
PHOTOVOLTAIK – SCHLÜSSEL ZUR ENERGIEWENDE



Dr. Harry Wirth

Informationsinitiative München

27.06.2023

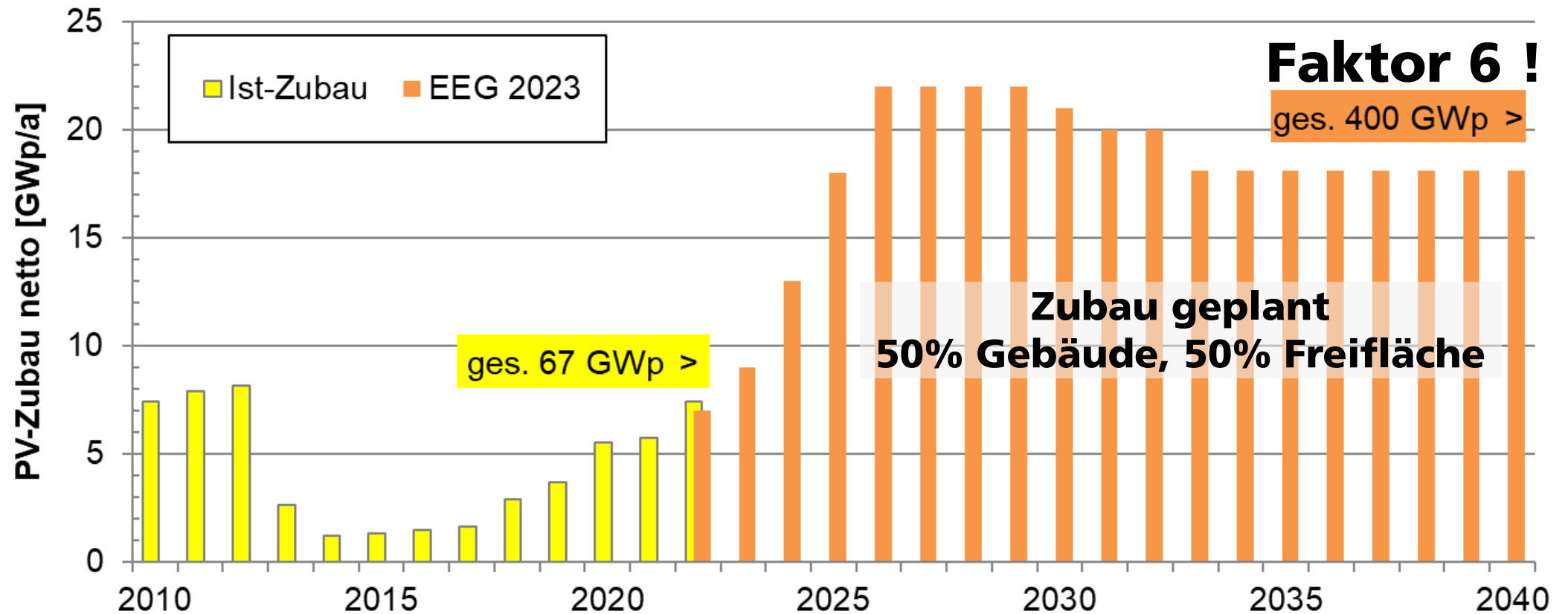
www.pv-fakten.de

ÜBERSICHT

1. Installation
2. Stromproduktion
3. Preise
4. Technologie
5. Energiesystem

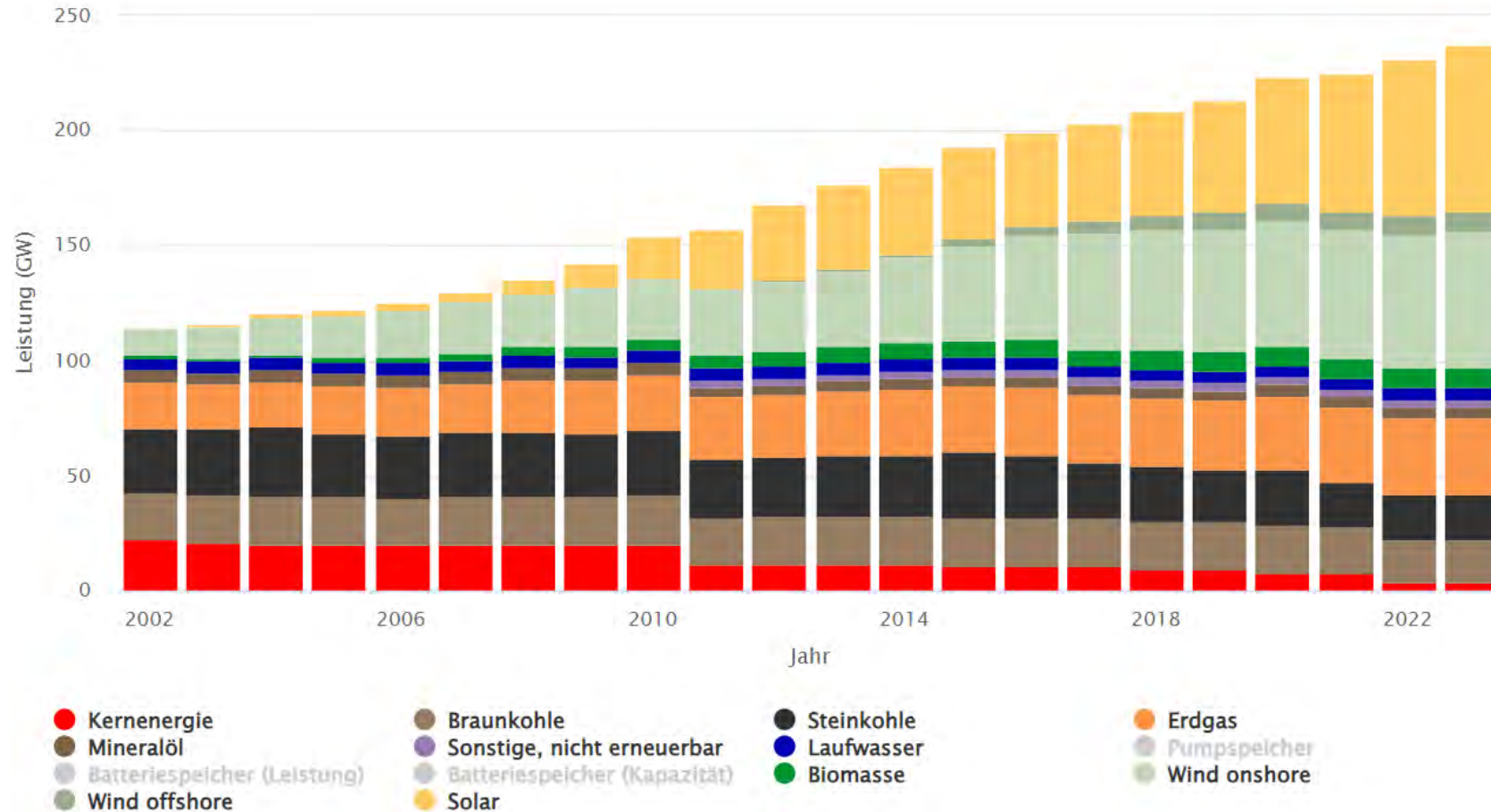
1. Installation

Soll und Ist



Installation

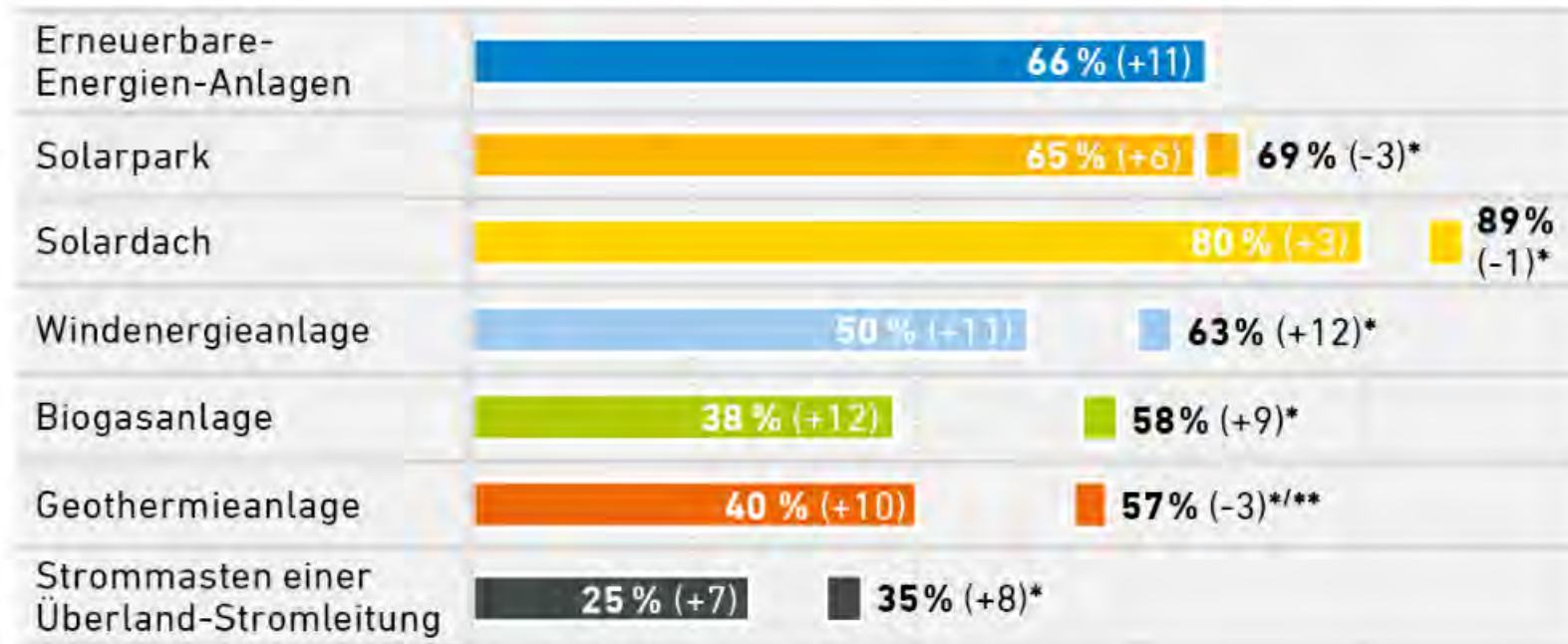
Installierte Nettogleistung nach Kraftwerkstypen



72,5 GW_p
3 Mio. Kraftwerke

Zustimmung zu Erneuerbare-Energien-Anlagen in der Umgebung des eigenen Wohnorts

Zur Stromerzeugung in der Nachbarschaft (≤ 5 km) finden eher gut bzw. sehr gut



In Klammern: Veränderung gegenüber Vorjahr in Prozentpunkten.

