



# WOCHE DER ERNEUERBAREN

## Photovoltaik im Jahr 2024

---

Andreas Schlumberger, Solar Cluster Baden-Württemberg



# **Warum Erneuerbare? Warum PV?**

---



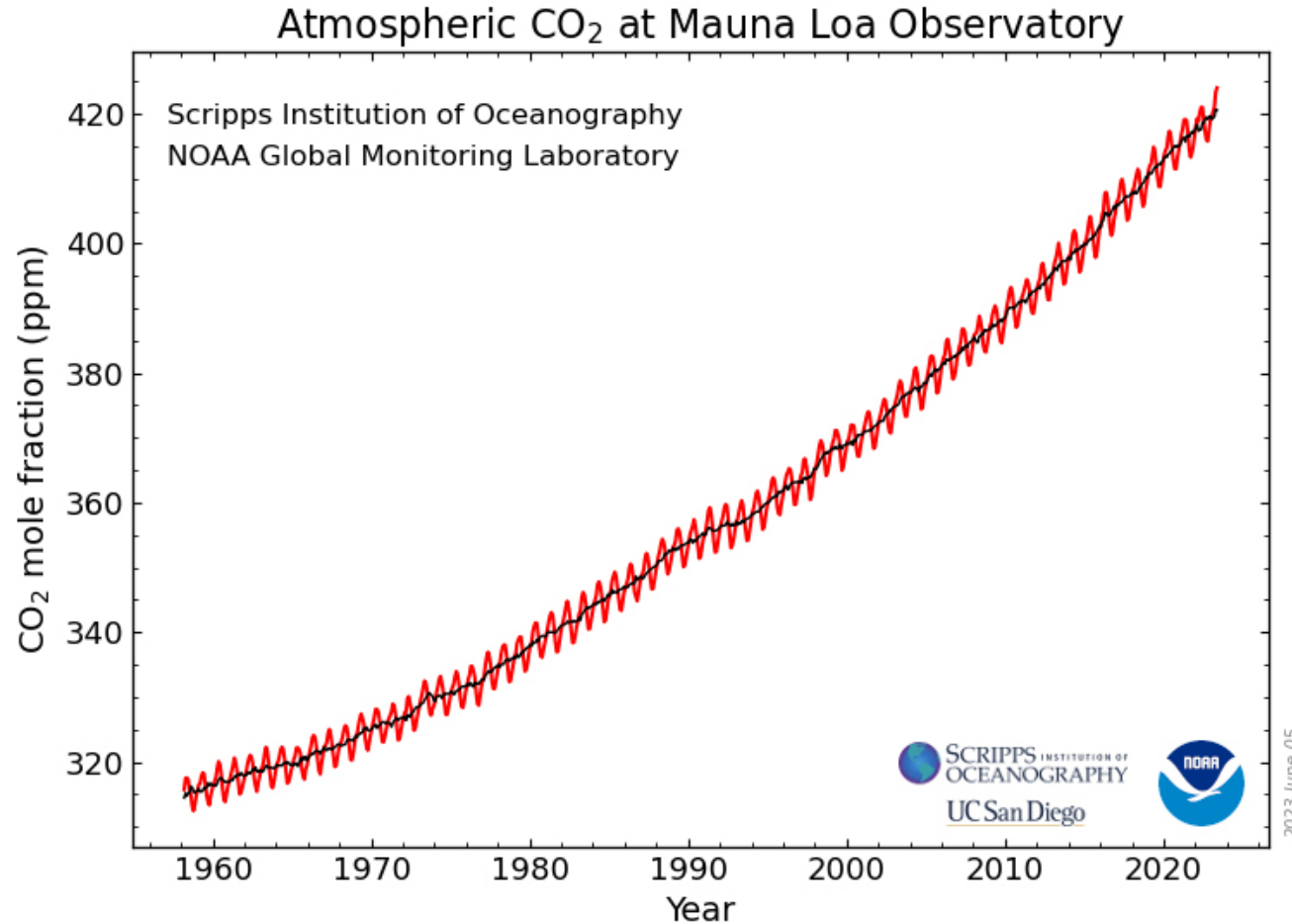
# Ausblick



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

# Ausblick



- Keeling Kurve

CO<sub>2</sub>-Messung  
seit 1958

Konzentration ist  
seither um 50 %  
gestiegen

Über 300 ppm  
erstmals seit  
800.000 Jahren

Über 400 ppm  
erstmals seit  
10 Mio. Jahren

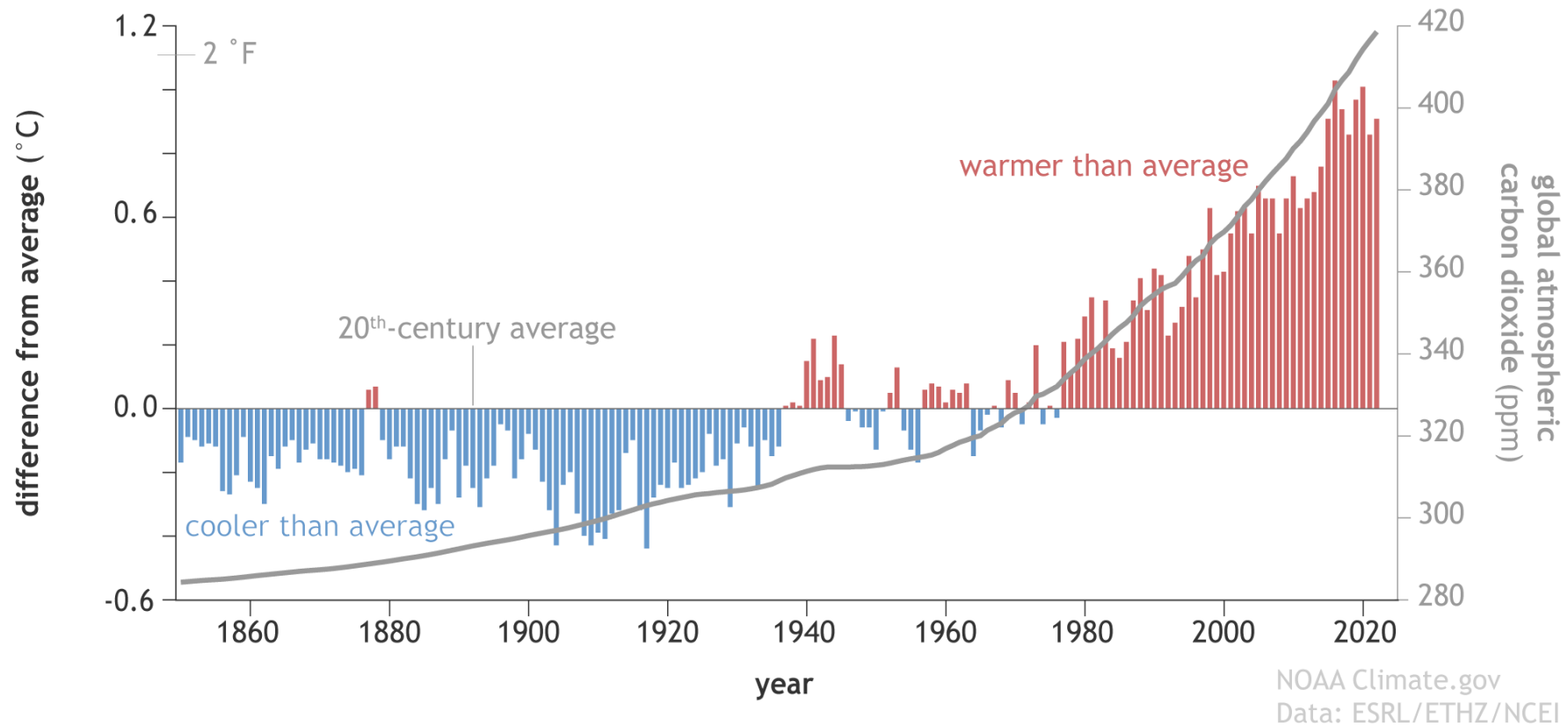
Seit 10 Monaten  
neue  
Temperaturrekorde



