Erneuerbare Energien – der aktuelle Status – Teil 2
Physikhochhaus Karlsruhe - SR 2/11 - 23.10.2026 - Jan Roß

- Windenergie – aktuelle Anlagentypen
- Entwicklung der Windenergie in Deutschland und aktueller Stand
- Entwicklung der Vergütungssätze Windenergie und aktueller EEG-Kontostand
- Noch offene Punkte zur Windenergie
- Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland
- Vergleich Flächenbedarf PV-Freiflächen und Vergleich mit Windenergie
- Monatlich erzeugte Strommenge in D in letzten 10 Jahren
- Jährliche Strommenge in D in den letzten 25 Jahren
- Szenarien der Deckung des Bedarfs in D durch Erneuerbare
- Stromspeicher und Karlsruhe als Beispiel
- Stromerzeugung nach Erzeugungsarten und vs. Lastprofil
- Politische Vorgaben und der Engpaß beim Ausbau der Erneuerbaren Energien

TEIL 1 v. 02.10.26

TEIL 2



Windenergie – noch offene Punkte

Gebotswert und Gültigkeit
Leipziger Strombörse

Gebotswert

„Pay-as-bid“-Verfahren

→ eigener Gebotswert bei Ausschreibung gilt für das eigene Projekt (PV oder Wind)

Ziel: Gebot muss niedrig genug sein, um unter die Zuschlagsgrenze zu rutschen, aber hoch genug, um Wirtschaftlichkeit der Anlage zu sichern

Mengengewichteter Mittelwert der Zuschlagswerte ist Hinweis an Politik und Markt

Indikator für Wettbewerbsniveau:
→ nah am gesetzlich festgelegten Höchstwert → kaum Wettbewerb, unterzeichnet
→ deutlich unter Höchstwert: harter Wettbewerb
Kalkulationshilfe:
→ Orientierungshilfe für kommende Ausschreibungsrunden
Mengengewichtung
→ *Große Projekte beeinflussen den Mittelwert mehr als kleine*

https://www.bdew.de/energie/ergebnisse-der-augustausschreibung-fuer-windenergieanlagen-an-land-2026/
https://www.bdew.de/energie/ausschreibung-windenergieanlagen-an-land-mai-2026/
https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Ausschreibungen/Wind_Onshore/start.html

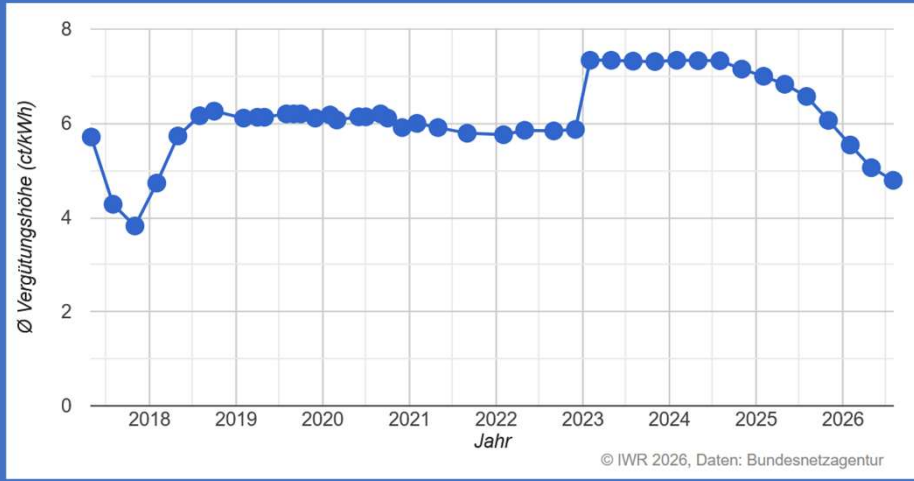
Gebotswert

Höchstwert der Ausschreibungsrunden: gesetzlich festgelegt - §85 EEG

durch Bundesnetzagentur (Verordnungsermächtigung) für das Folgejahr
→ Reaktion auf Marktlage (veränderte Kosten für Entwicklung, Bau und Betrieb sowie Zinsentwicklung

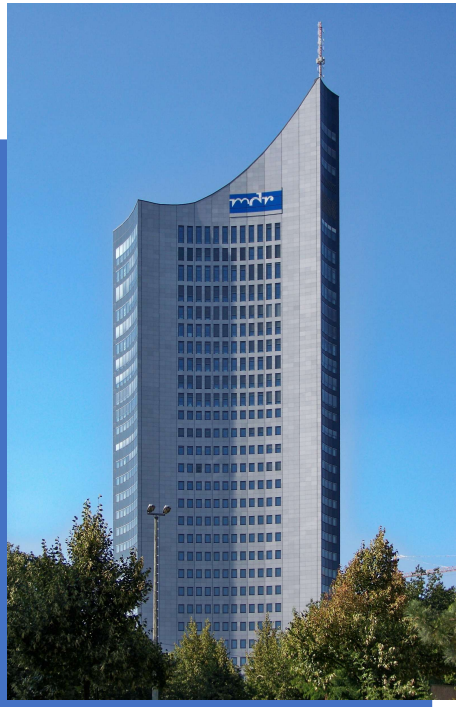
Jahr / Gebotstermin	Festgelegter Höchstwert	Mittlerer (mengengewichteter) Zuschlagswert	Marktsituation
2025 (Gesamtjahr)	**7,35 ct/kWh**	~ 6,57 bis 7,00 ct/kWh * (sinkend zum Jahresende)	Einsetzender Wettbewerb
Februar 2026	**7,25 ct/kWh**	**5,54 ct/kWh**	Stark überzeichnet
Mai 2026	**7,25 ct/kWh**	**5,06 ct/kWh**	Hohes Wettbewerbsniveau
August 2026	**7,25 ct/kWh**	**4,79 ct/kWh**	Massiv überzeichnet

**Hinweis: Der Höchstwert wurde für 2026 von der Bundesnetzagentur leicht auf 7,25 ct/kWh abgesenkt.* IWR Solarbranche



https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Ausschreibungen/Wind_Onshore/start.html

