

**Solare Inselanlagen – Autark ohne Stromnetz Energie produzieren**

# Übersicht

- Vorstellung
- Warum Photovoltaik?
- Was sind solare Inselanlagen?
- Aufbau und Komponenten
  - Solarzellen
  - Batteriespeicher
  - Laderegler
  - Wechselrichter/Spannungswandler
- Planung und Dimensionierung
- Wirtschaftliche Betrachtung
- Anhang

# Rechtlicher Hinweis

Der Solarworkshop bietet eine Einführung in die Grundlagen und Anwendungen von Solaranlagen und dient der allgemeinen Information und Weiterbildung. Er ersetzt jedoch nicht eine formale elektrotechnische Ausbildung oder Qualifizierung.

Die Teilnahme an diesem Workshop berechtigt nicht zur Ausführung von Arbeiten, die eine elektrotechnische Fachkraft erfordern. Gemäß den geltenden Vorschriften und Normen, wie z.B. der DGUV Vorschrift 3 und der DIN VDE 1000-10, müssen elektrotechnische Arbeiten von qualifizierten Fachkräften durchgeführt werden.

Wir empfehlen dringend, bei der Installation oder Wartung von Solaranlagen einen qualifizierten Elektriker oder eine Elektrofachkraft zu beauftragen, um die Sicherheit und Funktionalität der Anlage zu gewährleisten.

Dieser Hinweis soll sicherstellen, dass die Teilnehmer des Workshops die Grenzen ihrer Fähigkeiten verstehen und keine Arbeiten ausführen, die über ihre Qualifikation hinausgehen.

Wichtig: Mithilfe dieses Workshops erhalten Sie ein Verständnis über den Aufbau einer solaren Inselanlage und ein Verständnis darüber, wie eine Auslegung im Groben funktioniert

# Solarprojekt Frankfurt und Main Solar Balkon



**main-solar-balkon.de**

**Steckersolar-Workshop**  
am 14. März 2025  
im Energiepunkt Bockenheim

**Melde Dich jetzt an!**  
[main-solar-balkon.de/solar-workshops](http://main-solar-balkon.de/solar-workshops)

Komm zu der kostenlosen Informationsveranstaltung

- Was sollte ich über Steckersolar wissen?
- Ist mein Balkon geeignet?
- Gibt es Förderprogramme?
- Lohnt sich die Investition?
- Wie realisiere ich dieses Projekt?

18:00-19:30  
Ginnheimer Str. 48,  
60487 Frankfurt am Main

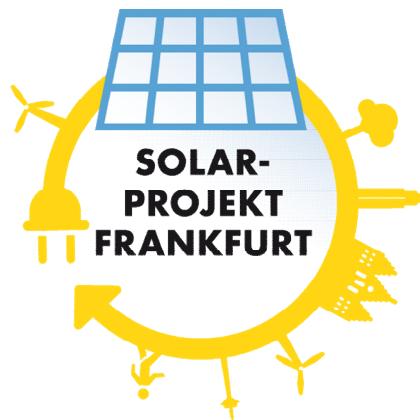
14.3.



- Über 20 Vorträge zu den Themen Balkon-Solar und Dach-Solar in den letzten zwei Jahren
- Einsatz für Förderung von Solaranlagen im Stadtgebiet Frankfurt
- kostenlose Balkonkraftwerke für Menschen mit Frankfurt-Pass (Spenden finanziert)



# Warum Photovoltaik?

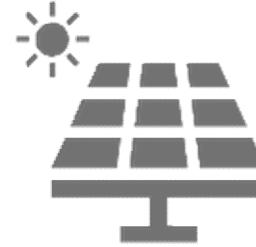




Klimaschutz!



Unabhängigkeit von  
Energieimporten



Energiewende „selbst“ in  
die Hand nehmen



Leise und dezentrale  
Energieerzeugung



Die Sonne schickt keine  
Preiserhöhungen



Weniger Hitze im  
Dachgeschoss



Bewährtes, langlebiges und  
robustes Produkt

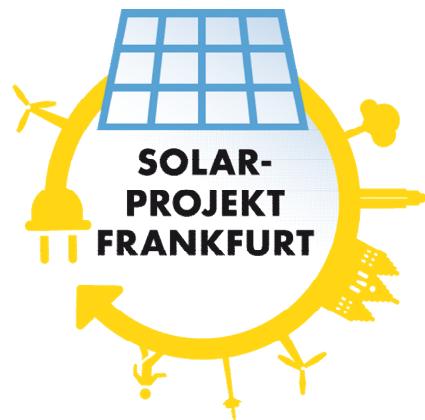
# Was sind solare Inselanlagen?

Solare Inselanlagen, auch als Off-Grid-Systeme bekannt, sind autarke Photovoltaikanlagen, die ohne Anschluss an das öffentliche Stromnetz betrieben werden. Diese Systeme sind besonders nützlich in abgelegenen Gebieten, wo der Zugang zu Stromleitungen schwierig oder kostspielig ist, wie beispielsweise in Ferienhäusern, Wohnmobilen oder Gartenhäusern.<sup>1,2</sup>