# Korrelation THG - Globaltemperatur

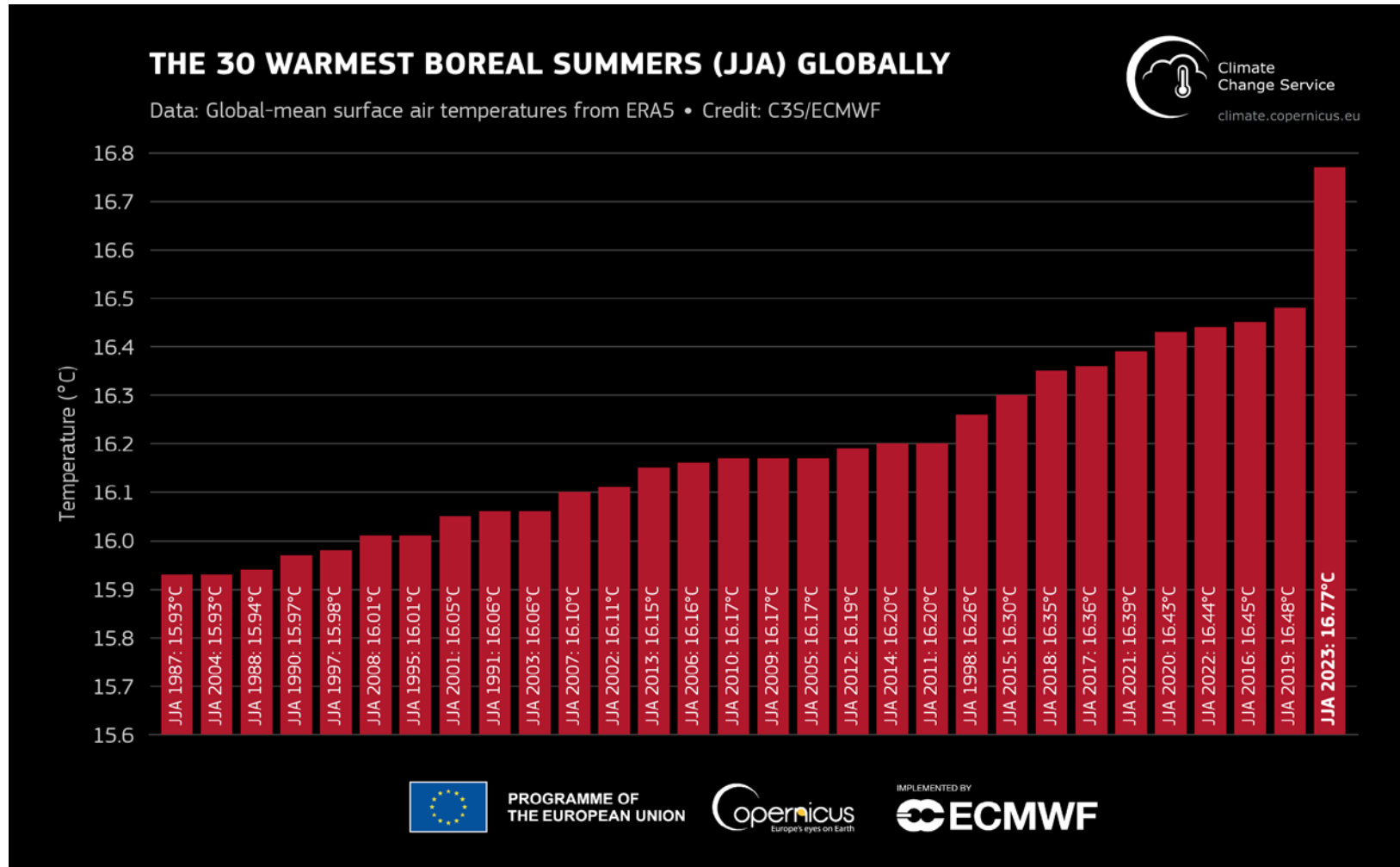
Entwicklung bis 1850 - 2022

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



# Korrelation THG - Globaltemperatur

Entwicklung bis 1987 - 2023



# Das Ziel

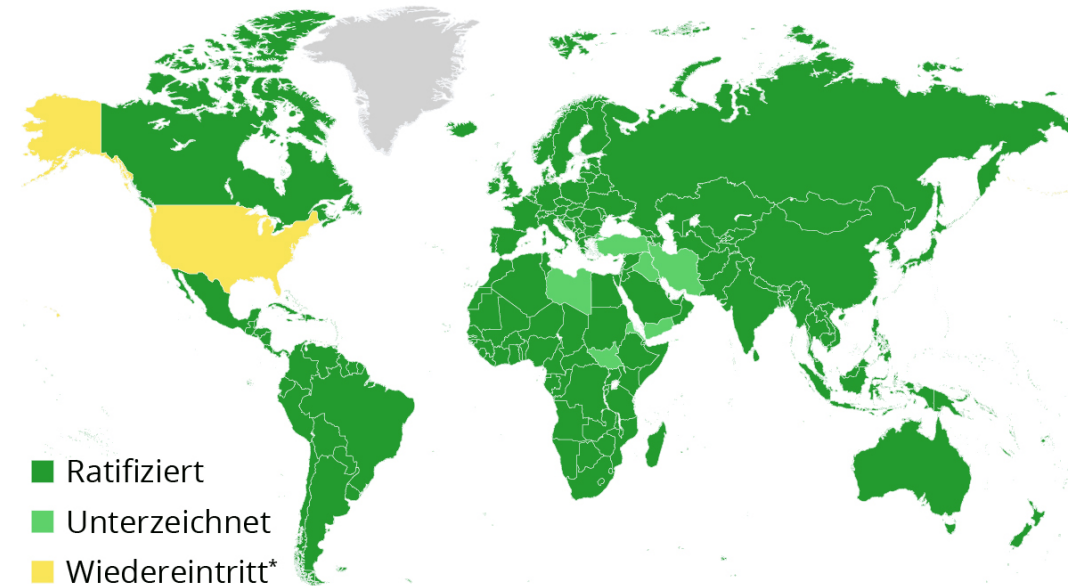
## Deutschland auf dem Weg nach Paris

### 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

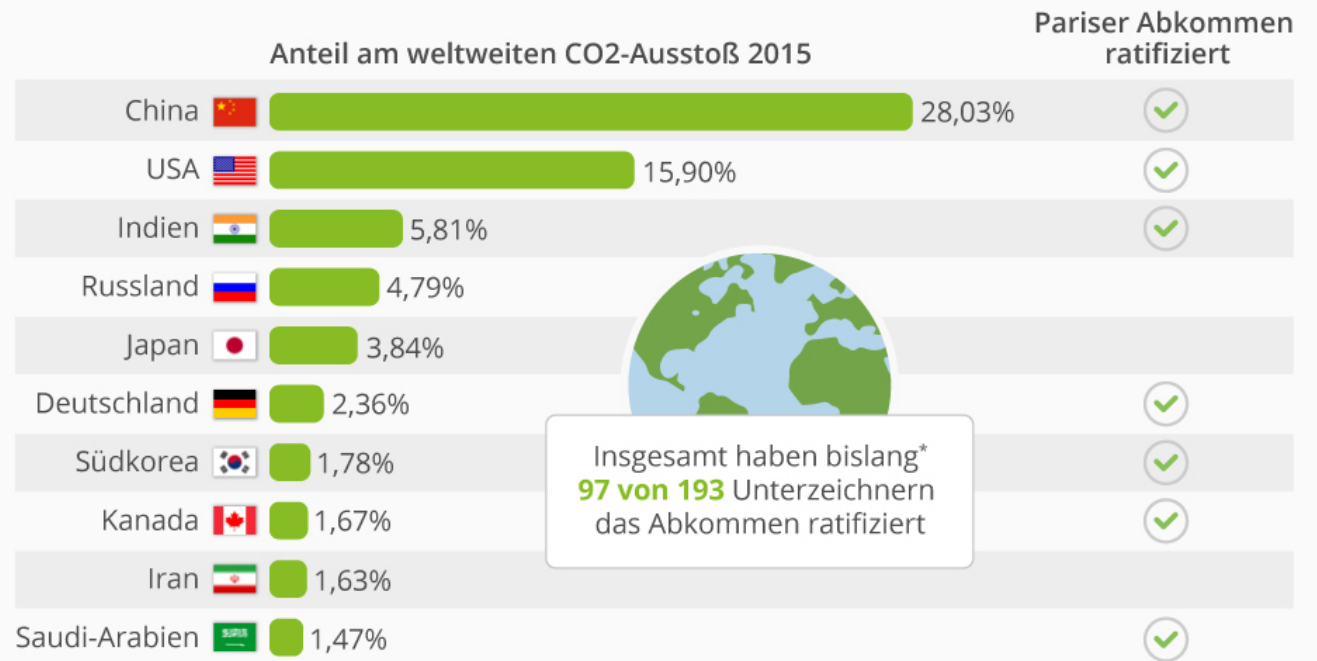
### Konsequenzen aus dem Paris-Abkommen

- 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



  
@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!



