



# Meistervorbereitungskurs im Elektrotechniker-Handwerk

Ausbildungsort: Handwerkskammer Flensburg

Ausbildungsmeister: Ingo Hartwig

Lehrgang:           PhotoVoltaik



Handwerkskammer  
Flensburg

---

---

Handwerk  
> Bildung  
Beratung


Handwerkskammer  
Flensburg




# Photovoltaik

Handwerkskammer-Flensburg

**DAS HANDEWERK**  
DIE WIRTSCHAFTSMACHT. VON NEBENAN.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Handwerk  
> Bildung  
Beratung


Handwerkskammer  
Flensburg

## Vor- und Nachteile von PV-Anlagen



### Vorteile

Lebensdauer beträgt ca. 30 Jahre.

Keine CO<sub>2</sub>-Emission und Luftverschmutzung.

Keine Abhängigkeiten von anderen Öl-fördernden Staaten.

Energiegewinnung durch Photovoltaikanlagen verringert den Energieverlust beim Transport von Strom.

### Nachteile

Hohe Kosten bei der Herstellung von Solarzellen und Photovoltaikanlagen.

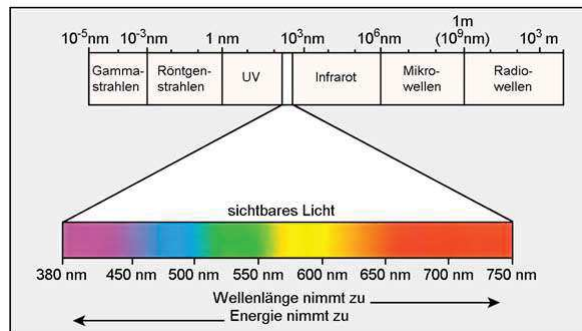
Keine zuverlässige Energiequelle, da sie vom Wetter abhängig ist.

Nachts nicht nutzbar.

Durch Erzeugung von Gleichstrom sind Wechselrichter notwendig, diese reduzieren den Gesamtwirkungsgrad der Anlage.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

## Elektromagnetisches Spektrum und sichtbares Licht

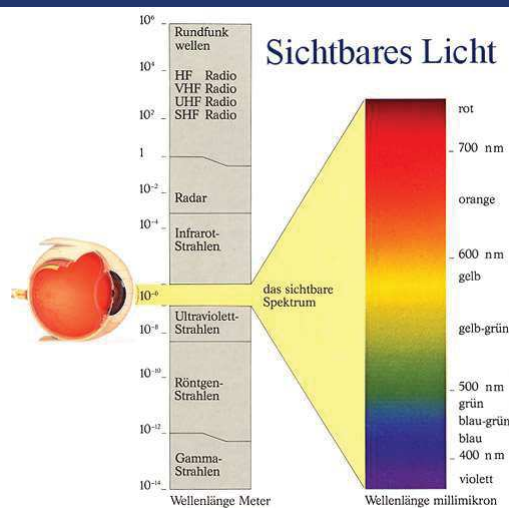


Licht ist eine Form der **elektromagnetischen Energie**, die auch Strahlung genannt wird.  
Diese elektromagnetische Energie wandert in rhythmischen Wellen durch den Raum.  
Die Wellenlänge kann winzig klein sein, z.B. bei Gammastrahlen ( $<1$  nm) aber auch sehr groß, wie bei Radiowellen (über 1 km).

### Der Energieinhalt der Solarstrahlung (des Photons) ist abhängig von der Wellenlänge bzw. der Frequenz !

#### Energieinhalt: ELEKTRONENVOLT (eV)

In Teilchenphysik übliche Energieeinheit.  
Ein Elektronenvolt entspricht der kinetischen Energie eines Elektrons, das durch die Spannung von 1 Volt beschleunigt wurde.



**sichtbares Licht (380 - 780 nm): 3,0 – 1,5 eV**

### Polykristallines Silizium für Dickschichtmodule



o **Polykristalline** Zellen, auch *Multikristalline Zellen* genannt (poly-Si oder mc-Si), besitzen relativ **kurze Energierücklaufzeiten**.

Derzeit die Zelle mit dem **günstigsten Preis-Leistungs-Verhältnis**.

**Wirkungsgrade bis zu 16 %.**

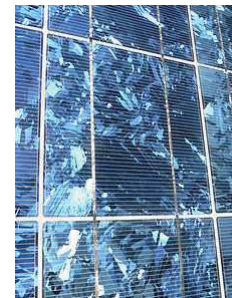


Polykristallines  
Silizium

Silizium bildet den Ausgangsstoff unseres solaren Produktionskreislafs. Es wird aus Sand gewonnen, welcher überwiegend aus Siliciumdioxid besteht und als zweithäufigstes Element der Erdkruste fast unbegrenzt verfügbar ist.

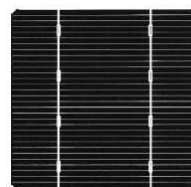


Polykristalliner Wafer vor und nach der Anti-Reflex-Behandlung der Licht-Oberfläche


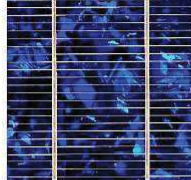



o **Monokristalline** Siliziumzellen (c-Si) weisen im großtechnischen Einsatz einen **Wirkungsgrad über 20 %** und eine Leistungsdichte 20–50 W/kg auf.

Die Technik gilt als gut beherrscht, die Herstellung **erfordert allerdings einen sehr hohen Energieeinsatz**, der sich negativ auf die **Energierücklaufzeit** auswirkt.




Silizium-Einkristall

Handwerk > Bildung Beratung		Handwerkskammer Flensburg	
	monokristallin	polykristallin	amorph
			
Herstellung	Einkristalliner Siliziumstab aus einer Schmelze gezogen, anschließendes Sägen in dünne Scheiben (Wafer)	Kontrolliertes Abkühlen flüssigen Siliziums in einer Gussform, Entstehung einer Vielzahl einzelner Kristalle, anschließendes Schneiden des abgekühlten Block in dünne Scheiben (Wafer)	Abscheiden des Siliziums aus einer Glühmentladung in mit Silan gefüllten Kammer, Entstehung einer dünnen Fläche, kann als Zelle genutzt werden
Herstellungsaufwand	hoch	weniger hoch	gering
Wirkungsgrad	ca. 14%, Wirkungsgradsteigerung durch Behandlung der Solarzellenoberfläche (ca. 16,5% durch Saturntechnologie, BP Solar)	ca. 12%	z. Zt. nur 5-8%
Bemerkung		Marktanteil von 40%	Herstellung besonders preisgünstig.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Handwerk  
> Bildung  
Beratung



Handwerkskammer  
Flensburg

	Monokristallin	Polykristallin	Dünnschicht	CIGS
Wirkungsgrad	15 - 20 %	15 - 20 %	5 – 10 %	13 – 15 %
Wärmeverhalten	Mittlere Einschränkungen bei hohen Temperaturen	Mittlere Einschränkungen bei hohen Temperaturen	Geringe Einschränkungen bei hohen Temperaturen	Geringe Einschränkungen bei hohen Temperaturen
Lichtverhalten	Mittlere Einschränkungen bei diffusem Licht	Mittlere Einschränkungen bei diffusem Licht	Geringe Einschränkungen bei diffusem Licht	Geringe Einschränkungen bei diffusem Licht
Lebensdauer	ca. 30 Jahre	ca. 30 Jahre	ca. 30 Jahre	k.A.
kg pro Modul	8 - 16 kg	15 kg	1-2 kg	1-2 kg
Kosten/Leistung	hoch/sehr hoch	mittel/hoch	gering/mittel	hoch/gering

Die **CIGS-Solarzelle** stellt einen Typ von Solarzelle dar, welche auf dem Werkstoff **Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid** (CIGS) basiert.. Die CIGS-Schicht wird in **Dünnschichttechnologie** gefertigt und ist je nach Hersteller **1–2 µm dick**, während **Dickschicht-Solarzellen** auf Siliziumbasis mindestens ca. **150 µm** dick sind.

Durch die geringe Dicke ist es möglich, deutlich weniger Halbleitermaterial zu verwenden.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

**•Dünnschicht**

○**Amorphes Silizium** (a-Si) besitzen zur Zeit den größten Marktanteil bei den Dünnschichtzellen. Die Modulwirkungsgrade liegen zwischen **5 und 7 %** und haben eine Leistungsdichte bis ca. 2000 W/kg. Derzeit gibt es keine Materialengpässe selbst bei Produktion im Terawatt-Maßstab.

○**Kristallines Silizium**, z. B. mikrokristallines Silizium ( $\mu\text{c-Si}$ ), wird oft in Kombination mit amorphem Silizium als Tandemzellen eingesetzt und erreicht so höhere **Wirkungsgrade bis 10 %**. Hergestellt werden sie ähnlich wie Solarzellen aus amorphem Silizium.



**Dünnschichtmodule** erreichen eine Dicke von nur einem Mikrometer und sind deutlich leichter als Dickschichtmodule.

Da auch ihre Herstellung unkomplizierter ist, sind Dünnschichtmodule auch preisgünstiger.

Bei schwachem Licht und großer Hitze lässt die Leistung weniger nach als bei Dickschichtmodulen.

Allerdings sind **Wirkungsgrad und Lebensdauer von Dünnschichtmodulen geringer** als bei monokristallinen und polykristallinen Modulen.

**Organische Solarzellen**

Ein kommerziell erhältliches flexibles Modul einer polymeren organischen Solarzelle

**Fazit:**

- Monokristalline** Solarmodule erzielen den höchsten Wirkungsgrad.
- Polykristalline** Module haben das ausgewogenste Preis-Leistungs-Verhältnis.
- Dünnschichtmodule** sind leicht und günstig.

Die Wahl der richtigen Solarmodule lässt sich nicht pauschalisieren und sollte stets individuell an die Gegebenheiten des Objekts angepasst werden.

Faktoren wie die geografische Lage oder die Ausrichtung des Daches spielen eine Rolle.



## Photovoltaik Wirkungsgrad



Zwei wichtige Faktoren, die den Wirkungsgrad einer Solaranlage beeinflussen, sind **Degradation** und **Temperaturkoeffizient**.

### Photovoltaik Degradation

Jede Solarzelle **verliert an Leistungsfähigkeit**, wenn sie der Sonne ausgesetzt wird. Mono- und polykristalline Siliziumzellen kommen auf **2 % Verlust nach 20-50 Stunden** Sonneneinstrahlung. Danach geht die Leistung **jährlich um nur noch 0-0,5 %** zurück.

Bei Dünnschichtmodulen aus amorphen Siliziumzellen nimmt die Leistung nach einer deutlichen Anfangsdegradation in den ersten 1.000 Sonnenstunden ab.

## PV Temperaturkoeffizient

**Je höher die Temperatur von Solarzellen, desto stärker sinkt ihr Wirkungsgrad. Überhitzung führt zu Leistungsausfall.**

Spitzenleistungen liefern Solaranlagen bei einer Zelltemperatur von 25 °C, d.h. im Frühjahr, im Herbst oder bei bedecktem Himmel.

Für die verschiedenen Zellentypen lässt sich relativ genau sagen, um welche Zahl der Wirkungsgrad temperaturabhängig sinkt.

Diese Zahl fließt als **Temperaturkoeffizient** in die Ertragsberechnung von PV-Anlagen ein.

