

So lohnt sich PV auf meinem Dach - Technik und Wirtschaftlichkeit

- **Technik**
 - PV-Zellen und Module
 - Wechselrichter
- **Kennzahlen**
- **Baumaßnahmen**
- **Wirtschaftlichkeit**



Photovoltaik: Strahlungsleistung der Sonne wird direkt in elektrische Energie umgewandelt

- Max. Strahlungsleistung der Sonne in Mitteleuropa: 900 W/m^2

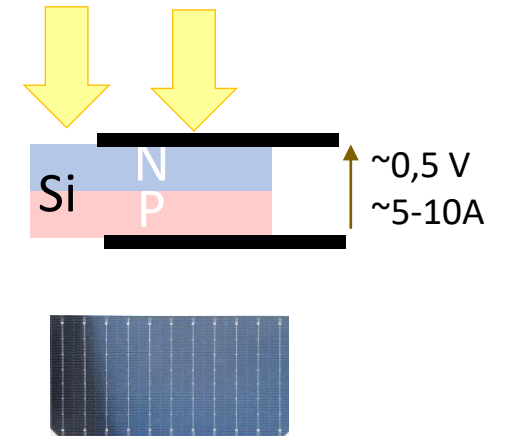
Herstellung Solarzellen (monokristallines Silizium)



Reduktion
Reinigen
Schmelzen
Kristall ziehen

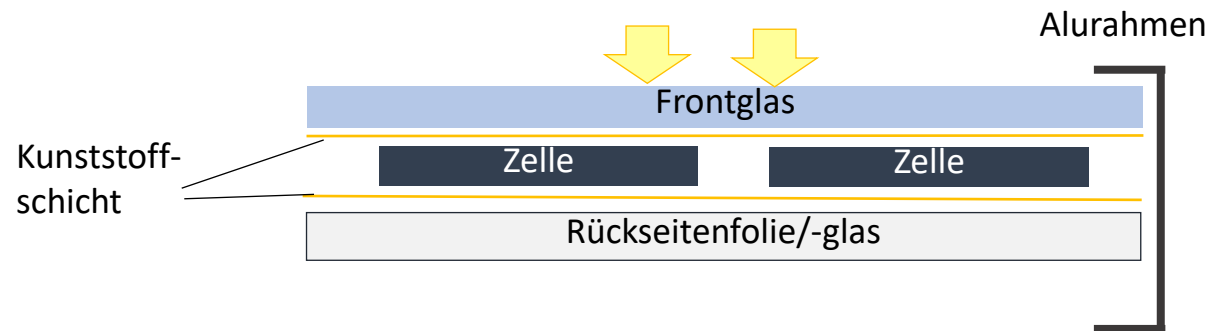


Sägen
Dotieren
Kontaktieren



- Aktuelle Technologie „PERC“: Rückseite reflektiert Strahlung, die sonst nicht genutzt wird
- Energetische Amortisation von PV-Dachanlagen in Mitteleuropa: 1,3 Jahre
- Degradation
 - ca. 0,2% Leistungsverlust pro Jahr
 - Hersteller geben Leistungsgarantie: z.B. min. 80% Leistung nach 25 Jahren

Aufbau von Modulen

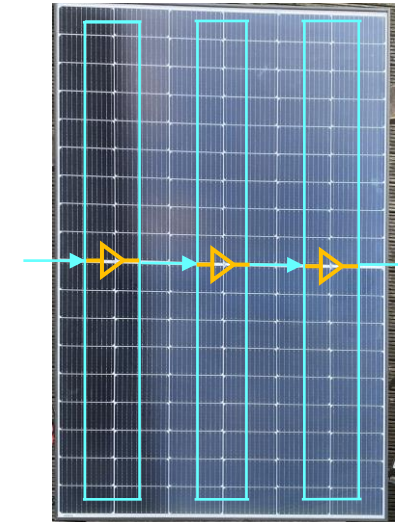


	Modul-Bsp. 1	Modul-Bsp. 2
Zellen	120	108
Max (Peak) Leistung	375 Wp	405 Wp
Spannung/Strom	34 V / 11 A	31 V / 13 A
Abmessungen [cm]	104 cm x 175 cm	113 cm x 172 cm
Fläche	1,82 m ²	1,94 m ²
Max. Leistung/Fläche	206 Wp/m ²	208 Wp/m ²
Modulwirkungsgrad	20,59 %	20,7 %

