

Herzlich Willkommen

zum Vortrag

Photovoltaik

Ihr Referent: Dipl.-Ing. Claus Menig

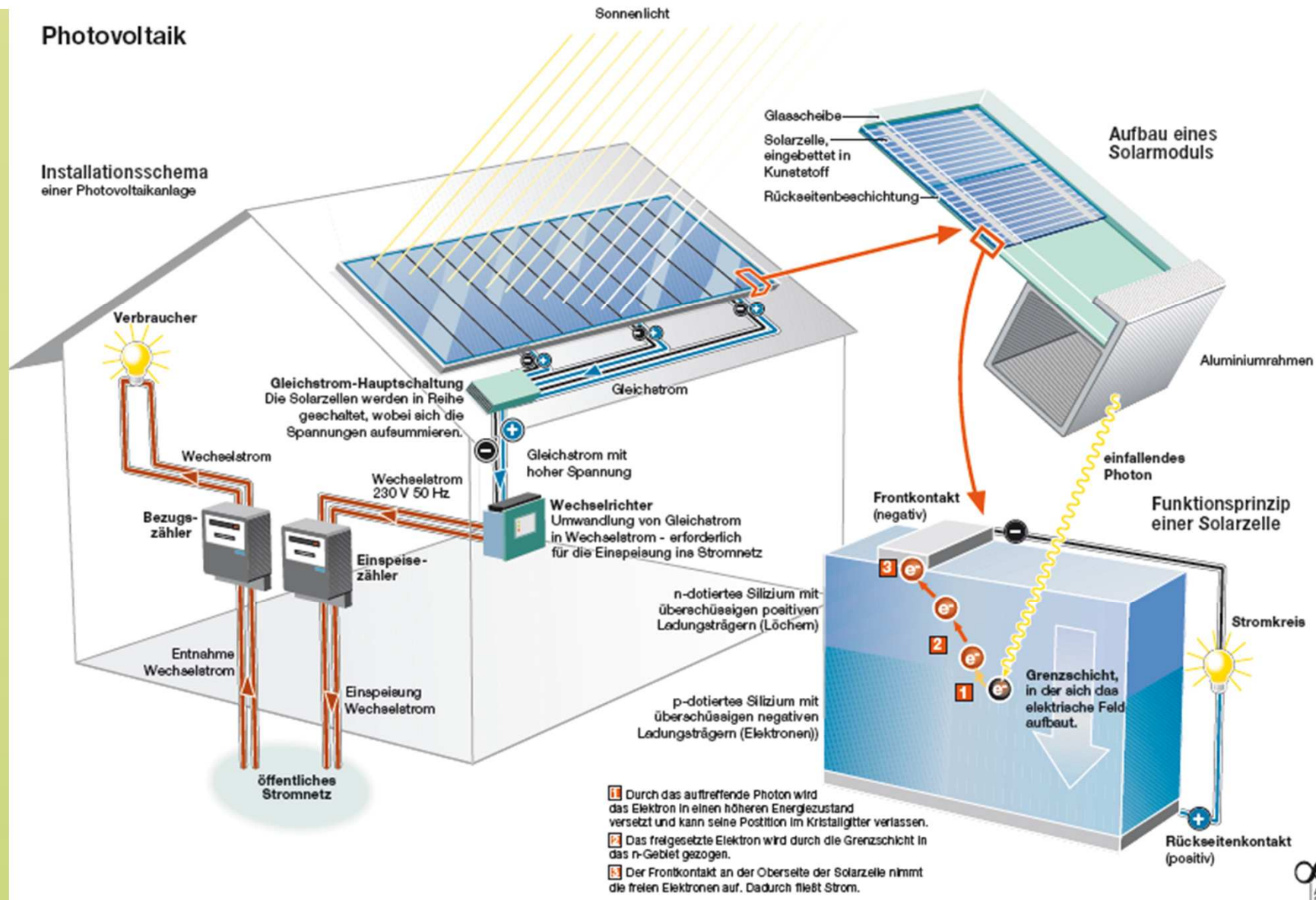
Vortragsgliederung

- 1. Aufbau und Funktion eines Photovoltaik-Moduls**
- 2. Fertigung kristalliner Siliziummodule**
- 3. Auslegung einer PV-Anlage**
- 4. Wechselrichter**
- 5. Netzgekoppelte PV-Anlagen**
- 6. Projektierung einer PV-Anlage mit Gewinnbetrachtung anhand eines praktischen Beispiels**

Überblick

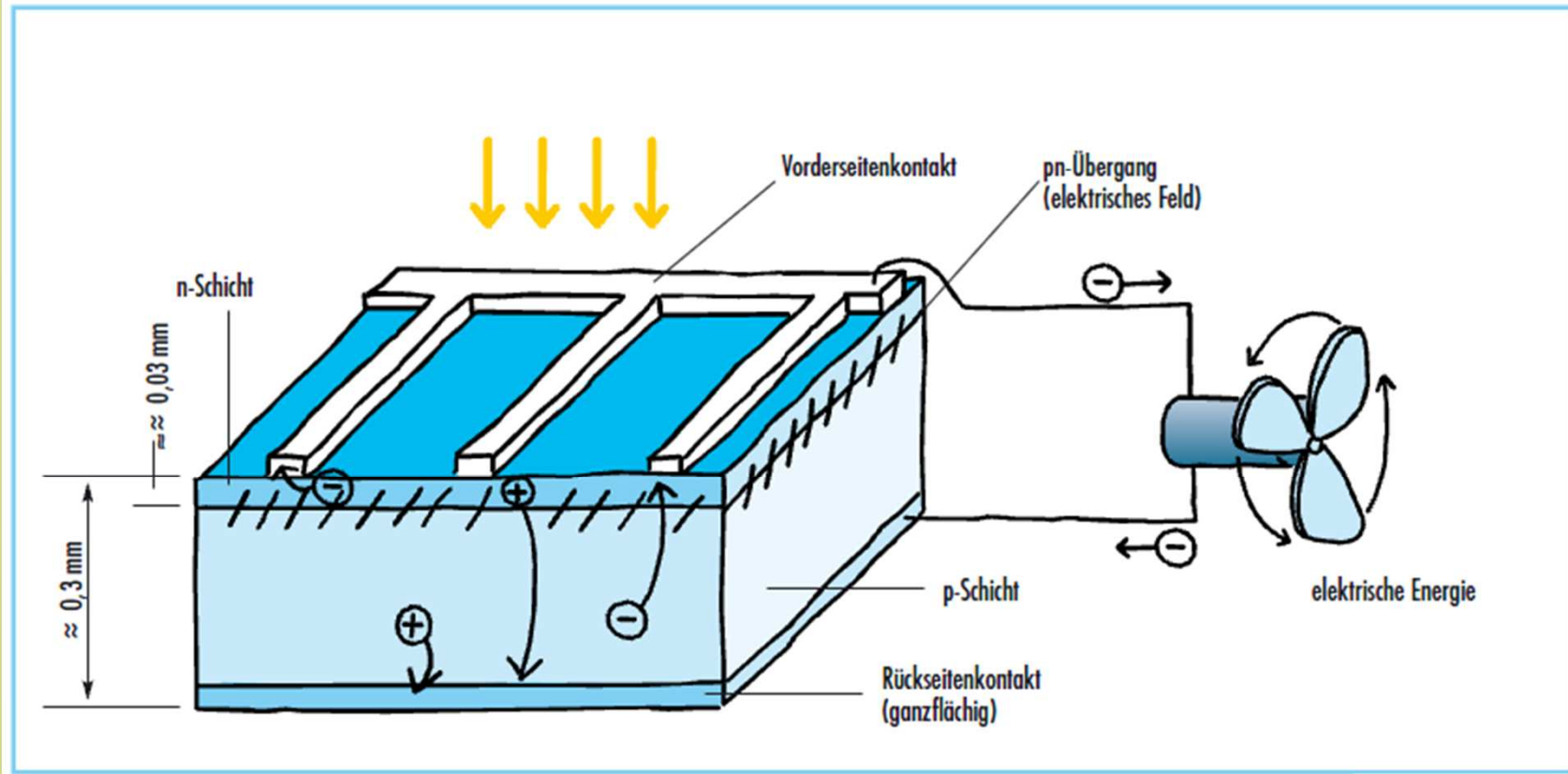
Photovoltaik

Installationsschema einer Photovoltaikanlage



1. Aufbau und Funktion eines Photovoltaik-Moduls

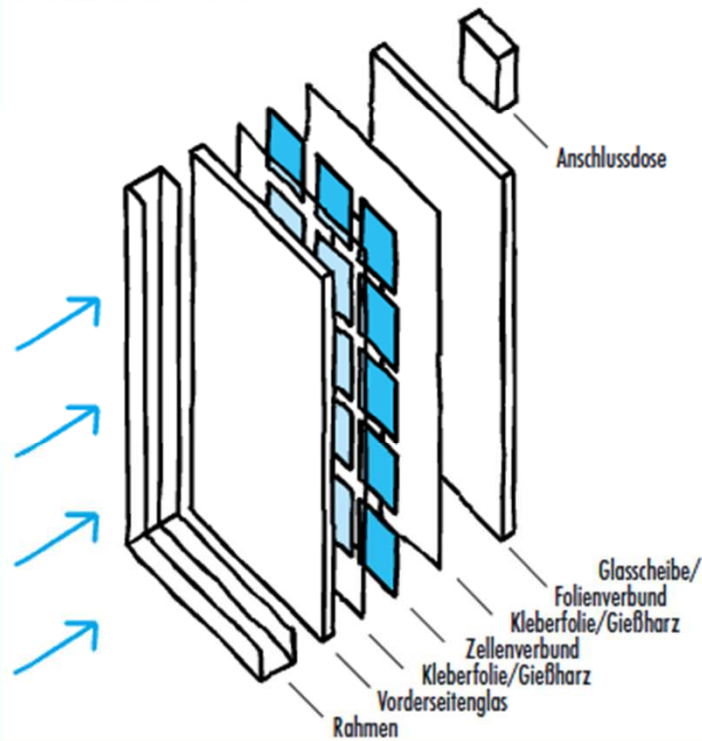
Aufbau und Funktion einer Silizium-Solarzelle



