



WOCHE DER ERNEUERBAREN

Photovoltaik im Jahr 2024

Andreas Schlumberger, Solar Cluster Baden-Württemberg



Warum Erneuerbare? Warum PV?



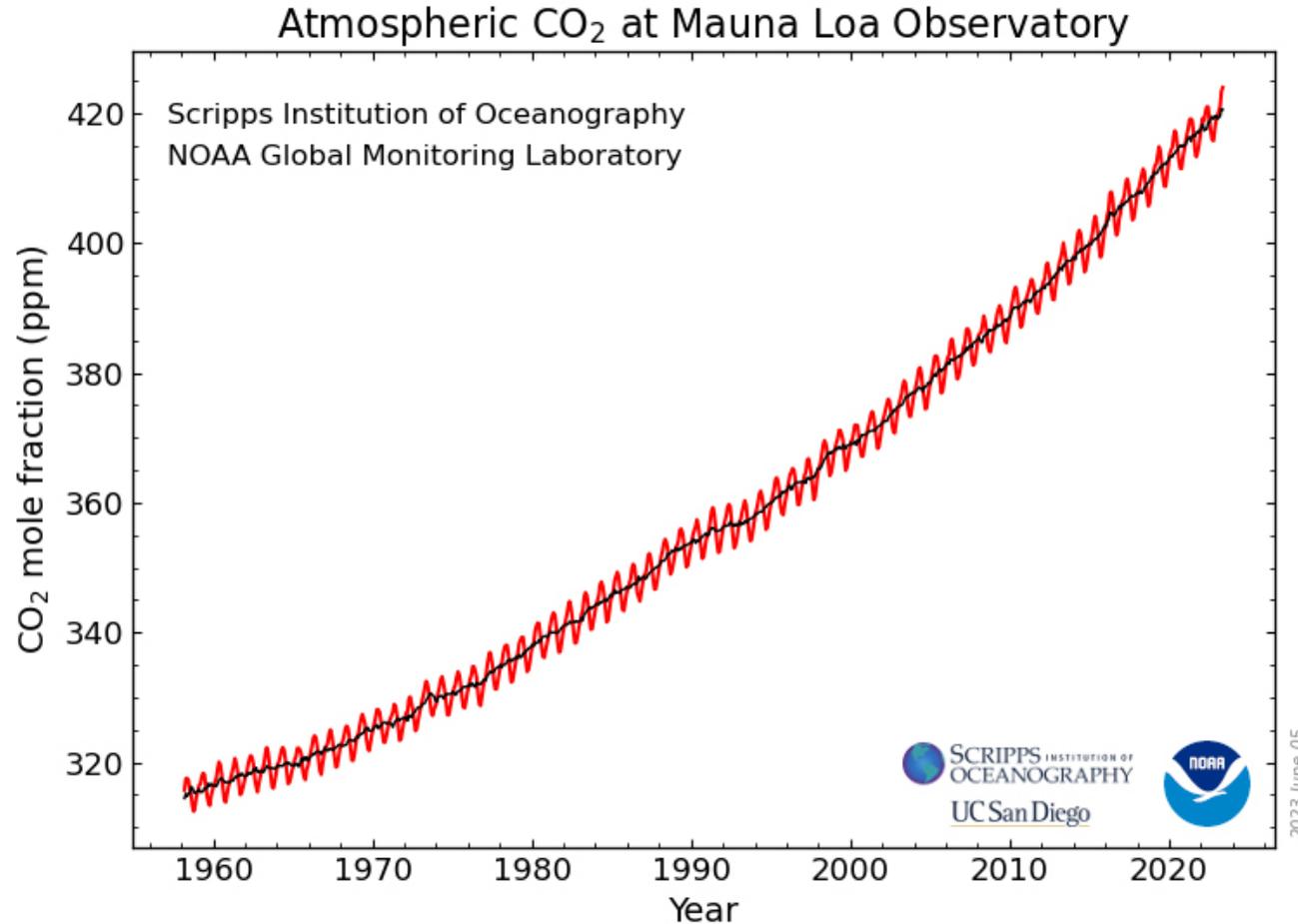
Ausblick



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Ausblick

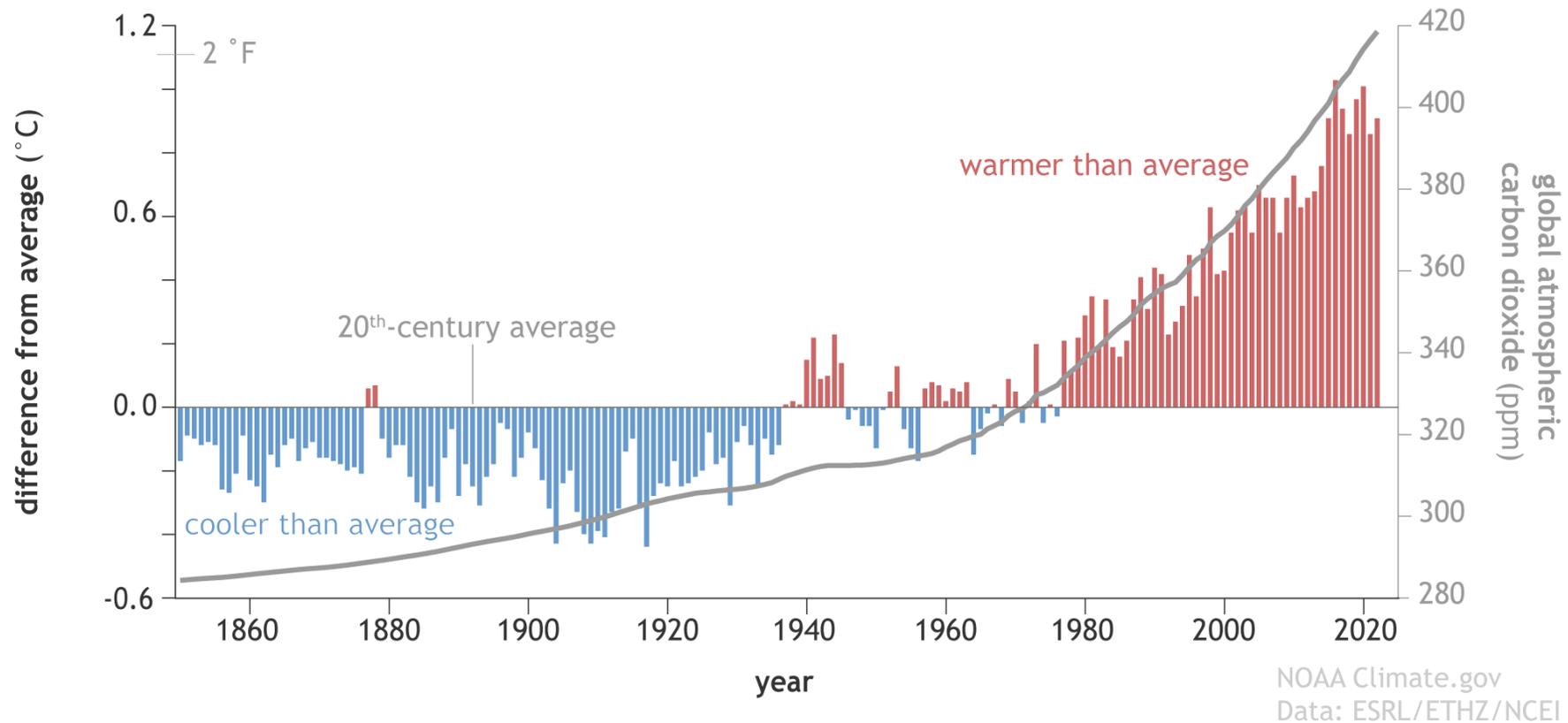


- Keeling Kurve
CO₂-Messung
seit 1958
- Konzentration Ist
seither um 50 %
gestiegen
- Über 300 ppm
erstmalig seit
800.000 Jahren
- Über 400 ppm
erstmalig seit
10 Mio. Jahren
- Seit 10 Monaten
neue
Temperaturrekorde

Korrelation THG - Globaltemperatur

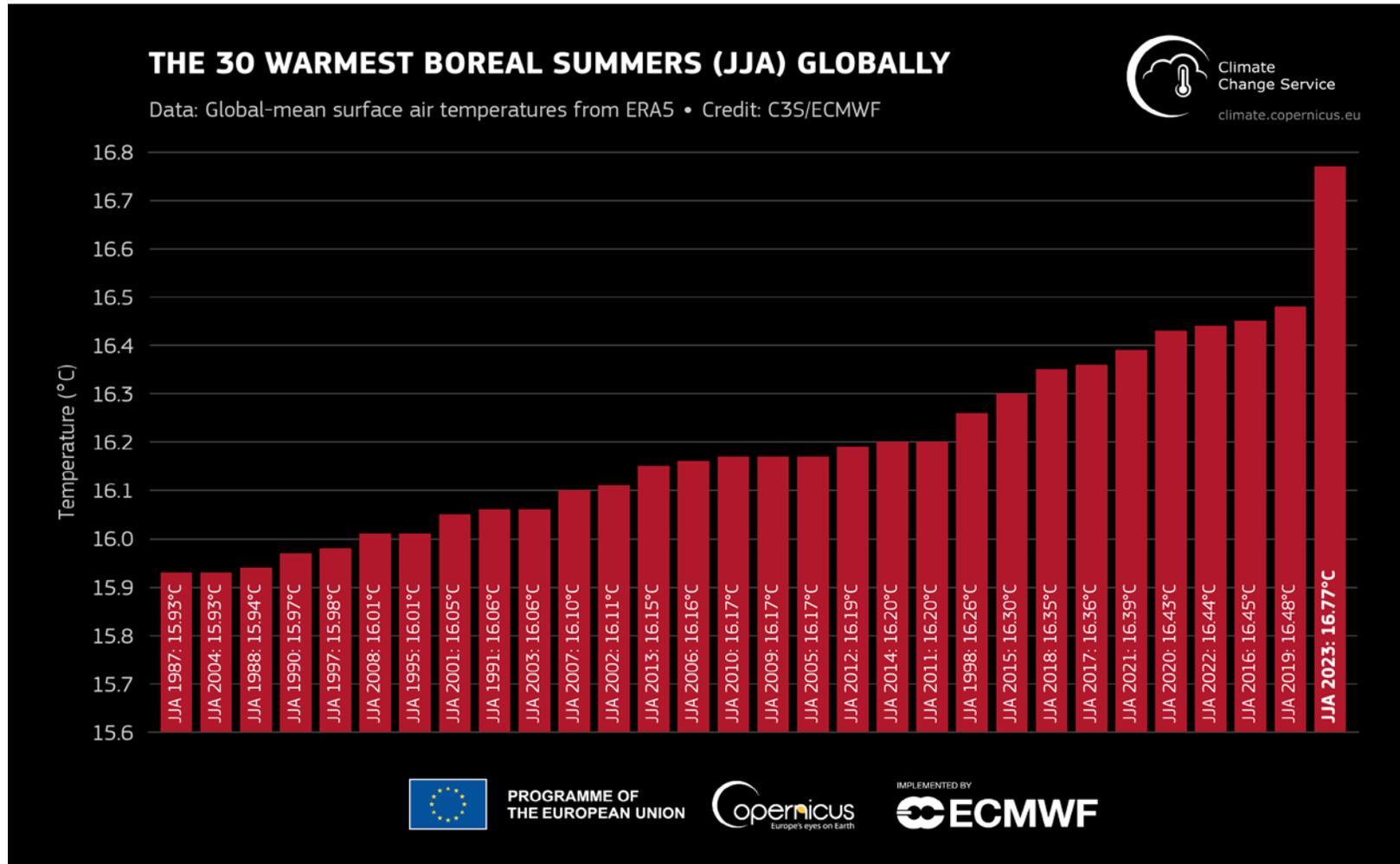
Entwicklung bis 1850 - 2022

Yearly global surface temperature and atmospheric carbon dioxide (1850-2022)