*Befragte mit entsprechenden Anlagen in der eigenen Nachbarschaft.

Installation Akzeptanz

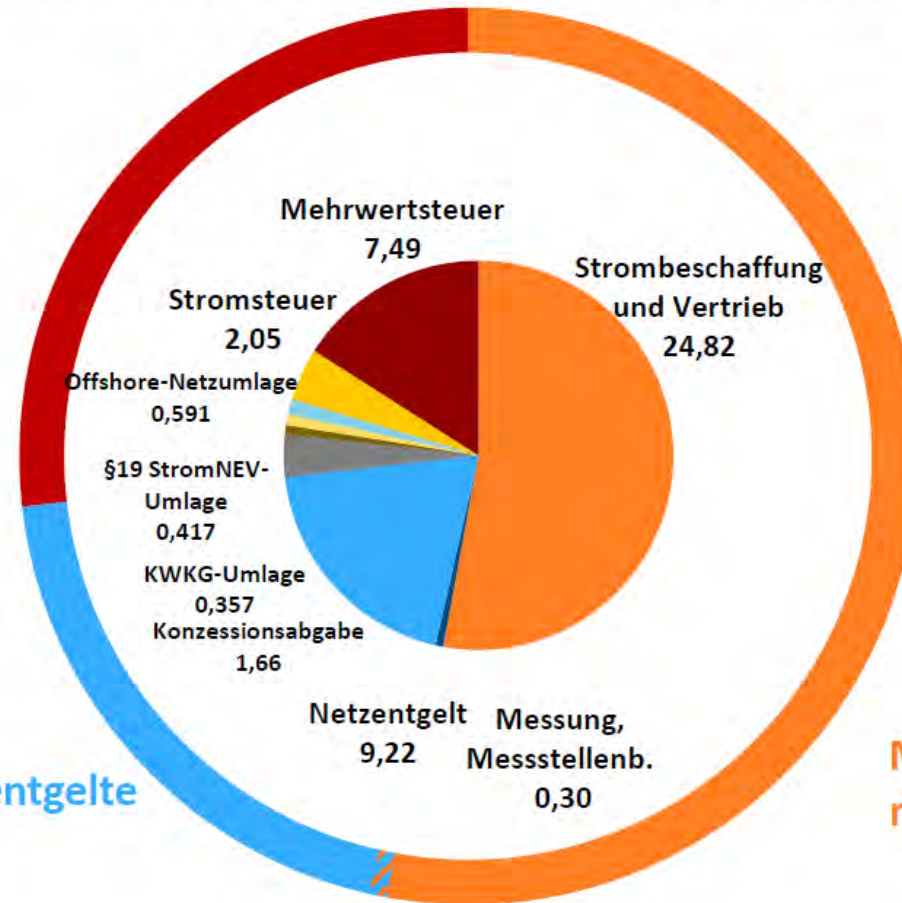
Durchschnittlicher Strompreis für einen Haushalt in ct/kWh, Jahresverbrauch 3.500 kWh, Grundpreis anteilig enthalten, Tarifprodukte und Grundversorgungstarife inkl. Neukundentarife enthalten, nicht mengengewichtet*

Durchschnittlicher
Strompreis für
Haushalte 2023:
46,91 ct/kWh

**Steuern, Abgaben
und Umlagen**
26,8%

Kleine und mittlere
Industriekunden:
27 ct/kWh netto,
ohne Stromsteuer

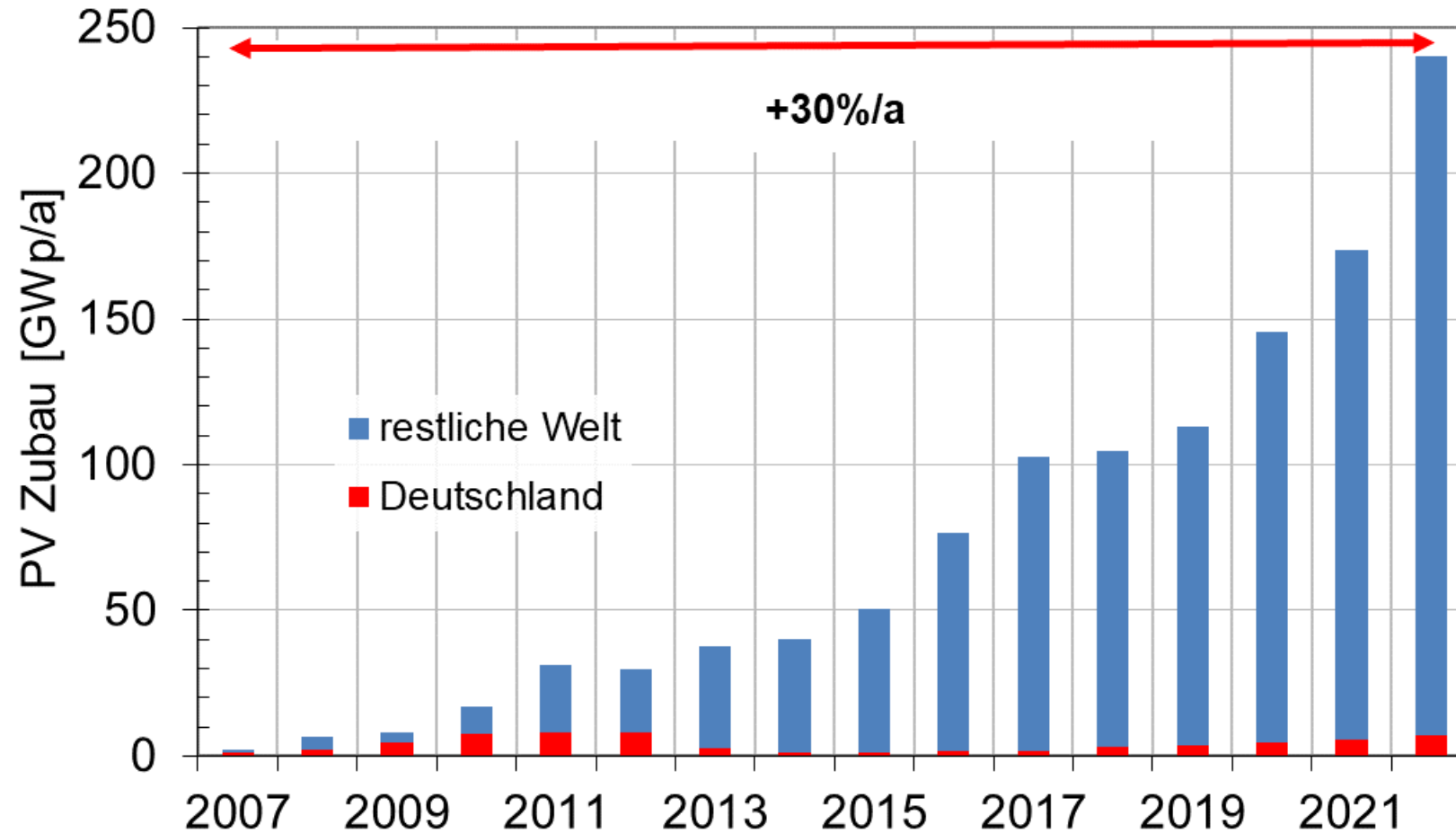
regulierte Netzentgelte
19,7%



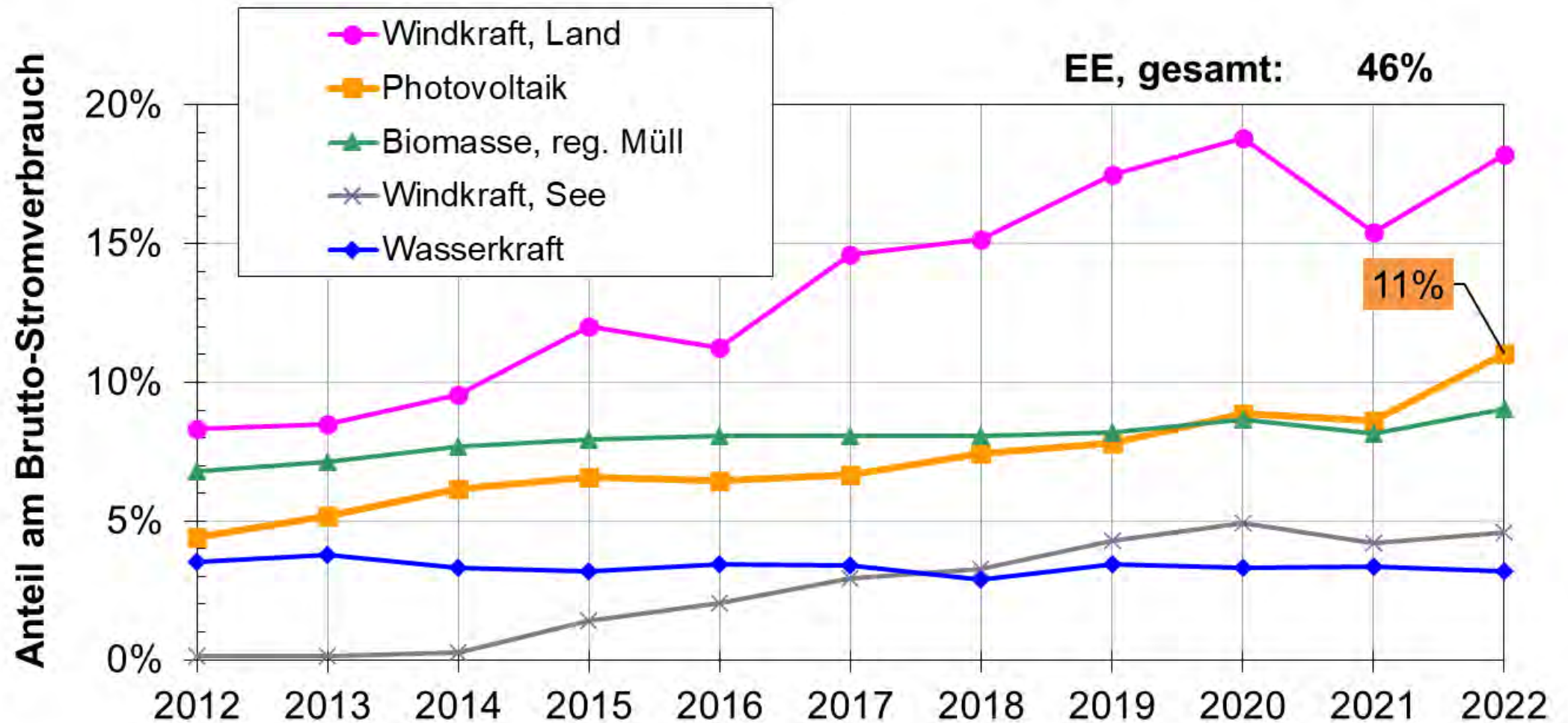
**Strombeschaffung/Vertrieb
marktlich**
52,9%