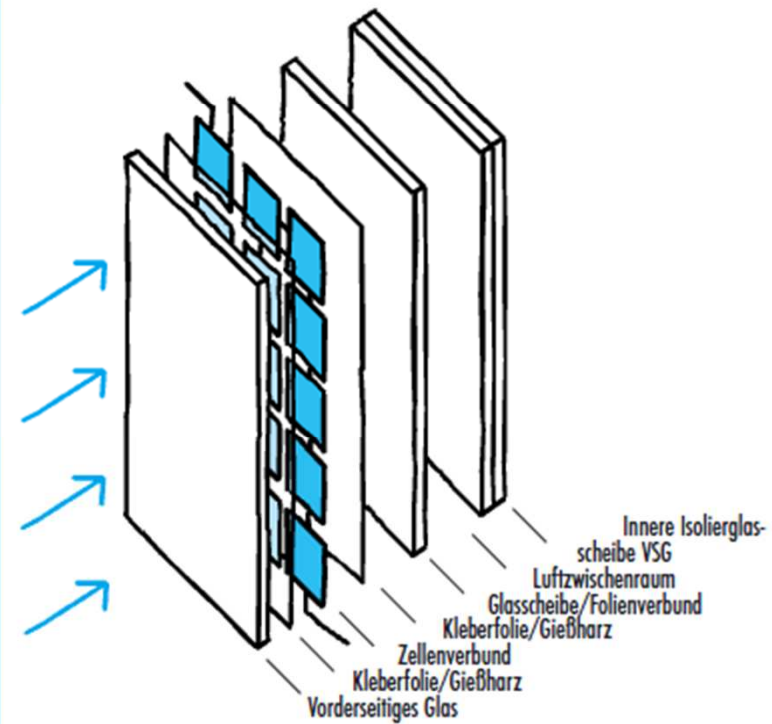
1. Aufbau und Funktion eines Photovoltaik-Moduls

Konstruktiver Modulaufbau (1)

Standardmodul



Sondermodul



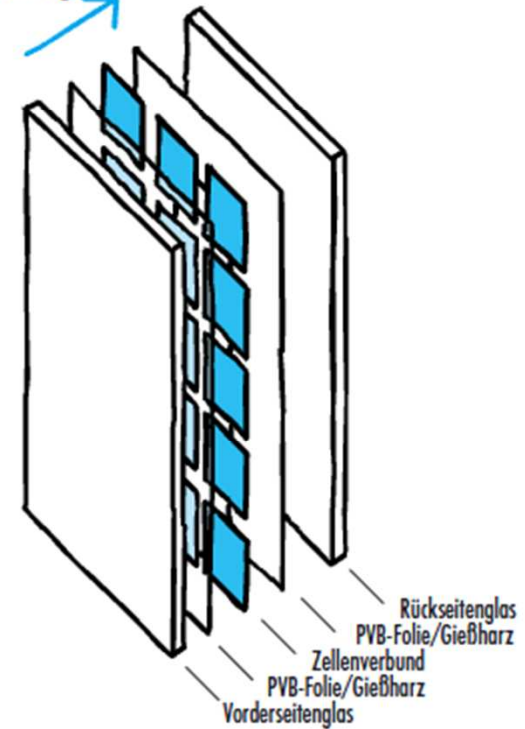
1. Aufbau und Funktion eines Photovoltaik-Moduls

Konstruktiver Modulaufbau (2)

Solarzellenstrang



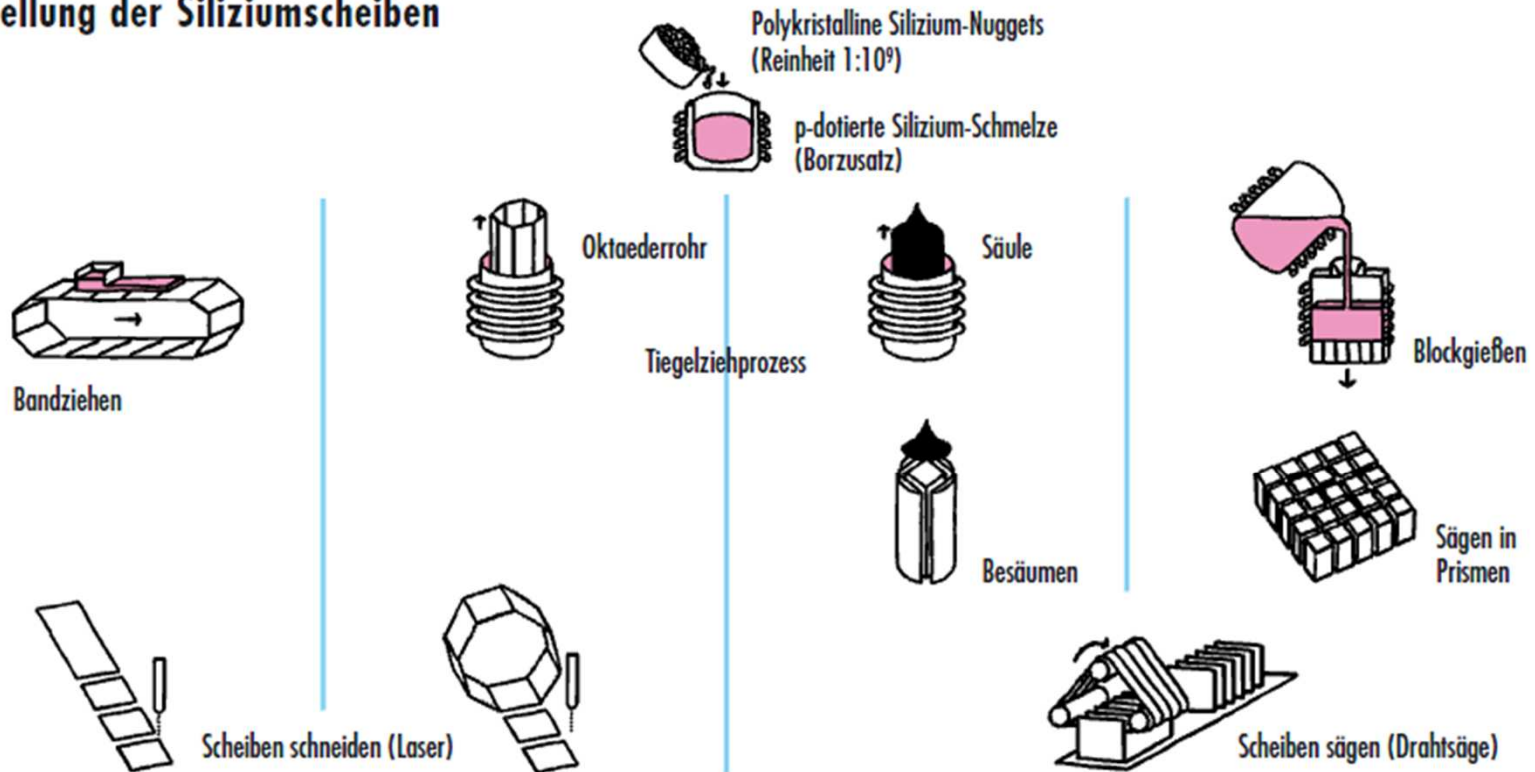
Laminatschichtung



2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

Fertigung kristalliner Silizium-Solarmodule (1)

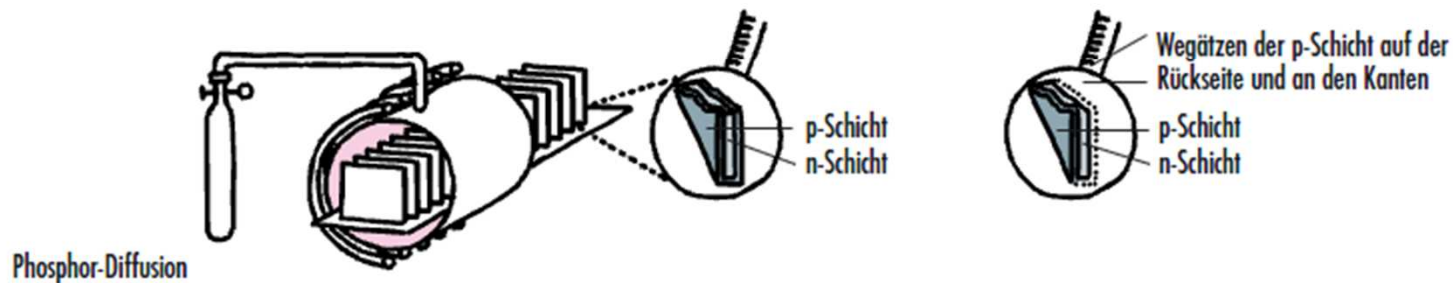
Herstellung der Siliziumscheiben



2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

Fertigung kristalliner Silizium-Solarmodule (2)

