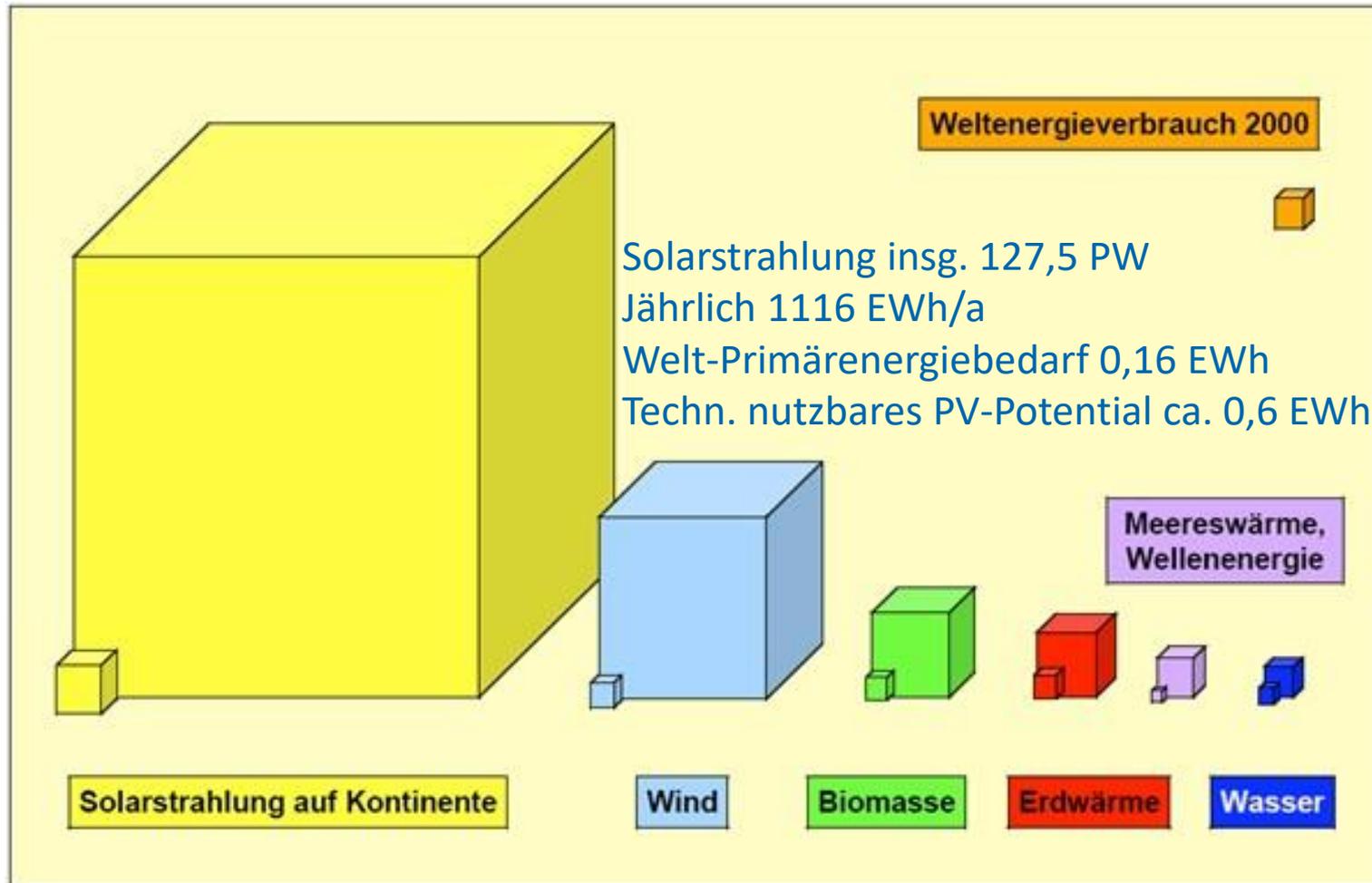
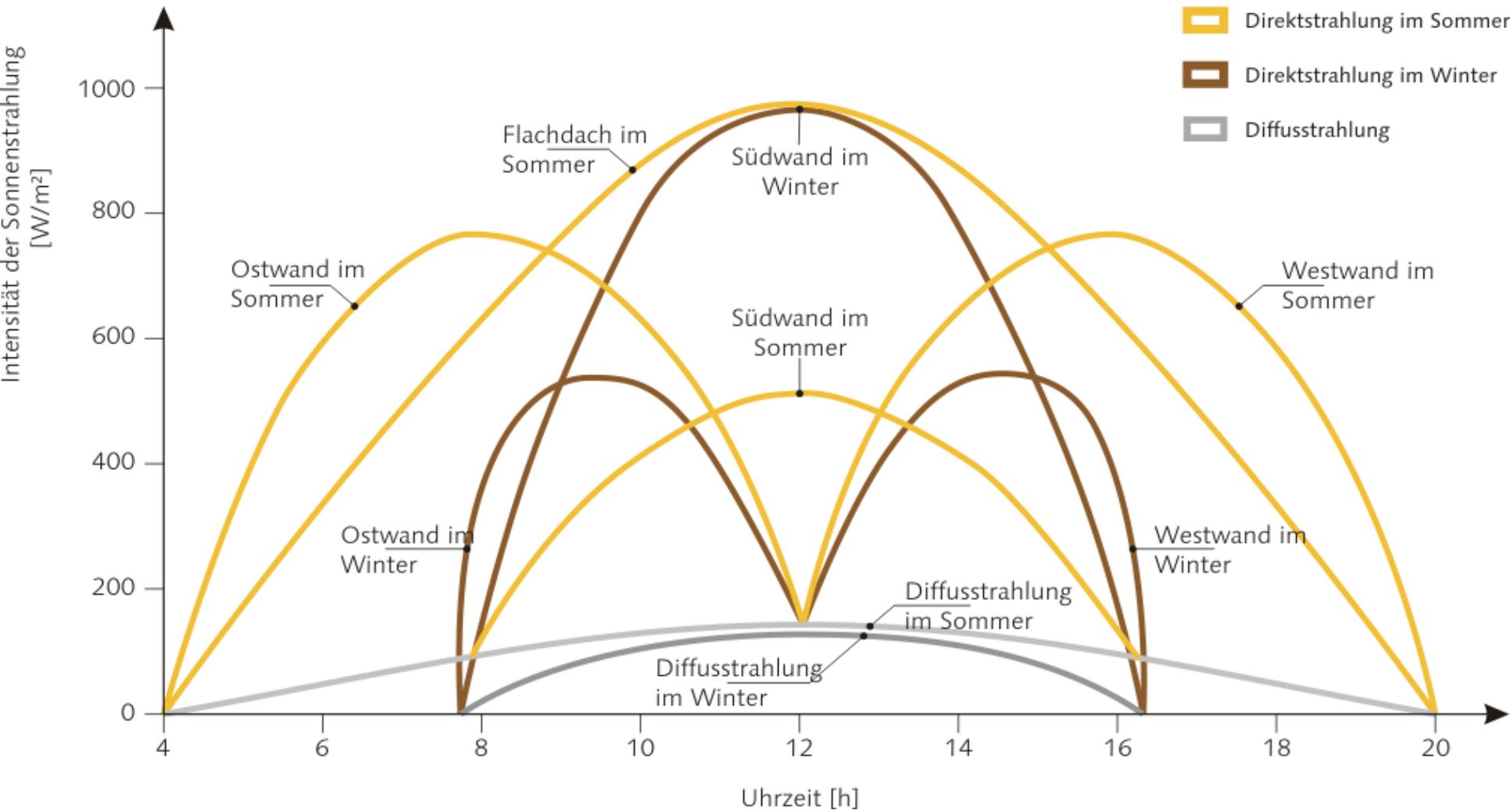