**Messung/
Messstellenbetrieb**
marktlich/reguliert
0,6%

Installation Deutschland + Welt

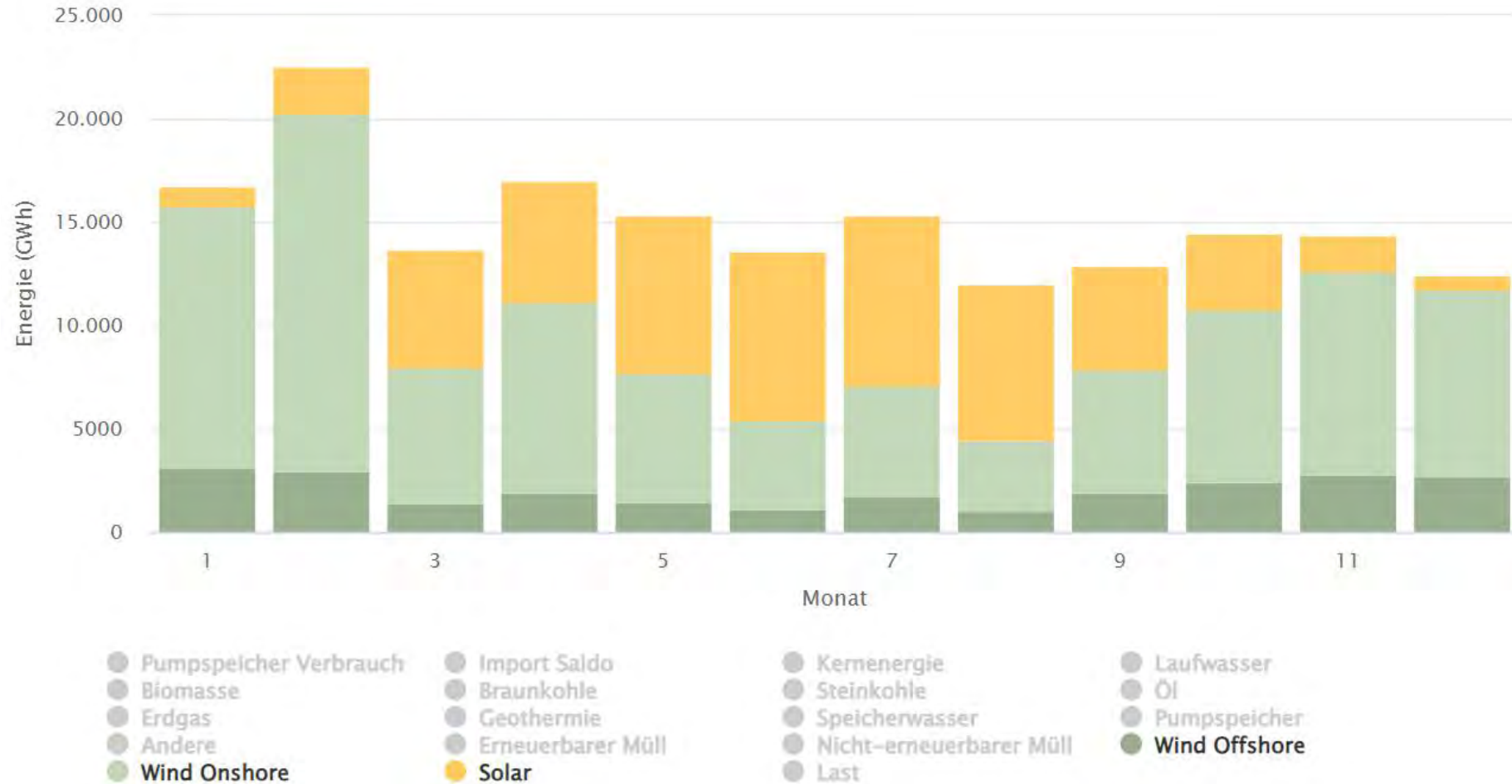


2. Stromproduktion



Stromproduktion

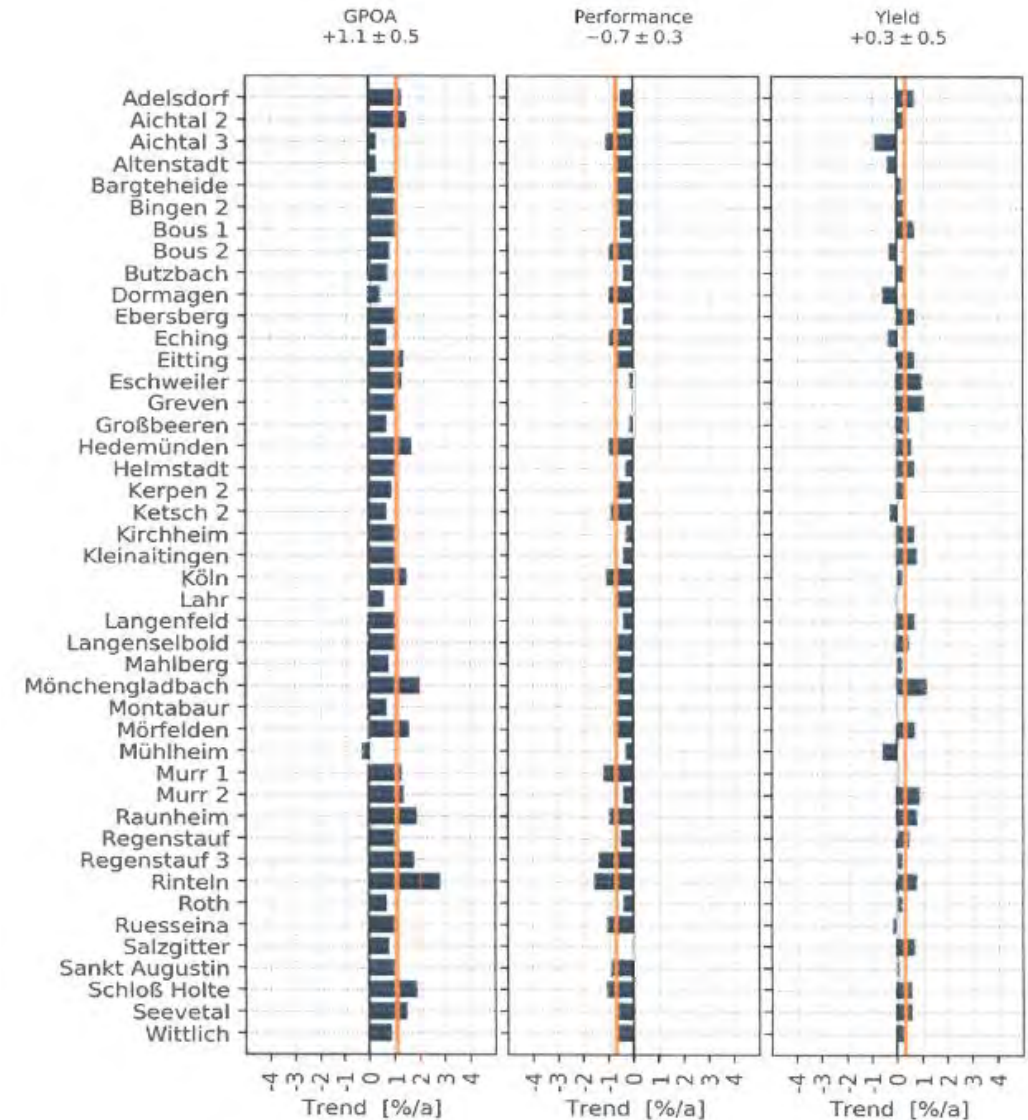
Solar + Wind 2022



Stromproduktion

Degradation

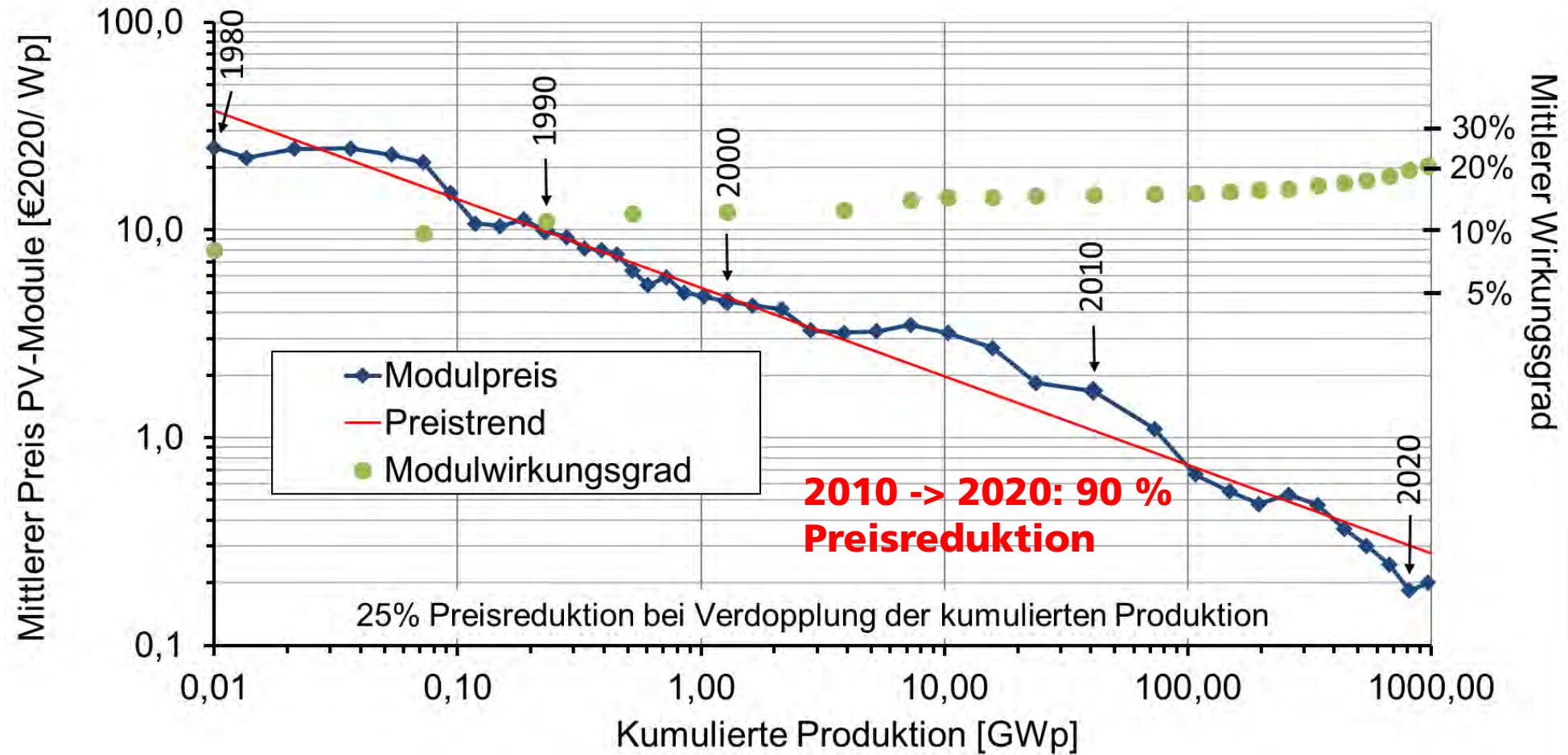
- Datenanalyse für 44 PV-Kraftwerke (0,5-1,5 MW_p) in Deutschland, mit Wartungsvertrag
- 11 Jahre Betrieb, 200.000 Module, 880 Wechselrichter
- senkrechte Linien: Mittelwert der Abweichungen über alle Anlagen und Betriebsjahre
- jährlichen Einstrahlung: +1,1%/a (Mittel)
- Performance Ratio: -0,7%/a, davon
 - Moduldegradation: -0,14%/a
 - Wechselrichterausfälle etc.: -0,56%/a
- Zunahme des Stromertrags: +0,3%/a



Kiefer, K. et al.: "Degradation in PV Power Plants: Theory and Practice" Proceedings of the 35th EUPVSEC, Marseille, 2019.

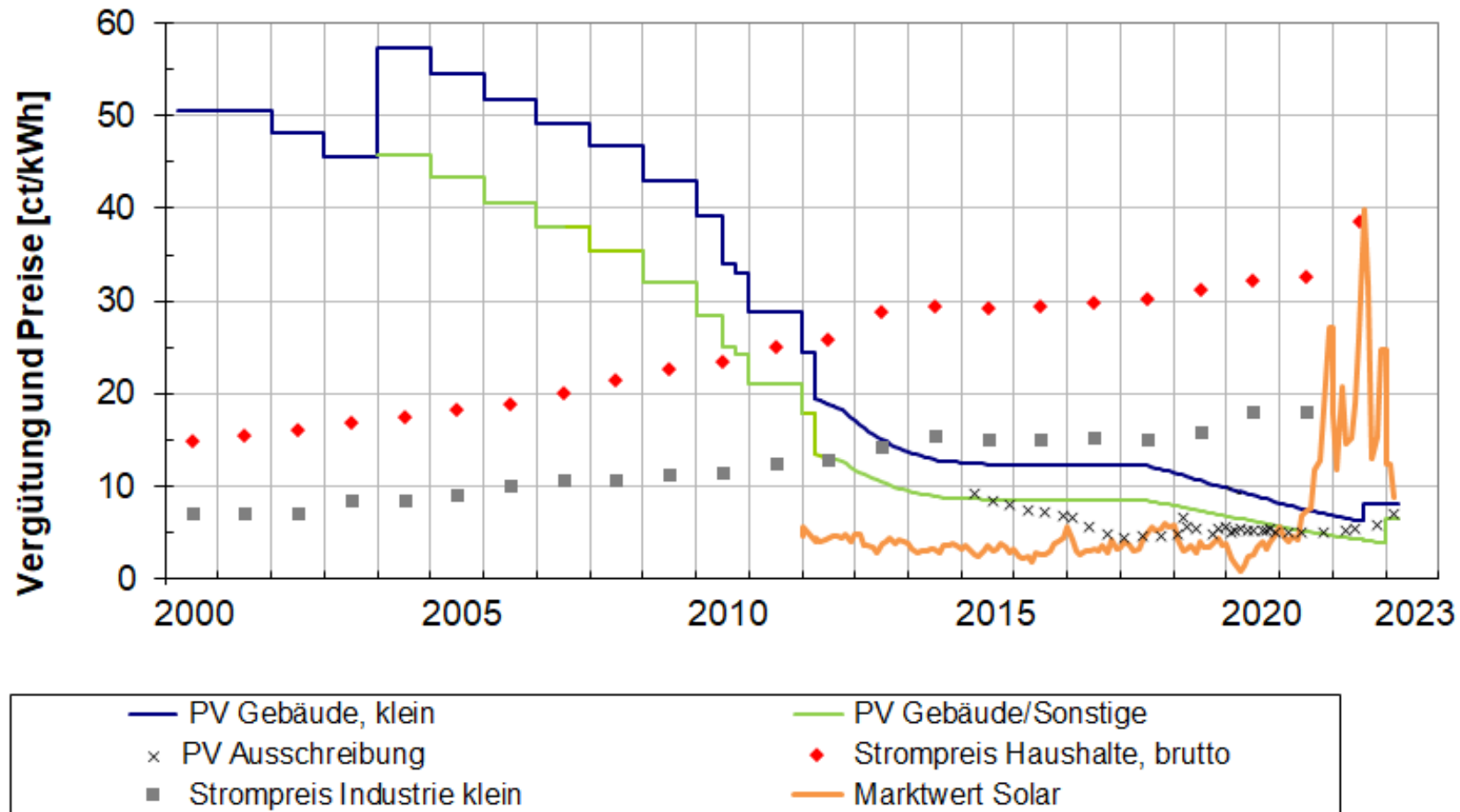
3. Preise

Preisentwicklung PV-Module, Weltmarkt



Preise

Strompreise und PV-Stromvergütung