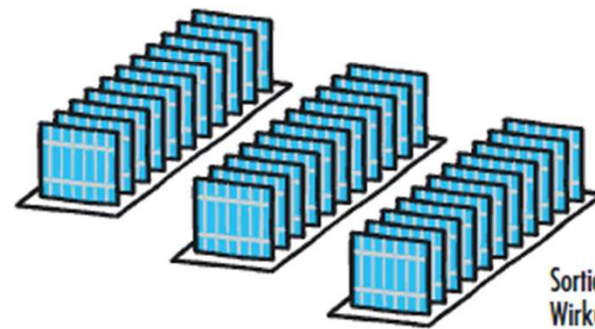
Herstellung der Solarzellen



Siebdruck
– Rückseitenkontakt
– Vorderseitenkontakt
– Antireflexschicht



Elektrische
Vermessung der
Solarzellen

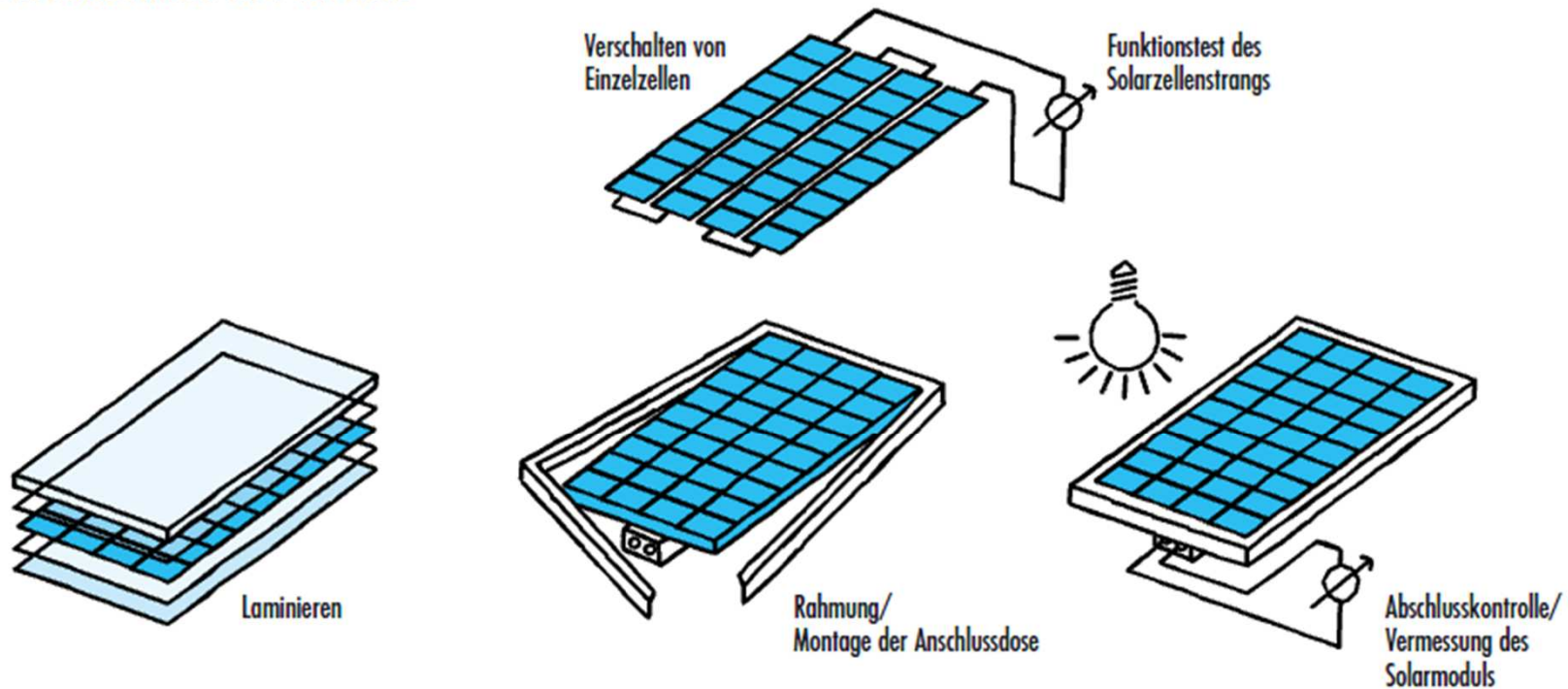


Sortieren nach
Wirkungsgrad

2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

Fertigung kristalliner Silizium-Solarmodule (3)

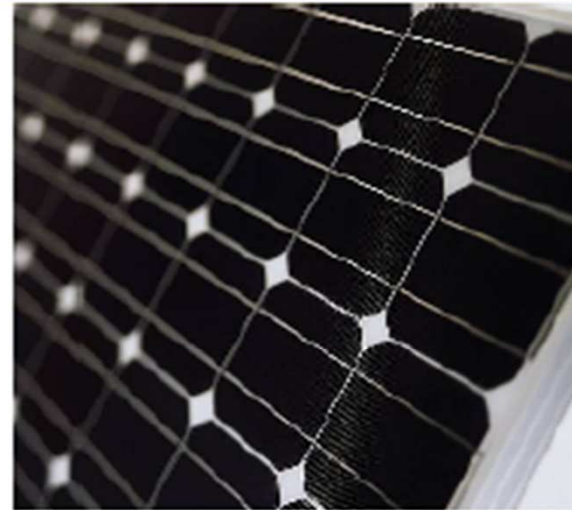
Zusammenbau des Moduls



2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

Monokristalline Module

Eigenschaften:



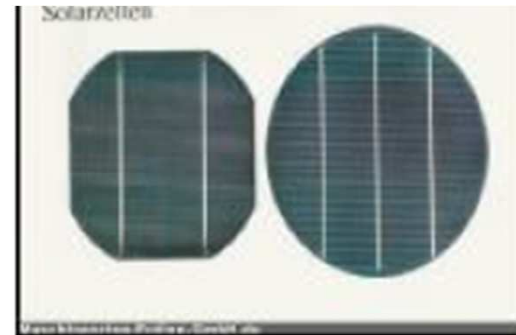
Hohe Erträge bei optimalen Einstrahlungsbedingungen
(z.B. auf Movern, 90° - Einstrahlwinkel)

Schlechteres Schwachlichtverhalten als Polykristalline
Charakteristisches Design mit weißen Feldern zwischen
den Zellen (Pseudo-Quadrate)

Typische Modulwirkungsgrade zwischen 12,5 % und 14,5 %

2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

Monokristalline Module



Herstellung :

Das Silizium wird aus einem Schmelztiegel bei 1500 °C als ein „Einkristall“ gezogen. (Hoher Energieaufwand)

Der so gewonnene Zylinder (Ingot) wird anschließend in runde Wafer (Scheiben) gesägt

Die Wafer werden in Pseudo-Quadrate gesägt um mehr Scheiben in der Modulfläche nebeneinander anordnen zu können. Zellenstärke ca. 180 μ

Anschließend werden die Wafer gezielt verunreinigt (Dotierung mit Bor und Phosphor)

Die so gewonnenen Solarzellen, werden anschließend zu einem Solarmodul verschaltet

2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

Polykristalline Module



Eigenschaften:

Etwas geringere Erträge bei optimalen Einstrahlungsbedingungen als bei Monokristallinen

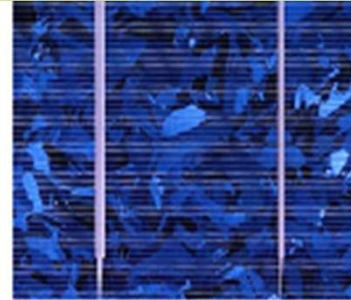
Besseres Schwachlichtverhalten als Monokristalline

Charakteristisch sind die quadratischen, flächenfüllenden Zellen

Typische Modulwirkungsgrade zwischen 12,5 % und 14,5 %

2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

Polykristalline Module



Herstellung :

Das Silizium wird in geschmolzenem Zustand in einen Schmelztiegel bei 1000 °C gefüllt (Niedrigerer Energieaufwand)

Der so gewonnene Si-Block wird anschließend in quadratische Wafer (Scheiben) gesägt

(Typische Maße 125 x 125 mm oder 165 x 165 mm - 5" oder 6"-Zellen)

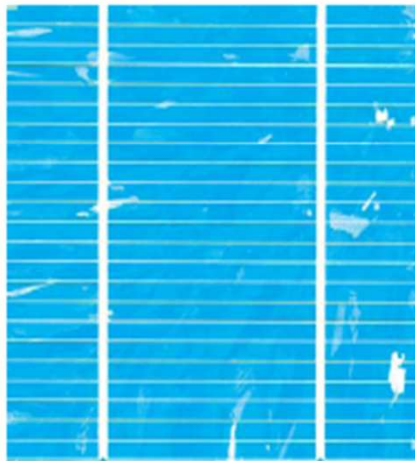
Waferdicke ca. 180 μ

Anschließend werden die Wafer gezielt verunreinigt (Dotierung mit Bor und Phosphor)

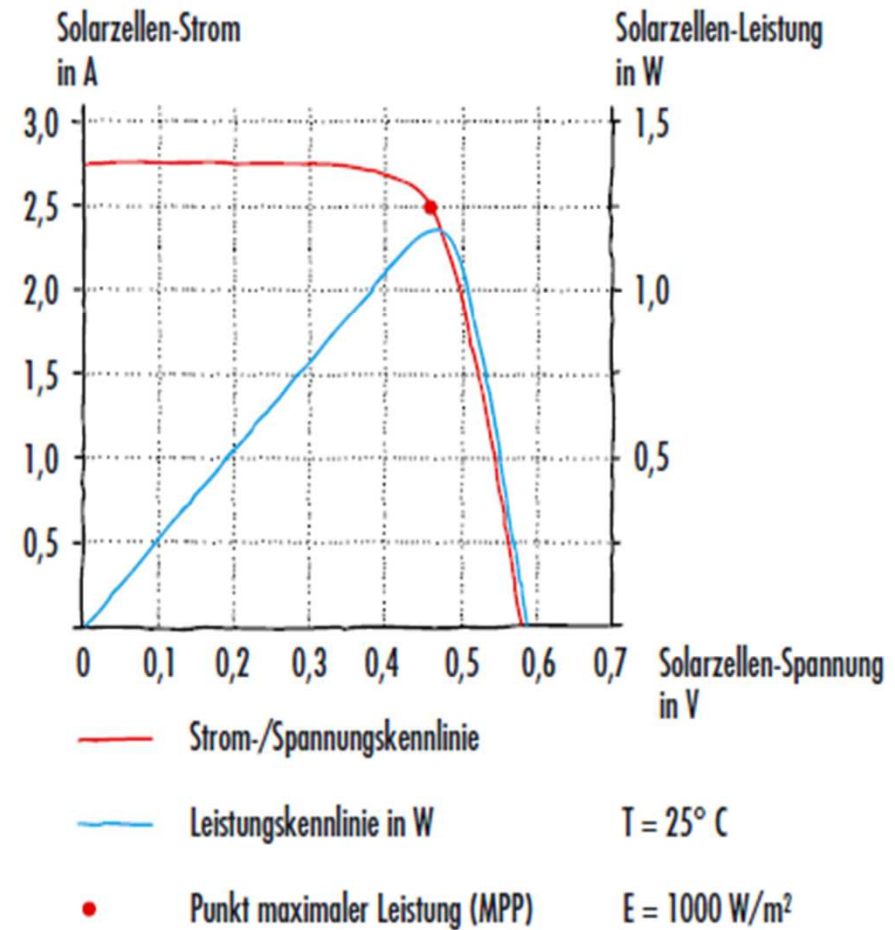
Die so gewonnenen Solarzellen, werden anschließend zu einem Solarmodul verschaltet