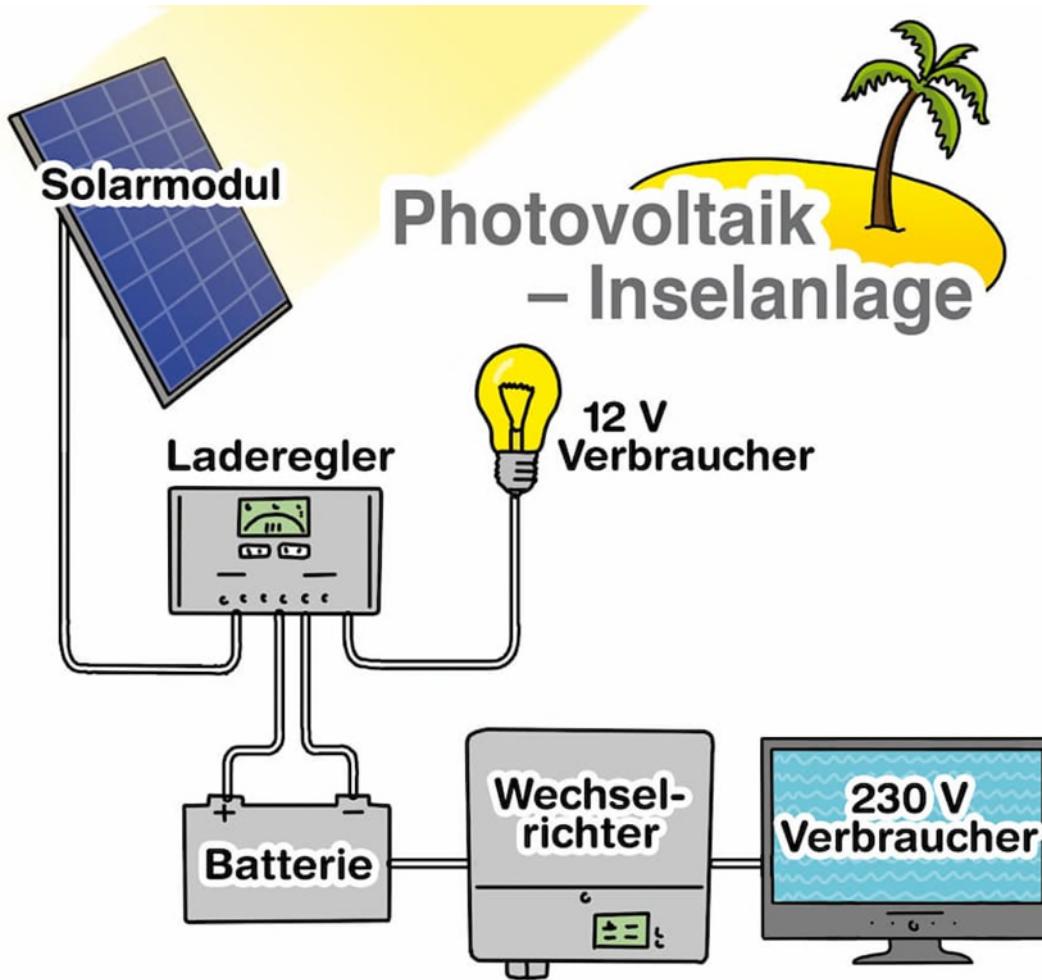




# Aufbau und Komponenten



# Komponenten einer solaren Inselanlage



- Solarmodul: Wandelt Sonnenenergie in elektrische Spannung um (Gleichstrom)
- Laderegler: Optimierung des Ladevorgangs und Schutz der Batterie vor Überladung und Tiefentladung
- Batterie: Speichert Energie
- Wechselrichter/Spannungswandler: Wandelt Gleichstrom in „nutzbaren“ Wechselstrom um (normalerweise 230V bei 50 Hertz)

Bildquelle: <https://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-voraussetzungen/photovoltaikanlage-konzeption/inselanlage>

# Solarmodule

## Standardmodul

- Nennleistung: 400 – 450 Watt peak
- Maße: ca. 1,10 m x 1,70 m
- Gewicht: ca. 20 – 25 (30 kg)
- Material Vorderseite: Glas oder Kunststoff
- Empfehlung: Bifaziale Glas-Glas-Module
- **Bei Reihenschaltung: Spannungen addieren sich, Strom bleibt gleich**
- **Bei Parallelschaltung: Spannung bleibt gleich, Ströme addieren sich**
- Leistungseinbuße nach 20 Jahren ca. 10%, nach 30 Jahren ca. 20%



Foto: Ulrich Böke

# Speicher

- Speichert überschüssige elektrische Energie und gibt sie bei Bedarf wieder ab (Gleichstrom)
- Kapazität: Gemessen in Kilowattstunden [kWh], kWh = V x Ah, z.B.: 12V x 100Ah = 1,2 kWh
- Arten von Batterien:

## Blei-Säure-Batterien:

- Schwer
- regelmäßige Wartung
- 300 – 1.000 Ladezyklen
- Günstig, langfristig teurer

★★★★★  **Tipp**

**HR-ENERGY Batterie 12V 100Ah (USt-befreit nach §12 Abs.3 Nr. 1 S.1 UStG)**

**Auf Lager** **0% MwSt.**

Spannung	12V
Kapazität	100Ah
Technologie	Blei-Säure
Pluspol	Rechts
Maße (L x B x H)	353 x 175 x 190 mm

**66,10 €\***

Kostenloser Standardversand

Standard Lieferzeit 1-3 Tage

Expressversand 1 Tag

**In den Warenkorb**

## LiFePO4-Batterien (Lithium-Eisenphosphat):

- Leicht (3x leichter als Pb-Batterie)
- Wartungsfrei
- 3.000 – 5.000 Ladezyklen
- Teuer in der Anschaffung, langfristig günstiger

Home > Lithium Batterien

**12V 100Ah LiFePO4 Lithium Batterie mit Unterwärmerschutz**

★★★★★ 425 Bewertungen

**€169,99** €199,99 save 5%

inkl. MwSt. Versand wird beim Checkout berechnet

SKU: L1306020202010-1A

0 Stain: 169 points

„[LiFePO4-Akkus mit geringem Gewicht]: Der LiFePO4-Akkus 100Ah 12V wiegt nur 10 kg, was nur 1/3 des Gewichts eines Bleiakkumulators entspricht. Er ist leicht zu tragen und zu

[Learn More](#)

**Offizielle Site • Exklusive Rabatte im März :**

- 10% Rabatt bei Bestellungen über 400€
- 20% Rabatt bei Bestellungen über 800€
- 40% Rabatt bei Bestellungen über 1500€
- 80% Rabatt bei Bestellungen über 2500€

Bildquellen:  
<https://batterie24.de/batterien/versorgerbatterien/blei-saeure-batterien>  
[https://de.eco-worthy.com/collections/lithium-batterien/products/lifepo4-12v-100ah-lithium-eisen-phosphat-batterie?variant=42234404864208&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjw1um-BhDtARIsABjU5x4ov9uGSfPBjxt9nEskq0JpawneFJ\\_TcZ0hPQk2FCZaNrT7PN9a7nYaAoOSEALw\\_wcB](https://de.eco-worthy.com/collections/lithium-batterien/products/lifepo4-12v-100ah-lithium-eisen-phosphat-batterie?variant=42234404864208&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw1um-BhDtARIsABjU5x4ov9uGSfPBjxt9nEskq0JpawneFJ_TcZ0hPQk2FCZaNrT7PN9a7nYaAoOSEALw_wcB)

# Laderegler

- Schutz und Effizienz von Batterien in Solaranlagen
- Schutz vor Überladung: Reduziert Ladestrom bei voller Batterie