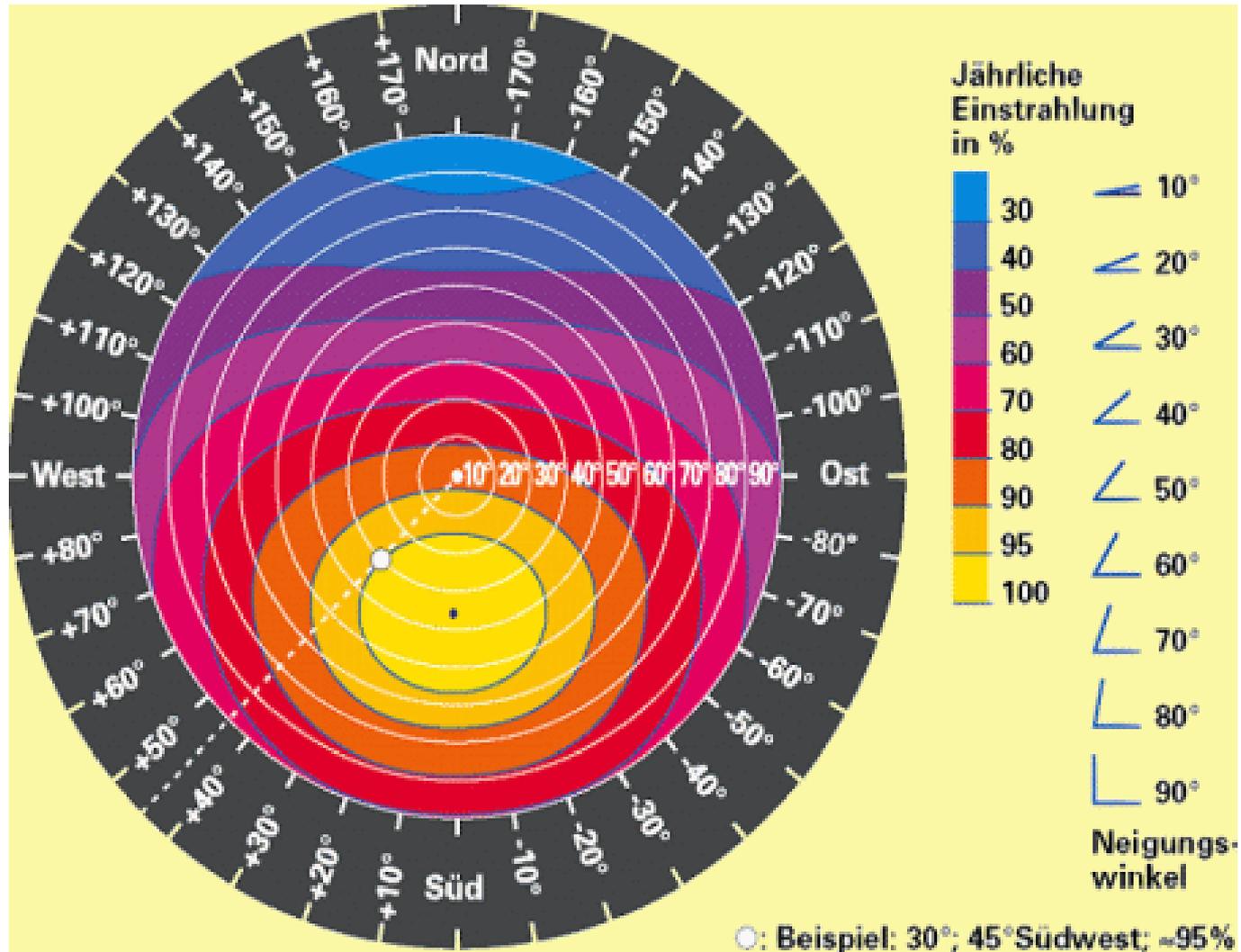
# Gebäudenahe PV

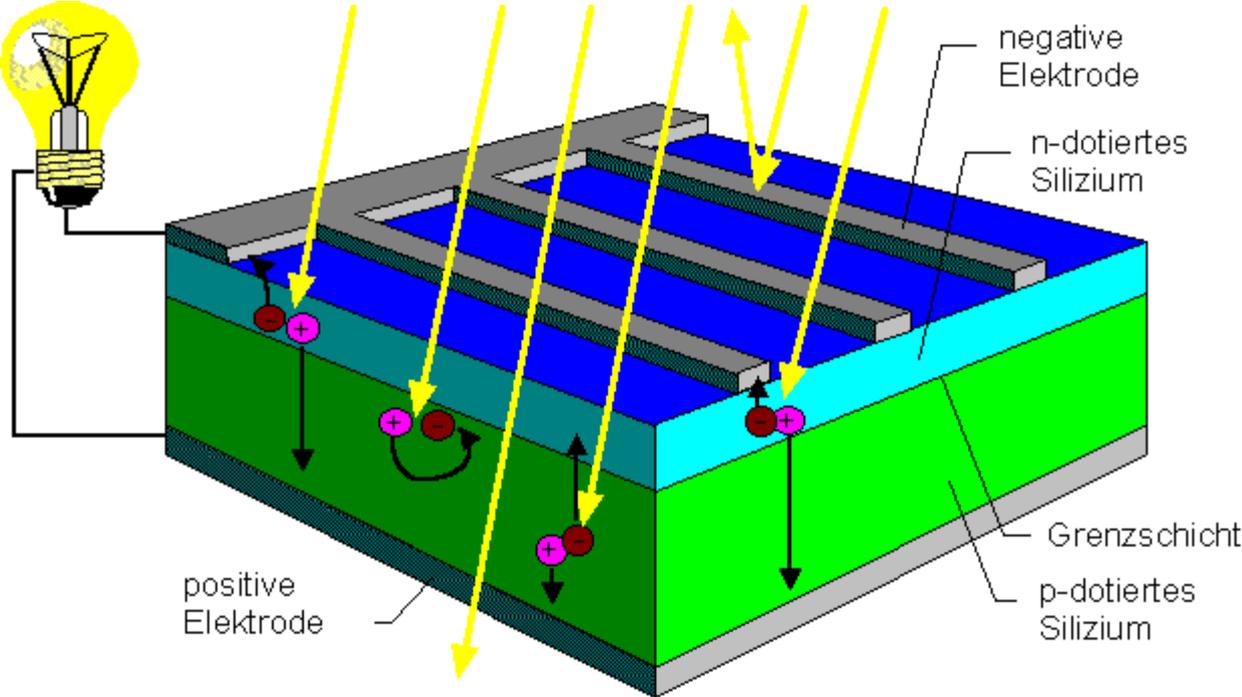
Prof. Dr. Oliver Opel

Lernen  
mit weitem  
Horizont



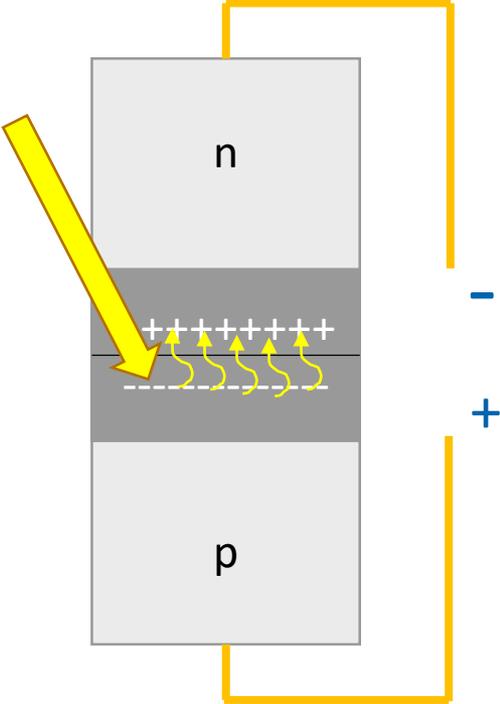






Klassische p-Zelle

Basis Bor-dotiert (+)



## n- und p-Zellen

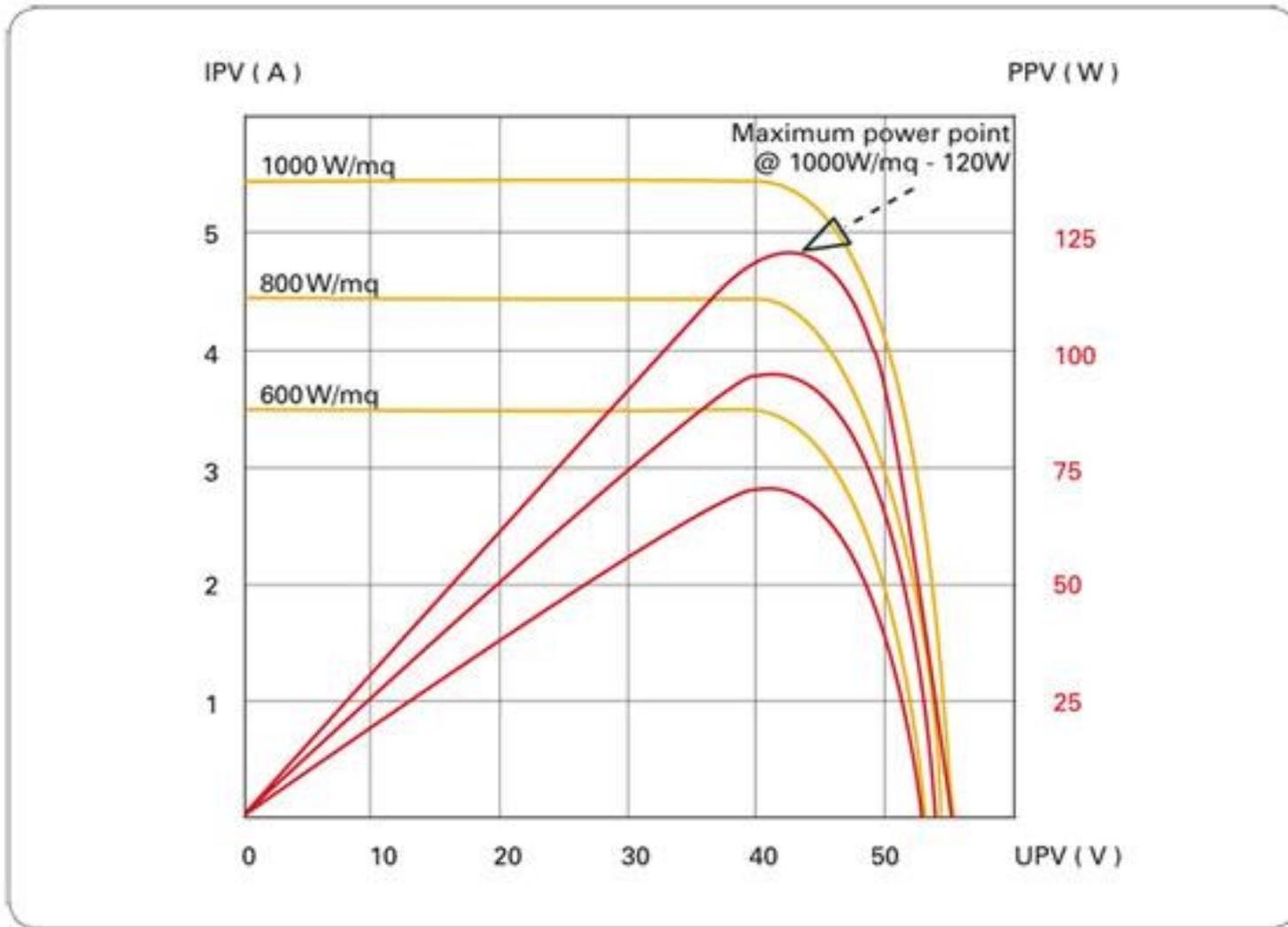
- n-dotiert mit Phosphor (1 Elektron mehr)
- p-dotiert mit Bor (1 Elektron weniger)
- Zunächst wurden p-Zellen (Wafer aus p-dotierten Silizium mit aufgebracht n-Schicht) genutzt, da sie weniger anfällig für Strahlung im Weltraum waren.
- n-dotierte sind jedoch unter Sauerstoffeinfluss stabiler (Bor kann mit sauerstoff reagieren, teilweise schon während der Herstellung) und werden inzwischen vorrangig genutzt
- Heterojunction-Zellen bestehen aus einer kristallinen n-dotierten Basis und einer aufgedampften amorphen p-dotierten Schicht. Sie vereinen die Eigenschaften von Monokristallinen Zellen mit denen von Dünnschichtzellen (bessere Ausnutzung diffusen Lichts und geringerer Siliziumbedarf)!
- PERC-Zellen besitzen eine Passivierte Emitter-Schicht und eine rötliches Licht reflektierende Rückseite, um die Ausbeute zu erhöhen.