Leipziger Strombörse



Preise gelten nur für die zugelassenen Akteure des Großhandels

→ **aktuell 400 lizensierte Marktteilnehmer (Stromerzeuger, Energieversorger & Stadtwerke, Großverbraucher Netzbetreiber & Stromhändler)**

→ **Versorger geben Preis oft verzögert weiter, kaufen teils Jahre im Voraus ein**

Auswirkungen auf den Strompreis

→ **Haushalte mit fixem Tarif: Extreme schlagen verzögert durch.**

→ **Haushalte mit dynamischen Tarif: Smartmeter erforderlich. Spezielle Anbieter. Exakte Abrechnung des stündlichen Spotmarktpreises.**

→ **Etwa die Hälfte des Preises wird über die Börse festgelegt, Rest sind feste Kosten wie Netzentgelte und Steuern**

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leipzig_City-Hochhaus.jpg#/media/Datei:Leipzig_City-Hochhaus.jpg

Leipziger Strombörse

→ Welche Märkte werden bedient?

a) Kernmarkt Deutschland und Luxemburg

b) Europäisches Kernnetz

→ Zentraleuropa: Frankreich (FR), Österreich (AT), Schweiz (CH), Belgien (BE), Niederlande (NL)

→ Osteuropa: Polen (PL), Tschechien (CZ), Slowakei (SK), Ungarn, Rumänien (RO), Bulgarien (BG)

→ Südeuropa: Spanien (ES), Italien (IT)

→ Großbritannien (GB)

→ Skandinavien & Baltikum (über Anbindungen und Kooperationen wie Nord Pool)

c) Globale Expansion

→ Japan (Regionen Tokio, Chubu, Kansai)

→ USA (Nodal Exchange)

https://www.eex-group.com/en/contact
https://www.nodalexchange.com/

Leipziger Strombörse

Europäische Preiskopplung (Market Coupling)
Automatisiertes Verfahren: Strom fliesst von günstigerer Region (z.B. wegen Windstrom) in die teuere Region, bis entweder der Preis angeglichen oder die Stromleitungen an ihre Kapazitätsgrenze gekommen sind.

Entscheidend: Netzkapazität

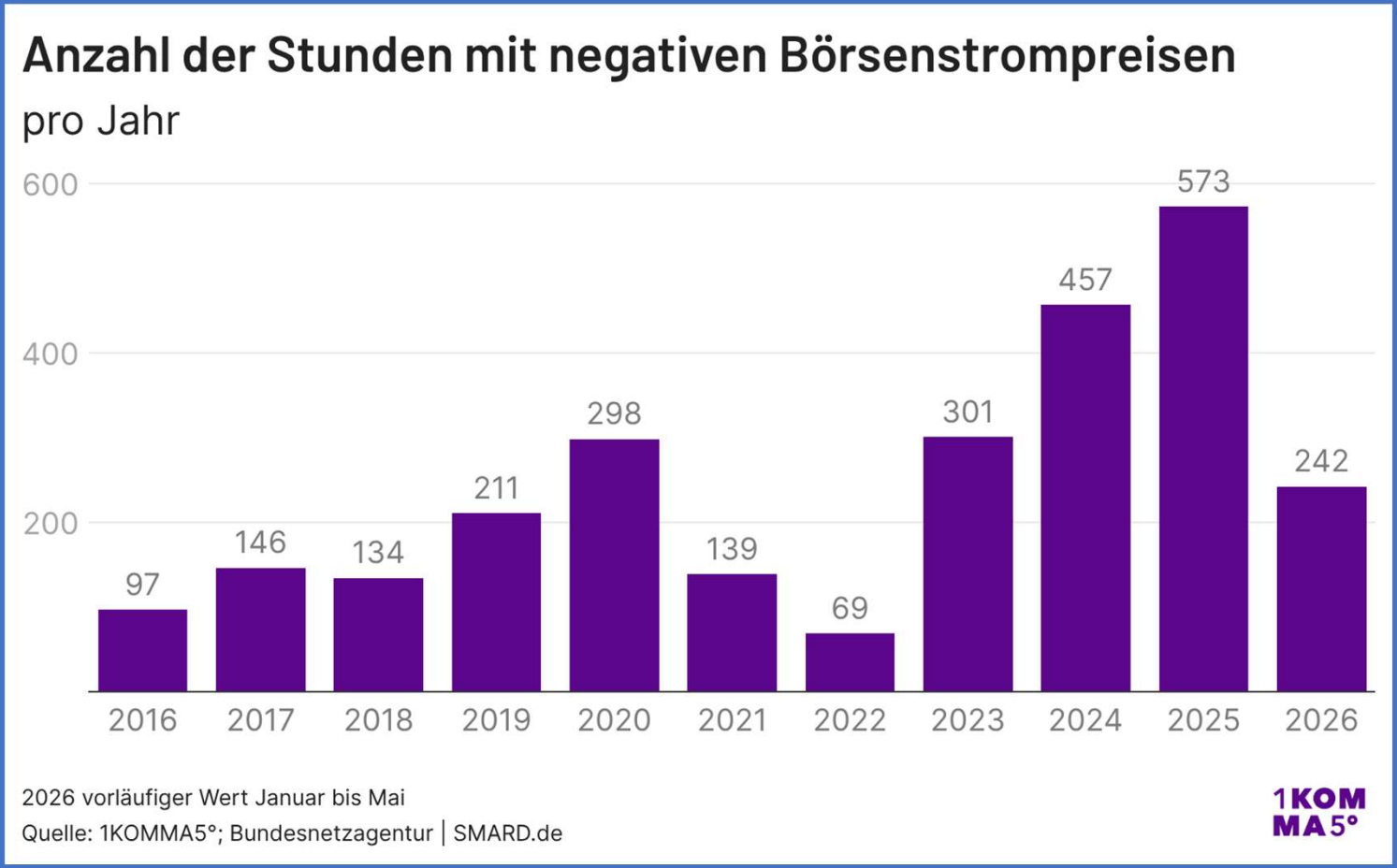
Mitteleuropa – sehr hohe Angleichung – D/F/BENELUX/A –> 50%-70% des Jahres gleiche Preise untereinander