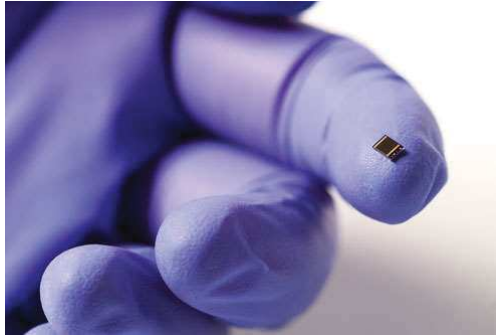
### Tipps zur Steigerung des Wirkungsgrades

- Photovoltaikanlage regelmäßig reinigen
- Äste von umgebenden Bäumen rechtzeitig festbinden oder absägen, bevor sie in ungewünschte Richtungen wachsen und Schatten auf die PV-Anlage werfen
- Solargenerator evtl. um eine **Nachführung** nach dem Sonnenstand ergänzen: **20-30 % Mehreinnahmen möglich.**



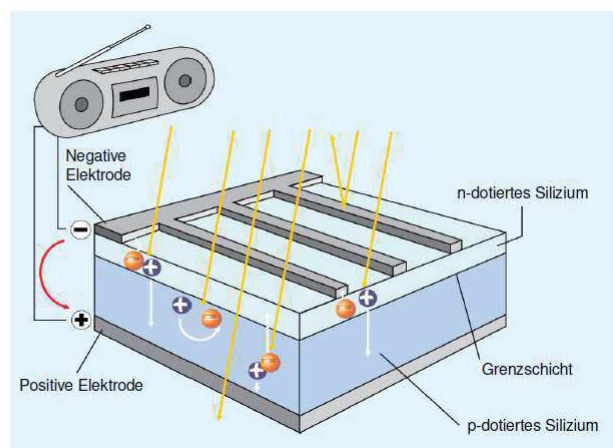


### 44,7 Prozent Wirkungsgrad



Weltrekordsolarzelle mit 44,7 Prozent Wirkungsgrad, bestehend aus vier Teilsolarzellen auf Basis von III-V Halbleitern, für die Anwendung in der Konzentrator-Photovoltaik.  
(Quelle: Fraunhofer ISE)

## Die Solarzelle



Einfallende Photonen setzen Elektronen frei und erzeugen Löcher, die im elektrischen Feld der Raumladungszone des p-n-Übergangs getrennt werden.

### Prinzipieller Aufbau

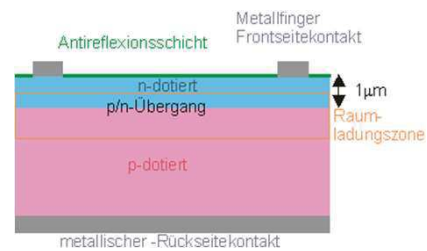
Die klassische Silizium-Solarzelle besteht aus einer ca. 0,001 mm dicken n-Schicht, welche in das ca. 0,6 mm dicke p-leitende Si-Substrat eingebracht wurde.

Den Übergang zwischen n-Schicht und p-Substrat nennt man p/n-Übergang oder einfach Grenzschicht.

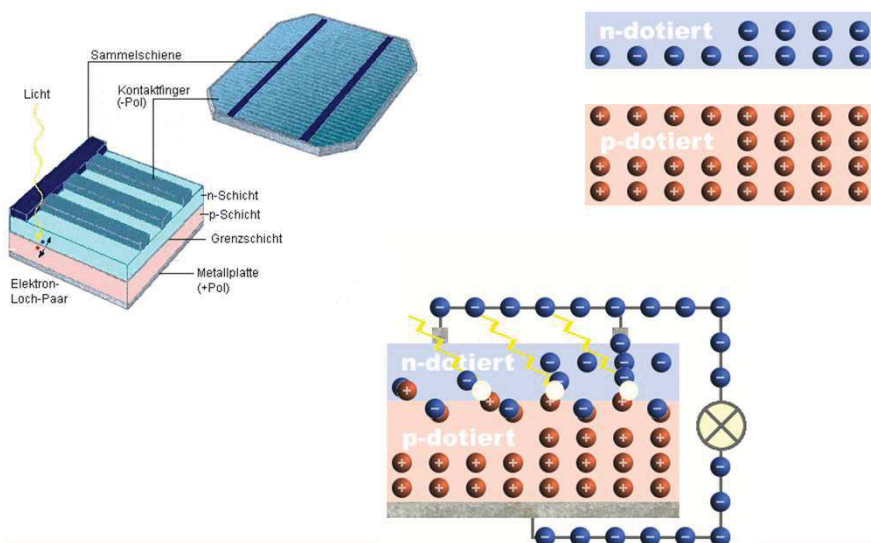
Bei der monokristallinen Siliziumsolarzelle wird die n-Schicht durch oberflächennahes Einbringen (dotieren) von ca.  $10^{19}$  Phosphor-Atomen /  $\text{cm}^3$  in das p-leitende Si-Substrat erzeugt.

Die n-Schicht ist so dünn, damit das Sonnenlicht besonders in der Raumladungszone am p/n-Übergang absorbiert wird.

Das p-leitende Si-Substrat muss dick genug sein, um die tiefer eindringenden Sonnenstrahlen absorbieren zu können und um der Solarzelle mechanische Stabilität zu geben.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

**Wechselrichter: (Piko 5.5)**

- Umformung des vom PV-Generator erzeugten Gleichstroms (DC) in Wechselstrom
- Anpassung an Frequenz und Spannungshöhe des Hausnetzes



- Geräuschentwicklung:
- kleine WR bis ca. 3 kW: < 35 dBA
  - Großgeräte über 50 kW: > 60 dBA

**Eingangsseite (DC)**

Empf. PV-Leistung	5,8 kWp
MPP-Eingangsspannungsbereich	180 – 850 V
Max. Eingangsspannung	900 V
Anzahl der MPP-Tracker	3
Max. Eingangsstrom	9 A
DC-Nennstrom	8 A
Einspeisung ab	25 W

**Ausgangsseite (AC)**

AC-Nennleistung	5 kW
Max. AC-Leistung	5,5 kW
Nennstrom AC	7,3 A
Max. Strom AC	8 A

**Leistung Wechselrichter**

**AC-Nennscheinleistung (SN) entscheidend, nicht Spitzenwert S<sub>Max10min</sub>**

**WR-Leistung (SN): 0,8 PPV bis 1,2 PPV**

**Anwender "vergessen" Degradation**

Anhaltswerte (pro Jahr)

- kristallin: 0,25 % - 0,50 %
- Dünnschicht: 0,60 % - 1,00 % (z. T. darüber!)



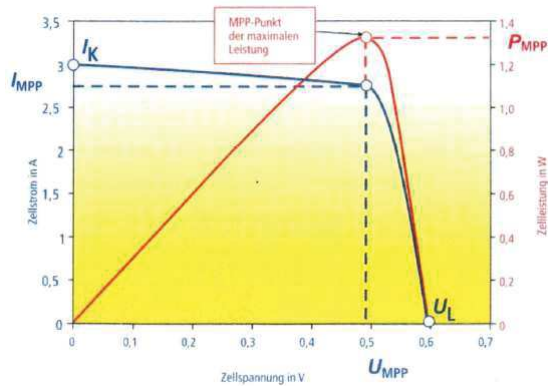
**Im Wesentlichen wird die Kennlinie durch folgende drei Punkte charakterisiert:**

- MPP-Wert ist der Punkt der Kennlinie, wo die Solarzelle mit der maximalen Leistung arbeitet. Für diesen Punkt wird die Leistung  $P_{MPP}$ , der Strom  $I_{MPP}$  und die Spannung  $U_{MPP}$  angegeben.
  - Der Kurzschlussstrom  $I_K$  liegt ca. 5 - 15% über dem MPP-Strom. Bei kristallinen Standardzellen bewegt sich der Kurzschlussstrom um 3 A.
  - Die Leerlaufspannung  $U_L$  beträgt bei kristallinen Zellen ca. 0,5 bis 0,6 V, bei amorphen Zellen ca. 0,6 bis 0,9 V.
- Um verschiedene Zellen oder auch PV-Module miteinander zu vergleichen, wurden zur Bestimmung der elektrischen Daten einheitliche Bedingungen festgelegt, bei denen die Solarzellenkennlinie ermittelt wird.

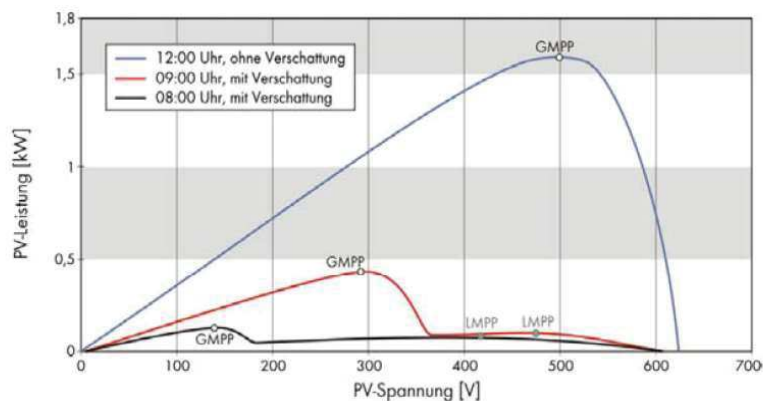
Diese sogenannten **Standard- Test-Bedingungen (STC, engl. Standard-Test-Condition)** beziehen sich auf eine **Einstrahlung von  $1.000 \text{ W/m}^2$ , eine Zelltemperatur von  $25^\circ \text{C}$  sowie das Spektrum von AM 1,5.**

Der Kurzschlussstrom ist linear von der Einstrahlung abhängig, das heißt, dass sich bei einer Verdopplung der Einstrahlung auch der Strom verdoppelt.

In dem folgenden Diagramm ergibt sich deshalb eine Gerade. Die Leerlaufspannung bleibt bei Veränderung der Einstrahlung relativ konstant; erst wenn sie Einstrahlung unter  $100 \text{ W/m}^2$  sinkt, bricht die Spannung zusammen.

