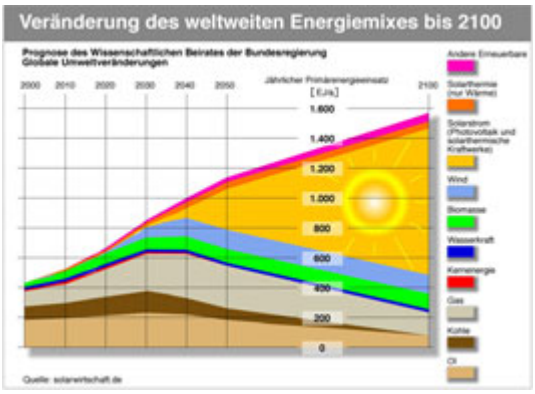
Anschluss von Photovoltaikanlagen

In Zeiten steigender Energiepreise, schwindender Rohstoffe und einem neuen Bewusstsein für Ökologie ist die Nachfrage nach Regenerativen Energien stark gestiegen. Dieser Beitrag behandelt die die generelle Funktionsweise und den Aufbau von Photovoltaikanlagen zur Solarstromerzeugung.



Warum Sonnenenergie nutzen?

Die endlichen Energieressourcen, wie beispielsweise Kohle, Erdöl und Erdgas, stehen uns nur in begrenzter Menge zur Verfügung. Durch den weltweit erhöhten Bedarf an Energie, der begrenzten Ressourcen, der Verknappung der fossilen Brennstoffe und damit verbundenen steigenden Bezugskosten ist die Nutzung von alternativen Energien unumgänglich.

Die Sonne ist eine "unendlich vorhandene Energieressource" und lässt sich als Ener-giequelle nutzen. Die Nutzung erfolgt heute einerseits zur Warmwasserbereitung, wobei in Sonnenkollektoren das durchfließende Wasser durch die Sonnenenergie erwärmt wird. Diese Anlagen werden umgangssprachlich oftmals als "Solaranlagen" bezeichnet, wobei richtigerweise die Bezeichnung "solarthermische Anlage" oder der Begriff "Solarwärme" verwendet werden müsste.

Bei der Nutzung des photovoltaischen Effekts wird hingegen Sonnenlicht direkt in elektrische Energie umgewandelt. Hierfür wird oftmals der Begriff "Photovoltaik" verwendet, zur besseren Verdeutlichung der Nutzenergie sind die Begriffe "solare Stromerzeugung" oder "Solarstrom" eindeutiger.

Bei der solaren Stromerzeugung wird direkt aus dem Sonnenlicht elektrische Energie gewonnen, die sich zu 100 % in nutzbare Arbeit umwandeln lässt, daher spricht man auch von "Edelenergie". Die gewonnene Energiemenge ist hierbei von der Dauer und Intensität der Sonneneinstrahlung abhängig. Da sich die hierbei gewonnene Energie nicht verlustfrei speichern lässt, wird diese heute vollständig in die Stromnetze der Netzbetreiber (VNB) eingespeist, durch diesen Vergütet und durch die angeschlossenen Haushalte genutzt. In diesem Zusammenhang spricht man von "Netzgekoppelten Photovoltaikanlagen".

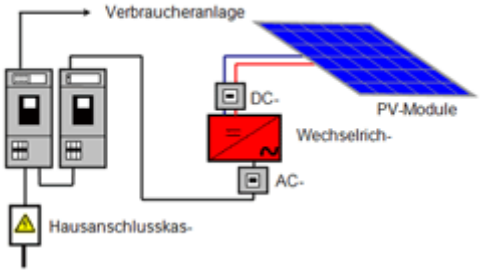
Wie funktioniert eine Solarstromanlage?

Der photoelektrische Effekt wurde bereits im Jahre 1839 von dem französischen Physiker Alexandre Edmond Becquerel entdeckt. Albert Einstein gelang es 1905, diesen Effekt richtig zu erklären, wofür er 1921 den Nobelpreis für Physik bekam. Nach vielen weiteren Entdeckungen und Entwicklungen gelang es 1954 die ersten Siliziumzellen, mit Wirkungsgraden von über vier Prozent, zu produzieren.

Die Raumfahrt nutzte diese Technologie als erstes zur Stromerzeugung im Weltall, zu diesem Zeitpunkt war die Herstellung von Solarzelle noch sehr teuer und von daher für andere Anwendungsgebiete uninteressant. Durch Energiekrisen und dem gestiegenen Umweltbewusstsein wurde Mitte der 70er Jahre auch die Erzeugung von Solarstrom für Wohngebäude interessant. Mit gesetzlichen Maßnahmen wie dem 100.000-Dächer-Programm wurden erhebliche finanzielle Anreize geboten.

