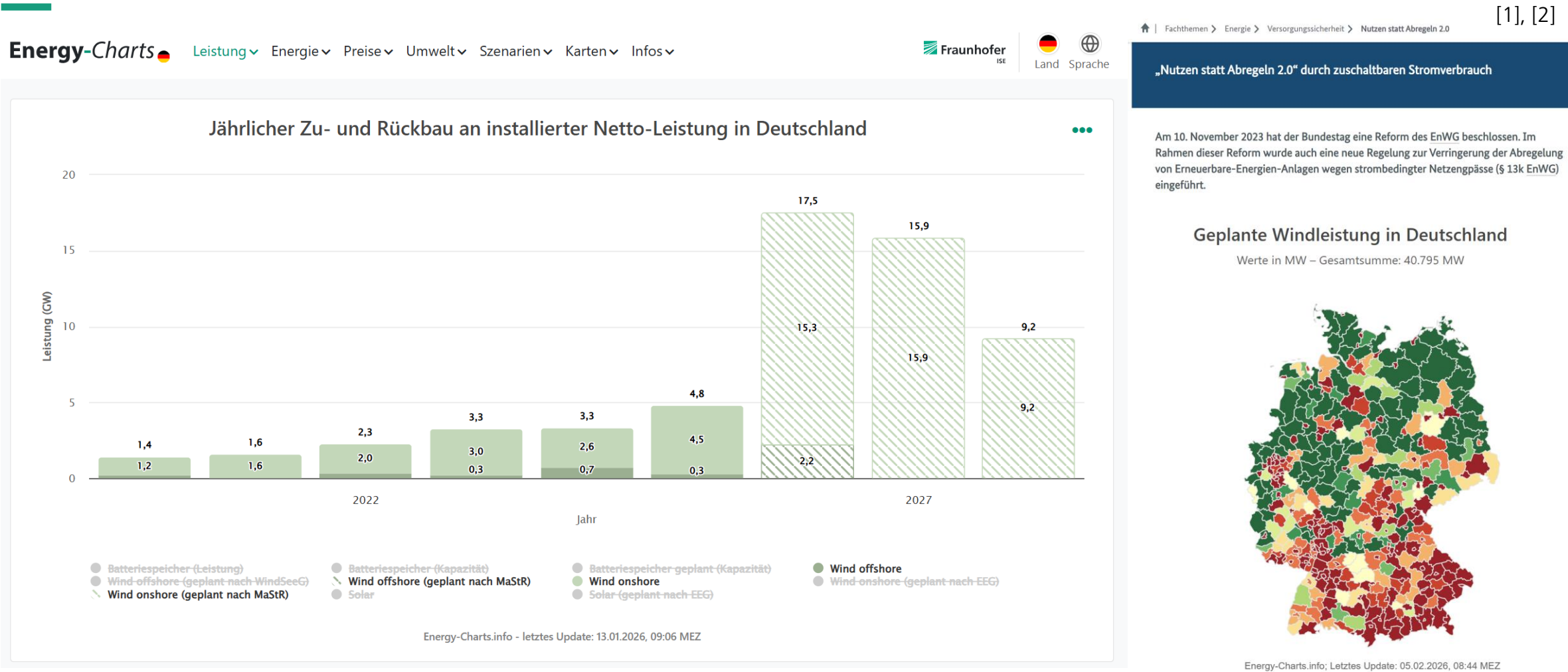


Energy-Charts.info; Datenquelle: Bundesnetzagentur (BNetzA); Letztes Update: 16.01.2026, 12:39 MEZ

Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=de&c=DE&expansion=p_inst_states_population&year=2025

Jährlicher Nettozubau der Windenergie + geplante Inbetriebnahmen

Daten der geplante Inbetriebnahme nach dem Marktstammdatenregister



Jährlicher Zu- und Rückbau an installierter Netto-Leistung in Deutschland

Leistung (GW)

20

15

10

5

0

2022

2027

Jahr

1,4

1,6

2,3

3,3

3,3

4,8

17,5

15,9

9,2

1,2

1,6

2,0

3,0

2,6

4,5

15,3

15,9

9,2

0,3

0,7

0,3

2,2

Batteriespeicher (Leistung)

Wind offshore (geplant nach WindSeeG)

Wind onshore (geplant nach MaStR)

Batteriespeicher (Kapazität)

Wind offshore (geplant nach MaStR)

Wind onshore

Batteriespeicher geplant (Kapazität)

Solar

Solar (geplant nach EEG)

Wind offshore

Wind onshore (geplant nach EEG)

Energy-Charts.info - letztes Update: 13.01.2026, 09:06 MEZ

Energy-Charts.info; Letztes Update: 05.02.2026, 08:44 MEZ

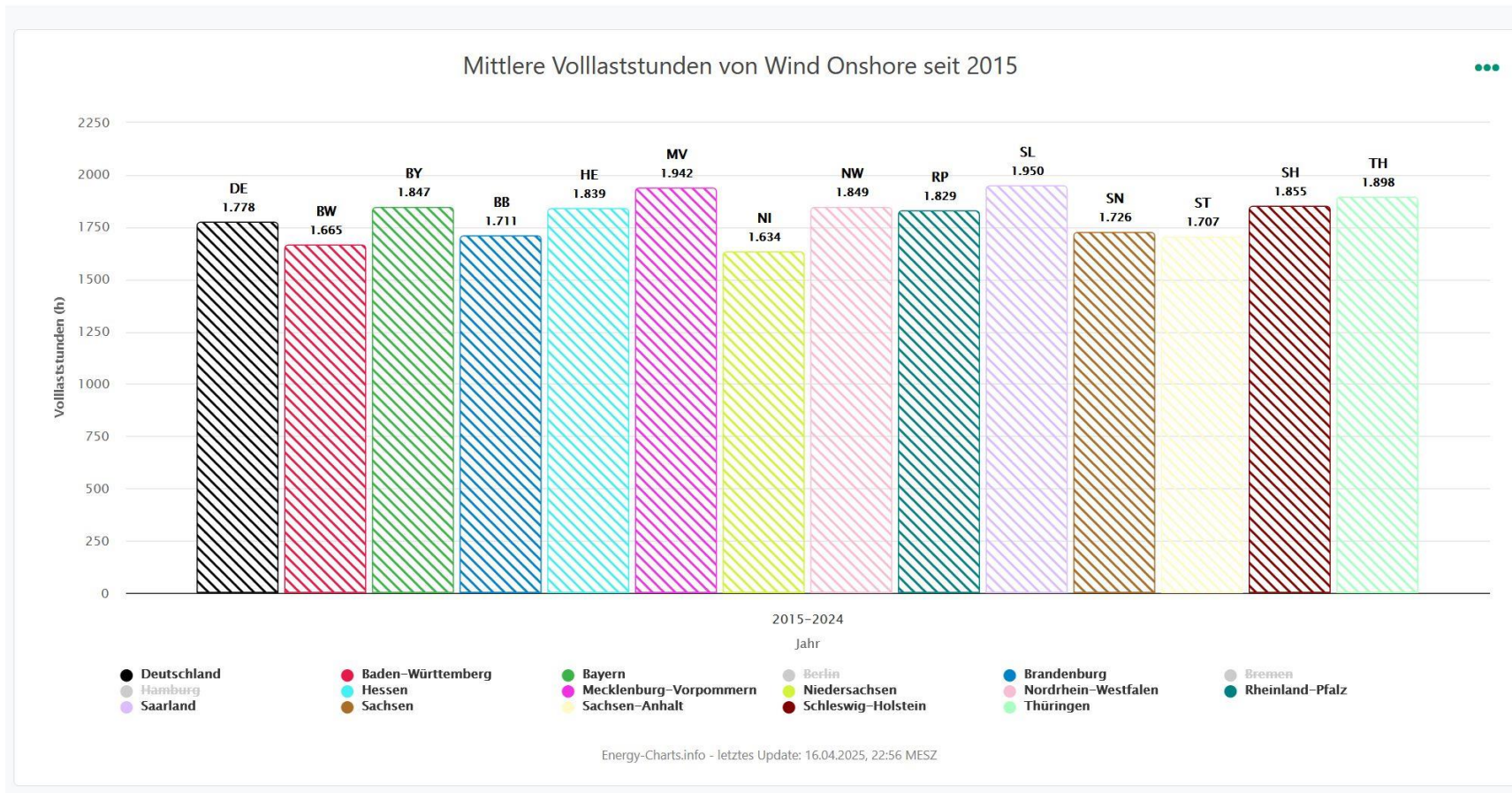
[1] <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/NSA/start.html>
[2] https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/_13k.html

Mittlere Volllaststunden von Wind Onshore von 2015 - 2023

Energy-Charts  Leistung ▾ Energie ▾ Infos ▾

Fraunhofer 

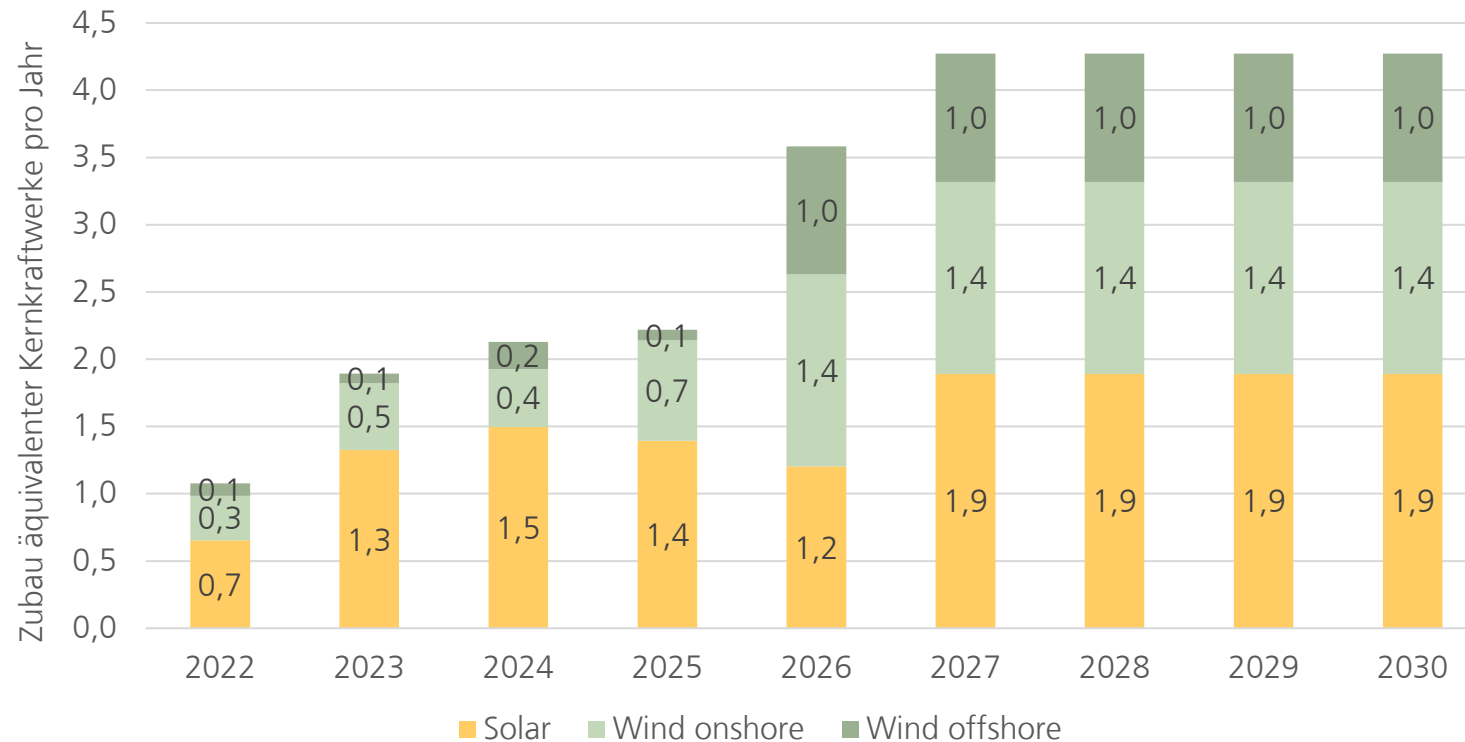
 Land  Sprache



Zubau von Solar und Wind, umgerechnet in äquivalente Kernkraftwerke

Planung bis 2035

Volllaststunden (Mittelwert 2022-25)				Leistung KKW/GW
PV	Wind Onshore	Wind Offshore	KKW (2015-22)	1,4
915	1765	2895	7600	



- Zubau äquivalenter Kernkraftwerke à 1,4 GW
- bis 2025: 7,3
- bis 2030: 28
- bis 2035: 56

Dunkelflauten und Gebotszonensplit

LinkedIn, Zeit, 13.12.2024



Tobias Goldschmidt • 2.
Minister bei Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umw...
1 Jahr • Bearbeitet •

+ Folgen

[1]

Deutschland ist keine Insel. Wir sind eine Energiedrehscheibe im europäischen Binnenmarkt und sollten uns auch so benehmen.

Ein verkrampftes Festhalten an der einheitlichen Gebotszone wäre ein Affront an unsere Nachbarn. Wir müssen umdenken, kurzfristig ein paar Spitzenlast-Gaskraftwerke bauen und den Strommarkt endlich zukunftsfest aufstellen. Sinkende Redispatchkosten werden dann die Preise insgesamt dämpfen, realistische Preissignale werden Speicher und andere Flexibilitäten in den Markt bringen und Deutschland wird in Europa wieder solidarisch sein. Sonst wird das schwer mit dem klimaneutralen Deutschland. Wir brauchen Mut zum Markt.

Klar ist auch dass diejenigen, denen das Landschaftsbild im sauerländischen Wahlkreis wichtiger ist als die Versorgungssicherheit der Bundesrepublik Deutschland, sehr schnell ihr Verhältnis zur Windenergie grundsätzlich überdenken müssen. Auch für esoterisches Atomgeschwurbel haben wir schlicht und einfach keine Zeit.



Dunkelflaute: Darum ist Strom gerade so teuer
zeit.de

114

24 Kommentare · 6 Reposts

Gefällt mir

Komentieren

Reposten

Senden

- Wodurch werden die Preise in Dunkelflauten bestimmt?
- Wie sieht der Stromverbrauch (Last) zu diesen Zeitpunkten aus?
- Wie sehen die Einsätze für Netzengpassmanagement während Dunkelflauten aus?
- Was sind die Effekte eines Gebotszonensplits innerhalb Deutschlands?
- Was sind die Effekte auf die Nachbarländer?

