

C.A.R.M.E.N.-WebSeminar

Online, 25.01.2024

Photovoltaik auf dem Eigenheim Grundlagen für die private Energiewende

M. Sc. Julian Müller
C.A.R.M.E.N. e.V.



C.A.R.M.E.N.-Veranstaltungshinweise

C.A.R.M.E.N.- WebSeminar

„Kommunale Wärmeplanung und Gebäudeenergiegesetz – was bedeutet das für mich?“

Am 30.01.2024 um 18:00 Uhr, online → [zur Anmeldung](#)

C.A.R.M.E.N.-WebSeminar

„Wärmepumpe trifft Photovoltaik – Heizen mit Erneuerbaren Energien“

Am 06.02.2024 um 16:00 Uhr, online → [zur Anmeldung](#)

C.A.R.M.E.N.- WebSeminar-Reihe

„Energetische Gebäudemodernisierung – Gebäudehülle“

Teil 1 „Gebäudehülle“ am 27.02.2024 um 17:00 Uhr, online → [zur Anmeldung](#)

Vortragsunterlagen

Vortragsunterlagen abrufbar unter:

<https://www.carmen-ev.de/termine/veranstaltungsunterlagen/>



[C.A.R.M.E.N.-WebSeminar "Photovoltaik auf dem Eigenheim" \(25.01.2024\)](#)

DOWNLOAD

Passwort: **PV-2024**

Inhalt



Aktuelle Situation Photovoltaik



Grundlagen Aufdach-Photovoltaik



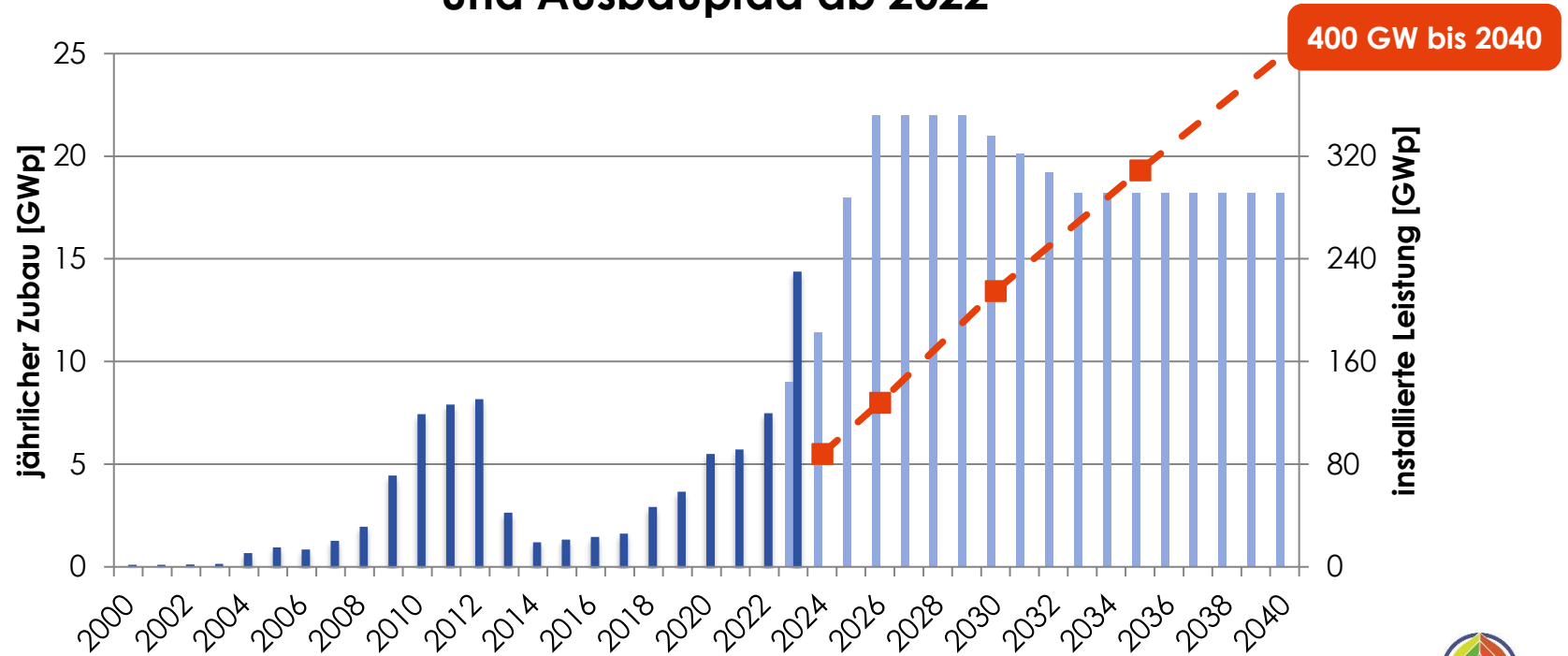
Rechtsrahmen - EEG



Eigenverbrauch und Stromspeicherung

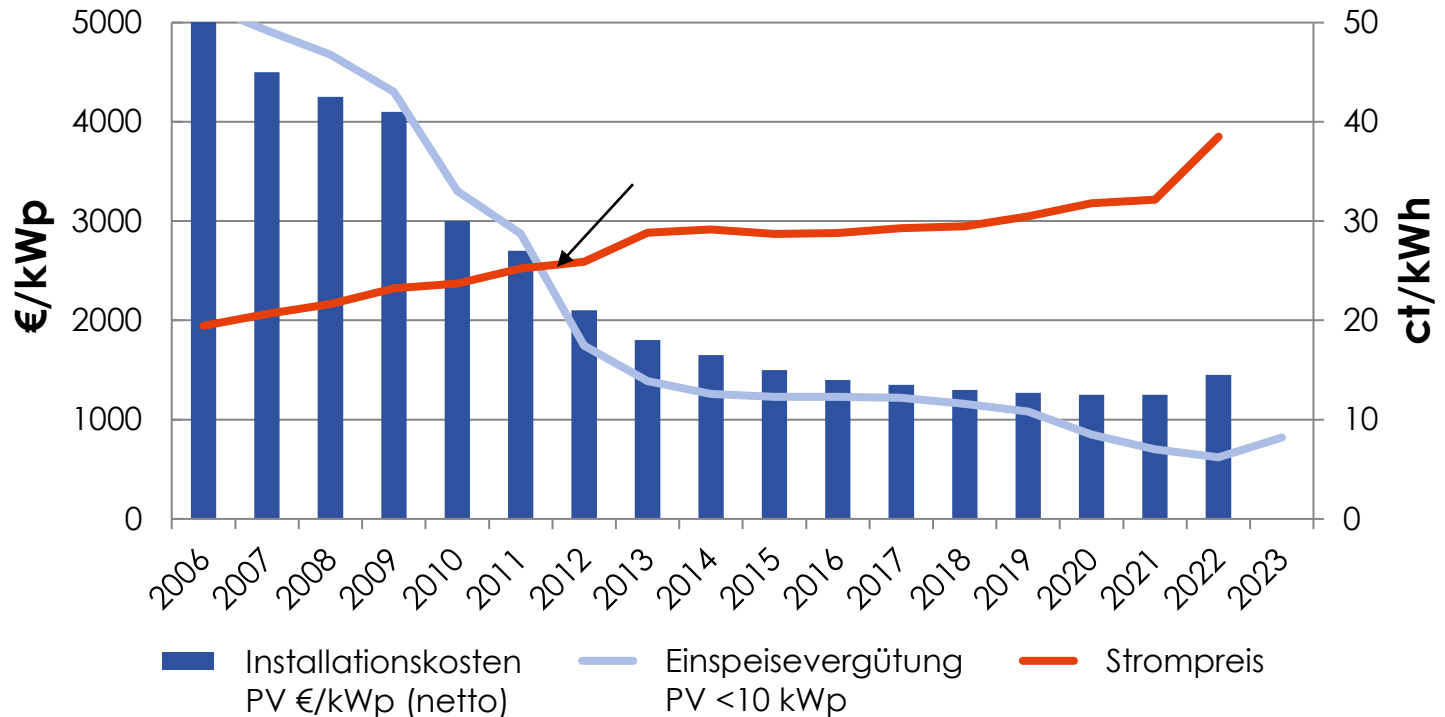
Ausbauziele Photovoltaik

Jährlicher Zubau PV-Leistung und Ausbaupfad ab 2022



Entwicklung

Vergütungs- und Preisentwicklung von PV-Kleinanlagen



Inhalt



Aktuelle Situation Photovoltaik



Grundlagen Photovoltaik



Rechtsrahmen - EEG



Eigenverbrauch und Stromspeicherung

Möglichkeiten der PV-Installation

- **Auf-Dach**

- Schrägdach
- Flachdach



- **Gebäudeintegriert**

- Fassadenintegration
- Dachintegration



- **Freifläche**

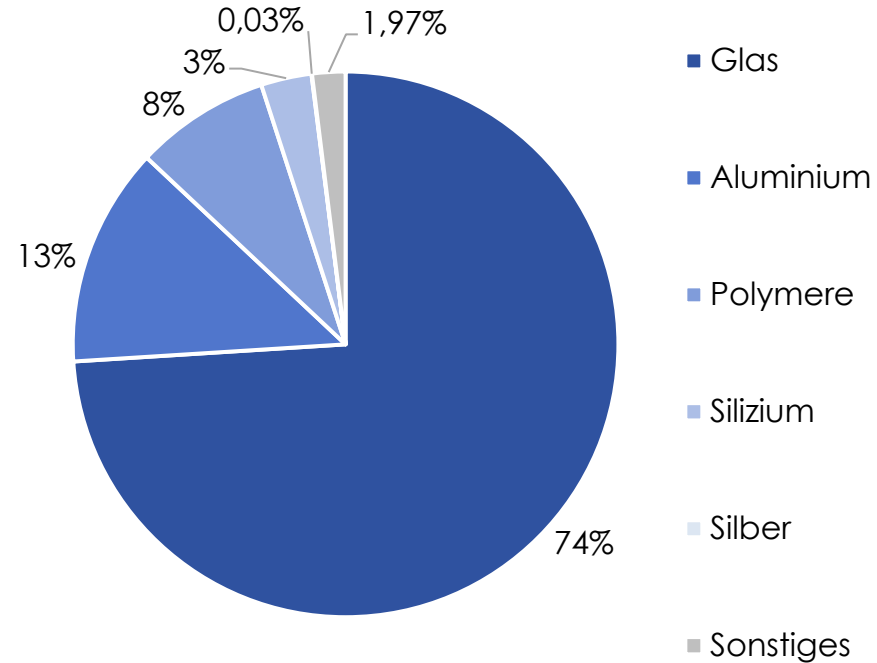
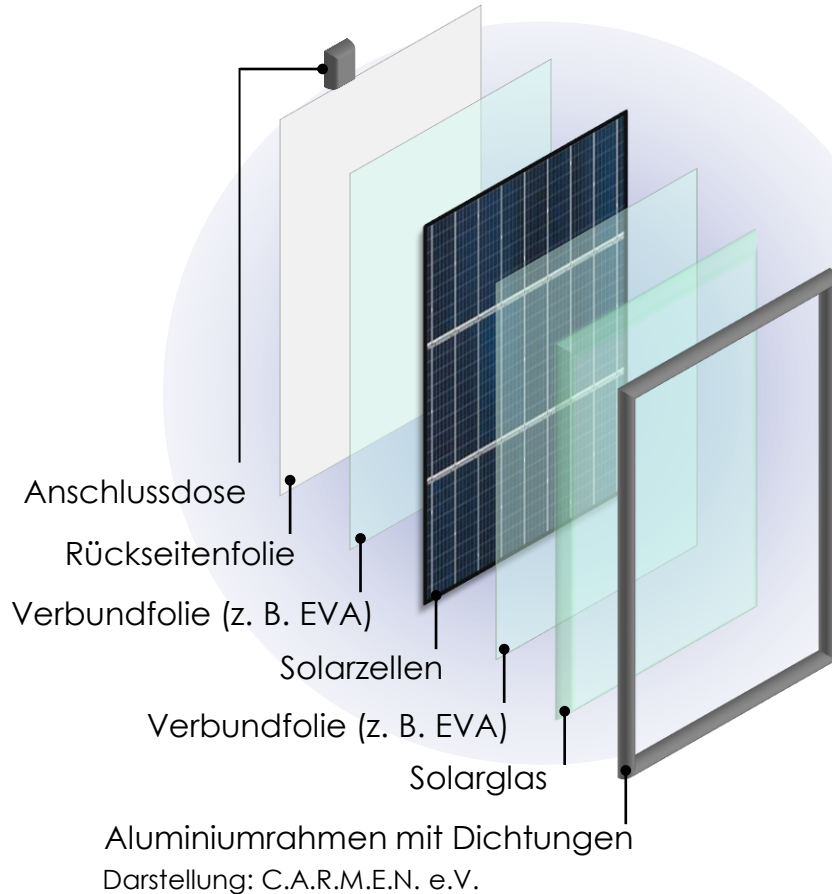
- Freiflächen-PV
- Besondere Solaranlagen (Agri-PV, Floating-PV, Moor-PV, Parkplatz-PV)