Volle Zellgröße



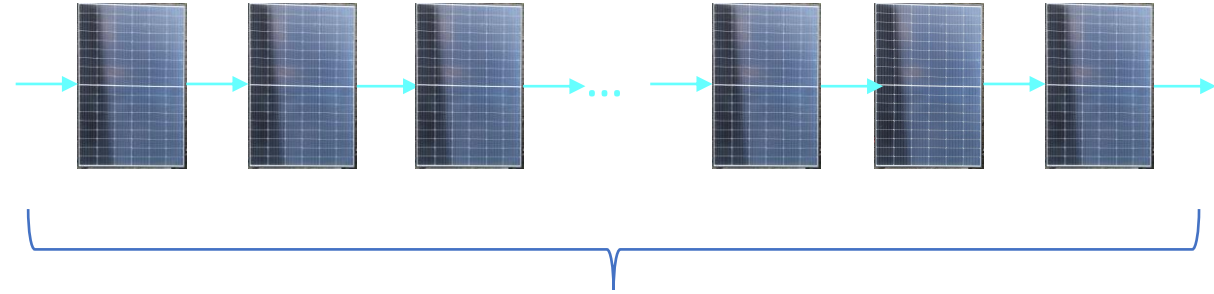
Half-Cut



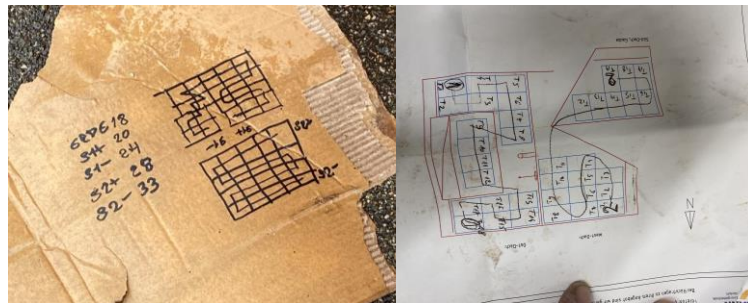
- Ca. 5-6 m² Fläche für 1 kWp installierte Leistung
- Optische Aufwertung: black, fullblack (teurer, wird wärmer/heisser → geringerer Wirkungsgrad)

Verschaltung von Modulen

- Reihenschaltung in Strings
 - Höhere Gesamtspannung
 - Überall gleicher Strom
 - Stringplan gehört zur Anlagendokumentation



typ. 4-20 Module
100-1000 V



2 Tigo	2 Tigo	2 Tigo
2 Tigo	2 Tigo	2 Tigo
2 Tigo	2 Tigo	2 Tigo
	2 Tigo	2 Tigo

1 Tigo	1 Tigo	1 Tigo
1 Tigo	1 Tigo	1 Tigo

1 Tigo
1 Tigo
1 Tigo

1 Tigo	1 Tigo	1 Tigo
1 Tigo	1 Tigo	1 Tigo
1 Tigo	1 Tigo	1 Tigo

2 Tigo	2 Tigo	2 Tigo	2 Tigo	2 Tigo
2 Tigo	2 Tigo	2 Tigo		

- Max. Systemspannung typ. 1000V
- Überspannungsschutz vorgeschrieben



Montage auf dem Dach

- Schrägdach
 - Haken unter Ziegel und Schienensysteme
 - Module hochkant oder quer
 - Hinterlüftung wichtig für Kühlung (Wirkungsgrad)
- Flachdach
 - Aufständering 10-15°
 - ca. 8-10 m² pro kWp
 - Auf Kies, Substrat, bzw. Schutzmatte für Bitumen/Folie

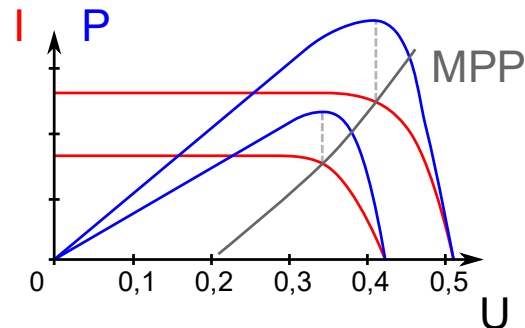


Wechselrichter (WR)