Agenda

9:15 – 10:00: Stromerzeugung, Anteil erneuerbarer Energien, Volllaststunden, Installierte Leistung

10:00 – 10:30: Importe und Exporte, Preise

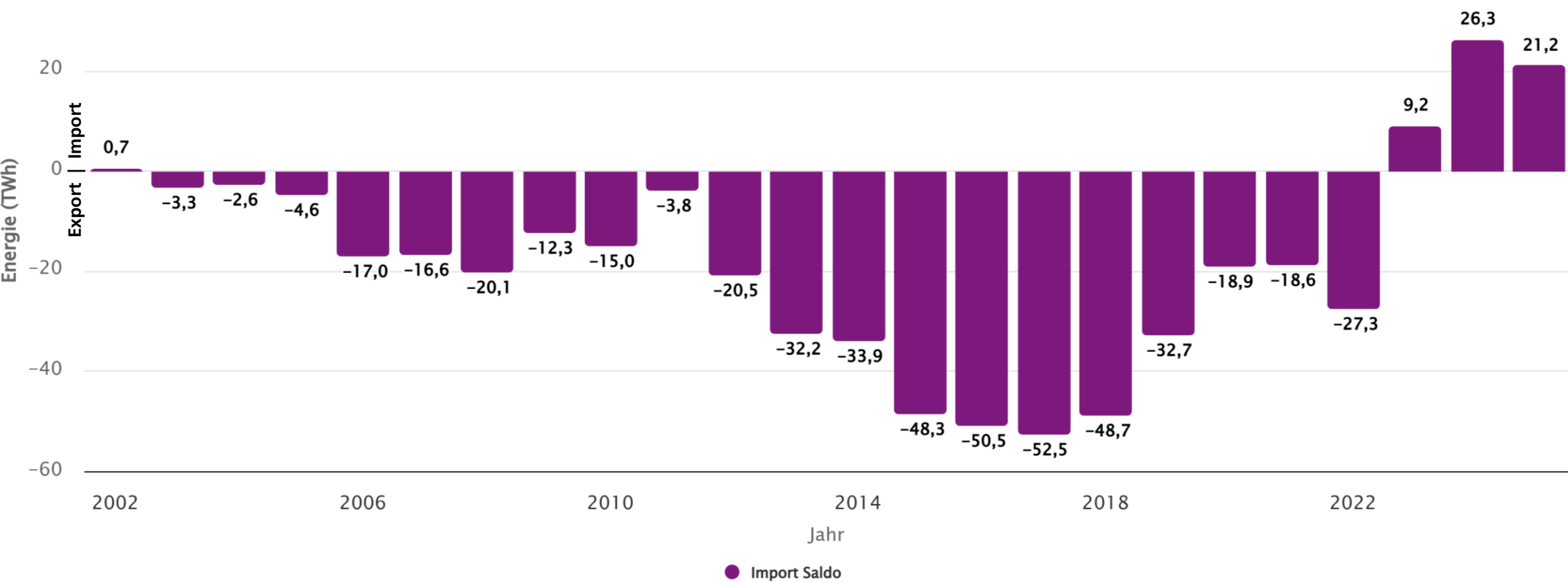
10:30 – 10:45: Pause

10:45 – 11:15: Emissionen und Klimadaten

11:15 – 12:00: Energiesystemmodellierung und Szenarien bis 2045

Stromimport und –export (physikalische Stromflüsse)

Jahr 2002 bis 2025



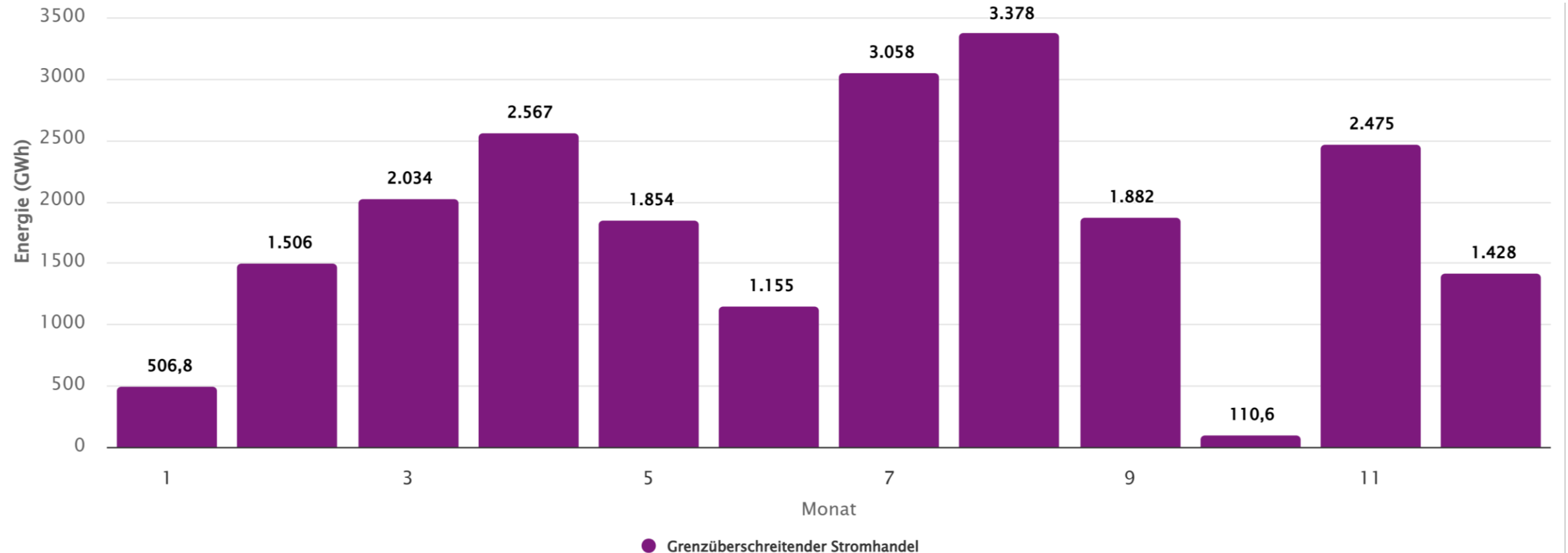
Energy-Charts.info; Datenquelle: ENTSO-E, AGEE-Stat, Destatis, Fraunhofer ISE, AG Energiebilanzen; Letztes Update: 22.01.2026, 13:34 MEZ

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=public&legendItems=ly1>

Monatliche Importe und Exporte

Jahr 2025



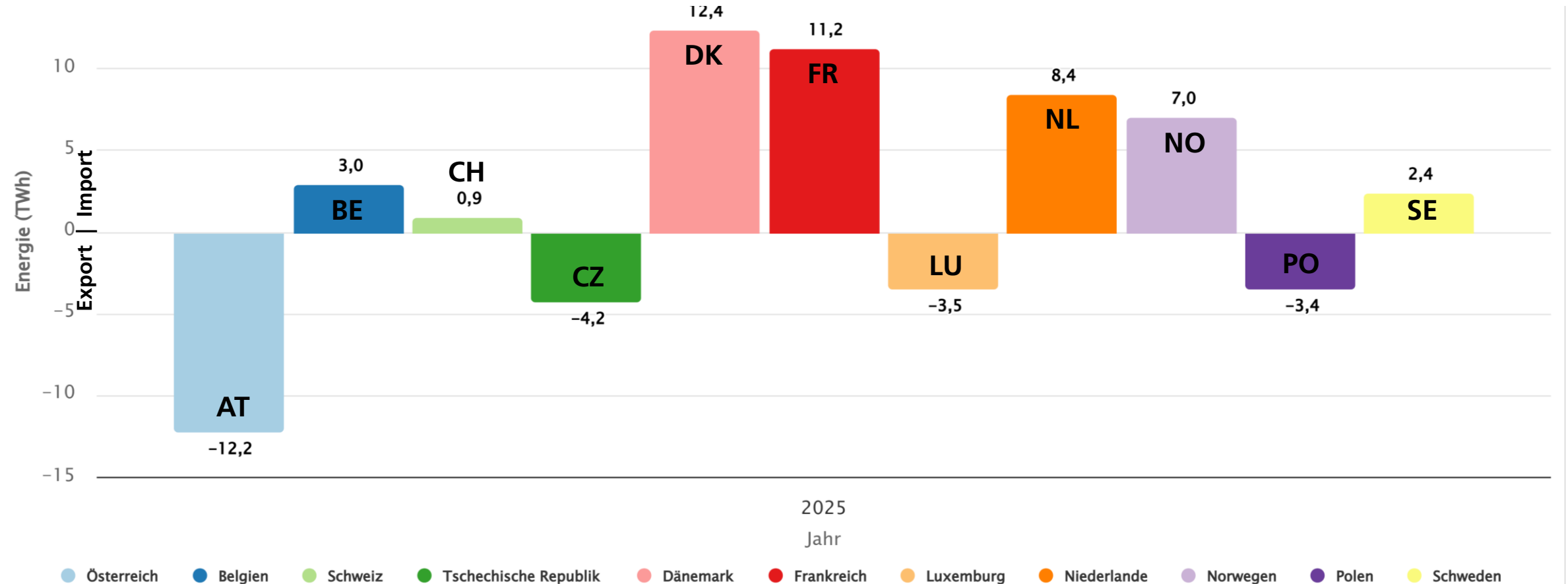
Energy-Charts.info; Datenquelle: ENTSO-E, AGEE-Stat, Destatis, Fraunhofer ISE, AG Energiebilanzen; Letztes Update: 22.01.2026, 13:34 MEZ

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=2025&legendItems=jy1

Stromimport und –export, geplanter (terminierter) Stromhandel

Jahr 2025



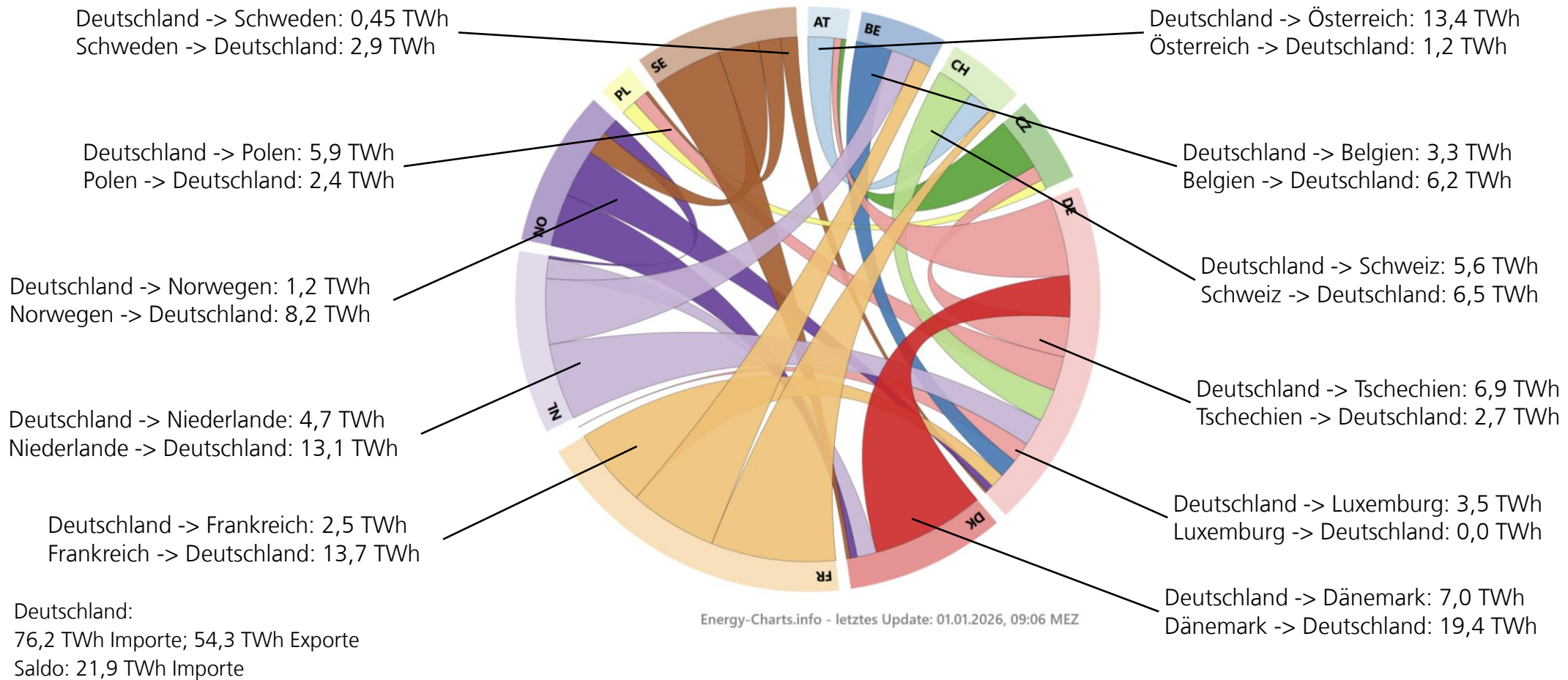
Energy-Charts.info; Datenquelle: ENTSO-E; Letztes Update: 22.01.2026, 13:06 MEZ

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=tcs_saldo&interval=year&sum=0&partsum=1&year=2025

Stromimport und -export, kommerzieller Stromhandel

Jahr 2025

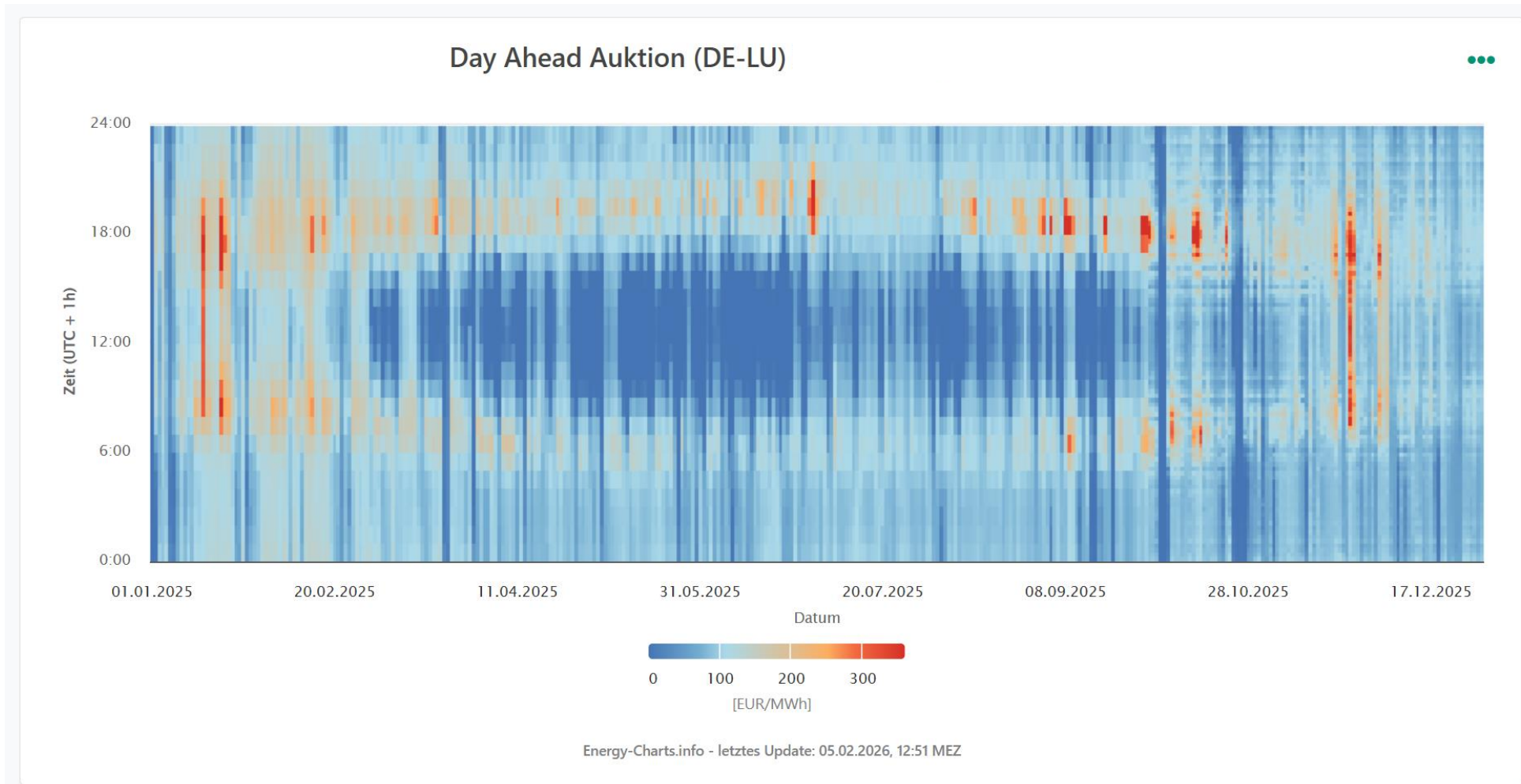


Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/import_export/chart.htm?l=de&c=DE&year=2025