4. Technologie

Integrierte Photovoltaik



Technologie

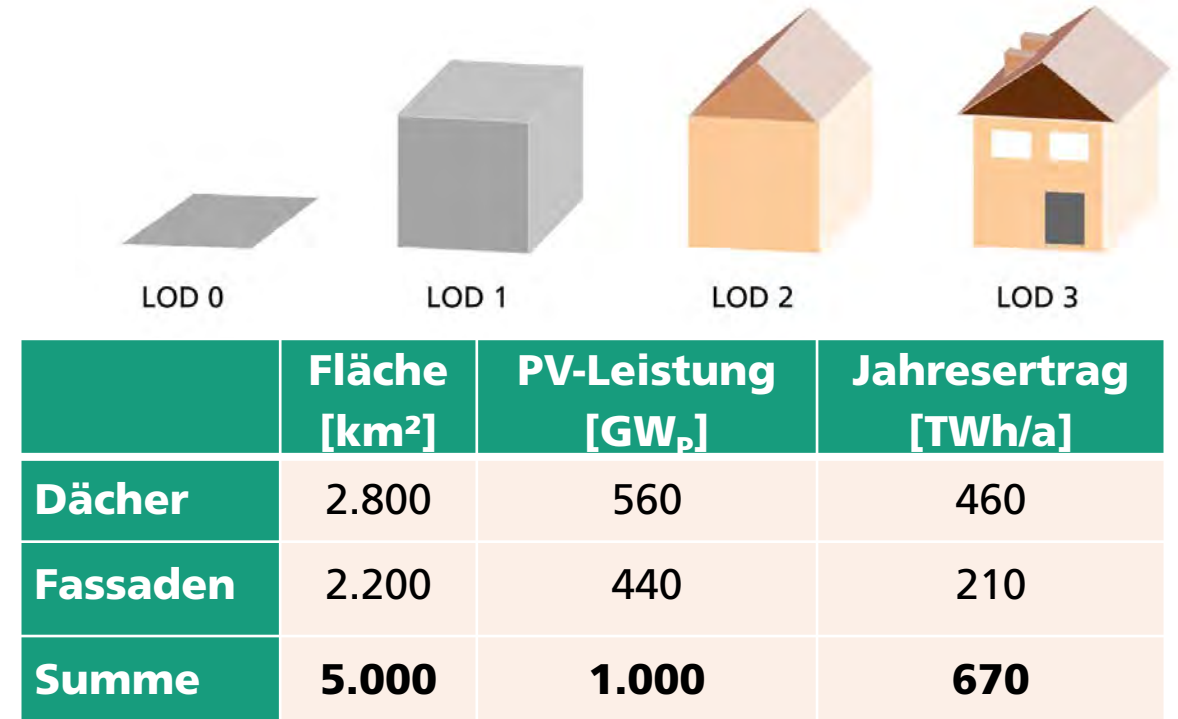
Integrierte Photovoltaik

- Flächeneffizienz, Verbrauchsnähe, Akzeptanz
- Materialeffizienz (Hülle, Unterkonstruktion)
- Klimaresilienz
- Lokale Wertschöpfung PV



Bauwerkintegrierte PV (BIPV) Flächenpotenziale (technisch)

- Deutschlandweiter Gebäudedatensatz
- Bruttofläche Dach 6.101 km², Fassade 12.416 km²
- Ausschlüsse und Abschläge (73%) für
 - geringe Einstrahlung < ca. 500 kWh/(m²a)
 - kleine Flächenabschnitte (< 7m²)
 - Fassadenausschnitte (30%)
 - Verschattung, Dachaufbauten
 - ungünstige Modulformate
- Technisches Potenzial: 1000 GW_p

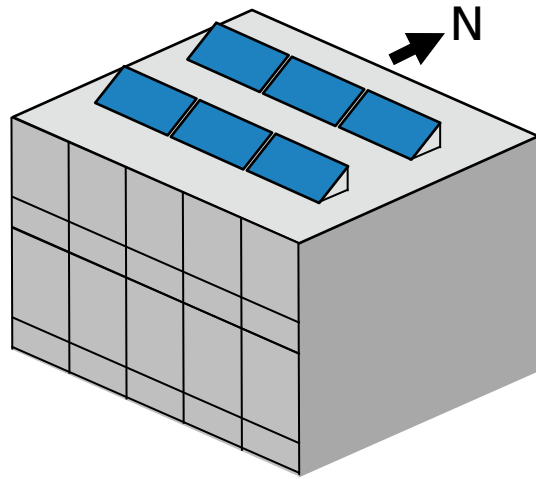


Technische Potenziale BIPV (flächenbasiert)

Eggers J-B, Behnisch M, Eisenlohr J, Poglitsch H, Phung W F, Münzinger M, Ferrara C, Kuhn T E. PV-Ausbauerfordernisse versus Gebäudepotenzial: Ergebnis einer gebäudescharfen Analyse für ganz Deutschland, 35. PV-Symposium, 2020, ISBN 978-3-948176-09-9.