Quelle: www.voltimum.de

Sonne, Energiequelle der Zukunft?



Der Markt für Photovoltaikanlagen boomt und weist zurzeit enorme Zuwachsraten auf. Das Gesetz für erneuerbare Energien (EEG) unterstützt die umweltfreundliche, selbst produzierte Energie und sichert eine gute Rendite durch regelmäßige Einnahmen.

Unter günstigen Bedingungen amortisieren sich die Anlagen bereits in einem Zeitraum von 10 Jahren. Die mögliche Rendite ist im Wesentlichen abhängig von den Investitionskosten, der Ausrichtung der Module und den möglichen Abschattungen. Die größten Kosten entstehen bei Photovoltaikanlagen durch die Module. Hinzu kommen Kosten für Wechselrichter, Unterkonstruktionen und Montage.

Die Entwicklung der Photovoltaik-Technik befindet sich in einer rasanten Entwicklungsphase, die Solarzellen und Wechselrichter werden immer Leistungsstärker, effektiver und kostengünstiger, so dass kleine und mittlere Anlagen mit einer Nennleistung von 1 kWp bis zu 30 kWp für den privaten, gewerblichen und landwirtschaftlichen Bereich rentabel sind und für Handwerker ein wichtiges Marktsegment entstanden ist.

Durch die Förderungsprogramme, die Akzeptanz und gute Rentabilität hat sich die in Deutschland installierte Leistung gegenüber 2005 im Jahr 2006 von 1910 MW auf 3063 MW vergrößert.

Anschluss an das Stromversorgungsnetz

Bei der Errichtung von Photovoltaikanlagen sind eine Vielzahl von technischen Regeln zum Anschluss und zur Einspeisung in das Energieversorgungsnetz zu beachten. Aufgrund der exponierten Anordnung der Photovoltaik-Module sind die Anlagen zudem besonders stark durch Blitzentladungen und blitzbedingte Überspannungen gefährdet, die zu erheblichen Schäden an den empfindlichen Modulen und Wechselrichtern führen können.

Für die Erzeugung elektrischer Energie unter Ausnutzung des photoelektrischen Effekts sind mehrere Anlagenteile von großer Bedeutung. Der generelle Aufbau einer solchen Anlage ist im Bild 2 dargestellt.

Beschreibung des Grundsätzlichen Aufbaus und der Funktionen

Die Photovoltaik-Module (PV-Module), die das Sonnenlicht in eine Gleichspannung umwandeln, werden zu einem Strang (engl. String) zusammengeschaltet und bilden in der Summe den sog. Solargenerator. Der Wechselrichter wandelt die vom PV-Generator gelieferte Gleichspannung in eine netzkonforme Wechselspannung um und speist somit die erzeugte Energie in das Versorgungsnetz ein. Ein separater Zähler erfasst dabei den rückgespeisten Strom, der von Netzbetreiber (VNB) entsprechend vergütet wird.

Für die Auswahl der Komponenten, den Aufbau und Anschluss an das Niederspannungsnetz sind zahlreiche Grundsätze, Bestimmungen und Vorschriften zu beachten.

Quelle: www.voltimum.de

Anforderungen auf der Gleichspannungsseite

Mit den Modulanschlussleitungen werden die einzelnen Photovoltaikmodule untereinander elektrisch verschaltet. Die Verschaltung der Module ist Abhängig vom Wechselrichteraufbau und dessen Kenndaten.

Der Eingangsspannungsbereich des Wechselrichters gibt vor wie viele Module in Reihe geschaltet werden müssen bzw. maximal geschaltet werden können. Bei Strangspannungen oberhalb von 120 V sollten alle Betriebsmittel, wie z. B. die Module, Leitungen und Anschlusskästen, der Schutzklasse II (Schutz durch doppelte- oder verstärkte Isolierung, früher: Schutzisolierung) entsprechen.

Die PV-Strangkabel und -leitungen die die einzelnen Module zu einem Strang verbinden, sind für die Leerlaufspannungen (UOC STC) und dem Kurzschlussstrom (ISC STC) zu bemessen. Es ist nur die Verschaltung gleicher Module zulässig!