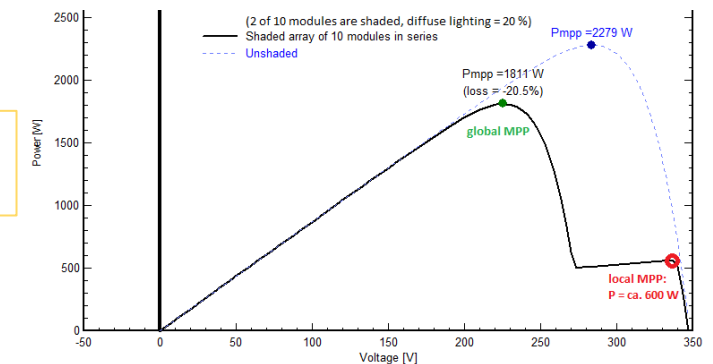
- Wandelt Gleichstrom in Wechselstrom/Drehstrom
- Ersatz oft nach 10-15 Jahren notwendig
- Montage im Keller bevorzugt (kühl, Lüftergeräusch stört nicht)
- Hybridwechselrichter: PV und Batteriespeicher am gleichen Wechselrichter



Eine Zelle
Viel/wenig Licht

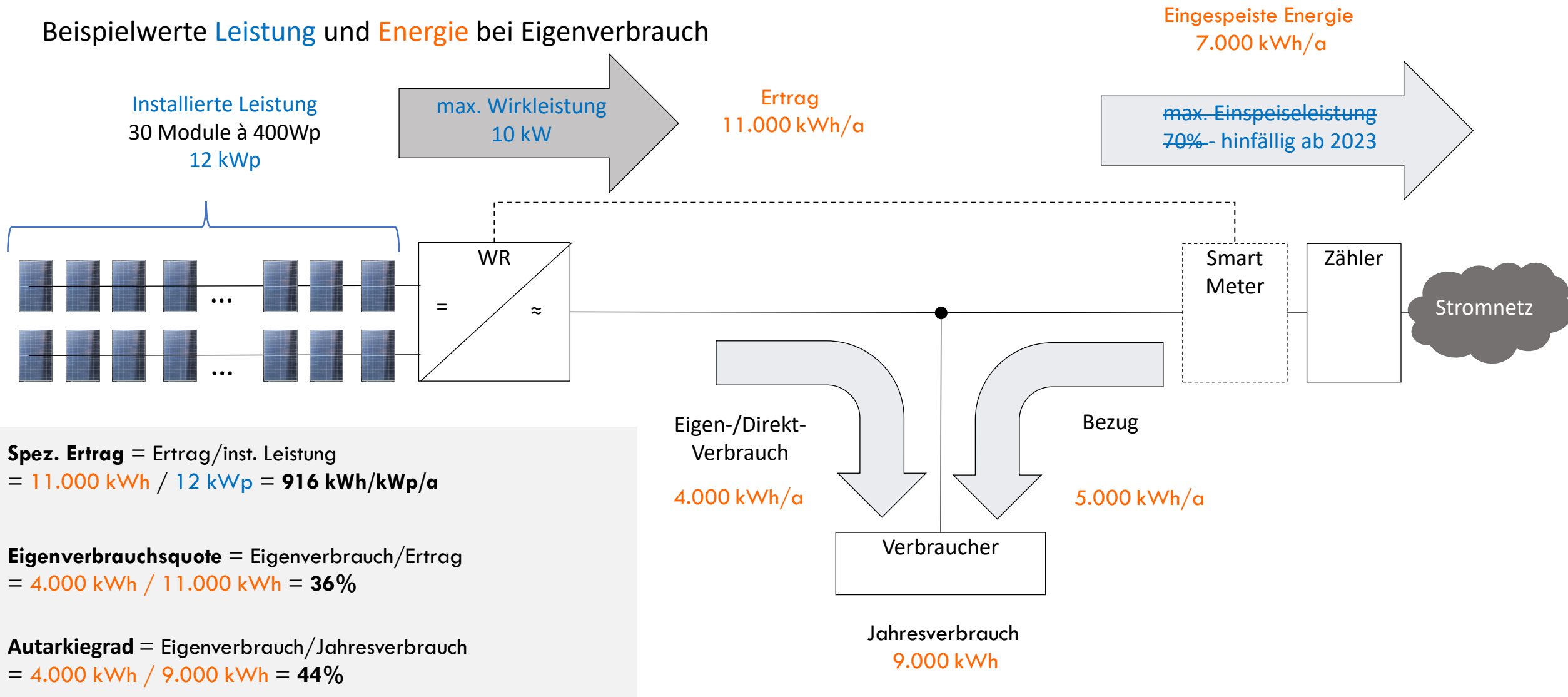


Teilverschatteter
String



- Sucht pro String den optimalen Arbeitspunkt (MPP – Maximum Power Point)
 - Per MPP-Tracker (MPPT). Algorithmus
 - Pro WR 2-3 MPPTs (Eingänge für Strings)
 - „Schattenmanagement“ o.ä.: MPPT sucht größeren Bereich ab
 - Zusätzlich/Alternativ: MPPT direkt Modul per **Optimierer** (SolarEdge, Tigo, Huawei)