2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

Strom-/Spannungskennlinie mit Leistungsverlauf

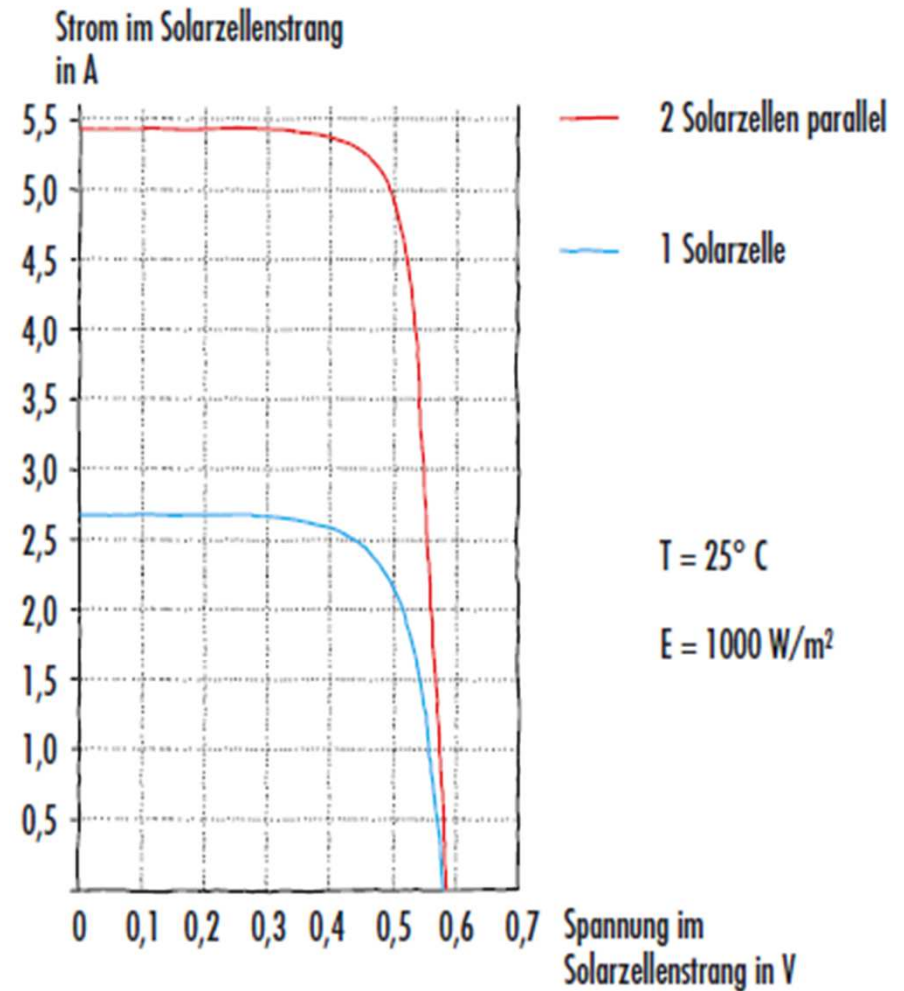
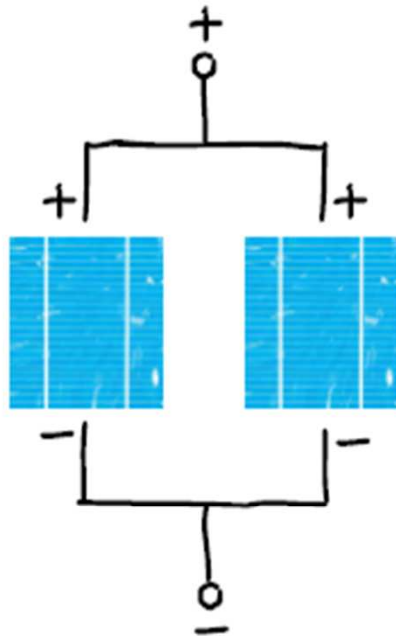


Solarzelle:
polykristallines Silizium
10 cm x 10 cm



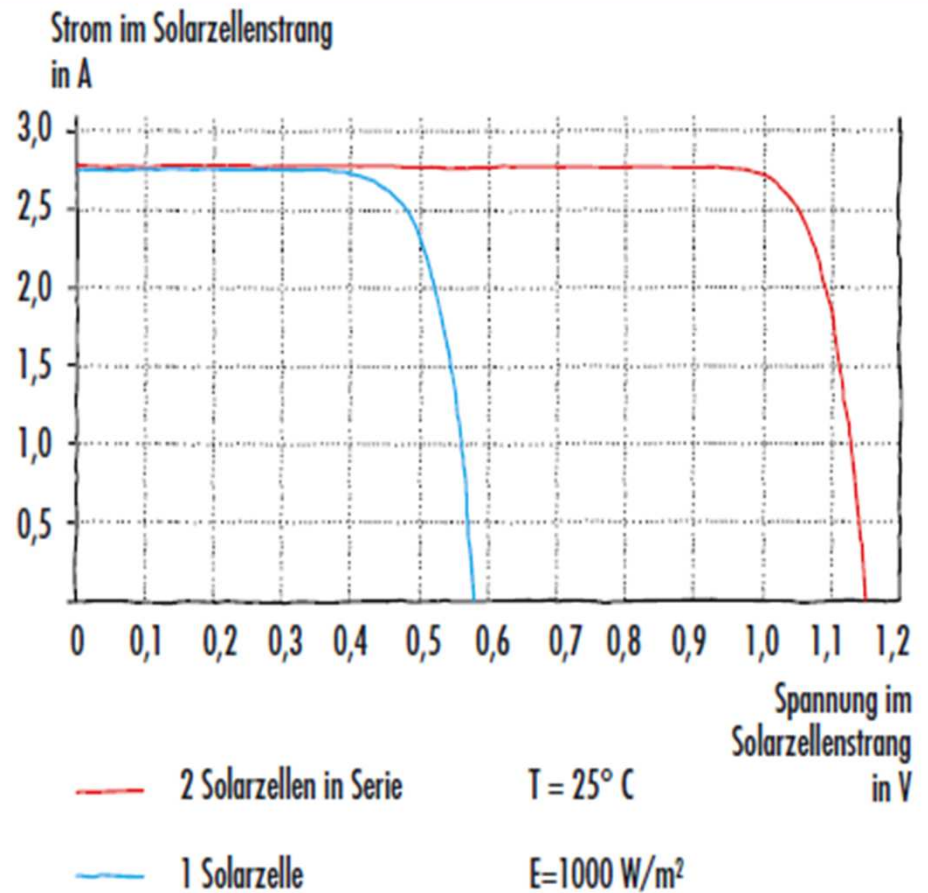
2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

Parallelschaltung



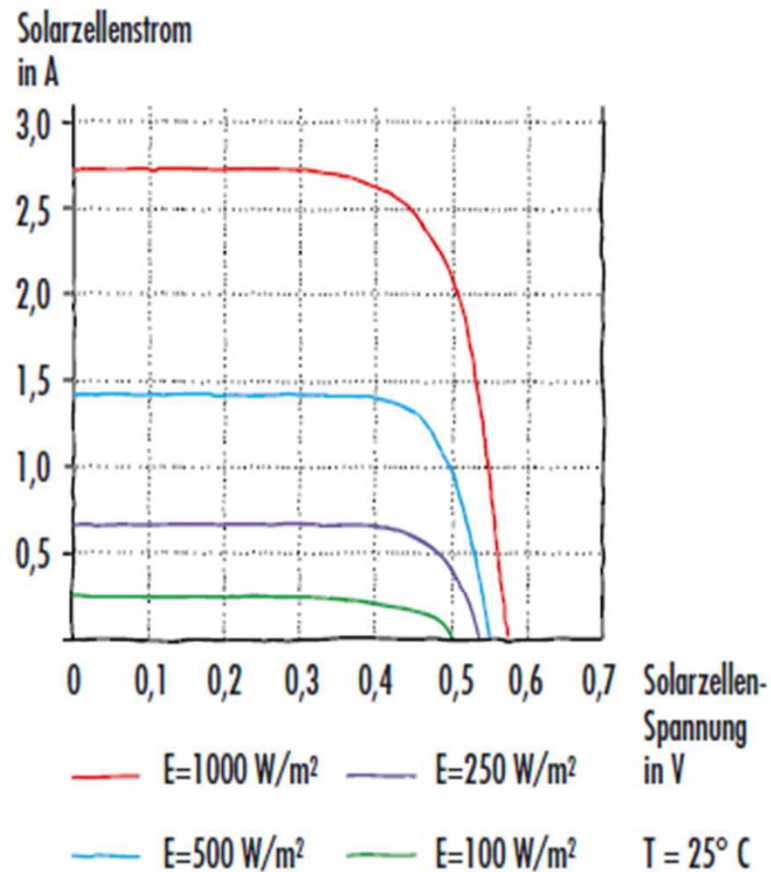
2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