Korrelation THG - Globaltemperatur

Entwicklung bis 1987 - 2023



Das Ziel

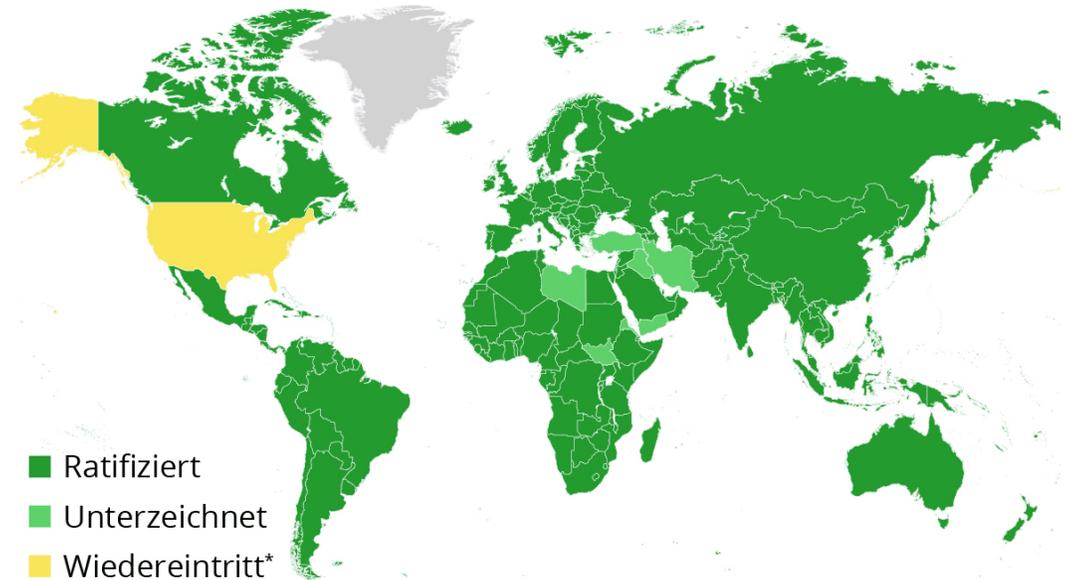
Deutschland auf dem Weg nach Paris

Konsequenzen aus dem Paris-Abkommen

- 2045: Deutschland ist klimaneutral
- 2035: Stromsektor ist klimaneutral
- 2030: 215 GW PV installiert

Der Stand des Pariser Abkommens

Weltweiter Status des Übereinkommens von Paris



* am 20.01.2021 informierte US-Präsident Biden den UN-Generalsekretär, dass die USA zum 19.02.2021 wieder in das Abkommen eintreten werden.

Stand: 21. Januar 2021

Quelle: UNFCC



Das Ziel

Deutschland auf dem Weg nach Paris

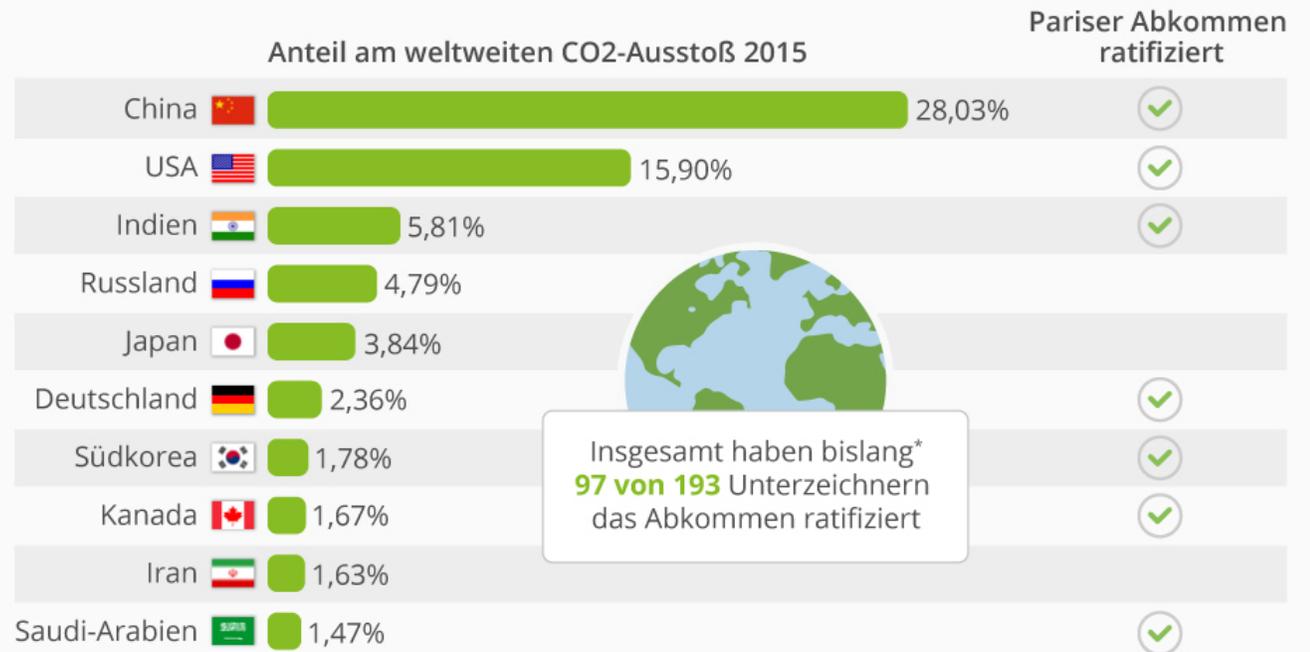
Konsequenzen aus dem Paris-Abkommen

- 2045: Deutschland ist klimaneutral
- 2035: Stromsektor ist klimaneutral
- 2030: 300 GW PV installiert



Pariser Klimavertrag tritt in Kraft

Top 10 CO2-Verursacher und Status des Pariser Klimaabkommens



CC BY ND
@Statista_com

* Stand: 04.11.2016

Quellen: Germanwatch/EIA, United Nations

statista

Das Ziel

Baden-Württemberg auf dem Weg nach Paris

Konsequenzen aus dem Paris-Abkommen

Ziel d. Bundesregierung 215 GW bis 2030
Installierte Leistung DE 75 GW → Zubau bis 2030: 20 GW/a

Bevölkerung DE / BW: Faktor 7,35

bei 20 GW/a → BW 2,7 GW/a

Das Ziel

Baden-Württemberg auf dem Weg nach Paris

Konsequenzen aus dem Paris-Abkommen

Ziel d. Bundesregierung 215 GW bis 2030
Installierte Leistung DE 75 GW → Zubau bis 2030: 20 GW/a

Bevölkerung DE / BW: Faktor 7,35

bei 20 GW/a → BW 2,7 GW/a

bei 30 GW/a → BW 4,1 GW/a

Das Ziel

Baden-Württemberg auf dem Weg nach Paris

Konsequenzen aus dem Paris-Abkommen

Ziel d. Bundesregierung 215 GW bis 2030
Installierte Leistung DE 75 GW → Zubau bis 2030: 20 GW/a

Bevölkerung DE / BW: Faktor 7,35

bei 20 GW/a → BW 2,7 GW/a

bei 30 GW/a → BW 4,1 GW/a

bei 45 GW/a (= Einhalten der Paris-Ziele und 1,7 °C Erwärmung)

6,12 GW/a

Kurze Geschichte und Grundlagen der PV



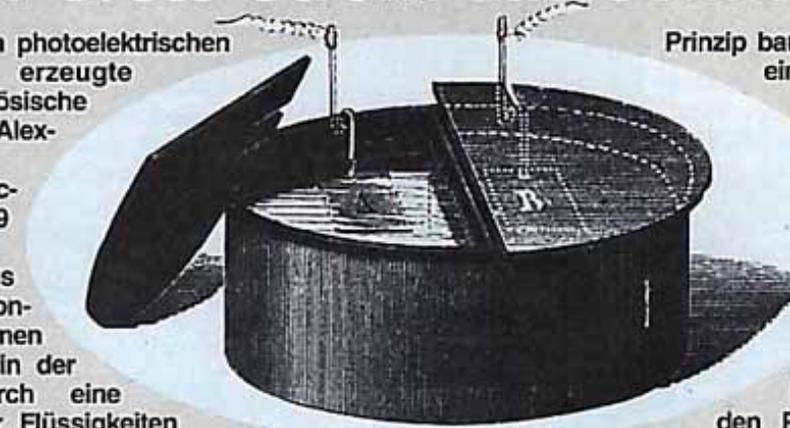
Geschichte

Seit wann gibt es Photovoltaik?

Erste „PV-Anlage“ der Welt

- 1839: A.E. Becquerel entdeckt, dass Licht Spannung erzeugen kann
- erste Vorrichtung mit Stromfluss
- Grundlage? Unbekannt!

Der erste Strom aus Sonnenlicht



Mit diesem photoelektrischen Element erzeugte der französische Physiker Alexandre-Edmond Becquerel 1839 erstmals Strom aus Licht: Er konstruierte einen Topf, der in der Mitte durch eine dünne, für Flüssigkeiten durchlässige, das Licht aber sperrende Membran halbiert war, so daß praktisch zwei Abteilungen entstanden. Auch den Topfdeckel halbierte er, so daß wahlweise die eine oder andere Hälfte über der jeweiligen Abteilung aufgeklappt werden konnte. Den Topf füllte er mit einer chemischen Lösung, tauchte in jede der beiden Abteilungen eine Platte aus Platin (A, B) hinein und verband die beiden Elektroden mit einem empfindlichen Galvanometer. Öffnete man einen der Deckel, so entstand unter der Einwirkung des Lichts ein Potentialunterschied zum dunkel bleibenden Teil, der am Galvanometer abgelesen werden konnte. Nach demselben Prinzip baute Becquerel auch ein „Aktinometer“ zur Messung von Lichtstärken. Die heutigen Solarzellen nutzen nicht die Einwirkung des Lichts auf Elektroden in chemischen Lösungen, sondern den Potentialunterschied und Sperrschicht-Effekt, der beim Auftreffen der Lichtquanten auf die unterschiedlich „dotierten“ Teile eines Halbleiters entsteht. Im übrigen basieren sie aber genauso auf dem photoelektrischen Effekt. Es ist deshalb gerechtfertigt, die Geschichte der Photovoltaik mit Becquerels Entdeckung im Jahre 1839 beginnen zu lassen.

Geschichte

Seit wann gibt es Photovoltaik?

Erste Erklärung des lichtelektrischen Effekts

- 1905: A. Einstein beschreibt Formel $E = h \nu$
- Licht als Teilchen, Energieinhalt entscheidend
- Nobelpreis 1921

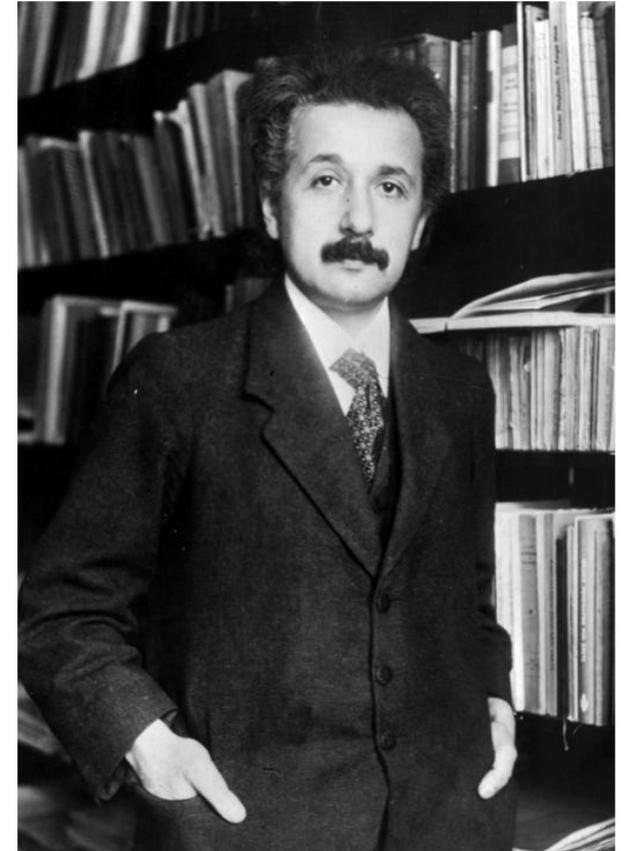


132

6. Über einen
die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes
betreffenden heuristischen Gesichtspunkt;
von A. Einstein.