**Empfehlung: MPPT anstatt PWM**

Optimale Energieerzeugung: Maximiert Energieertrag durch Maximum Power Point Tracking (MPPT):

- Leistung = Strom x Spannung → MPPT sucht „bestes“ Mittel
- Erhöht schrittweise die Spannung bis die Leistung abnimmt
- Neuberechnung 10-20 Mal pro Sekunde
- MPPT um ca. 20-30% effizienter als PWM



Maximale PV-Leerspannung [V]

Maximaler Ladestrom [A]

Kann 12V oder 24V Batterien laden

Anschluss Batterie

Anschluss Module

Anschluss Gleichstrom-Verbraucher (z.B. Ladegeräte)

# Wechselrichter bzw. Spannungswandler



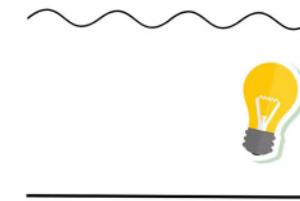
## WECHSELSTROM

Der Strom wechselt seine Fließrichtung

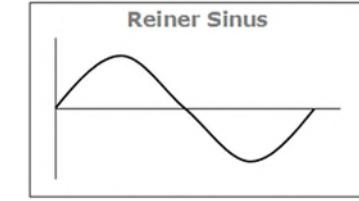
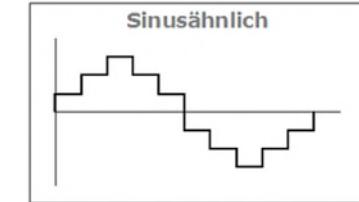


## GLEICHSTROM

Die Fließrichtung des Stroms bleibt gleich



(C) Paul Emilio Washington

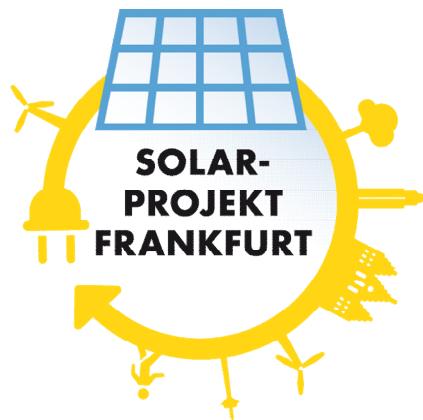


Unterschied sinusähnlich - reiner Sinus  
(c) spannungswandler.info

- Aufgabe: Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom (230V/50 Hz)
- Ausgabe als modifizierter oder reiner Sinus. **Reiner Sinus hochwertiger!** Die meisten Geräte laufen auch mit modifiziertem Sinus
- Auslegung anhand der Spitzen- und Dauerleistung (siehe Folie „Speicher Dimensionierung“) und Eingangsspannung



# Planung und Dimensionierung



# Vorgehen

1. Dimensionierung des Speichers/Batterie anhand des Bedarfs
2. Dimensionierung des Solarmoduls/der Solarmodule
3. Dimensionierung des Ladereglers
4. Dimensionierung des Spannungswandlers
5. *Auslegung von Leitungen und Sicherungen*

## Zentrale Formeln für die technische Auslegung

$$\text{Leistung} = \text{Strom} \times \text{Spannung} \quad (P = U \times I)$$
$$\text{Energie} = \text{Leistung} \times \text{Zeit} \quad (W = P \times t)$$

# Speicher - Dimensionierung

- Die Batterie sollte so dimensioniert sein, dass sie Strom für 2-5 Tage ohne Sonneneinstrahlung vorhalten kann
- Täglichen Energiebedarf ermitteln:
  1. Verbraucher mit Nutzungsdauer auflisten
  2. Energiebedarf berechnen  $[Wh] = [W] \times [h/d]$
  3. Autonomietage festlegen
  4. Täglicher Energiebedarf  $\times$  Autonomietage

<https://www.amumot-shop.de/rechner/solaranlage-wohnmobil>

## Beispiel:

### 1. Berechnung täglicher Energiebedarf

Verbraucher	Leistung [W]	Lastfaktor	Nutzungsdauer [h]	Energie [Wh]
Kühlschrank	50	0,5	24	600
Licht	25	1	6	150
Pumpe	100	1	2	200
Handy	5	1	3	15
Wasserkocher	1000	1	0,15	150
<b>TOTAL</b>	<b>1180</b>			<b>1115</b>

### 2. Angenommen werden drei Autonomietage

→ Batterie sollte eine Kapazität von mindestens 3345 Wh bzw. 2,895 kWh haben

→ Z.B. Power Queen LiFePo4 12V 280Ah



# Solarmodul(e) - Dimensionierung

- Täglichen Energiebedarf ermitteln
- Autonomietage festlegen
- Durchschnittliche Sonnenstunden (Peak Sun Hours) ermitteln (Ingelheim = 3-4 Stunden)
- Erforderliche Modulleistung:

$$\text{Modulleistung (Wp)} = \frac{\text{Täglicher Bedarf (Wh)} \times \text{Autonomietage}}{\text{Peak Sun Hours}}$$

## Beispiel:

1. Berechneter täglicher Energiebedarf: 1115 Wh
2. Drei gewünschte Autonomietage → 3345 Wh
3. PSH = 4h

$$\rightarrow \text{Modulleistung} = \frac{3345 \text{ Wh}}{4h} = 836 \text{ Wp}$$

→ z.B. 2x Longi Hi-Mo6 mit jeweils 425Wp







# Dimensionierung des Ladereglers

Electrical Characteristics M1.5 800W/m <sup>2</sup> 20°C		
Module Type	LR5-54HTB-425M	
Testing Condition	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax/W)	425	318
Open Circuit Voltage (Voc/V)	39.23	36.83
Short Circuit Current (Isc/A)	13.93	11.25
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	32.96	30.08
Current at Maximum Power (Imp/A)	12.90	10.56
Module Efficiency(%)	21.8	

1. Maximale Leerlaufspannung (Voc) ermitteln → 39,23 V
2. Anzahl der in Reihe geschalteten Module (z.B. 2 → 78,46 V maximale Spannung), Sicherheitsaufschlag von 10% → 86V
3. Maximaler Kurzschlussstrom (Isc) ermitteln → 13,93 A, Sicherheitsaufschlag von 25% → 18A
4. Batteriespannung prüfen (12V/24V)

Beispiel:



# Dimensionierung Spannungswandler/Wechselrichter

- Leistung des Spannungswandlers sollte der maximalen Leistung der angeschlossenen Verbraucher entsprechen
- Eingangsspannung des Spannungswandlers sollte mit Batterie kompatibel sein