Reihenschaltung

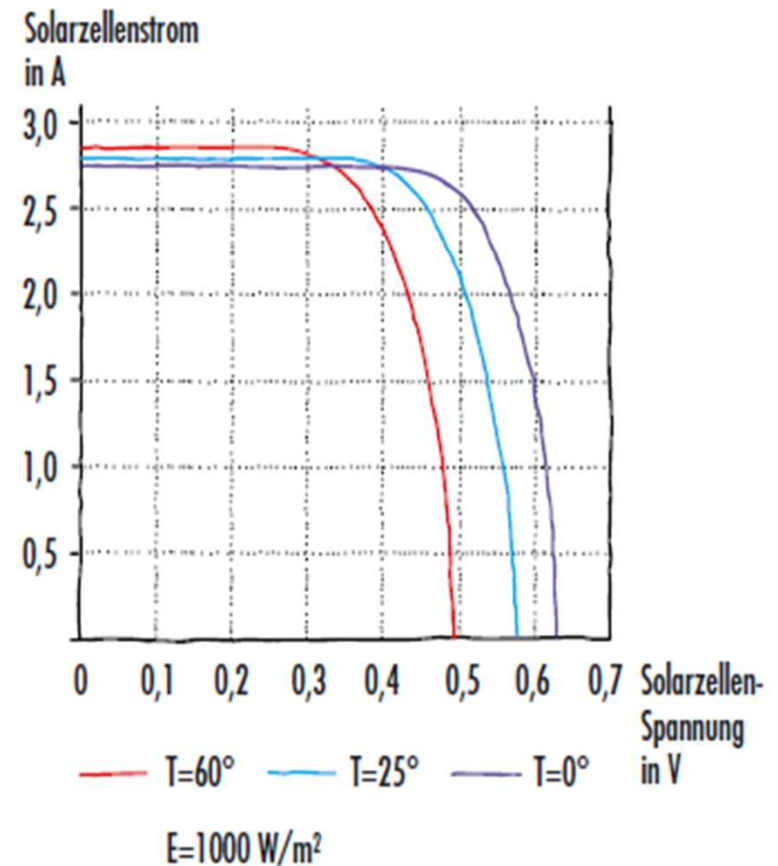


2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

Einfluss der Bestrahlung

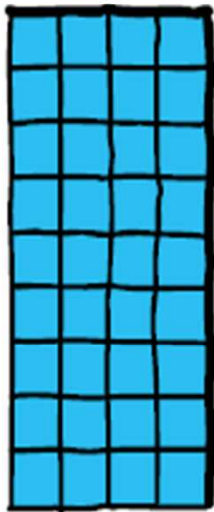


Temperatureinfluss

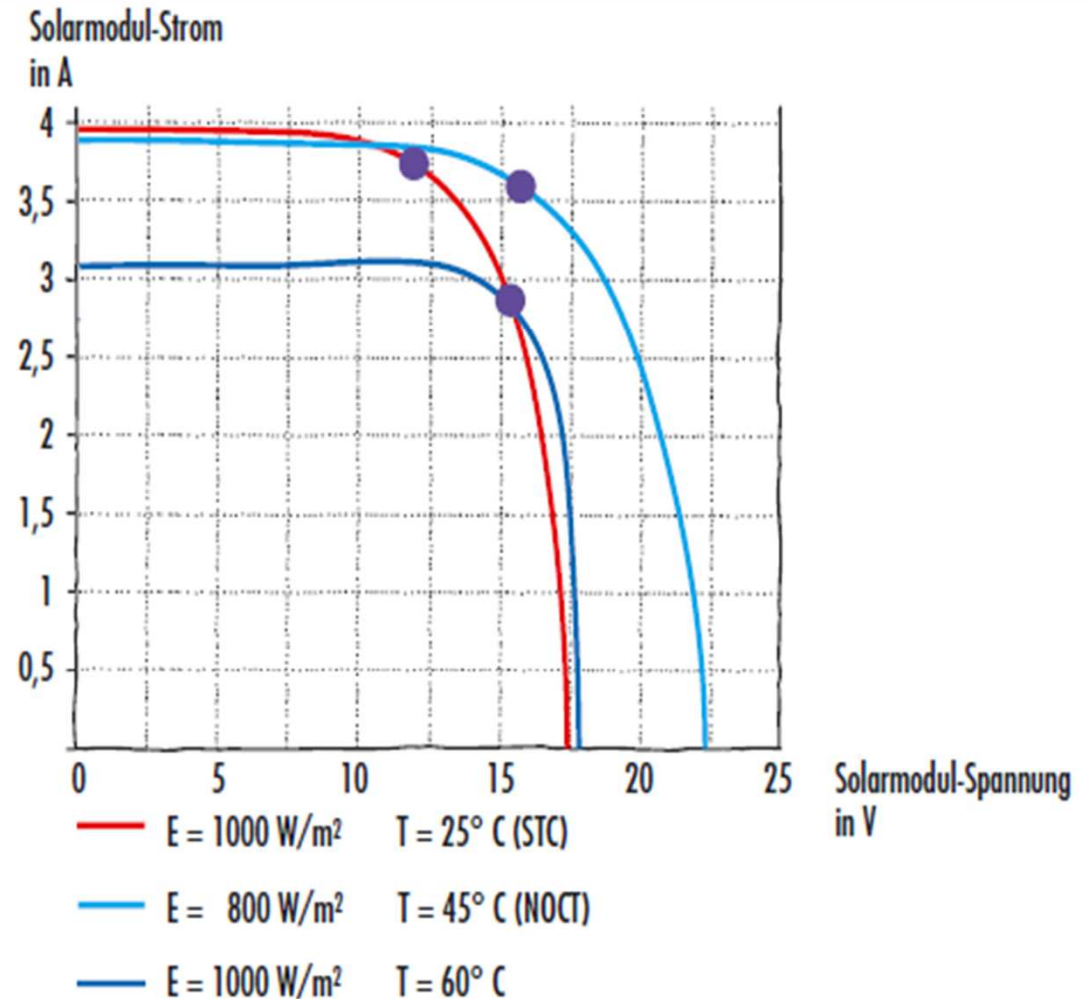


2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

**Strom-/Spannungskennlinien
in Abhängigkeit
von der Sonneneinstrahlung
und der Modultemperatur**



Solar modul:
36 Solarzellen
à 10 cm x 10 cm



2. Fertigung kristalliner Siliziummodule

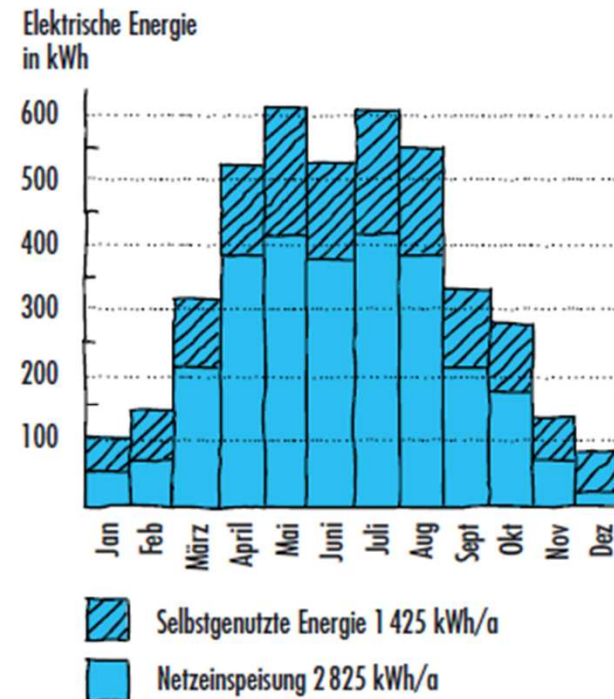
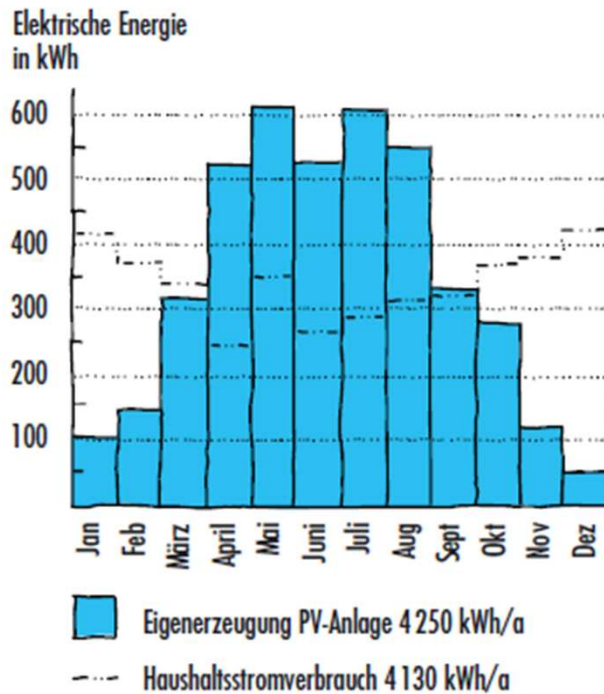
Wesentliche Punkte zur Fertigung und dem Einsatz von PV-Modulen sind:

1. **Vertikale Produktionslinie oder Laminierer**
2. **Unterschiede im Energieaufwand zwischen mono- und polykristallinen Zellen/Modulen**
3. **Unterschiedliche Einsatzbereiche von mono- oder polykristallinen Modulen**
4. **Energetische Amortisation liegt bei 4 – 6 Jahren für die gesamte PV-Anlage**