Die Module sind vom Hersteller oder durch Installateur mit entsprechenden Schutzeinrichtungen auszustatten, um eine Zerstörung der Module zu verhindern. So besteht z.B. die Gefahr von Rückströmen bei der Parallelschaltung von mehreren Strängen. Bei einem Spannungseinbruch in einem Strang, beispielsweise durch Abschattungen oder Erdschlüsse, kann es dazu kommen, dass der betroffene Strang durch eine Änderung der Stromrichtung als Verbraucher fungiert und thermisch zerstört wird. Als Gegenmaßnahme wird in Reihe zu den Modulen eine **Sperrdiode** (auch Rückstrom-, Strang- oder Stringdiode genannt) eingebaut und somit ein umgekehrter Stromfluss verhindert oder eine **String-Sicherung** eingesetzt die bei einem Erdschluss abschaltet. Eine weitere Gefahr besteht in der Teilabschattung einzelner Solarzellen, dieses führt zu einer geringeren Einstrahlung und somit zu einem geringeren Stromfluss und damit verbunden zu Leistungseinbußen des gesamten Moduls. Bei PV-Modulen addieren sich die einzelnen Zellspannungen in der Reihenschaltung zur Gesamtmodulspannung und der maximal gelieferte Modulstrom ist von der "schwächsten Zelle" abhängig. Durch den erhöhten Widerstand einer einzelnen abgeschatteten Zelle kommt es zu den sog. "Hot Spots". Diese heißen Stellen können ebenfalls zu einer thermischen Zerstörung des Moduls und einer nicht unerheblichen Leistungseinbuße führen. Damit nicht die gesamte Modulleistung beeinflusst wird, werden über eine gewisse Anzahl von Zellen **Bypass-Dioden** geschaltet. Der Strom des Moduls wird bei einer Beschattung einzelner Zellen an diesen vorbei geleitet, somit wird auch das auftreten von Hot Spots verhindert.

Generatoranschlusskasten

Wenn mehrere Stränge verschaltet werden sollen, wird häufig eine Generatoranschlusskasten (GAK) genutzt. Dieser enthält neben den Anschlussklemmen für die PV-Strangkabel und -leitungen, je nach Bedarf Speerdioden, Strangsicherungen und Überspannungsschutzkomponenten. Die Strangströme werden gemeinsam über zwei Abgangsleitungen, der so genannten**Gleichstromhauptstromleitung** zu dem PV-Wechselrichter, weiter geführt. Diese Leitung muss vom Leitungsquerschnitt für die Summe der Strangströme bemessen sein.

Damit die Stranganschluss- und Modulanschlussleitungen auch bei einem doppelten Erdschluss gegen Überlast geschützt werden, sind je nach Herstellerangaben beide Leiter (+ und -) der Strangleitung mit **Strangsicherungen** zu schützen. Hierfür werden oftmals für Gleichspannung geeignete flinke Schmelzsicherungen mit einer geringen Verlustleistung eingesetzt. Der Sicherungsbemessungsstrom muss für einen störungsfreien Betrieb oberhalb des Kurzschlussstromes der Module liegen.

Der Generatoranschlusskasten kann auch entsprechende Trenn- und Messklemmen zur späteren Überprüfung und Messung der Strangströme enthalten. Der Generatoranschlusskasten (GAK) ist nach DIN VDE 0100-712 mit einem entsprechenden Warnhinweis zu versehen.

Die Gleichspannungsseite ist generell kurz- und erdschlusssicher auszuführen, das heißt die DC-Klemmen im GAK sind räumlich voneinander zu trennen oder anderweitig abzuschotten und die Plus- und Minus-Leitungen sind als getrennte Leitungen (Einzelader) auszuführen.

Kabel- und Leitungen

Der vom Modul gelieferte Strom kann bei einer hohen Einstrahlung annähernd den Kurzschlussstrom ($I_{SC\ STC}$) der Module erreichen, aus diesem Grunde ist ein Schutz der Kabel- und Leitungen mit konventionellen Sicherungseinrichtungen wie beispielsweise Leitungsschutzschaltern oder Schmelzsicherungen nicht möglich, da diese erst bei einem vielfachen ihres Nennstromes auslösen.

