

Solare Inselanlagen – Autark ohne Stromnetz Energie produzieren

22.05.2025



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



Melde Dich jetzt an!

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?



14.3.

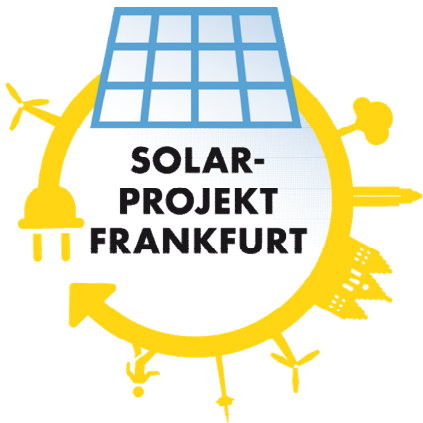
18:00-19:30

Ginnheimer Str. 48,
60487 Frankfurt am Main

- 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?

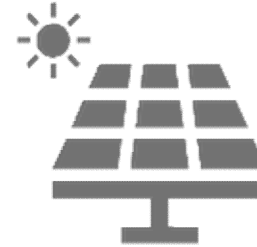




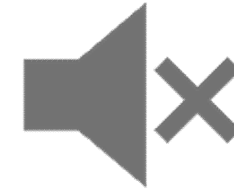
Klimaschutz!



Unabhängigkeit von
Energieimporten



Energiewende „selbst“ in
die Hand nehmen



Leise und dezentrale
Energieerzeugung



Die Sonne schickt keine
Preiserhöhungen



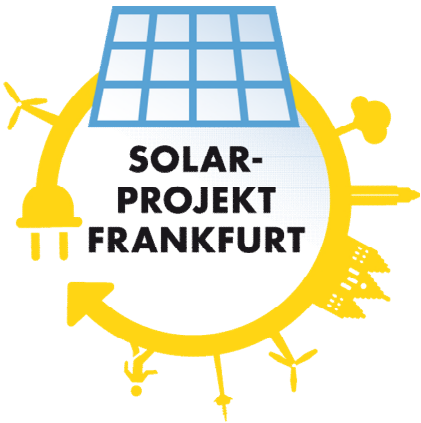
Weniger Hitze im
Dachgeschoss



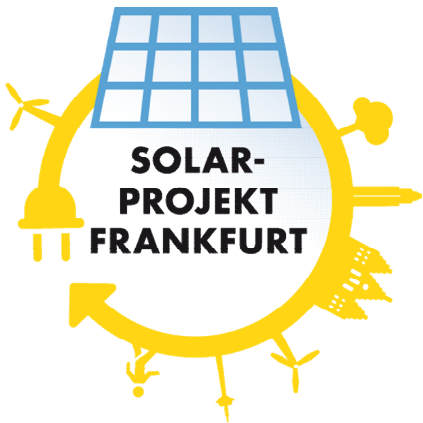
Bewährtes, langlebiges und
robustes Produkt

Was sind solare Inselanlagen?