3. Auslegung einer PV-Anlage

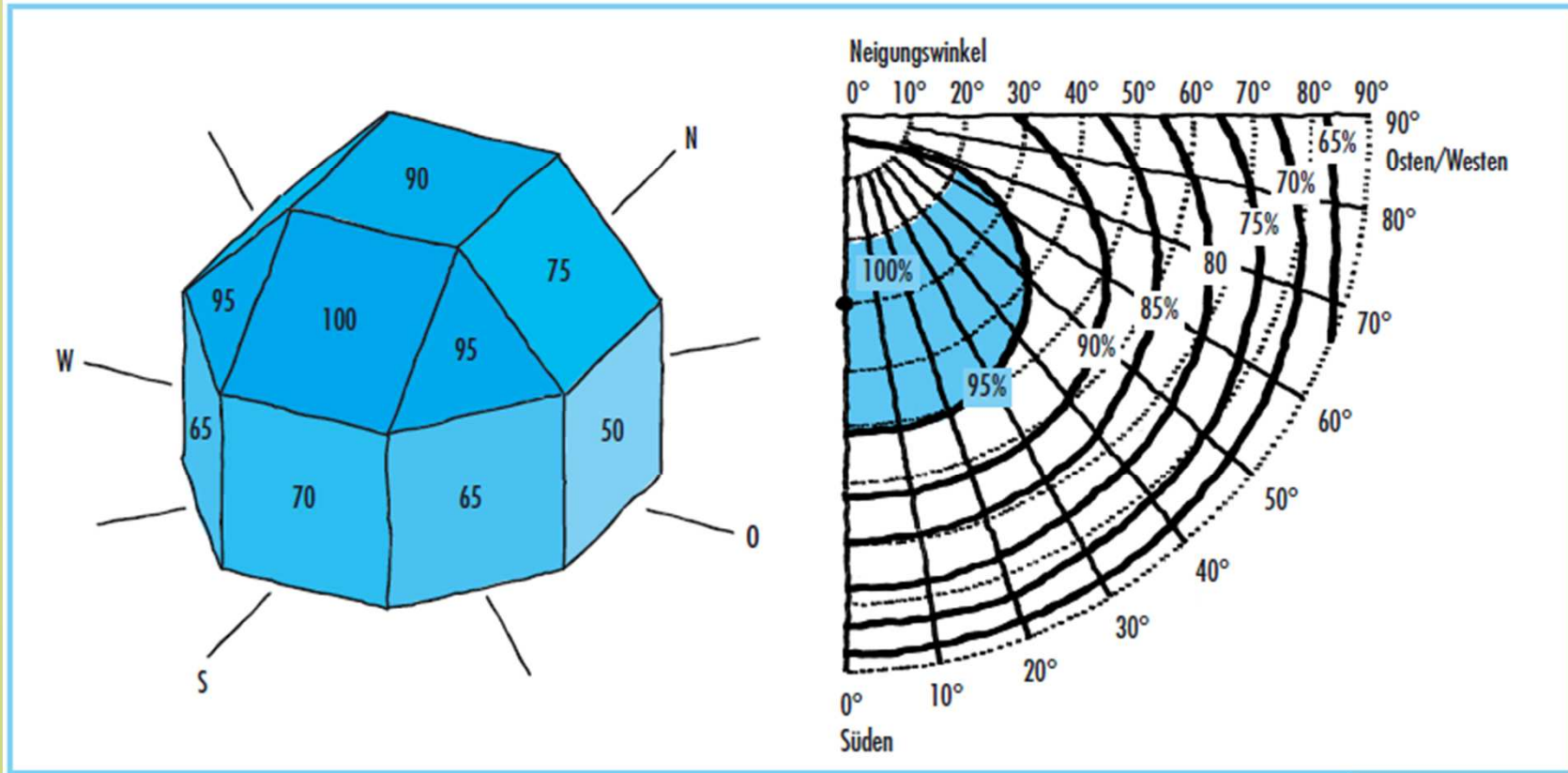
Auslegung einer Photovoltaik-Anlage

Beispiel: 5 kW-Anlage auf Einfamilienhaus



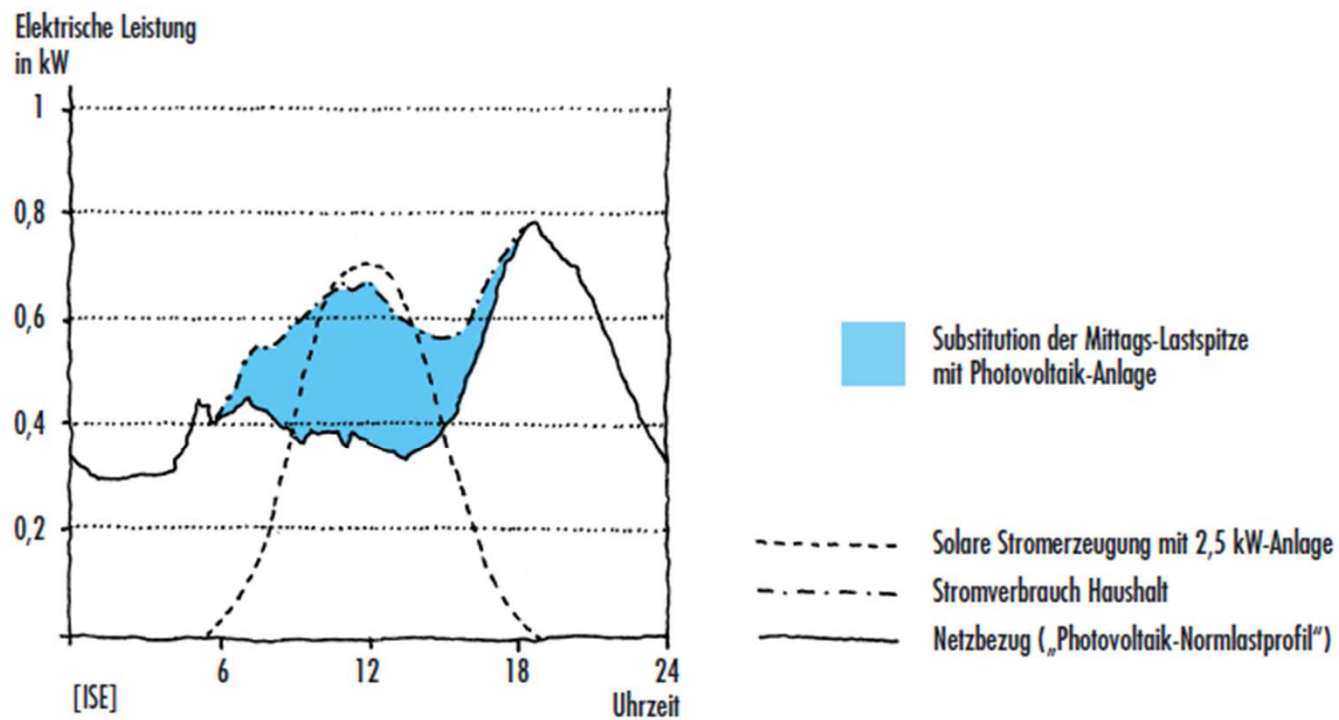
3. Auslegung einer PV-Anlage

Ausrichtung der Generatorfläche



3. Auslegung einer PV-Anlage

PV-Stromerzeugung und Netzbezug im Privathausbereich



4. Wechselrichter

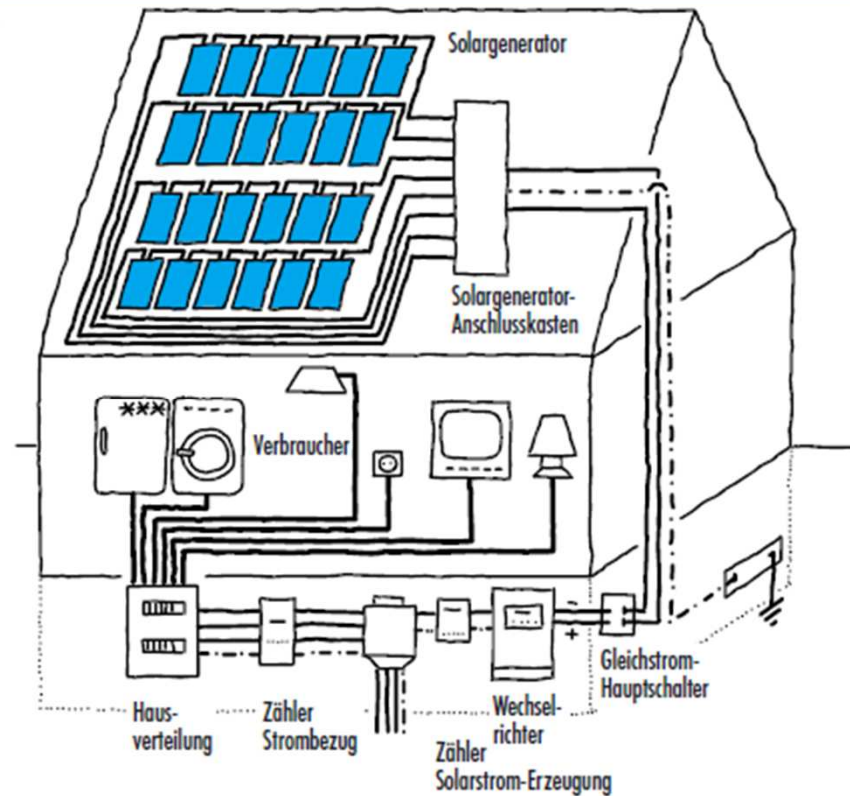
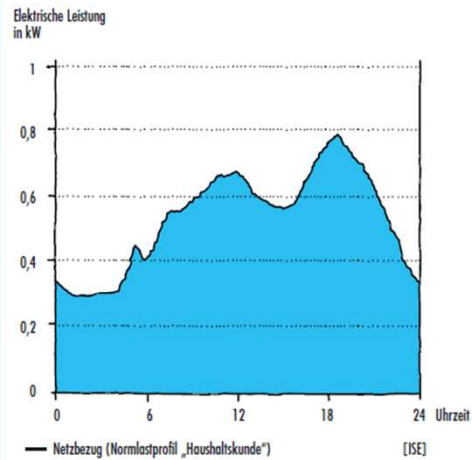
Der Wechselrichter zur Netzkopplung (1)

Zentraler Wechselrichter	Zentraler Multistrang-Wechselrichter	Strangorientierter zentraler Wechselrichter	Strangwechselrichter	Modulorientierte Wechselrichter
	mit „intelligenten“ Solargenerator-Anschlusskasten		mit vorgeschalteten Gleichspannungswandlern (Hochsetzsteller)	
• relativ niedrig	Spannungsniveau des Solargenerators • variabel		• relativ hoch	• 220 V Wechselspannung
• für alle Module im Generatorfeld	Anordnung der Module • gleiche Einbaubedingungen erforderlich • für Module im jeweiligen Generatorstrang <small>(Stränge mit verschiedener Orientierung, Modulanzahl, Modultypen, Einbauart etc. möglich)</small>		• Verschiedene Einbaubedingungen für jedes Modul möglich	
• nur gesamtes Generatorfeld	Anlagenüberwachung • jeder Generatorstrang		• jedes Einzelmodul	

5. Netzgekoppelte PV-Anlagen

Volleinspeisung ins Stromnetz

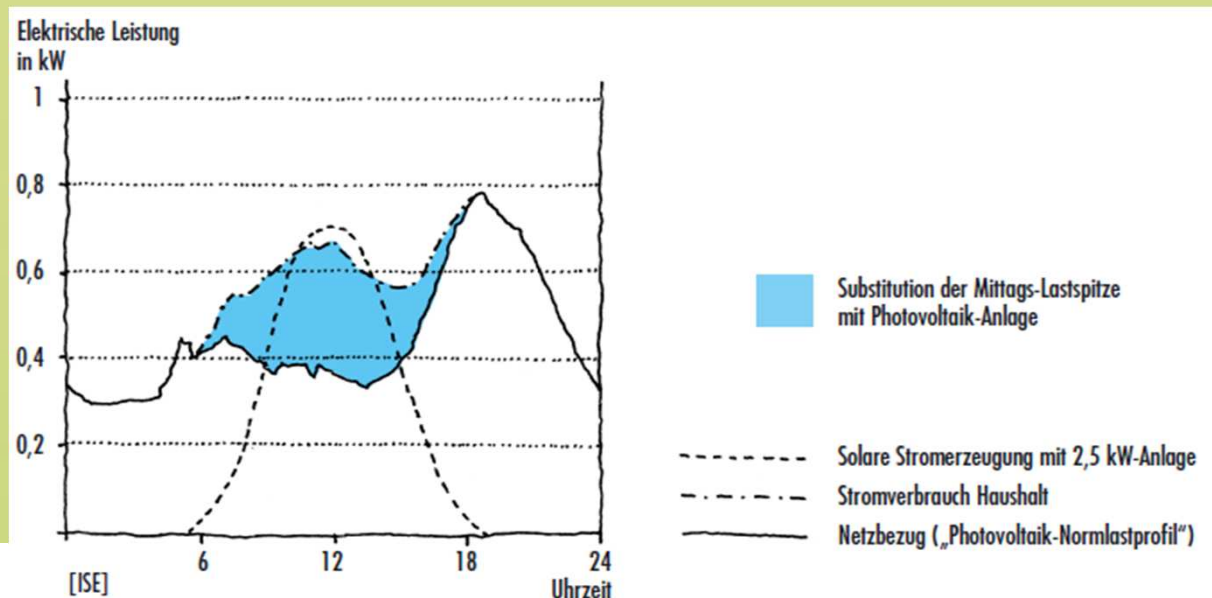
- unternehmerischer Anlagenbetrieb mit Vorsteuerabzugsberechtigung und Umsatzsteuerpflicht
- zwei Stromzähler – jeweils für Strombezug und Stromeinspeisung