# 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

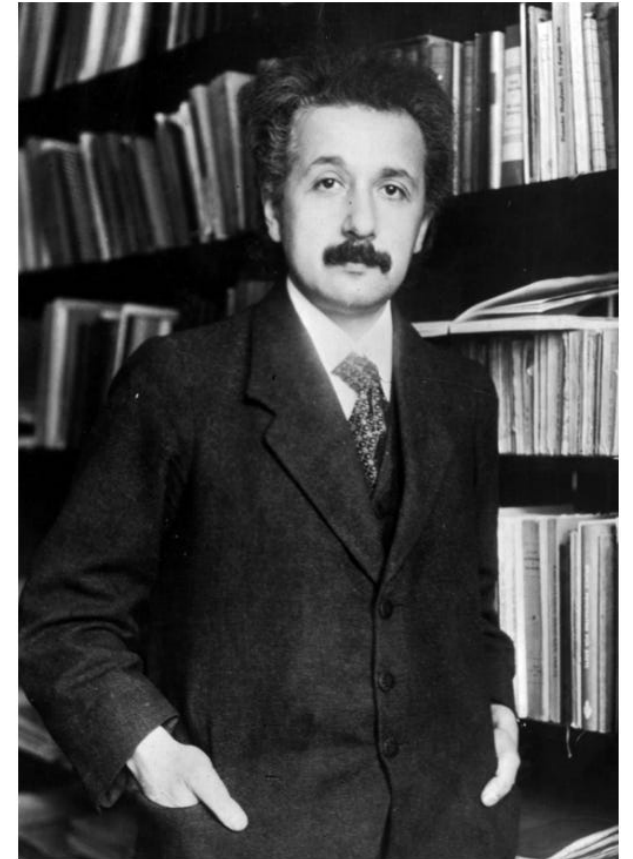


132

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

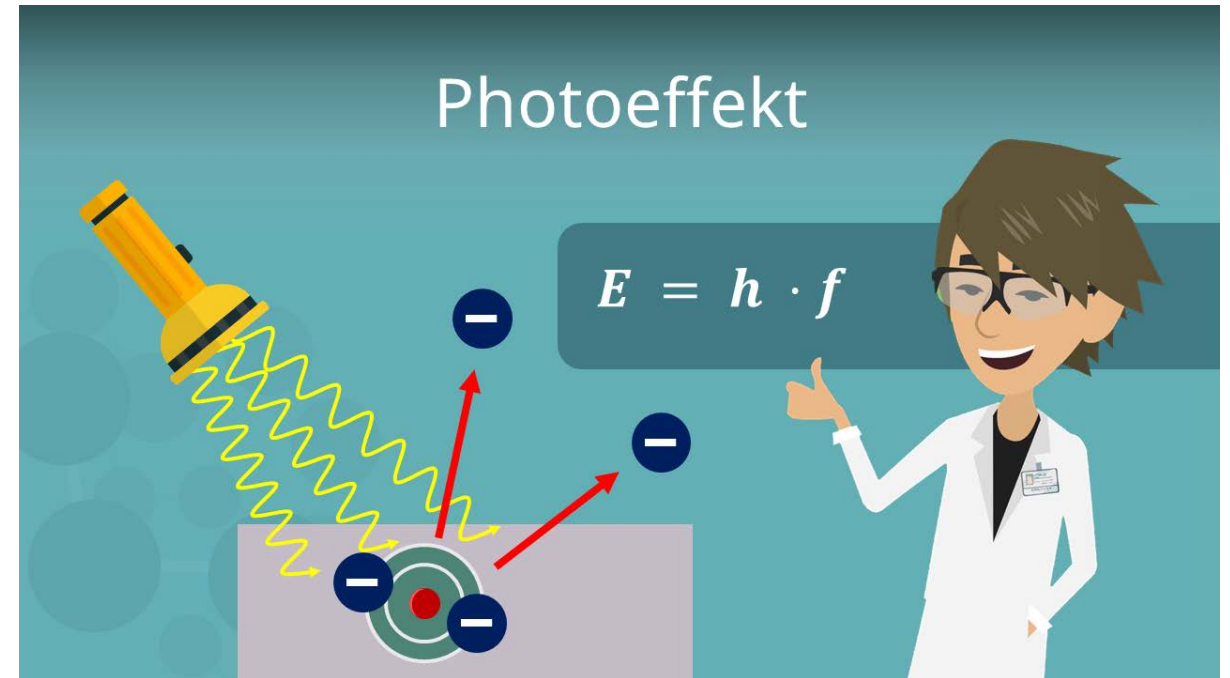
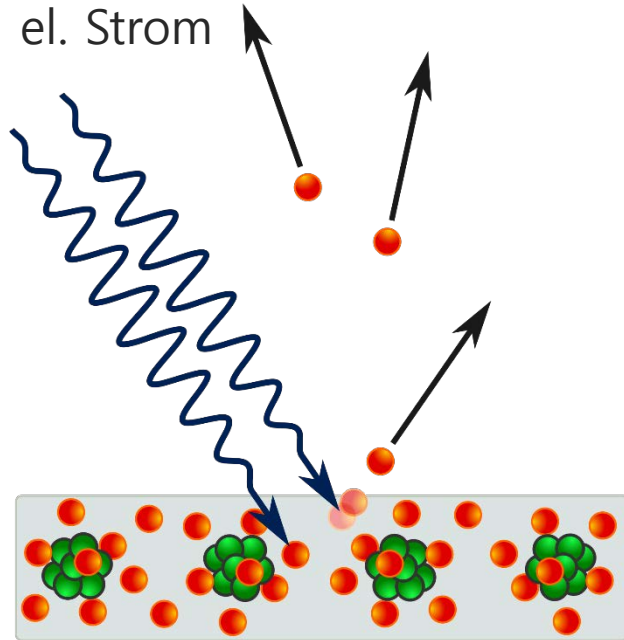


# Funktion

Was passiert da?

## PV atomar

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



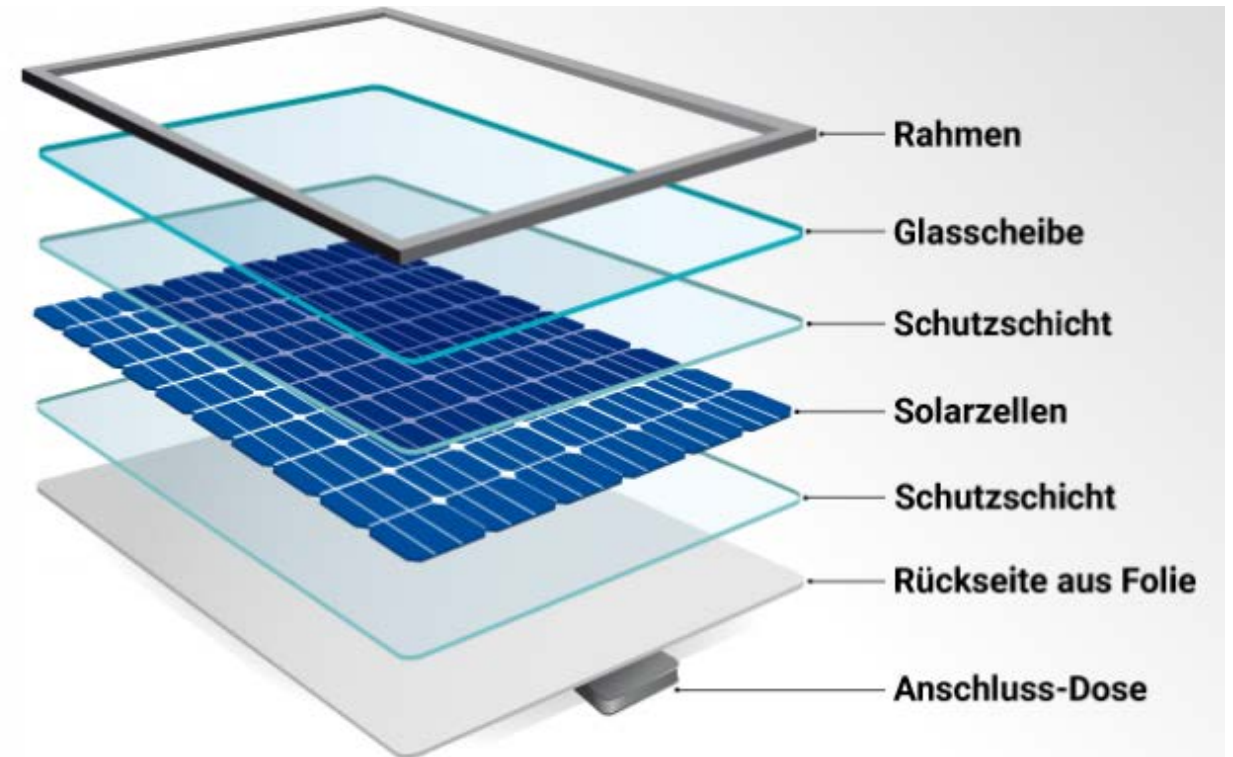
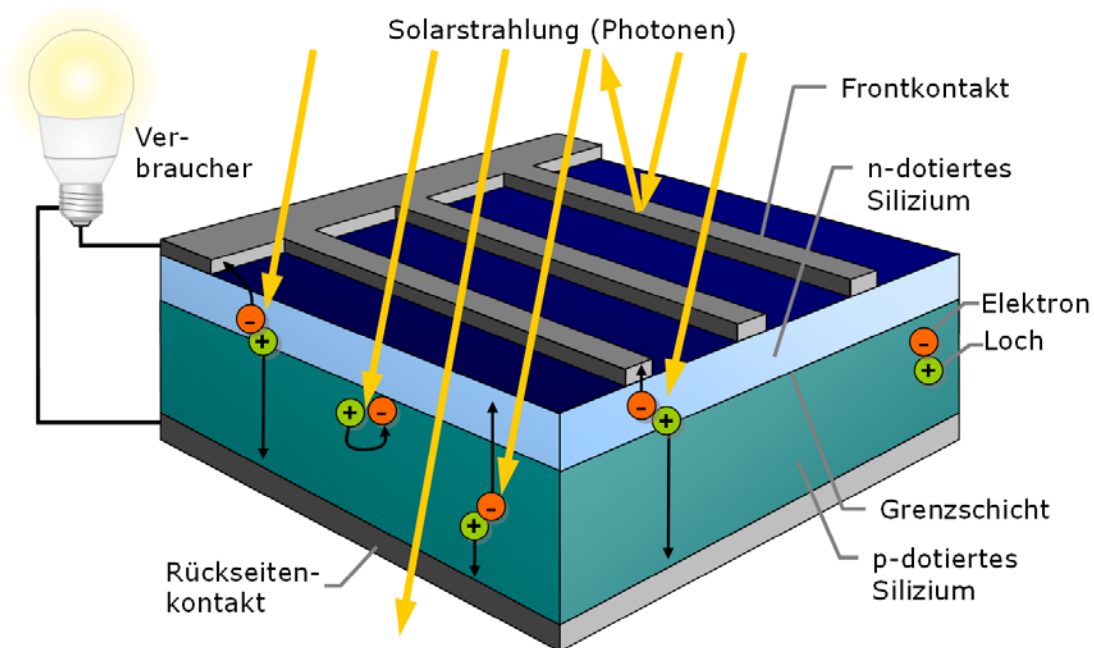