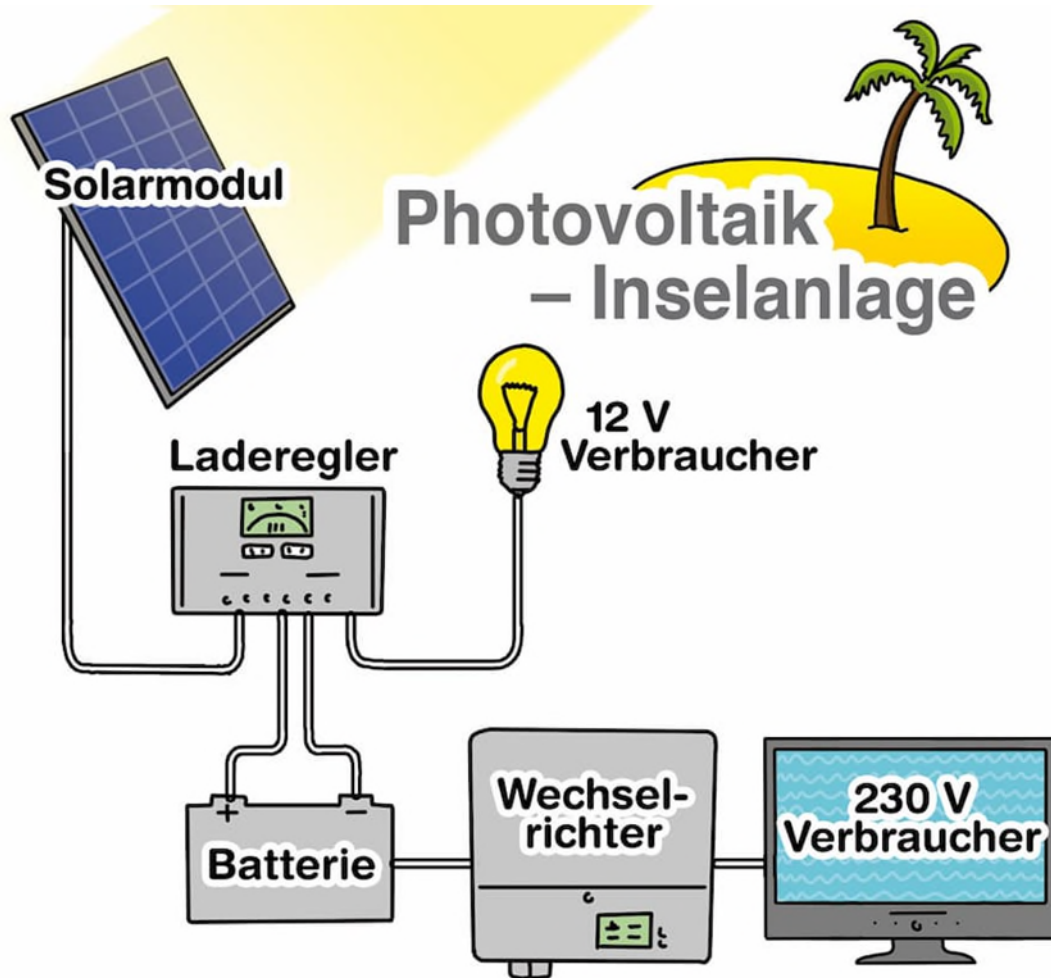
Solare Inselanlagen, auch als Off-Grid-Systeme bekannt, sind autarke Photovoltaikanlagen, die ohne Anschluss an das öffentliche Stromnetz betrieben werden. Diese Systeme sind besonders nützlich in abgelegenen Gebieten, wo der Zugang zu Stromleitungen schwierig oder kostspielig ist, wie beispielsweise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



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], $kWh = V \times Ah$, z.B.: $12V \times 100Ah = 1,2 kWh$
- Arten von Batterien:

Blei-Säure-Batterien:

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

LiFePO4-Batterien (Lithium-Eisenphosphat):

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



★★★★★
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

Details

In den Warenkorb

Home » Lithium-Batterien

12V 100Ah LiFePO4 Lithium Batterie mit Untertemperaturschutz

★★★★★ 425 Bewertungen

€169,99 ~~€399,99~~ **save 50%**

(inkl. MwSt. Versand wird beim Checkout berechnet)

SKU: L13060202010-1A

Ökoton: 169 points

(LiFePO4-Akku mit geringem Gewicht): Der LiFePO4-Akku 100Ah 12V wiegt nur 10 kg, was nur 1/3 des Gewichts eines Bleiakкумуляtors 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 600€
- 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