Grundlagen Photovoltaik



Modulaufbau und -recycling



Anforderungen ElektroG:

- Pflicht zur Rücknahme durch Hersteller
- Sammelquote > 85 %
- Recyclingquote > 80 %

Flächenbedarf für PV



6 Module x 425 W_p = 2.550 W_p = 2,55 kW_p

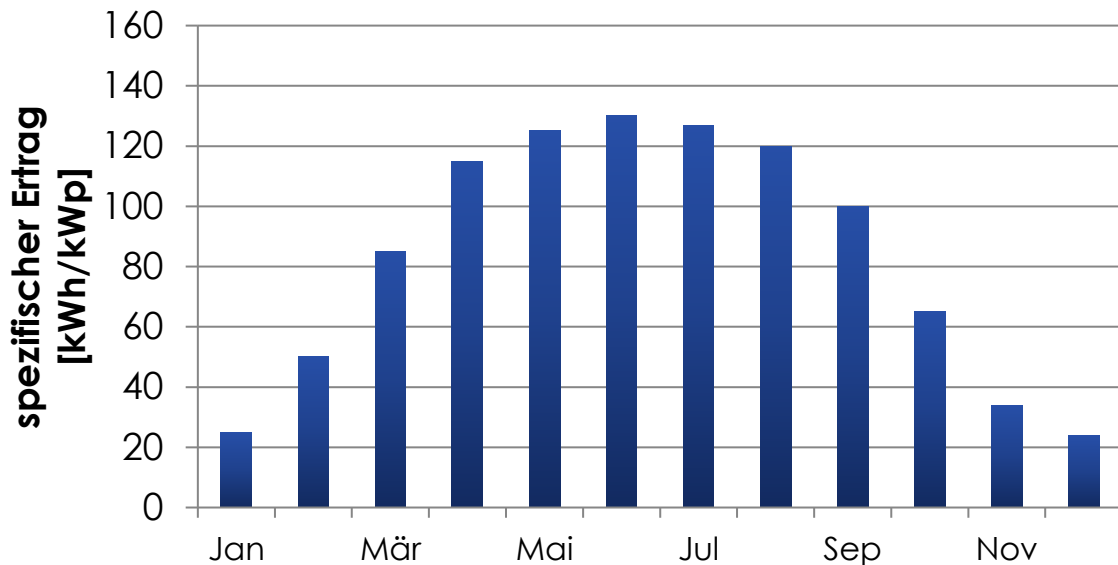
➔ Ertrag in 1 Jahr: ca. 2.600 kWh

12 m² ≙ ca. Strombedarf einer kleinen Familie
oder
ca. 16.000 km Fahrleistung mit dem E-Auto*

Jährl.
Globalstrahlung:
1.000 kWh/m²
Modulwirkungsgrad:
20 %
Ergebnis:
200 kWh/m²

PV-Ertrag

Beispielhafter Monatsertrag pro kW_p



Einflussfaktoren auf den Jahresertrag

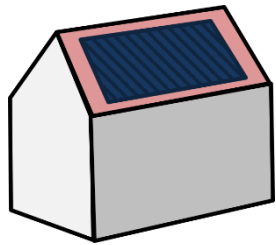
- Globalstrahlung/ Standort
- Temperaturen
- Anlagenleistung
- Modulart, Wechselrichter
- Orientierung, Neigung
- Schnee, Verschmutzung
- Verschattung, Verschattungsmanagement
- Alterungseffekte

Modulalterung

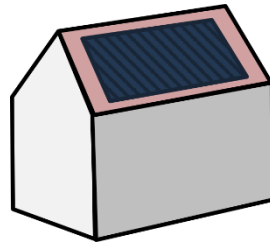
Modulalterung

- Lebensdauer mindestens 30 Jahre (Glas-Glas-Module mind. 35 Jahre)
- Leistungsverlust ca. 0,25 - 0,5 % jährlich

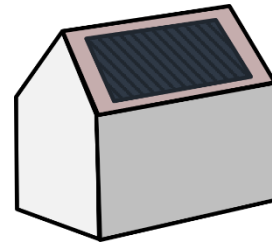
Dachanlage mit linearem Leistungsverlust:



Ertrag im 1. Jahr:
1.000 kWh/kW_p



Ertrag im 20. Jahr:
909 kWh/kW_p



Ertrag im 30. Jahr:
865 kWh/kW_p

EEG-Förderzeitraum

Post-EEG-Anlage

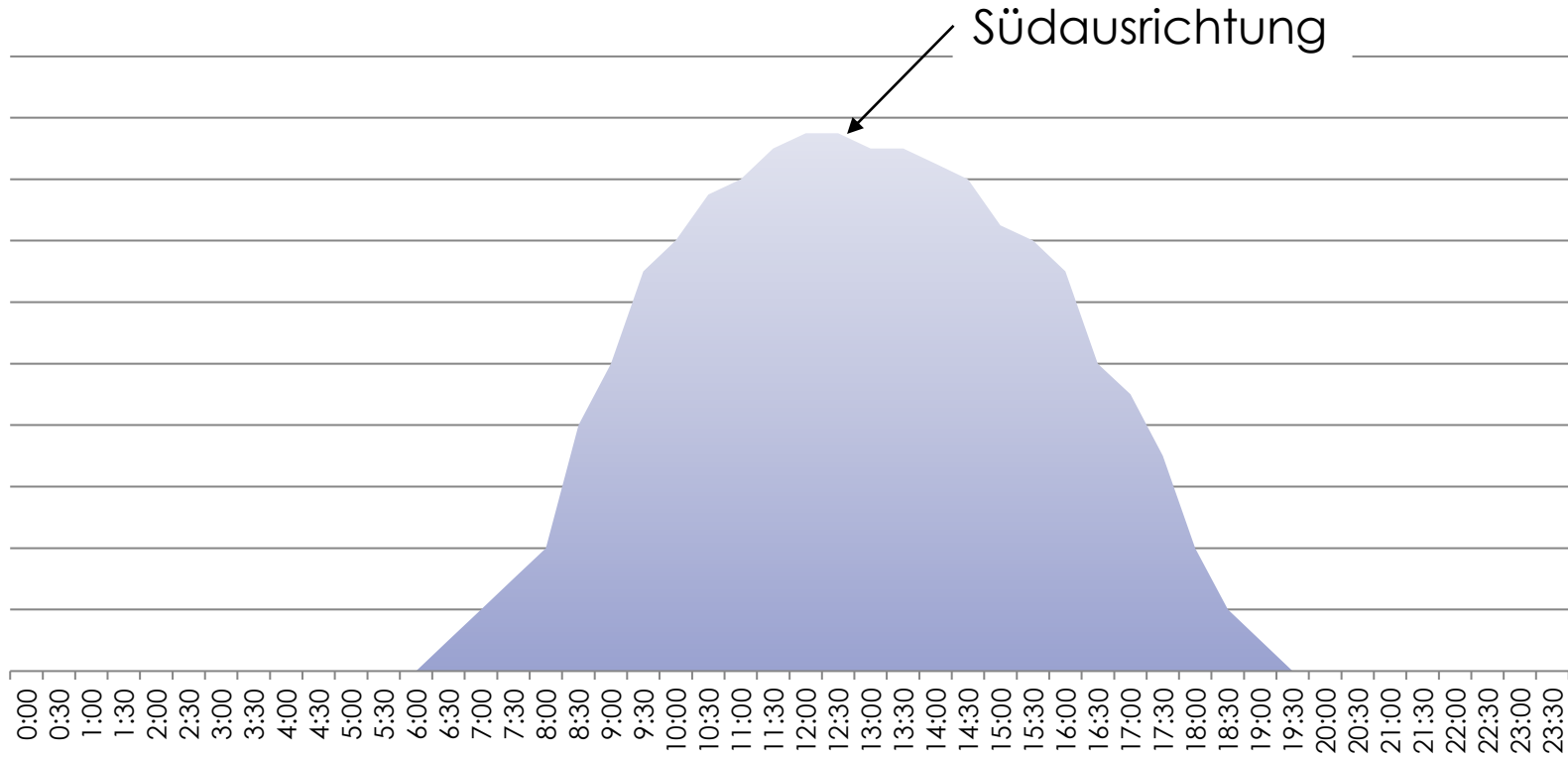
Modulausrichtung

		Nord								Ost/West										Süd
	Grad	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
waagrecht	0	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
	10	77	77	78	78	79	80	81	83	84	85	87	88	89	90	91	92	92	92	92
	20	68	68	69	70	72	74	76	79	82	84	87	89	91	93	94	96	97	97	97
	30	58	59	60	62	64	68	71	75	78	82	86	89	92	94	96	98	99	100	100
	40	49	49	51	54	57	61	66	70	75	79	83	87	91	93	96	98	99	100	100
	50	40	41	43	46	51	56	61	66	71	75	80	84	88	91	94	96	97	98	98
	60	32	33	36	40	45	50	55	60	65	70	75	79	83	87	89	92	93	94	94
	70	26	28	30	34	39	44	49	54	60	65	69	73	77	81	83	85	87	88	88
	80	22	23	25	29	33	38	43	48	53	58	62	66	70	73	75	77	78	79	79
senkrecht	90	18	19	21	24	28	32	36	41	46	50	54	58	61	64	66	67	68	69	69