Andere Regionen und/der extreme Wetterereignisse - 10% - 45% des Jahres Engpässe mit voneinander abweichenden Preisen

https://www.kwh-preis.de/strom/ratgeber/stromboerse
https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/ACER-Monitoring-Report-2025-crosszonal-electricity-trade-capacities.pdf
https://magnusenergy.com/insights/sdac-market-watch/

Leipziger Strombörse

Thema: Negative Strompreise



Jahresstunden insgesamt: 8760

https://www.windkraft-journal.de/2026/06/16/negative-strompreise-2026-auf-dem-weg-zum-neuen-rekord/225127

Leipziger Strombörse

Was passiert in extremen Situationen? → Market coupling
Preisminderung bei Überschuss → sofortiger Export bei viel Ökostrom
Folge: Negativpreise werden zunehmend exportiert → NL, F, BE, ES auch jetzt mit mehr als 500 Negativstunden pro Jahr…..

….bis zur Systemgrenze: Netzengpass
Zeitgleich in Mitteleuropa hoher PV und Windstrom → alle wollen exportieren.

Folge: In D kommt es zu extremen Negativpreisen (technisches Limit -500€/MWh (-50 ct/kWh) , im Mai 2026 auf -60ct/kWh abgesenkt).
In den Ländern ausserhalb des Engpasses gelten dann normale Preise.
Strukturelle Ursachen: 92% der „Negativ-Preis“-Stunden zwischen 10 und 17 Uhr
61% der „Negativ-Preis“ am Samstag oder Sonntag
Technisches Limit für positive Strompreise ist 4€/kWh. Diese Limits benötigt die Börse als Systemschutz und Risikobegrenzung (unkontrollierte algorithmische Kettenreaktionen).

https://meeco-group.com/blog/de-europas-stunden-mit-negativen-strompreisen-steigen-was-die-daten-fuer-

Leipziger Strombörse

Reaktion Gesetzgeber:
→ Solarspitzengesetz (seit 25.2.25)
Neue PV Anlagen > 2kW keine EEG Vergütung mehr ab der ersten negativen Viertelstunde
Übergangsmodell für ältere Großanlagen (2023-2025 gebaut, >400kW) bei 2h durchgehend negative Preise entfällt EEG Vergütung
Ziel: Erzeuger sollen entweder abregeln oder lokal zwischenspeichern, statt Netz zu fluten

Reaktion Markt (Großspeicher bzw. Heimspeicher mit dynamischen Tarif und smart meter):
Negativer Strompreis: Speicher laden
Hoher Strompreis: einspeisen und verkaufen

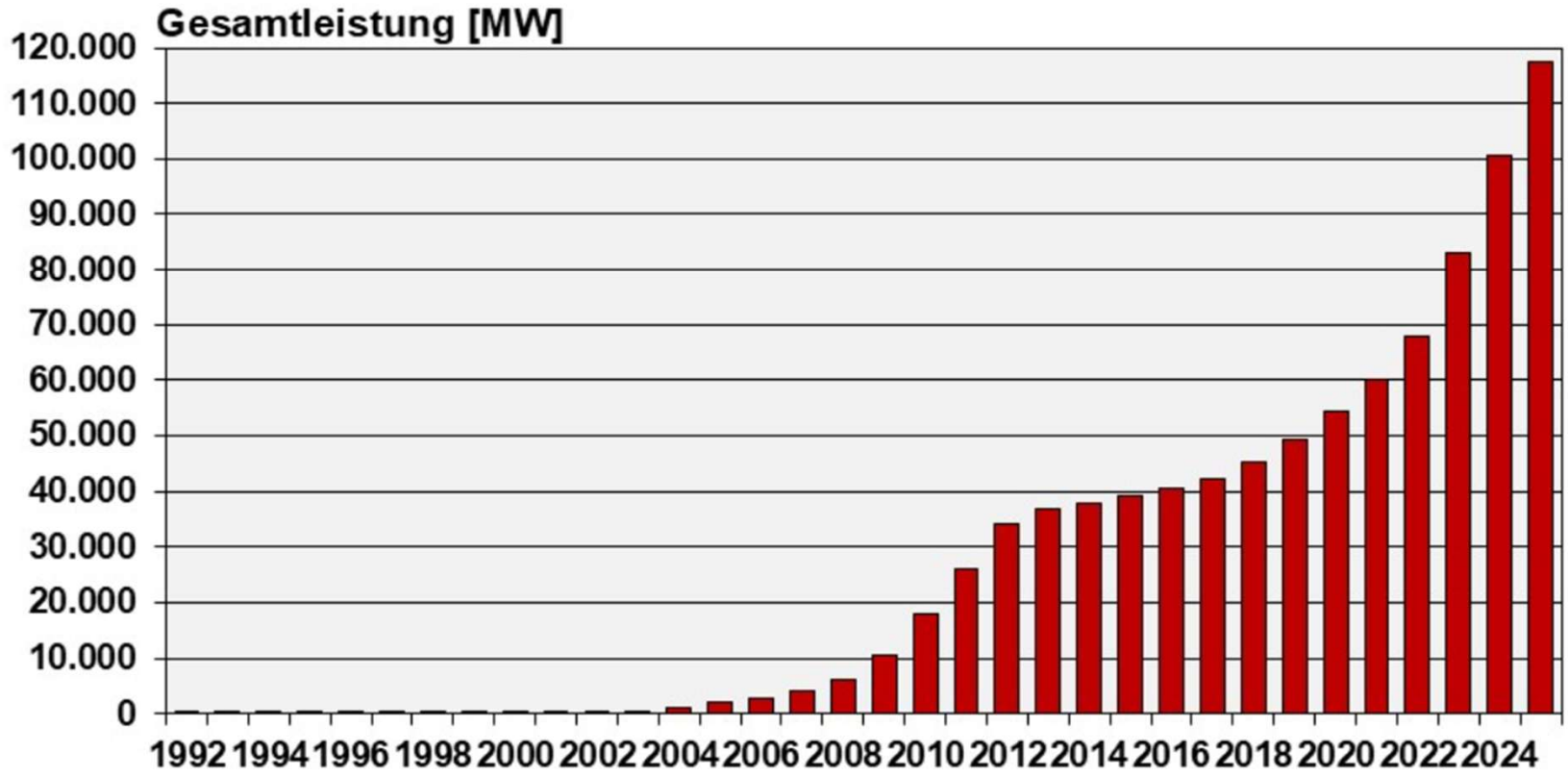
https://www.windkraft-journal.de/2026/06/16/negative-strompreise-2026-auf-dem-weg-zum-neuen-rekord/225127
https://sonnis-energy.de/negative-strompreise-bei-pv-anlagen/

Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland



https://www.istockphoto.com/de/fotos/photovoltaik

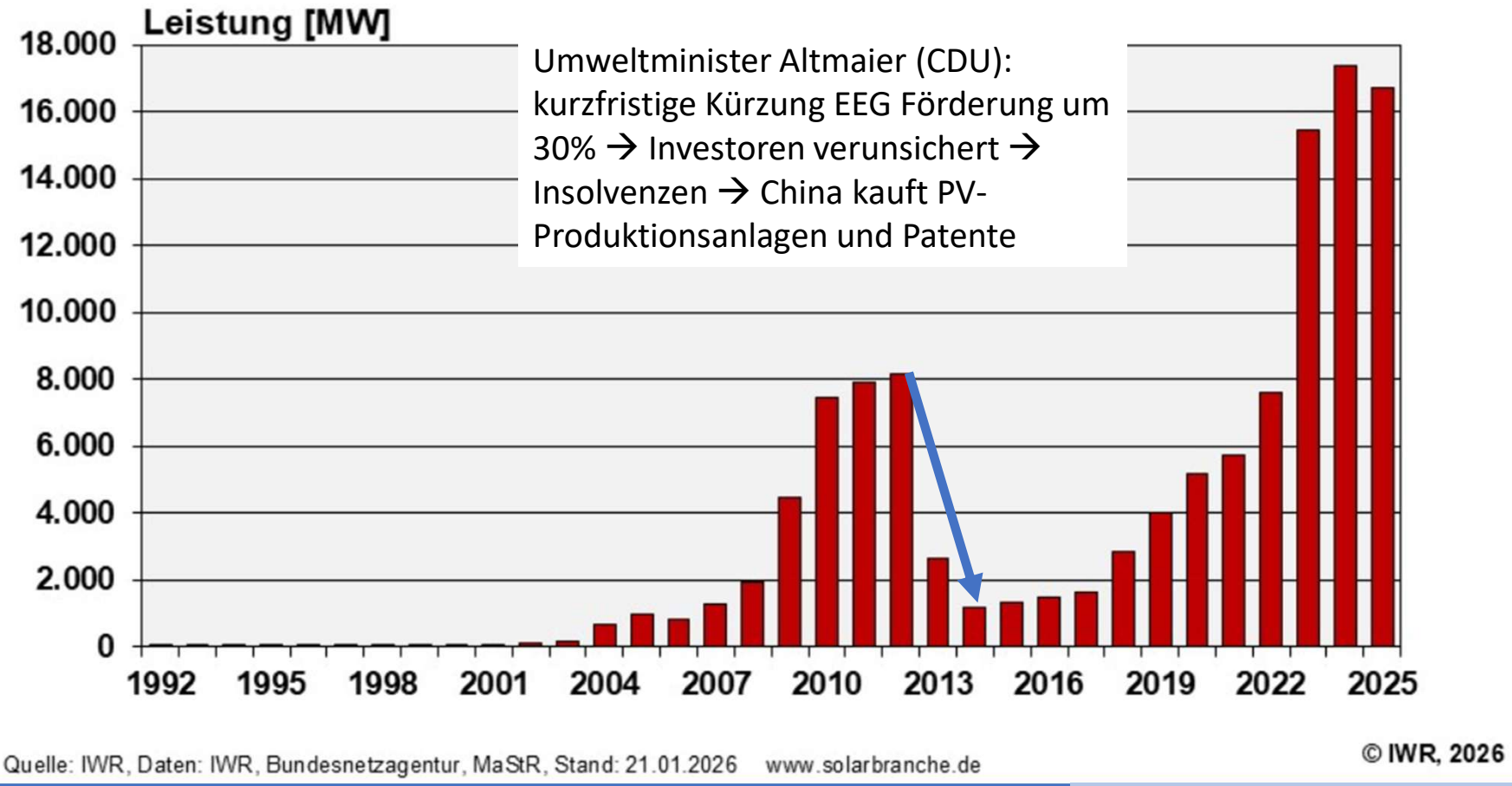
Entwicklung der PV-Gesamtleistung in Deutschland



Quelle: IWR, Daten: IWR, Bundesnetzagentur, MaStR, Stand: 21.01.2026 www.solarbranche.de

© IWR, 2026

Jährlich installierte Photovoltaik-Leistung in Deutschland



https://www.solarbranche.de/ausbau/deutschland/photovoltaik

PHOTOVOLTAIK-ANLAGEN IN DEUTSCHLAND: HALBJAHRESZAHLEN 2026 IM ÜBERBLICK

Segment	Anlagen H1 2026	Leistung H1 2026	Einordnung
Freiflächenanlagen	1.002	4.010,4 MW	größtes Segment
Dachanlagen	über 185.000	3.186,4 MW	rückläufig
Stecker-Solar-Geräte	rund 203.500	278,1 MW	Registrierungen zuletzt fallend
Sonstige Solaranlagen	9	3,7 MW	Nische
Nettozubau gesamt	–	**7.394,4 MW**	auf Vorjahresniveau

Quelle: Bundesnetzagentur, Statistik zur Stromerzeugungsleistung ausgewählter erneuerbarer Energieträger, Auswertung des Marktstammdatenregisters mit Stand 13.07.2026. Der jeweils aktuellste Monat ist wegen Nachmeldungen vorläufig; die Halbjahreswerte können noch steigen.