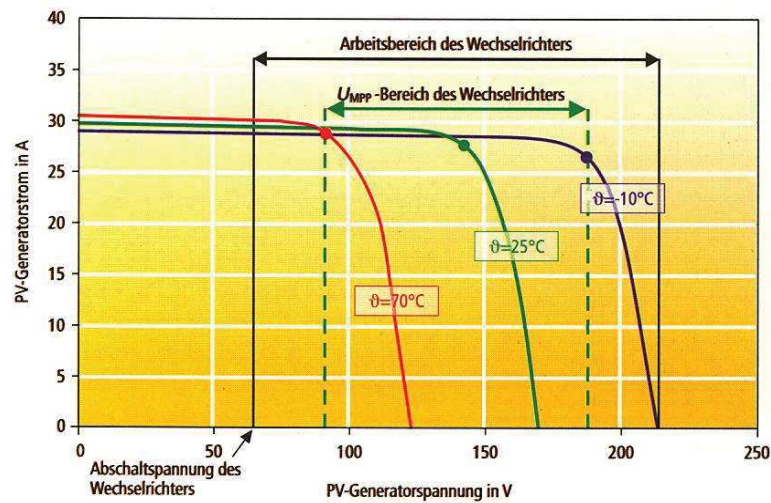


© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

**Der „globale“ MPP**

**Abbildung 1:** Leistungs-Spannungs-Kennlinie eines teilverschatteten PV-Generators zu drei verschiedenen Tageszeiten (zweimal mit Verschattung, einmal unverschattet)

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

**Modul-Datenblatt**

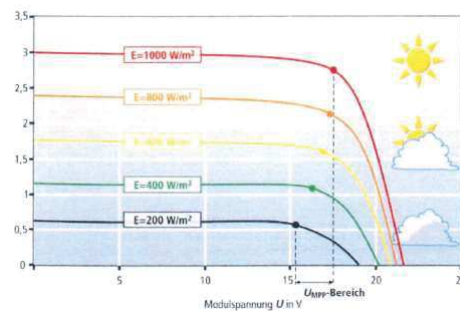
Elektrische Kenngröße	Formelzeichen	Siemens SM 110-24
Maximalleistung	$P_{\max}$	110 Wp
Minimalleistung	$P_{\min}$	100 Wp
Nennstrom	$I_{\text{MPP}}$	3,15 A
Nennspannung	$U_{\text{MPP}}$	35,0 V
Kurzschlussstrom	$I_K$	3,45 A
Leerlaufspannung	$U_L$	43,5 V
max. zulässige Systemspannung	$U_{\max}$	1000 V
Modulwirkungsgrad	$\eta$	12,7 %
Höhe x Breite x Dicke		1316 x 660 x 40 mm
Gewicht		11,5 kg
Leistungsgarantie		25 Jahre
Schutzklasse		II
Temperaturkoeffizient (Spannung)		- 0,104V/K

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

### Kennlinien von PV-Modulen

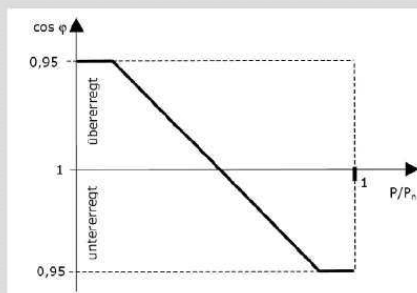
PV-Anlagen arbeiten, im Gegensatz zu anderen technischen Geräten, im seltensten Fall im Nennbetrieb. Die elektrischen Größen und Kennlinien der PV-Module sind von der Temperatur und Einstrahlung abhängig, so dass der Teillastbetrieb der Module der Standardfall ist.

Durch Einstrahlungsänderungen wird der Strom des PV-Moduls am stärksten beeinflusst. Die MPP-Spannung bleibt dagegen bei Einstrahlungsänderungen relativ konstant.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

### Statische Netzstützung: Bereitstellung von Blindleistung



Quelle: Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz, BDEW, Entwurf April 2008

- > Ziel: Spannungshaltung im Netz
- > Erzeugungsanlagen müssen im Normalbetrieb Blindleistung bereitstellen
- > Netzbetreiber gibt  $Q_{Soll}$ ,  $\cos \varphi_{Soll}$  oder Kennlinie vor
- > Bei Wirkleistungsabgabe Betrieb mit Verschiebungsfaktor im Bereich  $\cos \varphi = 0,95_{\text{induktiv}}$  bis  $0,95_{\text{kapazitiv}}$
- > **Einfluss auf Dimensionierung des Wechselrichters!**

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

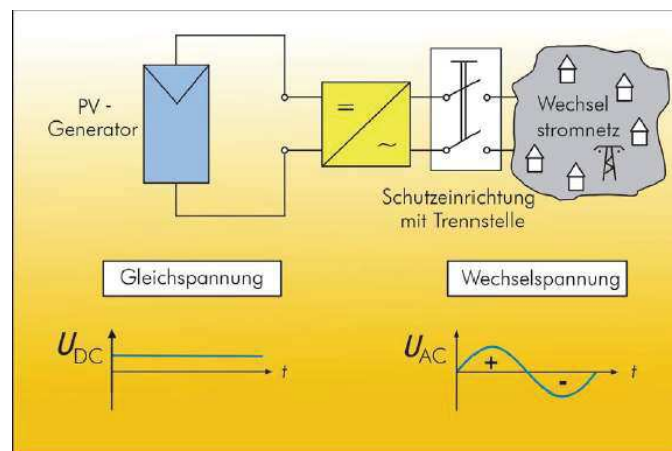


### Netzstabilität bleibt gewahrt: Solarstromanlagen werden durch Nachrüstung fit gemacht

Bis Ende 2014 müssen deutschlandweit mehr als 400.000 Photovoltaikanlagen technisch nachgerüstet werden. Dadurch wird verhindert, dass sich zu viele PV-Anlagen gleichzeitig vom Netz trennen, wenn die normale Stromnetzfrequenz von 50,0 Hertz überschritten wird.



### Wechselrichter:





### Installationsmaterial

Die im Außenbereich eingesetzten Materialien wie z.B. Kabelbinder, Kabelkanäle, Schutzrohre usw., sollten selbstverständlich **witterungsbeständig** sein.

Die gesamte Installation muss so erfolgen, dass eine mögliche **Gefährdung von Mensch und Tier ausgeschlossen** wird. Gerade die PV-Anlagen mit auf der Gleichstromseite oftmals hohen Systemspannungen (bis zu 1.000 V) stellen hier eine nicht zu unterschätzende Gefahr dar.

Der Einbau eines **allstrom-sensitiven Fehlerstrom-Schutzschalters (RCD)** wird beim Einsatz von Wechselrichtern **ohne Transformator grundsätzlich gefordert**.

Aber auch bei der Verwendung von Wechselrichtern mit Transformator sollte auf den zusätzlichen Schutz eines RCD's nicht verzichtet werden.

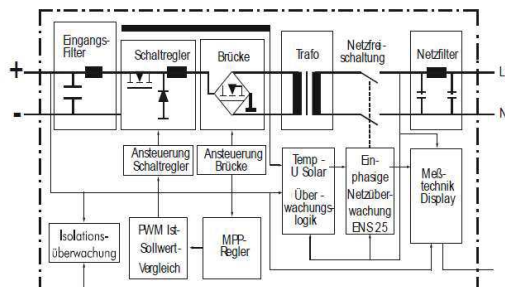


### Schaltungskonzepte Wechselrichter

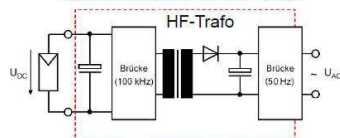


Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.  
International Solar Energy Society, German Section

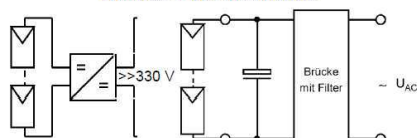
selbstgeführter  
Wechselrichter mit  
NF-Transformator



### Wechselrichter mit HF-Trafo



### Trafoloser Wechselrichter



## Welcher Wechselrichter ist der Richtige?



(spezifischer) Preis

Leistungsbereich

Eingangsspannungsbereich

Eingangsströme

Wirkungsgrad

Besondere Funktionen  
(mehrere MPP Eingänge,  
MPP-Optimierungs-Suche...)

Datenerfassung

Einsatzbereich (outdoor,  
Modultyp)

Service - Garantien

**Verfügbarkeit!**

## Installationsort des Wechselrichters



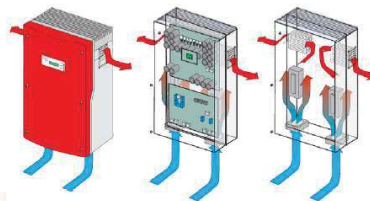
Idealer Standort: Indoor

- kühl
- trocken
- staubfrei
- vor Dämpfen geschützt

Outdoor:

- mindestens IP 54
- vor direkter Sonneneinstrahlung  
und Regen geschützt

zugänglich



Wechselrichter mit Kühlsystem OptiCool



## Wechselrichterarten und Baugrößen



Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.  
International Solar Energy Society, German Section

### Zentraler Wechselrichter hoher Leistungsbereich (dreiphasig)

SINVERTsolar 100  
Konzept: SG mit NF-Trafo  
 $P_{nDC} = 93 \text{ kW}$   
 $U_{MPP} = 460 - 700 \text{ V}$   
1.325 x 950 x 850 mm  
750 kg



### Zentraler Wechselrichter im kleinen Leistungsbereich (einphasig)

Top Class III – TCG 2500/6  
Konzept: SG mit NF-Trafo  
 $P_{nDC} = 2,5 \text{ kW}$   
 $U_{MPP} = 82 - 120 \text{ V}$   
456 x 320 x 211 mm  
22 kg



### Strangwechselrichter

Sunny Boy 2100 TL  
Konzept: trafolos SG  
 $P_{nDC} = 2 \text{ kW}$   
 $U_{MPP} = 125 - 600 \text{ V}$   
295 x 434 x 214 mm  
25 kg



### Modulwechselrichter

DMI 150/35  
Konzept:  
SG mit NF-Tr.  
 $P_{nDC} = 120 \text{ W}$   
 $U_{MPP} = 28 - 58 \text{ V}$   
80 x 200 x 100 mm  
2,8 kg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

## Generatoranschlusskasten

Ein Generatoranschlusskasten wird dort **empfohlen**, wo zwischen den Modulen und dem Wechselrichter **mehr als 30 Meter liegen und 2 oder mehr Strings** aufgebaut werden.

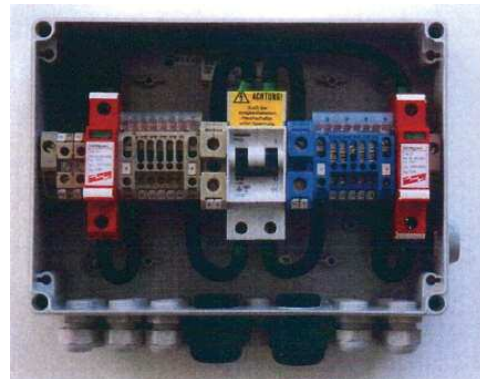
**Hier werden die Stringleitungen, die Gleichstromhauptleitungen und die Potenzialausgleichsleitung angeschlossen.**  
Der Generatoranschlusskasten beinhaltet die Anschlussklemmen, die Strangsicherungen, ggf. die Strangdioden und die Trennstellen.

Oft werden in den Generatoranschlusskasten Überspannungsableiter eingebaut, die zur Ableitung von Überspannungen gegen Erde dienen. Deshalb wird der Potenzial- bzw. Erdungsleiter in den Generatoranschlusskasten geführt.

Er sollte eine klare Trennung der Plus- und Minus-Seite innerhalb des Kastens aufweisen.

Wenn er im Außenbereich angebracht wird, sollte er mindestens den Schutzgrad IP 65 besitzen.