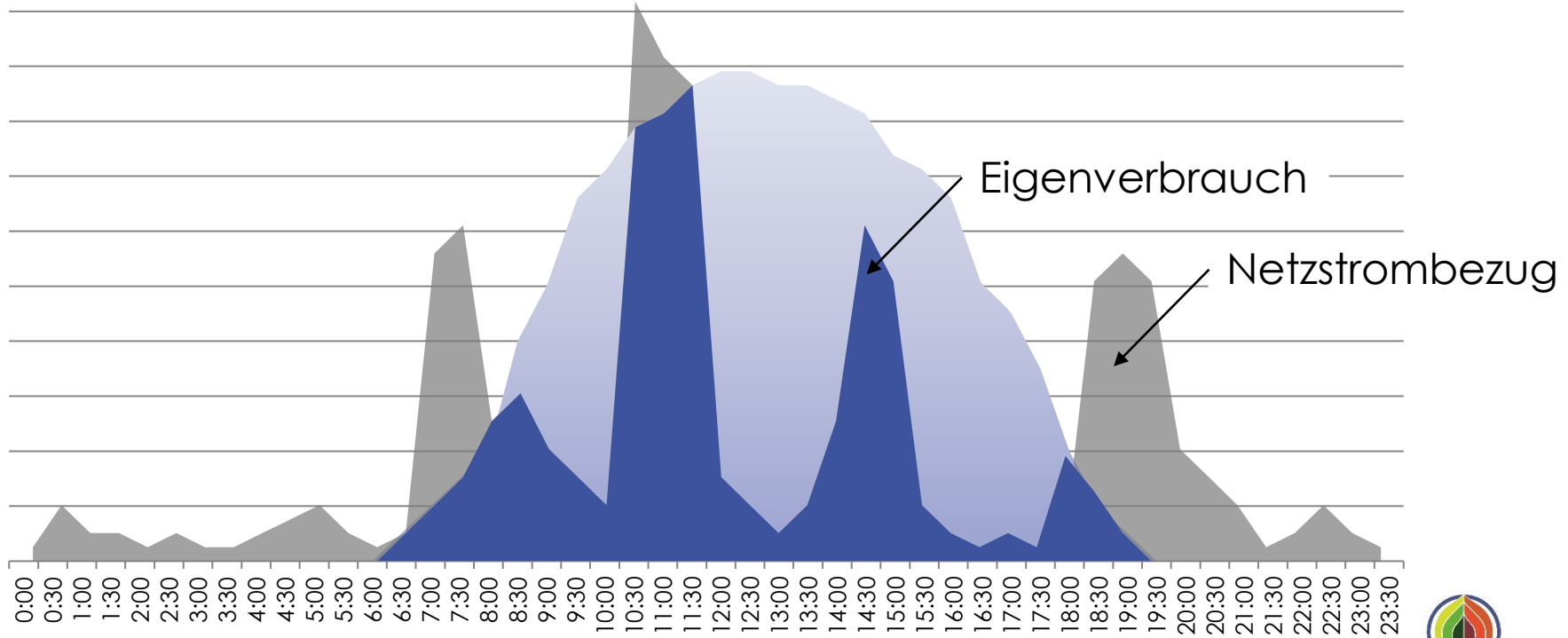
Modulausrichtung

		Nord										Ost/West										Süd
	Grad	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0		
waagrecht	0	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86		
	10	77	77	78	78	79	80	81	83	84	85	87	88	89	90	91	92	92	92	92		
	20	68	68	69	70	72	74	76	79	82	84	87	89	91	93	94	96	97	97	97		
	30	58	59	60	62	64	68	71	75	78	82	86	89	92	94	96	98	99	100	100		
	40	49	49	51	54	57	61	65	70	75	79	83	87	91	93	96	98	99	100	100		
	50	40	41	43	46	51	<div style="background-color: #003366; color: white; padding: 10px; border-radius: 15px; display: inline-block;"> <p>Aufdach-PV in Straubing (35° Neigung + direkte Südausrichtung) Ø ~ 1.065 kWh/kWp p.a.*</p> </div>										94	96	97	98	98	
	60	32	33	36	40	45											89	92	93	94	94	
	70	26	28	30	34	39	44	49	54	60	65	69	73	77	81	83	85	87	88	88		
	80	22	23	25	29	33	38	43	48	53	58	62	66	70	73	75	77	78	79	79		
senkrecht	90	18	19	21	24	28	32	36	41	46	50	54	58	61	64	66	67	68	69	69		

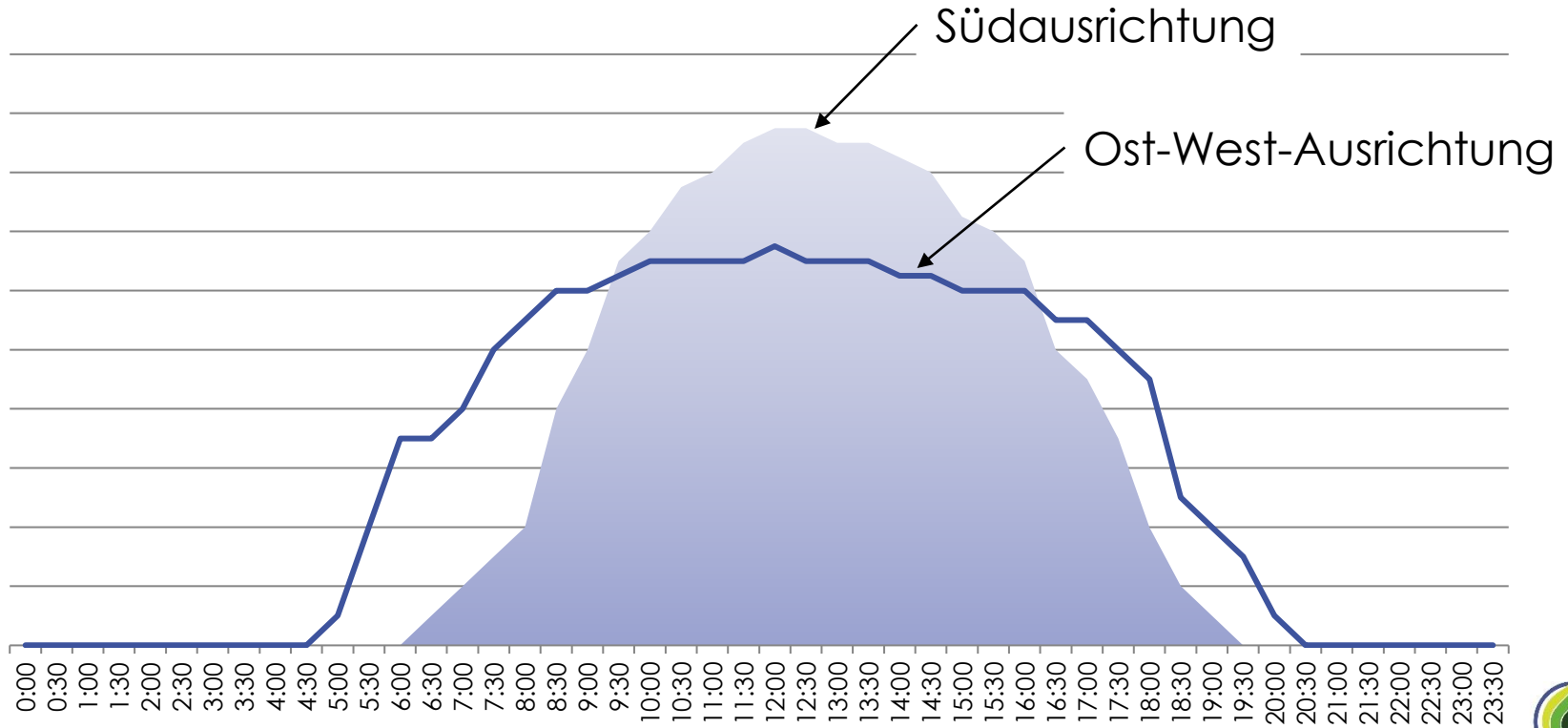
Solarstromproduktion im Tagesverlauf



Solarstromproduktion im Tagesverlauf vs. Last



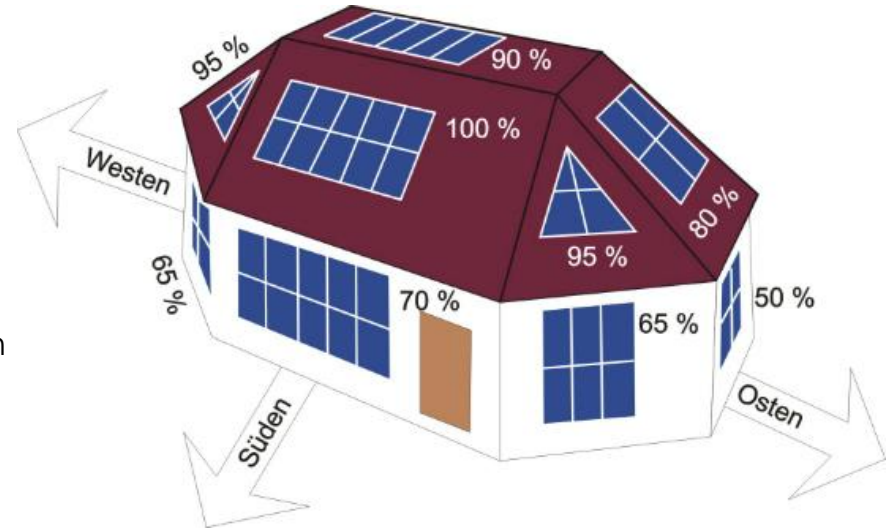
Solarstromproduktion im Tagesverlauf



Eigenverbrauch

Theoretisches Beispiel*:

- Photovoltaikanlage mit 7 kWp
- Jahresstromverbrauch 4.000 kWh
- Strompreis 35 Cent/kWh; Vergütung 8,2 Cent/kWh
- Standardlastprofil
- 35° Neigung



Orientierung	Jahresstromerzeugung	Eigenverbrauch	Einsparung + Einspeisevergütung
Süd	6.502 kWh	1.581 kWh (24 %)	957 € p. a.
50 % Ost-West	5.355 kWh	1.619 kWh (30 %)	873 € p. a.

*berechnet mit: <https://www.energieinstitut.at/tools/susi/>

Kriterien bei der Anlagenplanung

Ausrichtung:

- Süd: Maximale Gesamterträge, hohe Mittagsspitzen
- Ost/West: Maximaler Eigenverbrauch, gleichmäßigere Ertragsverteilung
- Nord: Bei geringer Dachneigung auch möglich

Dachneigung:

- Geringe DN: geringerer Einfluss der Ausrichtung, geringerer Selbstreinigungseffekt (am besten über 12° DN)
- Höhere DN: Maximale Erträge im Winter
- Verschattung: „Harte“ Schatten aussparen, bei „weichem“ Schatten: Verschattungsmanagement

Reinigung

Verschmutzung:

- durch Vögel
- Moosbildung
- Blütenpollen
- Kamine mit partikelhaltigen Abgasen
- Ernte-, Futtermittelstaub & Dämpfe
- Abgase und Stäube
- Eisenabrieb
- Gusspartikel
- salzige Luft

Verschmutzungen entstehen besonders bei...

- flachem Anstellwinkel ($< 20^\circ$)
- hohem Modulrahmen mit Aufkantungen oberhalb des Frontglases
- Befestigung der Module mit zusätzlichen Klemmprofilen

Inhalt



Aktuelle Situation Photovoltaik



Grundlagen Aufdach-Photovoltaik



Rechtsrahmen - EEG



Eigenverbrauch und Stromspeicherung

Vergütungssätze EEG



Anzulegende Werte nach § 48 EEG 2023

- Pflicht zur Direktvermarktung bei über 100 kW_p installierter Leistung
- ab Februar 2024: halbjährliche Degression um 1 %
- Wechsel Festvergütung – Direktvermarktung monatlich möglich (Fristen!)

Vergütungssätze EEG

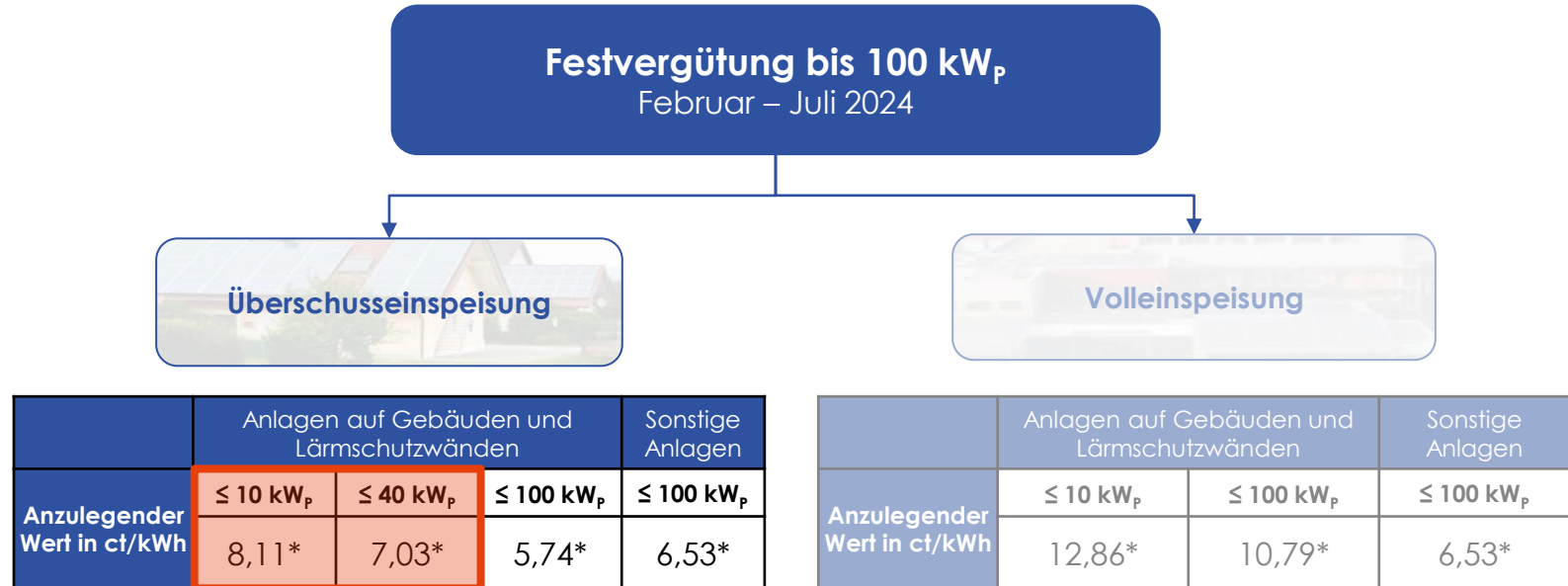


Anzulegende Werte nach § 48 EEG 2023

- Pflicht zur Direktvermarktung bei über 100 kW_p installierter Leistung
- ab Februar 2024: halbjährliche Degression um 1 %
- Wechsel Festvergütung – Direktvermarktung monatlich möglich (Fristen!)