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



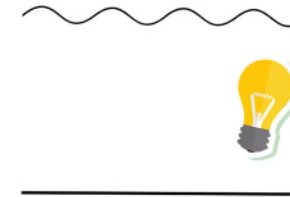
WECHSELSTROM

Der Strom wechselt seine Fließrichtung

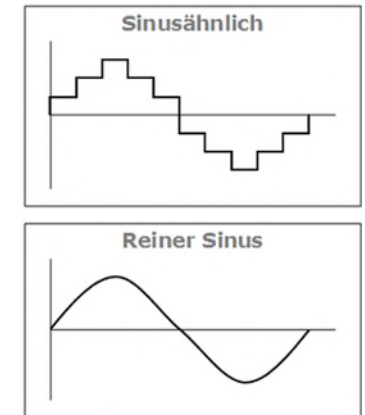


GLEICHSTROM

Die Fließrichtung des Stroms bleibt gleich



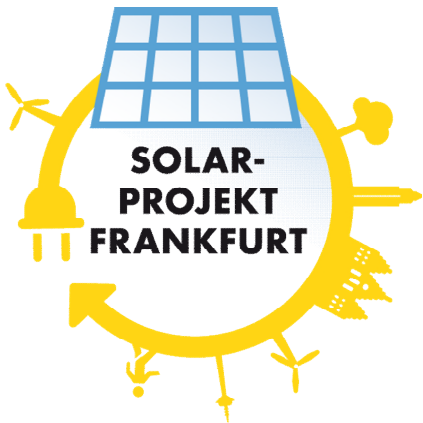
(C) Paul Emilio Washington



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

Leistung = Strom x Spannung ($P = U \times I$)

Energie = Leistung x Zeit ($W = P \times t$)

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	Nutzungsduer [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
TOTAL	1180			1115

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

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

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



Bildquelle:

<https://aik/photovoltaik-planung/photovoltaik-modul-groesse-und-leistung>

aik/photovoltaik-





Dimensionierung des Ladereglers

Electrical Characteristics $M1.5 \ 800W/m^2 \ 20^\circ C$

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 Leitungsverlusten ($P_V = RI^2$) 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 ($P = U \times I$)**

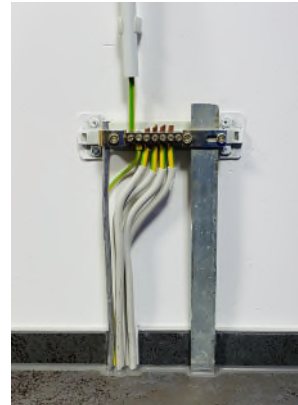
Sicherungen

- 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/electroinstallation/wie-funktioniert-erdung-alles-was-sie-hierzu-wissen-muessen/>

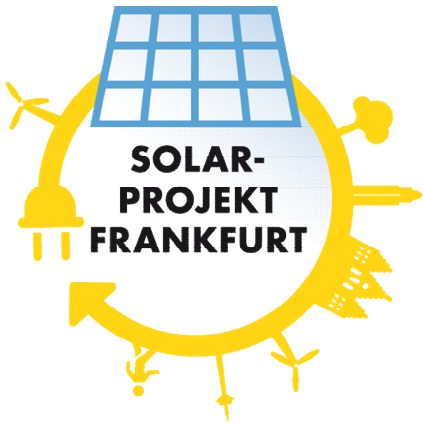
<https://tameson.de/pages/elektrische-erdung>
<https://www.zaehlerschrank24.de/installationsmaterial/erdung-und-blitzschutz.html>

- 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 6mm² 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 (V_{oc}), Kurzschlussstrom (I_{sc}) und Batteriespannung auslegen
4. Spannungswandler anhand Dauerleistung und Eingangsspannung auslegen
5. Keine pauschale Aussage zu Auslegung von Leitungen und Sicherungen