5. Netzgekoppelte PV-Anlagen

Überschusseinspeisung und anteilige Eigenbedarfsdeckung:

- Wird durch einen sogenannten Eigenverbrauchszähler ermittelt (Miete ca. 5 €/Monat)
- Bei allen Anlagen möglich (Neuerung im Gesetz)
- Die Überschussenergie mit 0,2874 €/kWh (20 Jahre fix)
- Die selbst verbrauchte Solarenergie wird 2011 mit 0,1236 €/kWh vergütet (Anteil über 30% wird mit 0,1674 €/kWh vergütet)
- Der Anteil der eigenen Bedarfsdeckung liegt bei ca. 10 bis 30 % und ist sehr individuell



6. Projektierung einer PV-Anlage

Folgende Schritte sind notwendig:

- Erfassung aller relevanten Daten
- Dachbelegung nach verschiedenen Gesichtspunkten: maximale Leistung; Ästhetik; Kombination mit Solarthermie
- Berücksichtigung von Verschattungen und Belegungsmöglichkeiten
- Optimierung mit Stringbetrachtung und Wechselrichterauslegung
- Netzverträglichkeit und Zählersituation
- Gewinnerwartung bei den individuellen Gegebenheiten

6. Projektierung einer PV-Anlage

Folgende Daten sind wichtig:

- Betreiber-Daten und Standort
- Lageplan
- Dachgeometrie, Dachfotos mit Ziegeldeckmaß
- Festlegung des Wechselrichterstandorts
- Aufnahme des Zählerplatzes
- Besondere Wünsche z.B. Klärung der „Elektro-Sensibilität“
- Netzverträglichkeitsprüfung bei Anlagen > 30 kWp und ggf. Klärung der Kosten bei notwendigem Netzausbau

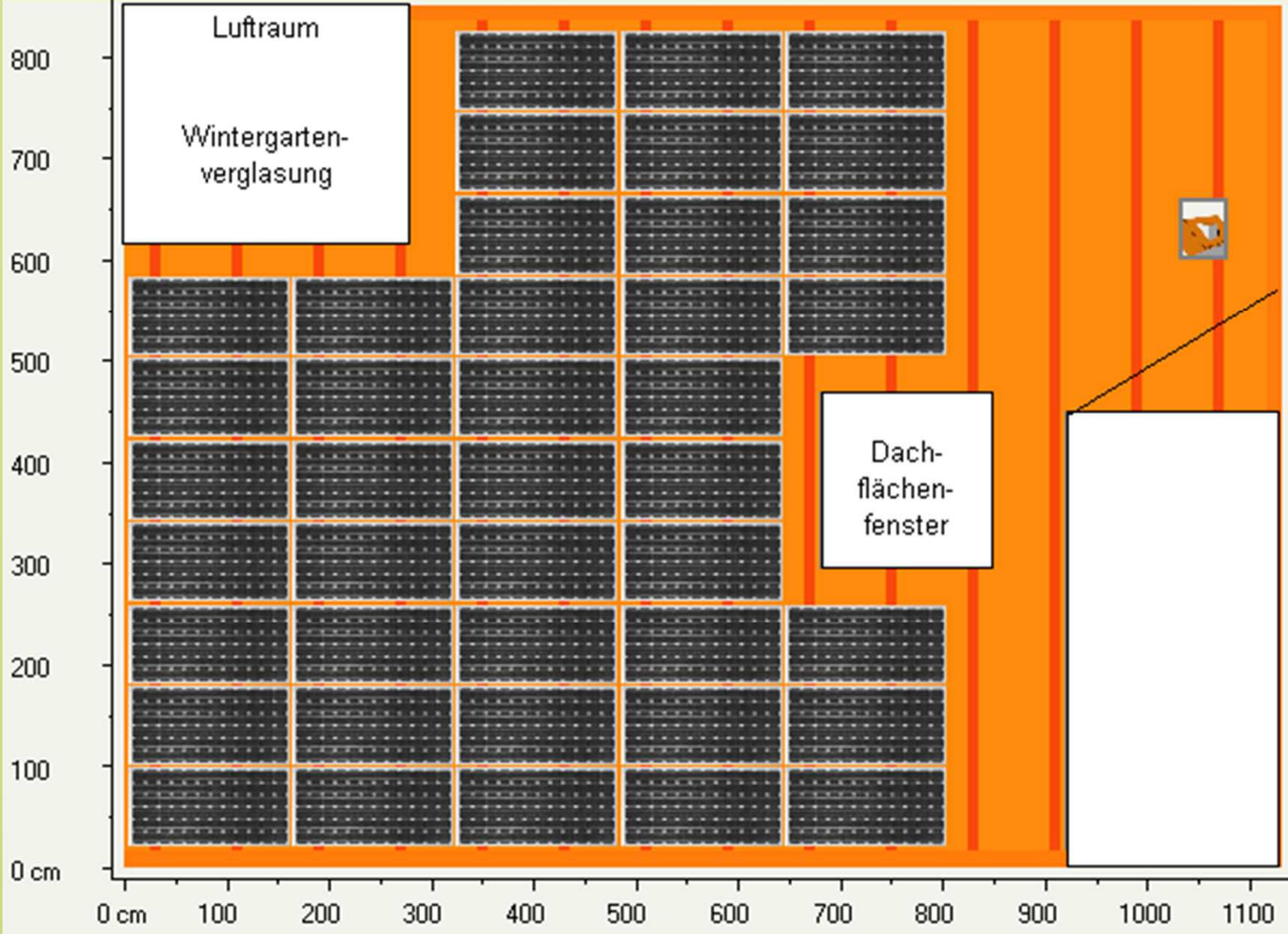
6. Projektierung einer PV-Anlage

Angaben zur Angebotserstellung			
Dachdaten: <i>(nur wenn nicht im PV-Scout)</i>	Höhe [m]	7,90	Zählerkasten anbieten <i>Nein</i> Gerüst > 10kWp, >2 Etagen <i>inkl.</i> SAT-Schüssel/Ant. versetzen <i>Nein</i> PV-Monitor <i>Ja</i> Webmaster <i>Nein</i>
	Breite [m]	16,60	
	Neigung [Grad]	28	
	Ausrichtung [Grad]	180	
	Traufhöhe [m]	6,00	
	Dacheindeckung	Pfannen	
Verschattungen ?			Wenn Nebengebäude
Anlagengröße	kWp oder maximal		First/First [m] Höhe First [m] Höhe First NG [m]
Angaben zur Installation			
Sparrenabstand (cm)	70	Dachlattenhöhe (mm)	?
Abstand 1. Sparren (cm)	30	PV-Anlage - WR [m]	?
Aufdachdämmung	Nein	WR - Stromzähler [m]	?
Zählerplatz vorhanden	Ja	<i>(nur wenn > 15m)</i>	
Energieversorger			
Besonderheiten / Wünsche / Anmerkungen		Wird von SolarTotal ausgefüllt	
<input type="checkbox"/>	Eigenen Wechselrichter vorsehen?	Anlagengröße	
<input type="checkbox"/>	Wechselrichter mit Trafos vorsehen?	Anzahl Module	
<input type="checkbox"/>	Siebelnagelgröße der Sicherung vor dem bestehenden Zähler?	Module	
<input type="checkbox"/>	Siebelnagelgröße im Hausanschlusskasten?	Globalstrahlung	
<input type="checkbox"/>		Dacheffizienz	
<input type="checkbox"/>		Preis	
<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>			

6. Projektierung einer PV-Anlage



6. Projektierung einer PV-Anlage



6. Projektierung einer PV-Anlage

Wo sollen die Wechselrichter hin?



Gibt es einen freien Zählplatz?

Welche Stromstärke haben die Zähler- und die Hausanschluss-Sicherungen?

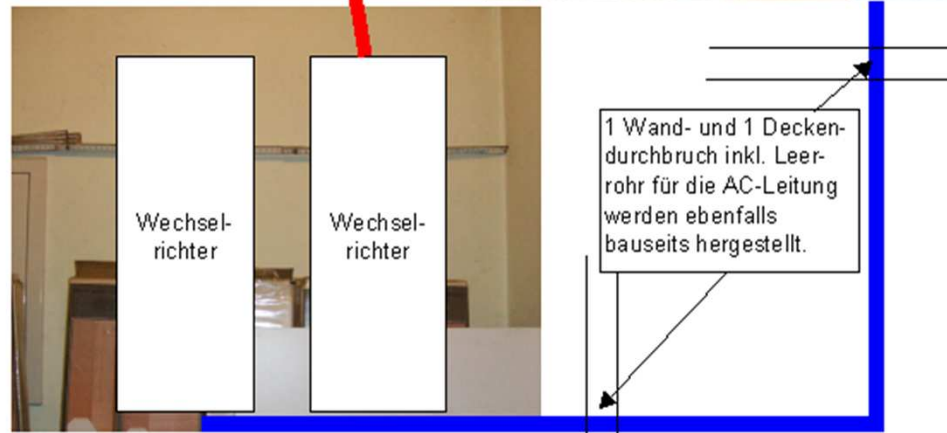
6. Projektierung einer PV-Anlage



Wird bauseits vorbereitet:

Kupferleerrohr unter dem Vordach bis zum Durchbruch in den Keller

Im Keller werden ca. 6-8 m Kabelkanal und zwei Wanddurchbrüche bis zum WR-Standort benötigt.



6. Projektierung einer PV-Anlage

Welche Dacheffizienz wird erreicht?

Anlagenart			
Ausrichtung:	<input type="text" value="180"/>	° (N=0°/360°, E=90°, S=180°, W=270°)	
Neigung:	<input type="text" value="28"/>	° (H=0°, V=90°)	
Anlagenart:	<input type="text" value="Dach"/>		
Schatten:	<input type="checkbox"/>		

Konfiguration			
Globalstrahlung:	<input type="text" value="1.090"/>	kWh/m ²	Systemeffizienz: 0,898200
Jährlicher Stromertrag:	<input type="text" value="7.225"/>	kWh	Dacheffizienz: 1,000000
Zu installierende:	<input type="text" value="7,38"/>	kWp	
Benötigte Dachfläche (+/-):	<input type="text" value="59,0"/>	m ²	(1 m ² = +/- 125 Wp)

Bemerkung	
Damit die PV-Anlage optimal und ohne Verschattungen errichtet werden kann, wird die thermische Solaranlage auf die rechte Dachseite verlegt.	