Zwischen den theoretischen Vorstellungen, welche sich die Physiker über die Gase und andere ponderable Körper gebildet haben, und der Maxwellschen Theorie der elektromagnetischen Prozesse im sogenannten leeren Raume besteht ein tiefgreifender formaler Unterschied. Während wir uns nämlich den Zustand eines Körpers durch die Lagen und Geschwindigkeiten einer zwar sehr großen, jedoch endlichen Anzahl von Atomen und Elektronen für vollkommen bestimmt ansehen, bedienen wir uns zur Bestimmung des elektromagnetischen Zustandes eines Raumes kontinuierlicher räumlicher Funktionen, so daß also eine endliche Anzahl von Größen nicht als genügend anzusehen ist zur vollständigen Festlegung des elektromagnetischen Zustandes eines Raumes. Nach der Maxwellschen Theorie ist bei allen rein elektromagnetischen Erscheinungen, also auch beim Licht, die Energie als kontinuierliche Raumfunktion aufzufassen, während die Energie eines ponderablen Körpers nach der gegenwärtigen Auffassung der Physiker als eine über die Atome und Elektronen erstreckte Summe darzustellen ist. Die Energie eines ponderablen Körpers kann nicht in beliebig viele, beliebig kleine Teile zerfallen, während sich die Energie eines von einer punktförmigen Lichtquelle ausgesandten Lichtstrahles nach der Maxwellschen Theorie (oder Allgemeiner nach jeder Undulationstheorie) des Lichtes auf ein stets wachsendes Volumen sich kontinuierlich verteilt.

Die mit kontinuierlichen Raumfunktionen operierende Undulationstheorie des Lichtes hat sich zur Darstellung der rein optischen Phänomene vortrefflich bewährt und wird wohl nie durch eine andere Theorie ersetzt werden. Es ist jedoch im Auge zu behalten, daß sich die optischen Beobachtungen auf zeitliche Mittelwerte, nicht aber auf Momentanwerte beziehen, und es ist trotz der vollständigen Bestätigung der Theorie der Beugung, Reflexion, Brechung, Dispersion etc. durch das

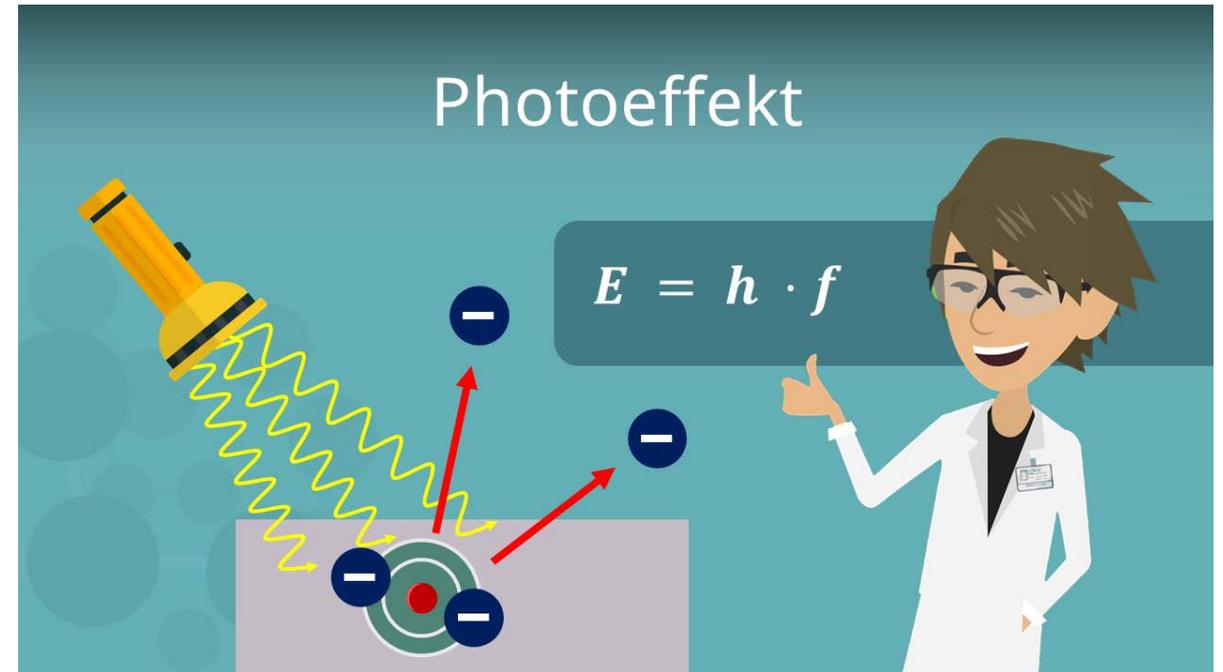
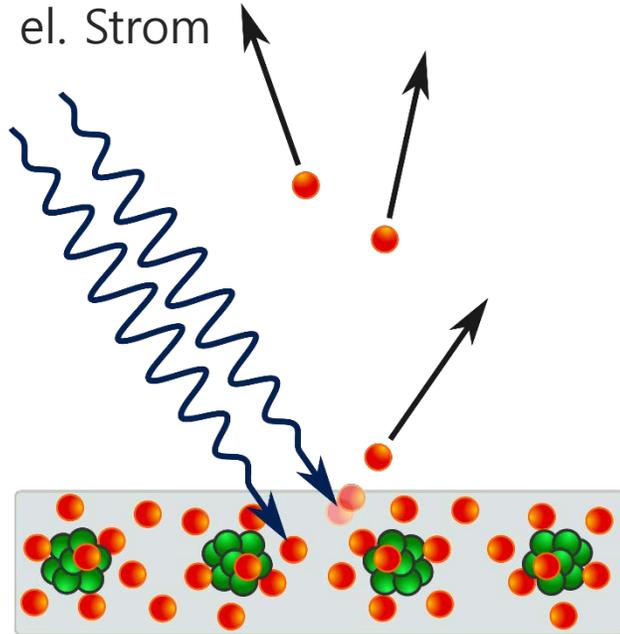


Funktion

Was passiert da?

PV atomar

- Lichtquanten können aus bestimmten Materialien Elektronen lösen
- Elektronenungleichverteilung = Spannung
- Elektronenfluss = el. Strom

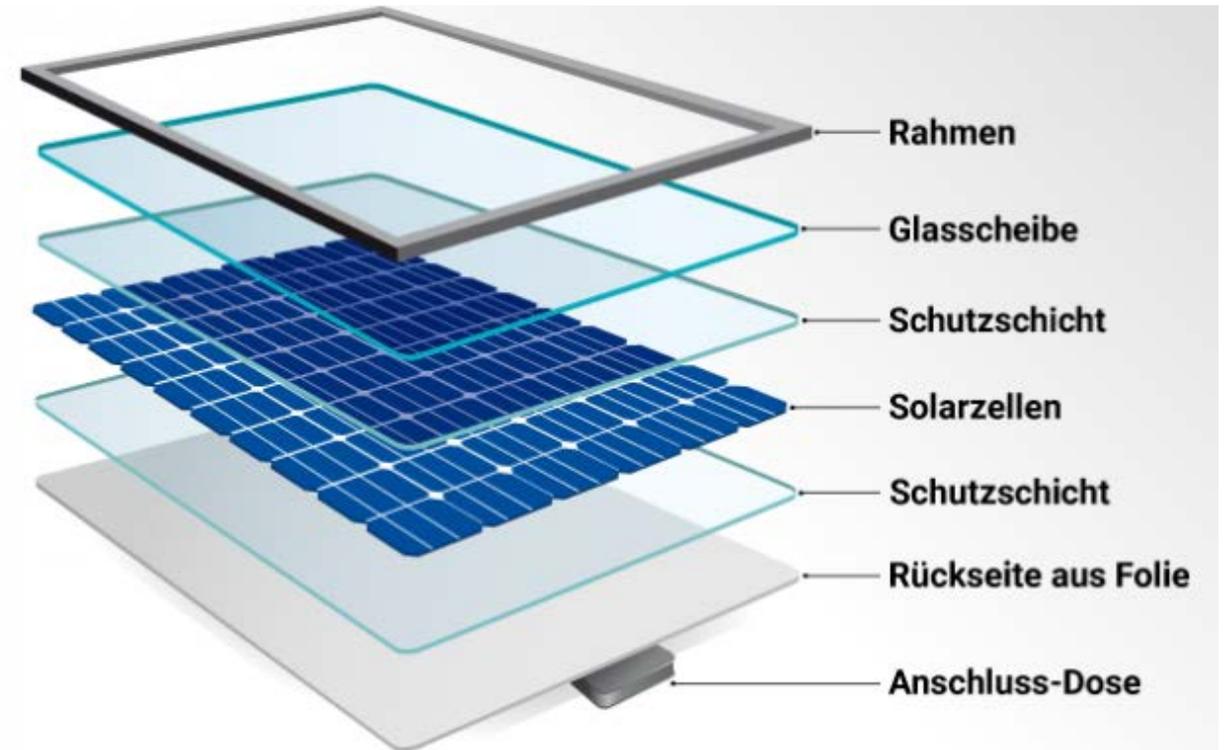
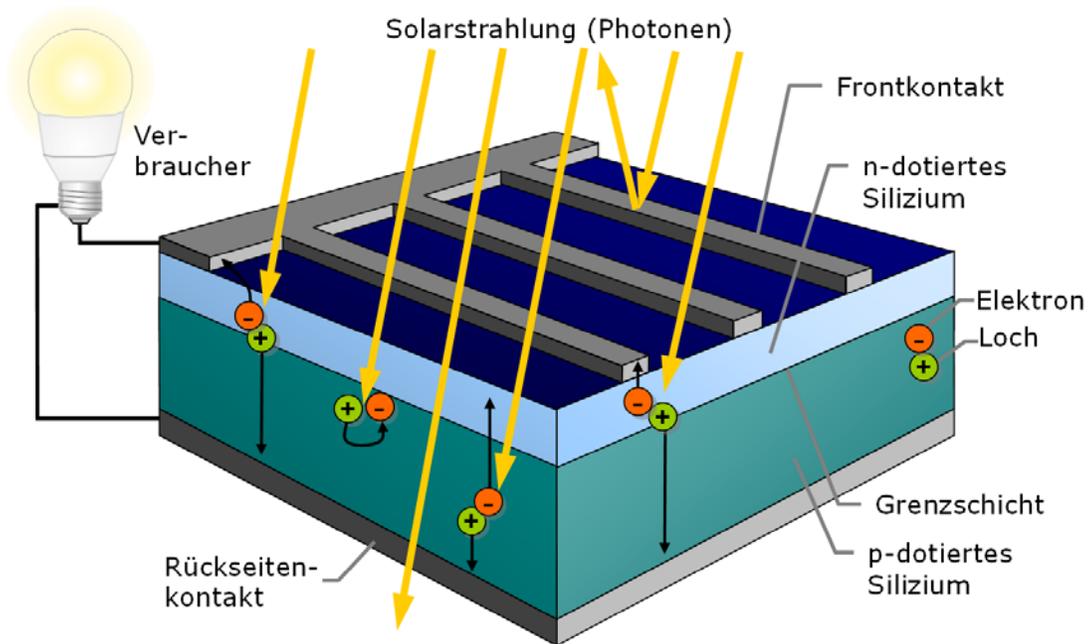


Funktion

Was passiert da?