## Beispiel:

Dauerleistung 1180 Watt

Batteriespannung 12 V

Reiner Sinus

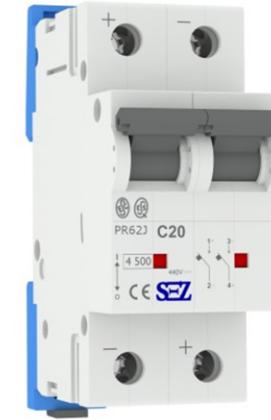


# Leitungen

- Leitungen sind gemäß den anzunehmenden Maximallasten auszulegen
- Leitungen auf Gleichstromseite höhere Querschnitte da höhere Ströme
- Leitungen auf Gleichstromseite wegen Leistungsverlusten ( $P_V = RI^2$ ) so kurz wie möglich! Empfehlung: Insgesamt max. 10m zwischen Modulen und Batterie
- Keine pauschale Aussage, hier nur Empfehlungen
  - Auslegung Modul zu Laderegler: <https://www.amumot-shop.de/rechner/solarkabel-querschnitt>
  - Auslegung Batterie zu Spannungswandler: <https://www.amumot-shop.de/rechner/batteriekabel-querschnitt>
- **Wichtige Formel für Auslegung: Leistung = Strom x Spannung ( $P = U \times I$ )**

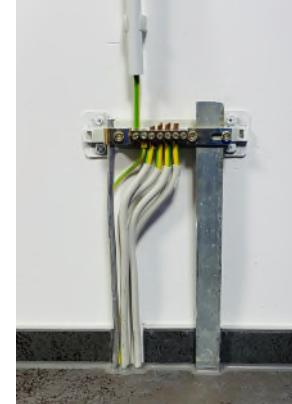
# Sicherungen

- Sicherungsautomaten bzw. Leitungsschutzschalter haben zwei Hauptfunktionen:
  - Überlastschutz: Verhindert Schäden und Überhitzung der Leitungen durch zu hohe Ströme
  - Kurzschutz: Schützt Bauteile vor Schäden durch Kurzschlüsse
- Sicherungsautomaten an folgenden Stellen vorsehen:
  - Zwischen Modul(en) und Laderegler
  - Zwischen Laderegler und Batterie
  - Zwischen Batterie und Spannungswandler (*falls keine Sicherung in Spannungswandler*)
- Auslegung anhand der verwendeten Leitungsquerschnitte und/oder max. Stromaufnahmen der einzelnen Bauteile



Bildquelle:  
<https://preis-zone.com/photovoltaik-dc/681-sez-leitungsschutzschalter-c-20a-2p-dc-c20a-photovoltaik-4607-8585009004607.html>

# Erdung



Bildquellen:  
<https://www.elektroland24.de/ratgeber/elektroinstallation/wie-funktioniert-erdung-alles-was-sie-hierzu-wissen-muessen/>  
<https://tameson.de/pages/elektrische-erdung>  
<https://www.zaehlerschrank24.de/installationsmaterial/erdung-und-blitzschutz.html>

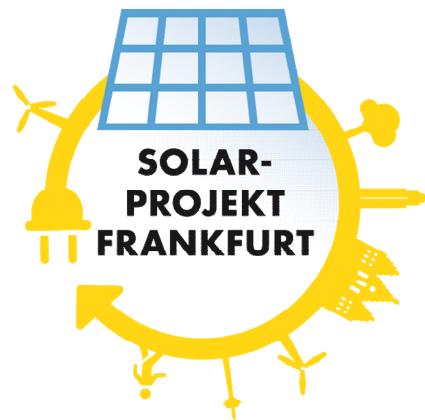
- Durch Kurzschlüsse oder Blitzschläge kann es passieren, dass in elektrischen Anlagen Überspannungen entstehen
- Diese Überspannungen müssen durch eine Erdung „abgebaut“ werden
- Alle Komponenten müssen geerdet werden (Anschluss vorhanden) außer es ist explizit angegeben, dass keine Erdung erforderlich ist
- Rund- oder Kreuzerder aus Stahl (Kupfergebunden, verzinkt, Edelstahl)
- Oft 6mm<sup>2</sup> Querschnitt, keine pauschale Aussage möglich

# Zusammenfassung Auslegung

1. Speicher anhand von Tagesbedarf und gewünschten Autonomietagen auslegen
2. Solarmodule anhand von Tagesbedarf, gewünschten Autonomietagen und Peak Sun Hours (PSH) auslegen
3. Laderegler anhand von Leerlaufspannung (Voc), Kurzschlussstrom (Isc) und Batteriespannung auslegen
4. Spannungswandler anhand Dauerleistung und Eingangsspannung auslegen
5. Keine pauschale Aussage zu Auslegung von Leitungen und Sicherungen