Vergütungssätze EEG bis 100 kW_p

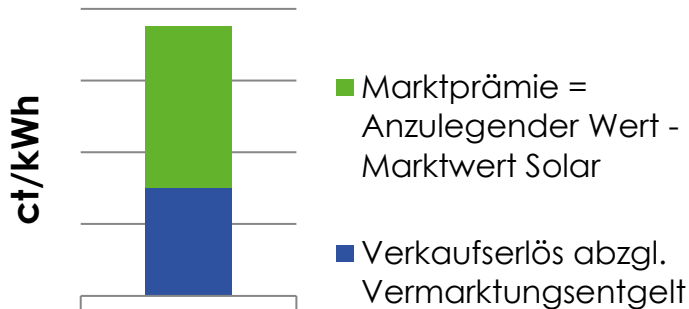
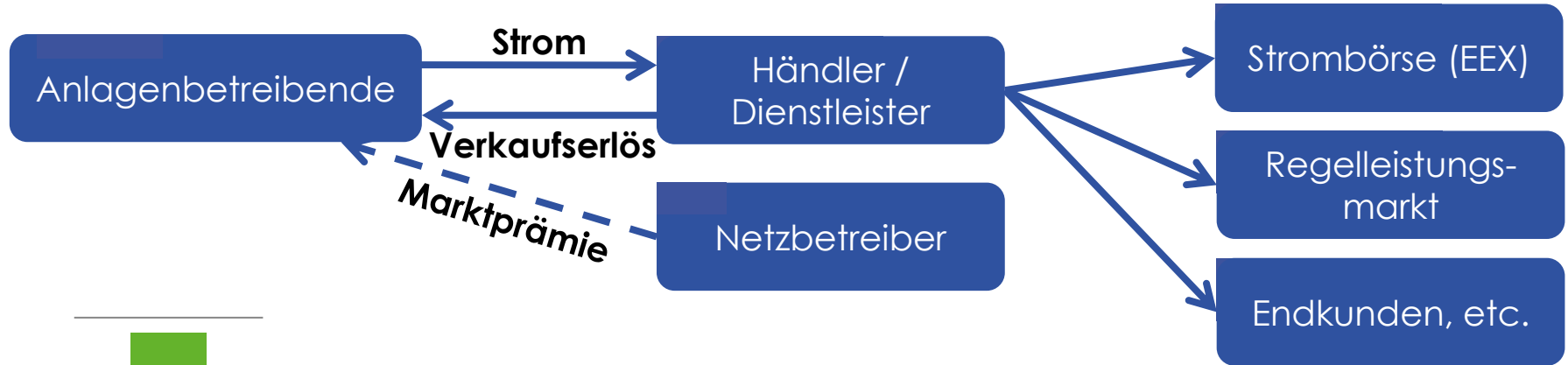
- Anspruch für 20 Jahre + restliches Inbetriebnahmejahr



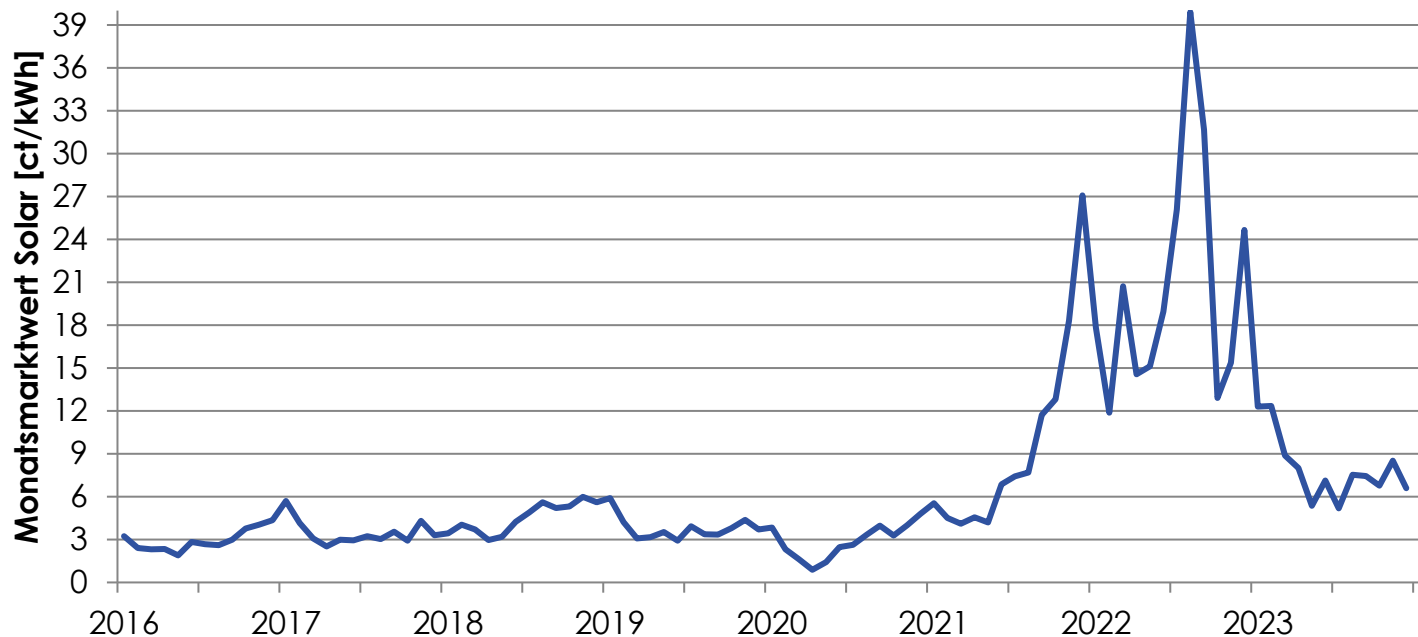
* Vermarktungsprämie in Höhe von 0,4 ct/kWh bereits abgezogen, Pflicht zur Direktvermarktung ab 100 kW_p

Anzulegender Wert - Marktprämienmodell

Geförderte Stromdirektvermarktung („Marktprämienmodell“) > 100 kWp



Monatsmarktwert Solar



MW Solar [ct/kWh]	Dez 2021	Dez 2022	Dez 2023
	27,08	24,66	6,59

Direktvermarktung

Direktvermarktung

Vergütung

- Anlagenbetreibende erhalten Vergütung nach Börsenstrompreis abzüglich Vermarktungsentgelte
- Individuelle Vermarktungspauschale und Gebühren

Wechsel in die Direktvermarktung

- fristgerechter Wechsel der Vermarktungsart (Anzeigepflicht beim Netzbetreiber)
- Beginn Direktvermarktung mit Beginn des übernächsten Monats

Voraussetzungen

- 1/4-Stunden-Messung und Fernauslesung (→ RLM-Zähler/SmartMeter)
- Anlagensteuerung (Fernsteuerungstestat)



Solarpflicht

Solarpflicht in Bayern

Nichtwohngebäude > **50 m²** Dachfläche



Wann?	Welche Gebäude?
ab 01. März 2023	neue Gewerbe- und Industriegebäude*
ab 01. Juli 2023	neue Nicht-Wohngebäude*
ab 01. Januar 2025	bei vollständiger Erneuerung der Dachhaut von Nicht-Wohngebäuden*

*Ausnahmen gem. [Art. 44a Abs. 3 und 5 BayBO](#)

→ Photovoltaik: **1/3 der geeigneten Dachfläche**

→ Solarthermie gem. § 35 GEG

Brandschutz: Dachabstände bei Reihenhäusern

Maßgeblich: jeweilige Landesbauordnung

In Bayern gelten folgende **Abstände von einer Brandwand**:



**Nicht-Dachparallel
installierte Solaranlagen**

mind. 1,25 m



**Dachparallel installierte
Solaranlagen**

mind. 0,5 m



**Dachintegrierte
Solaranlagen**

kein Abstand erforderlich

Exkurs: Steuerliche Vereinfachungen 2023

Jahressteuergesetz 2022

Umsatzsteuersatz von 0 %

- ab 1.1.2023 bei Lieferung von Neuanlagen (bis 30 kW_p automatisch)
- inkl. aller Anlagenbestandteile, auch Stromspeicher
- auf Wohngebäuden sowie öffentlichen und anderen Gebäuden, die dem Gemeinwohl dienen (z. B. Schulen)

Exkurs: Steuerliche Vereinfachungen 2023

Jahressteuergesetz 2022

Ertragssteuerbefreiung ab 01.01.2022 (obligatorisch!)

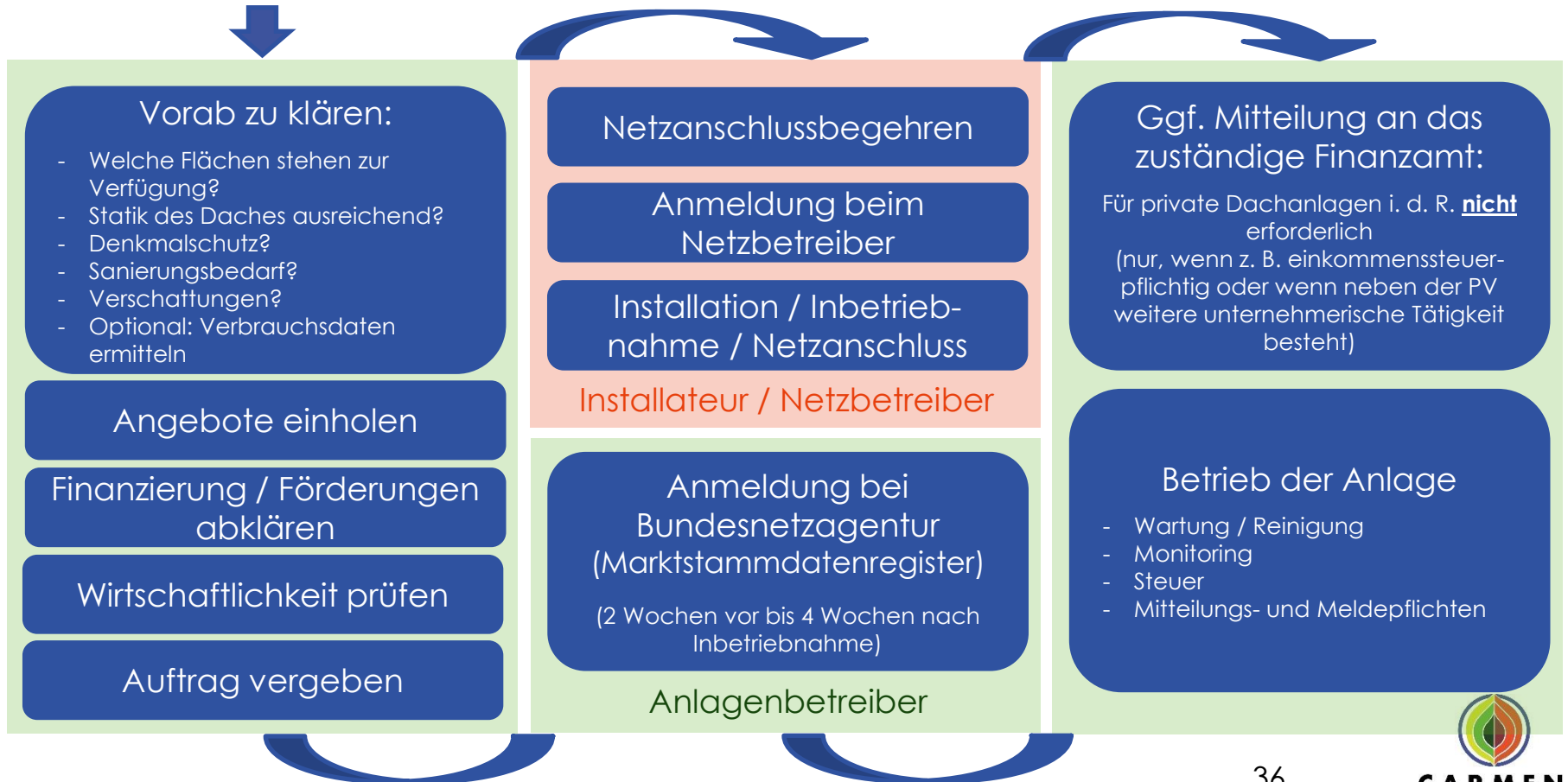
- für PV auf Einfamilienhäusern und Nicht-Wohngebäuden bis 30 kW_p
- bzw. bis 15 kW_p je Wohn- oder Gewerbeeinheit
- max. 100 kW_p pro Steuerpflichtige Person
- gilt auch für Bestandsanlagen
(keine Gewinnermittlung mehr unter 30 kW_p)