# Funktion

## 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 ... ?





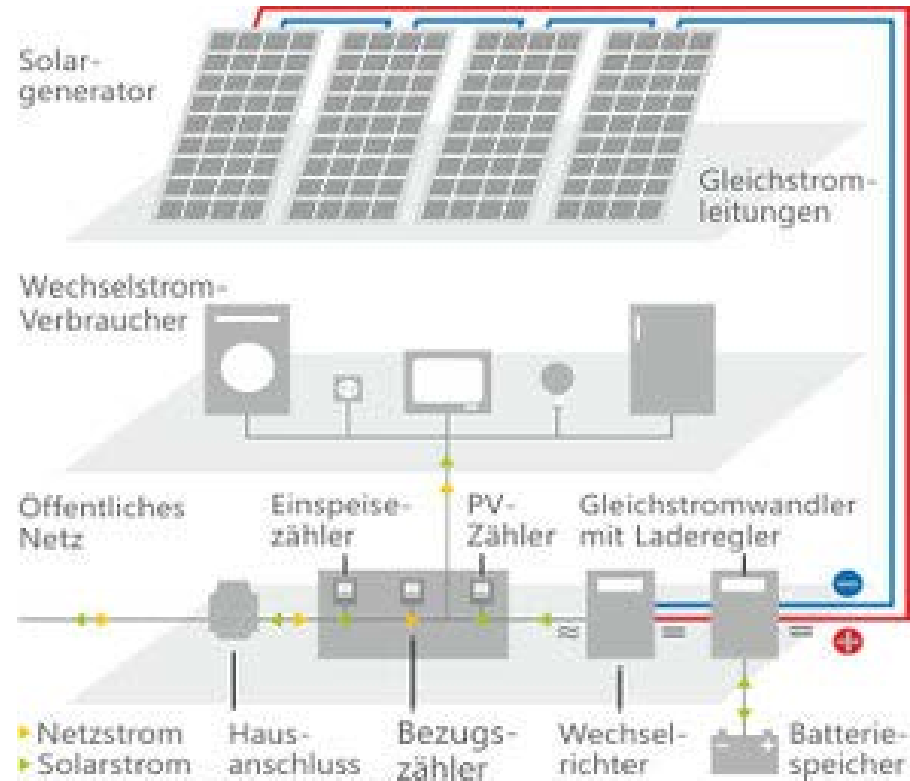
# Funktion

## 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

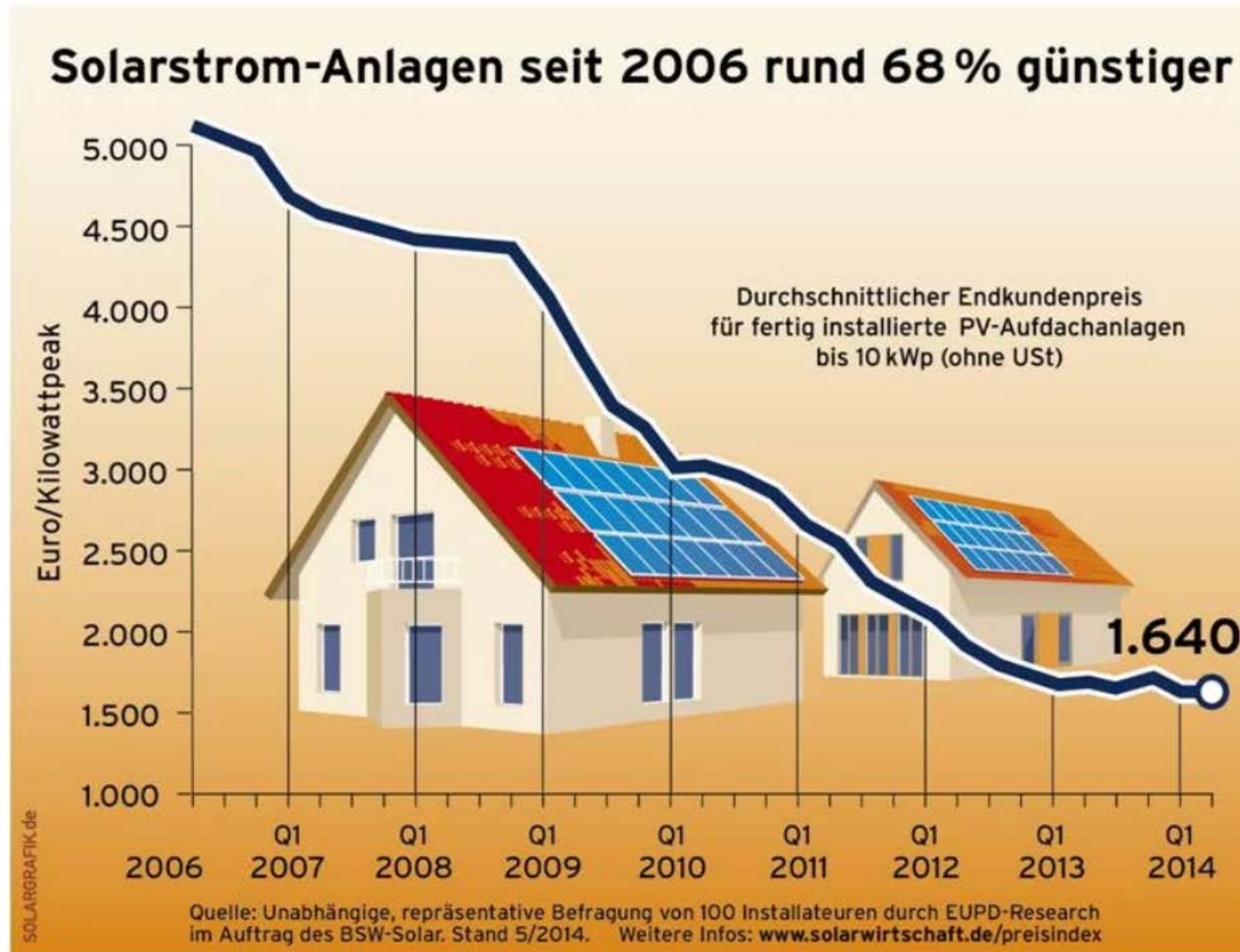
---





# Preis für Aufdach-Anlagen

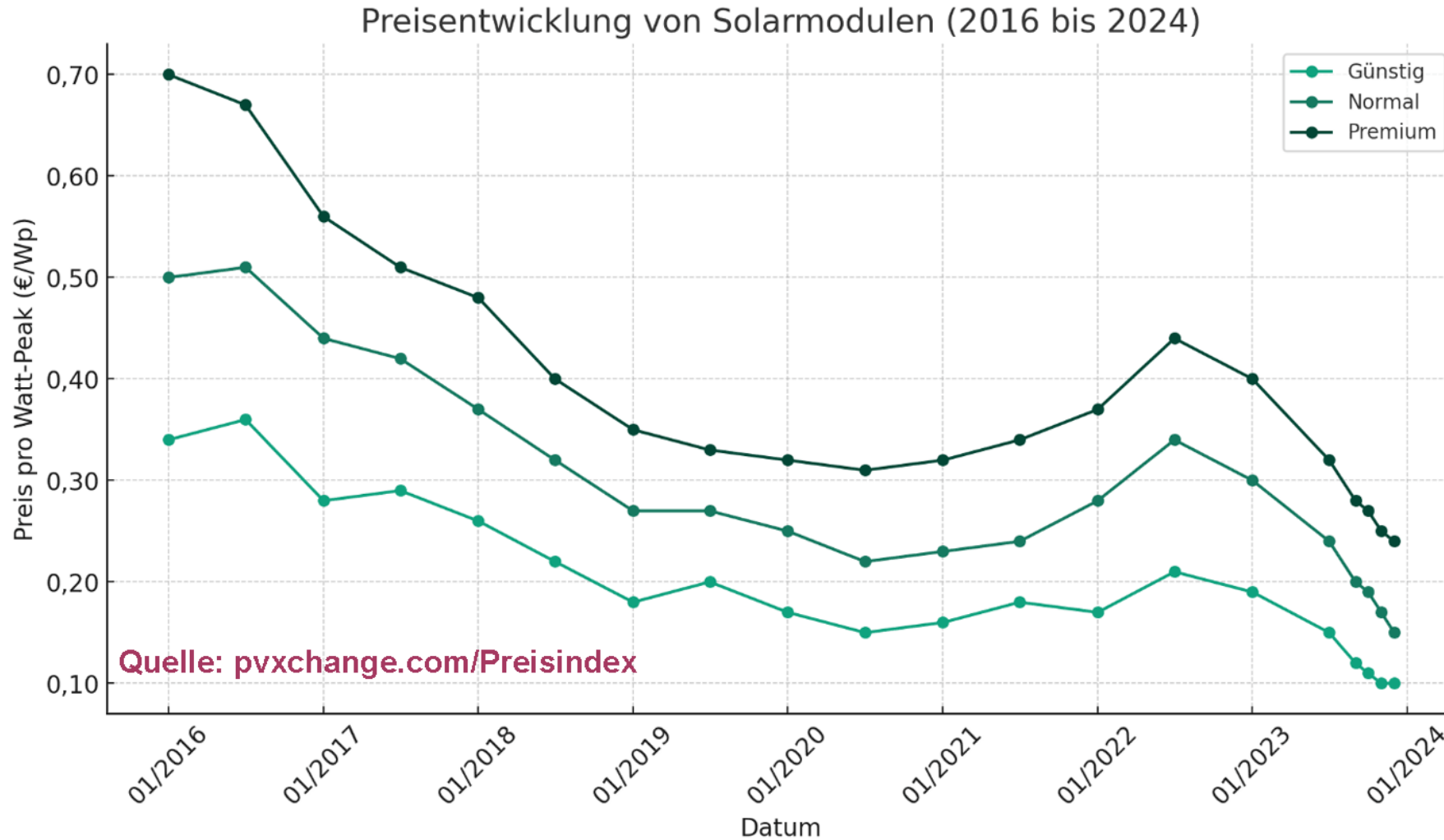
Module / Systemkomponenten (bis 10 kWp Nennleistung in D.)