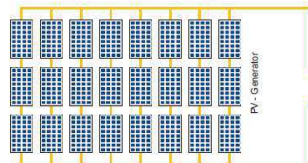
Zum Schutz vor Kurzschlüssen in netzgekoppelten PV-Anlagen werden Strangsicherungen im jeweiligen Plus- und Minusleiter eingesetzt.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

## Zentrales Wechselrichterkonzept

## Kleinspannungskonzept



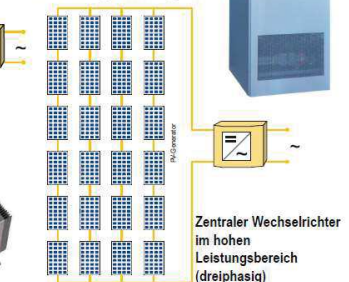
## Zentraler Wechselrichter im kleinen Leistungsbereich (einphasig)

Top Class III – TCG 2500/6  
 Konzept: SG mit NF-Trafo  
 $P_{nDC} = 2,5 \text{ kW}$   
 $U_{MPP} = 82 - 120 \text{ V}$   
 456 x 320 x 211 mm  
 22 kg



- SK I Gerät ist mit Schutzleiter verbunden
- SK II Schutzisolierung (doppelte oder verstärkte Isolierung)
- SK III Schutzkleinspannung (max. AC: 50 V, max. DC: 120 V)

## Konzept mit höheren Spannungen

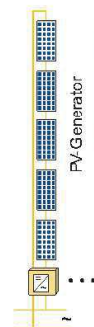


## Zentraler Wechselrichter im hohen Leistungsbereich (dreiphasig)

SINVERTsolar 100  
 Konzept: SG mit NF-Trafo  
 $P_{nDC} = 93 \text{ kW}$   
 $U_{MPP} = 460 - 700 \text{ V}$   
 1.325 x 950 x 850 mm  
 750 kg



## Strangwechselrichterkonzept



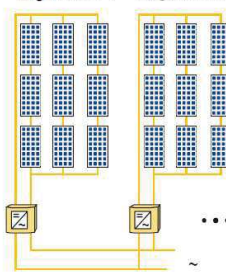
Strangwechselrichter  
 Sunny Boy SWR 2100 TL  
 Konzept: trafoless SG  
 $P_{nDC} = 2 \text{ kW}$   
 $U_{MPP} = 125 - 600 \text{ V}$   
 295 x 434 x 214 mm  
 25 kg



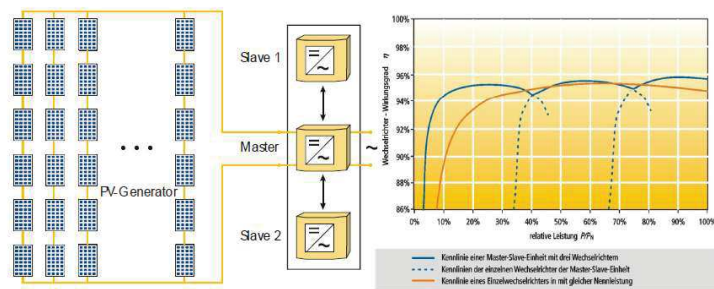
1 MW PV-Anlage auf der  
 Fortbildungsakademie Mont  
 Cenis in Herne  
 Strangwechselrichter auf dem  
 Dach

## Teilgeneratorkonzept

PV- Teilgenerator 1 PV- Teilgenerator 2

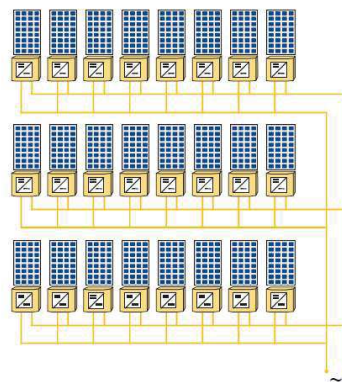


## Master-Slave-Konzept



1 MW PV-Anlage der Neuen Messe  
München (2003: Erweiterung um 1,2 MW)

## Modulwechselrichterkonzept



## Modulwechselrichter

DMI 150/35  
Konzept-SG mit NF-  
Trafo  
 $P_{n,DC} = 120 \text{ W}$   
 $U_{MPP} = 28 - 58 \text{ V}$   
80 x 200 x 100 mm  
2,8 kg



Karl-Philipp-Moritz-Haus in Berlin-Kreuzberg.  
Fassadenintegrierte PV-Anlage mit Modulwechselrichtern  
zur Einspeisung in die UV der Wohnungen



### Kabel und Leitungen

#### Man unterscheidet:

- Modul- bzw. Strangleitungen
- Gleichstromhauptleitungen
- Wechselstromleitungen

**Um eine erd- und kurzschluss sichere Verlegung zu gewährleisten, darf der positive und der negative Pol nicht in einer Leitung zusammenverlegt werden.**

Einadrige Kabel mit doppelter Isolierung haben sich als praktikable Lösung bewährt und bieten eine hohe Sicherheit.

Häufig wird hier eine doppelt isolierte Gummischlauchleitung vom Typ HO7 RN-F eingesetzt.

**Achtung: Diese ist jedoch nur bis zu einer Systemspannung von 750V einsetzbar!**



Darüber hinaus werden sogenannte **Solarleitungen** angeboten.

Sie zeichnen sich vor allem durch eine **hohe Witterungsbeständigkeit (UV-stabilität)** in einem großen Temperaturbereich (z.B. -55°C bis + 125°C) aus.

Sie werden in den drei Farben rot, blau und schwarz angeboten und ermöglichen damit einen raschen, übersichtlichen Aufbau.

**Die Gleichstromhauptleitung** verbindet den Generatoranschlusskasten mit dem Wechselrichter.

Hier wird aus Kostengründen zusätzlich zu vorgenannter Leitungstypen oft die gebräuchlichen PVC-Leitungen NYM, NYY oder NYCWY eingesetzt.

**Aus Gründen der erd- und kurzschluss sicheren Installation werden auch hier einadrige Leitungen für Plus und Minus empfohlen.**

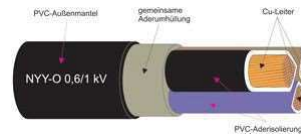
Die Verlegung sollte so erfolgen, dass eine mechanische Beschädigung, z.B. durch Nagetiere, nicht möglich ist.



**Die Wechselstromleitung** verbindet den Wechselrichter mit dem Stromnetz.

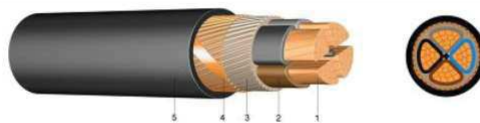
Bei Wechselrichtern die einphasig in das Netz einspeisen wird in der Regel eine dreipolige Leitung verwendet.

Einige Gerätetypen besitzen jedoch eine dreiphasige Spannungsüberwachung und müssen deshalb 5-adrig angeschlossen werden. Auch hier können die üblichen Leitungstypen wie NYM, NYY oder NYCWY (PVC-Erdkabel) eingesetzt werden.



#### NYCWY PVC-isolierte Starkstromkabel mit konzentrischem Leiter

**Verwendung:** In trockenen, feuchten und nassen Räumen, Kabelkanälen, im Freien sowie in Erde und im Wasser.



**Aufbau:**

- 1 ..... Kupferleiter, blank, ein- oder mehrdrähtig
- 2 ..... Aderisolation aus Polyvinylchlorid (PVC)
- 3 ..... Aderumhüllung z PVC
- 4 ..... Schirmung aus wellenförmig aufgetragenen konzentrischen Kupferleitern
- 5 ..... Außenmantel aus Polyvinylchlorid (PVC), schwarz

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

"Der **Spannungsfall** im Gleichstromkreis sollte **nicht größer als 1%** von der Nennspannung des PV-Systems unter STC-Bedingungen sein.."

(STC: *Standard Test Conditions*)

- 1) Minimale Einstrahlung 800 W/m<sup>2</sup>
- 2) Temperaturfeststellung sowie Berücksichtigung im berechneten Wert
- 3) Einstrahlwinkel
- 4) Moduldatenblatt mit den physikalischen Grundgrößen des Moduls (Temperaturkoeffizient)

Formeln für die Berechnung des Spannungsverlustes und des Querschnitts:

$$U_V = \frac{2 \times l \times I}{K \times A} \quad A = \frac{2 \times l \times I}{K \times U_V}$$

Formeln für die Berechnung des Leistungsverlustes und des Querschnitts:

$$P_V = \frac{2 \times l \times I^2}{K \times A} \quad P_{V\%} = \frac{P_V \times 100\%}{P} \quad A = \frac{2 \times l \times I^2}{K \times P_V}$$

Beachten sollte man zudem die **Netzimpedanz**, auch Schleifenwiderstand genannt, am Eingang des Wechselrichters.

Sie sollte **nicht höher als 1,20 Ohm** sein.

Bei höheren Werten kann es zu Abschaltungen des Wechselrichters kommen, da die ENS (selbsttätig wirkende Freischnittstelle) die Netzimpedanz kontinuierlich überwacht.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



### Gleichstrom-Freisaltstelle

Um Wartungs- oder Reparaturarbeiten durchzuführen, muss der Wechselrichter vom PVGenerator getrennt werden können. Dazu wird eine **Gleichstrom-Freisaltstelle** benötigt. Bei der Auswahl des Schalters sollte berücksichtigt werden, dass er das **Schaltvermögen für Gleichstrom besitzt**.

Einige Wechselrichter besitzen schon einen eingebauten Gleichstromschalter. Der separate DC-Schalter kann dann entfallen.

Berührungssichere MC-Steckverbindungen an Strangwechselrichtern können nur als sichtbare Trennstelle fungieren, ein Lastschalten ist damit nicht möglich.



## Freisalten der PV - Anlagen

„Sicher. Auch wenn's brennt.“

Gebäude mit Solaranlagen  
gefahrlos löschen



PV-Aus-Schalter

DC-Feuerwehrschalter mit Unterspannungsauslöser



In Deutschland Pflicht!  
In Österreich **empfohlen** !!!



Schiffner Peter, BM, Stadler Florian, V



## Der Eaton Feuerwehrscharter



Weil sich Wasser und Strom nicht vertragen, gibt es den Feuerwehrscharter.

### Häufig gestellte Fragen:

#### Wo wird der Feuerwehrscharter montiert?

Der Feuerwehrscharter sollte modularnah dort eingebaut werden, wo die DC-Leitung vom Dach ins Gebäude eintritt.

#### Wie kann nachgerüstet werden?

Der Feuerwehrscharter wird einfach und unkompliziert in den Strang zwischen PV-Modulen und Wechselrichter eingebaut.

#### Wie viele Feuerwehrscharter werden benötigt?

Pro DC-Leitung zum Wechselrichter (MPP-Tracker) wird jeweils ein Feuerwehrscharter benötigt.

#### Können mehrere Schalter gemeinsam ausgelöst werden?

Ja. Das einfache Durchschleifen der 230-V-Versorgungsspannung macht dies möglich.

#### Wird ein externer Auslösetaster bzw. Fernauslöser benötigt?

Grundsätzlich nicht. Trotzdem ist auch hier die Installation empfehlenswert, weil ein zentral montierter Fernauslöser schnellere Gegenmaßnahmen ermöglicht und entscheidende Sekunden sparen kann.

#### Müssen bestehende Anlagen nachgerüstet werden?

Eine gesetzliche Nachrüstpflicht besteht zurzeit nicht. Jedoch spricht die hohe Zusatzsicherheit, die mit wenig Aufwand und kleinen Kosten geschaffen werden kann, für die Nachrüstung.

#### Wer baut den Schalter ein?

Jeder Installateur, der PV-Anlagen baut, kann den Schalter einbauen oder nachrüsten.