Photovoltaik - Bewertung des Zubaus

Im ersten Halbjahr 2026 kamen in Deutschland **7.394,4 MW** Photovoltaik-Leistung netto hinzu – praktisch genauso viel wie im ersten Halbjahr 2025 mit 7.407 MW.

Stabile Gesamtleistung verdeckt Strukturbruch:
Freiflächenanlagen liefern **4.010,4 MW** aus nur 1.002 Projekten,
Dachanlagen **3.186,4 MW** aus über 185.000 Anlagen.

Die Zahl neu registrierter Anlagen fiel um **18 Prozent**, im gewerblichen Segment zwischen 100 und 750 kW sogar um 48 Prozent.

→ Wenige große Projekte tragen den Markt, den früher viele kleine getragen haben.

https://www.logicenergy.de/neuigkeiten/photovoltaik-zubau-deutschland

Vergleich Flächenbedarfe bei Photovoltaik

Photovoltaik-Freifläche vs. Windenergie

Photovoltaik - Flächenbedarf bei Freifläche

a) Reine Südausrichtung:
1 MWp erzeugt ca. 1 Mio kWh pro Jahr
wegen flachem Sonnenstand im Winter (im Norden max. 11 Grad ü. Horizont, im Süden 19 Grad)
bei optimalem Abstand der Modulreihen Flächenverbrauch ca. 1 ha pro MWp bzw. pro GWh pro Jahr.

b) Bei Ost-West Ausrichtung (niedrig, dachförmig)
1 MWp erzeugt ca. 0.9 bis 0.95 Mio kWh pro Jahr, also 5-10% niedriger als bei reiner Südausrichtung.
Aber: es lässt sich fast die doppelte Modulleistung pro Fläche unterbringen → 0.5-0.6ha pro MWp.

Bei Agri-PV (großer Reihenabstand wg. Bewirtschaftung): 1.2-1.5 ha/MWp – 80% landwirtschaftlich nutzbar.

Bei Agri-Hochaufständerung (größerer Abstand erforderlich): ca. 2 ha/MWp, aber 90% landw. nutzbar.

https://www.logicenergy.de/photovoltaikanlagen
https://reduco.ai/blog/solar/agri-photovoltaik-freiflaechenanlagen#was-ist-agri-photovoltaik

Photovoltaik - Beispiele Freiflächenanlagen

Freiflächen: EEG-gefördert

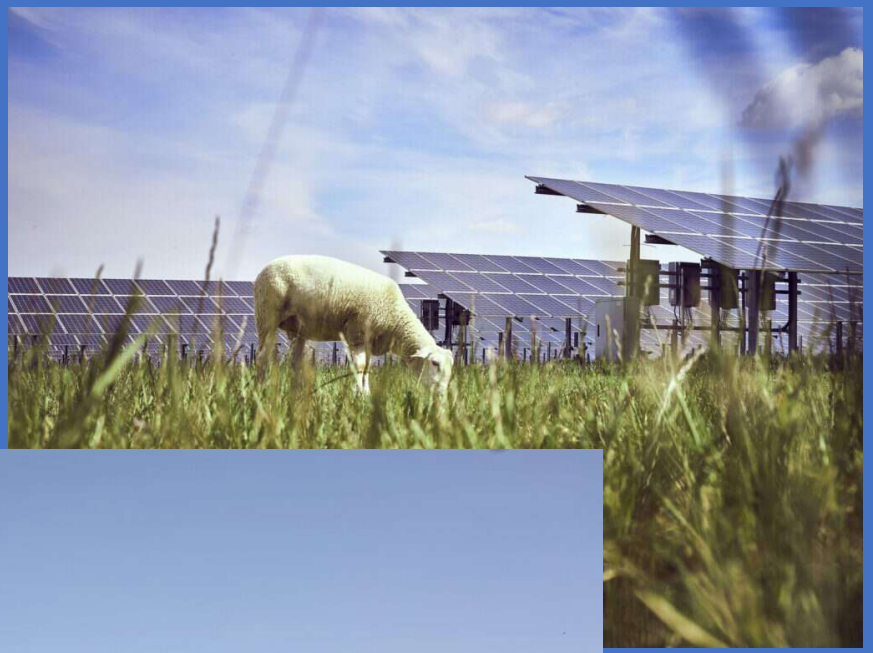
Konversionsflächen:
Ehemalige Industrie- oder Militärflächen, die oft bereits infrastrukturell erschlossen sind und sich ideal für die Nutzung mit Photovoltaikanlagen eignen.

Deponien: Stillgelegte Mülldeponien bieten eine ausgezeichnete Grundlage für Solarparks, da sie bereits vorbelastet sind und keine landwirtschaftliche Nutzung beeinträchtigen.

Randstreifen an Verkehrswegen
Flächen entlang von Autobahnen oder Bahnstrecken können effizient genutzt werden, ohne landwirtschaftliche Flächen oder wertvolle Naturräume zu beanspruchen.