**Materialien ausreichend vorhanden! Energie-Payback in < 4 Jahren!**

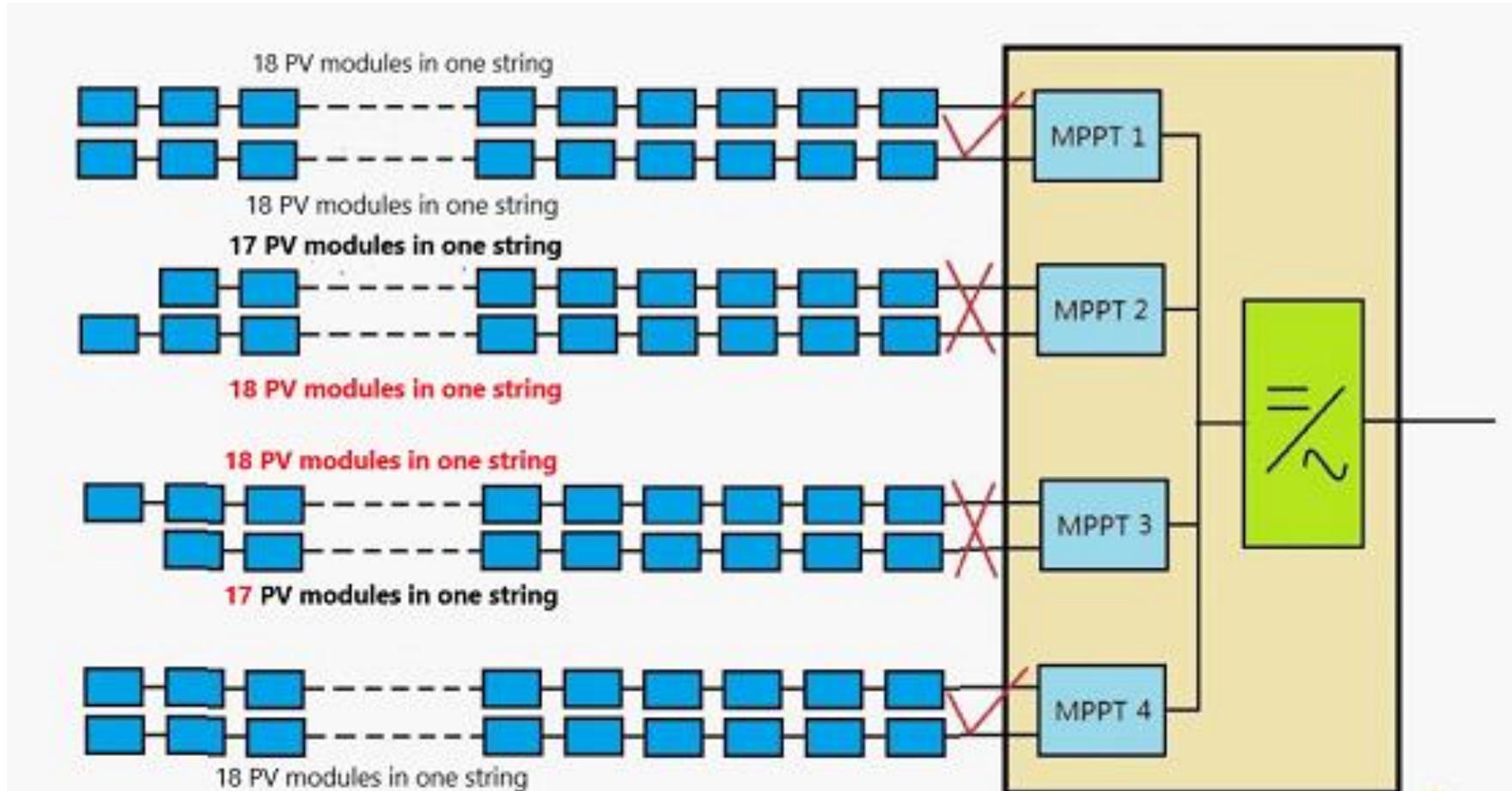
| Zellmaterial              | Maximaler Zellwirkungsgrad im Labor | Maximaler Wirkungsgrad (Serienproduktion) | Typischer Modulwirkungsgrad | Flächenbedarf pro kWp |
|---------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------|
| Monokristallines Silizium | 25,0 %                              | 22,9 %                                    | 16 %                        | 6,3 m <sup>2</sup>    |
| polykristallines Silizium | 20,4 %                              | 17,8 %                                    | 15 %                        | 6,7 m <sup>2</sup>    |
| Amorphes Silizium         | 12,5 %                              | 7,6 %                                     | 6 %                         | 16,7 m <sup>2</sup>   |
| CIS/CIGS                  | 20,4 %                              | 15,1 %                                    | 12 %                        | 8,3 m <sup>2</sup>    |
| CdTe                      | 18,7 %                              | 12,8 %                                    | 11 %                        | 9,1 m <sup>2</sup>    |
| Konzentratorzelle         | 43,6 %                              | 40,0 %                                    | 30 %                        | 3,3 m <sup>2</sup>    |

- Dotierung Bor und Phosphor in Silizium-Zellen ist unproblematisch
- Energieamortisation nach 2-4 Jahren (Silizium)
- CIS/CIGS, CdTe sind energetisch günstiger und preiswert, enthalten aber seltene oder giftige Metalle
- Stapelzelle aus GaAs (Konzentratorzelle) liefert sehr hohe Wirkungsgrade, Gallium ist aber sehr selten und Arsen je nach Speziation giftig!