Beispielwerte Leistung und Energie bei Eigenverbrauch



Ausrichtung und spezifischer Ertrag

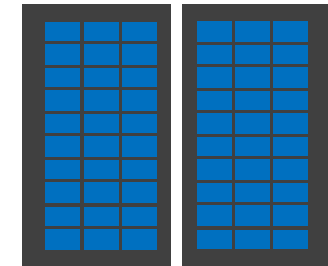
- Auswirkung Modulneigung
 - ca. 35°: maximaler Jahresertrag
 - steiler: mehr Ertrag im Winter
 - flacher: mehr Ertrag im Sommer
- Ggf. Belegung Nordfläche bei Neigung < 20°
- Diffuses Licht: Leistung unabhängig von Ausrichtung



Beispiele: Satteldach in mit Belegung in Südausrichtung Ost-West-Ausrichtung



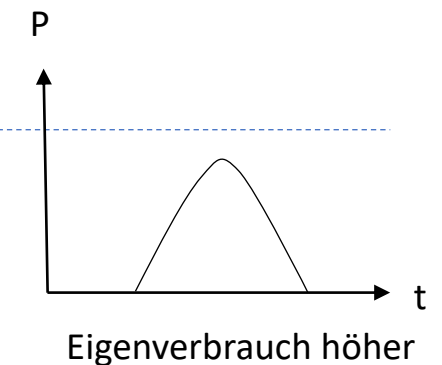
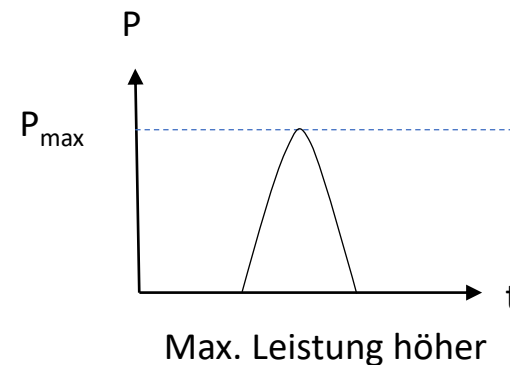
ca. 1.100 kWh/kWp



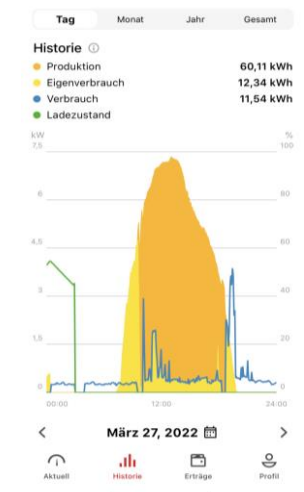
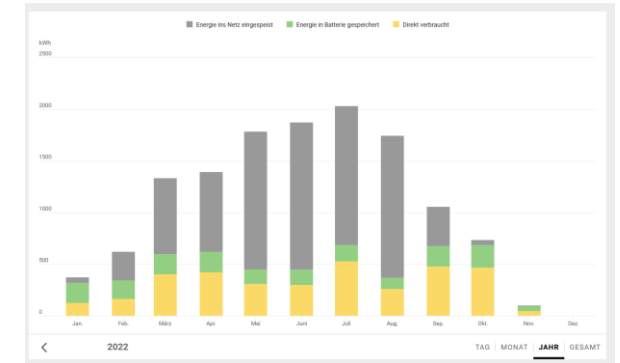
ca. 950 kWh/kWp