Weiterführender Link:

https://www.finanzamt.bayern.de/Informationen/Steuerinfos/Weitere_Themen/Photovoltaikanlagen/Hilfe_zu_Photo_voltaikanlagen_03_2023.pdf

35

Schritte zur PV-Anlage



Steckerfertige Erzeugungsanlagen



Aktuell: max. 600 VA (zukünftig 800 VA) Wechselrichter-Leistung
(Moduleleistung kann auch höher sein)

→ Meldung im Marktstammdatenregister der BNetzA (& dem zuständigen Netzbetreiber)

→ ggf. Zählertausch erforderlich



→ Informieren/Abstimmen Vermieter/WEG



Inhalt



Aktuelle Situation Photovoltaik



Grundlagen Aufdach-Photovoltaik

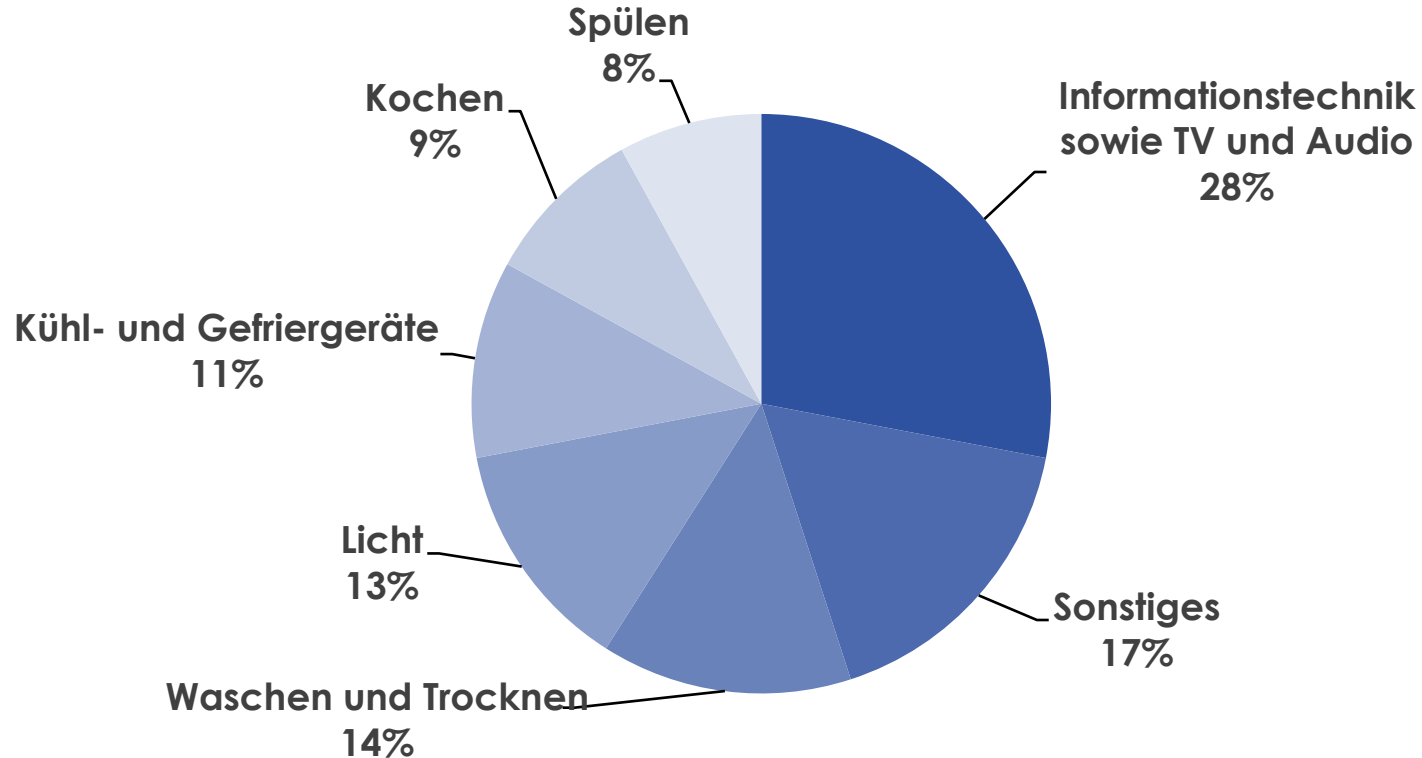


Rechtsrahmen - EEG



Eigenverbrauch und Stromspeicherung

Stromverbrauch privat Haushalt



eigene Darstellung nach Stromspiegel 39

Eigenverbrauchserhöhung

Analyse der Bedingungen

- Wann findet Verbrauch statt?
- Wie können Verbraucher auf die PV-Anlage abgestimmt werden?
- Welche Verbraucher sind möglich/geplant?

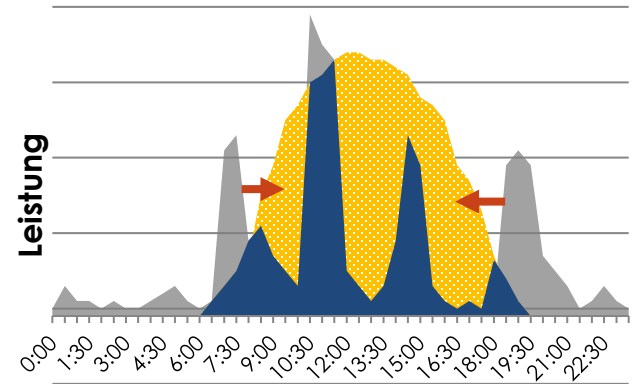
Speicherung



Elektrifizierung



Verbrauchszeiträume

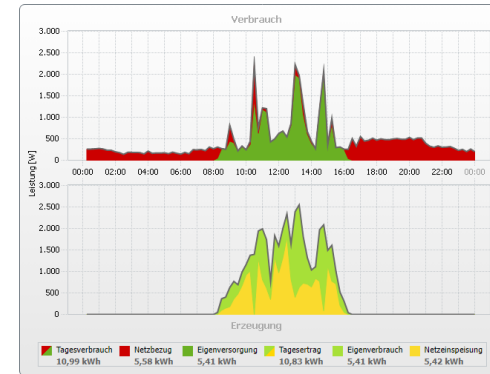


Intelligentes Energiemanagementsystem

Funktionen:

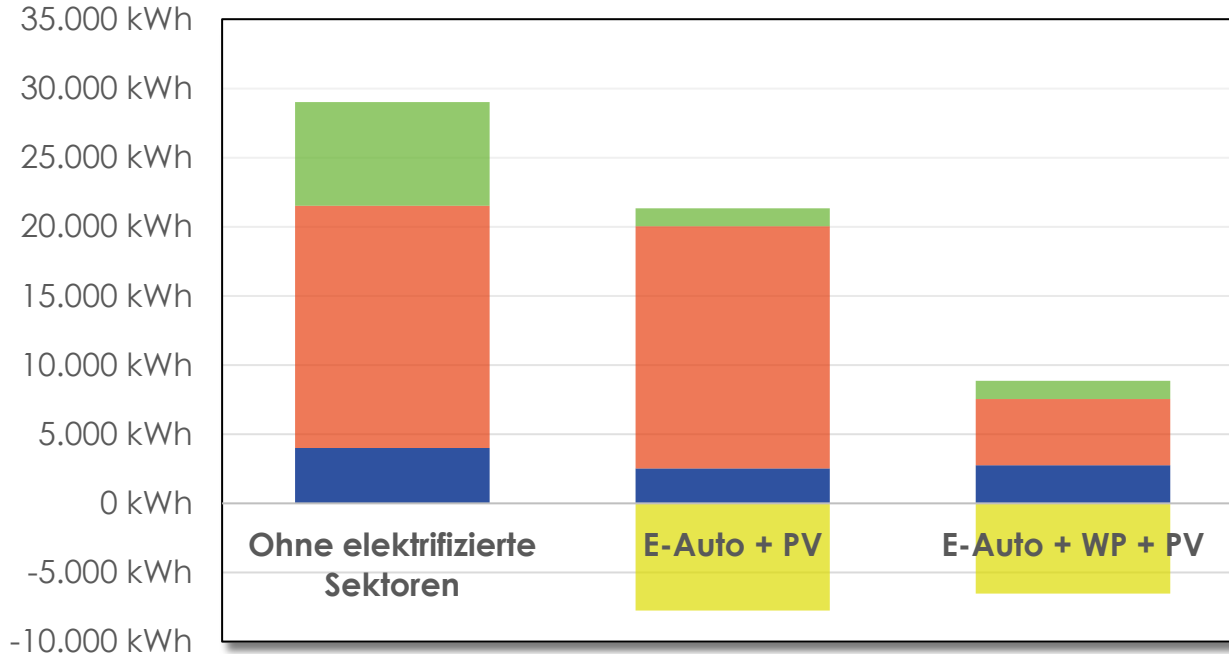
1. misst kontinuierlich:
 - PV-Erzeugung
 - Verbrauch
2. steuert dynamisch:
 - Wallbox
 - Wärmepumpe
 - andere steuerbare Lasten

→ **steigert Eigenverbrauch!**



Sektorenkopplung mit Photovoltaik

ENERGIEBEZUG



■ Haushaltsstrom ■ Wärme ■ Mobilität ■ Überschuss Photovoltaik

Quelle: Eigene Berechnung + Simulation

Ausgangsdaten:

- Haushalt: 4.000 kWh/a
- Haus: 150 m², 100 kWh/m²
- PV: 10 kWp, 1.084 kWh/kWp
- Fahrzeug: 15.000 km/a
- Verbrenner: 5 l/100km
- E-Auto: 16 kWh/100km