Brachflächen:
Unbebaute Grundstücke, die keiner intensiven Nutzung zugeführt werden, bieten weiteres Potenzial für die Installation von Photovoltaikanlagen.

https://www.gaia-energie.de/leistungen/sonne/



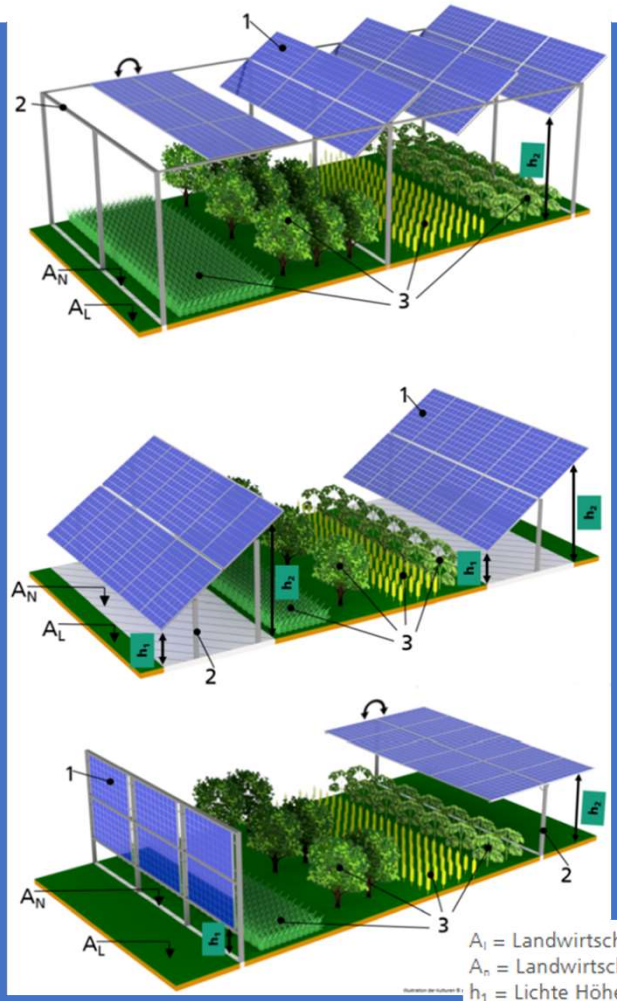


Photovoltaik - Beispiele Freiflächenanlagen



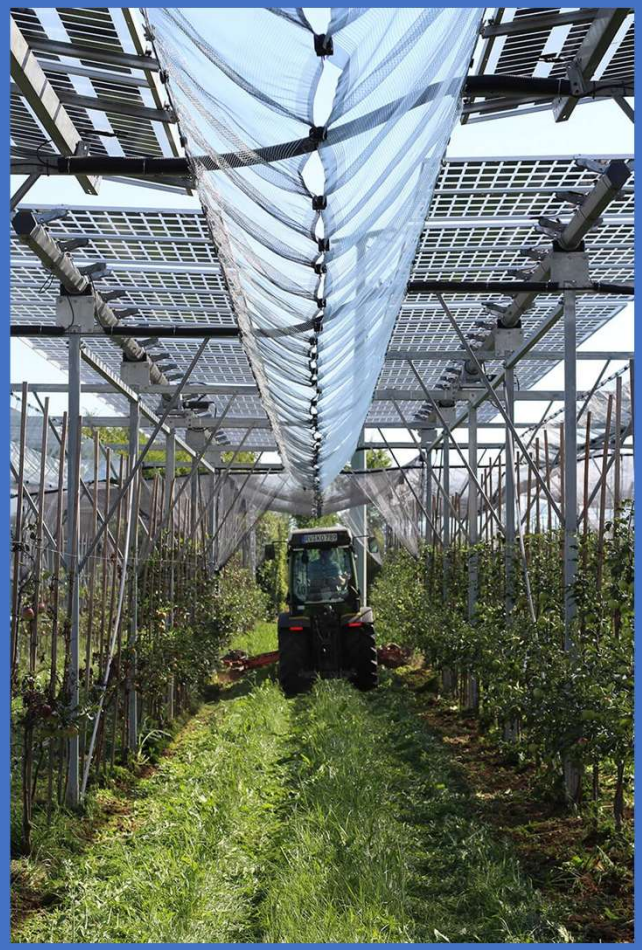
Aufgeständerte Agri-Photovoltaik-Anlagen - Foto: NABU/Rebekka Blessenohl

https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/energie/erneuerbare-energien-energiewende/solarenergie/33678.html
https://www.ise.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/solarkraftwerke-und-integrierte-photovoltaik/integrierte-photovoltaik/agri-photovoltaik-agri-pv.html?theme=VEE_NEW_01



A_l = Landwirtschaftlich nutzbare Fläche
A_n = Landwirtschaftlich nicht nutzbare Fläche
h_1 = Lichte Höhe unter 2,10m
h_2 = Lichte Höhe über 2,10 m
1 = Beispiele zu Solarmodulen
2 = Aufständerung
3 = Beispiele landwirtschaftlicher Kulturen.

Photovoltaik - Beispiele Freiflächenanlagen



Bewirtschaftung mit Traktor am Kompetenzzentrum Obstbau-Bodensee (KOB)



https://www.ise.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/solarkraftwerke-und-integrierte-photovoltaik/integrierte-photovoltaik/agri-photovoltaik-agri-pv.html