Technische Umsetzung

- Elektronenungleichverteilung in Halbleiter
- Auf P- und N-Seite abgreifen



Funktion

Wichtigste Komponenten

Gleichstrom (DC) / Wechselstrom (AC)

- PV-Module bilden Solargenerator, liefern Gleichstrom
- Wechselrichter liefern Wechselstrom und steuern die Anlage
- Batteriespeicher „verschieben“ den Solarstrom auf später



Funktion

ideal ... ?



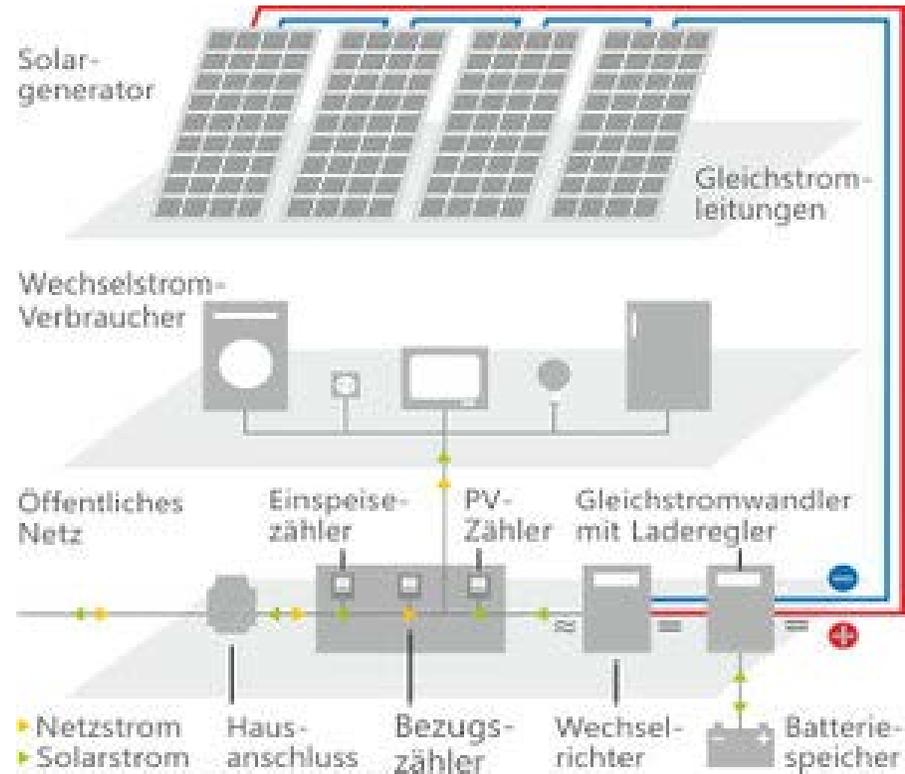
Funktion

Im System



Funktion

So fließt der Strom

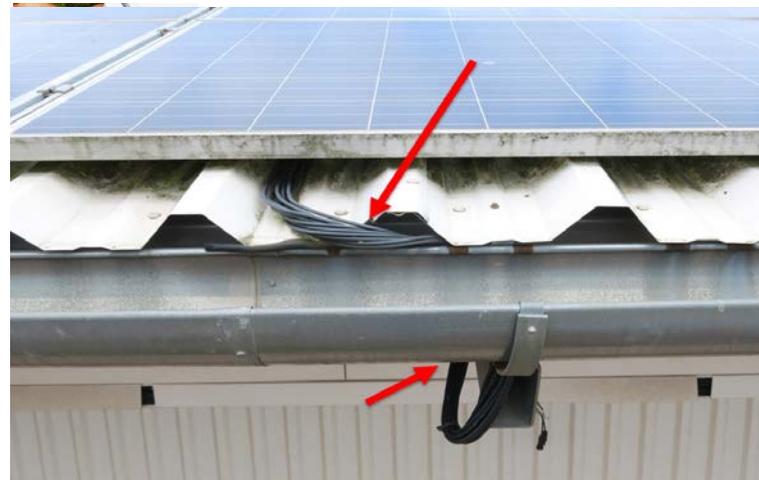
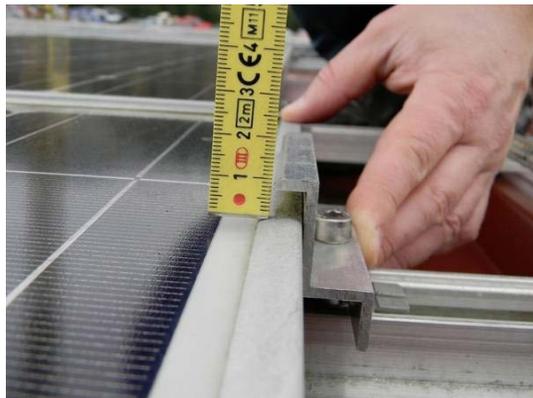


Ersatzschaltbild
einer PV-Anlage mit DC-gekoppelter
Batterie (kann auch AC-gekoppelt sein)

Qualität

Installieren, aber richtig

Erste Pflicht: Saubere Arbeit auf dem Dach!



- Verschattung beachten
- Module sicher befestigen
- Kabel sicher verlegen

Qualität

Installieren, aber richtig

Inbetriebnahme

- Inbetriebnahme = Zeitpunkt des Netzanschlusses und Einspeisung
- darf **ausschließlich** durch eine Elektrofachkraft erfolgen (VDE)
- vermittelt durch Installationsfirma oder Anlagenbetreiber
- Registrierung beim Netzbetreiber
- Inbetriebnahmeprotokoll vor Ort

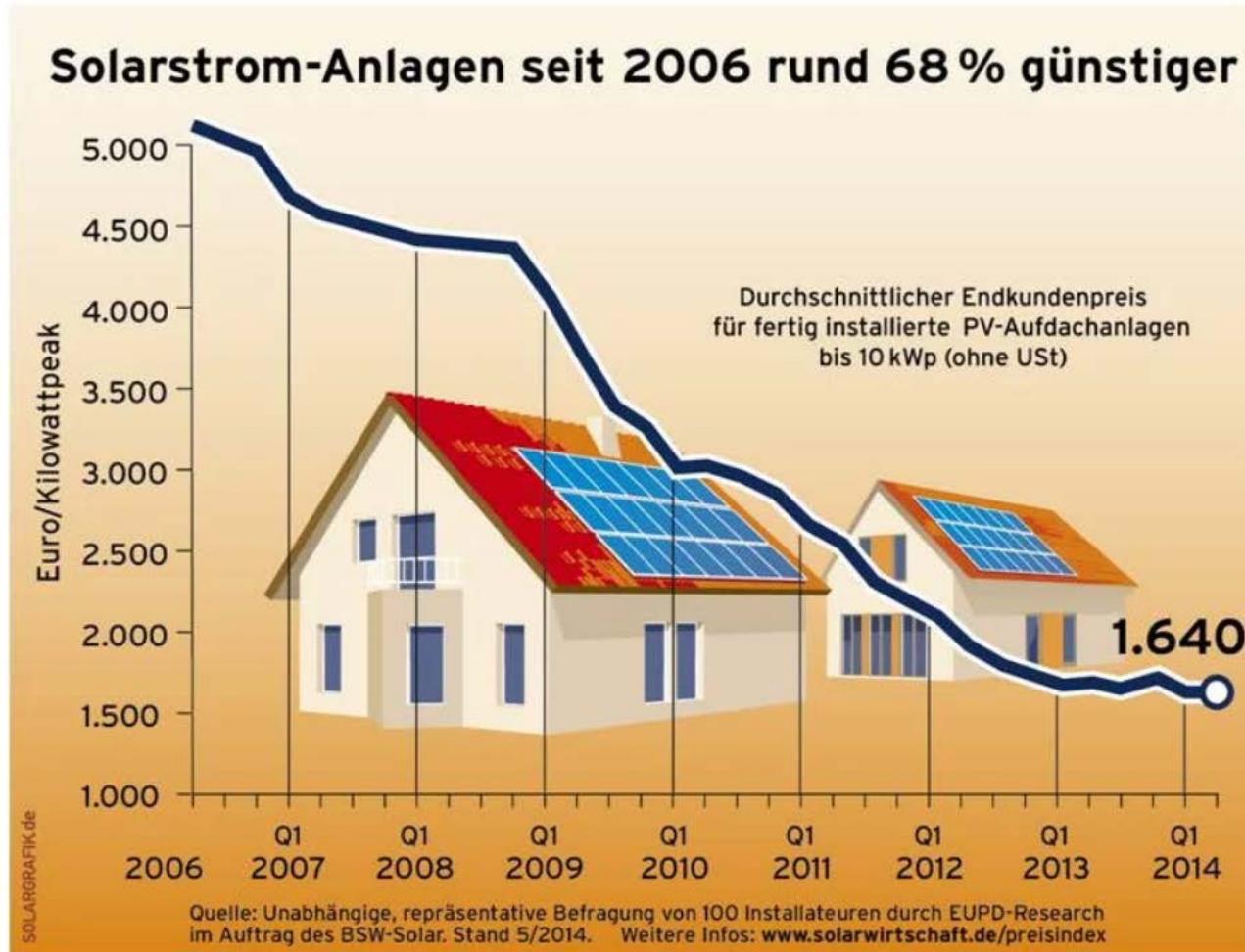


PV und die Preisfrage



Preis für Aufdach-Anlagen

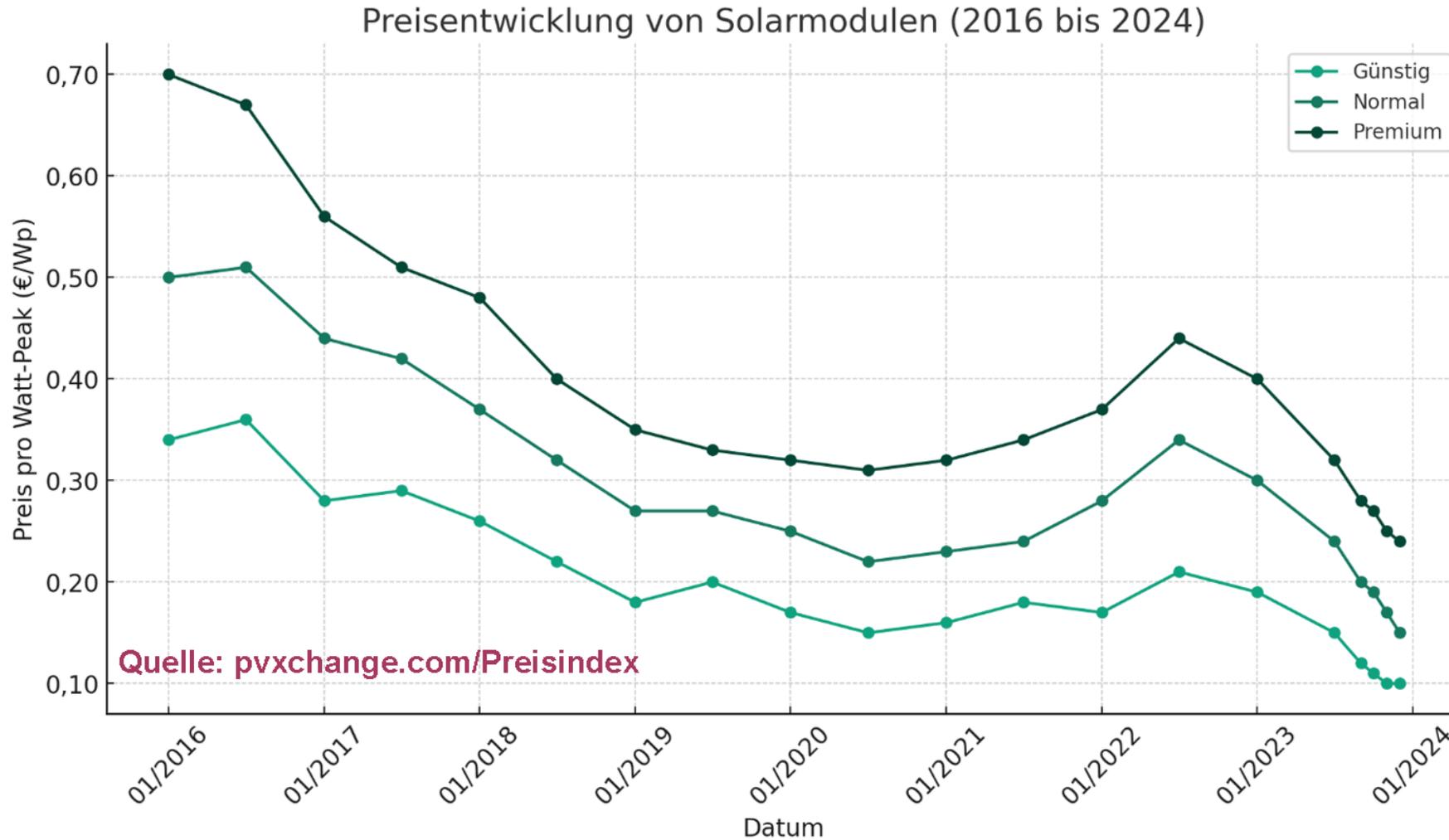
Module / Systemkomponenten (bis 10 kWp Nennleistung in D.)