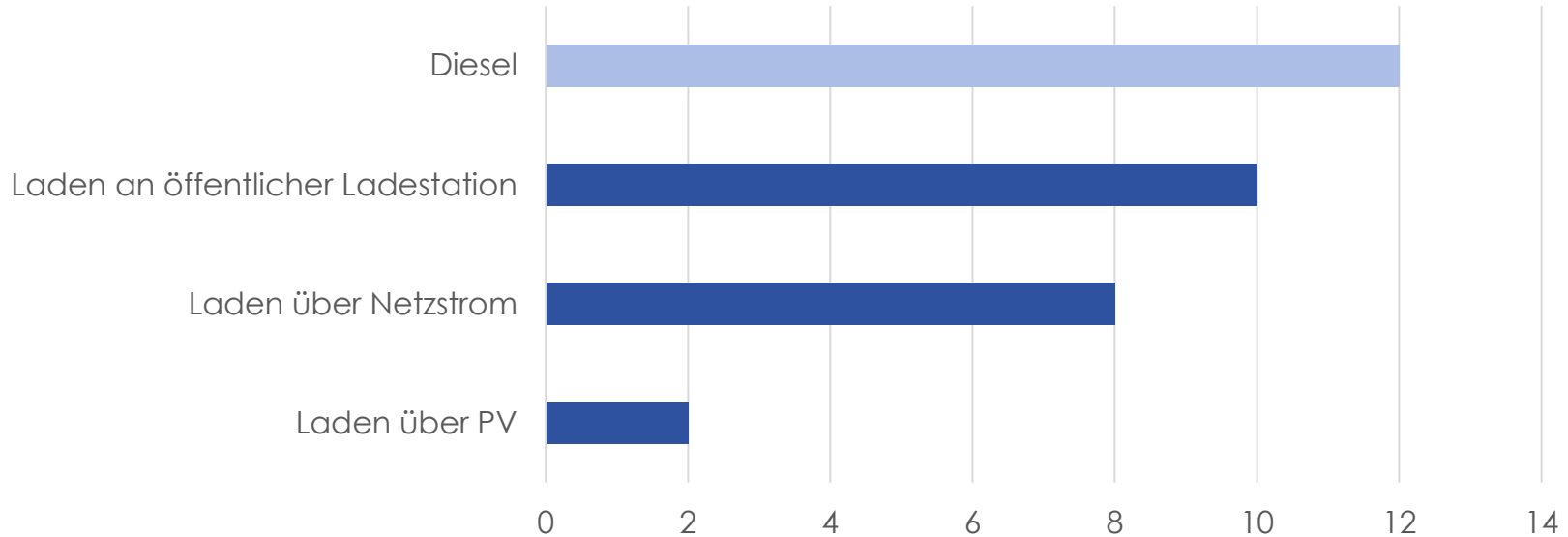
Eigenverbrauchspotential:

- Nur Haushaltsstrom: ca. 10-15 %
- Mit E-Auto: ca. 30-35 %
- Mit E-Auto + WP: ca. 40 %

Autarkiegrad WP: 25-35 %

Eigenverbrauchoptimierung: E-Mobilität

Energiekosten in € pro 100 km



Annahmen: Gestehungskosten PV: 10 Cent/kWh; Stromkosten Netz: 0,4 €/kWh; Stromkosten Ladestation: 0,5 €/kWh; Verbrauch E-Auto: 20 kWh/100 km, Verbrauch Verbrenner-Auto: 6 l/100 km, Dieselpreis: 2,0 €/l

Lademöglichkeiten Eigenheim

- **Ladekabel Schuko**

- Notlösung / geringere Effizienz
- typ. Ladeleistung 2,3 kW
- Zuleitung und Dose prüfen



- **Normalladen**

- Wechselstrom (AC)
- typ. Ladeleistung 11 kW (22 kW)
- Wallbox mit „PV-Überschussladen“ Funktionalität zu bevorzugen

Private Ladelösung: Wallbox

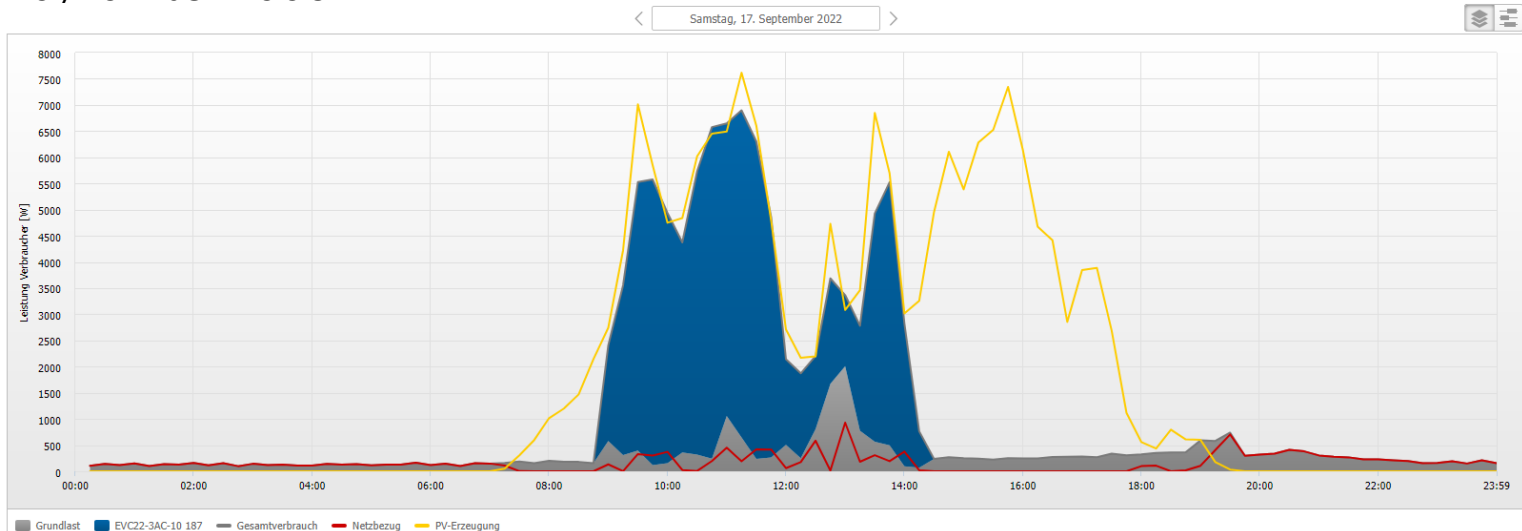
Verschiedene Typen
mit unterschiedlicher „Intelligenz“:



Bezeichnung	Funktionalität	Ungefähre Kosten
„Nur Laden“	Einfache Wallbox ohne Kommunikation	Ab 500 €
„Laden mit Start/Stop“ Signal	Signal über Zeitschaltuhr, Dämmerungsschalter, Smart Home Zentrale, Energie Management System (EMS)	Ab 500 €
„Überschussladen“	Dynamisches Laden entsprechend Überschüssen	1.000 – 2.000 €

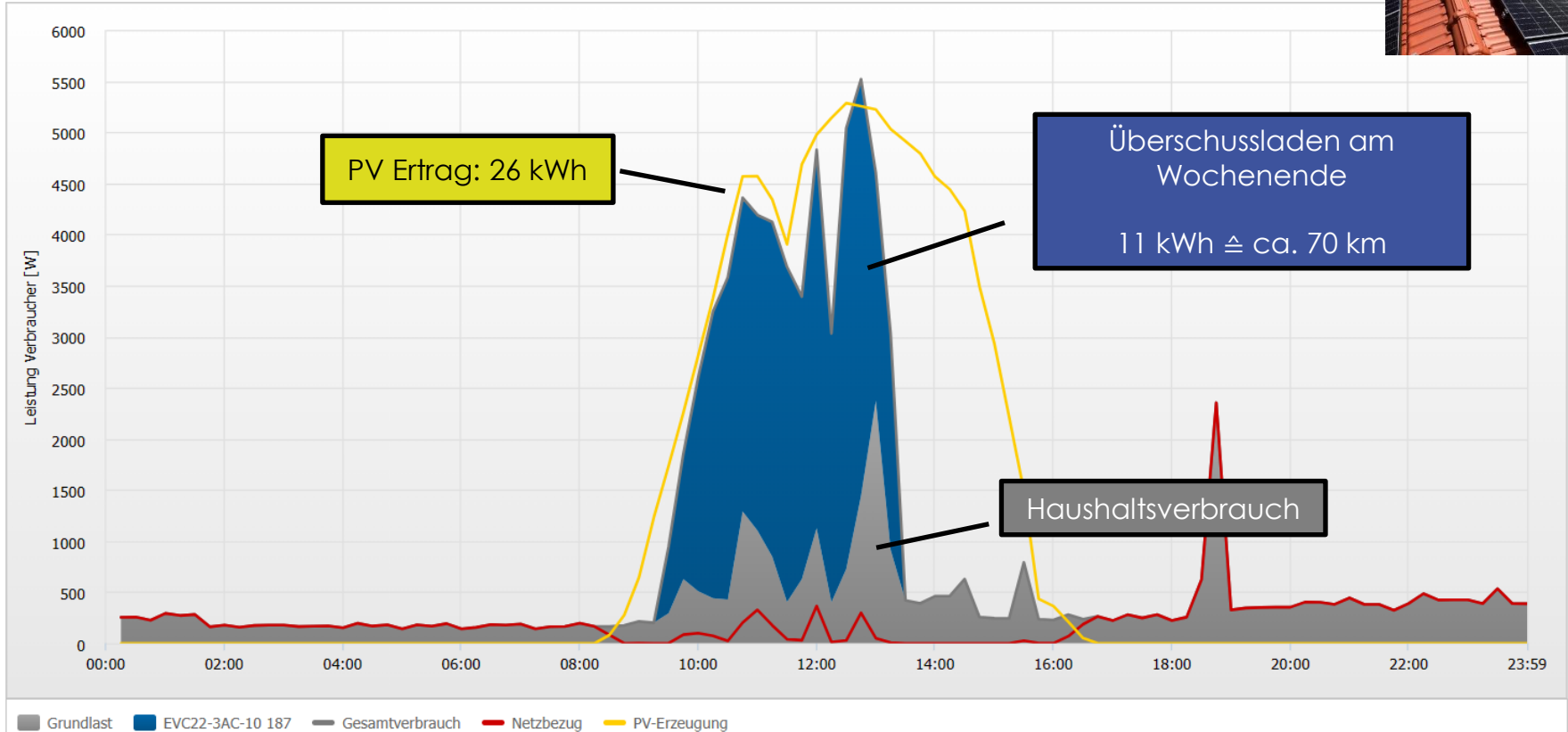
Private Ladelösung: Wallbox

- sinnvolle Größe: AC bis 11 kW (3x 230 V, 16 A)
- verschiedene Ladeleistungen einstellbar
- Meldepflicht beim Netzbetreiber, ab 12 kW Zustimmungspflicht
- bei PV mit Eigenverbrauch: Anpassung der Ladeleistung an PV-Überschuss: langsam / dynamisch Laden



Beispiel: Laden im Winter

< Sonntag, 01. Januar 2023 >

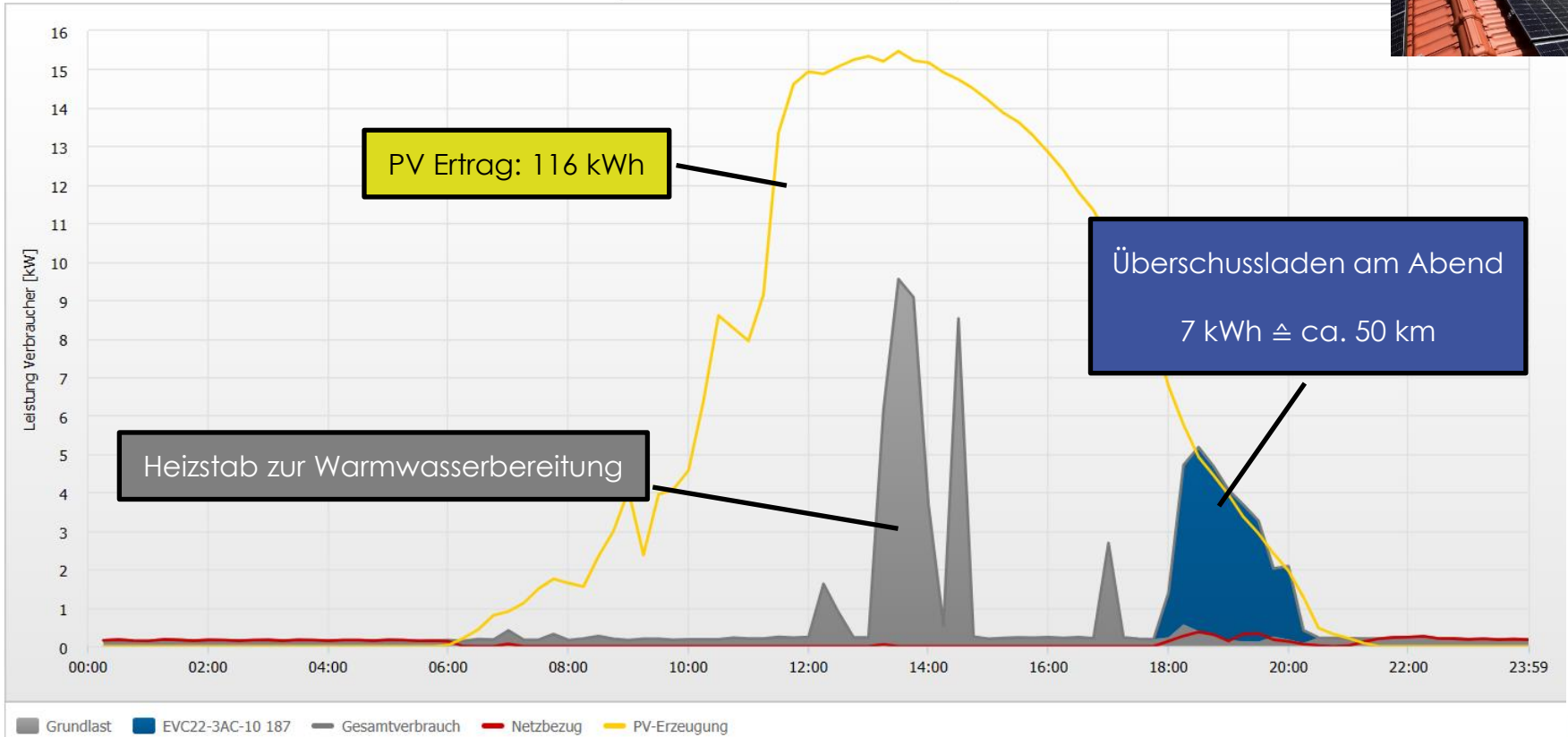


Grafik, Foto: A. Hadeier, C.A.R.M.E.N. e.V.