Spez. Ertrag
(ohne Verschattungen)

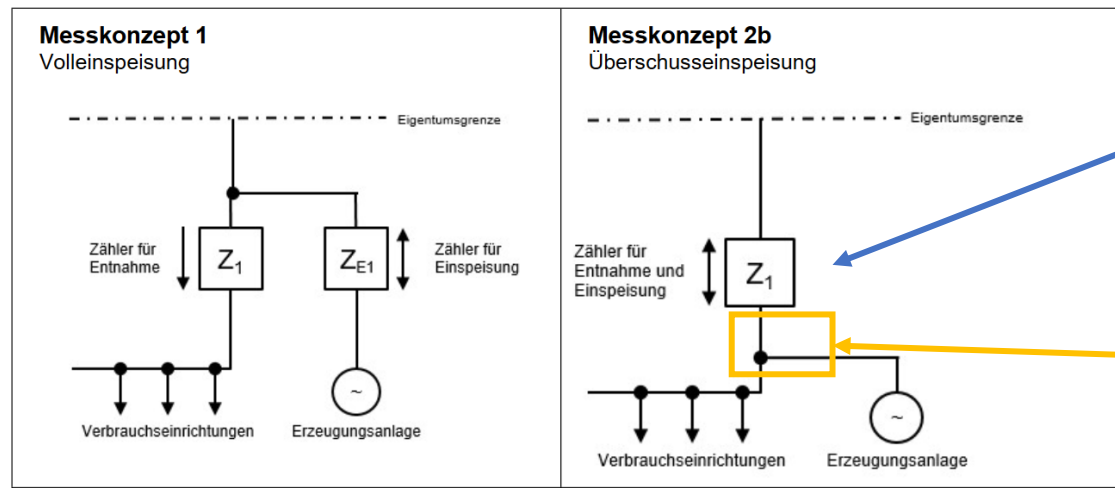
Tagesverlauf



- Wechselrichter hat meist Internet/Netzwerk-Anschluss
 - Zugriff im Heimnetz per Webbrowser/App
 - Auswertung über Server des Herstellers per Webbrowser/App
 - inkl. Messung von Bezug und Einspeisung per Smartmeter
- Ermöglicht
 - Erfassung aktuelle / historische Stromproduktion
 - manuelle Optimierung der Stromverbrauchszeiten
 - Ermöglicht Jagd nach Standbyverbrauchern (positiver Nebeneffekt)
 - Erfassung von Störungsmeldungen
 - Erkennung und Diagnose von Problemen (Leistungseinbruch etc.)



- Zählerersetzung gemäß Messkonzept
 - Elektriker installiert und verkabelt Zählerschrank (ggf. Sanierung/neuer Schrank)
 - Netzbetreiber installiert Zähler mit/nach dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme



Häufigster Fall bei kleinen Anlagen:
Tausch des Bezugszählers in
Zweirichtungszähler

Weitere Sicherungen und Smartmeter =
Platzbedarf im Zählerschrank

- Weitere Messkonzepte für z.B.
 - Wärmepumpe: verschiedene Bezugspreise, Abschaltbarkeit und Priorisierung
 - Zwei Erzeugungsanlagen
 - Zu finden beim Netzbetreiber, z.B.
 - syna.de/corp/downloads → Einspeiser → [Datenblatt Messkonzepte Einspeiser](#)
 - stadtwerke-waiblingen.de/EEG_u_Einspeiser.html → neue PV-Anlagen → [VBEW-Messkonzepte 2022.pdf \(795,3 KB\)](#)

Baumaßnahmen und Kosten

Kostenpositionen

- Module
- Montageschienen/-material
- Montagearbeiten
- DC-Kabel
- Wechselrichter
- Gerüst
- DC-Überspannungsschutz
- AC-Verkabelung/Kleinmaterial
- Smartmeter
- AC-Überspannungsschutz
- Zählerschränkerweiterung/-sanierung
- Taubenabwehr