#### Die Vorteile einer Anlage mit Feuerwehrscharter auf einen Blick:

- ⊕ Modulnahe Abschaltbarkeit aller spannungsführenden DC-Leitungen im und außerhalb des Gebäudes
- ⊕ Keine Gefährdung von Rettungskräften im Falle eines Brandes
- ⊕ Schnellere Gegenmaßnahmen am Einsatzort durch Fern- oder Unterspannungsauslösung
- ⊕ Zusätzlicher Schutz auch bei Kellerüberflutungen
- ⊕ Allpolige Trennung mit Wiedereinschaltenschutz macht Wartungsarbeiten sicherer
- ⊕ Keine Gefahr durch im Brandfall beschädigte stromführende DC-Leitungen
- ⊕ Abschaltung automatisch bei AC-seitiger Trennung des Gebäudes durch Feuerwehr oder EVU, über Fernauslöser oder durch Drehbetätigung sowie über Brandmeldeanlagen oder Feuerwehrtabelle möglich
- ⊕ Unkomplizierte Nachrüstbarkeit von Bestandsanlagen durch einfache Installation in Modulnähe



#### Nachteile herkömmlicher Anlagen:

Bei herkömmlichen Anlagen ist der DC-Lasttrennschalter Teil des Wechselrichters im Keller. Folgen:

- ⊖ Kein sicheres Löschen im Brandfall möglich oder Zeitverlust mit unter Umständen höheren Sachschäden
- ⊖ Hohe Gefährdung bei Kellerüberflutungen, z. B. in Hochwassergebieten
- ⊖ Stromschlaggefahrung mit bis zu 1000 V durch feuergeschädigte oder im Wasser hängende Leitungen
- ⊖ Gefahr der Lichtbogenzündung durch thermisch beschädigte Leitungen
- ⊖ Fehlende einfache und modulnahe Trennmöglichkeit bei Wartungsarbeiten im Gebäude

Für mehr Sicherheit im Brand- oder Überflutungsfall empfehlen wir deshalb die räumliche Trennung von Wechselrichter und Lasttrennschalter mit dem Eaton Feuerwehrscharter. Nur so lassen sich die Gefährdung von Rettungskräften und die Verzögerung von Gegenmaßnahmen zuverlässig verhindern.

### VDE-Bestimmungen und DIN-Normen

Da für die Errichtung von Photovoltaikanlagen noch keine allgemeingültigen Regelwerke existieren, ist die Installation nach den bestehenden DIN VDE-Bestimmungen, den "allgemein anerkannten Regeln der Elektrotechnik", auszuführen.

**Insbesondere die DIN VDE 0100 (Errichten von Starkstromanlagen bis 1.000V) und die DIN VDE 0105 Teil 100 (Betrieb von elektrischen Anlagen) sind zu beachten.**

Die DIN VDE 0100 **Teil 712** (Errichten von Photovoltaikanlagen) ist am 01. Juni 2006 in Kraft getreten. Neue Anlagen müssen in Anlehnung an diese Vorschrift errichtet werden.

### ENS - selbsttätig wirkende Freischaltstelle

Die ENS wurde als gleichwertiger Ersatz für eine dem VNB jederzeit zugängliche Schaltstelle mit Trennfunktion entwickelt. Wesentliche Merkmale der ENS sind eine Spannungs- und Frequenzüberwachung sowie eine Netzimpedanzmessung mit jeweils fest eingestellten Auslösegrenzen.

Jeder Eingriff in die ENS und jede Veränderung an der ENS sind unzulässig, da es sich um ein sicherheitsrelevantes, typ- und stückgeprüftes Betriebsmittel handelt. Sie kann aus einem separaten Gerät bestehen oder im Wechselrichter integriert sein und muss durch eine Anzeige die Netzeinspeisung signalisieren.



1200,-



Im Dezember 2008 wurde eine 40 Megawatt-Photovoltaikanlage im Energiepark Waldpolenz auf einem ehemaligen Militärflugplatz in den Gemeinden Bennewitz und Brandis (bei Leipzig) fertig gestellt. Sie war damals die drittgrößte Photovoltaik-Anlage der Welt. Das **Investitionsvolumen** lag bei etwa **130 Millionen Euro**.



Seit September 2011 beherbergt Brandenburg den bisher größten Solarkomplex der Welt. Die aus 330.000 kristallinen Solarmodulen bestehende Anlage Senftenberg II/III steht auf **200 Hektar** des ehemaligen Tagebaus Meuro und hat eine Gesamtleistung von **166 Megawatt(MW)**.

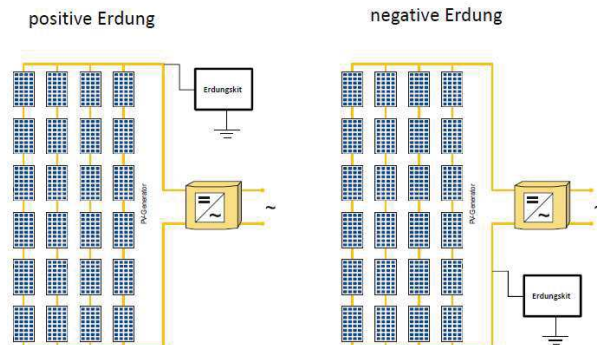




## Potentialfestlegung bei bestimmten Zelltechnologien



Problem: Degradationseffekte, die bei einigen Zelltechnologien beobachtet werden  
Auswirkung bei rückseitenkontaktierten Zellen wie Sunpower: reversible Leistungsreduktion  
Auswirkung bei Dünnschichtzellen in Superstrat Technologie: dauerhafte Leistungsreduktion



Wird vom Hersteller angegeben wenn erforderlich.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

## Erdung

Die Berührungssicherheit elektrischer Anlagen hat insbesondere auf dem Dach eine hohe Bedeutung. Primär-Schädigungen durch elektrischen Schlag sind gerade auf Dächern sehr gefährlich, da sie sehr leicht zu sehr schweren Sekundärschäden (Sturz vom Dach) führen können.

Eine konsequente Erdung aller metallischen Teile einer elektrischen Anlage ist gemäß **DIN VDE 0100, Teil 712** in jedem Falle **zwingend vorgeschrieben**.

Insbesondere bei Verwendung **trafloser Wechselrichter** ist eine **kapazitive Aufladung** auf hohe Gleichspannungen am Modul nicht auszuschließen.

Die Folge können **hohe Berührungsspannungen am Modul** sein.

Die Hersteller trafloser Wechselrichter schreiben aus diesem Grunde eine Erdung der Modulrahmen verbindlich vor (Beispiel Bedienungsanleitung SMA):



Beim Aufbau von PV-Anlagen wird diese **vorgeschriebene Erdung** der Module in der Praxis oft außer acht gelassen. Die Module werden mit ihren eloxierten Rahmen lediglich auf das Montagegestell geklemmt.

### Hinweis:

Beachten Sie in jedem Falle auch weitergehende Vorschriften zum **Blitzschutz** von Anlagen!

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

### Erdung und Potentialausgleich

Die Erdungsleitung **muss auf kürzestem Weg zum Erder** geführt werden. Wegen der Überschlags- und Induktionsgefahr sollte sie entfernt von den anderen Elektroleitungen verlegt, geradlinig und senkrecht auf direktem Weg zur Erdungsanlage geführt werden.

In der DIN VDE-Vorschrift 0100 Teil 712 "Errichten von Photovoltaikanlagen" heißt es hierzu:



"Metallene Konstruktionsteile des PV-Generators, müssen direkt mit der Haupt-Erdungsklemme oder -schiene verbunden werden. Diese Verbindung erfordert einen örtlichen Erder und die Verwendung von Potentialausgleichsleitern mit einem Querschnitt in Übereinstimmung mit DIN VDE 0100 Teil 543".

**Eine Erdungsleitung von mindestens 16 mm<sup>2</sup>- Kupfer (einadrig) oder 25 mm<sup>2</sup> Aluminium erfüllt diese Anforderung.**

In der VDE-Vorschrift 0100 Teil 712 ist zum **Thema Potentialausgleich** folgendes aufgeführt:

"Wenn ein Gehäuse im Gleichspannungsbereich, einschließlich des Gehäuses des Wechselrichters nicht der Schutzklasse II oder einer gleichwertigen Isolierung entspricht, muss ein zusätzlicher Potentialausgleich das leitfähige Gehäuse des Wechselrichters und berührbare fremde leitfähige Teile miteinander verbinden.

Wenn Potentialausgleichsleiter errichtet werden, müssen diese in möglichst engem Kontakt mit Wechsel- und Gleichstromleitungen und Zubehör errichtet werden."

**Die heute verwendeten Module entsprechen fast alle der Schutzklasse II. Ein zusätzlicher örtlicher Potentialausgleich ist deshalb bei der Montage nicht immer erforderlich.**

### Typische Verschattungssituation



**Abbildung 2:** PV-Dachanlage mit idealer Südausrichtung, mehreren Teilgeneratoren an Multistring-Wechselrichtern und Verschattung insbesondere des markierten Teilgenerators durch die Dachgauben

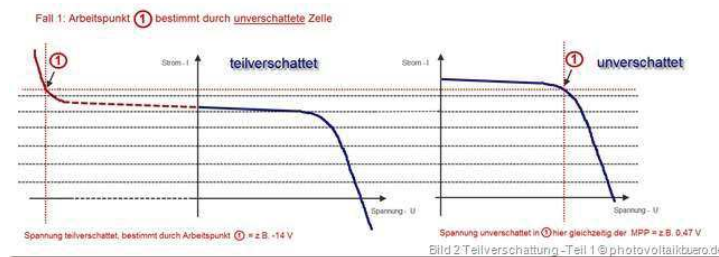
**Fallbeispiel 1:**

Werden alle unverschatteten Zellen (entspricht Bild rechts) im MPP betrieben, wird an der teilverschatteten Zelle (Bild links) eine negative Spannung abfallen, die um ein Vielfaches größer ist als die MPP Spannung an einer unverschatteten Zelle (Bild 1).

Die Spannung, die dann am Wechselrichter ankommt, ist die Summe der Spannungen aller Zellen, also die Summe aller unverschatteten Zellen minus der negativen Spannung an der verschatteten Zelle.

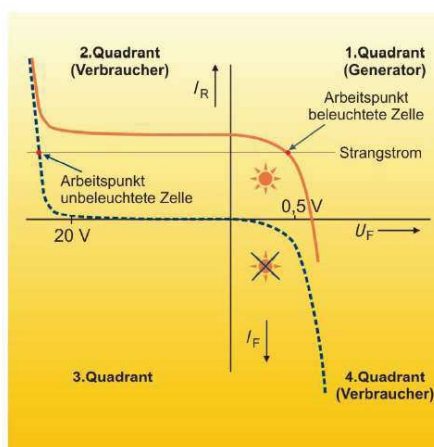
Das Modul liefert daher in der Summe bei gleichem Strom eine kleinere Spannung.

In der verschatteten Zelle wird die nicht mehr am Wechselrichter ankommende Leistung in Wärme umgesetzt (kann die Zelle schädigen).



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

### Arbeitspunkte der beleuchteten und unbeleuchteten Zelle



Alle in Reihe geschalteten Zellen weisen den gleich Strom auf  
Jede Zelle hat einen Arbeitspunkt, der auf ihrer Kennlinie liegt  
Sind nur wenige Zellen verschattet, geben die unverschatteten Zellen den Strangstrom vor  
Der Arbeitspunkt der beleuchteten Zellen bleibt (nahezu) gleich  
Der Arbeitspunkt der verschatteten Zelle ist beim gleichen Strom, aber bei negativer Spannung  
Die Leistung der verschatteten Zelle ergibt sich aus dem Strangstrom und der (negativen) Spannung  
Die verschattete Zelle ist ein Verbraucher und muss die Leistung als Wärme abgeben

$I_R$ =Rückwärtsstrom (Sperrstrom)  
 $I_F$ =Vorwärtsstrom (Durchlassstrom)

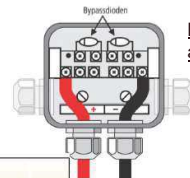
© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



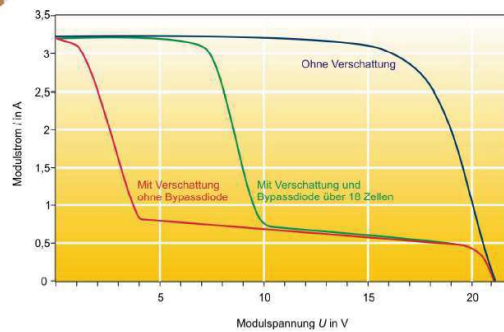
## Verschattung und Bypassdioden



Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.  
International Solar Energy Society, German Section

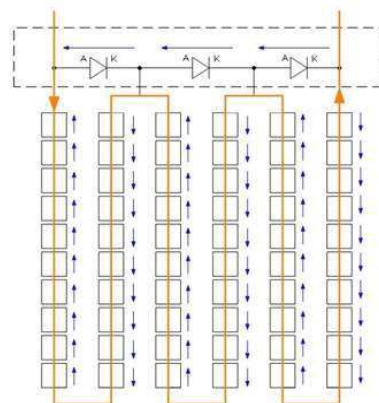


Modul-  
anschlusskasten



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Im ersten Bild wird zunächst der Strom und die einzelnen Zellspannungen am **unverschatteten** Modul betrachtet.