PV nach Süd/West und Nord/Ost, 16°, 20 kWp; Ladeleistung max. 7,2 kW

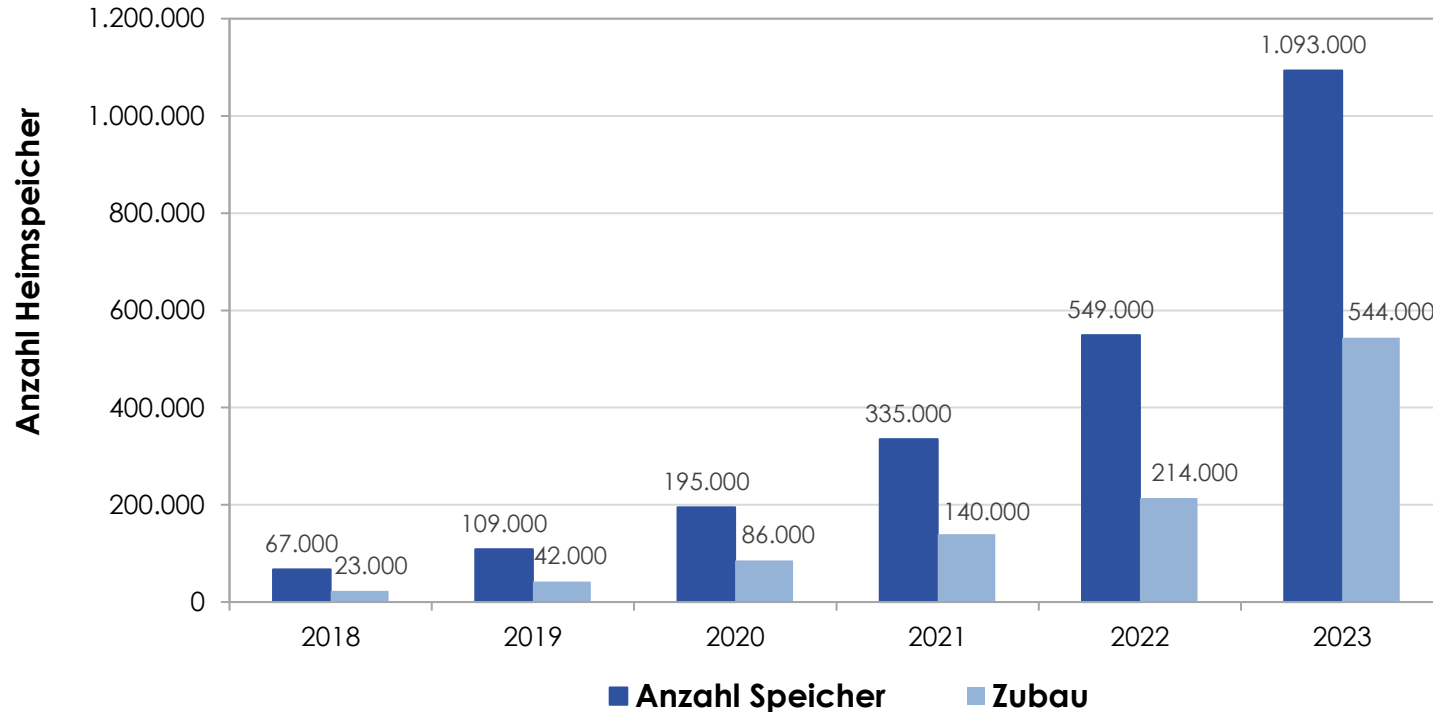
Beispiel: Laden im Sommer

< Donnerstag, 23. Juni 2022 >



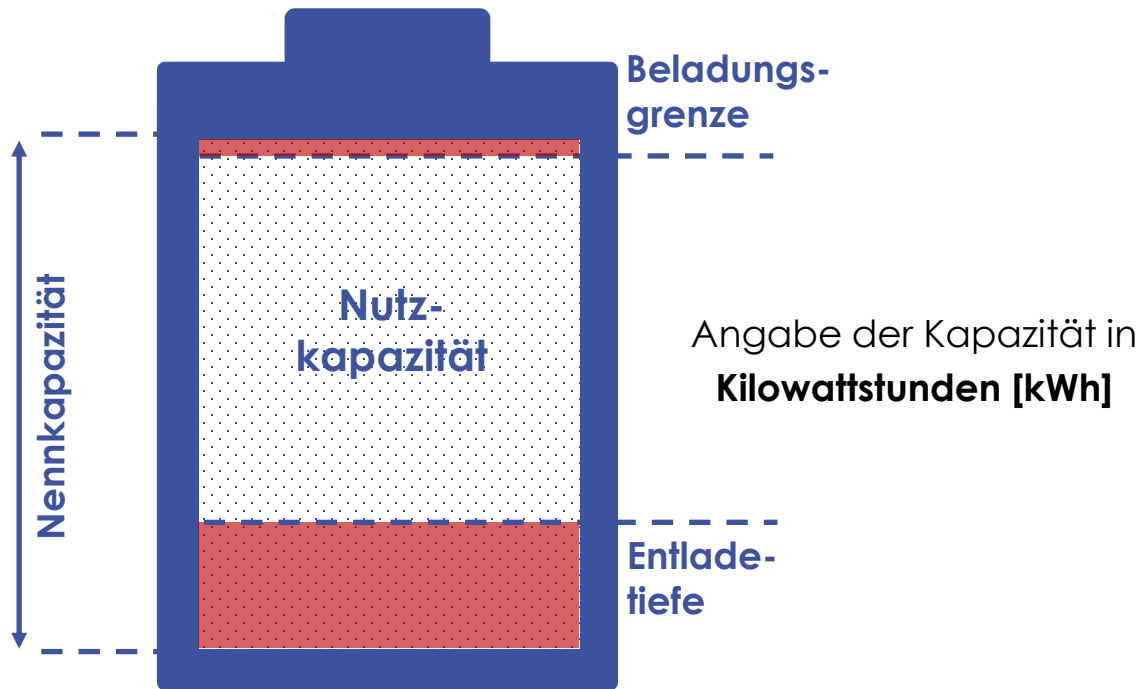
Grafik, Foto: A. Hadeier, C.A.R.M.E.N. e.V.
PV nach Süd/West und Nord/Ost, 16°, 20 kWp; Ladeleistung max. 7,2 kW

Entwicklung der Heimspeicher in D

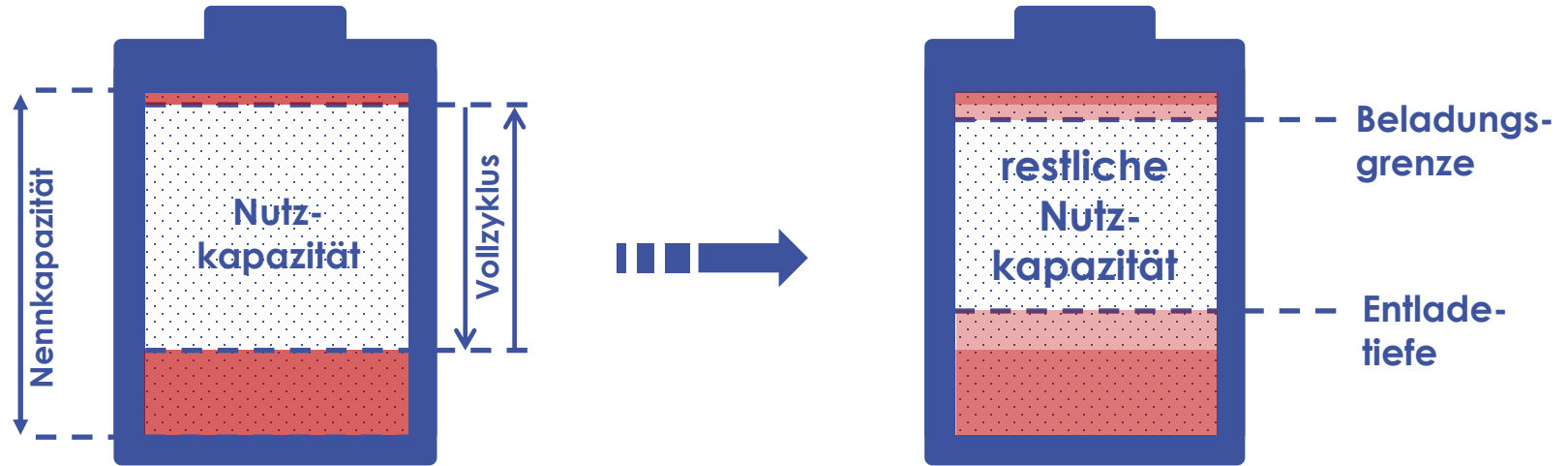


Anzahl der im MaStR registrierten Heimspeicher in Deutschland ohne erwartete Nachmeldungen

Heimspeicher: Nenn- & Nutzkapazität



Alterung des Speichers



Zykluslebensdauer

Angabe, nach wie vielen Voll-Ladezyklen die Batterie z. B. noch 80 % ihrer Nenn-Kapazität aufweist

Li-Ion > 5.000 Voll-Ladezyklen

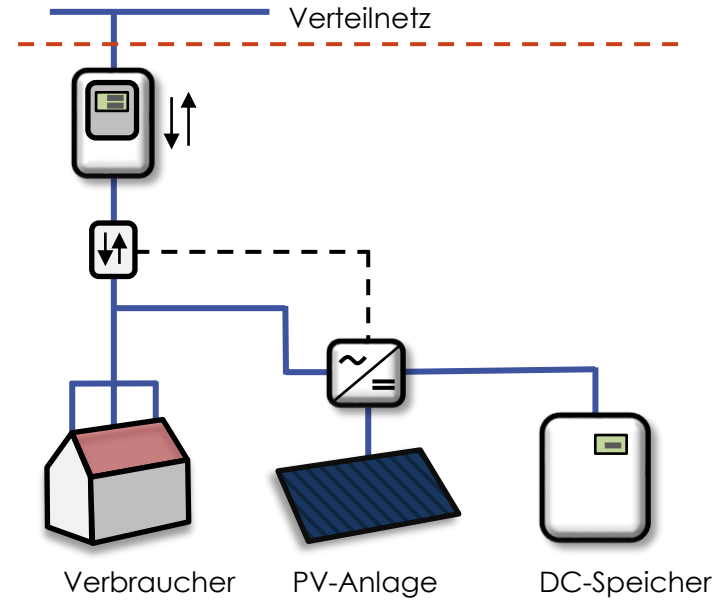
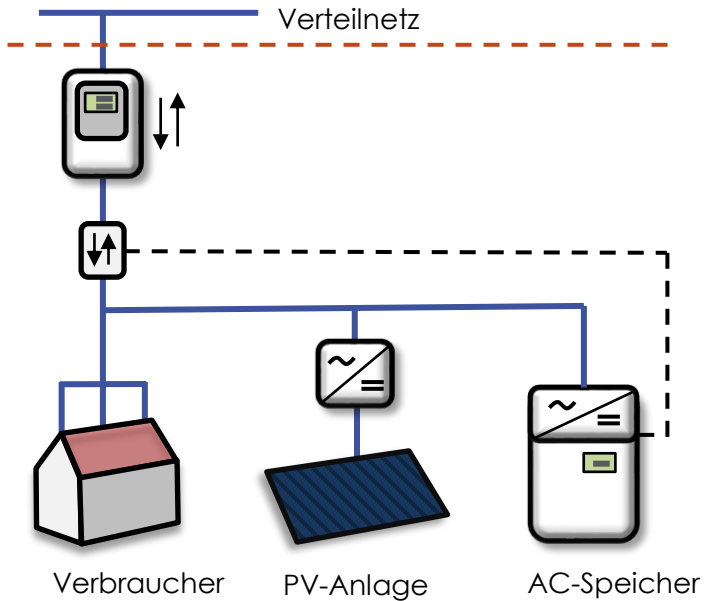
→ Heimspeicher: ca. 250 Voll-Ladezyklen pro Jahr

→ theoretisch: > 20 Jahre

Kalendarische Lebensdauer

Alterungsprozesse, chem. Zersetzung, ...