The image contains two diagrams. The top diagram is a compass rose with a central black dot and four cardinal directions labeled: N (North) at the top, S (South) at the bottom, E (East) on the right, and W (West) on the left. The bottom diagram shows a vertical line representing a wall or roof edge, with a horizontal line extending from its base. A solar panel is represented by a black dot at the top of the vertical line, tilted at an angle of 28 degrees from the vertical. The angle '28°' is written in red next to the panel.

6. Projektierung einer PV-Anlage

Parameter	Jahr	Investition	Tilgung	Zins	Be- triebs- kosten	Ein- sparung Strom	Förderung Eigen- verbrauch	Verkauf Strom	Einmalige Förderung	Steuern	Überschuss nach Steuern
Betrachtungszeitraum:	21										
Inbetriebnahme Jahr und Monat:	- + 2011 06										
KWp Preis exkl. Mwst. (€)	2.400	2011	17.490		99			1.223			-16.365
Spez. Stromertrag (kWh/KWp):	1.010	2012			171			2.090	184		1.735
Jährlicher Stromertrag (kWh):	7.297	2013			173			2.083	313		1.597
Minderung des Stromertrages (%/Jahr):	0,3300	2014			174			2.076	311		1.591
Gesamtpreis (exkl. Mwst.):	17.490	2015			176			2.070	308		1.585
Anlagengröße (kWp):	7,23	2016			178			2.063	306		1.579
Sonderabschreibung 20 % im 1. Jahr:	<input type="checkbox"/>	2017			180			2.056	303		1.573
Einspeisevergütung pro kWh (€):	0,2874	2018			181			2.049	301		1.567
		2019			183			2.043	298		1.561
		2020			185			2.036	295		1.555
		2021			187			2.029	293		1.549
		2022			189			2.022	290		1.543
		2023			191			2.016	288		1.537
		2024			193			2.009	285		1.531
		2025			195			2.002	283		1.525
		2026			197			1.996	280		1.519
		2027			198			1.989	277		1.513
		2028			200			1.983	275		1.507
		2029			202			1.976	272		1.501
		2030			204			1.970	270		1.495
		2031			103			1.963	267		1.592
		2032			12			1.957	449		1.496
		Total	17.490	0	0	3.772	0	43.701	0	6.148	16.290
		Einnahmen						43.701			
		Gesamtaufwendungen						27.411			
		Gesamtgewinn nach Steuern und Kosten						16.290			

Die Amortisationszeit beträgt ca. 11 Jahre und 3 Monate
Bei einem Zins von 3% auf die jährlichen Gewinne ergibt sich ein Gesamtbetrag von € 43.301,-
Alle angegebenen Werte, welche sich auf die steuerliche Betrachtung beziehen, Absatzmöglichkeiten oder zu versteuerndes Einkommen sind nur Annahmen.

Gewinn ohne Finanzierung, also mit 100% Eigenkapital

6. Projektierung einer PV-Anlage

Parameter	Jahr	Investition	Tilgung	Zins	Betriebskosten	Einsparung Strom	Förderung Eigenverbrauch	Verkauf Strom	Einmalige Förderung	Steuern	Überschuss nach Steuern
Betrachtungszeitraum:	21										
Inbetriebnahme Jahr und Monat:	- + 2011 06										
kWp Preis exkl. MwSt. (€)	2.400	2011 17.490	475	474	99			1.223			176
Spez. Stromertrag (kWh/kWp):	1.010	2012	845	782	171			2.090	42		250
Jährlicher Stromertrag (kWh):	7.297	2013	886	741	173			2.083	79		205
Minderung des Stromertrages (%/Jahr):	0,3300	2014	929	698	174			2.076	89		186
Gesamtpreis (exkl. MwSt.):	17.490	2015	973	654	176			2.070	99		168
Anlagengröße (kWp):	7,23	2016	1.020	607	178			2.063	110		148
Sonderabschreibung 20 % im 1. Jahr:	<input type="checkbox"/>	2017	1.069	558	180			2.056	121		128
Einspeisevergütung pro kWh (€):	0,2874	2018	1.120	507	181			2.049	133		107
		2019	1.174	453	183			2.043	146		86
		2020	1.230	397	185			2.036	160		64
		2021	1.284	350	187			2.029	174		34
Kosten		2022	1.345	294	189			2.022	185		9
Betriebskosten (J/N):	<input checked="" type="checkbox"/>	2023	1.414	225	191			2.016	200		-14
5+ Leistungspaket (€/Jahr):	<input checked="" type="checkbox"/> 145,03 Berechnet: 145,03	2024	1.487	152	193			2.009	218		-40
Betriebskostensteigerung (%/Jahr):	1,00	2025	1.563	76	195			2.002	237		-68
Jährliche Kosten (€/Jahr):	24	2026	674	8	197			1.996	257		859
Einmalige Fixkosten (€):	150	2027			198			1.989	275		1.516
Einkommensteuer:	<input checked="" type="checkbox"/>	2028			200			1.983	275		1.507
Steuersatz (%):	30,00	2029			202			1.976	272		1.501
		2030			204			1.970	270		1.495
		2031			103			1.963	267		1.592
Eigenverbrauch		2032			12			1.957	449		1.496
Eigennutzung (kWh/Jahr):	0	Total	17.490	17.490	6.976	3.772	0	43.701	0	4.055	11.407
Strompreis (€):	0,2000	Einnahmen						43.701			
Jährlicher Strompreisanstieg (%):	3,00	Gesamtaufwendungen						32.294			
Förderung Eigenverbrauch pro kWh (€):	0,1236	Gesamtgewinn nach Steuern und Kosten						11.407			
Finanzierung	<input checked="" type="checkbox"/>										
<u>Annuitätendarlehen</u>											
Eigenkapital (€):	0										
Zins für Geldanlage (%):	3,00										
Ertrag Geldanlage (€):	15.047										
Finanzierte Summe (€):	17.490										
Auszahlungskurs (%):	100										
Darlehenslaufzeit (Jahre):	15										
Zins (%):	4,70										
Zinsbindung (5 oder 10 Jahre):	10										
Tilgungsfreie Jahre (1, 2 oder 3):	0										
Zinssatz n. Ablauf Zinsbindung (%):	5,00										

Gewinn mit 100% Fremd-Finanzierung,
also ohne Eigenkapital!

6. Projektierung einer PV-Anlage

Parameter	Jahr	Investition	Tilgung	Zins	Betriebskosten	Einsparung Strom	Förderung Eigenverbrauch	Verkauf Strom	Einmalige Förderung	Steuern	Überschuss nach Steuern
Betrachtungszeitraum:	21										
Inbetriebnahme Jahr und Monat: <input type="text" value="-"/> <input type="text" value="+"/> 2011 06	2011	17.490	475	474	99	170	105	979			206
KWp Preis exkl. MwSt. (€)	2012		845	782	171	307	180	1.671		51	308
Spez. Stromertrag (kWh/KWp):	2013		886	741	173	307	180	1.664		99	252
Jährlicher Stromertrag (kWh):	2014		929	698	174	321	180	1.657		109	248
Minderung des Stromertrages (%/Jahr):	2015	0,3300	973	654	176	336	180	1.650		123	240
Gesamtpreis (exkl. MwSt.):	2016	17.490	1.020	607	178	336	180	1.643		139	216
Anlagengröße (kWp):	2017	7,23	1.069	558	180	350	180	1.636		150	211
Sonderabschreibung 20 % im 1. Jahr: <input type="checkbox"/>	2018		1.120	507	181	365	180	1.630		166	200
Einspeisevergütung pro kWh (€):	2019	0,2874	1.174	453	183	365	180	1.623		184	174
	2020		1.230	397	185	380	180	1.616		197	167
	2021		1.284	350	187	394	180	1.609		216	147
Kosten	2022		1.345	294	189	409	180	1.603		232	132
Betriebskosten (J/N): <input checked="" type="checkbox"/>	2023		1.414	225	191	423	180	1.596		251	120
5+ Leistungspaket (€/Jahr): <input checked="" type="checkbox"/> 145,03 <i>Berechnet: 145,03</i>	2024		1.487	152	193	423	180	1.589		273	89
Betriebskostensteigerung (%/Jahr):	2025		1.563	76	195	438	180	1.583		292	75
Jährliche Kosten (€/Jahr):	2026		674	8	197	453	180	1.576		317	1.013
Einmalige Fixkosten (€):	2027				198	467	180	1.569		339	1.680
Einkommensteuer: <input checked="" type="checkbox"/>	2028				200	482	180	1.563		343	1.682
Steuersatz (%):	2029				202	496	180	1.557		345	1.686
	2030				204	511	180	1.550		347	1.690
	2031				103	526	180	1.543		349	1.797
Eigenverbrauch	2032				12	540		1.537		535	1.530
Eigennutzung (kWh/Jahr):		1.460									
Strompreis (€):		0,2000									
Jährlicher Strompreisanstieg (%):		3,00									
Förderung Eigenverbrauch pro kWh (€):		0,1236									
Finanzierung <input checked="" type="checkbox"/>											
<u>Annuitätendarlehen</u>											
Eigenkapital (€):		0									
Zins für Geldanlage (%):		3,00									
Ertrag Geldanlage (€):		15.047									
Finanzierte Summe (€):		17.490									
Auszahlungskurs (%):		100									
Darlehenslaufzeit (Jahre):		15									
Zins (%):		4,70									
Zinsbindung (5 oder 10 Jahre):		10									
Tilgungsfreie Jahre (1, 2 oder 3):		0									
Zinssatz n. Ablauf Zinsbindung (%):		5,00									
Total		17.490	17.490	6.976	3.772	8.799	3.714	34.644	0	5.056	13.863
Einnahmen							47.158				
Gesamtaufwendungen							33.295				
Gesamtgewinn nach Steuern und Kosten							13.863				

Gewinn mit 100% Fremd-Finanzierung und 20% des erzeugten Solarstroms als Eigenverbrauch

6. Projektierung umgesetzt: Fertige PV-Anlage



6. Projektierung umgesetzt: Fertige PV-Anlage



Wechselrichterstandort



Vorher

Nachher

**Danke für Ihr Interesse
an regenerativen
Energien!**