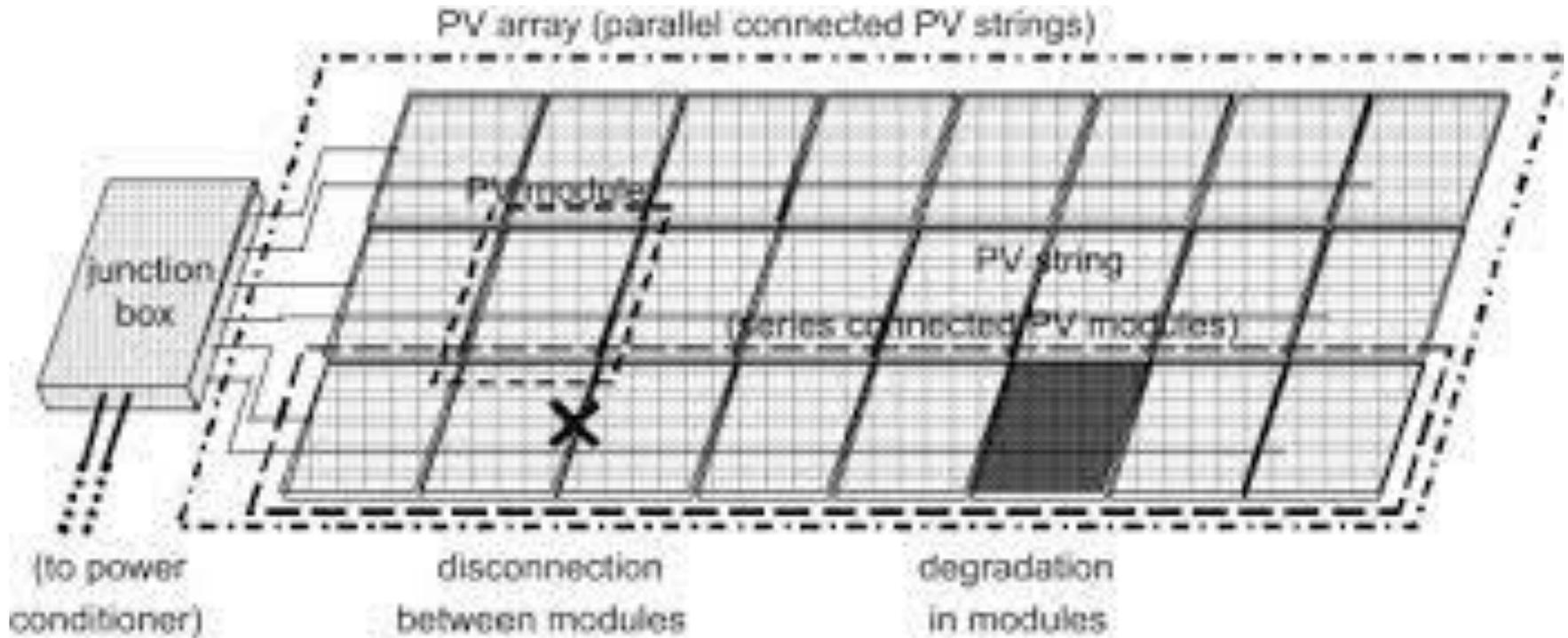
# MPPT – Maximum Powerpoint Tracking



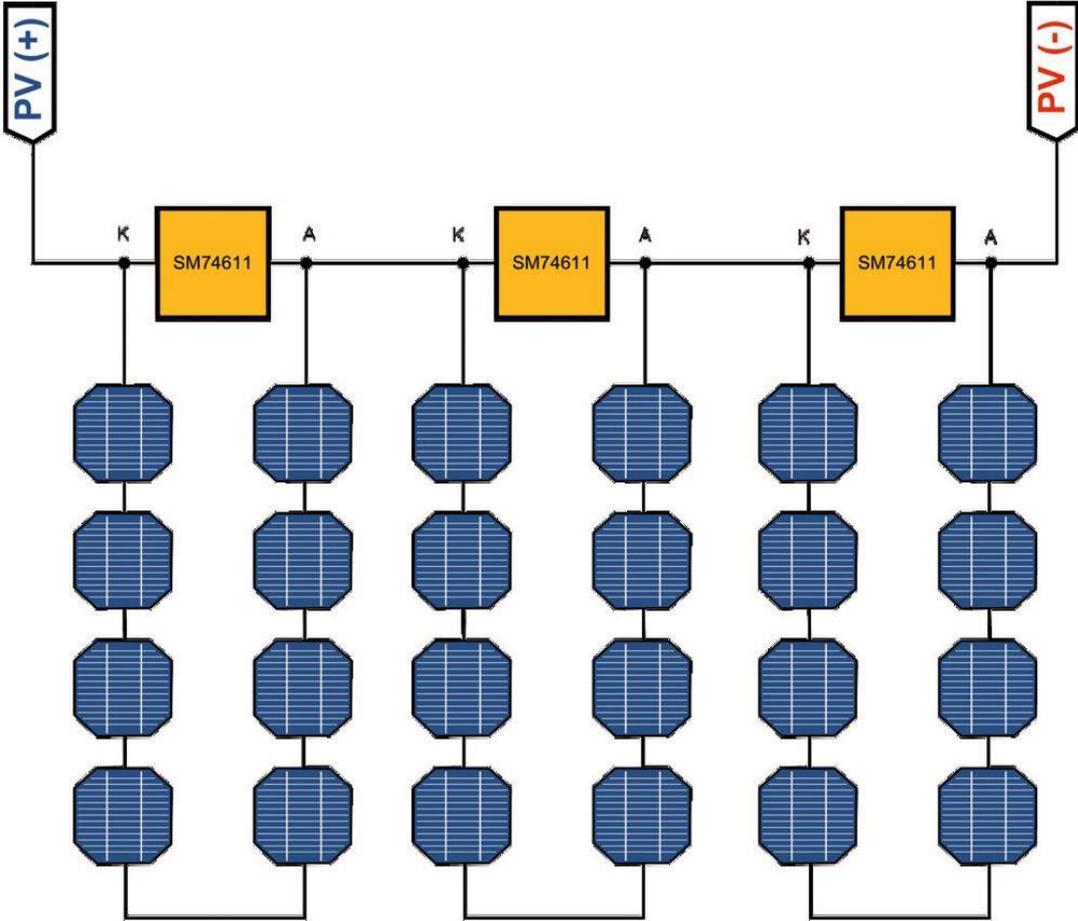
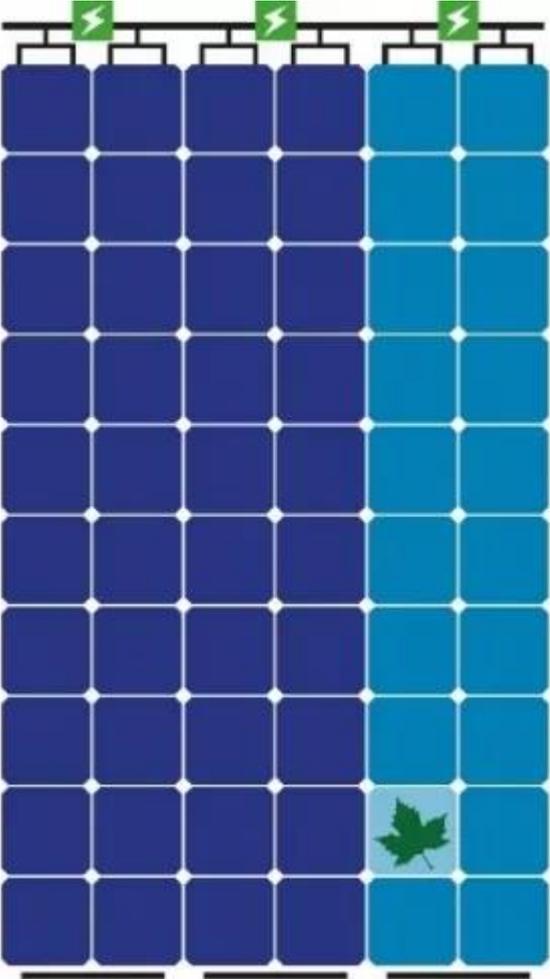
## Parallel geschaltete Strings an einem MPPT