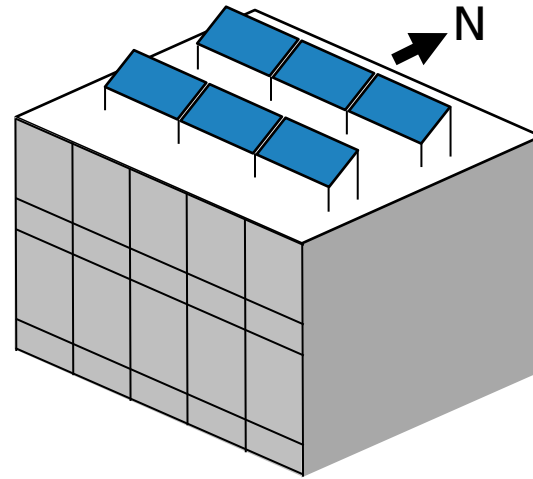
Systeme und Integration

PV Bauarten Gebäude (1)



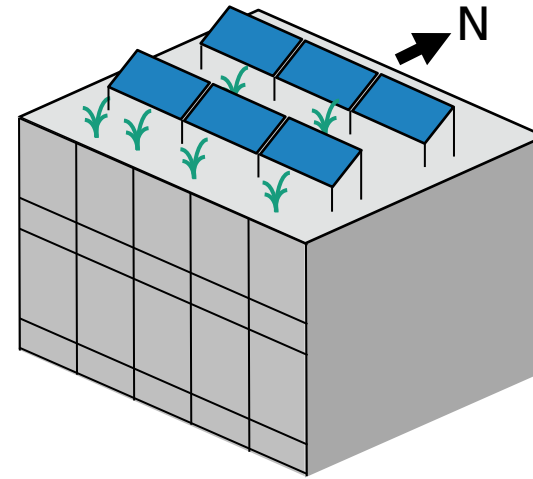
Flachdach Süd

Hoher spez. Ertrag
[kWh/(kW_p·a)]



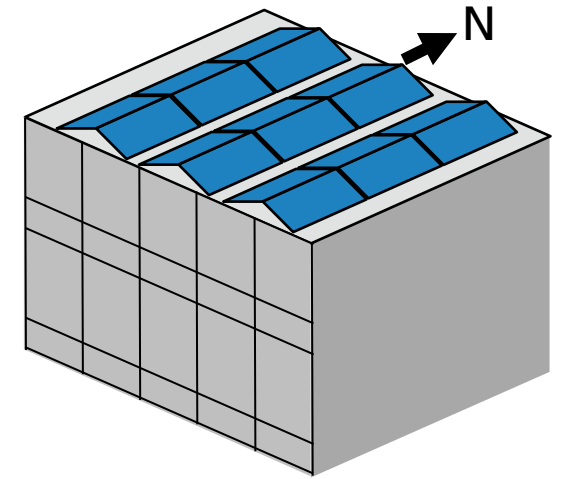
Flachdach Süd Bifazial

Höchster spez. Ertrag
[kWh/(kW_p·a)]



Flachdach Süd Gründach

Hoher spez. Ertrag
[kWh/(kW_p·a)]



Flachdach Ost-West

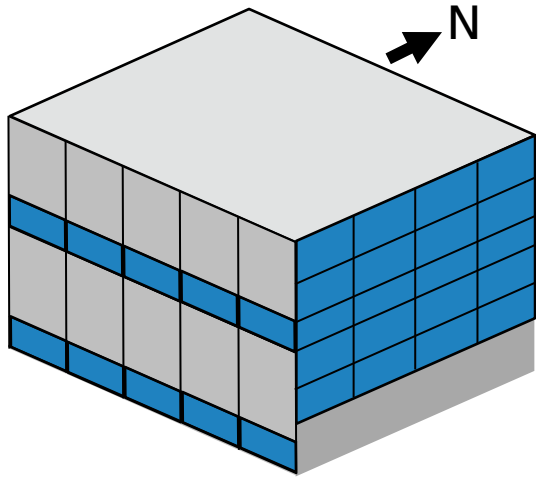
Höchster Flächenertrag
[kWh/(m²·a)]

Vorteilhaftes Tagesprofil

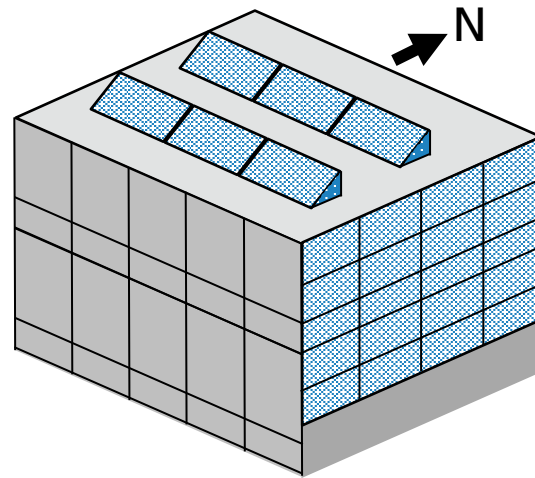
Beispiele: <https://www.baunetzwissen.de/solar/fachwissen/pv-am-gebaeude>

Systeme und Integration

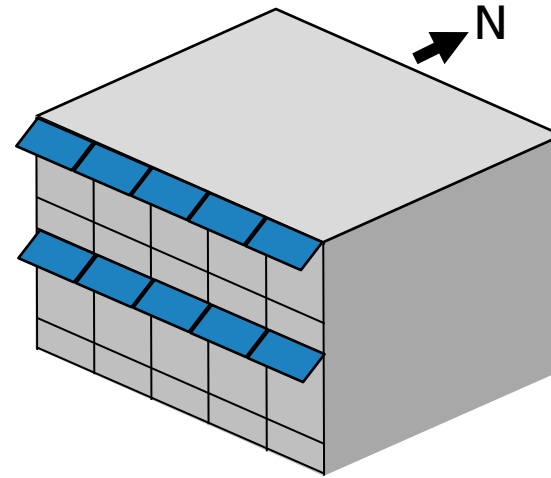
PV Bauarten Gebäude (2)



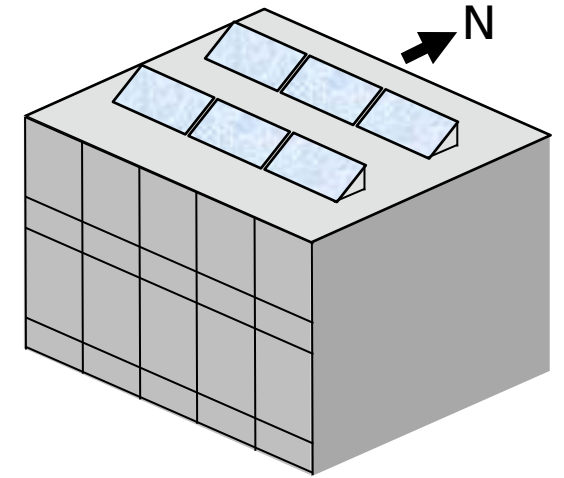
Kaltfassade (opak)
Kleinerer spez. Ertrag
[kWh/(kW_p·a)]
Vorteilhaftes Profil



Isolierglas für
Fassade/Shed-
dach/Pulldach
(teiltransparent)



Sonnenschutzlamellen
(starr, beweglich)

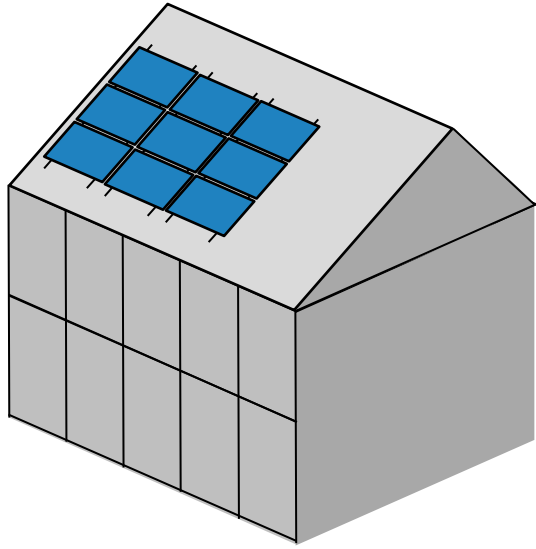


Leichtbau Module,
Unterkonstruktion

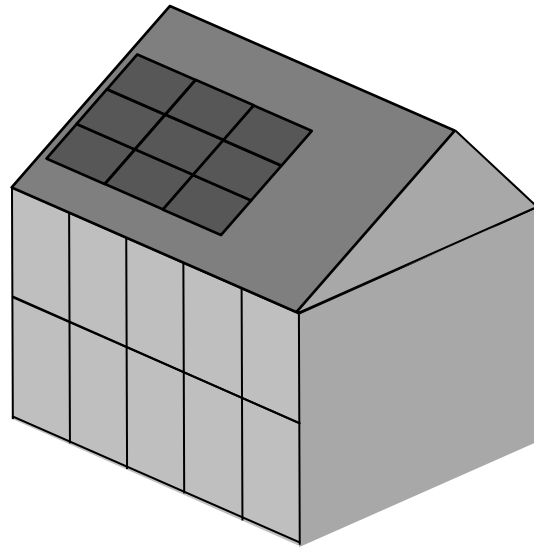
Beispiele: <https://www.baunetzwissen.de/solar/fachwissen/pv-am-gebäude>

Systeme und Integration

PV Bauarten Gebäude (3)