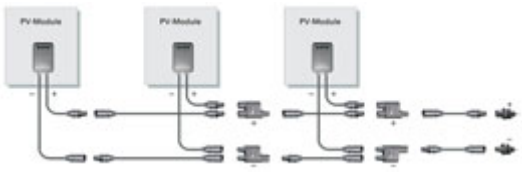
Die Leitungen sind aufgrund des fehlenden Kurzschlussschutzes erd- und kurzschlusssicher zu verlegen und für den 1,25fachen Wert von ISC STC zu bemessen. Für den Schutz der Module sind die Herstellerangaben zu beachten.

Aufgrund der hohen Umgebungstemperaturen im Dachbereich von bis zu 70 °C, sind die Kabel- und Leitungen entsprechend für die Umgebungstemperatur zu wählen und die Querschnitte entsprechend der zulässigen Strombelastbarkeit unter Berücksichtigung der erhöhten Temperatur entsprechend gemäß DIN VDE 0298-4 zu wählen.

Quelle: www.voltimum.de

Die Gleichspannungsfestigkeit der Kabel- und Leitungen ist ein weiteres wichtiges Aus-wahlkriterium, diese muss zur Vermeidung von Überschlägen oberhalb der Leerlaufspannung liegen.

Zum Einsatz kommen oftmals Gummischlauchleitungen vom Typ H07RN-F 1x4 mm². Die Leitung wird von einigen Herstellern als Solarleitung für eine Betriebstemperatur von 80 - 90 °C angeboten und erfüllt als doppelt isolierte Einzeladerleitung die Anforderungen an die erd- und kurzschlusssichere Verlegung und ist für Gleichspannungen bis 750 V geeignet. Für PV-Anlagen werden auch Spezialleitungen mit einer erhöhten Witterungs- und Temperaturbeständigkeit und Spannungsfestigkeit angeboten, diese Leitungen sind auf die speziellen Umgebungsbedingungen von PV-Anlagen abgestimmt und gewährleisten eine lange Lebensdauer der PV-Anlage. Für die feste Leitungs- und Kabelverlegung vom Generatoranschlusskasten (GAK) bis zum Wechselrichter eignen sich Feuchtraumleitungen (NYM-O) oder Erdkabel (NYY-O) als Einzeladern, der Querschnitt ist entsprechend dem Generatorkurzschlussstrom zu wählen. Ein weiterer wichtiger Bemessungsgrund für den Querschnitt der Kabel- und Leitungsanlage ist der Spannungsfall. Die hierbei auftretenden Verluste verschlechtern bei langen Leitungslängen den Gesamtwirkungsgrad der PV-Anlage. Auf der Gleichspannungsseite ist nach DIN VDE 0100-712 ein maximaler Spannungsfall von 1 % und auf der Wechselspannungsseite nach DIN VDE 0100-520 von 3 % zulässig.



Die Leitungen sollten gegen direkte Sonnenbestrahlung (UV-Strahlen) geschützt verlegt sein. Hierfür sollten sie in Schutzrohren, in den PV-Gestellrohren oder im Schatten der Module verlegt werden. Alle Kabel und Leitungen sind entsprechend zu befestigen, so dass diese nicht durch Scheuerwirkungen in Folge von z.B. Wind beschädigt werden. An den Modulanschlussdosen sind so genannte Tropfschleifen zu bilden und Kabelverschraubungen zu verwenden, damit über die Leitungseinführungen keine Feuchtigkeit in die Dosen eindringen kann. An allen scharfkantigen Teilen ist die Leitung mechanisch zu schützen, hierfür eignet sich unter anderem Kantenschutzband.

Alle Verbindungsstellen müssen den auftretenden Strom sicher führen können, auch bei relativ kleinen Gleichspannungen besteht durch die hohen Ströme eine Brandgefahr. Umso wichtiger ist eine fest sitzende Verbindung, hierfür eignen sich insbesondere spezielle Stecksysteme (Bild 7) oder Federzugklemmen.

Berührungsschutz auf der Gleichspannungsseite

Bei der Errichtung von PV-Anlagen sind die Maßnahmen zum Arbeiten unter Spannung, wie in der BGV A3 definiert, einzuhalten. Die Gleichspannungsseite lässt sich nicht spannungsfrei schalten, da bereits bei geringer Einstrahlung eine Spannung an den Modulen anliegt. Bei Modulspannungen über 120 Volt sollten die Module der Schutzklasse II (doppelte- oder verstärkte Isolierung, früher: Schutzisolierung) entsprechen, hierdurch wird der Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) sichergestellt.