# Auswirkungen der Stringverschaltung

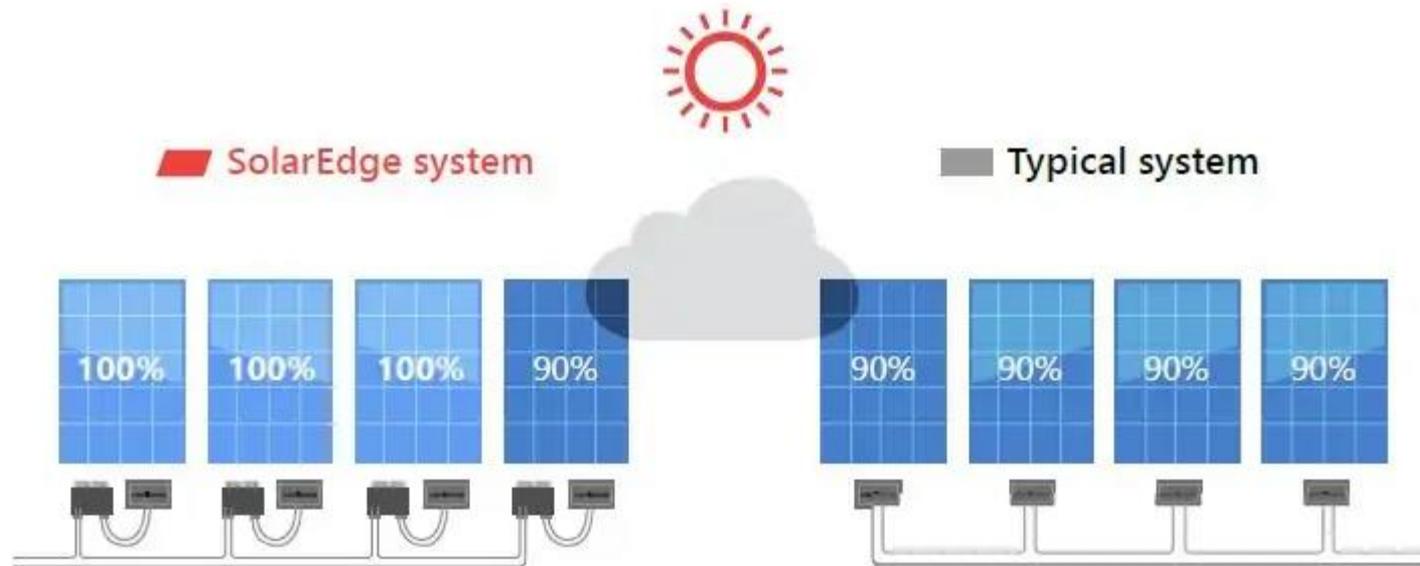


# Bypass-Dioden

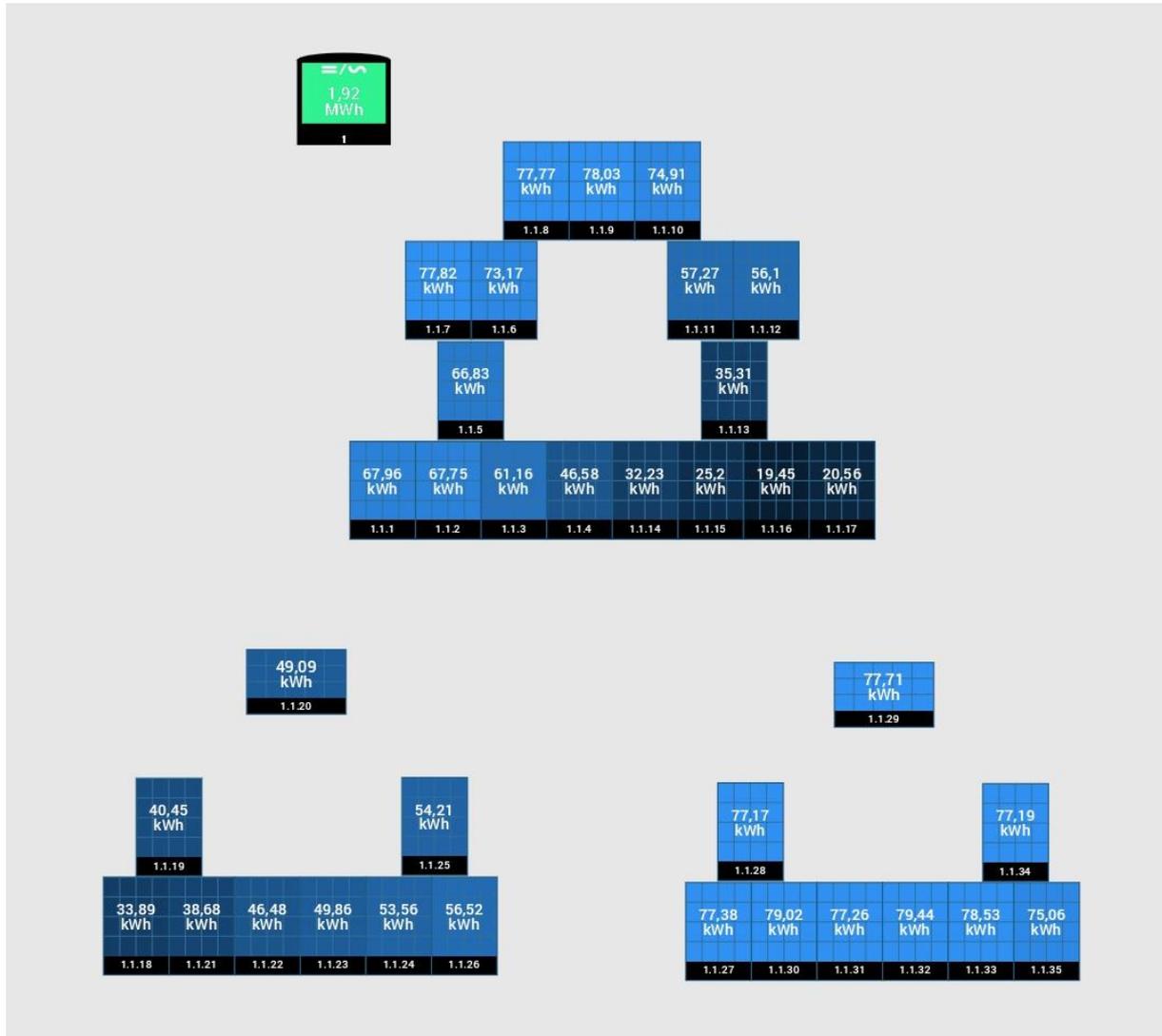


- Die meisten Wechselrichter haben Anschlüsse für 2 Strings
- Die Ermittlung des Maximum Power Point erfolgt normalerweise per String
- Wenn einzelne Module einer seriellen Stringverschaltung weniger stark bestrahlt werden (Verschattung, andere Dachfläche) oder weniger leistungsfähig sind (ungenügende Leistungssortierung) wird die Leistung des gesamten Strings beeinflusst!
- 2-string-Wechselrichter können daher maximal 2 Dachflächen unterschiedlicher Ausrichtung (und damit unterschiedlicher Einstrahlung) oder eine größere Verschattung ausgleichen
- Bei mehr als 2 Dachflächen oder starker Verschattung eignen sich Moduloptimierer

# Moduloptimierer – MPPT je Modul!



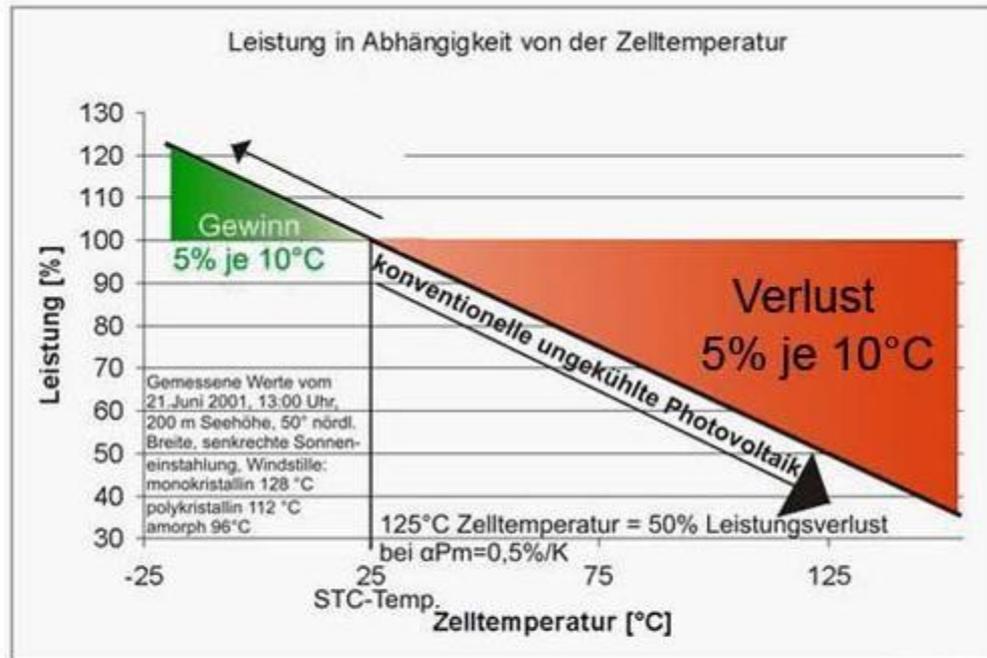
# Verschattung



# PVT-Hybrid-Module



[Valvo GmbH]



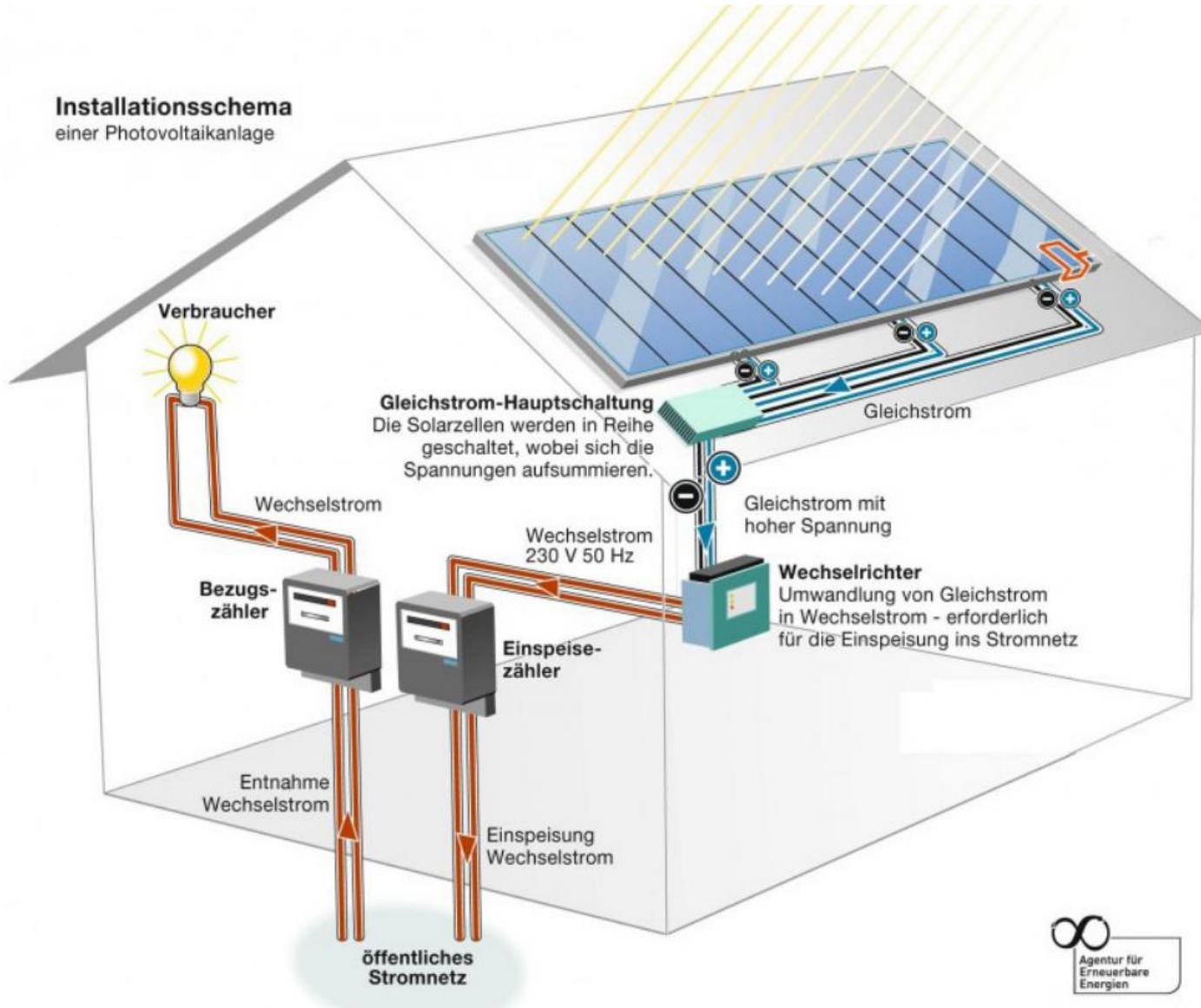
### Wirkungsgradvergleich mit und ohne Kühlung

Eine PV-Anlage mit und ohne Kühlung. An den Leistungsdiagrammen zweier Wechselrichter die mit der gleichen Modulzahl betrieben werden auf demselben Dach, kann man erkennen um wie viel größer der Ertrag bei einer gekühlten Anlage ausfällt.