Abhängig
von
installierter Leistung

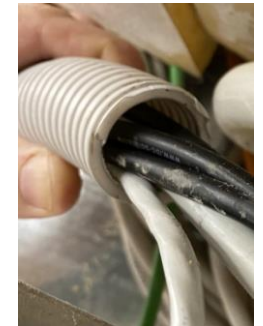


Nach Bedarf



Kostenvergleich/-schätzung
nach installierter Leistung

Netto ca. 1.500 €/kWp (+/- 200€)



Einspeisevergütung nach EEG

- Datum der Inbetriebnahme entscheidet über Vergütung
- Garantiert für 20 Jahre – damit berechenbar (im Gegensatz zum Bezugspreis)

EEG 2023: Vergütungssätze gelten bis Januar 2024, danach 1% Verringerung halbjährlich

Installierte Leistung	Volleinspeisung	Überschusseinspeisung
≤ 10 kWp	13,0 Ct/kWh	8,2 Ct/kWh
≤ 40 kWp	10,9 Ct/kWh	7,1 Ct/kWh
≤ 100 kWp	10,9 Ct/kWh	5,8 Ct/kWh

Beispielrechnung: Kosten

Ausgangsdaten

- Strombedarf / Jahr 9.000 kWh (Familie, WP, 2x E-Auto)
- Verfügbare Dachfläche Ost/West/Süd 35° ca. 60 m²

Investitionen

- Leistung PV-Anlage: 60 m² / (5 kWp/m²) **12 kWp**
- Investitionskosten: 12 kWp x 1.500 € / kWp **18.000 €**

Betriebskosten

- 1%/a x 18.000 € x 20 a **3.600 €**

Dach geeignet für 12 kWp Anlage
Kosten über 20 Jahre: 21.600 €

Beispielrechnung: Stromerzeugung und –nutzung

Stromproduktion

- Spez. Ertrag 916 kWh/kWp/a
- Ertrag über 20 Jahre : $12 \text{ kWp} \times 916 \text{ kWh/kWp/a} \times 20 \text{ a} = 220.000 \text{ kWh}$

Stromnutzung

- Eigenverbrauchsquote 36 %
- Eigenverbrauch: $36\% \times 220.000 \text{ kWh} = 79.200 \text{ kWh}$
- Einspeisung: $220.000 \text{ kWh} - 79.200 \text{ kWh} = 140.800 \text{ kWh}$

Durch den eigenen PV-Strom

79.200 kWh	weniger Strombezug
140.800 kWh	Einspeisung in das Stromnetz

Beispielrechnung: Gewinn und Rendite

Strompreise

- Preis für Strombezug ca. 30 Ct/kWh
- Einspeisevergütung ca. 8 Ct/kWh

Gewinn

- Ersparnis: $79.200 \text{ kWh} \times 0,30 \text{ €/kWh} = 23.760 \text{ €}$
- Einspeisevergütung: $140.800 \text{ kWh} \times 0,08 \text{ €/kWh} = 11.264 \text{ €}$
- Gewinn über 20 Jahre: $23.760 \text{ €} + 11.264 \text{ €} - 21.600 \text{ €} = 13.424 \text{ €}$