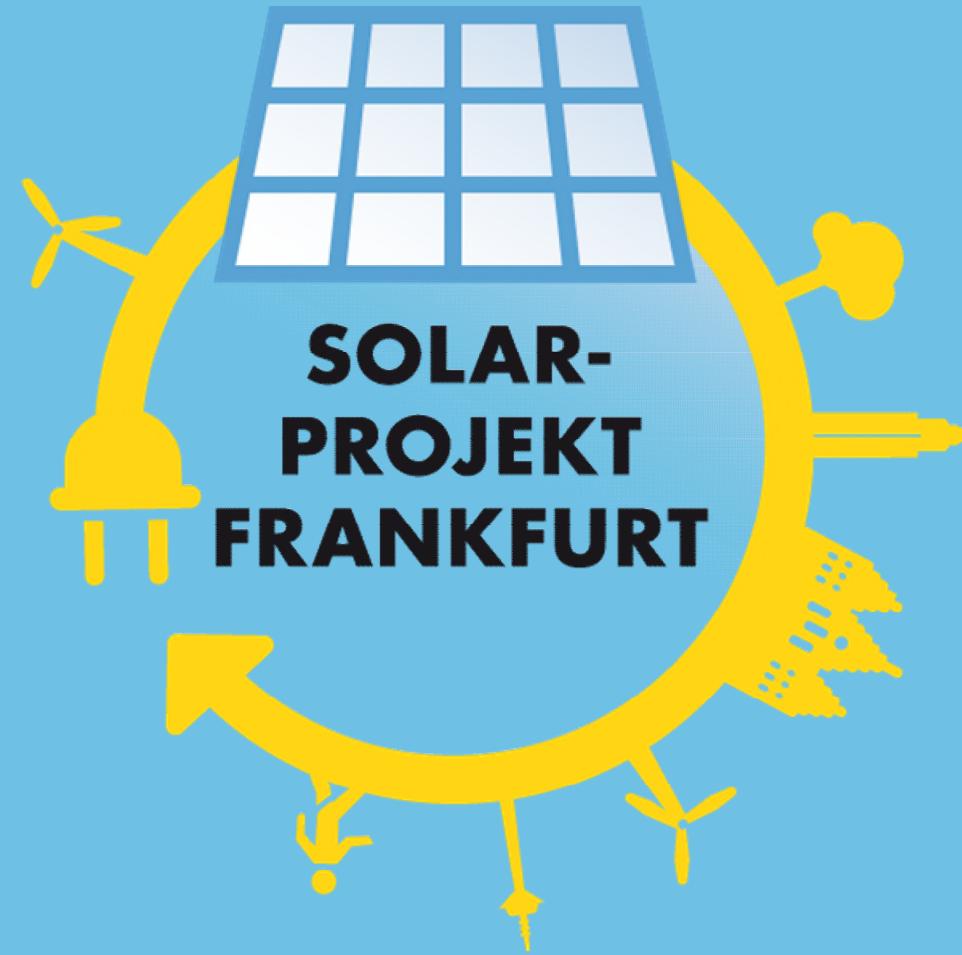
# Wirtschaftliche Betrachtung



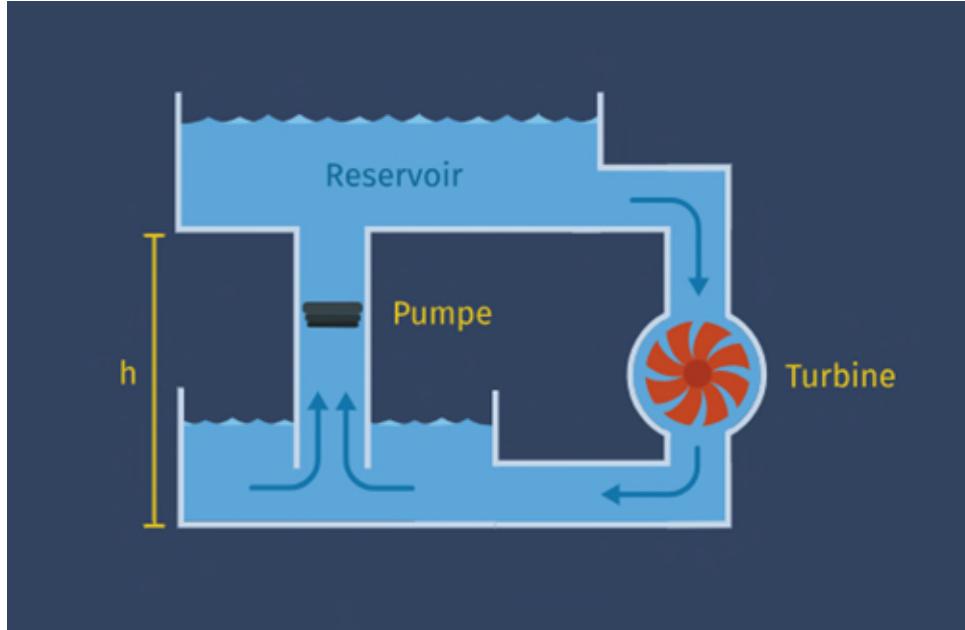
# Beispiel

Komponente	Preis (inklusive Versand)	Quelle
Batterie LiFePO4 12V 280Ah (3360Wh)	461,34 EUR	<a href="https://www.ipowerqueen.de/products/power-queen-12v-280ah-niedertemperatur-lifepo4-solarbatterie?currency=EUR&amp;variant=45175410917596&amp;utm_source=google&amp;utm_medium=cpc&amp;utm_campaign=Google%20Shopping&amp;tkn=03abead1cde08&amp;gad_source=1&amp;gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARlsAOxxlxVqNxeqZC_6VIQrx18fpejD0tUP4-LbZcgYwy4F4eLsey5mm01q9C8aArTAEALw_wCB">https://www.ipowerqueen.de/products/power-queen-12v-280ah-niedertemperatur-lifepo4-solarbatterie?currency=EUR&amp;variant=45175410917596&amp;utm_source=google&amp;utm_medium=cpc&amp;utm_campaign=Google%20Shopping&amp;tkn=03abead1cde08&amp;gad_source=1&amp;gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARlsAOxxlxVqNxeqZC_6VIQrx18fpejD0tUP4-LbZcgYwy4F4eLsey5mm01q9C8aArTAEALw_wCB</a>
2 x Modul JA Solar JAM54S30-405	146,61 EUR	<a href="https://www.tepto.de/Longi-Hi-Mo6-LR5-54HTB-M-425Wp-Fullblack-PV1387.1?ref=Google-Ads_20381406600&amp;klar_source=google&amp;klar_cpid=20381406600&amp;trc_gag_id=&amp;trc_gad_id=&amp;gad_source=1&amp;gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARlsAOxxlxVyxgdgIXXWIAoq793TIMWXuAtXUs5btZrlmq8k_-yM_qSI_0CrnXoaAutFEALw_wCB">https://www.tepto.de/Longi-Hi-Mo6-LR5-54HTB-M-425Wp-Fullblack-PV1387.1?ref=Google-Ads_20381406600&amp;klar_source=google&amp;klar_cpid=20381406600&amp;trc_gag_id=&amp;trc_gad_id=&amp;gad_source=1&amp;gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARlsAOxxlxVyxgdgIXXWIAoq793TIMWXuAtXUs5btZrlmq8k_-yM_qSI_0CrnXoaAutFEALw_wCB</a>