Börsenstrompreise in 2025



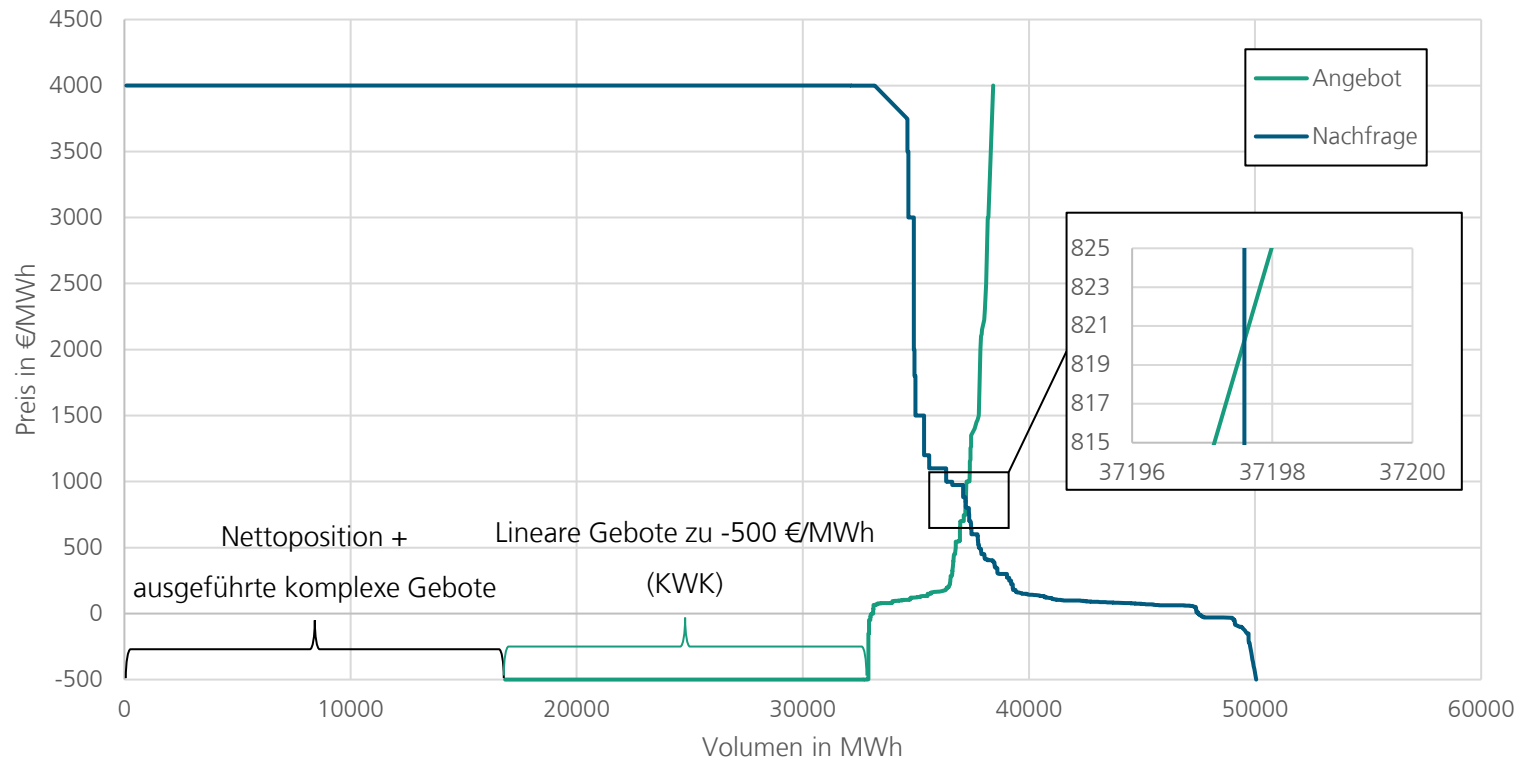
Heatmap der Day-Ahead-Preise in 2025 (DE-LU)



Merit-Order-Kurve

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

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

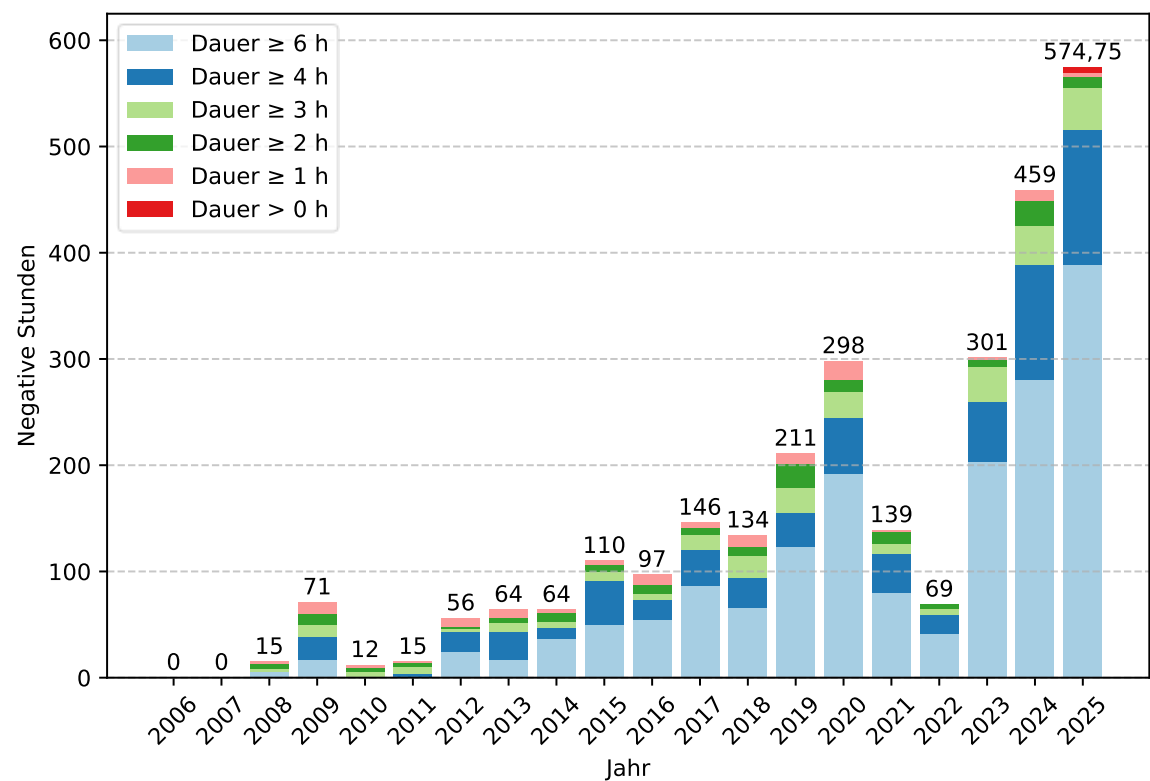


- Konventionelle Kraftwerke bieten mit komplexen Geboten (z.B. Blockgebote)
- Strommarktkopplung ebenfalls nur implizit enthalten
- Kurven verhalten sich in Realität deutlich flacher!
- Bei den linearen Geboten der deutschen Gebotszone wurden 20,4 GW von 21,6 GW oder 94,4% der linearen Gebote ausgeführt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