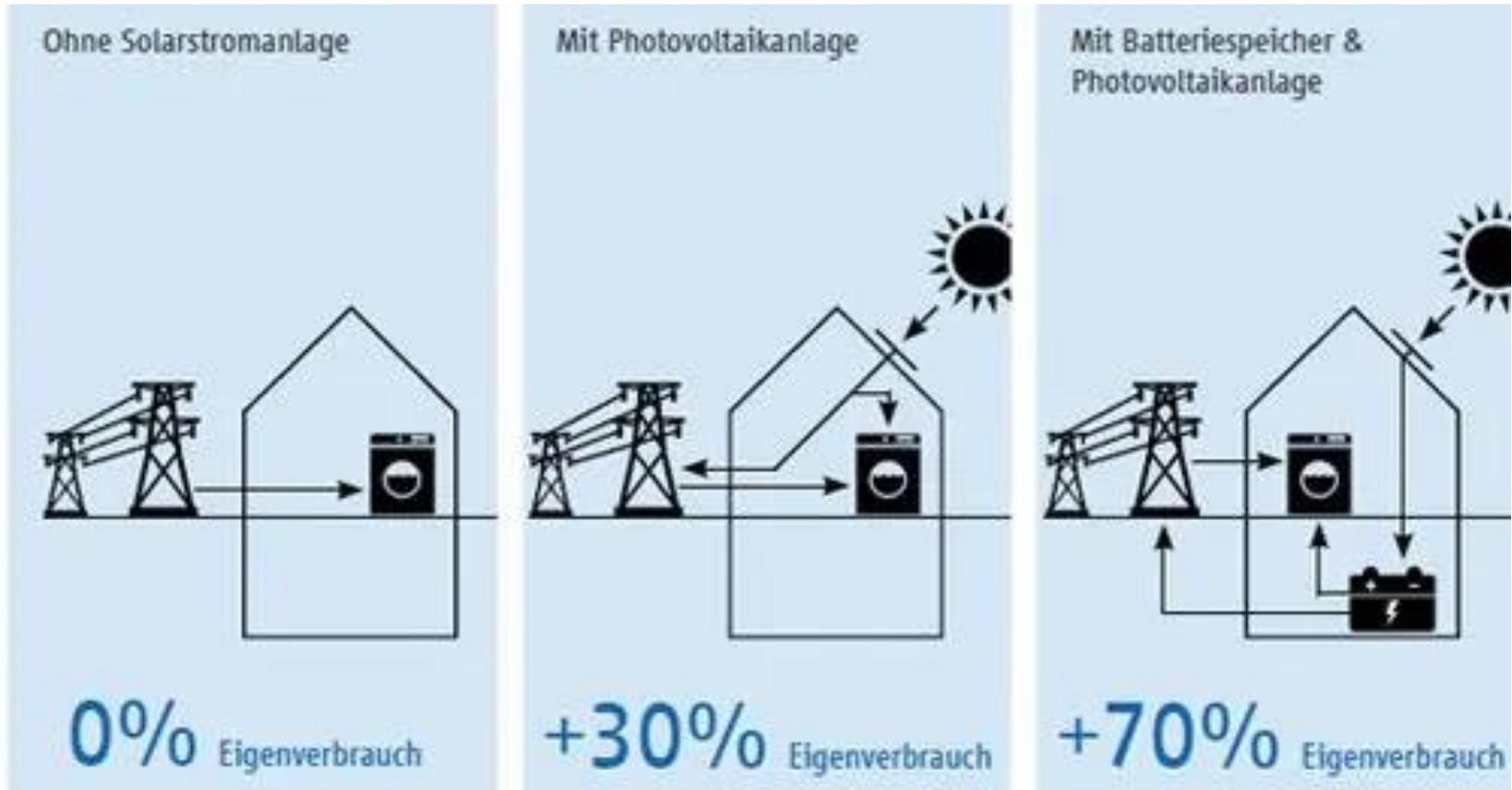
[www.photovoltaikeforum.com](http://www.photovoltaikeforum.com)

# Aufbau einer netzgekoppelten PV-Anlage (Volleinspeisung)

Installationsschema  
einer Photovoltaikanlage



## Aufbau einer netzgekoppelten PV-Anlage (Volleinspeisung)



[[Solarserver.de](http://Solarserver.de)]

**Strom 600 TWh, 41,1 % EE**

**Wärme 1.230 TWh, 16,5 % EE**  
(Raumwärme und Trinkwarmwasser 830 TWh)

**Mobilität 750 TWh/a, 6,8 % EE**

Elektrisch versorgt lässt sich Mobilität und (halbwegs gedämmte) Gebäude mit zusammen ca. 1000 TWh Strom jährlich darstellen!

Hinzu kommen Verluste für die saisonale Speicherung (über Wasserstoff) und stoffliche Bedarfe der Industrie, zusammen ca. 500 TWh/a

**Insg. ca. 1500 TWh/a Strombedarf (bei sparsamer Wasserstoffnutzung!)**

## Gebäudebedarfe

Verbräuche im Gebäude:

- Wärme je nach Außenhülle / Lüftung
- Warmwasser je nach Nutzung, 4 Personen typischerweise etwa 2200 kWh/a
- Problem Hygiene im Trinkwasser: Legionellenproblematik!

Strom:

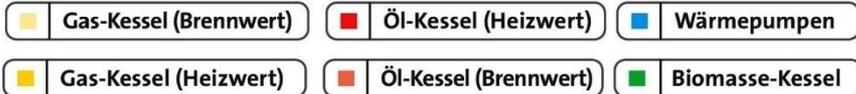
- Grundlast ca. 200 W
- Mittlere Last ca. 800 W
- Hohe Last ca. 1500 W (mit Spitzen mehrere kW)

Ohne Wärmepumpe und E-Mobilität

BAFA-  
Förderung

Ölaus-  
tausch-  
prämie

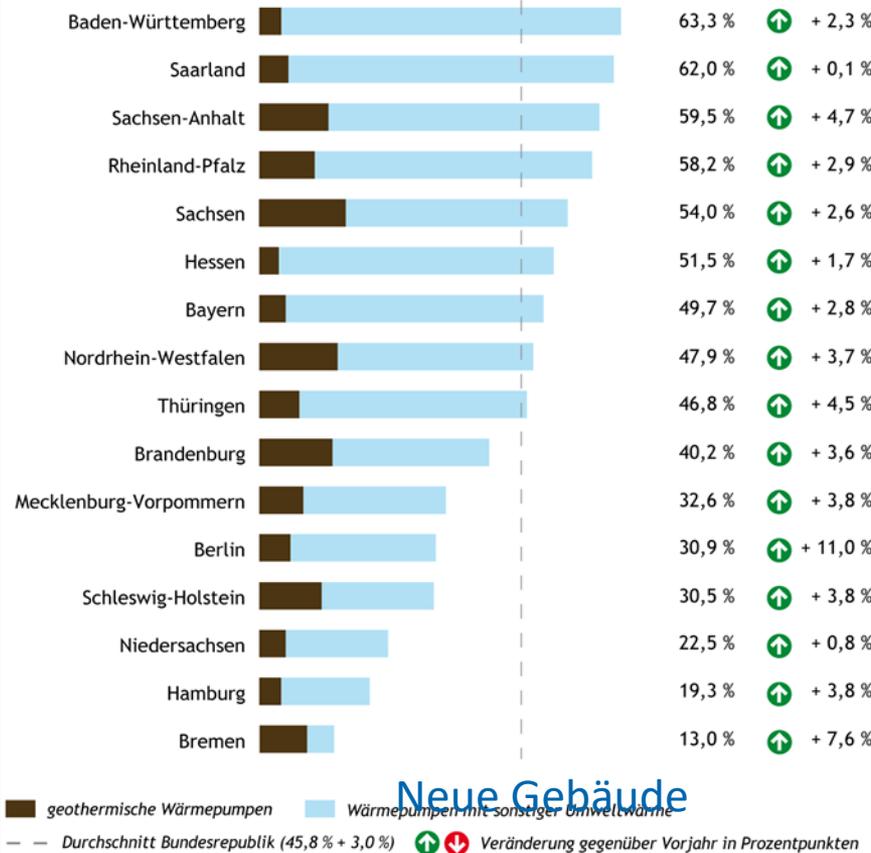
## Marktentwicklung Wärmeerzeuger Deutschland 2012–2021



\* Eine Erweiterung des Meldekreises in der Produktstatistik „Biomassekessel“ im Jahr 2014 führte zu höheren Stückzahlen im Vergleich zum Vorjahr, die prozentuale Entwicklung zum Vorjahr ist aber negativ.

**BDH**  
Bundesverband der  
Deutschen Heizungsindustrie

## Wärmepumpen-Marktanteil in den Bundesländern Anteil in neu errichteten Wohngebäuden 2020



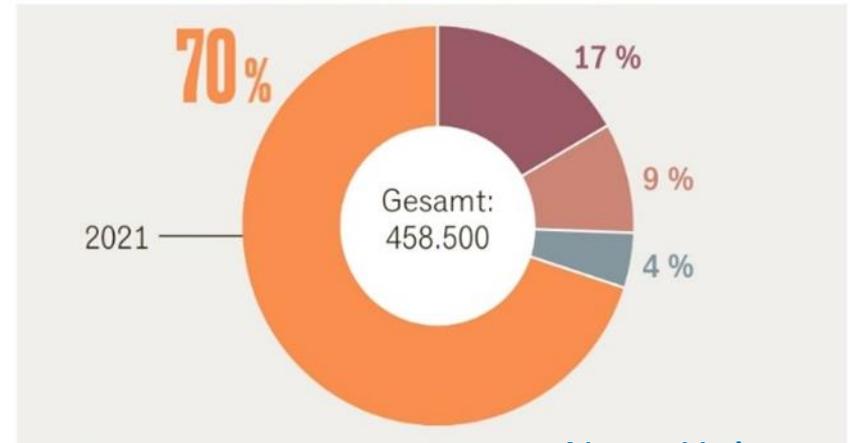
Neue Gebäude

Quelle: Statistisches Bundesamt. Baufertigstellungen bei Wohngebäuden nach vorwiegend verwendeter primärer Heizenergie im Jahr 2020

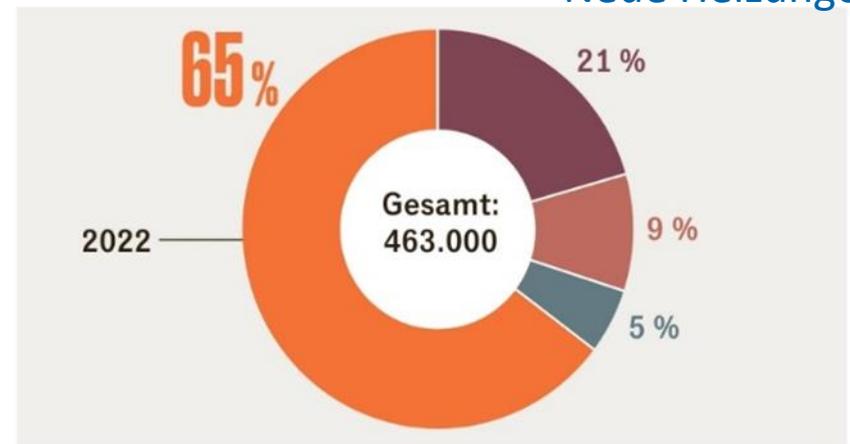
**bwp** Bundesverband Wärmepumpe e.V.