Stromfluss durch unverschattetes Solarmodul. Alle Bypassdioden sperren da die Spannungen an den Kathoden größer ist als die Spannung an den Anoden.

Bild 4 Teilverschattung - Teil 1 © photovoltaikburo.de

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

**Bypassdioden** dienen dazu, verschattete oder durch Blätter abgedeckte Zellen, die durch die Verschattung zum Verbraucher werden, vor Zerstörung zu schützen.

Für die Bypassdiode gilt: Ab einer positiven Diodenspannung von 0,35V bis 0,5V (je nach Diodentyp) wird die Diode leitend.

Betrachtet man nun den Fall, in dem eine Zelle eine Teilverschattung aufweist und der Wechselrichter den gleichen Strom abnimmt wie im unverschatteten Zustand (Fallbeispiel 1 oben, bzw. Bild 2), stellt sich für das gesamte Modul die im Bild 5 gezeigte Situation ein.

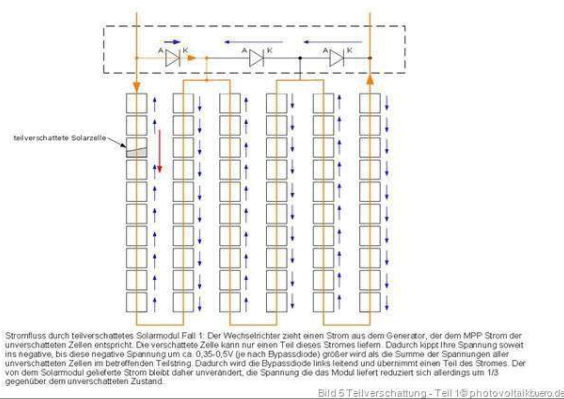
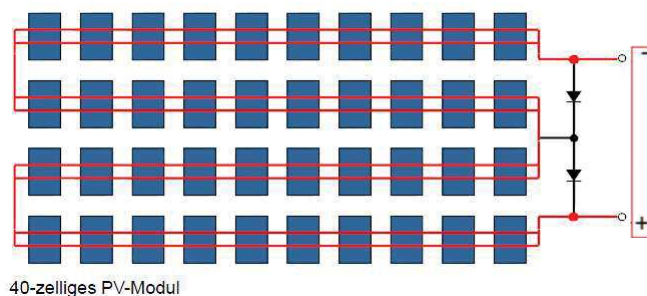
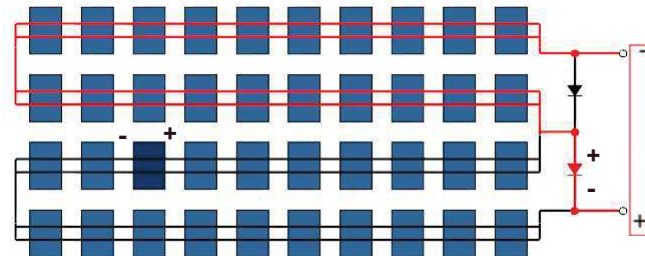


Bild 5 Teilverschattung - Teil 1 © photovoltaikbüro.de

### Solarmodul - Verschattung



40-zelliges PV-Modul

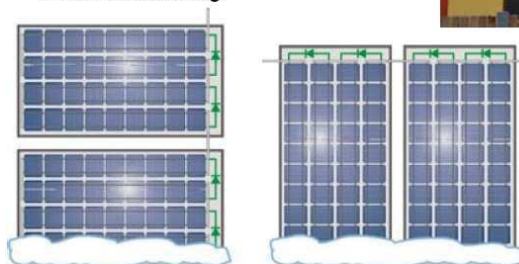


40-zelliges PV-Modul

An dieser Zelle kehrt sich die Spannung um und wird so stark negativ, bis sie vom Betrag her um ca. 0,35 – 0,5V (je nach Typ der Bypassdiode) größer ist als die Summe der Spannungen aller unverschatteten Zellen im betreffenden Teilstring.

## Schnee

- Meist vernachlässigbare Verluste
- Schnee schmilzt und rutscht von PV-Modulen schneller ab als von Ziegeldächern
- Während des Schneefalls kaum Einstrahlung
- Anders in alpinen Regionen und bei Schneeanhäufung



Ist von einer regelmäßigen Verschattung durch Schnee auszugehen kann dies bereits bei der Planung des Anlagenkonzeptes berücksichtigt werden

### PV-Heizung (Solutronic.de)

Die DE-ICING Funktion eignet sich nur für kristalline PV-Generatoren, deren Leerlaufspannung geringer als 760V bei -10°C liegt, da sonst nicht die volle Heizleistung zustande kommt. Der Grund hierfür ist, dass die maximal mögliche DC-Heizspannung 835V beträgt, und die PV-Module im Rückspeisebetrieb eine höhere Spannung benötigen.



Ob dadurch ein vollständiges Enteisen der Module stattfindet hängt nicht zuletzt von Dachaufbau, Anbringung der Module, Umgebungstemperatur usw. ab.

Es ist zu erwarten, dass die Module um ca. 10 °C erwärmt werden können.

Der DE-ICING Betrieb darf ausschließlich manuell gestartet werden und nicht automatisiert.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

### Optimierung bei verschatteten kristallinen Modulen



Schattenwurf auf 4 Module  
Insgesamt betroffen sind 7 Bypassdioden



Schattenwurf auf 2 Module  
Insgesamt betroffen sind 2 Bypassdioden

Beim Beispielgenerator mit 16 Modulen und 32 Bypassdioden ergibt sich durch die geänderte Modulmontage, dass sich die Verschattung statt auf 20% lediglich auf 6 % der Bypassdioden auswirkt

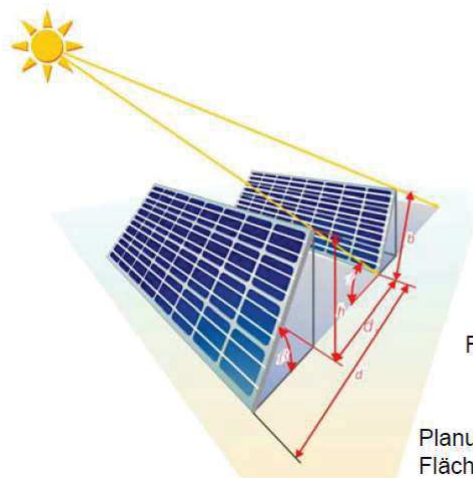
© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg





© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

### Verschattung bei aufgeständerten Anlagen



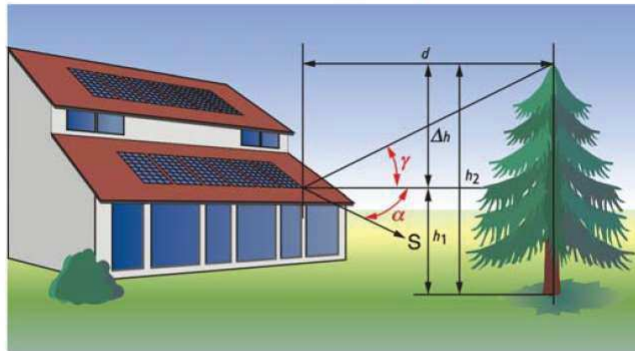
- $b$  - Modulbreite
- $h$  - Aufständerungshöhe
- $d$  - Modulreihenabstand
- $\beta$  - Neigungswinkel
- $d_1$  - Gestellabstand
- $\gamma$  - Abschattungswinkel

Flächennutzungsgrad  $f = \frac{b}{d}$

Planungsaufgabe: Optimierung zwischen  
Flächennutzung, Einstrahlungsgewinn  
und Abschattungsverlusten

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

### Geometrische Verschattungsanalyse



#### Bestimmung von Höhen- und Azimutwinkeln der Objekte:

$\gamma$  - Höhenwinkel

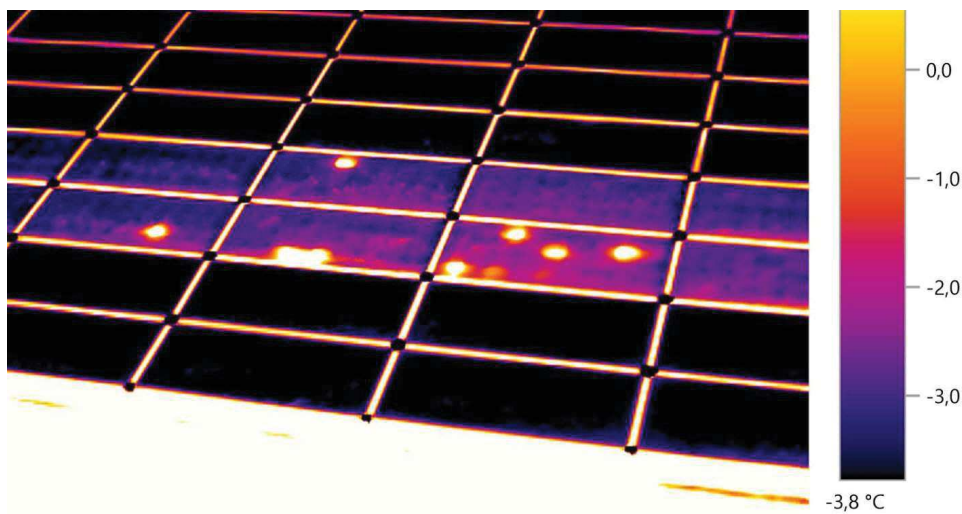
$h_1$  - Höhe der PV-Anlage

$\alpha$  - Azimut

$h_2$  - Höhe des verschattenden Objektes

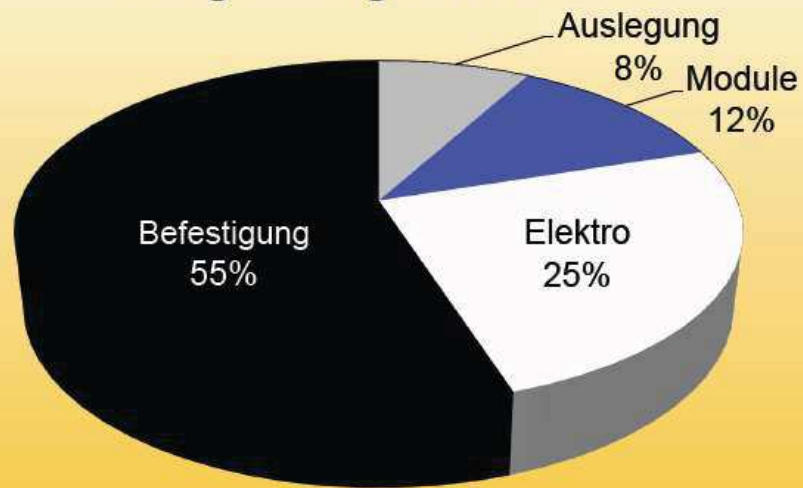
$d$  - Abstand zwischen PV-Anlage und verschattendem Objekt