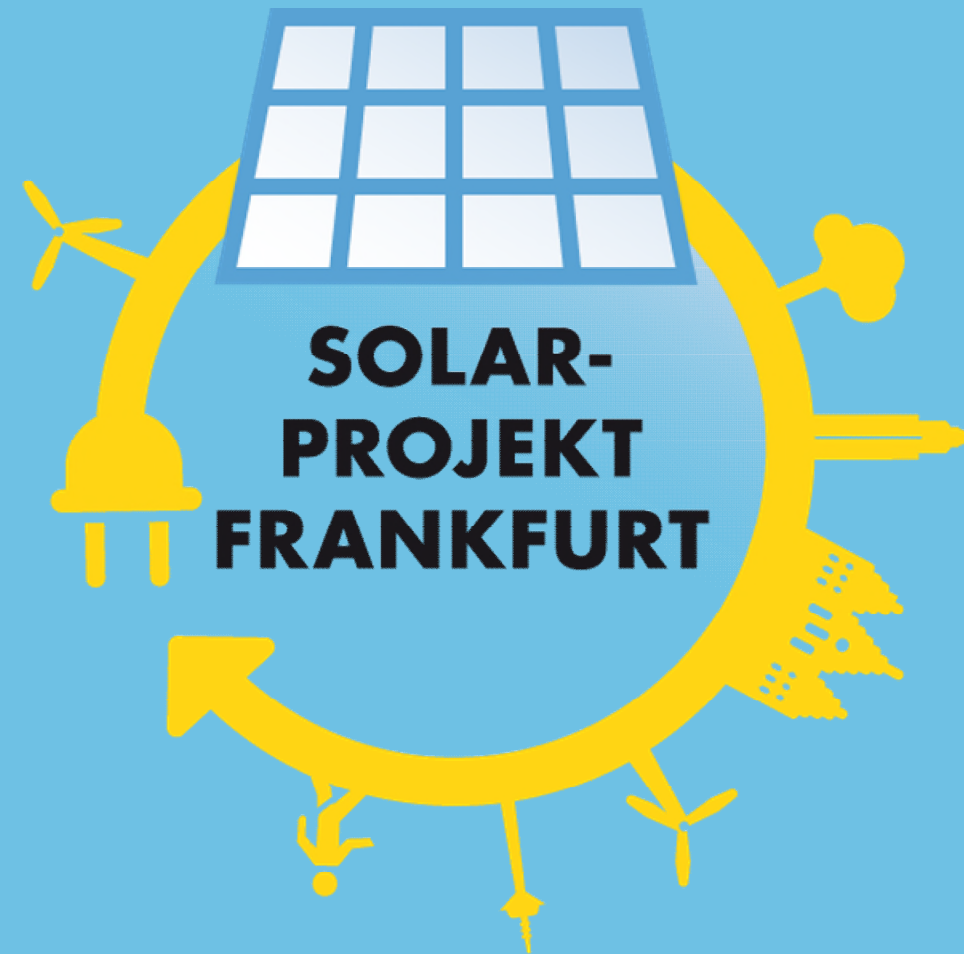
Wirtschaftliche Betrachtung



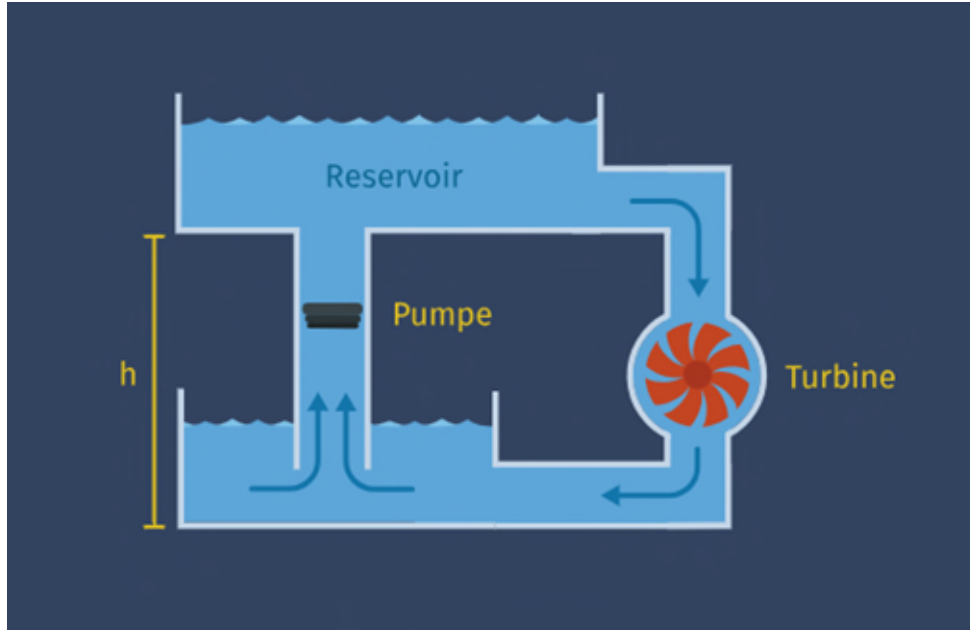
Beispiel

Komponente	Preis (inklusive Versand)	Quelle
Batterie LiFePO4 12V 280Ah (3360Wh)	461,34 EUR	https://www.ipowerqueen.de/products/power-queen-12v-280ah-niedertemperatur-lifepo4-solarbatterie?currency=EUR&variant=45175410917596&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Google%20shopping&stkn=03abead1cde0&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARIsAOxxlxVqNxqZC_6VlQrx18fpejD0tUP4-LbZcgYwy4F4eLsey5mm01q9C8aArTAEALw_wcB
2 x Modul JA Solar JAM54S30-405	146,61 EUR	https://www.tepto.de/Longi-Hi-Mo6-LR5-54HTB-M-425Wp-Fullblack-PV1387.1?ref=Google-Ads_20381406600&klar_source=google&klar_cpuid=20381406600&trc_gcmp_id=20381406600&trc_gag_id=&trc_gad_id=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARIsAOxxlxVqNxqZC_6VlQrx18fpejD0tUP4-LbZcgYwy4F4eLsey5mm01q9C8aArTAEALw_wcB
Laderegler Victron 100/20 12/24/48V	97,10 EUR	https://www.offgridtec.com/victron-smartsolar-mppt-100-20-48-20a-12v-24v-48v-solar-laderegler.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARIsAOxxlxU6KVt79BvVOyP8hkyCfSMmYclg-MDy61cPATG04OJ8MDYUa9NgDgwaAv9bEALw_wcB
Spannungswandler	99,99 EUR	https://www.ebay.de/itm/395746248107?var=664459452519&mkevt=1&mkeid=1&mkr=707-53477-19255-0&campid=5338588705&toolid=20006&customid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARIsAOxxlxVTA9Fp4GHI4U1s2RnqgbzqVPBcprPY-O4IjPhAul7frD8_8sGoHZwaAl_7EALw_wcB null null&gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARIsAOxxlxVTA9Fp4GHI4U1s2RnqgbzqVPBcprPY-O4IjPhAul7frD8_8sGoHZwaAl_7EALw_wcB
Sicherungsautomaten	50 EUR	
Leitungen, Erdung, Modulhalterung	300 EUR	
TOTAL	1155 EUR	

Alle Komponenten nur mit CE-Zeichen kaufen!