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

# Preise für PV-Module

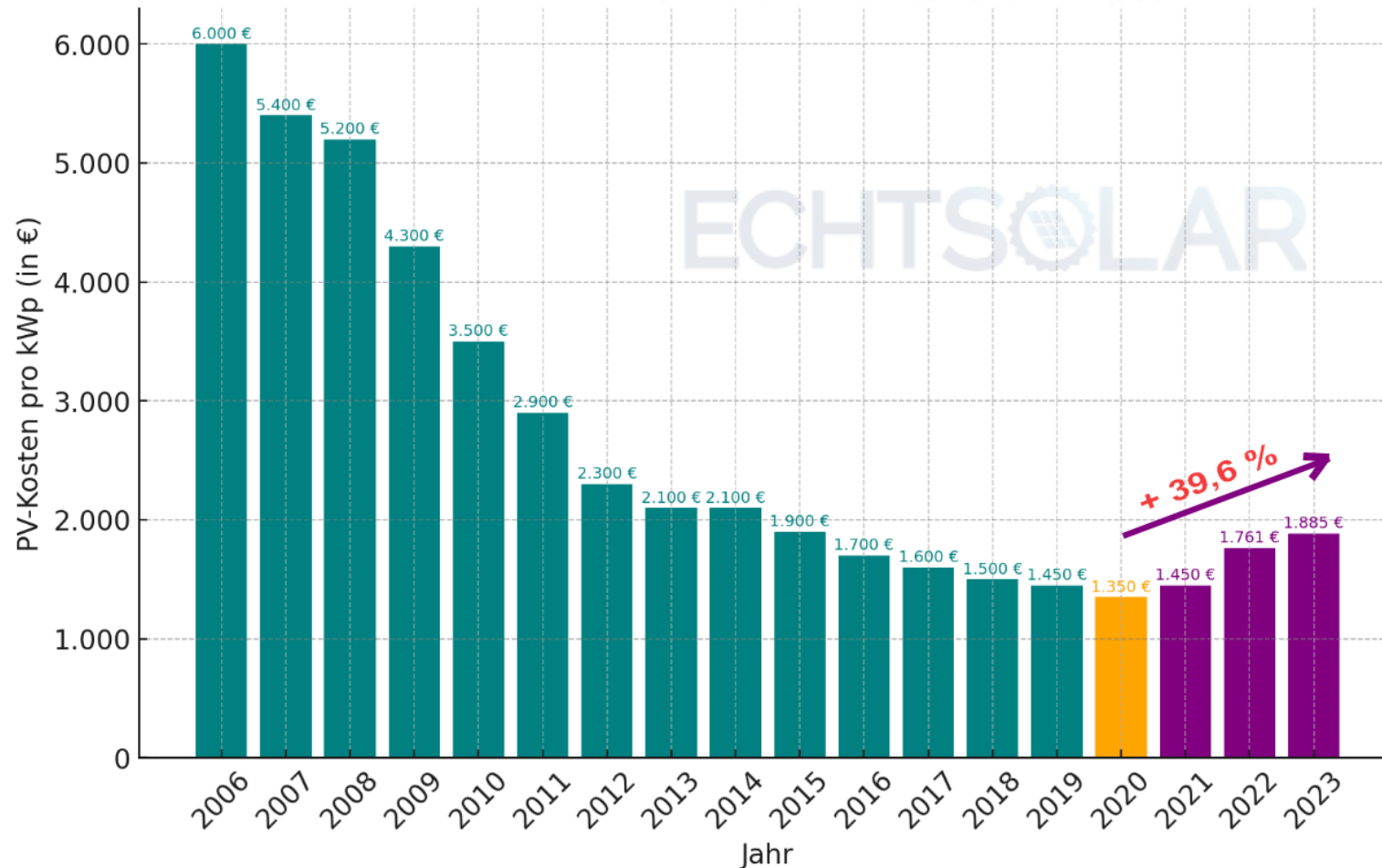
## Module (Preis normiert pro Watt)



# Preise für PV-Module

## Anlagenpreise je kW installiert

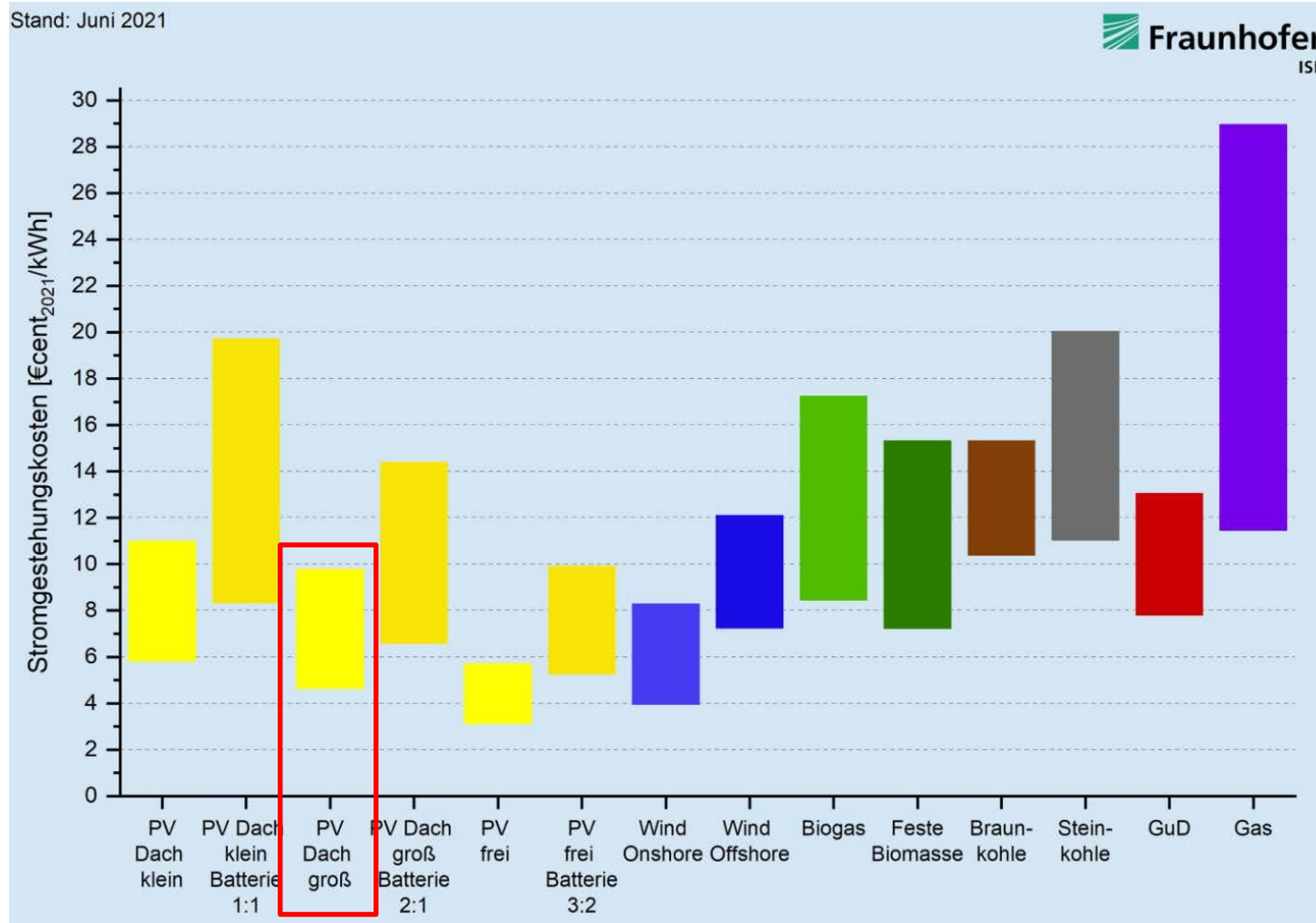
Preisentwicklung von PV-Anlagen (2006-2023)





# 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 <sup>1</sup>
	≤ 1 MWp	Direktvermarktung <sup>2</sup>
Gebäudeanlagen mit Überschusseinspeisung	≤ 10 kWp	8,1 Ct / kWh
	≤ 40 kWp	7,0 Ct / kWh
	≤ 100 kWp	5,7 Ct / kWh
	≤ 1 MWp	Direktvermarktung <sup>3</sup>
Sonstige Anlagen	≤ 100 kWp	6,6 Ct / kWh

<sup>1</sup> Anzulegender Wert: 9,4 Ct / kWh

<sup>2</sup> Anzulegender Wert: 8,1 Ct / kWh

<sup>3</sup> 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:  $\leq 10$  Ct/kWh  
aus Batterie:  $\leq 20$  Ct/kWh  
1 kW (ca. 7 m<sup>2</sup>) liefert ca. 1.000 kWh/a

PV-Rechner Lichtblick: [www.lichtblick.de/wissen/solar/photovoltaik-rechner](http://www.lichtblick.de/wissen/solar/photovoltaik-rechner)