Die Preise für Photovoltaikanlagen sind in den vergangenen 8 Jahren um mehr als 60% gesunken. (Grafik: BSW-Solar)

Preise für PV-Module

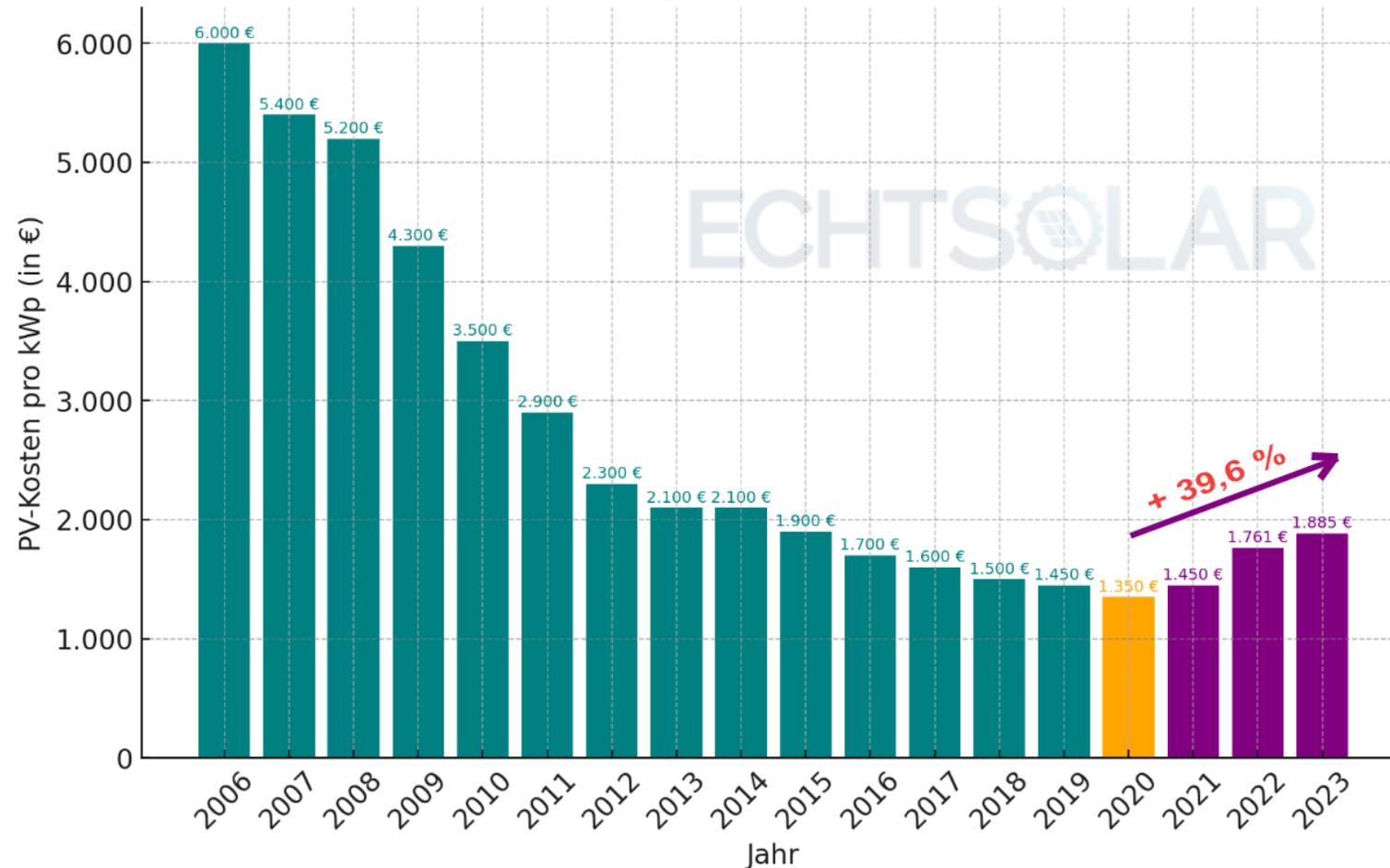
Module (Preis normiert pro Watt)



Preise für PV-Module

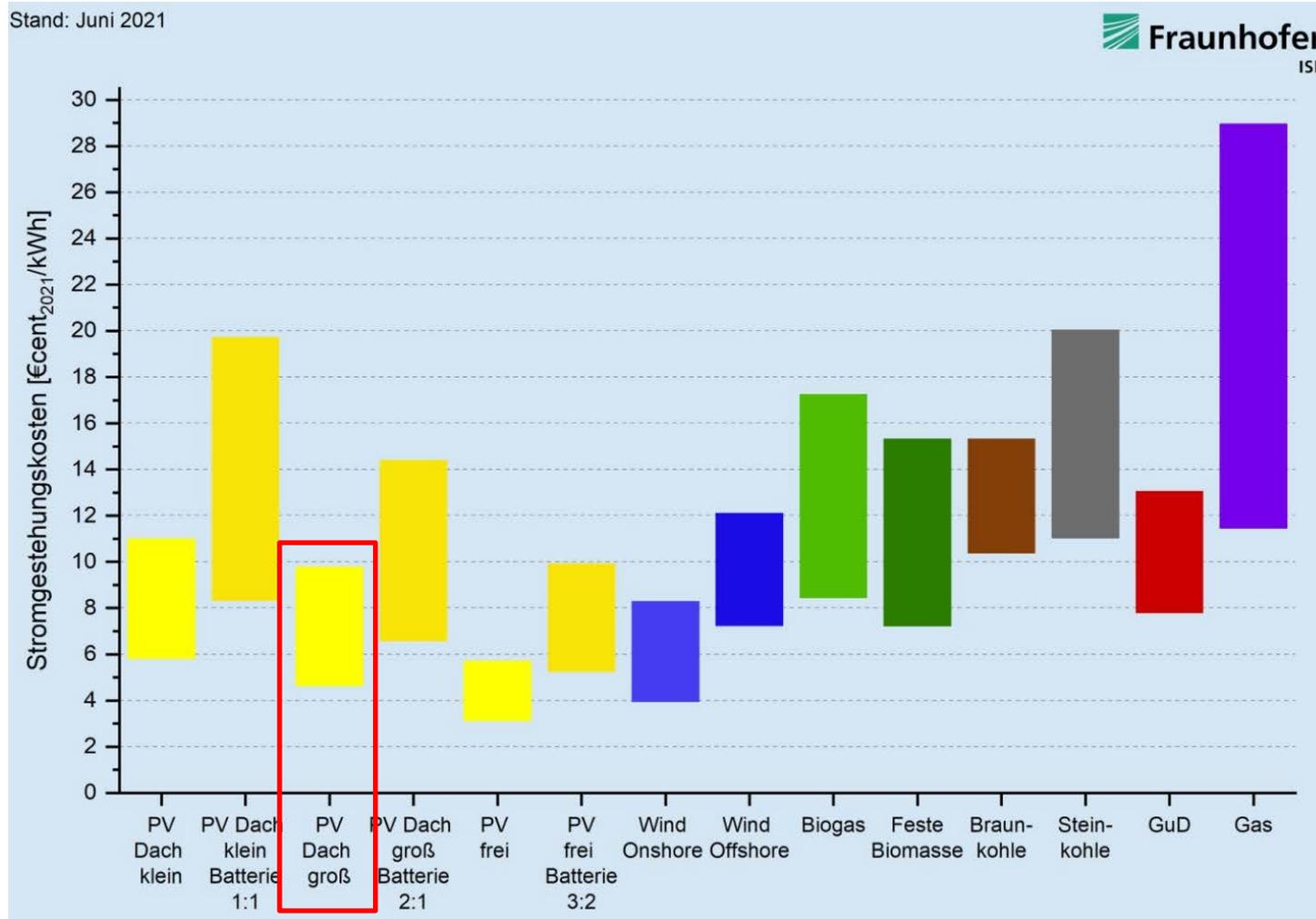
Anlagenpreise je kW installiert

Preisentwicklung von PV-Anlagen (2006-2023)



Photovoltaik = preiswerter Klimaschutz

Photovoltaikanlagen produzieren Strom am günstigsten



Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke an Standorten in Deutschland im Jahr 2021. © Fraunhofer ISE

Photovoltaik lohnt sich

Einspeisevergütungen, Stand April 2024

| | | |
|--|-----------|--------------------------------|
| Gebäudeanlagen mit Volleinspeisung | ≤ 10 kWp | 12,9 Ct / kWh |
| | ≤ 40 kWp | 10,8 Ct / kWh |
| | ≤ 100 kWp | 10,8 Ct / kWh |
| | ≤ 400 kWp | Direktvermarktung ¹ |
| | ≤ 1 MWp | Direktvermarktung ² |
| Gebäudeanlagen mit Überschusseinspeisung | ≤ 10 kWp | 8,1 Ct / kWh |
| | ≤ 40 kWp | 7,0 Ct / kWh |
| | ≤ 100 kWp | 5,7 Ct / kWh |
| | ≤ 1 MWp | Direktvermarktung ³ |
| Sonstige Anlagen | ≤ 100 kWp | 6,6 Ct / kWh |

¹ Anzulegender Wert: 9,4 Ct / kWh

² Anzulegender Wert: 8,1 Ct / kWh

³ Anzulegender Wert: 6,2 Ct / kWh

Ab 01.02.2024: halbjährliche Verringerung um 1,0 %

Für PV-Anlagen größer 1 MW wird die Vergütung im Ausschreibungsverfahren ermittelt.
Bei der Ausschreibungsrunde Februar 2024 betrug der Durchschnittswert 8,92 Ct / kWh

Steuern – entfallen

Kosten PV-Strom

Seit Januar 2023

- Umsatzsteuer für Erwerb und Einspeisevergütungen: 0 %
- Verzögerungen beim Anlagenbau haben keinen Einfluss auf die Vergütung
- Einnahmen aus dem Betrieb von PV-Anlagen (Einfamilienhäusern oder Gewerbeimmobilien) bis 30 kW: ab 2022 (!) steuerfrei gestellt
- unabhängig von der Verwendung des Stroms



Steuern – entfallen

Kosten PV-Strom

- Auf Ertrag einer PV-Anlage <30 kW, auf Mehrfamilienhäusern <100 kWp, ist keine Einkommensteuer zu zahlen
- gilt auch für Bestandsanlagen
- Eigenverbrauch dank des Nullsteuersatzes ab 2023 nicht mehr zu versteuern
- Gilt auch für PV-Anlage mit Speicher



Strom selbstgemacht – mit PV

Kosten PV-Strom

Gestehungskosten einer 10 kW-Anlage
(Anschaffung ca. 1.700 EUR/kW)

Strom direkt: ≤ 10 Ct/kWh
aus Batterie: ≤ 20 Ct/kWh
1 kW (ca. 7 m²) liefert ca. 1.000 kWh/a