Physikalische Grundlagen

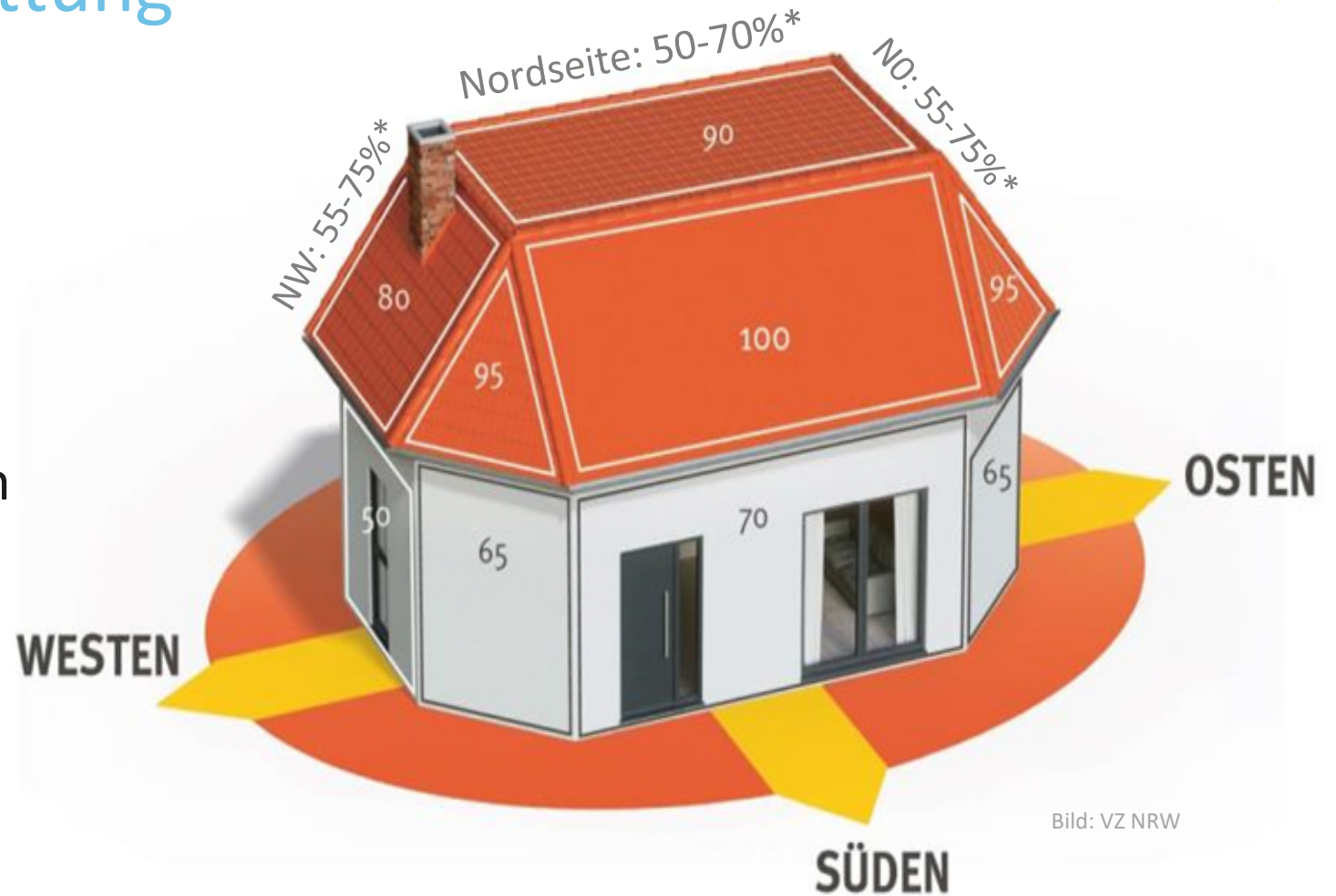


$$P = U \times I$$

- 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]