Quelle: www.voltimum.de

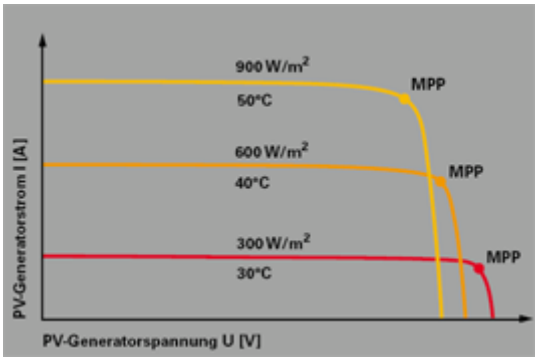
Gleichstromhauptschalter (DC-Freischaltstelle)

In der DIN VDE 0100-712 wird gefordert, dass für die Durchführung von Wartungsar-beiten an den PV-Wechselrichtern, Einrichtungen zum trennen der Wechsel- und Gleichspannungsseite vorhanden sein müssen.

Der Gleichstromhauptschalter muss den Gleichspannungskreis unter Nennlast sicher allpolig trennen können. Hierfür sind 2-polige Lasttrennschalter mit einem entsprechenden vom Hersteller angegebenen Schaltvermögen für Gleichströme einzusetzen. Das ziehen der Anschlussklemmen am Wechselrichter stellt keine Trennung im Sinne der Norm da. Einige Wechselrichterhersteller integrieren bereits entsprechende Lasttrennschalter oder Schaltungen, die beim abnehmen der An-schlussklemmenabdeckplatte, diese Freischalten, so dass die Anschlussklemmen im stromlosen Zustand abgezogen werden können. PV-Steckverbindungssysteme dürfen im Allgemeinen nicht unter Last getrennt werden, deshalb ist der Wechselrichter vorher abzuschalten. Das Stecken und Trennen unter Spannung im Leerlauf der Module ist jedoch zulässig. Um eine unnötige Belastung der DC-Freischaltestelle zu vermeiden, wird empfohlen die Wechselspannungsseite als erstes zu trennen.

Wechselrichter Der Solarwechselrichter bildet neben dem PV-Generator die zweite zentrale Komponente und ist für eine effiziente Auslegung der PV-Anlage entsprechend auszuwählen. Der Wechselrichter soll die auf der Gleichspannungsseite erzeugte Leistung, mit möglichst geringen Verlusten an das Wechselspannungsnetz abgeben. Hierzu wird die Gleichspannung durch einen Stromrichter zerhackt, ggf. transformiert und bei den heute im Einsatz befindlichen Wechselrichtern über die sog. Pulsweitenmodulation (PWM) an die 50 Hz-Sinus-Wechselspannung angepasst.

Für einen möglichst effizienten Betrieb der PV-Anlage übernimmt der Wechselrichter die Anpassung des Arbeitspunktes des Wechselrichters an den Maximum-Power-Point (MPP) des Solargenerators. Der Maximum-Power-Point (MPP) ist der Punkt in der Modulkennlinie, in dem der der PV-Generator seine maximale Leistung erzeugt (P_{MPP} [WP]= U_{MPP} x I_{Mpp}).



Der MPP ist von der momentanen Sonneneinstrahlung und der Temperatur der Module abhängig und somit variabel. Somit ist für die Erzielung der bestmöglichen solaren Leis-tung eine ständige Anpassung des MPP an die vorherrschenden Bedingungen erforderlich. Dieses erfolgt durch eine im Wechselrichter eingebaute Regelelektronik, dem MPP-Tracker. Durch das MPP-Tracking wird der MPP überwacht und über einen Lastwiderstand kontinuierlich angepasst, so dass der Solargenerator immer optimal arbeitet. Einige Wechselrichter verfügen über mehrere MPP-Tracker, so dass mehrere Solargeneratoren mit unterschiedlichen Bedingungen geregelt werden können.

Eine weitere Aufgabe des Wechselrichters besteht heute in der Betriebsdatenerfassung und -signalisierung. Daten wie Leistungsverlauf, Energieertrag, Strom, Spannung und Frequenz werden gespeichert und können durch die Nutzung von Softwarelösungen ausgewertet werden.

Die Wirkungsgrade der Wechselrichter bestimmen neben der Zell- und Modultechnologie sowie einigen Standortbedingten Faktoren im nicht unerheblichen Maße den Ertrag einer PV-Anlage.

Quelle: www.voltimum.de

Moderne Wechselrichter erreichen heute Eurowirkungsgrade von 92% bis 96%. Trafolose Wechselrichter haben gegenüber Wechselrichtern mit Transformator aufgrund der nicht vorhandenen Trafoverluste einen besseren Wirkungsgrad und setzen sich somit immer mehr durch.