AC- und DC-Kopplung des Speichers



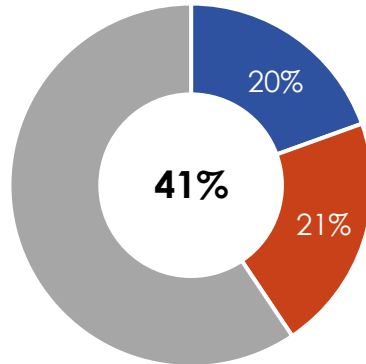
Autarkie und Eigenverbrauch



Theoretisches Beispiel*:

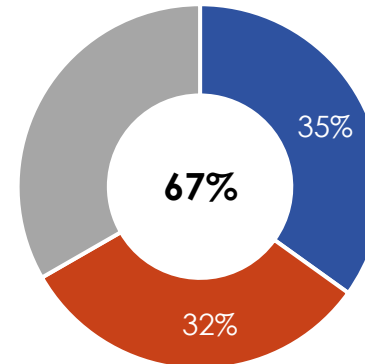
- Photovoltaikanlage mit 7 kWp + Speicher mit 5 kWh
- Jahresstromverbrauch 4.000 kWh
- Standardlastprofil

Eigenverbrauchsanteil



■ Direktverbrauch ■ Batterieladung ■ Netzeinspeisung

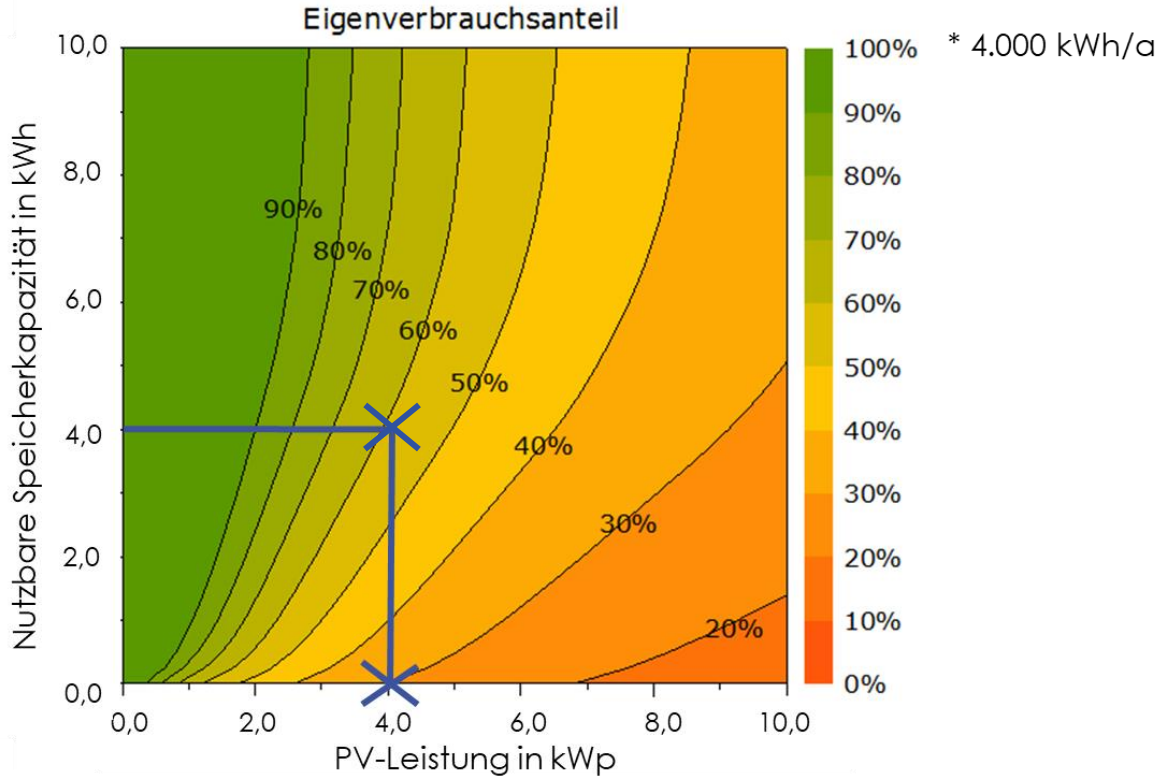
Autarkiegrad



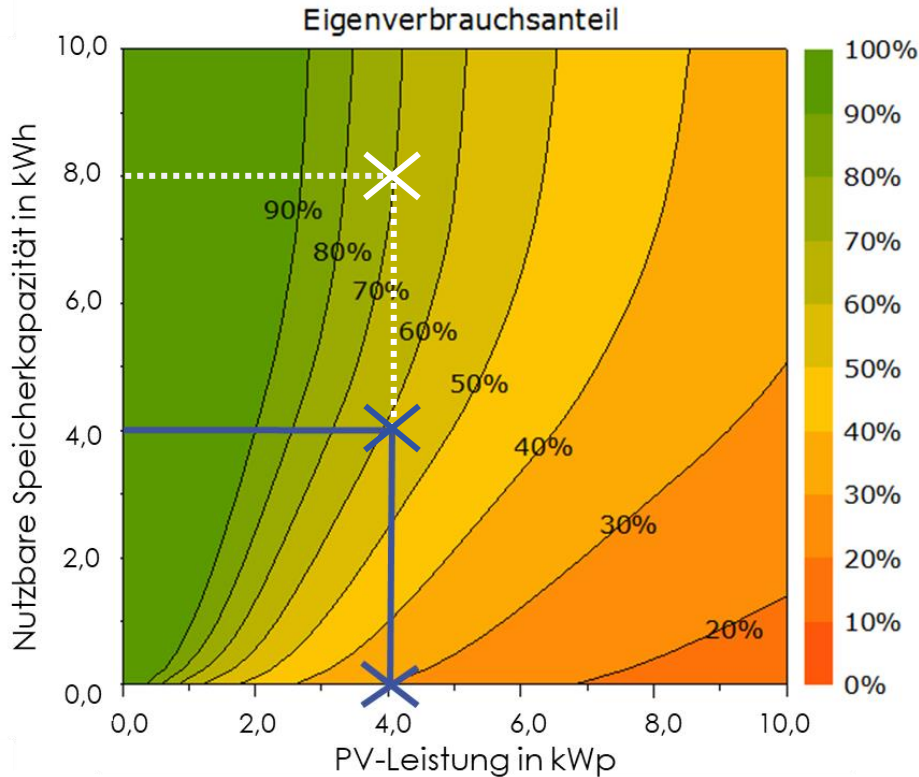
■ Direktverbrauch ■ Batterieentladung ■ Netzbezug

*berechnet mit: <https://solar.htw-berlin.de/rechner/unabhaengigkeitsrechner>

Dimensionierung des Batteriespeichers



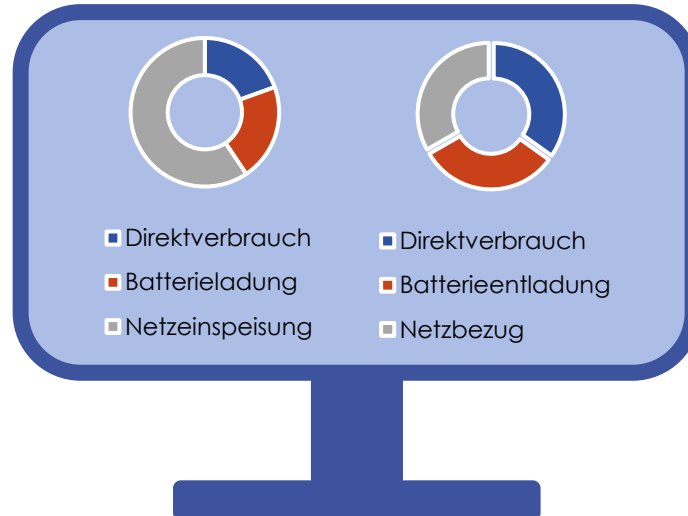
Dimensionierung des Batteriespeichers



Faustformel
für eine eigenverbrauchsoptimierte
Auslegung

je 1-1,5 kWh Speicher-Nutzkapazität
pro 1.000 kWh Stromverbrauch
(bei je mind. 1 kWp PV-Leistung)

Tipp: Unabhängigkeitsrechner der HTW Berlin



→ <https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/>

Richtige Speicherkapazität wählen

- **Speicher zu groß:**
 - unzureichende Nutzung bei höheren Investitionskosten:
geringere Wirtschaftlichkeit
- **Speicher zu klein:**
 - höhere spezifische Kosten bei kleineren Speichern
 - beschleunigte Alterung bei konstant hohen Ladeverhältnissen
 - hoher Netzbezug
 - Verbrauch zu hoch: Gefahr der Tiefentladung im Winter
→ Erhaltungsladung aus dem Netz?
- passend zum Lastprofil (Höhe und Zeiten Stromverbrauch)
und der Anlagenleistung
- gegebenenfalls Berücksichtigen von Notstromfunktionalität



Wirtschaftlichkeit Batteriespeicher

Wirtschaftlichkeit abhängig von:

- Preis und Betriebskosten
- Lebensdauer und Alterung
- Vollzyklen/a
- Wirkungsgrad
- Strompreis(-entwicklung)
- PV-Vergütung
- Notstromfähigkeit
(Minimierung von Kosten durch Stromausfall)
- Peak-Shaving bei Leistungspreis
- ...



Zusammenfassung PV

- PV ist langlebig, wartungsarm und flächeneffizient
- geringe und gut planbare Stromgestehungskosten: ca. 9-10 Cent/kWh für 20 a
- Eigenheim: „Dächer vollmachen“
- Volleinspeise- und Eigenverbrauchsanlage im Parallelbetrieb möglich
- Steigenden Strombedarf (E-Mobilität, Wärmebereitstellung) einplanen
- Auslegung des Speichers in Abhängigkeit des jährlichen Stromverbrauchs und der zur Verfügung stehenden PV-Leistung



Bildquelle: C.A.R.M.E.N. e.V.

Photovoltaik auf dem Eigenheim

Online, 25.01.2024

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

M. Sc. Julian Müller



C.A.R.M.E.N.

Feedback

25.01.2024

<https://www.carmen-ev.de/termine/ihre-meinung-ist-uns-wichtig>



Photovoltaik auf dem Eigenheim

Vortragsunterlagen

Vortragsunterlagen abrufbar unter:

<https://www.carmen-ev.de/termine/veranstaltungsunterlagen/>

C.A.R.M.E.N.-WebSeminar: „Photovoltaik auf dem Eigenheim“
(25.01.2024)



[C.A.R.M.E.N.-WebSeminar "Photovoltaik auf dem Eigenheim" \(25.01.2024\)](#)

DOWNLOAD

Passwort: PV-2024