Steildach: Aufdachsystem



Steildach: Indachsystem

Systeme und Integration

Ertragspotenzial nach Ausrichtung

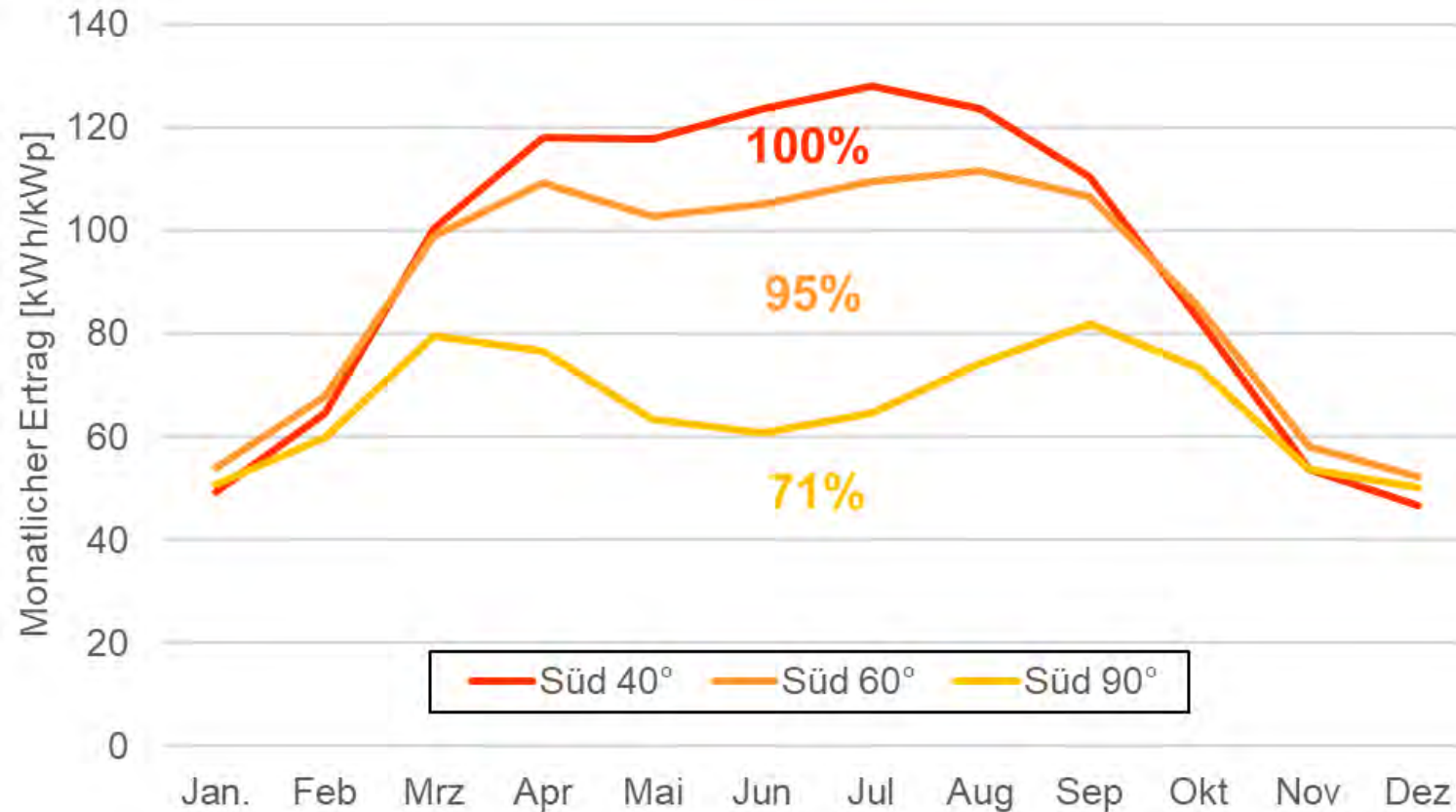
Orientierung:		Ost			Südost			Süd		Südwest			West		
		-90°	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
Horiz.	0°	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	84%	
	10°	83%	85%	87%	89%	90%	91%	91%	91%	90%	88%	87%	85%	83%	
	20°	82%	86%	90%	92%	95%	96%	96%	96%	94%	92%	89%	85%	81%	
	Neigung	30°	81%	86%	90%	94%	97%	99%	99%	98%	96%	93%	89%	84%	79%
		40°	78%	84%	90%	94%	98%	100%	100%	99%	97%	93%	88%	82%	76%
		50°	74%	81%	87%	92%	96%	98%	99%	97%	95%	91%	85%	79%	72%
		60°	70%	77%	83%	88%	92%	94%	95%	94%	91%	86%	81%	75%	67%
		70°	64%	71%	78%	83%	86%	88%	89%	88%	85%	81%	75%	69%	62%
		80°	57%	64%	70%	75%	79%	81%	81%	80%	77%	73%	68%	62%	55%
Vertikal		90°	50%	56%	62%	66%	69%	70%	71%	70%	68%	64%	60%	54%	48%

Ertragspotenzial relativ, unverschattet, Standort Freiburg, berechnet mit https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

-> Stromwert und Grenzkosten beachten

Systeme und Integration

Ertragsprofil nach Ausrichtung



-> Eigenverbrauchspotenzial beachten

Bauwerkintegrierte PV (BIPV)

Optionen Gebäudeintegration

- Dacheindeckung
 - Steildach: Platten-/Ziegeleindeckung

PV-Module mit MophoColor auf dem Dach eines historischen Gebäudes in Eppingen (2023)



Bauwerkintegrierte PV (BIPV) Optionen Gebäudeintegration

- Dacheindeckung
 - Steildach: Platten-/Ziegeleindeckung
 - Flachdach: Leichtbauprodukte



Links: Leichtbaumodul mit 3,3 kg/m², rechts: Montage (© DAS Energy)

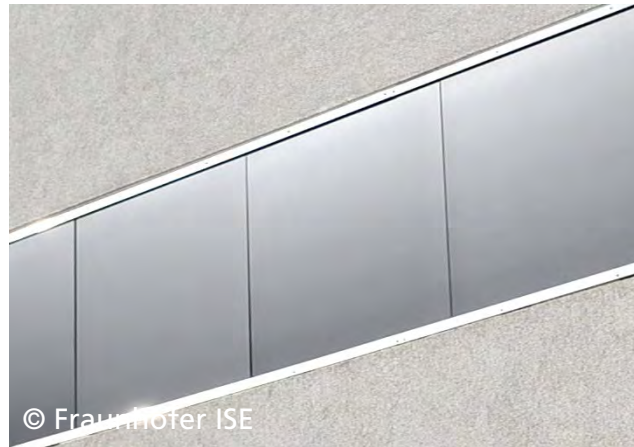
Bauwerkintegrierte PV (BIPV)

Optionen Gebäudeintegration

- Dacheindeckung
 - Steildach: Platten-/Ziegeleindeckung
 - Flachdach: Leichtbauprodukte
- Kaltfassade
 - vorgehängte, hinterlüftete Fassade (VHF)



„Traditionelles“ Erscheinungsbild



Unsichtbare Solarzellen, blendfrei



Künstlerisches Design

Bauwerkintegrierte PV (BIPV)

Optionen Gebäudeintegration

- Dacheindeckung
 - Steildach: Platten-/Ziegeleindeckung
 - Flachdach: Leichtbauprodukte
- Kaltfassade
 - vorgehängte, hinterlüftete Fassade

PV-Module (60 Stück, 250 W_p) mit
MorphoColor-Schicht am Fraunhofer ISE



Bauwerkintegrierte PV (BIPV)

Optionen Gebäudeintegration

- Dacheindeckung
 - Steildach: Platten-/Ziegeleindeckung
 - Flachdach: Leichtbauprodukte
- Kaltfassade
 - vorgehängte, hinterlüftete Fassade (VHF)
- Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
- Isolierglas
 - teiltransparent
 - opak (Brüstungen)
- Sonnenschutz-Lamellen

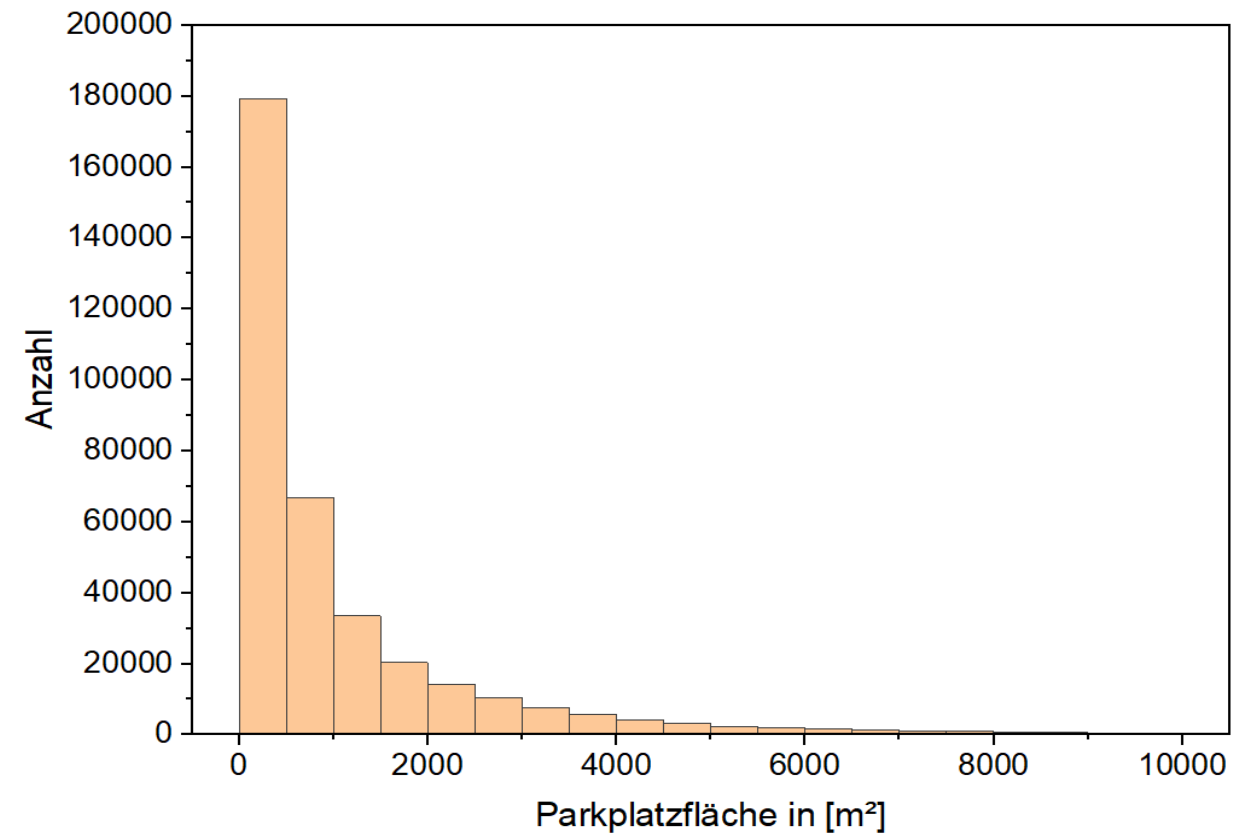
Vertikale PV-Lamellen als
Verschattung, Rathaus Freiburg