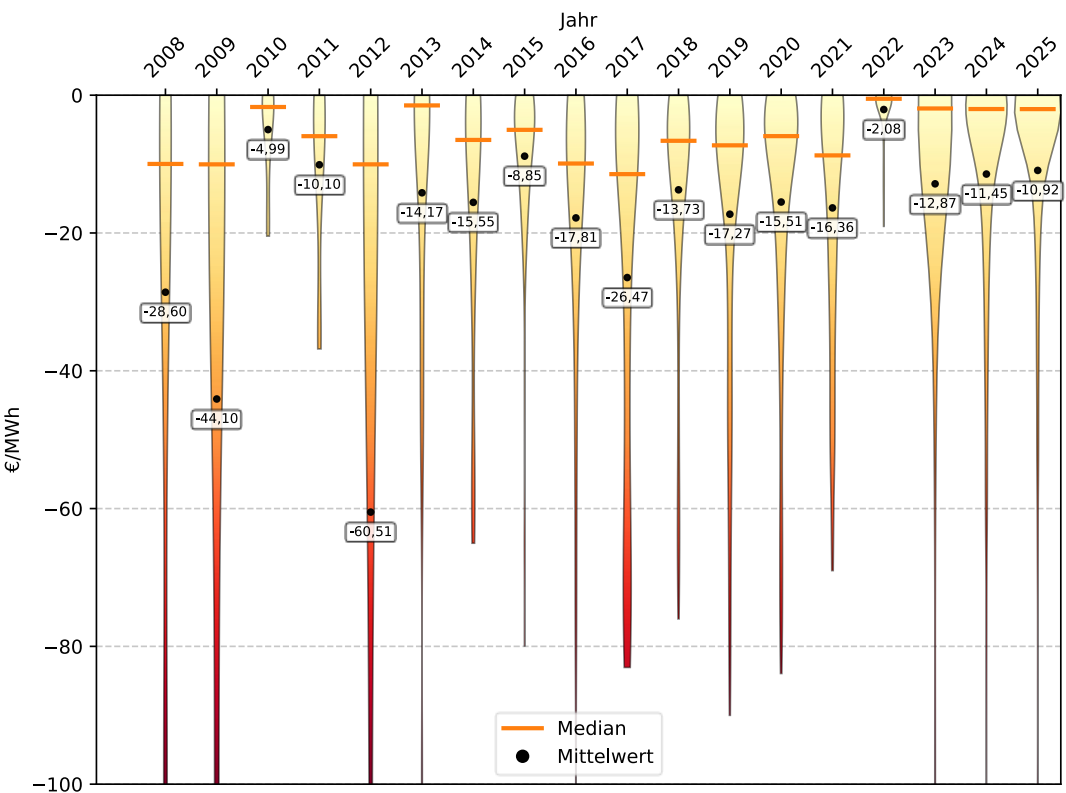
Negative Day-Ahead Börsenstrompreise

Stunden pro Jahr und durchschnittlicher negativer Preis

Negative Day-Ahead Börsenstrompreise in Stunden

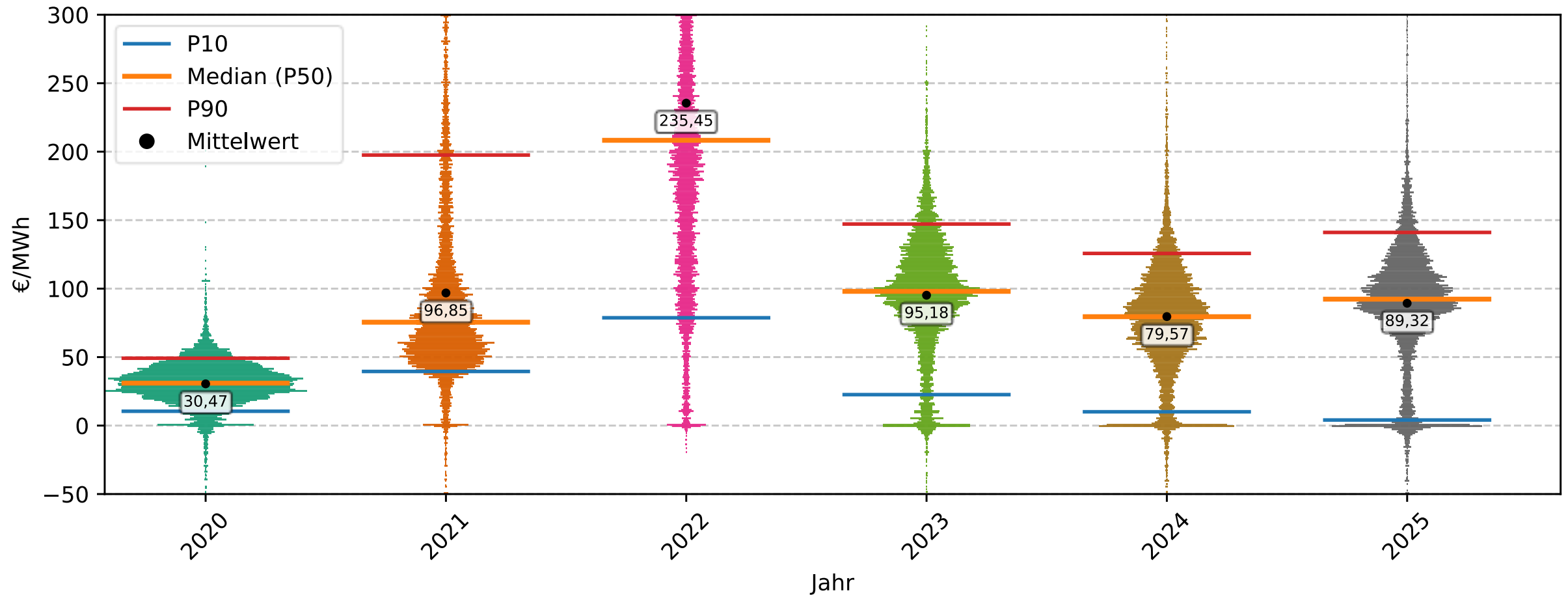


Durchschnittlicher negativer Day-Ahead Börsenstrompreis



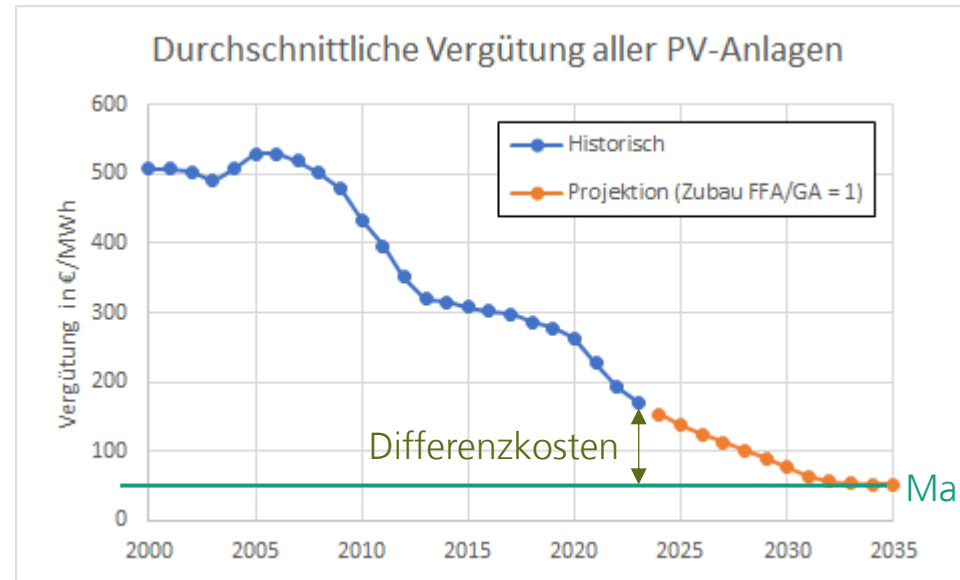
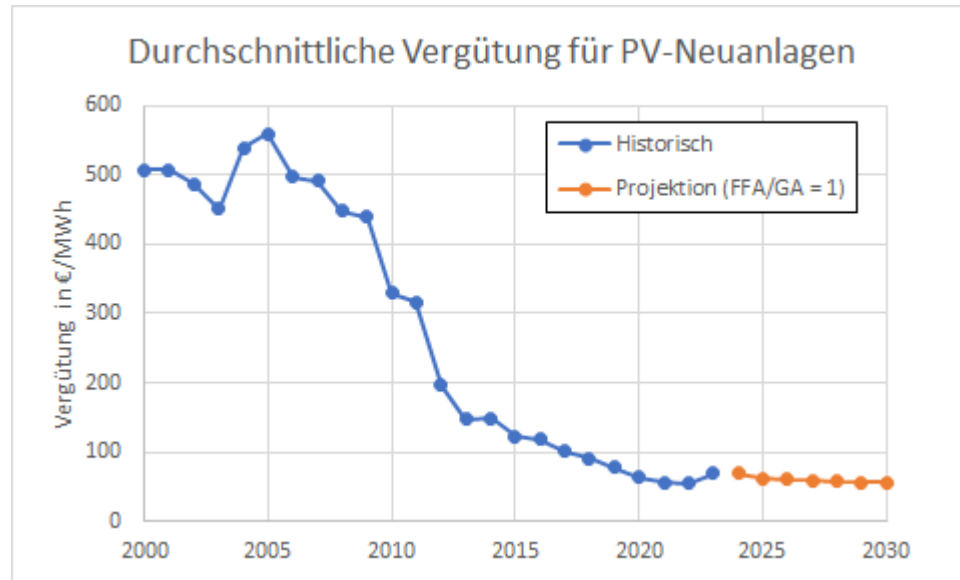
Histogramme der Börsenstrompreise (Intervallbreite: 1 €/MWh)

2020 - 2025



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)



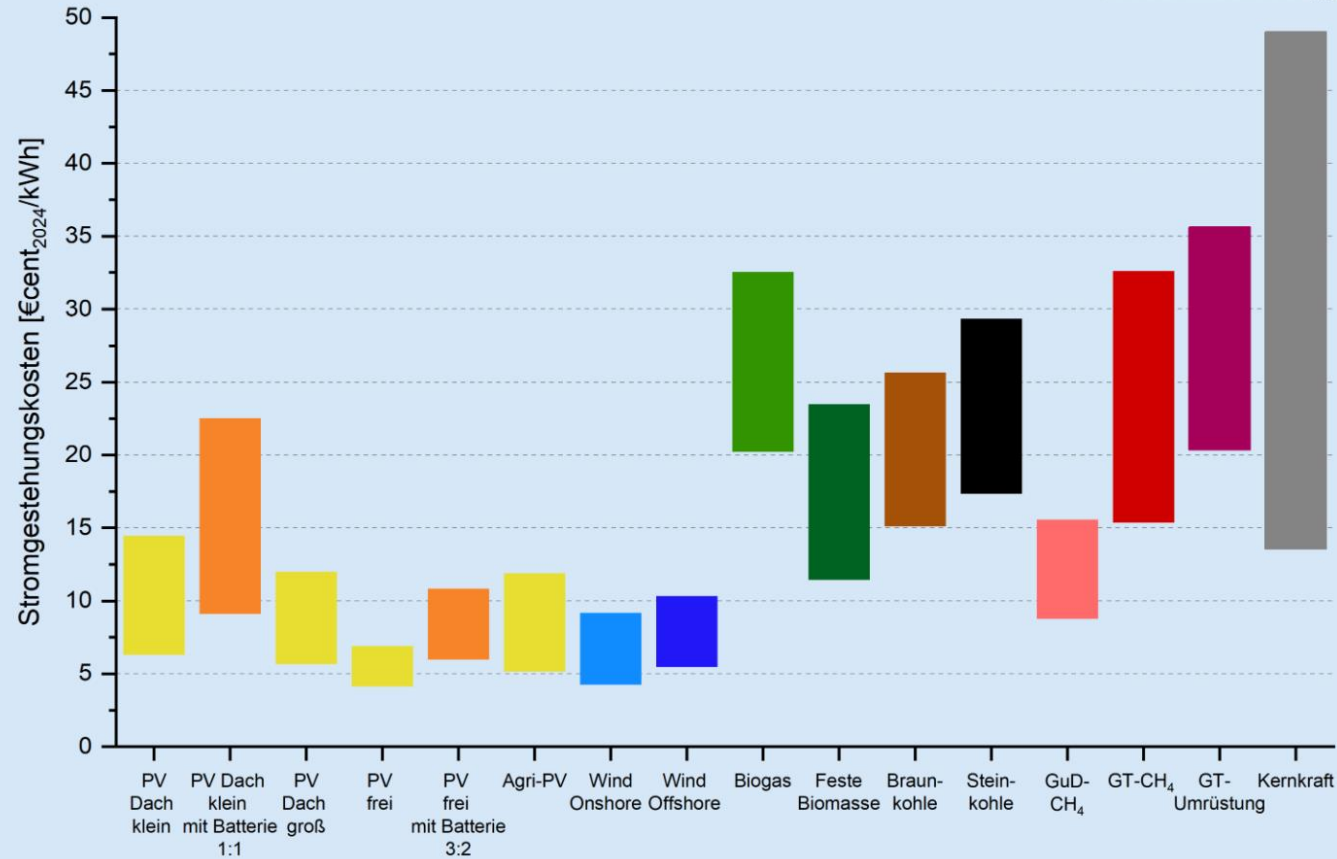
Zur Senkung der Differenzkosten werden Flexibilitäten benötigt:

Kurzzeitspeicher, Lastflexibilität und Stromhandel

Stromgestehungskosten für verschiedene Kraftwerke

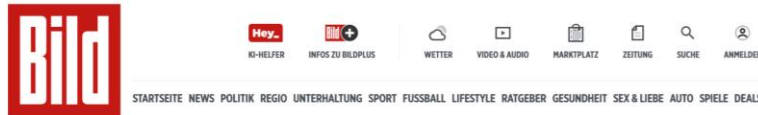
Stand: Juli 2024

Fraunhofer
ISE



Haben wir genügend Strom?

Bild, 08.08.2023



Neuer Bericht zeigt

Deutschland wird zum Strombettler



Das Atomkraftwerk Isar 2 ist im April als eines der drei letzten Akws in Deutschland vom Netz gegangen
Foto: picture alliance/dpa



08.08.2023 - 21:27 Uhr

<https://www.bild.de/politik/ausland/politik-ausland/neuer-bericht-zeigt-deutschland-wird-zum-strombettler-84977824.bild.html>

- Wie haben sich die Stromimporte Deutschland seit 1990 entwickelt?
- Welchen Anteil machen Importe/Exporte an der gesamten Stromnachfrage aus?
- Welchen Importanteil besitzt Deutschland bei den Energieträgern Braunkohle, Steinkohle, Erdgas und Erdöl?
- Wie funktioniert die europäische Strommarktkopplung? [1]

Agenda

9:15 – 10:00: Stromerzeugung, Anteil erneuerbarer Energien, Volllaststunden, Installierte Leistung

10:00 – 10:30: Importe und Exporte, Preise

10:30 – 10:45: Pause

10:45 – 11:15: Emissionen und Klimadaten

11:15 – 12:00: Energiesystemmodellierung und Szenarien bis 2045

Agenda

9:15 – 10:00: Stromerzeugung, Anteil erneuerbarer Energien, Volllaststunden, Installierte Leistung

10:00 – 10:30: Importe und Exporte, Preise

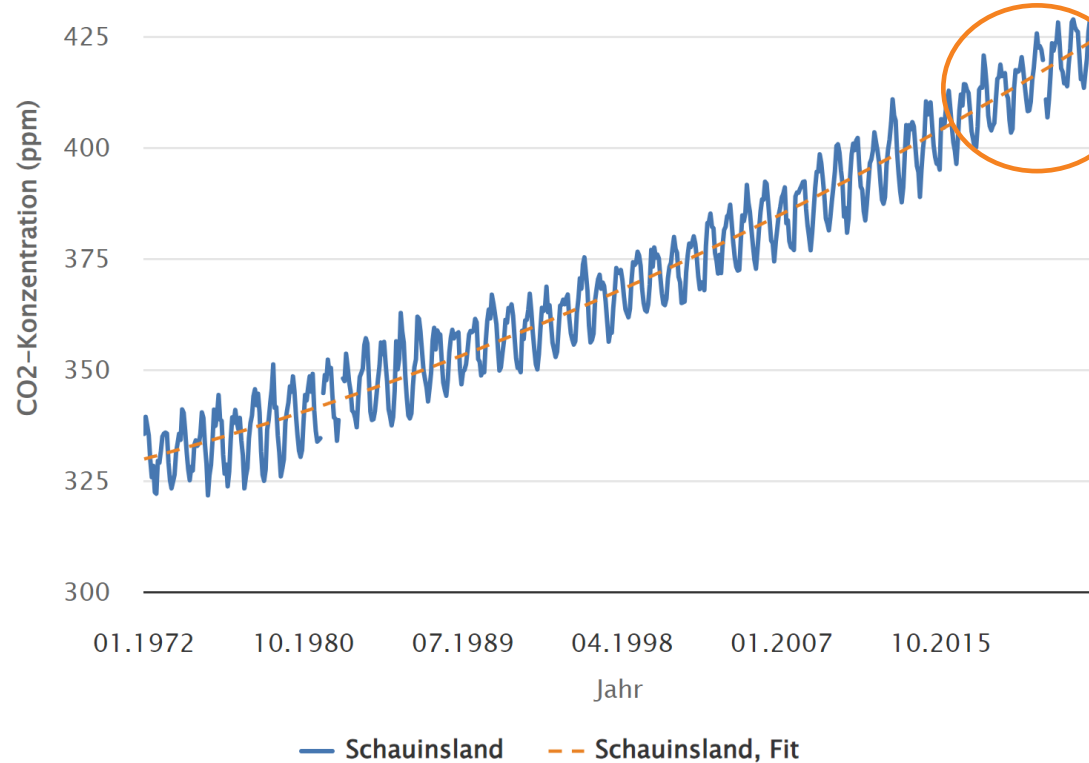
10:30 – 10:45: Pause

10:45 – 11:15: Emissionen und Klimadaten

11:15 – 12:00: Energiesystemmodellierung und Szenarien bis 2045

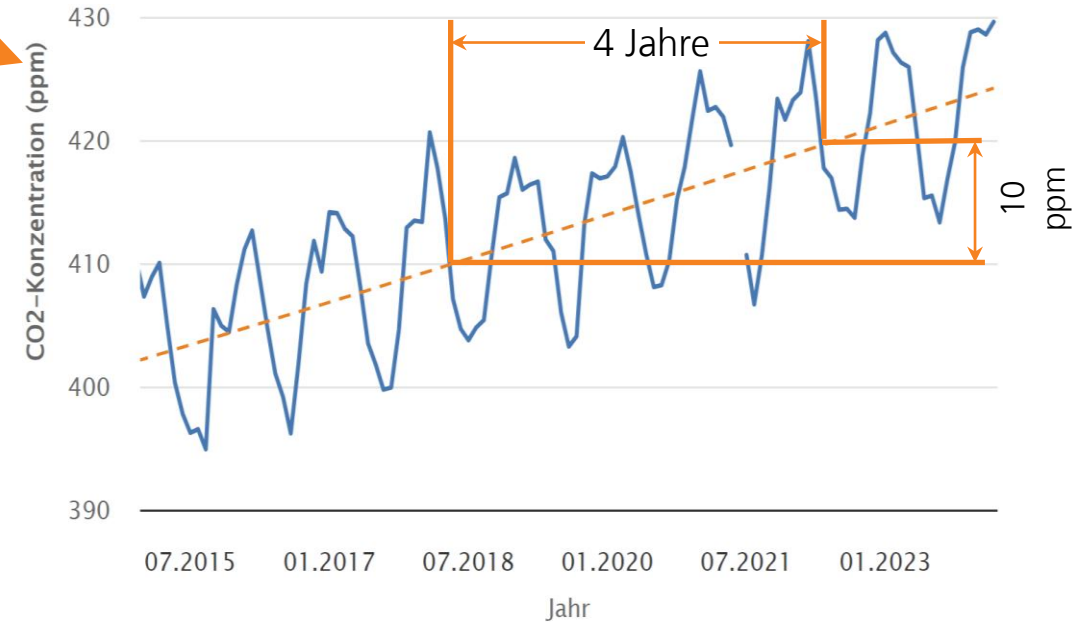
Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre in ppm