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

## Anlagenmängel - detailliert



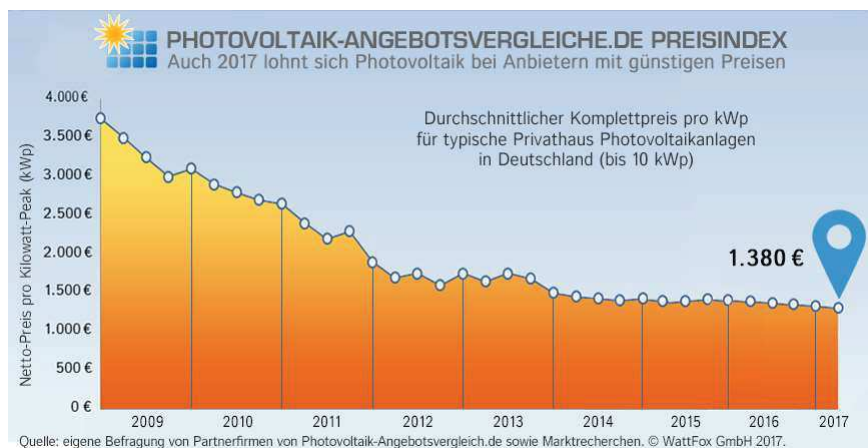
© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

## Solartektor



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg





© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

**Solarstromförderung: Halbierung in nur 3 Jahren**

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

## Eigenverbrauch vs. Direktverbrauch

Beim **Eigenverbrauch** spielt es keine Rolle, ob der Strom direkt verbraucht oder zunächst ins zentrale Stromnetz eingespeist und zu einer anderen Zeit wieder bezogen und selbst verbraucht wird. Unter Eigenverbrauch wird also jede mögliche Art von Eigenstromverbrauch beschrieben.



**Direktverbrauch** bedeutet unmittelbarer Eigenverbrauch ohne vorherige Netzeinspeisung !  
Wichtig ist dabei, dass unter Direktverbrauch nur der Verbrauch von dem Strom verstanden wird, der von der Photovoltaik-Anlage erzeugt und unmittelbar selbst verbraucht, also nicht erst ins öffentliche Stromnetz eingespeist und zu einem anderen Zeitpunkt wieder aus dem Netz bezogen und verwendet wird.

Die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage kann gesteigert werden, indem der Direktverbrauch aktiv geplant wird. So macht es zum Beispiel Sinn, stromintensive Haushaltsgeräte wie die Waschmaschine, den Trockner oder die Spülmaschine zu Zeiten hoher Sonneneinstrahlung zu nutzen.

**Direktverbrauch** = den Strom in dem Moment verbrauchen, in dem er produziert wird (wird vergütet, weil Netze unbelastet bleiben ! )  
**Eigenverbrauch** = überschüssigen Strom zunächst ins Netz schieben und später wieder herausziehen (zum Nulltarif)

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

### EEG-Umlage auf Eigenverbrauch von Solarstrom

Für PV-Anlagen, die ab dem 1.8.2014 installiert werden, muss für den selbst verbrauchten Solarstrom eine anteilige EEG-Abgabe von 40 Prozent der jeweiligen EEG-Umlage (derzeit 6,35 Cent) entrichtet werden.

Die Belastungshöhe wird in drei Stufen erreicht:

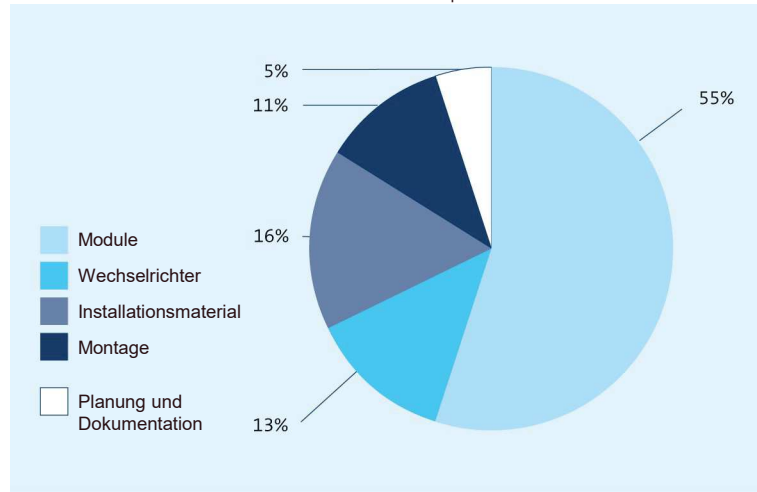
- bis 31.12.2016: 35 Prozent – das entspricht derzeit 2,22 Cent
- ab 01.01.2017: 40 Prozent



**Bagatellegrenze:** Für PV-Anlagen, mit einer Leistung bis 10 kWp sind die ersten 10 MWh Eigenverbrauch von der EEG-Umlage befreit.  
Damit ändert sich für PV-Anlagen eines typischen Ein- und Zweifamilienhauses nichts.

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

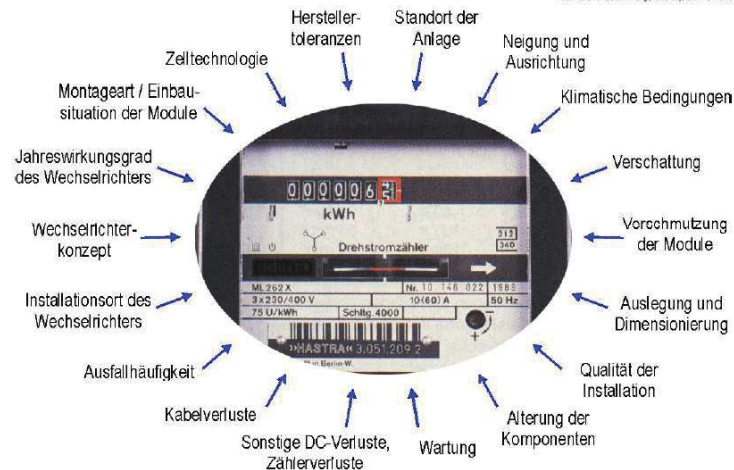
### Kostenaufteilung einer netzgekoppelten Photovoltaik-Anlage mit einer Leistung von 5 kW<sub>p</sub> in Deutschland



Komponente	geschätzte Kosten
Solarmodule	0,45 Euro bis 0,90 Euro pro Wp
Wechselrichter	ca. 200 Euro/kW
Kabel 100 Meter	100 bis 500 Euro
Montagesystem	100 bis 150 Euro pro kWp
Montage	200 Euro pro kWp
Einspeisemanagement	mindestens 150 Euro

#### Wegweiser zur eigenen Photovoltaikanlage

1. Beratung mit Besichtigung vor Ort und Angebots-erstellung durch Solarfirma oder Handwerk. Um kompetente Unternehmen in der Region zu finden, empfiehlt sich der Blick ins Internet und/oder die Kontaktaufnahme mit Anlagenbetreibern in der Nachbarschaft.
2. Finanzierungsberatung durch die Hausbank.
3. Bei Inanspruchnahme von KfW-Mitteln: Einreichung des Kreditantrags bei der Hausbank. Auftragserteilung und Bau dürfen nicht vor Antragstellung, können jedoch auf eigenes Risiko vor Bewilligung erfolgen.
4. Ggf. Bewilligung des KfW-Kredits
5. Beantragen des Netzzanschlusses beim örtlichen Netzbetreiber (erledigt i. d. R. der Installateur).
6. Bau und Inbetriebnahme der Anlage.
7. Ggf. Abfordern des KfW-Kredits und Bezahlung der Anlage.
8. Abschluss eines Stromlieferungsvertrages EEG mit dem örtlichen Netzbetreiber.

**Einflussfaktoren auf den solaren Ertrag**Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.  
International Solar Energy Society German Section

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

**Planung und Dimensionierung von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen:****1. Festlegung der Anlagengröße**

- Investitionsvolumen klären
- Größe und Ausrichtung der Dachfläche, Position von Dachaufbauten feststellen
- Verschattungsfreiheit des Daches bzw. des Teils, auf dem die Anlage installiert werden soll, überprüfen, dazu eventuell vorhandene Antennen oder Blitzfangstangen versetzen.

**2. Auswahl der Solarmodule**

- Entscheidung für einen Modultyp (monokristalline, polykristalline oder Dünnschichtmodule)
- Festlegen der Modulanzahl in Abhängigkeit von der gewünschten Anlagengröße bzw. der Dachgröße
- Modulspannungen ermitteln bei den auftretenden Betriebstemperaturen (-10°C bis 70°C)



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

### 3. Auswahl des Wechselrichters



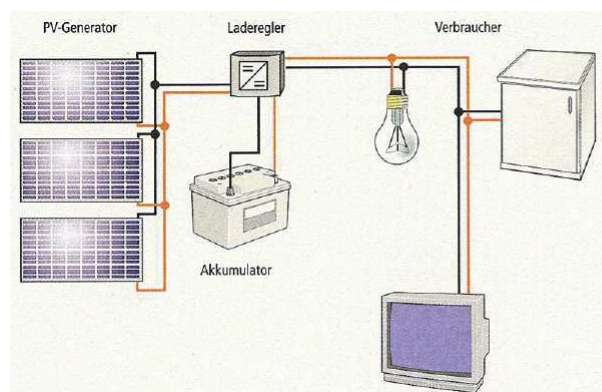
- Wahl des Wechselrichters entsprechend der Anlagenleistung, den Modulspannungen und dem zulässigen Eingangsstrom
- Gewährleistung, Garantie und Service des Wechselrichterherstellers bei der Auswahl der Wechselrichter beachten
- Auswahl des Wechselrichterkonzepts und der Modulverschaltung entsprechend dem MPP-Bereich des Wechselrichters

Als Faustformel gilt:

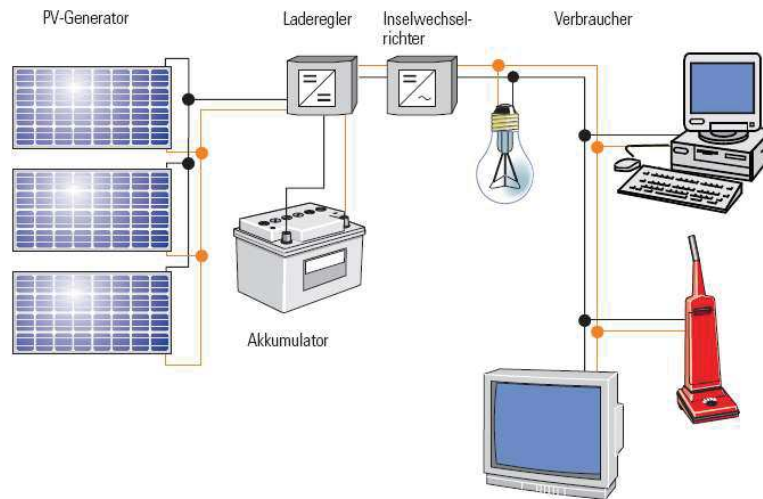
$$P_{WR} = 0,9 \times P_{PV} \text{ oder } P_{PV} = 1,1 \times P_{WR}$$

Bei einer Unterdimensionierung sollte aber unbedingt das Überlastverhalten des Wechselrichters beachtet werden. In keinem Fall darf die maximale Eingangsspannung des Wechselrichters überschritten werden.