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





# Kosten der Klimaschäden

## CO<sub>2</sub>-Preis steigt kontinuierlich

### CO<sub>2</sub>-Preis

2023: ausgesetzt

2024: 45 EUR/t

2025: 50 EUR/t

2026: 55 – 65 EUR/t

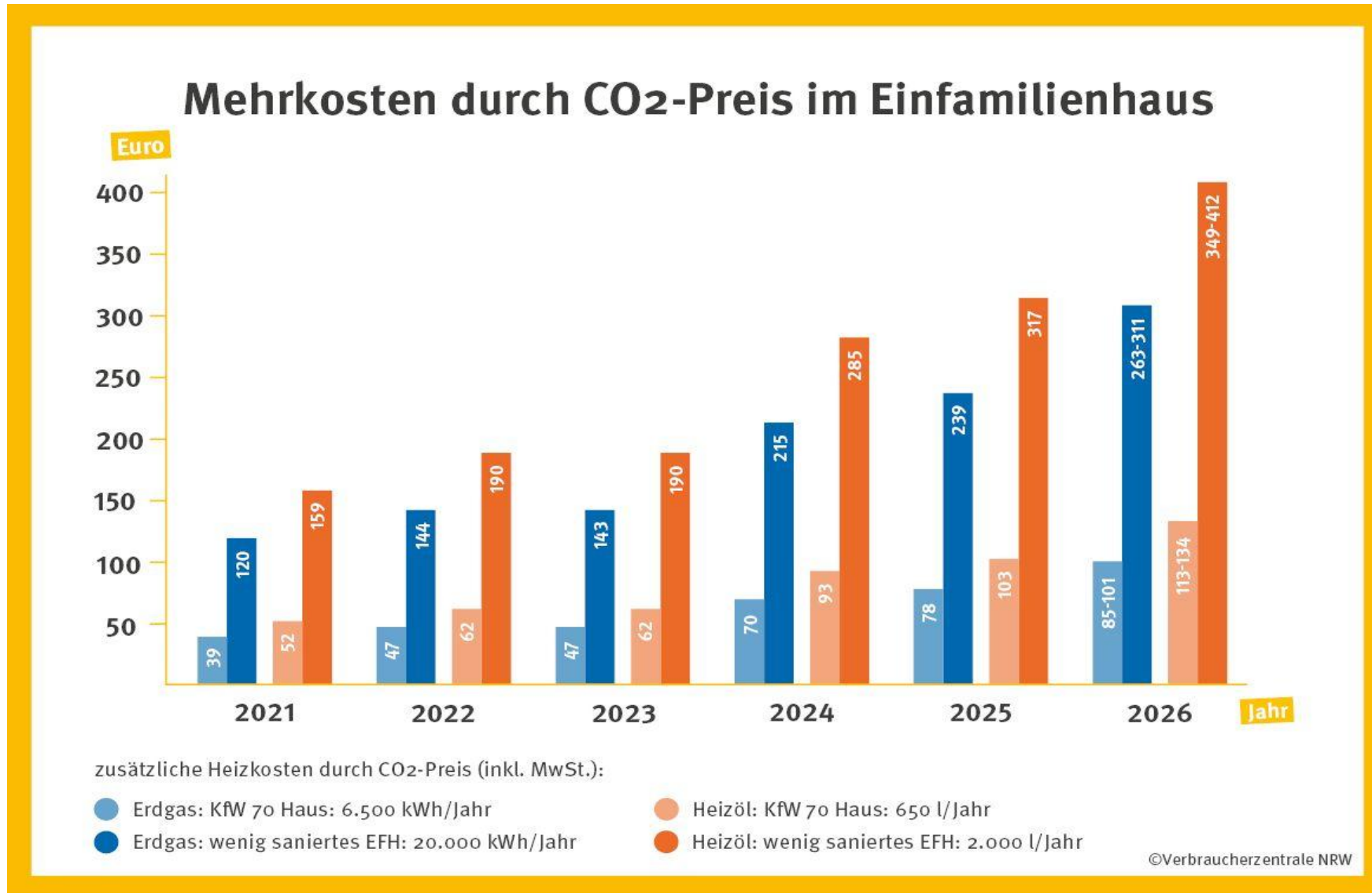
(älteres) Einfamilienhaus: 20.000 kWh/a

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



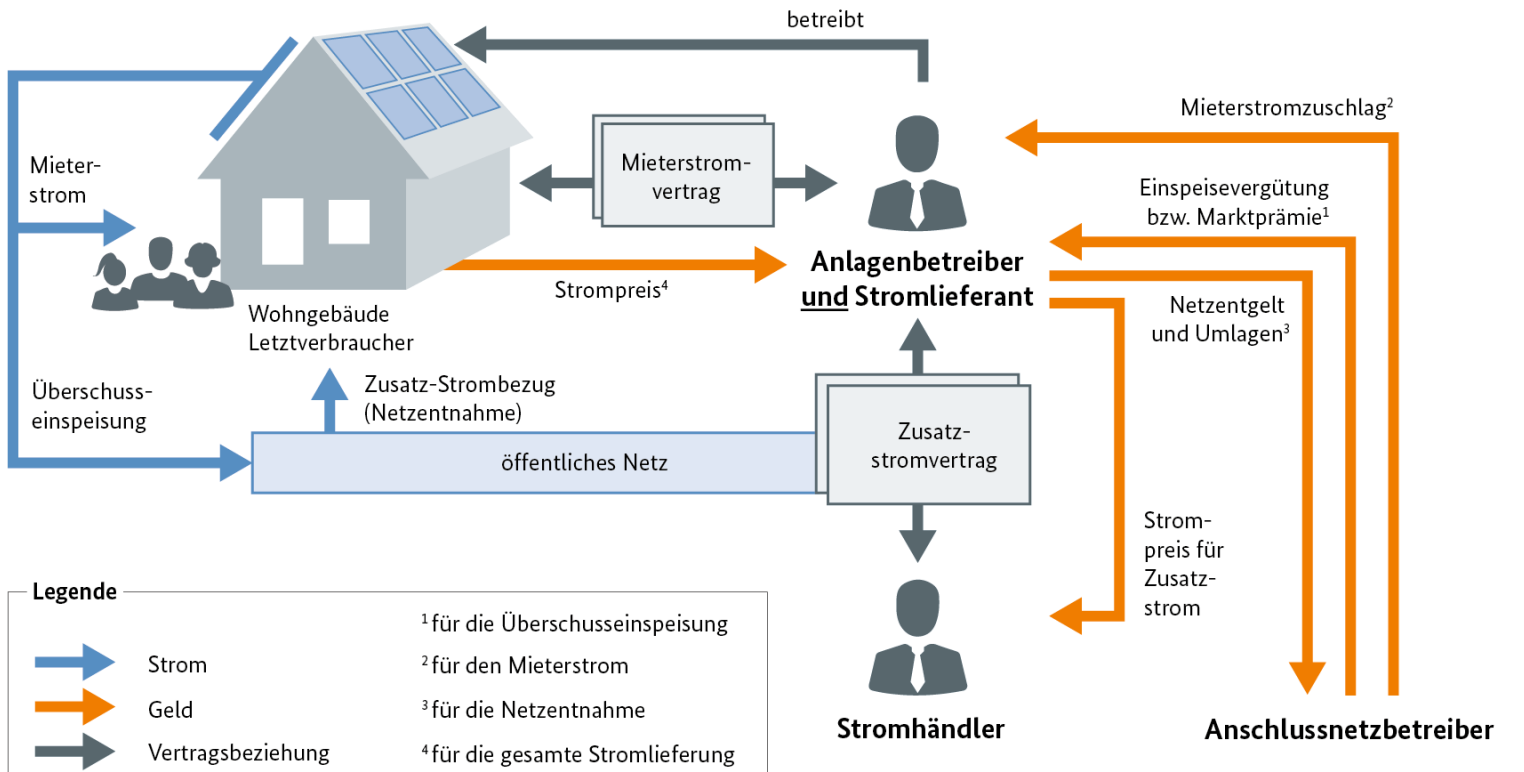
# Mieterstrom

## 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

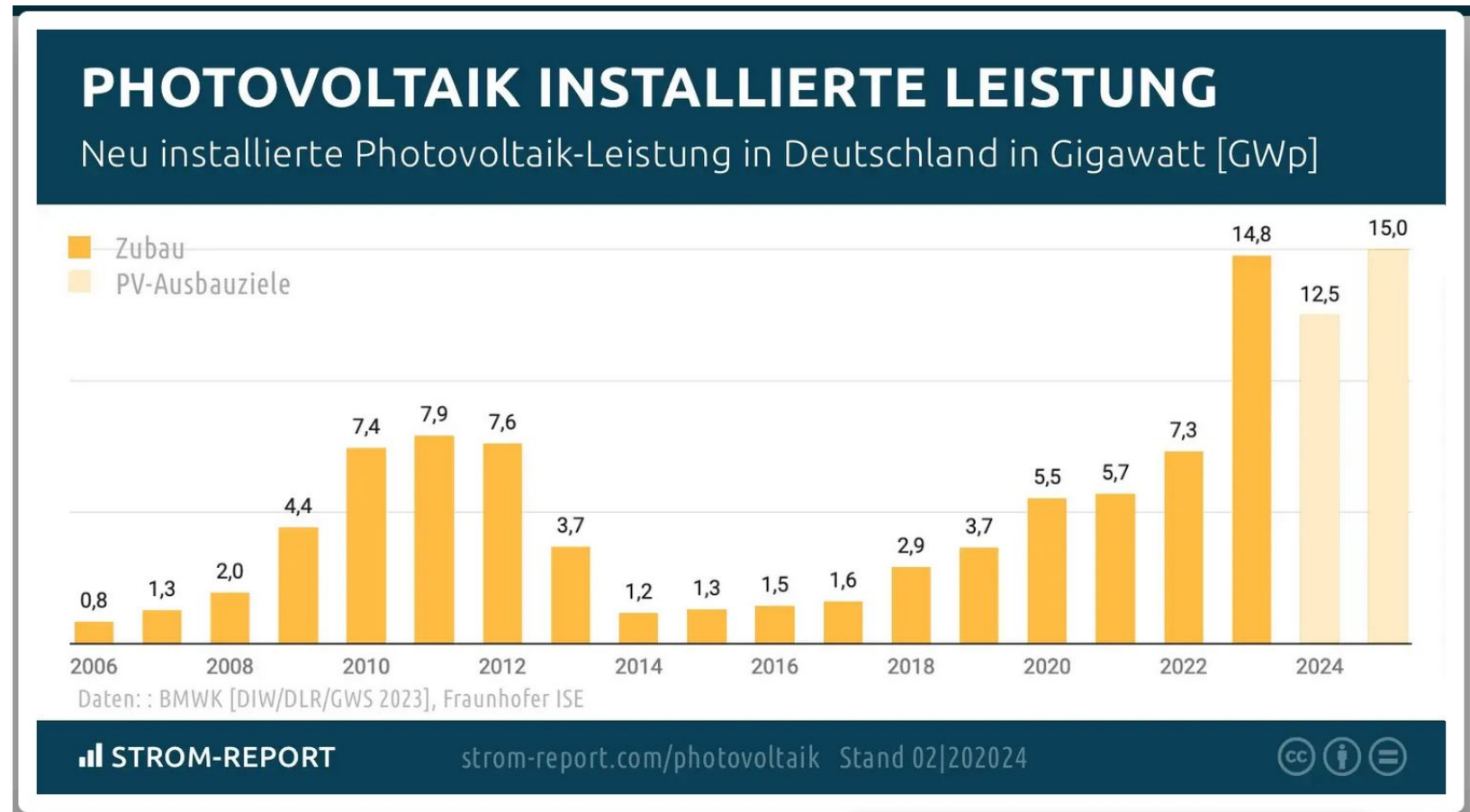
## Aufschwung in Deutschland

### 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

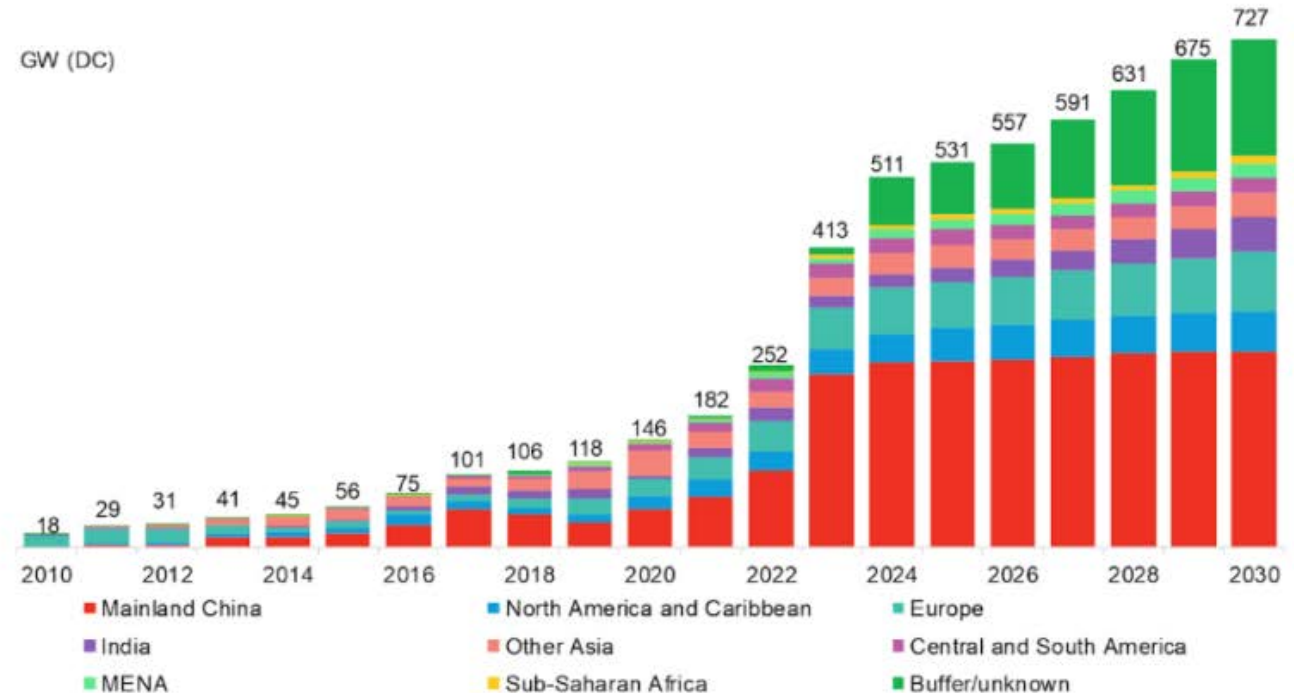
### Anlagen weltweit

- 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](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 CO<sub>2</sub>-Bilanz
- Wirtschaftliche Geschäftsmodelle möglich