PV-Rechner Lichtblick: www.lichtblick.de/wissen/solar/photovoltaik-rechner

Jedoch: Strombeitrag in Heizperiode zu gering
→ Kombination mit Windstrom: Einkauf z.B. über tibber.com
(umgeht Aufschläge des „klassischen“ Stromhandels)



Kosten der Klimaschäden

CO₂-Preis steigt kontinuierlich

CO₂-Preis

2023: ausgesetzt

2024: 45 EUR/t

2025: 50 EUR/t

2026: 55 – 65 EUR/t

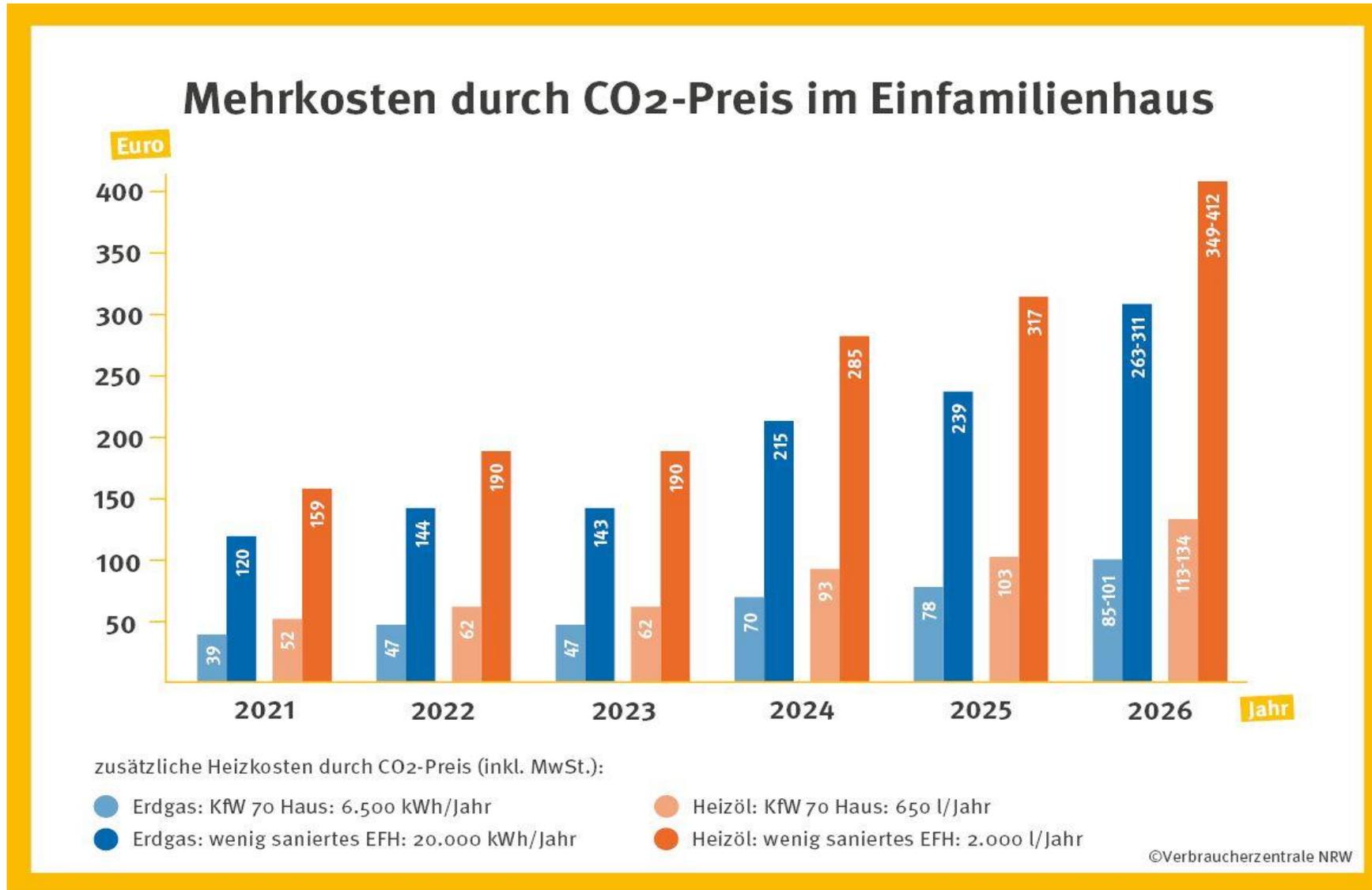
(älteres) Einfamilienhaus: 20.000 kWh/a

Gasheizung 201 gr/kWh → 4,02 t/a: 2025 rd. **240 EUR** (bei 50 EUR/t + 19% MwSt.)

Ölheizung 266 gr/kWh → 5,3 t/a: 2025 rd. **317 EUR** (bei 50 EUR/t + 19% MwSt.)

KfW 70-Haus 6.500 kWh/a → Differenz: Faktor 3 (!) bei allen energiebezogenen Kosten

Kosten der Klimaschäden



Überall PV? So geht's!



Mieterstrom

Strom vom Dach für alle

PV kommt in die Stadt

- Strom ohne Eigenheim
- Strom ohne Eigeninvestition
- Strom ohne Eigenarbeit



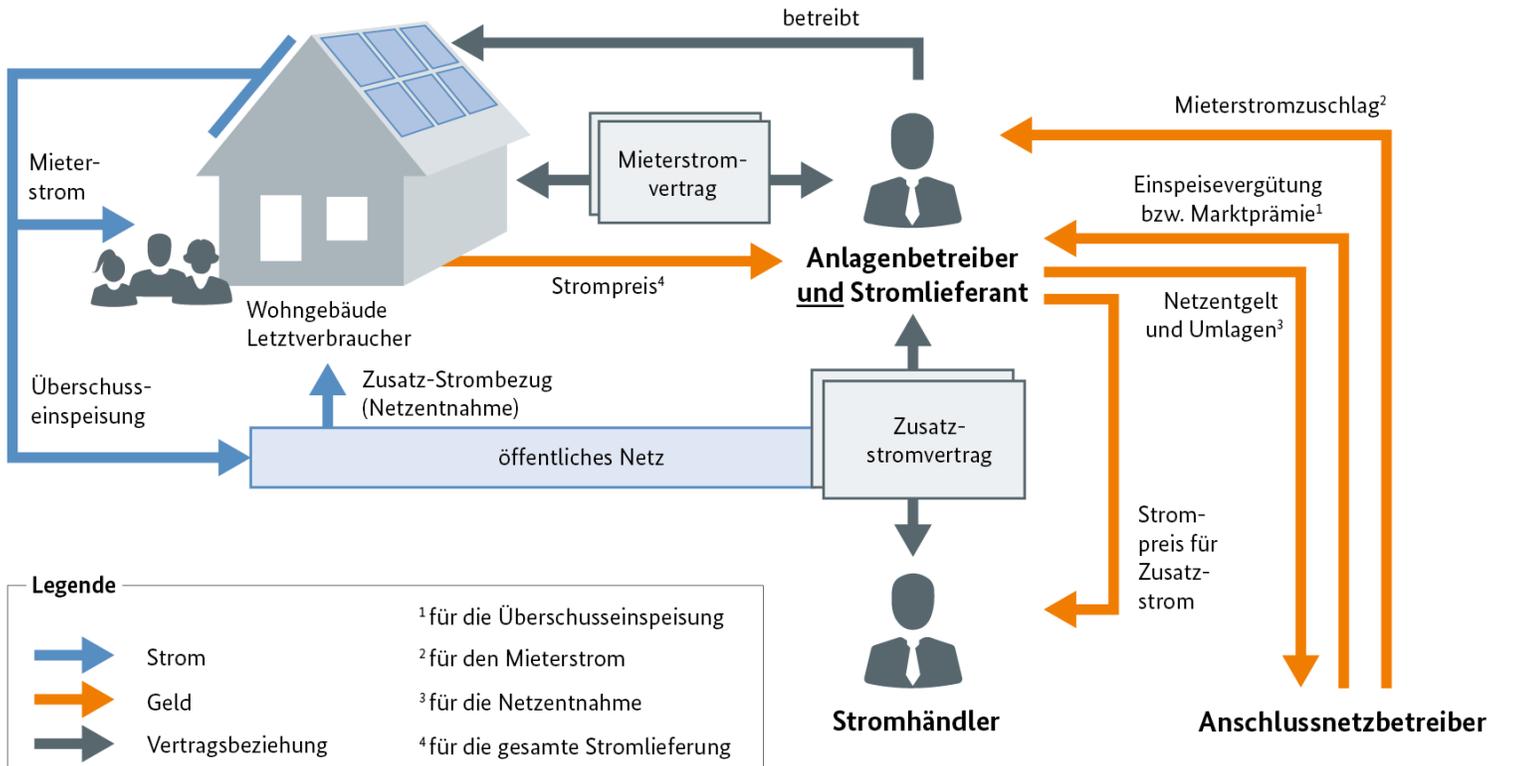
Mieterstrom

Strom vom Dach für alle

PV kommt in die Stadt

- Betreiber sorgt für Strom aus Anlagen bis 100 kW
- Dachpreis 10 % unter Netzpreis
- Dienstleister entwickeln Abrechnungssoftware

Grundmodell: Mieterstromlieferung des Anlagenbetreibers



Balkon-PV

Strom zuhause gemacht

Einfach

- 800 W = 2-3 Module
- Per Stecker ins Hausnetz
- Anmeldung in Marktstammdatenregister
- Zustimmungspflicht durch Vermieterinnen bleibt 2024 bestehen



Gewerbe-PV

Strom vom Firmendach

Günstig

- Strom unter 5 Ct/kWh
vgl. „Industriestrompreis“ 6 Ct/kWh
- Direktverbrauch im Betrieb
- Peak Shaving:
senkt Kosten Anschlussleistung