Messwerte vom Schauinsland bei Freiburg



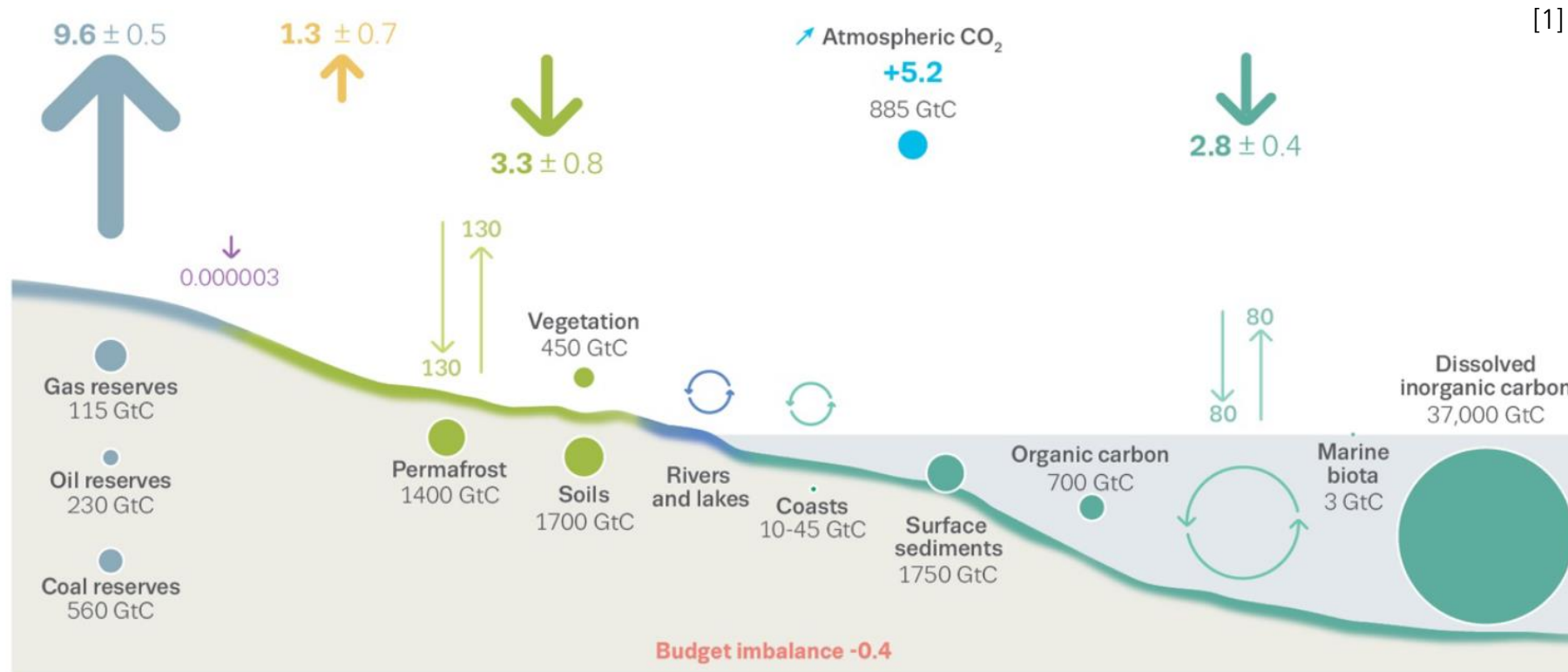
Januar 1958: 315 ppm CO₂
Juli 2024: 425,55 ppm CO₂ (+35%)

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



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

Der globale Kohlenstoffkreislauf



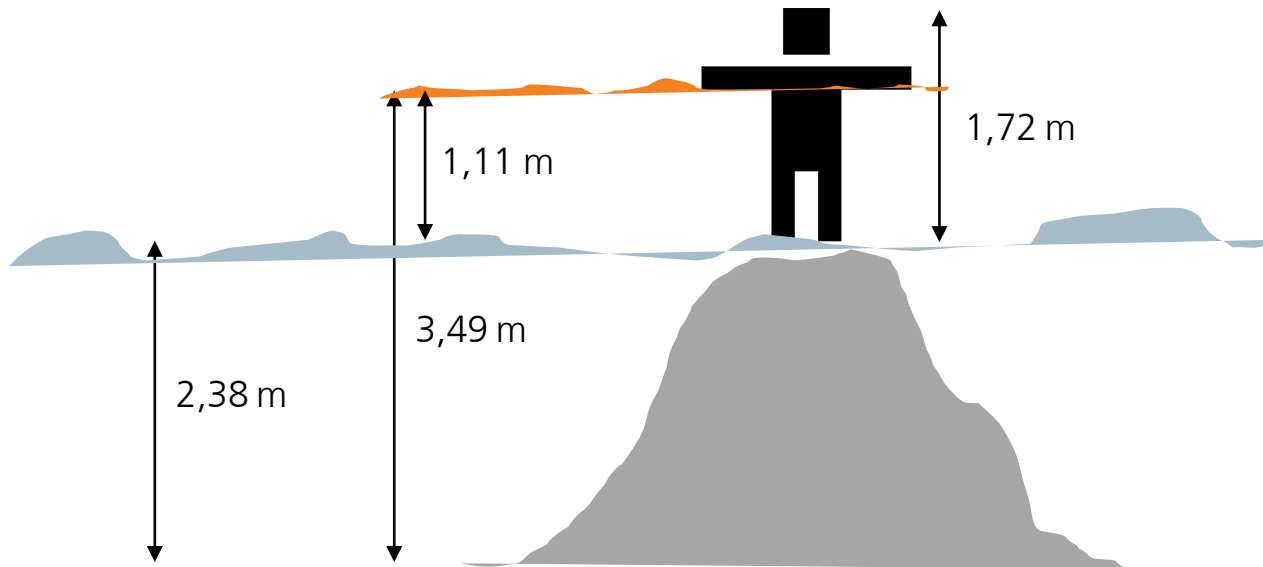
Anthropogenic fluxes 2013-2022 average GtC per year



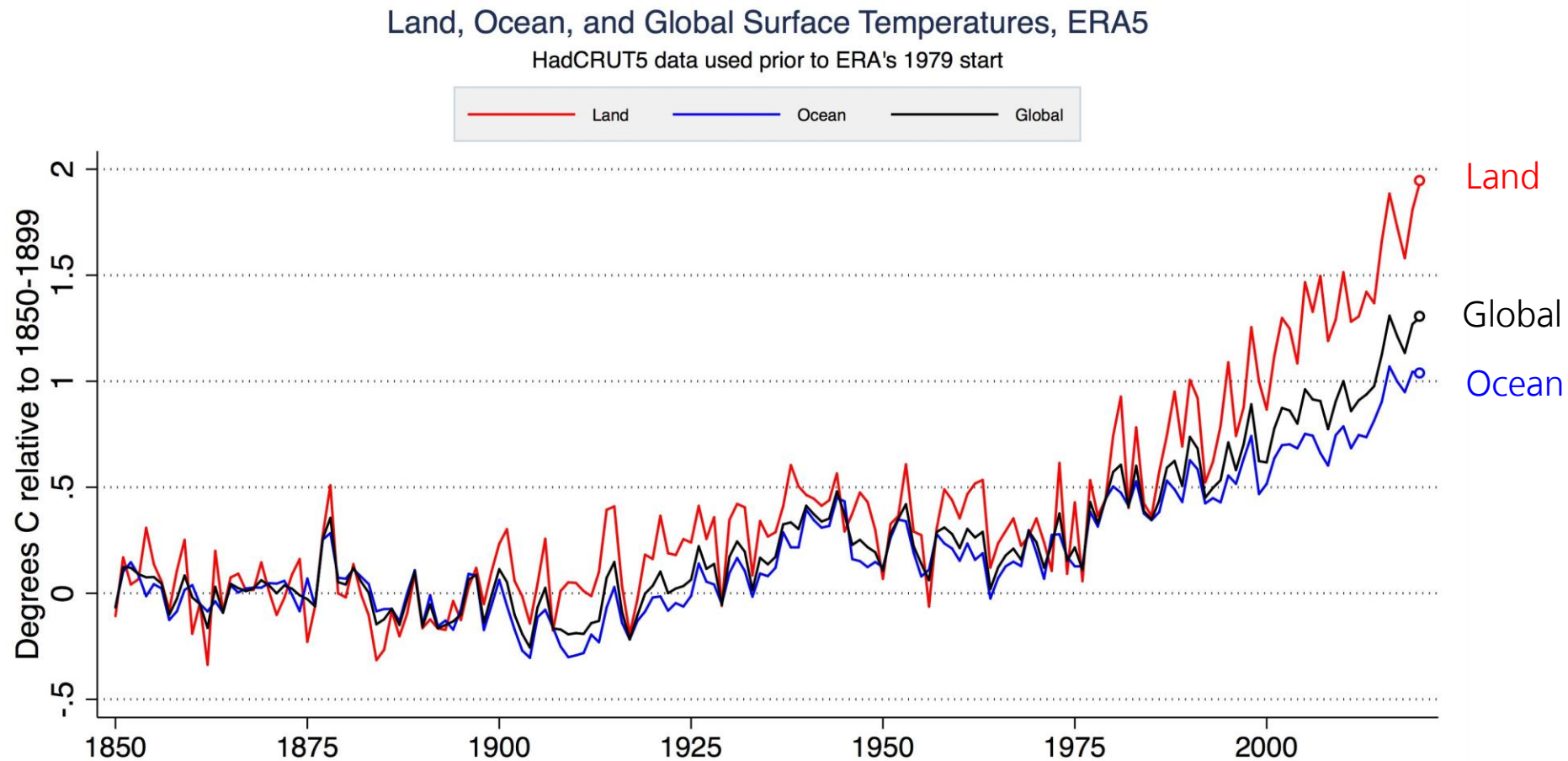
Was bedeuten Gigatonnen CO₂ in der Erdatmosphäre

Ein Gedankenexperiment

- Gesamtmenge in der Atmosphäre: 3240 Gt CO₂ (Zunahme seit 1850: **1027 Gt CO₂**)
- CO₂ ist nicht durchmischt, sondern befindet sich auf der Erdoberfläche (1 bar, 20°C)
- Die 3240 Gt CO₂ entsprechen dabei einer Höhe von 3,49 m auf der Erdoberfläche
- In 1850 betrug diese Höhe noch 2,38 m (Zunahme um **1,11 m**)
- Aktuelle Zunahme pro Jahr: **18,6 Gt CO₂** (entspricht **2,0 cm / Jahr**)