## Inselssystem







© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



Netzunabhängig



1300,-

Netzgekoppelt



1900,-

© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

### DGS SolarRebell:

Die Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (DGS) hat mit dem DGS SolarRebell ein neues Projekt für die dezentrale Energiewende für jedermann gestartet. Als größter Solarverband Deutschlands bietet die DGS mit Ihrem SolarRebell eine kostengünstige Kleinst-PV-Anlage an. Die DGS führt die Aktion in Kooperation mit dem Photovoltaik-Anbieter **miniJOULE** durch. Vor allem DGS-Mitglieder – und solche, die es werden wollen – können davon profitieren. Die Kleinst-PV-Anlage zur direkten Einspeisung in das Hausnetz gibt es **für DGS-Mitglieder zu einem Sonderpreis.**

**Mit einem großzügigen Rabatt für ihre Mitglieder wird eine 250 Watt-Anlage für 408 € brutto angeboten, die gute 200 kWh Solarstrom im Jahr erzeugt und diesen direkt in das Hausnetz einspeist.**



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Damit reduziert dieser Anlagentyp die Grundlast des Haushalts und produziert darüber hinaus normalerweise keine Strommengen zur Einspeisung in das öffentliche Netz. Bei diesen sogenannten Kleinst-PV-Anlagen wird das Modul über einen speziellen Wechselrichter an der (Steck-)Dose eines entsprechend abgesicherten Haushaltsstromkreises angeschlossen, der Strombezug aus dem Netz wird reduziert, der Bezugszähler läuft langsamer oder steht still.

Hierbei sind aufgrund der in Deutschland geltenden Gesetze und Technischen Normen drei Dinge zu beachten:

- Es muss eine separat abgesicherte Leitung von der Stromverteilung zur Anschlussdose für Stecker mit Berührungsschutz vorliegen
- Die Kleinst-PV-Anlage **muss über einen NA-Schutz verfügen (Netz- und Anlagenschutzrelais)**, der bei Netzstörung die Anlage sicher abtrennt
- Die Inbetriebnahme der Anlage sollten Sie beim Netzbetreiber anmelden.

#### Das Paket „miniJOULE Single XL Letrika 250“ beinhaltet:

- ein 250 Wp Modul (polykristallin, Canadian Solar)
- einen Wechselrichter Letrika 260
- eine Unterkonstruktion aus Aluminium sowie Montagezubehör
- Nur noch das Anschlusskabel muss gewählt werden.

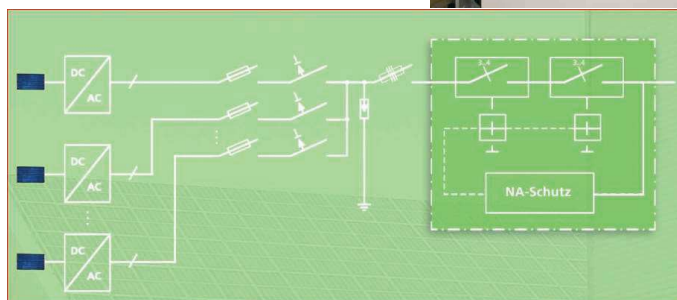


Die Besonderheit dieses Paketes besteht darin, dass der Wechselrichter sämtliche vorgeschriebene Sicherheitsfunktionen beinhaltet, die Wirk- und die Blindleistung einstellbar sind und er einen langlebigen und robusten Aufbau besitzt (25 Jahre Garantie). Dafür hat dieser Wechselrichter zu Recht den 1. Innovationspreis beim diesjährigen Symposium Photovoltaische Sonnenenergie vom OTTI im Kloster Banz gewonnen. Der Paketpreis liegt bei 408 Euro (brutto) für DGS-Mitglieder. Für Nichtmitglieder beträgt er 473 Euro, jeweils ohne Versandkosten. Die Differenz – 65 Euro – entsprechen einem Jahresbeitrag einer DGS-Mitgliedschaft.

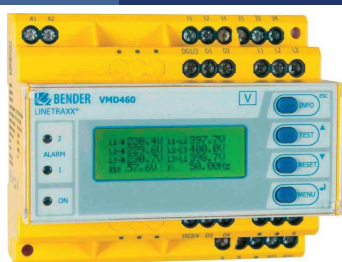
© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

**Netzanschluss:** Um Stromnetze und Photovoltaikanlagen in Störfällen vor Schäden zu schützen, schreibt die Niederspannungsrichtlinie seit dem Jahr 2012 bestimmte Schutzeinrichtungen vor.

Ein **Netz- und Anlagenschutz** hilft unter anderem dabei, Niederspannungsnetze bei Bedarf für Wartungsarbeiten abzuschalten.



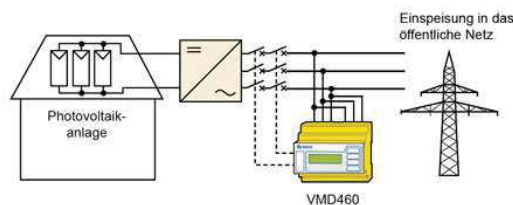
© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



Das VMD460 ist ein externer **Netz- und Anlagenschutz** (NA-Schutz), der die Verbindung zwischen dem öffentlichen Netz und der Erzeugungsanlage bei Grenzwertverletzungen durch Ansteuern von Kuppelschaltern trennt.

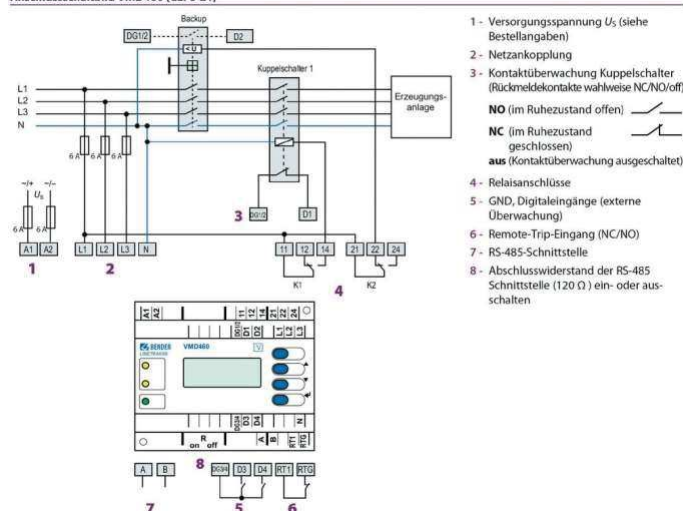
Befinden sich Spannungs- und Frequenzmesswerte außerhalb von normativ geforderten Schwellwerten, schalten die Relais des VMD460.

Das VMD460 ist multifunktional einstellbar. Die aktuellen Messwerte werden permanent auf dem LC-Display angezeigt. Die zum Schalten der Relais führenden Messwerte werden gespeichert.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

Anschlusschaltbild VMD460 (CEI 0-21)



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg

**Allpoliges Trennen**

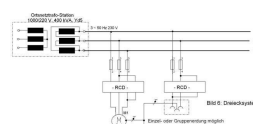
Die VDE 0100-460 regelt im Artikel 461.2 wie und was in Verteilnetzen geschaltet werden darf.

**TN-C-Netz:** Der Sternpunkt des Transformators wird geerdet. Vom Transformator werden im Kabel die drei Phasen und ein PEN-Leiter (Kombination aus PE und N) zum Verbraucher geführt. Beim Verbraucher kann nun bei Bedarf der PEN-Leiter in PE („protective earth“ beziehungsweise Schutzleiter) und N (Null- oder Neutralleiter) aufgeteilt werden. Der PEN-Leiter muss einen Querschnitt von mindestens 10 Quadratmillimeter Kupfer oder 16 Quadratmillimeter Aluminium aufweisen. Reine TN-C-Netze werden nur bei leistungsstarken Verbrauchern eingesetzt.

**TN-C-S-Netz:** Der Sternpunkt des Transformators wird geerdet. Vom Transformator werden im Kabel die drei Phasen und ein PEN-Leiter (Kombination aus PE und N) zur Verteilung vor dem Verbraucher geführt. In der Verteilung wird dann N und PE aufgeteilt und separat zum Verbraucher geführt. N und PE dürfen später nicht wieder zusammengeführt werden. Dies ist die häufigste Netzform im deutschen Niederspannungsnetz.

**TN-S-Netz:** Der Sternpunkt des Transformators wird geerdet. An diesem Sternpunkt werden N und PE bereits aufgetrennt und zusammen mit den drei Phasen getrennt bis zum Verbraucher geführt. N und PE dürfen nicht mehr zusammengebracht werden. Echte TN-S-Netze sind im deutschen Niederspannungsnetz eher selten. Meist wird diese Netzform in größeren gewerblichen Anlagen mit eigenem Transformator eingesetzt.

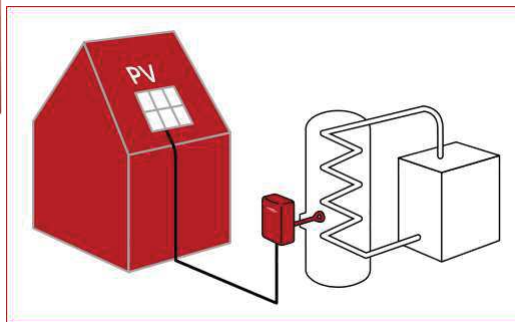
**TT-Netz:** Der Sternpunkt des Transformators wird geerdet. An diesem Sternpunkt wird nur ein N-Leiter abgegriffen und zusammen mit den drei Phasen bis zum Verbraucher geführt. N und PE dürfen nicht mehr zusammengebracht werden. Am Verbraucher ist unbedingt immer ein Anlagenender vorzusehen. Echte TT-Netze sind im deutschen Niederspannungsnetz eher selten. Auch funktioniert die Schutzart „Schutzerdung“ nicht zuverlässig, da der Widerstand der Erde stark variieren kann. Eine nur geringe Erhöhung des Erdungswiderstandes hat aber zur Folge, dass vorgeschaltete Sicherungselemente nicht mehr schnell genug abschalten können. Daher wird hier dringend empfohlen, die gesamte Anlage mit Fehlerstromschutzschaltern zu sichern.



© Handwerkskammer Flensburg, Johanniskirchhof 1-7, 24937 Flensburg



**PV Heater**  
Photovoltaik-Thermie-Heizsystem



### Eisman-Schaltung Einspeisemanagement

Mit dem Begriff **Einspeisemanagement**, abgekürzt auch **Eisman** oder **Einsman** genannt, ist die vom Netzbetreiber vorgenommene **Abregelung** der Einspeisung von Strom aus Erneuerbaren Energien sowie KWK- und Grubengasanlagen in das Stromnetz gemeint. Diese Zwangsabregelung der Einspeisung wird notwendig, wenn einzelne Abschnitte eines Verteil- oder Übertragungsnetzes überlastet sind und ein solcher **Engpass** die Versorgungssicherheit bedroht. Konkret bedeutet dies, dass z.B. Windkraftanlagen aus dem Wind gedreht oder Wechselrichter bei Solaranlagen ausgeschaltet werden.