Agri-PV

Strom vom Feld

Gut für die Ernte

- Doppelter Nutzen
- Zusätzliches Einkommen
- Schutz für empfindliche Kulturen



Stand heute – und morgen

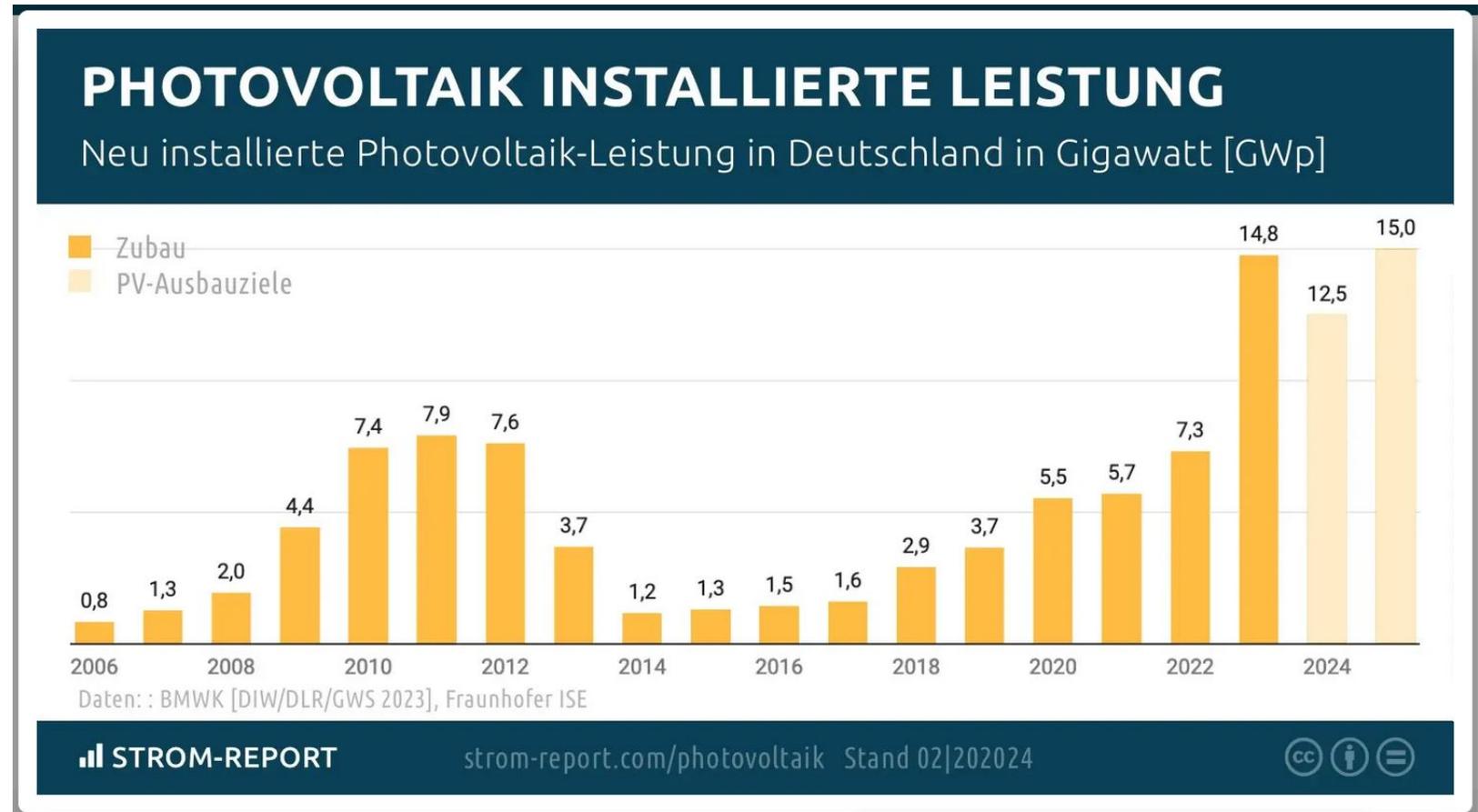
Aufschwung in Deutschland

Anlagen in Deutschland

- aktuell: 3,7 Mio. PV-Anlagen
- 2023: 1 Mio. neue Anlagen

Split

- FFPV 31 %
- Gewerbedächer 18 %
- privaten Haushalte 51 %
- Balkonkraftwerke 420.000



Stand heute – und morgen

Aufschwung weltweit

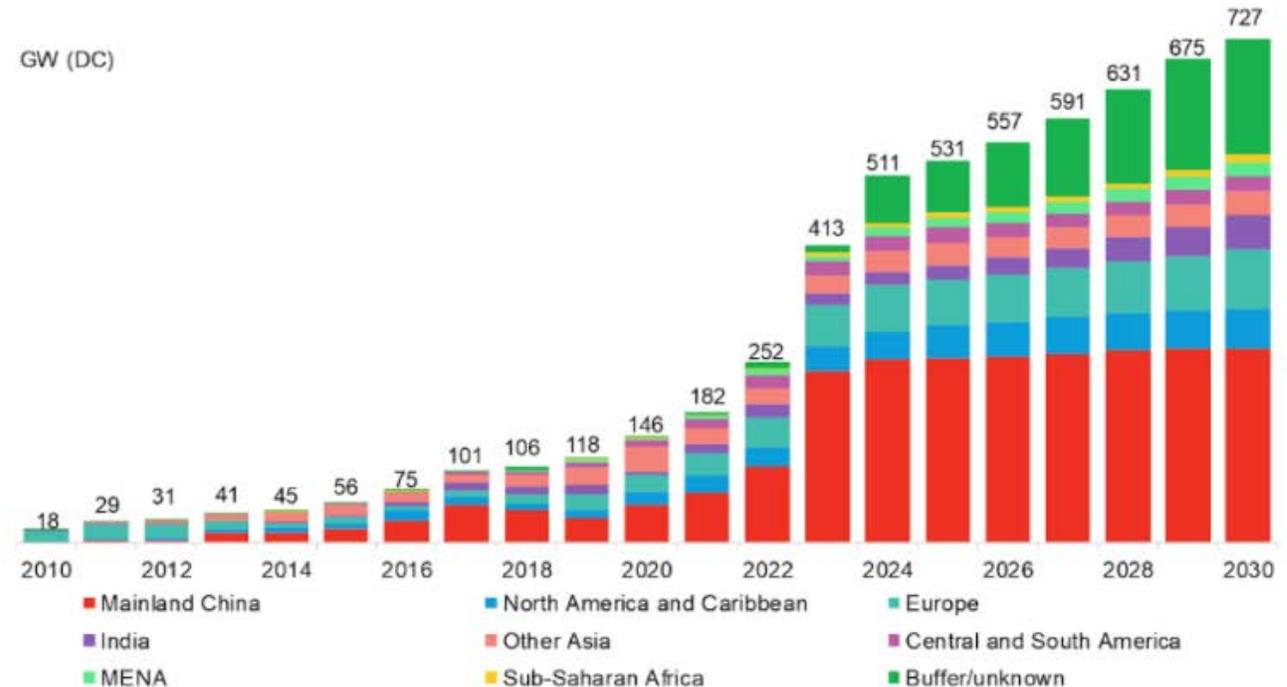
Anlagen weltweit

- aktuell: ca. 1.200 GW

Steigerungsrate

- 400-700 GW / a

Historical and mid-scenario forecast for global PV installation



Source: BloombergNEF. Note: MENA is Middle East and North Africa. Details in BNEF's Capacity tool ([web](#) | [terminal](#)).

PV-Pflicht Baden-Württemberg

In Neu- und Altbau

nach **Klimaschutzgesetz** des Landes Baden-Württemberg
Photovoltaik-Pflicht-Verordnung:

01.01.2022 Neubau Nicht-Wohngebäude

01.05.2022 für Neubau Wohngebäude

01.01.2023 Grundlegende Dachsanierung

- Stichtag für Neubauten ist die Einreichung des Bauantrags, für grundlegende Dachsanierungen gilt der Baubeginn.
- mindestens 60 % der relevanten Dachfläche sind zu nutzen
- Der Nachweis erfolgt spätestens 12 Monate nach Fertigstellung



Empfohlen: „Praxisleitfaden zur Photovoltaik-Pflicht“

https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Praxisleitfaden-Photovoltaikpflicht-barrierefrei.pdf

PV-Pflicht Baden-Württemberg

Parkplatz-PV: Strom und Schatten

Pflicht in BW

- Pflicht ab 35 Stellplätzen
- Doppelnutzung bereits (teil-)versiegelter Flächen
- Sonnen- u. Witterungsschutz für Fahrzeuge
- Meist große, unverschattete Flächen
- Direktes Laden von E-Fahrzeugen
- Imagegewinn
- Verbesserung der CO₂-Bilanz
- Wirtschaftliche Geschäftsmodelle möglich



Im Zweifel – einfach das richtige Tun

PV-Zubau – alle Optionen nutzen



Im Zweifel – einfach das richtige Tun

PV-Zubau – alle Optionen nutzen



Im Zweifel – einfach das richtige Tun

PV-Zubau – alle Optionen nutzen



Im Zweifel – einfach das richtige Tun

PV-Zubau – alle Optionen nutzen



Im Zweifel – einfach das richtige Tun

PV-Zubau – alle Optionen nutzen



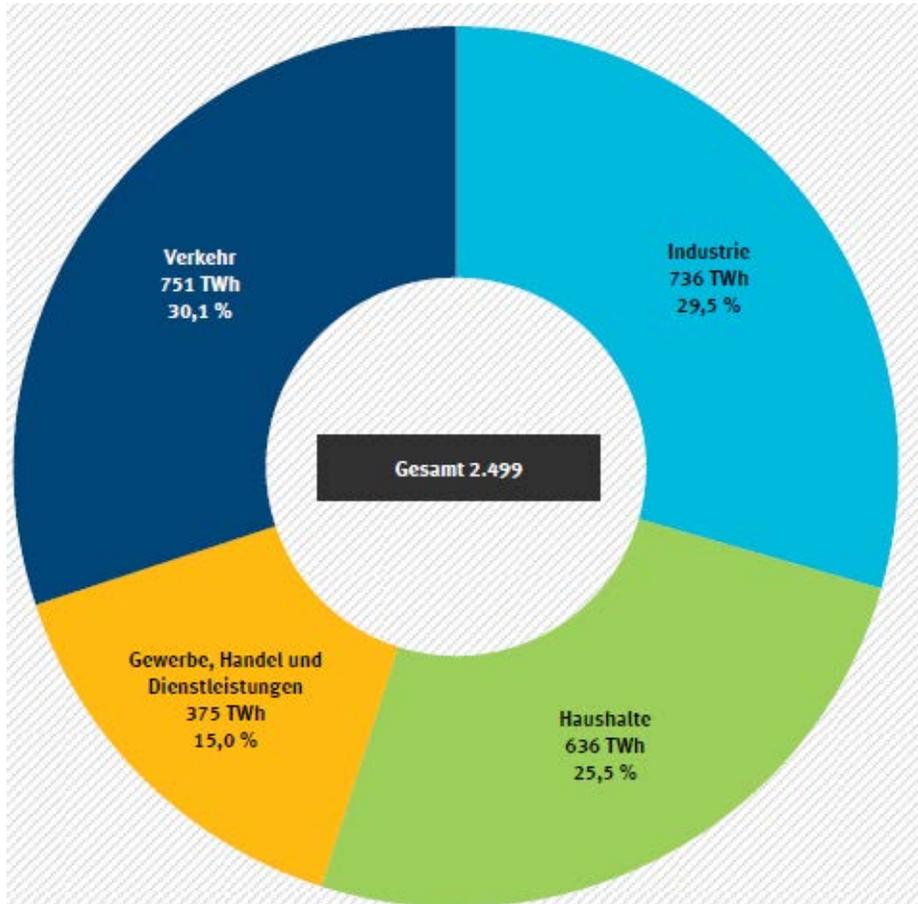
Herausforderungen der PV



Strombedarf der Sektorkopplung

Haushalte verbrauchen ca. 130 TWh = 28 % des dt. Stromangebots

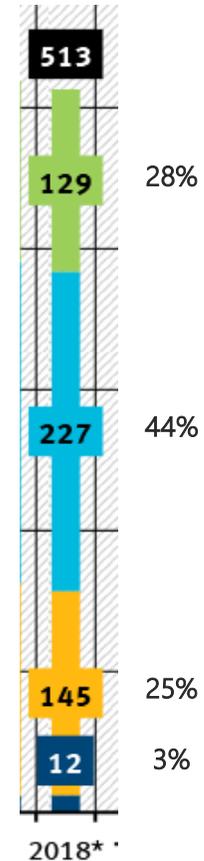
Endenergiebedarf



Endenergieverbrauch 2018 nach Sektoren und Energieträgern

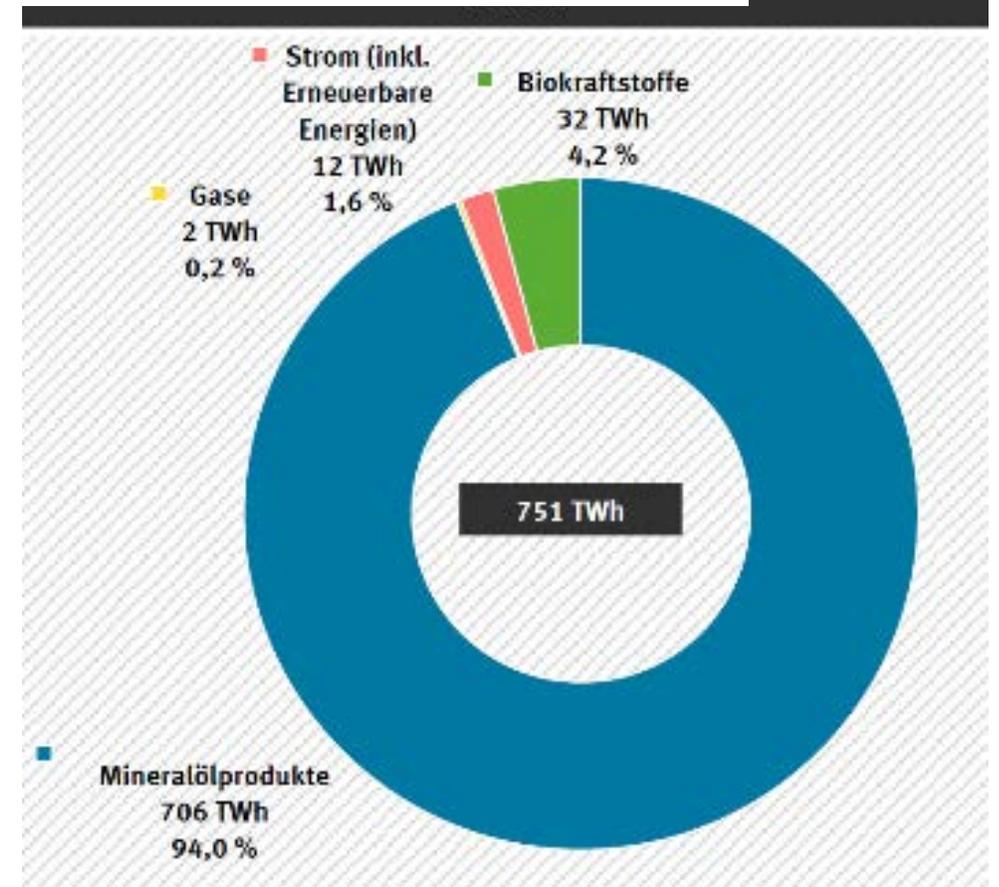
Quelle: Umweltbundesamt auf Basis Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

nur Strom
in TWh



2018*

nur Verkehr



Netze ausbauen

Transport und Verteilung

Flaschenhals Netzzugang

- Netzkapazitäten oft zu gering für geplanten Leistung
- Anschluss dauert manchmal sehr lange
- Infrastruktur (z.B. Umspannwerke) muss wachsen