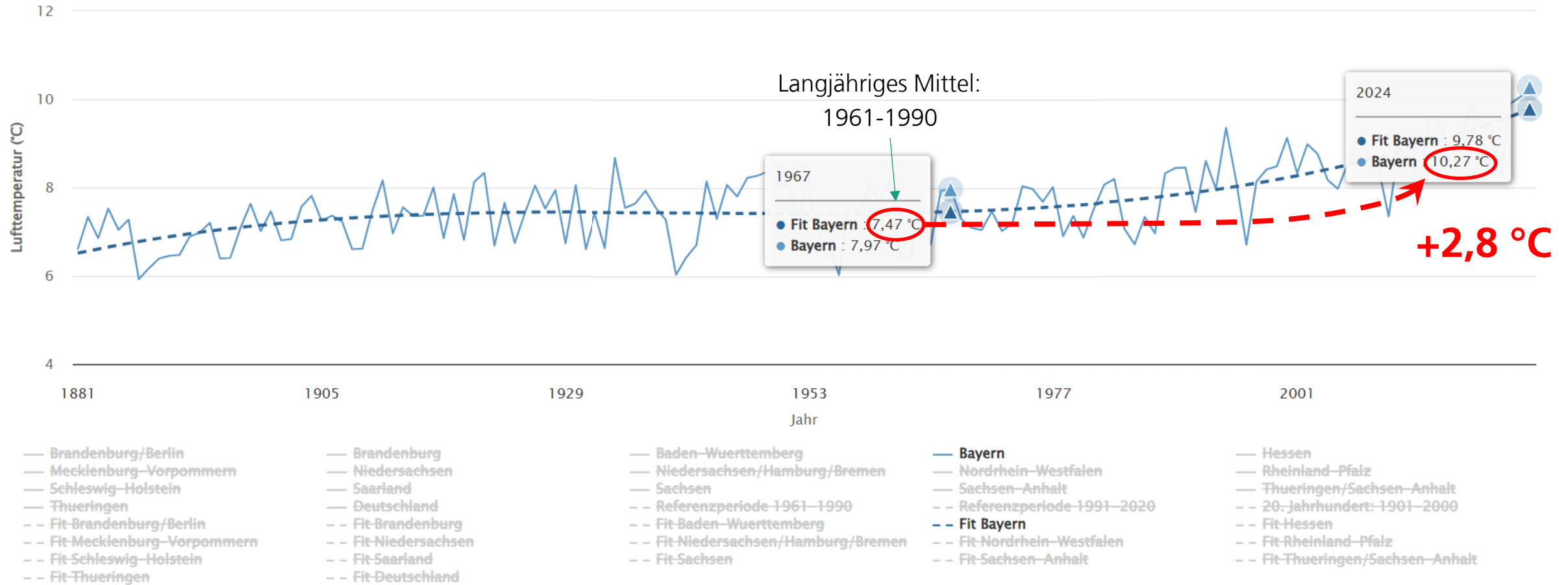


Globale Erwärmung



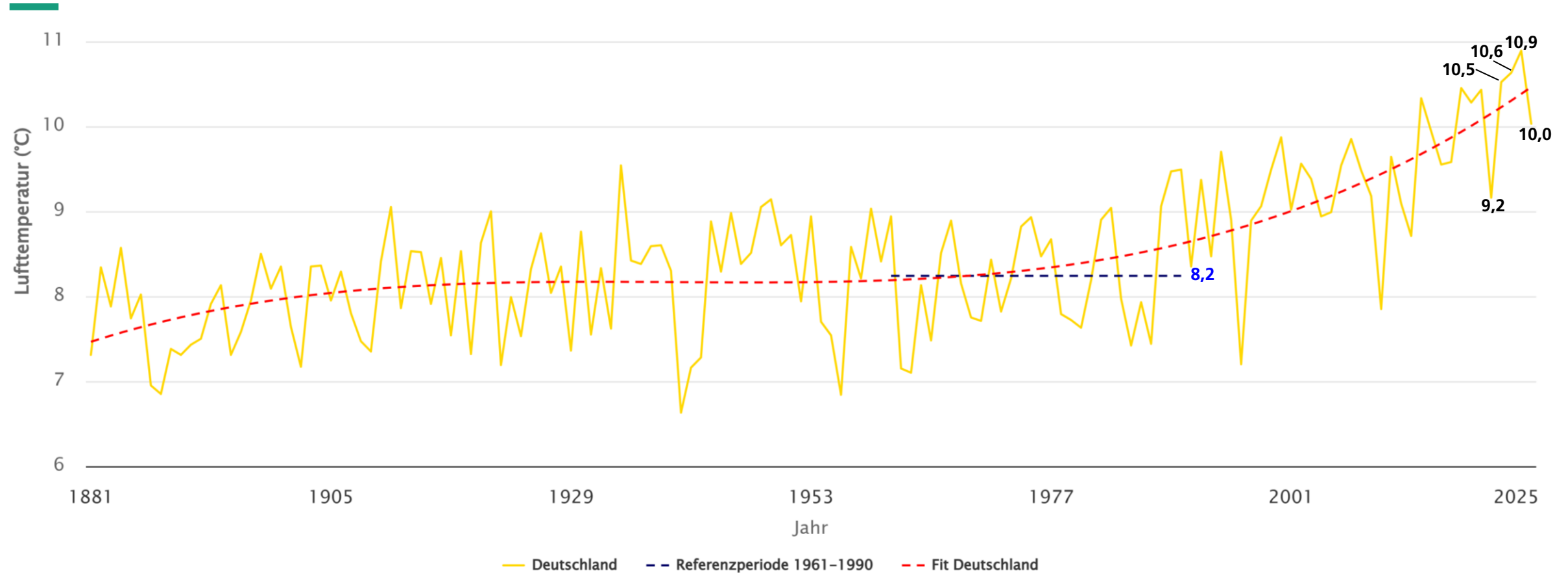
Mittlere Lufttemperatur in Bayern

Jahr 1881 bis 2024



Mittlere Lufttemperatur in Deutschland

Jahr 1881 bis 2025

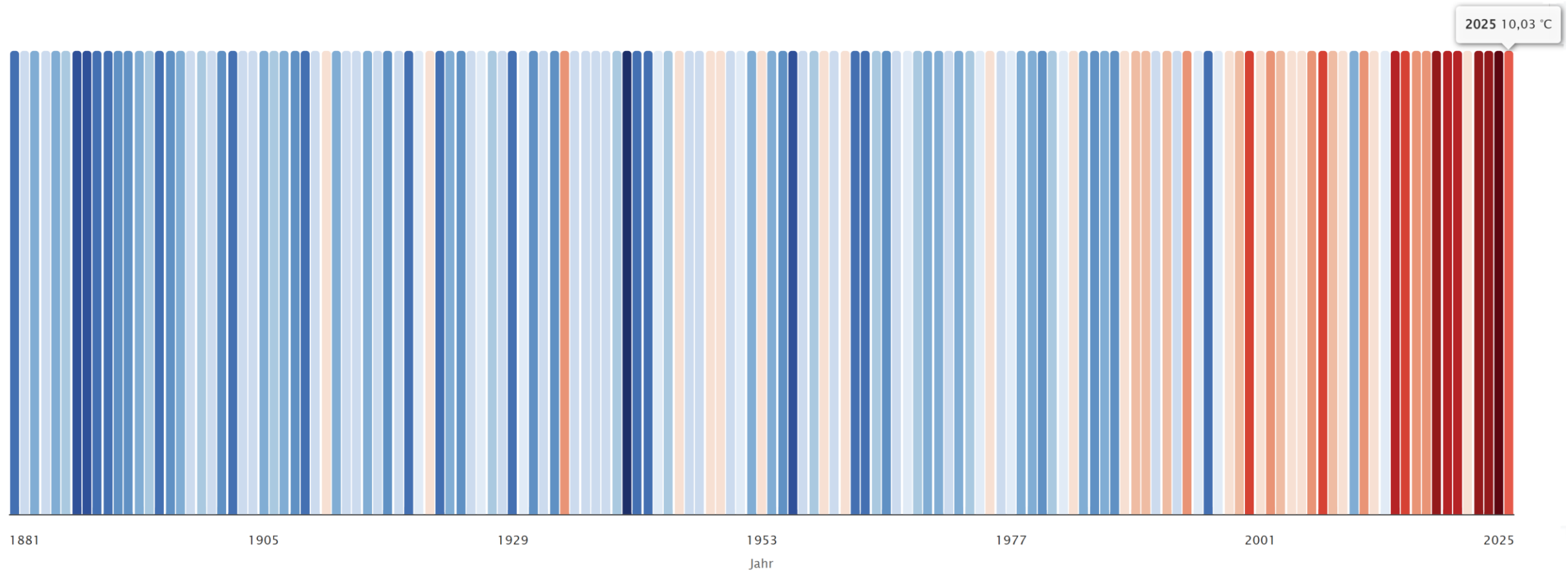


Energy-Charts.info; Datenquelle: Deutscher Wetterdienst DWD, Climate Data Center (CDC); Letztes Update: 21.01.2026, 16:52 MEZ

2024 betrug die mittlere Lufttemperatur in Deutschland 10,0 °C. Das sind 1,8 °C mehr als im langjährigen Mittel (1961-1990) von 8,2 °C.

Mittlere Lufttemperatur in Deutschland

Temperaturstreifen von 1881 bis 2025

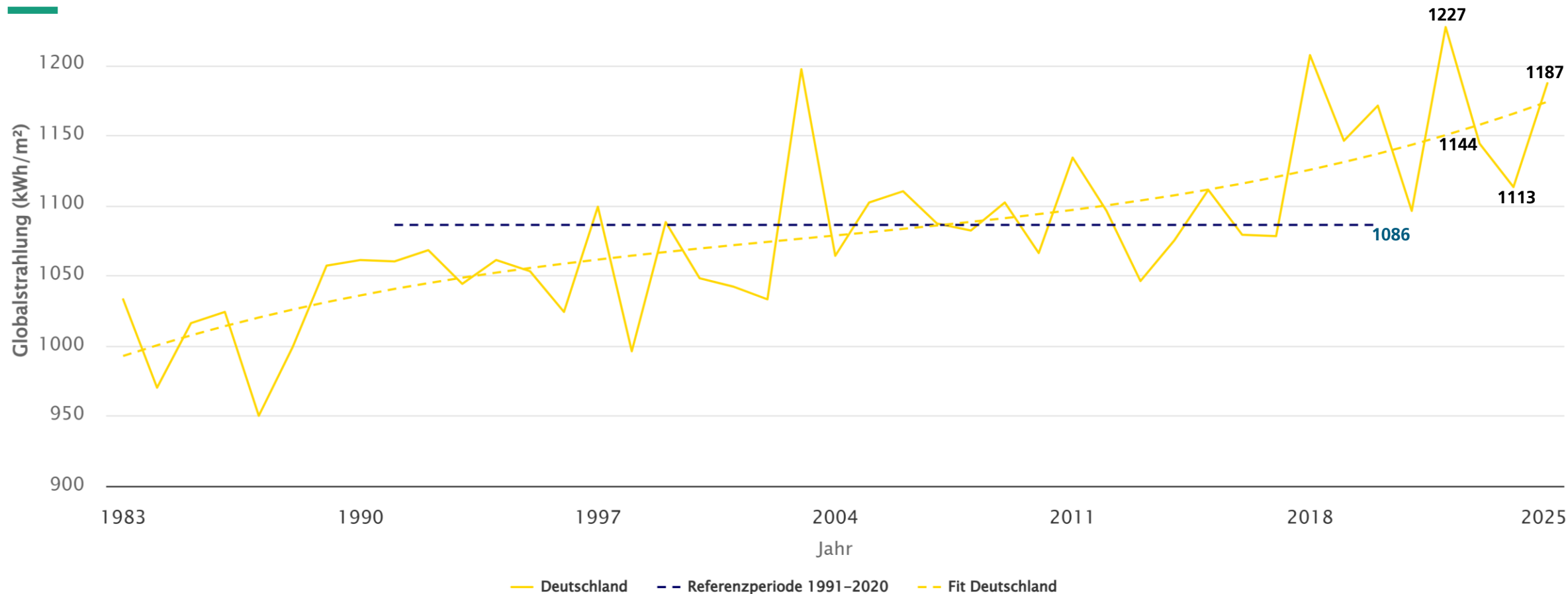


Energy-Charts.info - letztes Update: 02.01.2026, 08:13 MEZ

Datenquelle: Deutscher Wetterdienst (DWD)

Jahressummen der Globalstrahlung in Deutschland

Jahr 1983 bis 2024

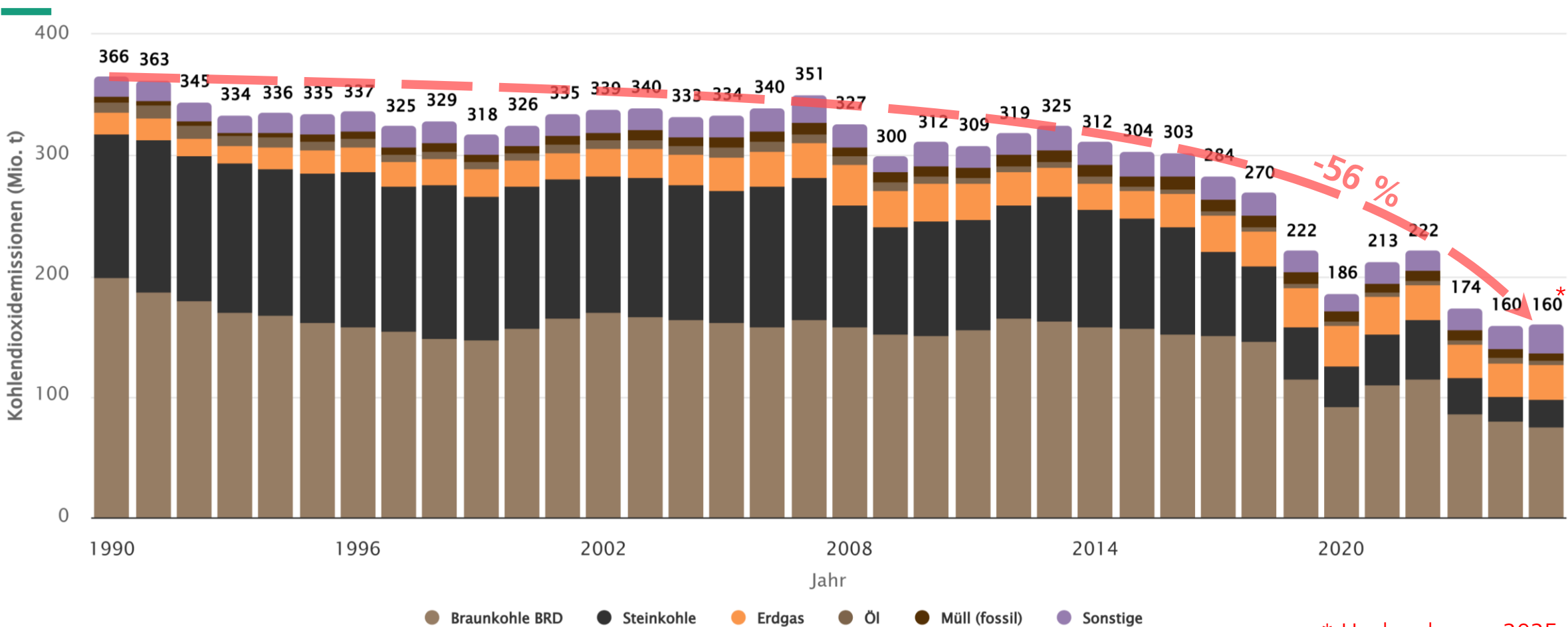


Energy-Charts.info; Datenquelle: Deutscher Wetterdienst DWD, Energiewetter; Letztes Update: 21.01.2026, 16:52 MEZ

Im Jahr 2025 betrug die Jahressumme der Globalstrahlung in Deutschland 1187 kWh/m². Das sind 6,6 % mehr als im Jahr 2024.

Kohlendioxidemissionen (CO₂) der Stromerzeugung

Jahr 1990 bis 2025



* Hochrechnung 2025

Energy-Charts.info; Datenquelle: Umweltbundesamt, CO₂-Emissionen der Stromerzeugung gemäß Datenbank ZSE; Letztes Update: 30.12.2025, 16:50 MEZ

Kohleverstromung

Christoph Ploß und Martin Huber



Dass die #grüne Partei von Wirtschaft wenig versteht, hat viele nicht überrascht. Sie ist aber auch für unsere Klimabilanz eine Katastrophe: Der Anteil der klimaschädlichen Braunkohle an der Stromerzeugung ist zuletzt massiv angestiegen! @StimmtTalk



<https://twitter.com/christophploss/status/1762122735373762729>

- Wie haben sich die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung seit 1990 entwickelt?
- Wie hat sich die Verstromung von Braunkohle in Deutschland seit 1990 entwickelt?
- Welche Faktoren spielen hier die entscheidende Rolle?

Agenda

9:15 – 10:00: Stromerzeugung, Anteil erneuerbarer Energien, Volllaststunden, Installierte Leistung

10:00 – 10:30: Importe und Exporte, Preise

10:30 – 10:45: Pause

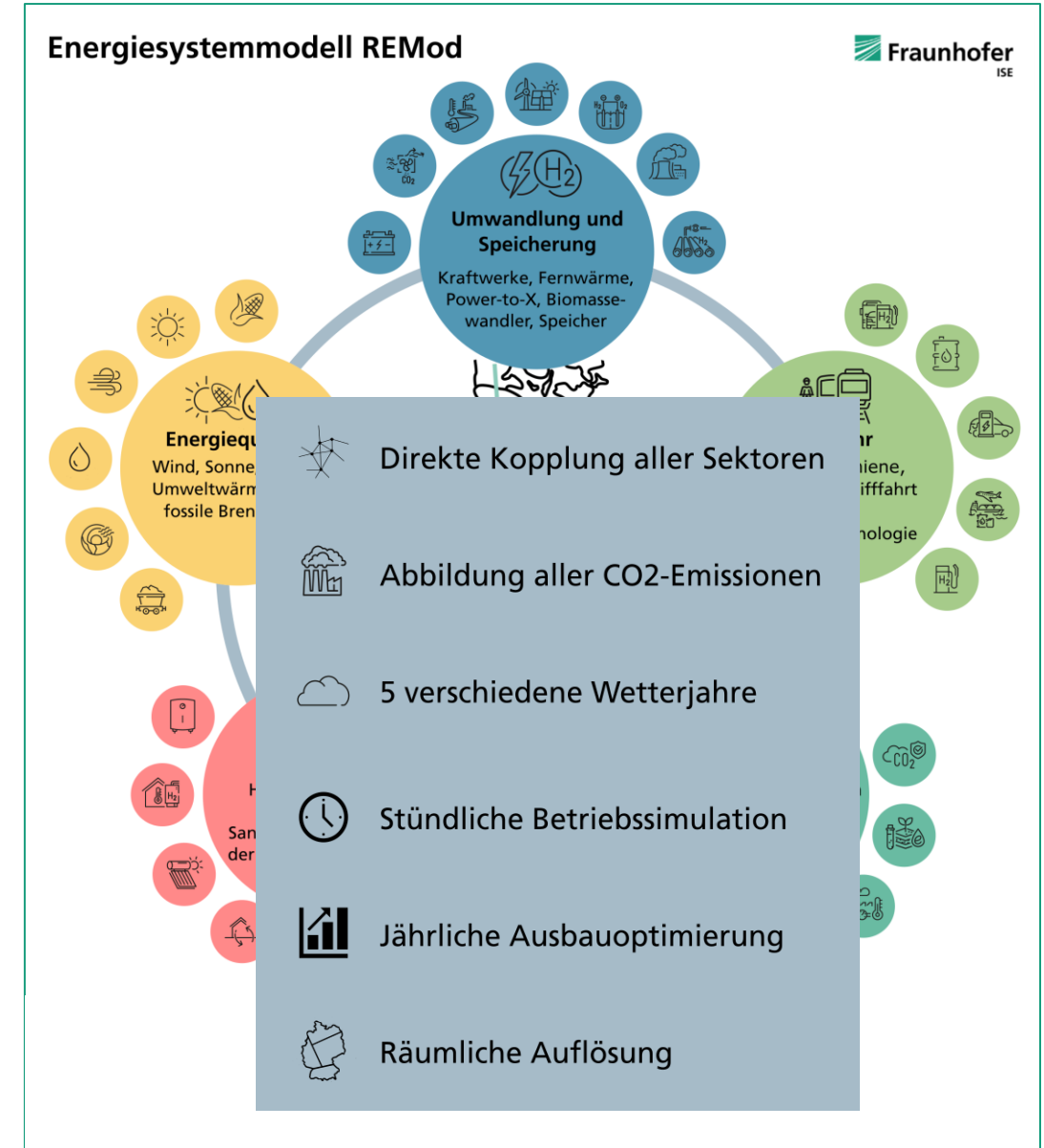
10:45 – 11:15: Emissionen und Klimadaten

11:15 – 12:00: Energiesystemmodellierung und Szenarien bis 2045

Zielstellung und Methodik

Fragestellungen der Studie

- (1) Welche Transformationspfade ergeben sich durch aktuelle Entwicklungen wie Zubau- und Kostendynamik der Technologien, der Nachfrageentwicklung und geopolitische Unsicherheiten?
- (2) Was leiten sich daraus für Größen in Bezug auf Infrastrukturplanungen wie den Stromnetzausbau und das Wasserstoffkernnetz ab?
- (3) Wie sehen bundeslandscharfe Transformationspfade bis 2045 aus?