Urbane Photovoltaik (UPV) - Parkplätze

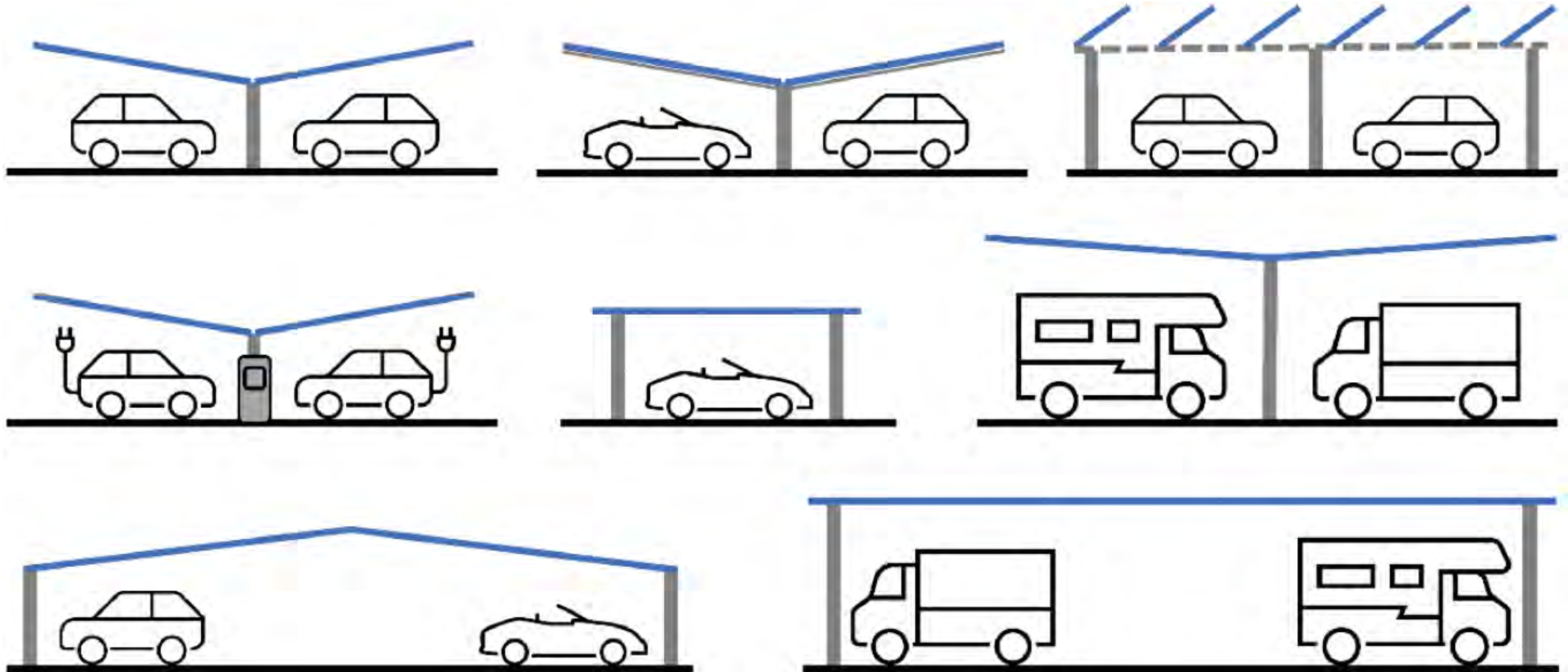
Flächenpotenziale (technisch)

- Ausschluss private Stellplätze, Parkstreifen an Straßen
- Ca. 360.000 Flächen bundesweit, gesamt 47.400 ha
- Ausschluss 40% Erschließungsfläche
- Belegungsdichte 2 MW/ha
- technisches Potenzial ca. 59 GWP