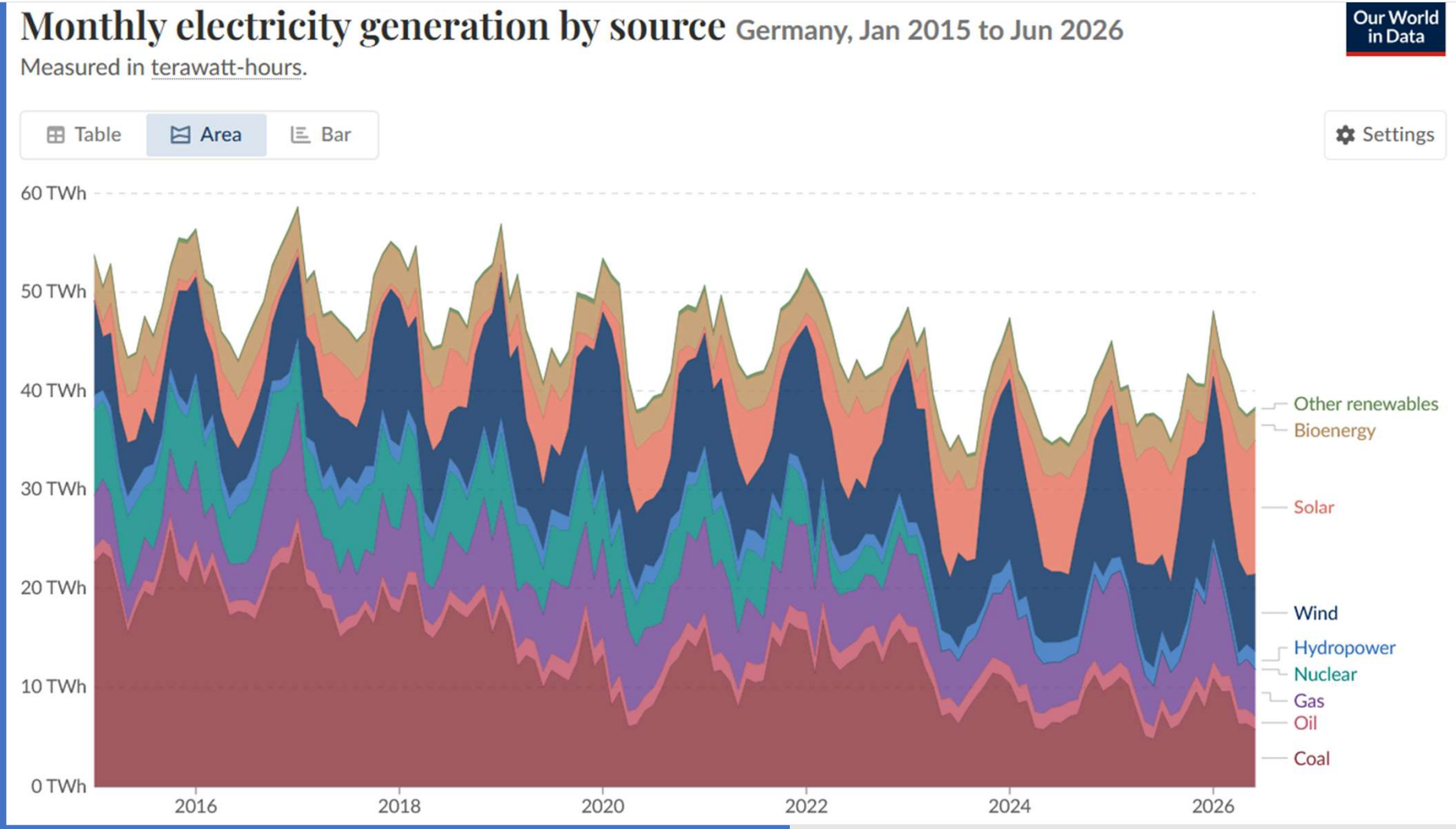
Vergleich Photovoltaik Freifläche mit Windenergie Onshore (D)

Kriterium	PV-Freifläche (Südausrichtung)	Windenergie Onshore (Land)
Installierbare Leistung pro Hektar	**ca. 1,0 bis 1,2 MWp**	**ca. 0,2 bis 0,3 MW** (planerischer Raum) **ca. 7 bis 10 MW** (bezogen auf *realen* Bodenverbrauch)
Stromertrag pro Jahr und Hektar	**ca. 1,0 bis 1,3 Mio. kWh**	**ca. 0,5 bis 0,8 Mio. kWh** (planerischer Raum) **ca. 16 bis 23 Mio. kWh** (bezogen auf *realen* Bodenverbrauch)
Echte Flächeneffizienz	**Mittel.** Die Fläche ist für den klassischen Ackerbau blockiert (außer bei Agri-PV).	**Extrem hoch.** Über 97 % der überplanten Fläche bleiben voll nutzbar.

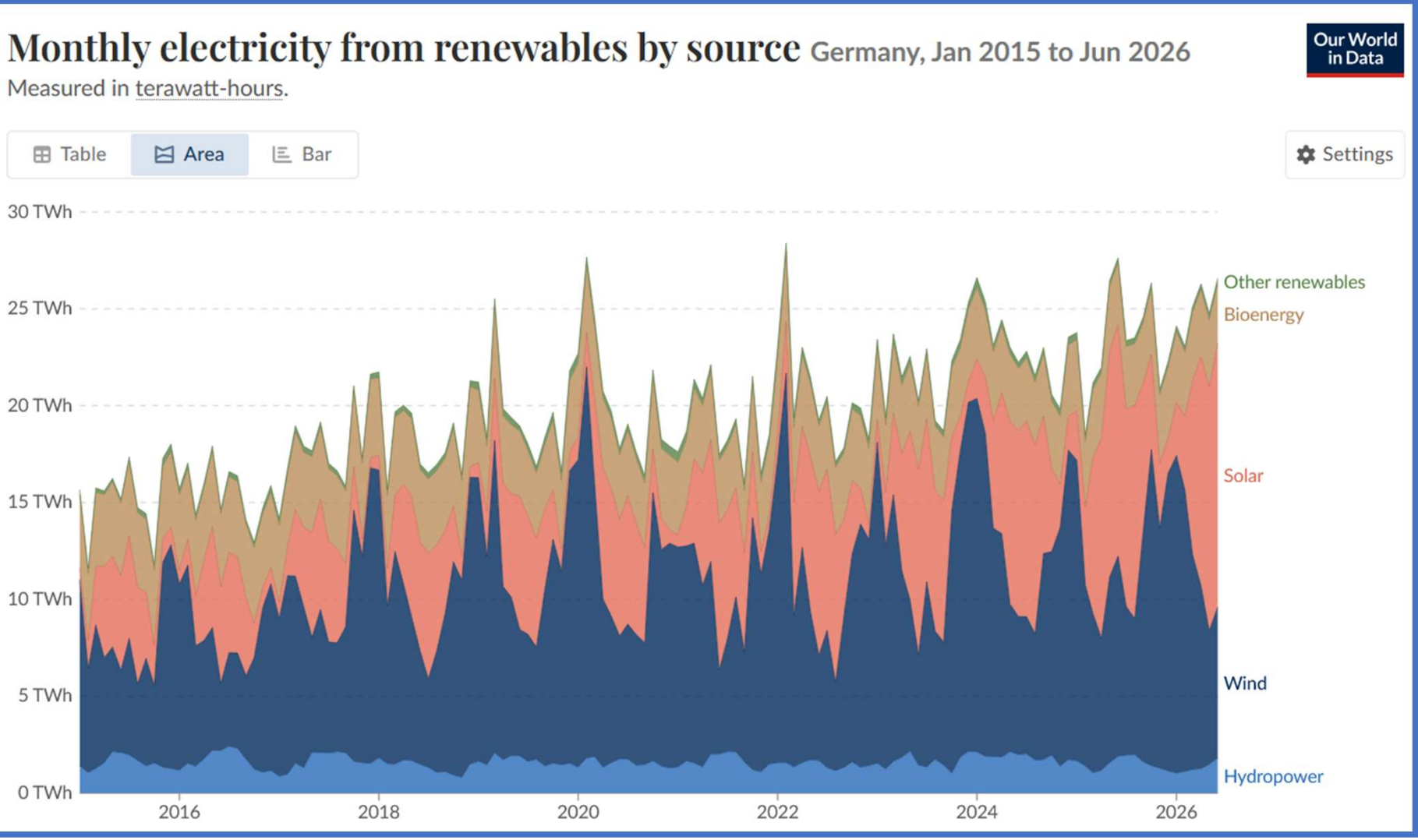
ca. 1 ha pro Windenergieanlage versiegelter Boden und Zuwegung