# Im Zweifel – einfach das richtige Tun

PV-Zubau – alle Optionen nutzen



# Im Zweifel – einfach das richtige Tun

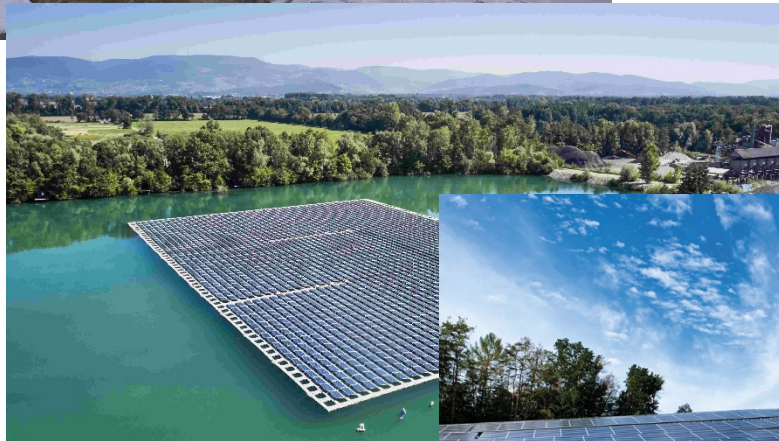
## PV-Zubau – alle Optionen nutzen





# 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

---

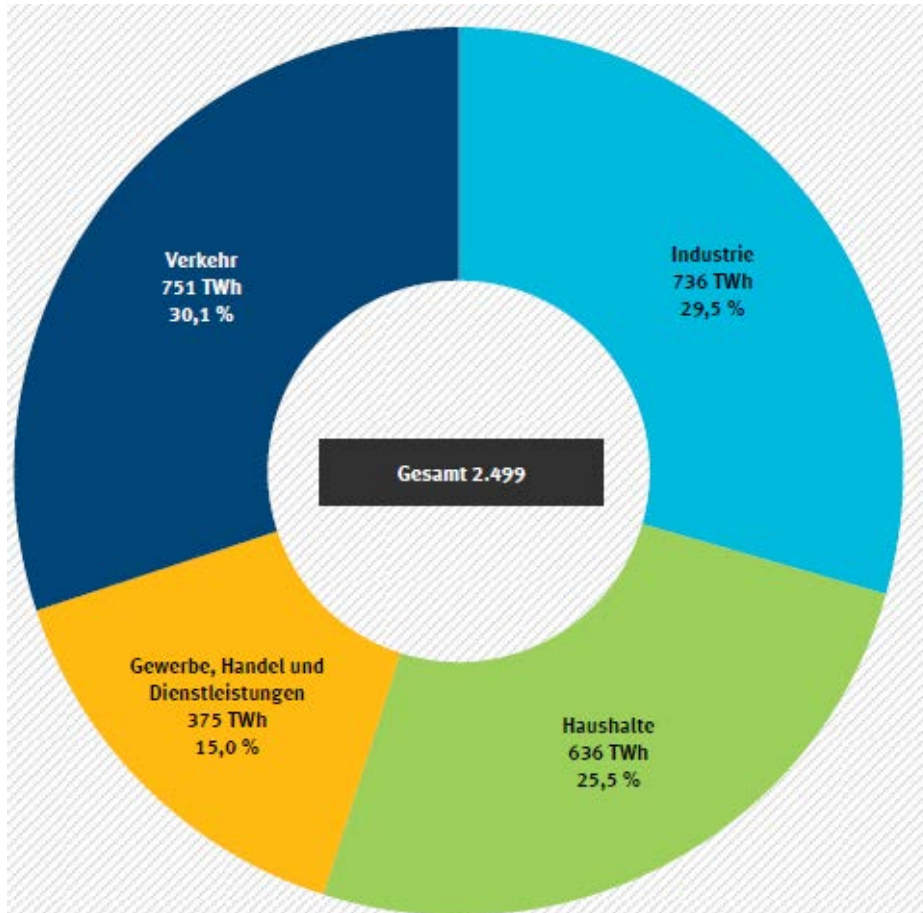




# Strombedarf der Sektorkopplung

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

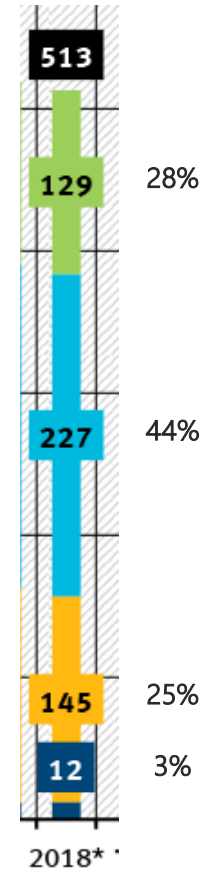
Endenergiebedarf



Endenergieverbrauch 2018 nach Sektoren und Energieträgern