## Anteil der Heizungsarten am Neugeschäft im 1. Halbjahr

■ Gasheizungen  
■ Wärmepumpen  
■ Biomasse  
■ Ölheizungen



Neue Heizungen



HANDELSBLATT

Quelle: Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie



Natürliches Kältemittel:  
R290 Propan

Monoblock mit  
Außenauflistung wg.  
Brandschutz

Ausreichend hohe  
Temperaturen

## TECHNISCHE DATEN

EU08L

EU13L

**A+++**

Luft/Wasser Monoblock

Höhe: 1710 mm

Breite: 950 mm

Tiefe: 620 mm

max. Leistung (-10°C): 12,2 kW

Leistungsbereich (2°C): 3 – 15kW

Schalleistung EN12102: 44 dB(A)

COP A2W35 EN14511: 5,1

SCOP 35°C EN14825: 5,7 / 227%

SCOP 55°C EN14825: 4,5 / 180%

max. Vorlauftemperatur: 70 °C

R290 Füllmenge: 1,3 kg

Gewicht: 155 kg

 **LAMBDA**  
Wärmepumpen

**ENERGIEEFFIZIENZ**

**AUßER KONKURRENZ**

**SCOP 5,7 42 dB(A) Schalleistung 70°C Vorlauf**

# Neue Wärmepumpen: Beispiel Zewotherm Lambda

## Leistung und Effizienz Heizen

|  |   |                   |   |                   |
|--|---|-------------------|---|-------------------|
| Energieeffizienzklasse bei<br>Niedertemperatur (mittleres Klima) |  |                   |  |                   |
|  |   | 226%<br>SCOP 5,66 |   | 227%<br>SCOP 5,68 |
| Energieeffizienzklasse bei<br>Mitteltemperatur (mittleres Klima) |  |                   |  |                   |
|  |   | 179%<br>SCOP 4,48 |   | 180%<br>SCOP 4,49 |
| Heizleistung variabel A7W35                                      | kW  | 2,2 – 10,9        |   | 3,3 – 16,8        |
| Heizleistung variabel A2W35                                      | kW  | 2,0 – 10,3        |   | 2,9 – 15,0        |
| Heizleistung variabel A-7W35                                     | kW  | 2,1 – 8,4         |   | 3,3 – 12,9        |
| Heizleistung variabel A-7W55                                     | kW  | 2,1 – 8,1         |   | 3,3 – 12,4        |

|             |         | EU08L         |      | EU13L         |      |
|-------------|---------|---------------|------|---------------|------|
| EN14511     |         | Leistung [kW] | COP  | Leistung [kW] | COP  |
| Heizbetrieb | A7W35   | 4,1           | 5,77 | 5,2           | 5,94 |
|             | A2W35   | 8,2           | 5,19 | 8,3           | 5,05 |
|             | A-7W35  | 8,4           | 3,79 | 13,0          | 3,77 |
|             | A-15W35 | 6,7           | 3,02 | 10,8          | 3,19 |
|             | A7W45   | 4,6           | 4,46 | 5,2           | 4,57 |
|             | A7W55   | 4,4           | 3,55 | 5,4           | 3,71 |
|             | A-7W55  | 8,1           | 2,55 | 12,4          | 2,59 |

## Leistung und Effizienz Kühlen

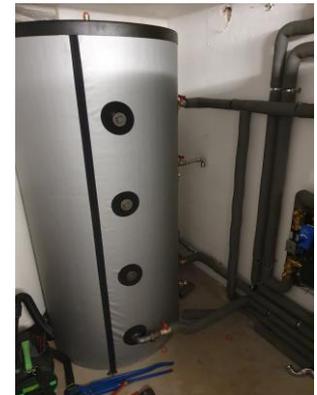
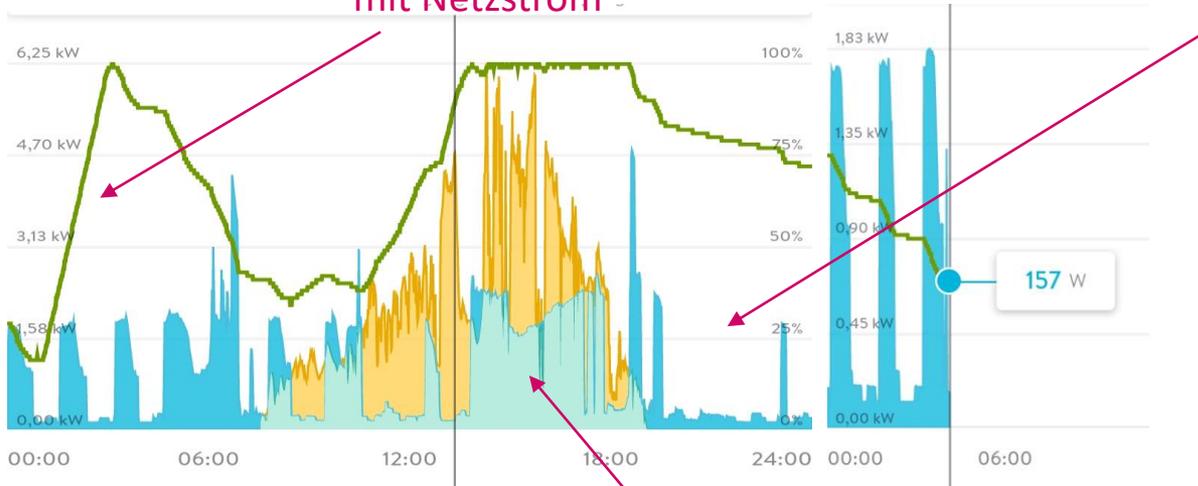
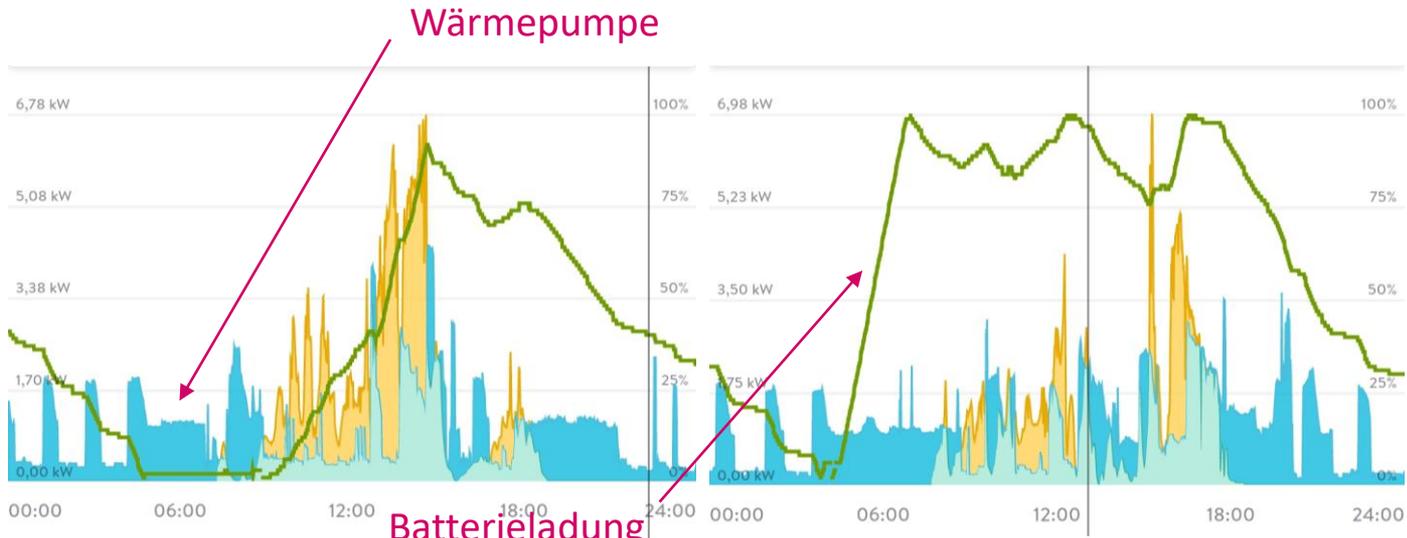
|                              |    |            |  |            |
|------------------------------|----|------------|--|------------|
| Kühlleistung variabel A35W18 | kW | 2,5 – 11,8 |  | 3,8 - 16,3 |
| Kühlleistung variabel A35W7  | kW | 1,8 – 9,5  |  | 2,8 - 13,7 |

# Gebäudebedarfe

11 kW PV (Ost/West/Süd) 10 kWh Speicher (im Smart Grid)