Laderegler Victron 100/20 12/24/48V	97,10 EUR	<a href="https://www.offgridtec.com/victron-smartsolar-mpppt-100-20-48-20a-12v-24v-48v-solar-laderegler.html?gad_source=1&amp;gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARlsAOxxlxU6KVt79bVOyP8hkyCfSMmYcIg-MDy61cPATG04OJ8MDYUa9NgDgwaAv9bEA1w_wCB">https://www.offgridtec.com/victron-smartsolar-mpppt-100-20-48-20a-12v-24v-48v-solar-laderegler.html?gad_source=1&amp;gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARlsAOxxlxU6KVt79bVOyP8hkyCfSMmYcIg-MDy61cPATG04OJ8MDYUa9NgDgwaAv9bEA1w_wCB</a>
Spannungswandler	99,99 EUR	<a href="https://www.ebay.de/itm/395746248107?var=664459452519&amp;mkevt=1&amp;mkrid=1&amp;mkrid=707-53477-19255-0&amp;campid=5338588705&amp;toolid=20006&amp;customid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARlsAOxxlxVTA9Fp4GHi4U1s2RnqgbzqVPBcprPY-O4ijPhAul7frD8_8sGoHZwaAl_7EALw_wCB nnull nnull&amp;gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARlsAOxxlxVTA9Fp4GHi4U1s2RnqgbzqVPBcprPY-O4ijPhAul7frD8_8sGoHZwaAl_7EALw_wCB">https://www.ebay.de/itm/395746248107?var=664459452519&amp;mkevt=1&amp;mkrid=1&amp;mkrid=707-53477-19255-0&amp;campid=5338588705&amp;toolid=20006&amp;customid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARlsAOxxlxVTA9Fp4GHi4U1s2RnqgbzqVPBcprPY-O4ijPhAul7frD8_8sGoHZwaAl_7EALw_wCB nnull nnull&amp;gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARlsAOxxlxVTA9Fp4GHi4U1s2RnqgbzqVPBcprPY-O4ijPhAul7frD8_8sGoHZwaAl_7EALw_wCB</a>
Sicherungsautomaten	50 EUR	
Leitungen, Erdung, Modulhalterung	300 EUR	
<b>TOTAL</b>	<b>1155 EUR</b>	