Lebensdauer gewährleisten

Wie lange funktioniert ein PV-Modul?

Ältestes PV-System Europas

- 10 kW- Anlage
der Fachhochschule SUPSI, Lugano:
speist ins Netz ein seit 1982
- eta Module 1982 = 10 %
- Degradation: die meisten Module haben
noch mind. 80 % der ursprünglichen Leistung



Blick auf die Ressourcen

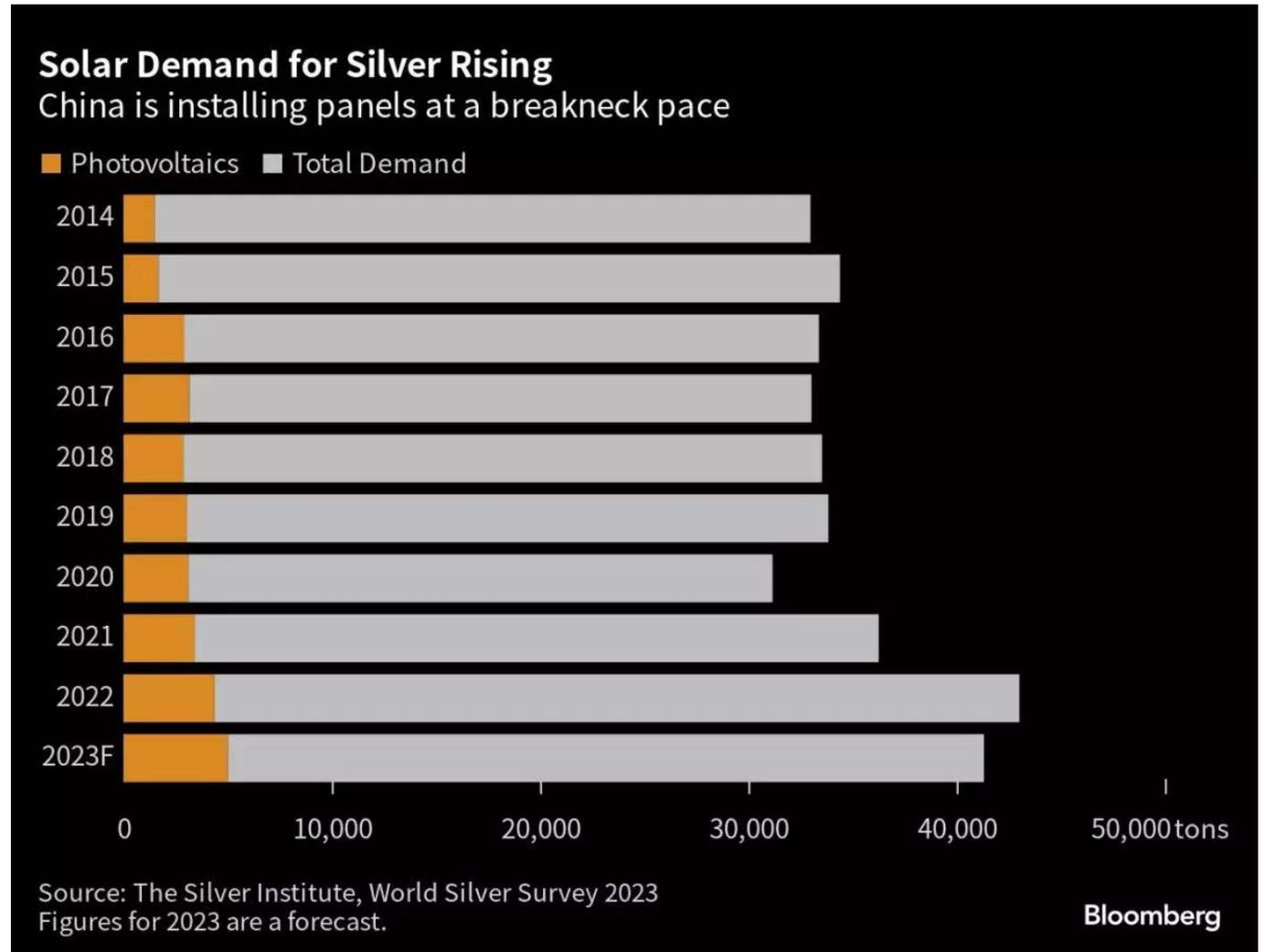
Materialien DC – Beispiel Silber

Weltfördermenge

- 23 bis 35 t / a

Silberbedarf Solarzellen

- 2011: 70 mg / W
- 2022: 19,5 mg / W
- in Summe 2024 ca. 15 %



Blick auf die Ressourcen

Materialien DC – Beispiel Silber

Weltfördermenge

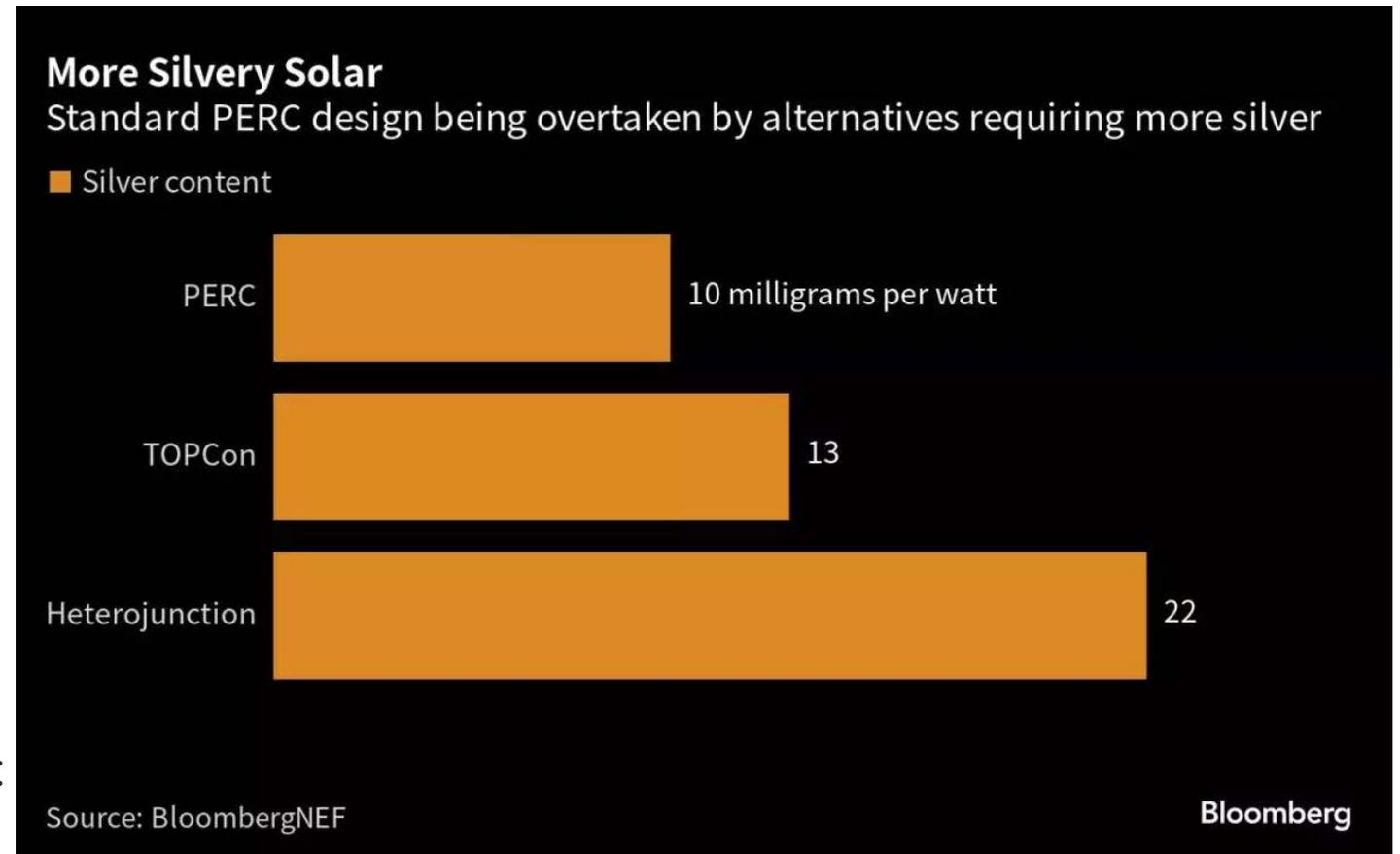
- 23 bis 35 t / a

Silberbedarf Solarzellen

- 2011: 70 mg / W
- 2022: 19,5 mg / W
- in Summe 2024 ca. 15 %
- in Summe 2030 >90 %

Ziel

- 2040: 27 Mio. t
- Silberverbrauch 20 % der Fördermenge:
Ag/W bis 2030 auf 2 mg/ W senken
- Silberfreie Technologien



PV – runde Sache im Eckigen



Take Home Message

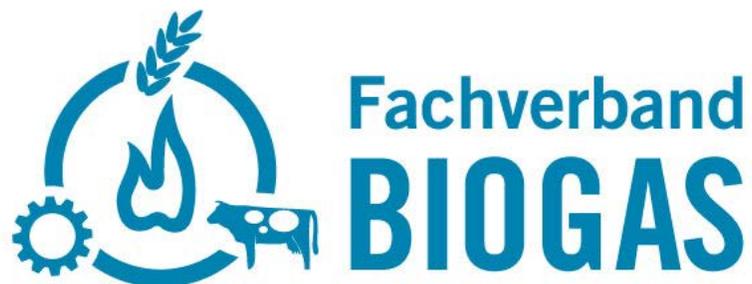
PV ist eine zentrale Säule unserer Energieversorgung

- **Technik ist etabliert**
- **Strom ist günstig zu erzeugen**
- **Im Wesentlichen klimaneutral**
- **Flächen sind vorhanden**
- **Alle können mitmachen**
- **Trotzdem: weiter Strom Sparen ;-)**



DIE GRÜNDUNGSMITGLIEDER DER PLATTFORM

Alle Erneuerbaren Energien vertreten:





Solar Cluster Baden-Württemberg e.V.

Meitnerstraße 1, 70563 Stuttgart

+49 711 7870-309

info@solarcluster-bw.de

www.solarcluster-bw.de