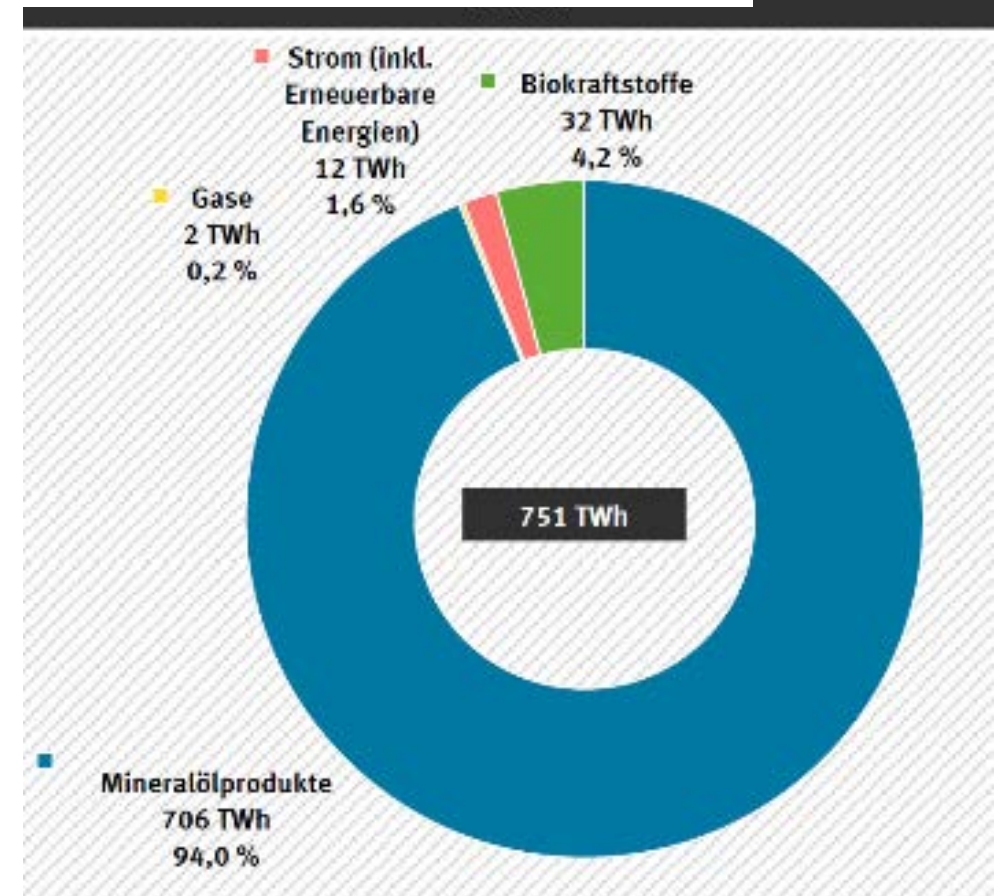
Quelle: Umweltbundesamt auf Basis Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

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

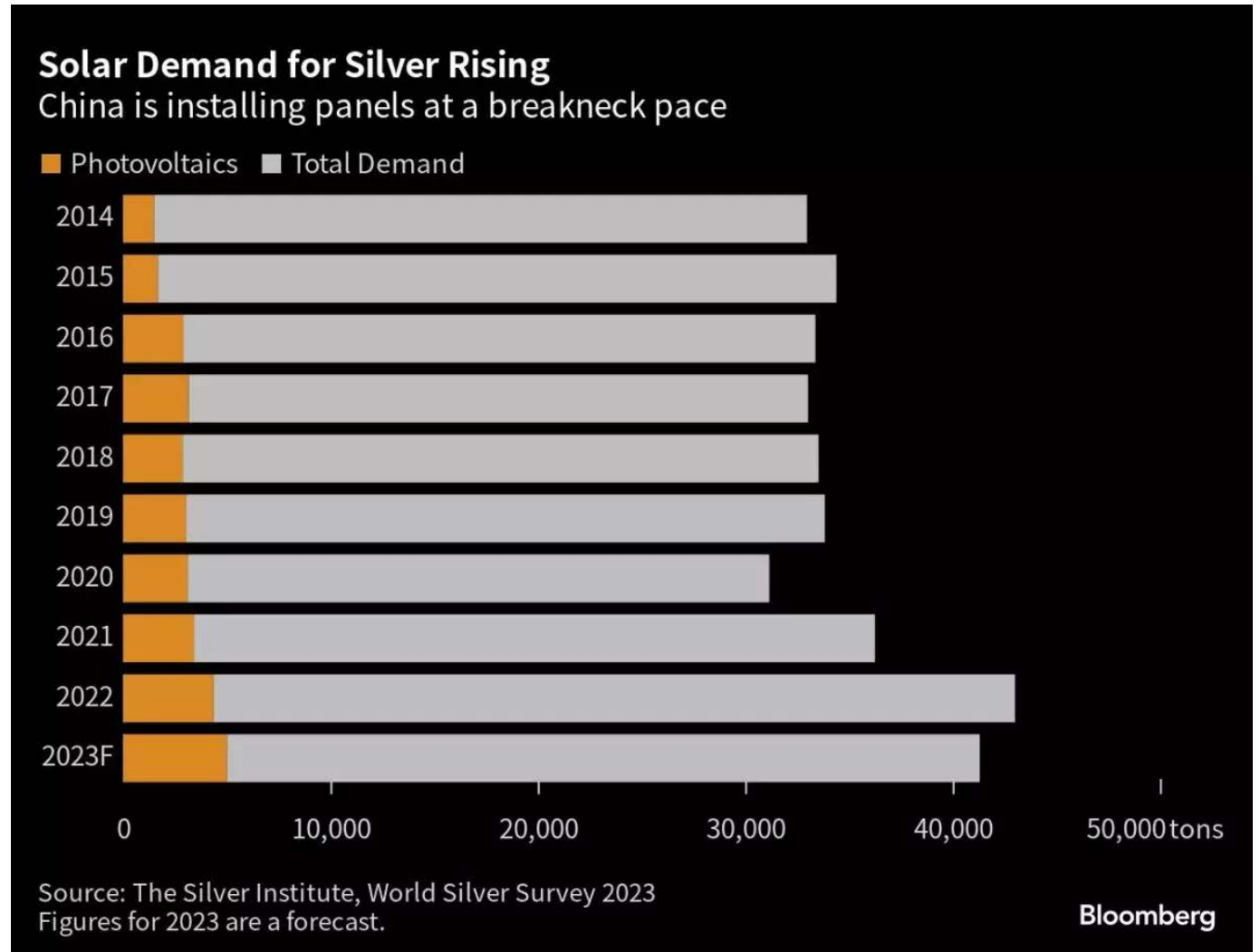
## Materialien DC – Beispiel Silber

### 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

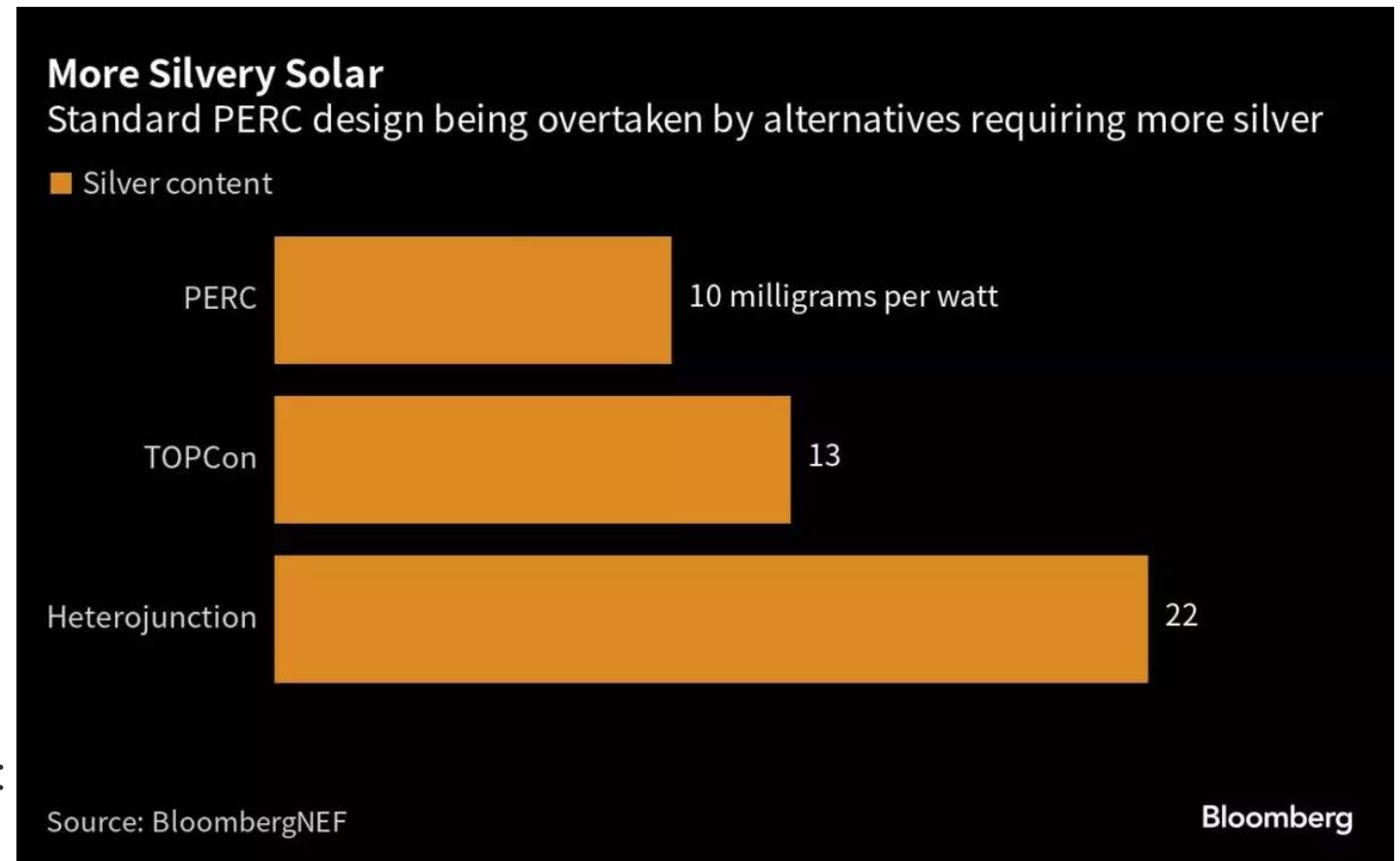
- 23 bis 35 t / a

### 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](mailto:info@solarcluster-bw.de)

[www.solarcluster-bw.de](http://www.solarcluster-bw.de)