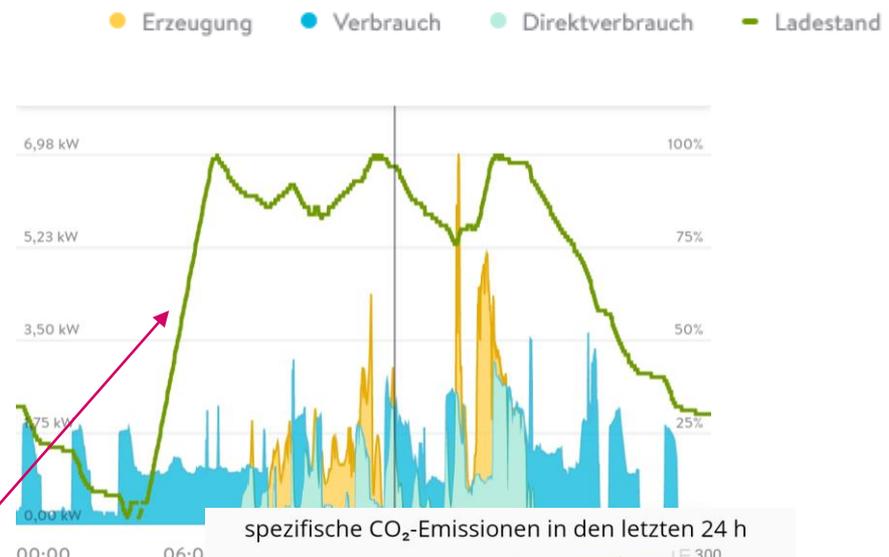
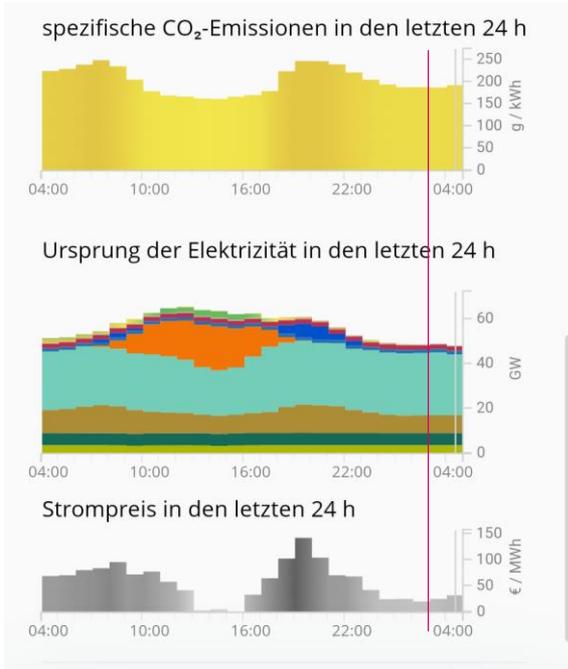
2x 800 L Warmwasserspeicher

● Erzeugung ● Verbrauch ● Direktverbrauch — Ladestand

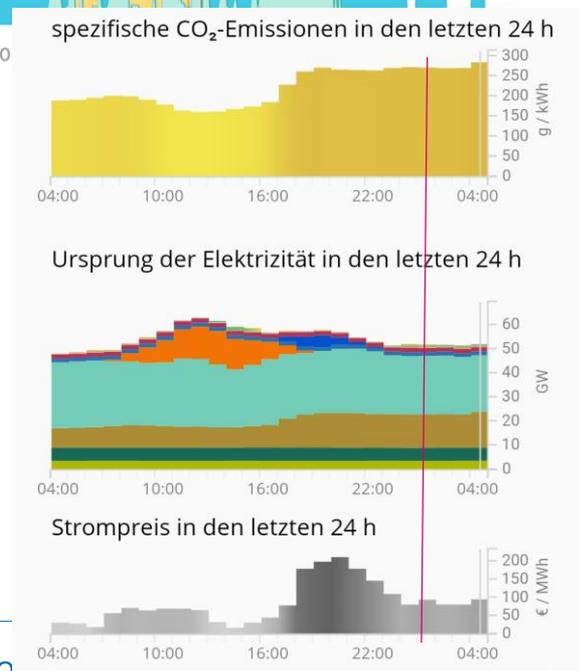
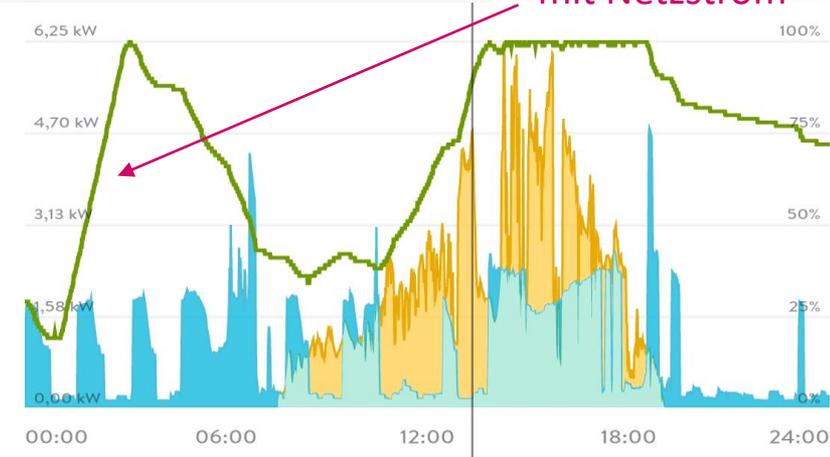


# Gebäudebedarfe

## 11 kW PV (Ost/West/Süd) 10 kWh Speicher (im Smart Grid)



Batterieladung mit Netzstrom



# Das Gebäude im Quartier

## B-Plan 100 – Wichelkoppeln, Schleswig 2019-2022

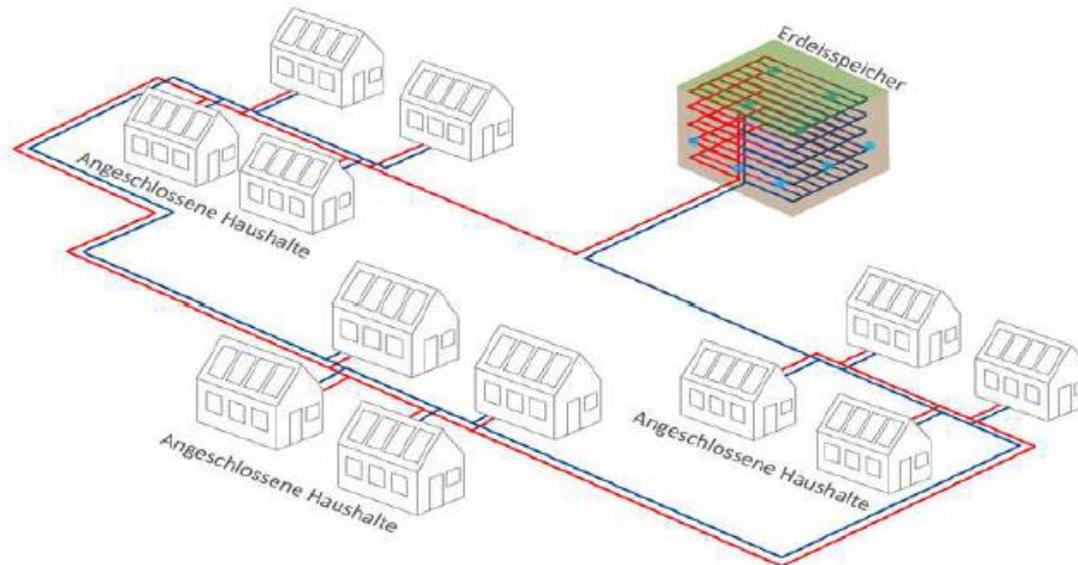
*Innovationen für die Energiewende*

### 7. Energieforschungsprogramm

*der Bundesregierung*



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



| Einzelmaßnahmen<br>Zuschuss | Standard<br>Zuschuss | Boni<br>iSFP* | Heizung-<br>tausch | Wärmepum-<br>penbonus** | Saubere<br>Biomasse | Maximaler<br>Fördersatz |
|-----------------------------|----------------------|---------------|--------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| Solarthermie                | 25 %                 | -             | -                  | -                       | -                   | 25 %                    |
| Biomasse                    | 10 %                 | -             | 10 %               | -                       | 5 %                 | 25 %                    |
| Wärmepumpe                  | 25 %                 | -             | 10 %               | 5 %                     | -                   | 40 %                    |
| Innovative Heizung          | 25 %                 | -             | 10 %               | -                       | -                   | 35 %                    |
| EE-Hybrid                   | 25 %                 | -             | 10 %               | 5 %                     | -                   | 40 %                    |
| EE-Hybrid/Biomasse          | 20 %                 | -             | 10 %               | 5 %                     | 5 %                 | 40 %                    |
| Wärmenetzanschluss          | 25 %                 | -             | 10 %               | -                       | -                   | 35 %                    |
| Gebäudenetzanschluss        | 25 %                 | -             | 10 %               | -                       | -                   | 35 %                    |
| Gebäudenetz                 | 25 %                 | -             | -                  | -                       | -                   | 25 %                    |
|                             |                      |               |                    |                         |                     |                         |
| Gebäudehülle                | 15 %                 | 5 %           | -                  | -                       | -                   | 20 %                    |
| Anlagentechnik              | 15 %                 | 5 %           | -                  | -                       | -                   | 20 %                    |
| Heizungsoptimierung         | 15 %                 | 5 %           | -                  | -                       | -                   | 20 %                    |

\* Individueller Sanierungsfahrplan; \*\* Zusätzlicher Bonus, wenn als Wärmequellen Wasser, Erdreich oder Abwasser erschlossen werden

Wo kommt der Strom zukünftig her?

EEG 2023:

EE-Stromproduktion von „*überragendem öffentlichen Interesse*“

Ziel: 600 TWh (80 % von 750 TWh/a) aus erneuerbaren Quellen in 2030!

160 GW installierte Windleistung in 2040 (3 % der Fläche ca. 260 GW)

400 GW installierte PV-Leistung in 2040 (Potential insg. über 600 GW)

- Material und Fachkräftemangel (insb. Speicher und Wechselrichter)
- Extrem angestiegene Nachfrage durch Energiekrise
- Direktvermarkter überlastet, kaum „gute“ Direktvermarkter für Anlagen < 200 kW

Die Anlagen hätten in den letzten 10 Jahren alle gebaut werden können!