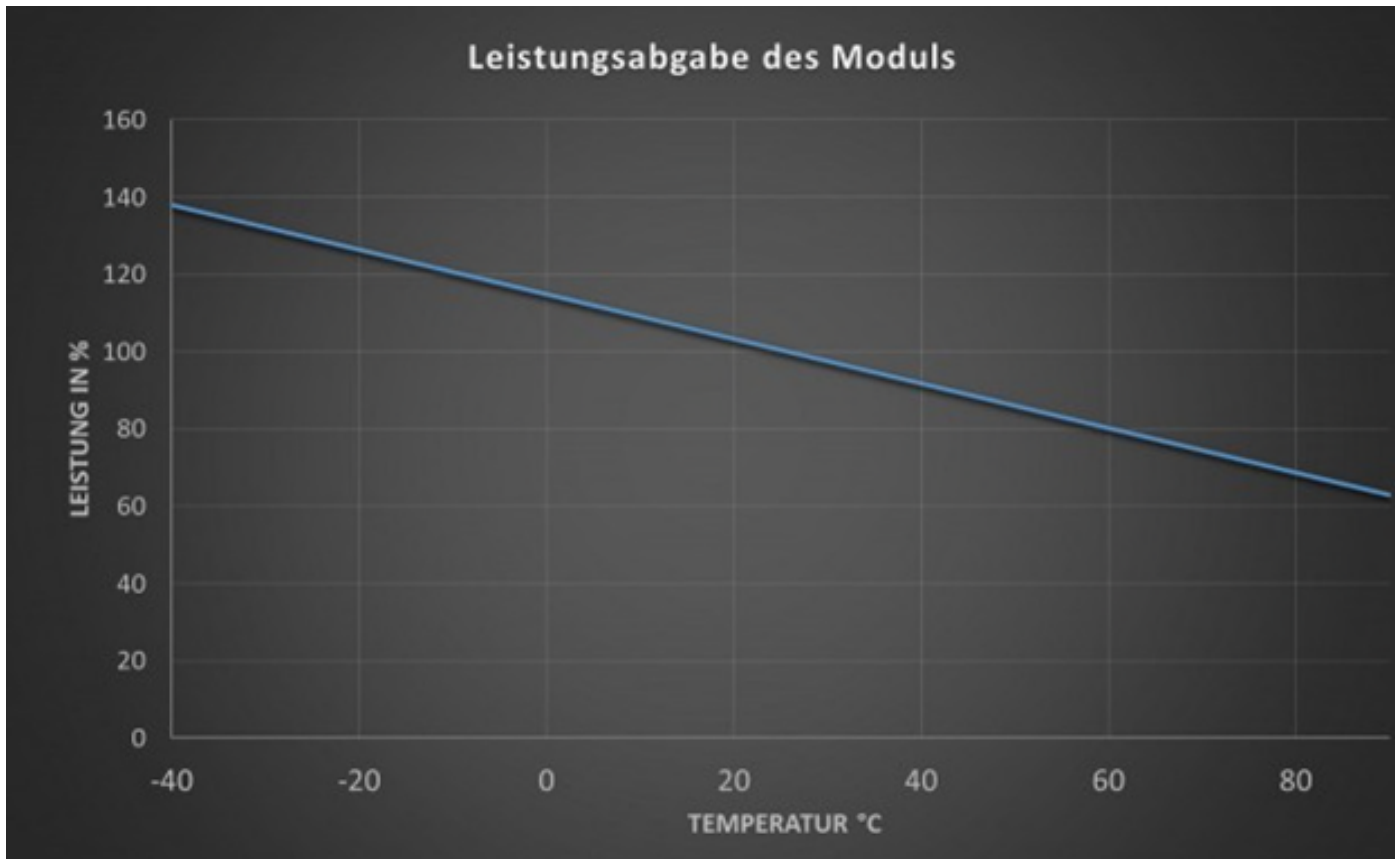
Ausrichtung und Verschattung

- 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



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

Solarmodule – Leistung in Abhängigkeit der Temperatur



- Allgemein: Je kälter desto besser und je wärmer desto schlechter für das Modul
- Herstellerseitig werden Betriebsgrenzen angegeben, die weder unter- noch überschritten werden dürfen (Beispiel: -20°C – 60°C)
- Angegebene Modulleistungen werden bei einer Einstrahlung von 1000 W/m² und 25°C erreicht

Quelle: <https://www.photovoltai4all.de/blog/welche-rolle-spielt-die-temperatur-einer-photovoltaikanlage>

PV-Ertrag in Abhängigkeit der Dachneigung und Ausrichtung

Ausrichtung (Abweichung von Süden)		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	97,6	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