Urbane Photovoltaik (UPV) - Parkplätze

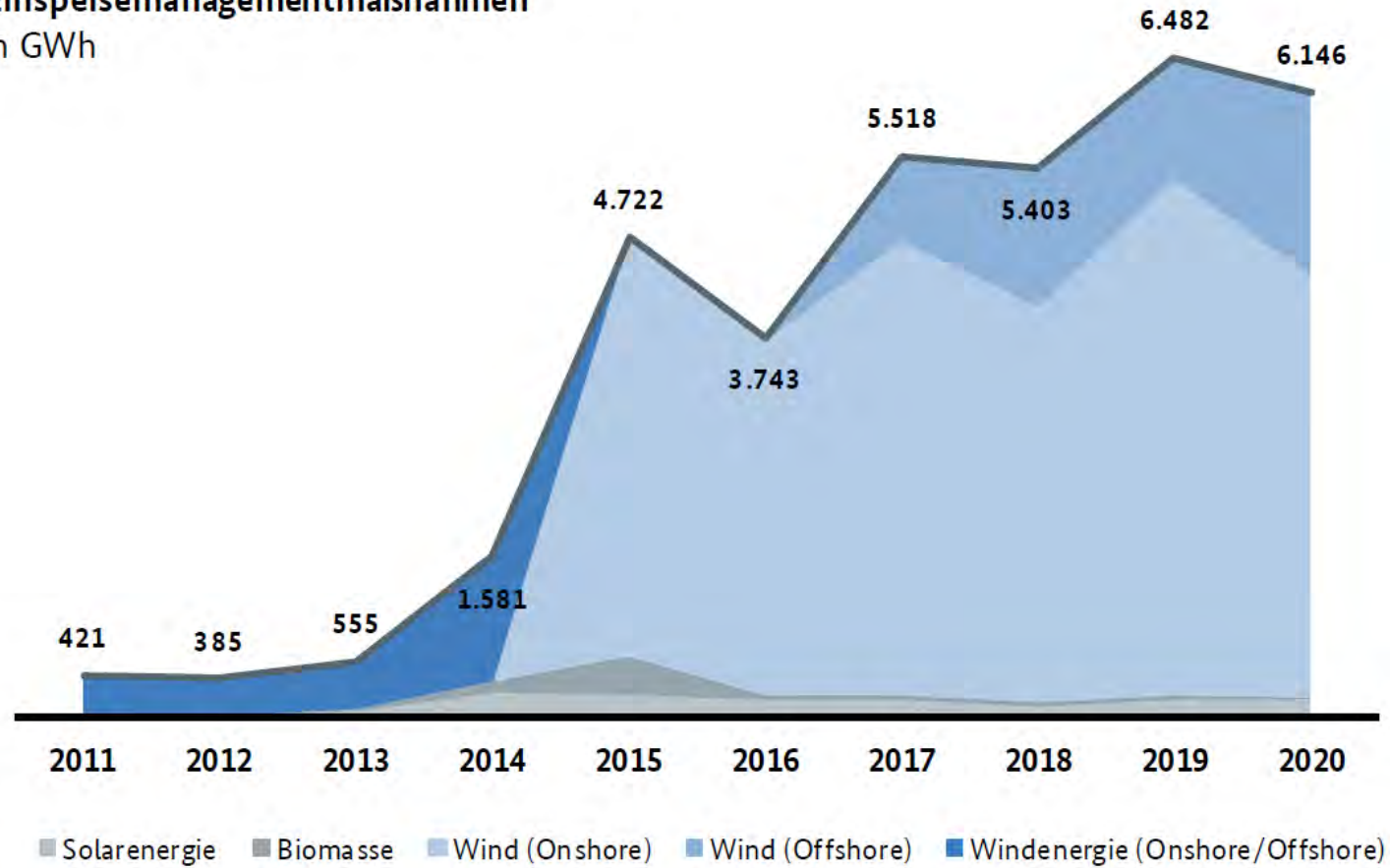
Ausführungsvarianten



5. Energiesystem

Netzkapazität: abgeregelte elektrische Energie

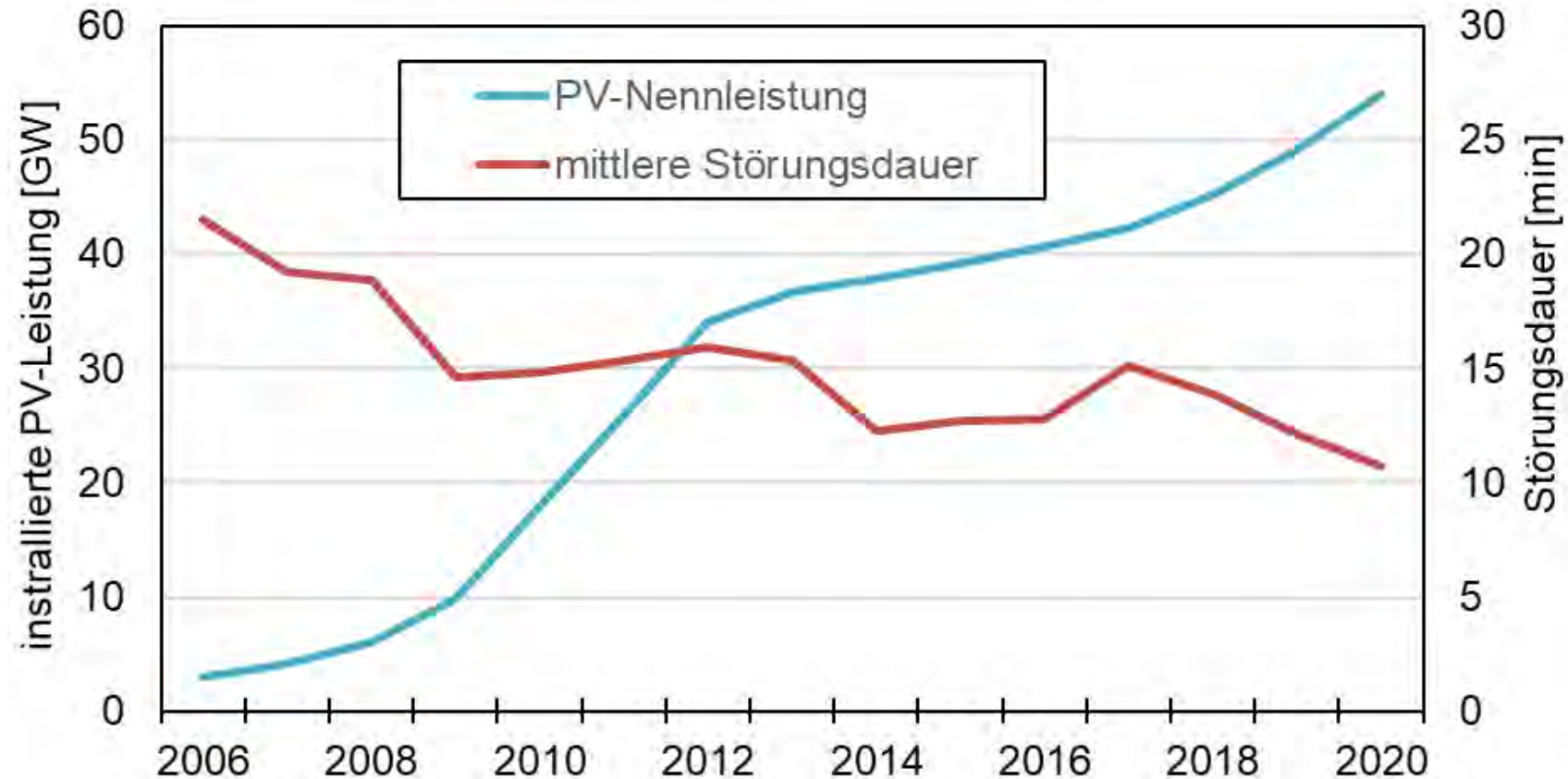
Elektrizität: Ausfallarbeit verursacht durch
Einspeisemanagementmaßnahmen
in GWh



Monitoringbericht 2021, Bundesnetzagentur, Stand Dezember 2021

Energiesystem

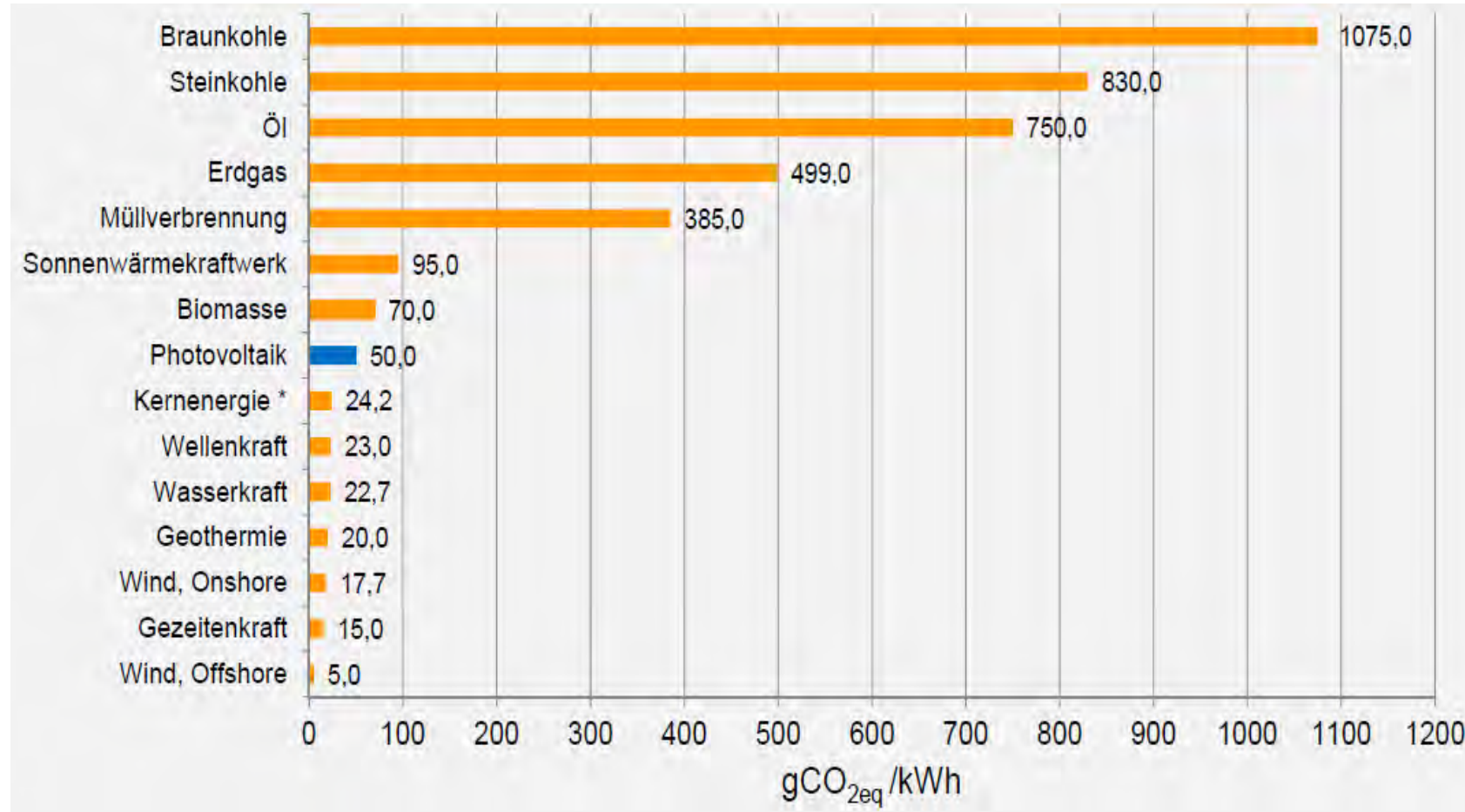
Netzstabilität: System Average Interruption Duration Index



www.pv-fakten.de, Daten: Monitoringbericht 2021, Bundesnetzagentur, Stand Dezember 2021

Energiesystem

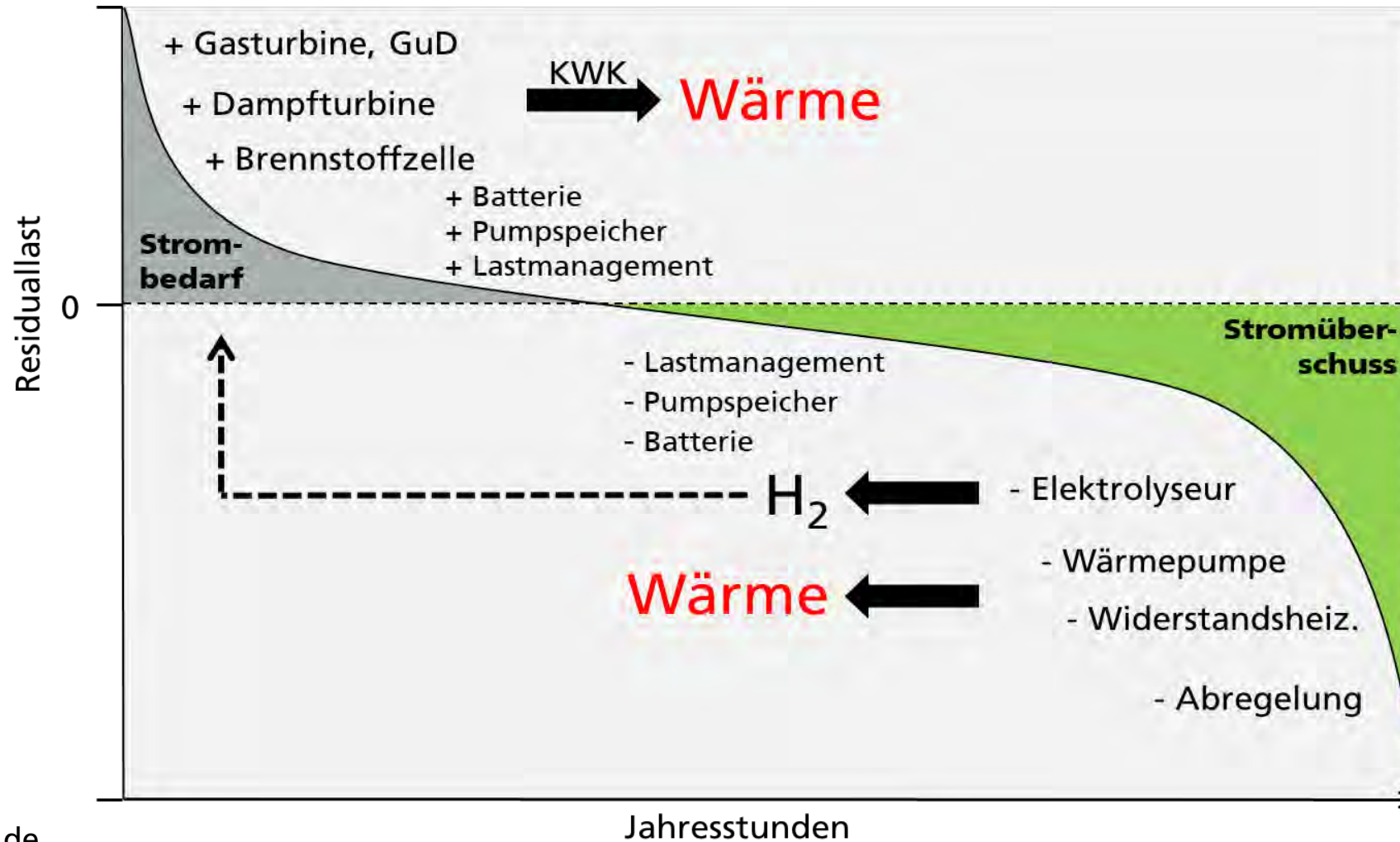
Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung



Durchschnittliche CO₂-Äquivalent Emissionen verschiedener Stromerzeugungstechnologien [EnAg]

Energiesystem

Schematische Residuallastkurve für Deutschland bei 100% Strom aus EE



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Harry Wirth
www.pv-fakten.de

Bild von andreas160578 auf Pixabay