**Alle Komponenten nur mit CE-Zeichen kaufen!**



# Physikalische Grundlagen



$$P = U \times I$$

- Elektrischer Strom: Fluss bzw. gerichtete Bewegung von Elektronen.  
**Gemessen in Ampère [I], einer Basiseinheit**  
Je höher der Strom desto mehr Elektronen fließen pro Sekunde (z.B. in einem Leiter)
- Elektrische Spannung: Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten im elektrischen Feld.  
**Gemessen in Volt [U]**  
Sie ist die treibende Kraft für die Ladungsbewegung. Je höher die Spannung, desto größer „der Druck“ auf der Leitung
- Elektrische Leistung: In einer Zeitspanne umgesetzte Energie bezogen auf diese Zeitspanne.  
**Gemessen in Watt [P]**
- Elektrische Energie: Die in einem bestimmten Zeitraum umgesetzte elektrische Leistung.  
**Gemessen in kWh oder Joule [E]**

# Ausrichtung und Verschattung

- Südwest bis Südost optimal
- Flachdächer sehr gut
- Ost und West gut
- Norddächer möglichst flach
- Verschattung vermeiden: auch teilverschattete Module reduzieren die Leistung erheblich!
- Moduloptimierer können hier helfen – kosten aber extra

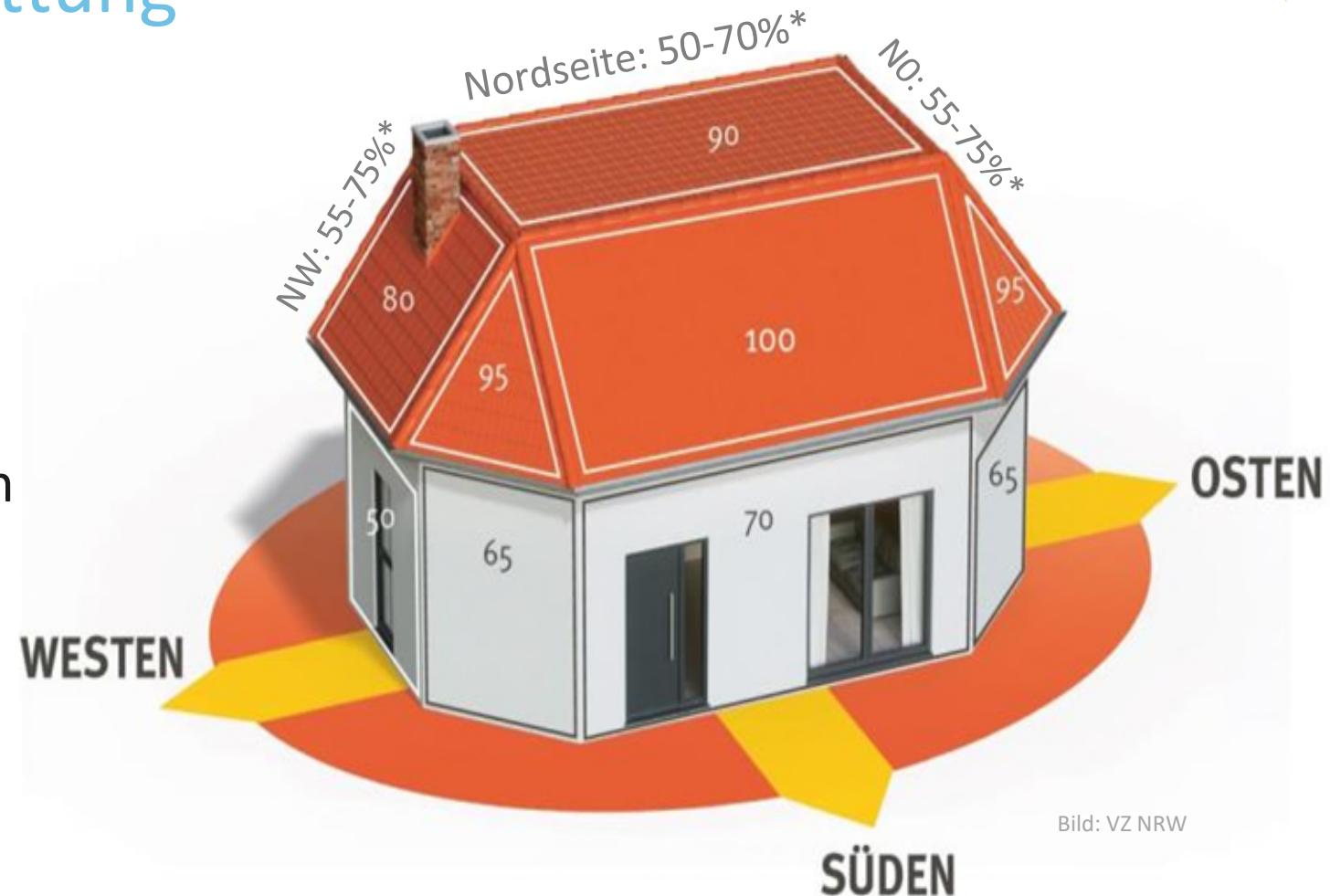
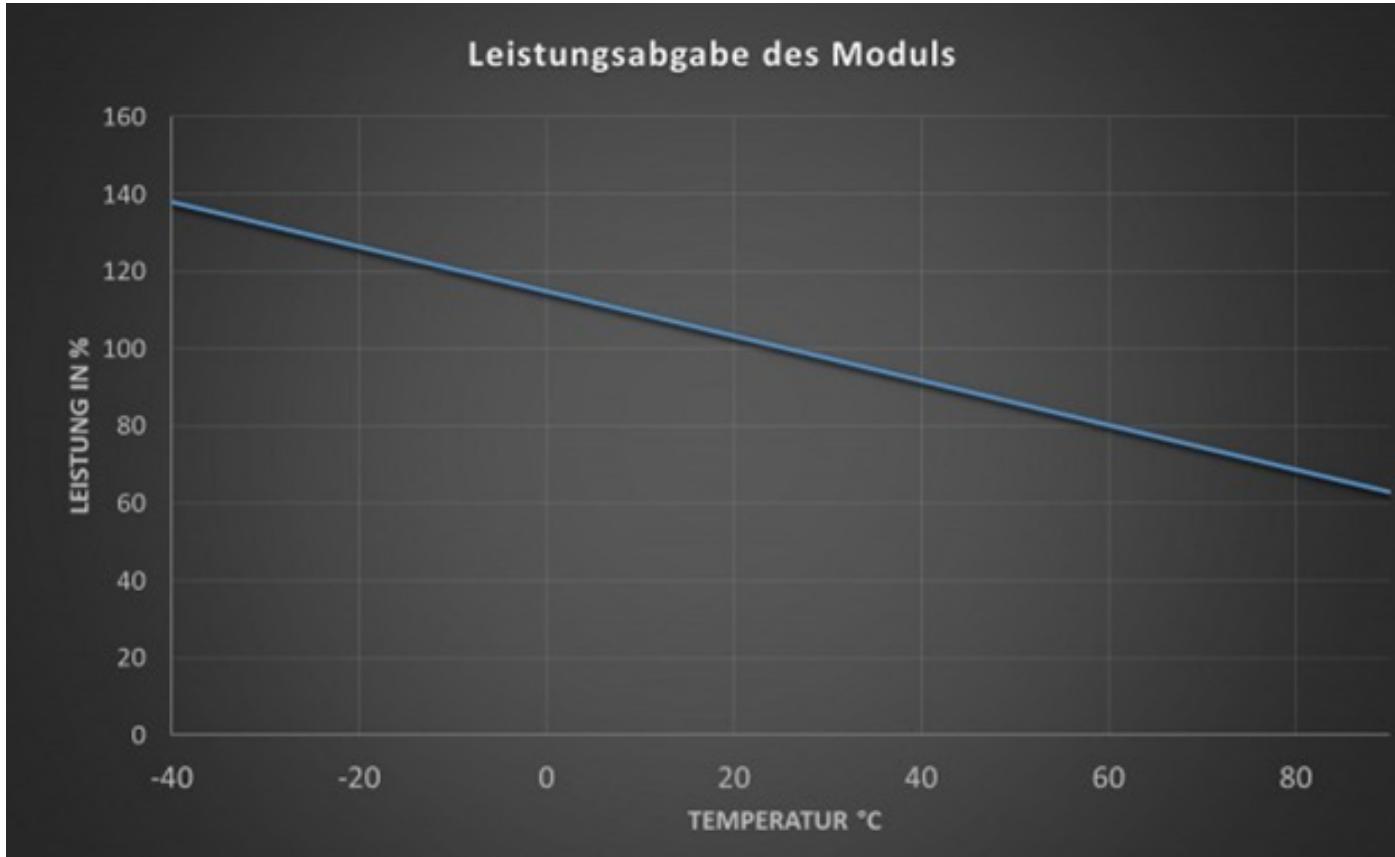


Bild: VZ NRW

\*Erträge sind abhängig von der Dachneigung.  
Weitere Informationen im Anhang

# Solarmodule – Leistung in Abhängigkeit der Temperatur



- Allgemein: Je kälter desto besser und je wärme desto schlechter für das Modul
- Herstellerseitig werden Betriebsgrenzen angegeben, die weder unter- noch überschritten werden dürfen (Beispiel:  $-20^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$ )
- Angegebene Modulleistungen werden bei einer Einstrahlung von  $1000 \text{ W/m}^2$  und  $25^{\circ}\text{C}$  erreicht

Quelle: <https://www.photovoltaik4all.de/blog/welche-rolle-spielt-die-temperatur-einer-photovoltaikanlage>