Zielerreichungspfad nach KSG wird durch eine Modelllösung beschrieben.

Methodische Abbildung des Transformationspfades

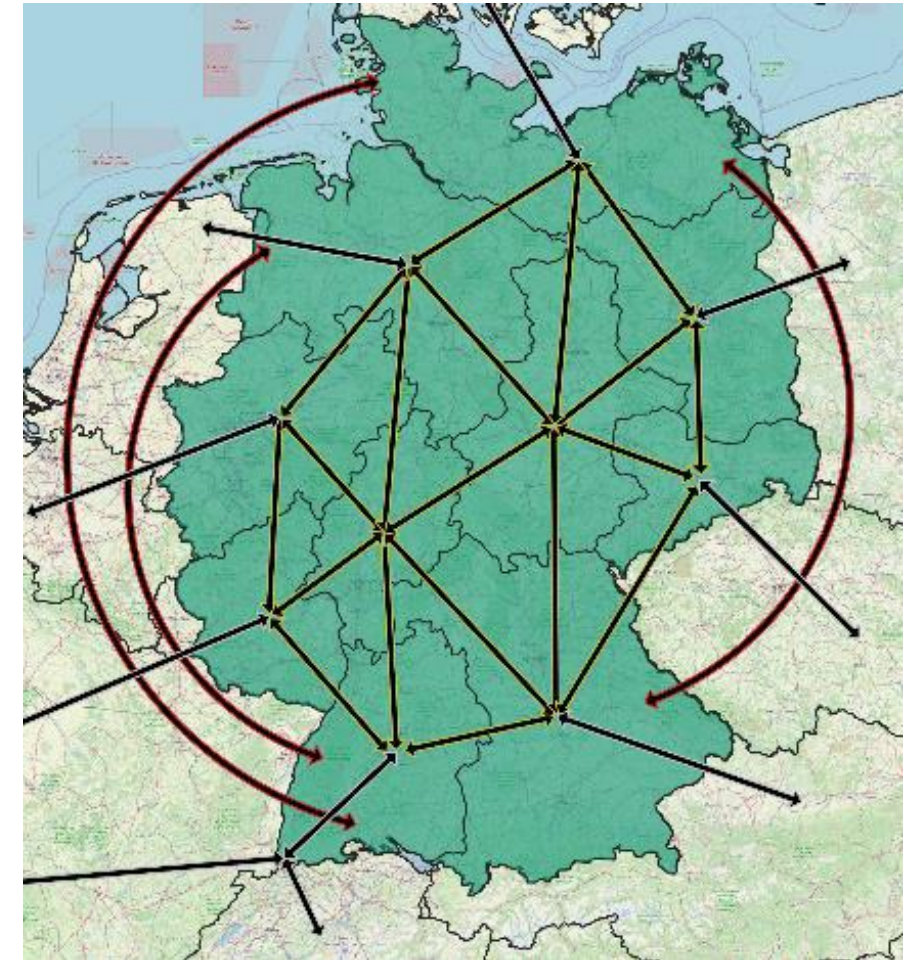
Kostenoptimierung mit einer Kombination aus Optimierung aller Technologien für jedes Jahr und Simulation des Betriebs für das Gesamtsystems in jeder Stunde von heute bis 2050

Energiebilanz in jedem Bundesland (Knoten) wird in jeder Stunde erfüllt. Energieaustausch über Energienetze:

- Strom und Wasserstoff -> Netze abgebildet, inkl. NTC zu Ausland
- Erdgas, Kohle, Öl -> Netze/Transport nicht abgebildet, da ausreichend und rückgängig.
- Biomasse -> starke lokale Nutzung

Potentiale aller Erneuerbare Energien je Bundesland hinterlegt.

Negativemissionstechnologien: DACCS, BECCS, BCR



Für folgenden Szenarien werden möglich Wege zur Klimaneutralität abgeleitet, welche die energiepolitische Debatte in Deutschland quantitativ und qualitativ unterstützen sollen.

Technologieoffen – Kostenoptimaler Transformationspfad

- Lediglich minimale, technologisch bedingte Einschränkungen des Transformationspfades

Effizienz – Bedarfsreduzierung und Verhaltensänderungen

- Rückgang der Energienachfrage in allen Sektoren
- Hebung zusätzlicher Potenziale für den Ausbau von erneuerbaren Energiequellen
- THG-Budget ist 1 Gt geringer

Beharrung – Widerstand gegen EE-Ausbau und Technologiewechsel

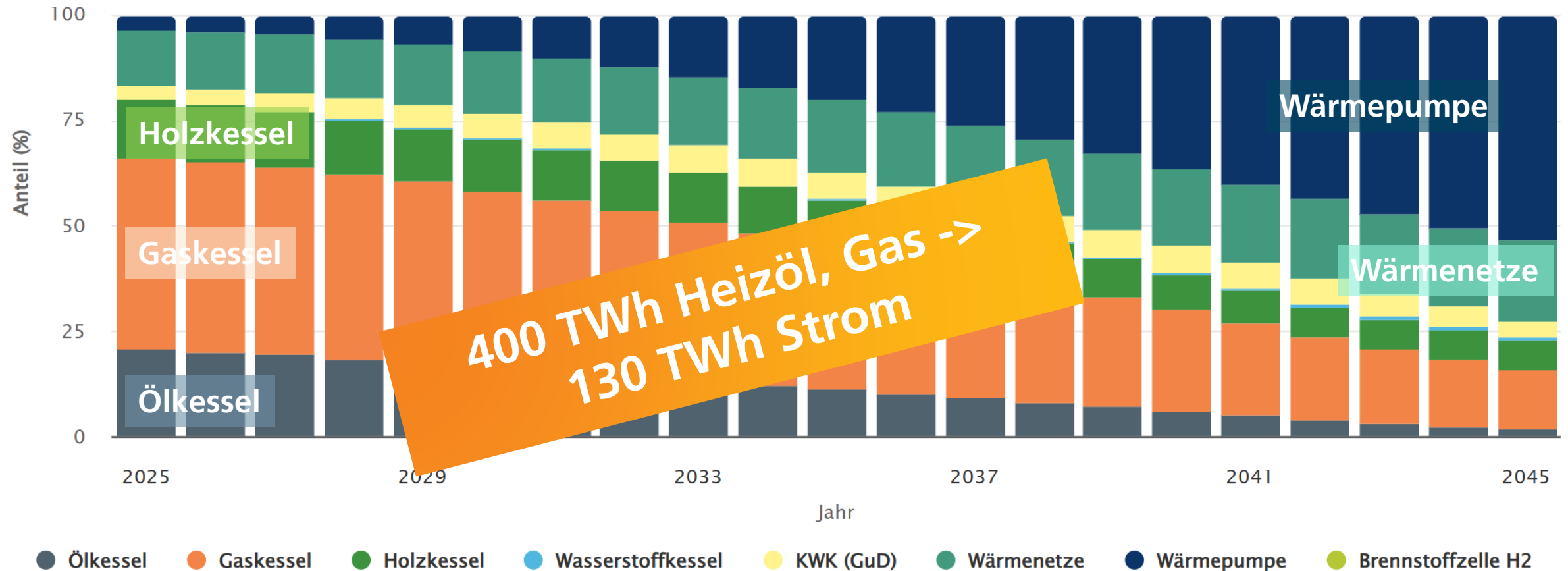
- Begrenzter Ausbau von erneuerbaren Energiequellen
- Beharrung auf konventioneller Technologie im Gebäude- und Verkehrssektor
- Verspätete Dekarbonisierung der Industrie

Robust – Resilientes Energiesystem gegenüber Schockszenarien

- Berücksichtigung von Schockszenarien
- Lieferengpässe für PV- und Batteriespeicher
 - Begrenzte Verfügbarkeit synthetischer Energieträgerimporte
 - Klimatische Veränderungen und Folgewirkungen

Studie: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem

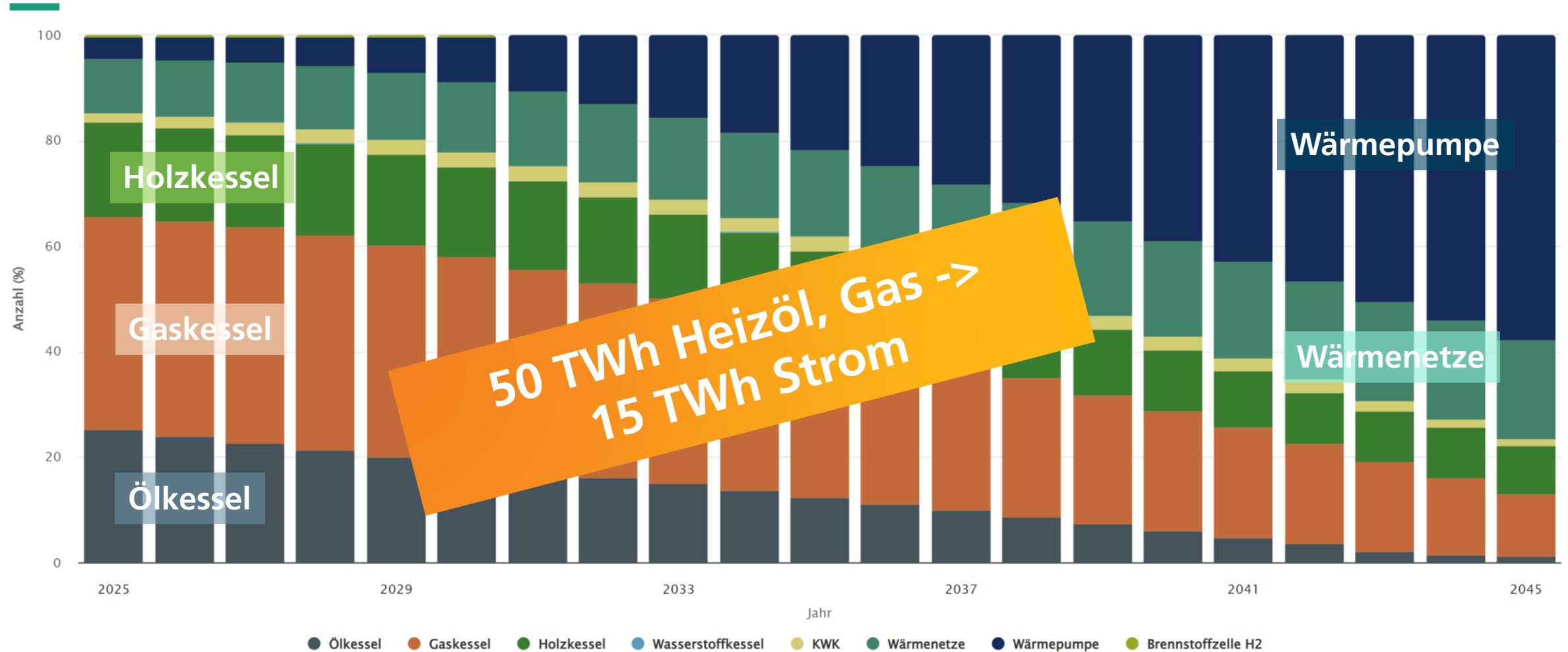
Heizungstechnologien in der Gebäudewärme, Deutschland, Szenario Technologieoffen



Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/remod_sector_data_2024/chart.htm?l=de&c=DE&scenario=technology_open

Studie: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem

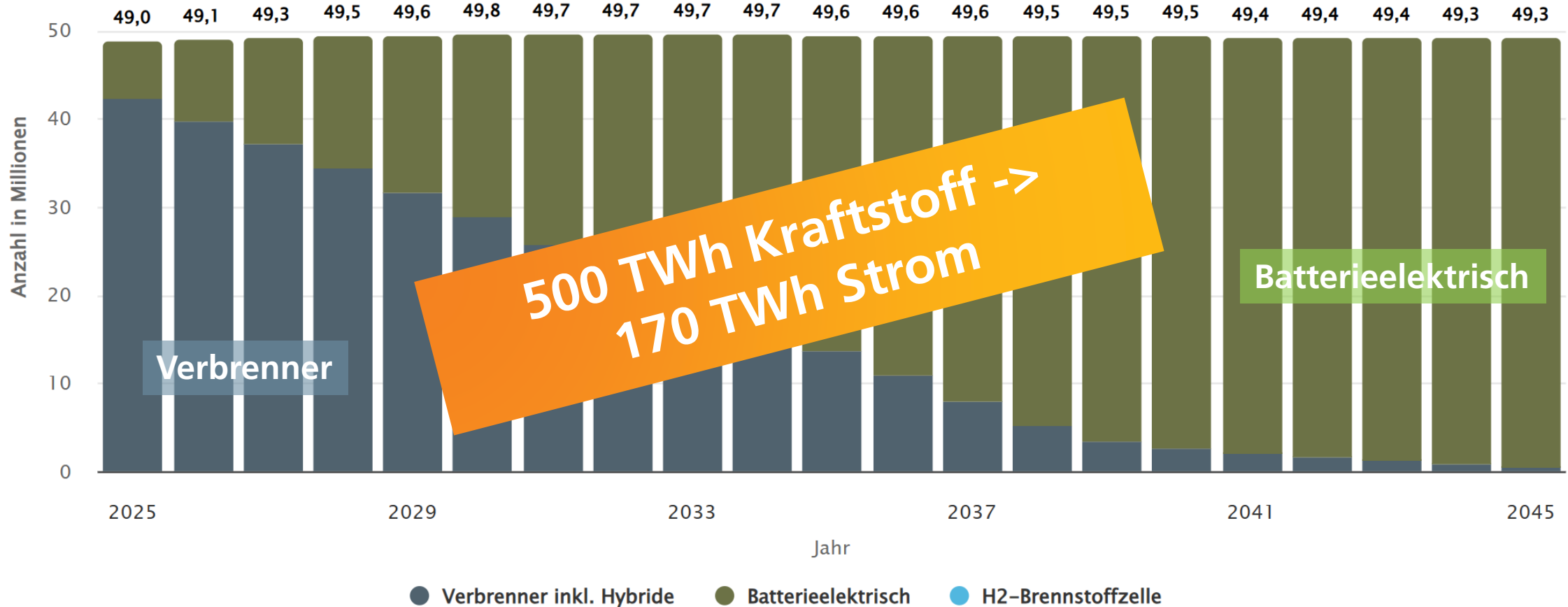
Heizungstechnologien in der Gebäudewärme, Baden-Württemberg, Szenario Technologieoffen



Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/remod_sector_data_2024/chart.htm?l=de&c=DE&bw=1&scenario=technology_open

Studie: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem

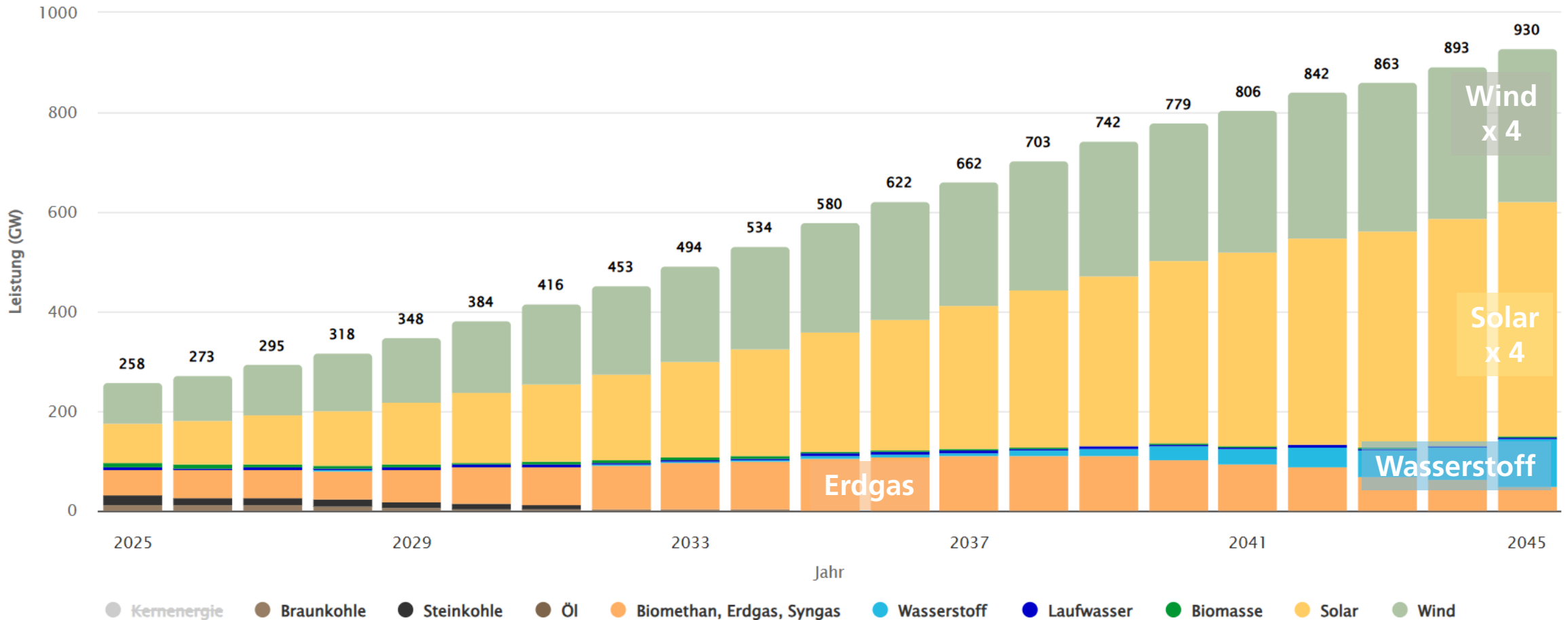
Antriebstechnologien im PKW-Verkehr, Deutschland, Szenario Technologieoffen



Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/remod_sector_data_2024/chart.htm?l=de&c=DE&scenario=technology_open&source=car

Studie: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem

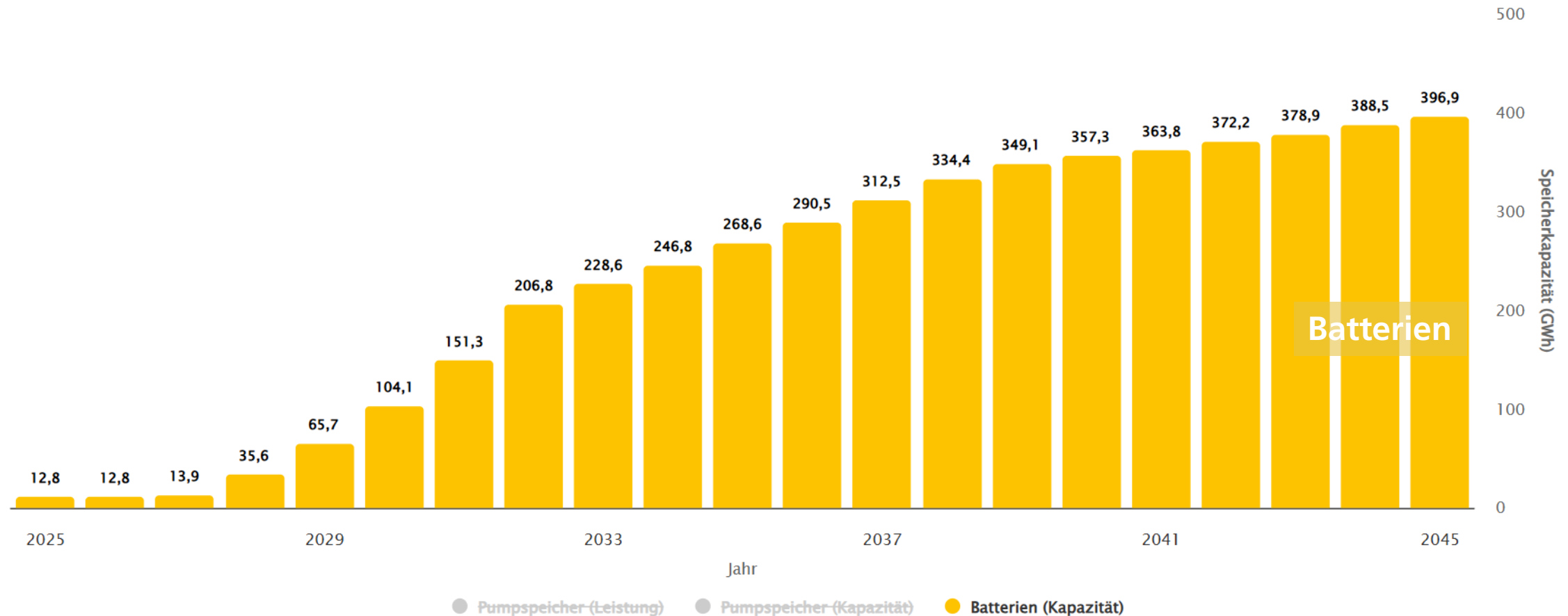
Installierte Leistung zur Stromerzeugung, Deutschland, Szenario Technologieoffen



Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/remod_installed_power_2024/chart.html?l=de&c=DE&legendItems=1w8&source=all

Studie: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem

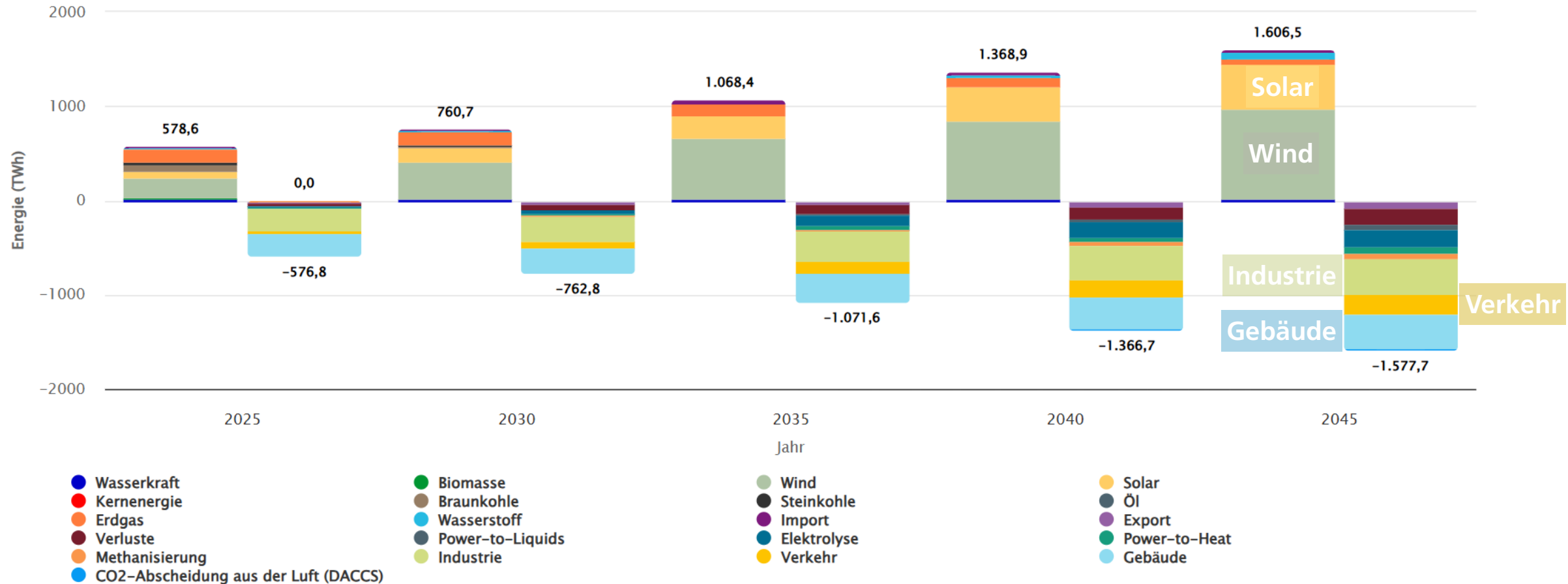
Installierte Speicherkapazität von Batteriespeichern, Deutschland, Szenario Technologieoffen



Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/remod_installed_power_2024/chart.html?l=de&c=DE&legendItems=01&source=storage

Studie: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem

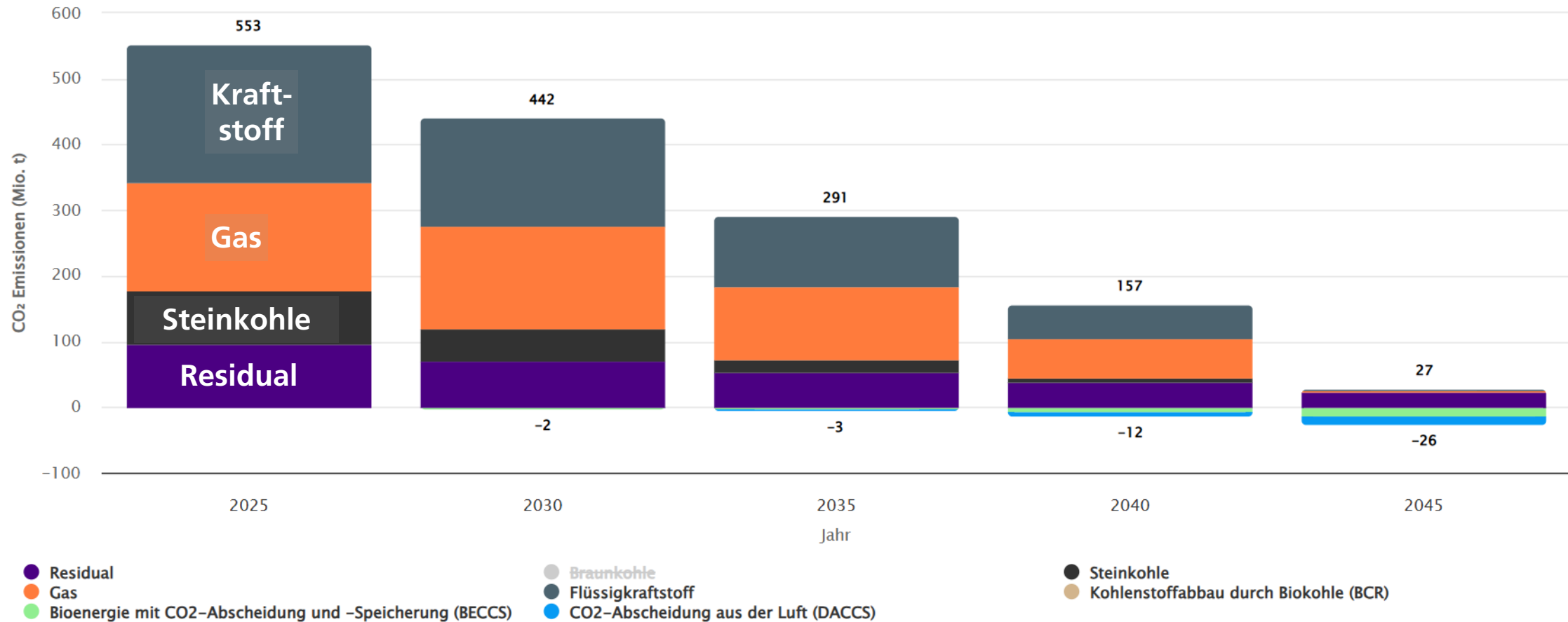
Bereitstellung (+) und Verwendung (-) von Strom, Deutschland, Szenario Technologieoffen



Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/remod_energies_2024/chart.htm?l=de&c=DE&source=electricity_provision_and_use&scenario=technology_open

Studie: Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem

CO₂-Emissionen, Deutschland, Szenario Technologieoffen



Quelle: https://www.energy-charts.info/charts/remod_emissions_2024/chart.htm?l=de&c=DE&legendItems=8z1

Windenergie als Übergangstechnologie

Einordnung des Status Quo und mögliche Zukunftsszenarien

KURSWECHSEL

Merz erklärt Windenergie zur Übergangstechnologie

Windenergie ist für Merz nur eine Zwischenlösung. Der Bundeskanzler sieht die Zukunft der Stromversorgung in der Kernfusion.

29. Januar 2026 um 09:40 Uhr / Przemyslaw Szymanski

169

News folgen Teilen



Bild: Ronny HARTMANN / AFP via Getty Images

Laut Bundeskanzler Friedrich Merz ist die Windenergie nur eine Übergangstechnologie.

1. Finden Sie selbst auf den Energy-Charts Grafiken, die den Status Quo der Windenergie in der deutschen Stromerzeugung darstellen
2. Welche Zukunftsszenarien gibt es dafür?
3. Was könnte man unter einer Übergangstechnologie verstehen? Welche Zeitskalen sind hier zu betrachten?

Online Medien

Energy-Charts Webseite

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

X / Twitter

https://x.com/energy_charts_d

LinkedIn

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

Bluesky

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

Mastodon

https://wisskomm.social/@energy_charts_d

Threads

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

Energy-Charts Talks

<https://s.fhg.de/energy-charts-talks>

Kontakt

Leonhard Gandhi

Tel. +49 761 4588-2278

leonhard.gandhi@ise.fraunhofer.de

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