Entwicklung der monatlich erzeugten Strommenge in Deutschland in den letzten 10 Jahren

GAIA
Energie von hier



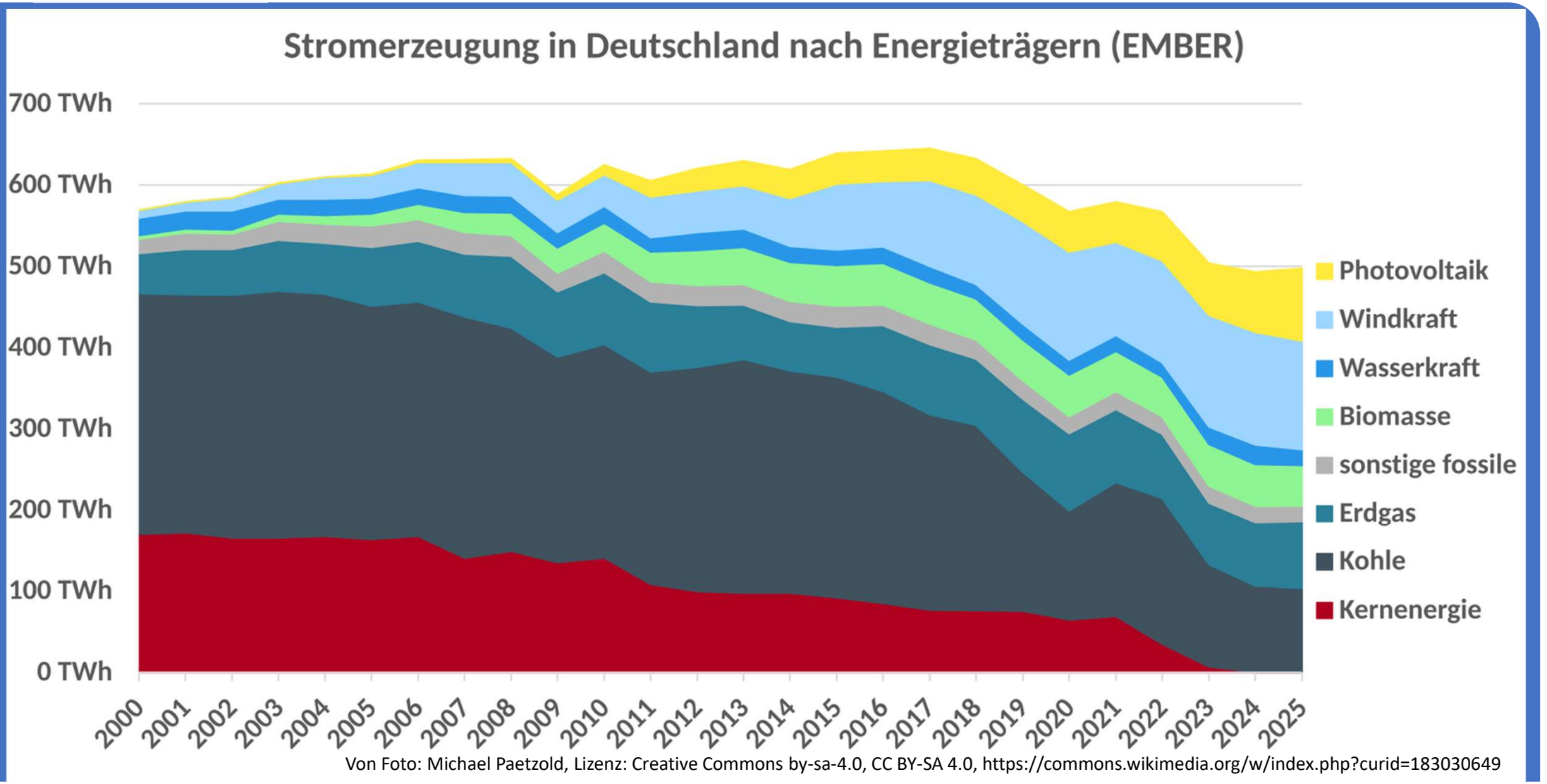
https://ourworldindata.org/grapher/electricity-mix?country=%7EDEU&source=total&metric=by_source&frequency=monthly



https://ourworldindata.org/grapher/electricity-mix?country=%7EDEU&source=total&metric=by_source&frequency=monthly

Entwicklung der jährlich erzeugten Strommenge in Deutschland in den letzten 25 Jahren

GAIA
Energie von hier



Von Foto: Michael Paetzold, Lizenz: Creative Commons by-sa-4.0, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=183030649