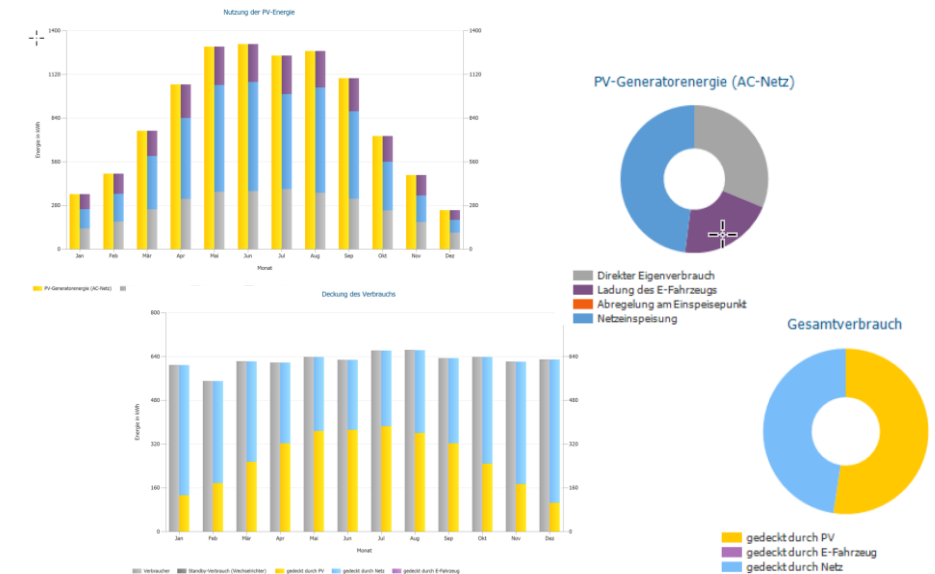
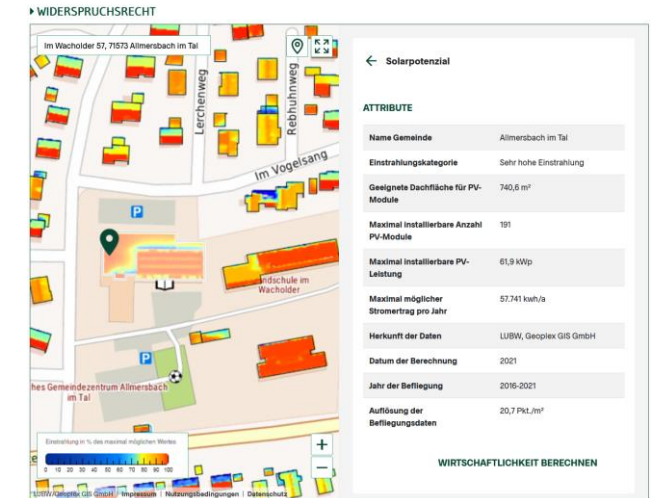
Der jährliche Gewinn von 671,- € bedeutet eine Rendite von 3,1%,
sowie die Vermeidung von ca. 4.600 kg CO₂ pro Jahr

→ Die Investition in die PV-Anlage lohnt sich

Zusammenfassung: für die eigene Anlage

1. Erste Einschätzung über Solarpotenzialrechner:
<https://www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflächen/solarpotenzial-auf-dachflächen>
2. Möglichst Dach voll machen!
 - Bringt Energie für jetzt, für später, für andere
 - Größere Energiemenge bei diffusem Licht
 - Erweiterung von Dachanlagen generell schwierig (Montage, Strings, Einspeisevergütung)
3. Batteriespeicher erst als zweite Priorität
 - Generell teuer
 - Als AC-gekoppelter Speicher nachrüstbar (wenn auch ohne 0%-MWSt.)
 - Wenn zu groß: Ressourceneinsatz (Lithium etc.) an anderer Stelle sinnvoller
4. Angebote einholen und vergleichen
 - Einzelpositionen sollten aufgelistet sein
 - Auf Zahlungsbedingungen achten
 - Ertragssimulation sollte Bestandteil des Angebots sein

Solarpotenzial auf Dachflächen



Photovoltaik – Solarzellen

- Kristall: <https://de.wikipedia.org/wiki/Silicium>
- Amortisationszeit: <https://www.pv-magazine.de/2021/07/28/fraunhofer-ise-energetische-amortisationszeit-fuer-photovoltaik-dachanlagen-liegt-weltweit-zwischen-044-und-142-jahren/>

Entwicklung des Wirkungsgrades

- Solarbranchentag BW PV-Freiflächen – Entwicklungen Module, Kraftwerke, Anwendungen Anna Heimsath et. al
https://solarcluster-bw.de/fileadmin/Dokumente/Aktuelles/Veranstaltungen/2022/9_Solarbranchentag_2022/Vortragsfolien/11h50_Block2_Heimsath_Anna.pdf

Wechselrichter

- https://de.wikipedia.org/wiki/Maximum_Power_Point_Tracking

Kosten – Einzelpositionen

- Foto Taubenabwehr: Dieter Lindenmaier, BES

Alle weiteren Fotos und Abbildungen: BES, Jochen Kögel