# PV-Ertrag in Abhängigkeit der Dachneigung und Ausrichtung

	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°
0°	86,5	90,0	92,9	95,3	97,3	98,7	99,6	100,0	99,8	99,0	97,8	96,0	93,7	90,9	87,6	83,9	79,9	75,3	70,6
5°	86,5	90,0	92,9	95,3	97,3	98,7	99,6	100,0	99,8	99,0	97,7	96,0	93,7	91,0	87,7	84,0	79,9	75,5	70,7
10°	86,5	89,9	92,8	95,3	97,2	98,6	99,5	99,8	99,6	98,9	97,8	95,9	93,6	90,8	87,6	83,9	79,9	75,5	70,7
15°	86,5	89,9	92,7	95,1	97,0	98,4	99,2	99,5	99,3	98,7	97,4	95,6	93,3	90,5	87,3	83,7	79,7	75,3	70,7
20°	86,5	89,8	92,6	94,9	96,7	98,0	98,8	99,1	98,9	98,1	96,9	95,0	92,8	90,1	87,0	83,5	79,5	75,2	70,6
25°	86,5	89,7	92,4	94,6	96,3	97,6	98,3	98,6	98,3	97,5	96,1	94,4	92,3	89,6	86,5	83,0	79,1	74,9	70,4
30°	86,5	89,6	92,1	94,1	95,8	97,0	97,6	97,9	97,5	96,7	95,5	93,8	91,6	88,9	85,8	82,4	78,6	74,4	70,1
35°	86,5	89,4	91,8	93,7	95,3	96,2	96,9	97,0	96,6	95,8	94,6	92,8	90,6	87,9	85,0	81,6	77,9	73,9	69,6
40°	86,5	89,2	91,4	93,2	94,5	95,5	96,0	96,0	95,5	94,7	93,5	91,6	89,4	87,0	84,0	80,7	77,0	73,1	69,0
45°	86,5	89,0	91,0	92,6	93,8	94,6	95,0	94,9	94,4	93,6	92,1	90,4	88,3	85,8	82,8	79,6	76,1	72,2	68,1
50°	86,5	88,7	90,5	92,0	93,0	93,6	93,9	93,7	93,2	92,1	90,7	89,0	87,0	84,4	81,4	78,4	74,9	71,2	67,3
55°	86,5	88,5	90,1	91,3	92,1	92,6	92,7	92,4	91,7	90,7	89,3	87,6	85,3	82,7	80,1	77,0	73,6	69,9	66,2
60°	86,5	88,3	89,6	90,5	91,1	91,4	91,3	91,0	90,7	89,0	87,6	85,9	83,6	81,2	78,5	75,5	72,1	68,7	65,0
65°	86,5	88,0	89,0	89,7	90,1	90,2	89,9	89,4	88,5	87,3	85,9	84,0	81,9	79,6	76,8	73,7	70,6	67,3	63,6
70°	86,5	87,7	88,4	88,9	89,0	88,9	88,4	87,9	86,8	85,6	84,0	82,1	80,0	77,6	74,9	72,0	69,0	65,7	62,1
75°	86,5	87,4	87,9	88,0	87,9	87,6	87,0	86,1	85,0	83,7	82,0	80,1	78,0	75,6	72,9	70,2	67,3	63,9	60,6
80°	86,5	87,1	87,3	87,1	86,7	86,2	85,4	84,4	83,1	81,7	79,9	78,1	75,9	73,5	71,0	68,2	65,3	62,1	59,0
85°	86,5	86,7	86,6	86,2	85,6	84,7	83,8	82,6	81,2	79,6	77,9	75,9	73,7	71,3	68,8	66,1	63,2	60,3	57,3
90°	86,5	86,4	86,0	85,3	84,4	83,3	82,1	80,7	79,2	77,5	75,6	73,6	71,4	69,0	66,6	63,9	61,2	58,4	55,3
95°	86,5	86,1	85,3	84,4	83,1	81,9	80,4	78,8	77,1	75,3	73,3	71,3	69,0	66,7	64,3	61,6	59,0	56,2	53,3
100°	86,5	85,9	84,7	83,4	81,9	80,3	78,6	76,8	75,0	73,0	71,0	68,9	66,7	64,4	61,9	59,3	56,8	54,1	51,3
105°	86,5	85,5	84,1	82,4	80,7	78,8	76,9	74,9	72,8	70,8	68,7	66,5	64,2	61,9	59,5	57,0	54,5	51,9	49,3
110°	86,5	85,2	83,5	81,6	79,5	77,3	75,1	72,9	70,7	68,5	66,3	64,0	61,8	59,5	57,0	54,7	52,1	49,7	47,3
115°	86,5	84,9	82,9	80,7	78,3	75,9	73,3	71,0	68,5	66,2	63,9	61,6	59,3	57,0	54,6	52,3	49,9	47,6	45,2
120°	86,5	84,6	82,3	79,8	77,1	74,4	71,6	69,0	66,4	63,9	61,5	59,1	56,8	54,5	52,2	50,0	47,7	45,5	43,1
125°	86,5	84,4	81,8	79,0	76,0	73,0	70,0	67,0	64,3	61,6	59,1	56,7	54,4	52,1	49,9	47,7	45,5	43,3	41,3
130°	86,5	84,1	81,2	78,1	74,9	71,6	68,4	65,3	62,2	59,5	56,8	54,4	52,0	49,8	47,6	45,5	43,5	41,4	39,4
135°	86,5	83,9	80,7	77,4	73,9	70,4	66,9	63,5	60,3	57,3	54,6	52,1	49,8	47,6	45,5	43,4	41,4	39,5	37,6
140°	86,5	83,6	80,3	76,7	73,0	69,2	65,5	61,9	58,5	55,3	52,5	49,9	47,6	45,4	43,4	41,5	39,6	37,8	36,0
145°	86,5	83,4	79,9	76,1	72,0	68,1	64,2	60,5	56,9	53,6	50,6	47,9	45,6	43,4	41,5	39,6	37,9	36,1	34,5
150°	86,5	83,3	79,5	75,5	71,4	67,3	63,3	59,3	55,6	52,1	48,8	46,1	43,6	41,6	39,6	37,9	36,3	34,7	33,1
155°	86,5	83,0	79,2	75,0	70,4	66,4	62,4	58,4	54,5	50,8	47,4	44,4	41,9	39,9	38,0	36,4	34,8	33,3	31,9
160°	86,5	83,0	78,9	74,6	70,1	65,9	61,7	57,6	53,6	49,9	46,3	43,1	40,4	38,3	36,5	35,0	33,5	32,1	30,8
165°	86,5	82,8	78,7	74,3	69,7	65,4	61,2	57,0	53,0	49,1	45,5	42,1	39,3	37,0	35,3	33,9	32,4	31,2	29,9
170°	86,5	82,7	78,5	74,0	69,4	65,0	60,8	56,6	52,5	48,6	44,9	41,5	38,5	36,1	34,4	33,0	31,6	30,4	29,3
175°	86,5	82,7	78,4	73,9	69,3	64,9	60,6	56,4	52,2	48,3	44,5	41,1	38,1	35,6	33,9	32,4	31,2	29,9	28,8
180°	86,5	82,7	78,4	73,8	69,2	64,8	60,5	56,3	52,1	48,1	44,4	41,0	37,9	35,5	33,7	32,3	31,0	29,8	28,7

Aus: Konrad Mertens, Grundlagen der Photovoltaik

# Flachdächer

## Ost-West Ausrichtung:



- + optimale Platznutzung
- + höherer Eigenverbrauch möglich, da höhere Erzeugung in den Morgen- und Abendstunden
- etwas geringerer Ertrag je Modul im Jahr

## Süd Ausrichtung:



- + höherer Ertrag je Modul im Jahr
- weniger Module je Fläche, da Abstand notwendig um Verschattung zu vermeiden

Fotos: Ulrich Böke



*Montage auf Flachdächern ist durch Beschwerung der Systeme ohne Beschädigung der Dachhaut möglich*