Bei trafolosen Wechselrichtern sind aufgrund der fehlenden einfachen (galvanischen) Trennung zwischen der DC-Eingangsseite und der AC-Ausgangsseite weitere Schutzmaßnahmen erforderlich. Zum Einsatz kommen hier allstromsensitive Fehlerstromschutzschalter (RCDs) vom Typ B (Bild 10) mit einem Bemessungsfehlerstrom $I_{\Delta N}$ 30 mA für den Personenschutz. Dieser RCD erfüllt gleichzeitig die Anforderungen der AC-Freischaltestelle. Die Module und PV-Traggestelle sind bei trafolosen Wechselrichtern zwingend in den Potentialausgleich einzubeziehen.

Schutzeinrichtungen werden heute bereits von einigen Herstellern in die Wechselrichter integriert oder können beim vorliegen einer Herstellerbestätigung, dass keine Gleichfehlerströme auftreten können, entfallen. Der Wechselrichter bildet aufgrund seiner vielfältigen Aufgaben das Herzstück einer jeden Photovoltaikanlage.

Selbsttätige Freischaltestelle

Die selbsttätig wirkende Schaltstelle (früher: ENS) dient als Sicherheitsschnittstelle zwischen der Eigenerzeugungsanlage und dem Niederspannungsnetz. Sie verhindert eine unbeabsichtigte Einspeisung einer dezentralen Erzeugungsanlage in ein vom übrigen Verteilungsnetz getrenntes Teilnetz (Inselbetrieb). Damit bietet sie maximalen Schutz sowohl für das Wartungspersonal als auch für den Verbraucher gegen unzulässige Spannungen und Frequenzen. Die selbsttätig wirkende Schaltstelle wird in der DIN V VDE V 0126-1-1:2006-02 definiert und baut auf die im Jahre 1994 entwickelte ENS (Einrichtungen zur Netzüberwachung mit zugeordneten allpoligen Schaltern) auf. Die redundant ausgeführte Schutzeinrichtung prüft ständig die Netzqualität durch Prüfung der Spannung, Frequenz und Impedanz und schaltet bei definierten Fehlerbedingungen durch zwei in Reihe liegenden Schaltern ab. Durch diese Einfehlersicherheit ist eine Wartung der selbsttätig wirkenden Schaltstelle nicht erforderlich.

Wechselstromhauptschalter (AC-Freischaltestelle)

Für Wartungsarbeiten an den Wechselrichtern ist eine Schalt- oder Schutzeinrichtung für die allpolige Trennung vorzusehen oder im Wechselrichter zu integrieren. Die separate Trenneinrichtung kann bei entsprechender Ausführung der selbsttätigen Schaltstelle entfallen und durch diese übernommen werden.

Ein Schutz der Zuleitung vom Wechselrichter zu dem Einspeisezähler mit entsprechenden Fehlerstromschutzschaltern kann durch weitere Normen und Richtlinien wie zum Beispiel DIN VDE 0100-410 Schutz gegen elektrischen Schlag und für besondere Betriebstätten wie Bauernhöfe die DIN VDE 0100-705 "Elektrische Anlagen von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten"; DIN VDE 0100-482 "Brandschutz bei besonderen Risiken oder Gefahren" sowie VdS 2033 "Feuergefährdete Betriebsstätten" gefordert sein.

Überstromschutzeinrichtung

Die Versorgungsleitung zum Wechselrichter ist im Zählerbereich gegen Überlastung und Kurzschluss zu schützen.

Zählerplätze, Mess- und Steuereinrichtungen

Art und Anzahl der erforderlichen Messeinrichtungen (Zähler) und Steuergeräte (Tarifschaltgeräte) richten sich nach den Vertragsverhältnissen, daher ist eine Absprache mit dem VNB notwendig.

Zähler, die der Abrechnung dienen, und diesen zugeordnete Steuergeräte sind auf Zählerplätzen nach TAB anzuordnen. Es werden grundsätzlich Zähler mit Rücklaufsperre oder elektronische Zähler, die beide Energieflussrichtungen getrennt erfassen, eingesetzt. Der Zähler kann beim Netzbetreiber gemietet werden oder durch den Installateur gekauft werden. Er muss den Bestimmungen des Netzbetreibers entsprechen.

Quelle: www.voltimum.de

Bilder:

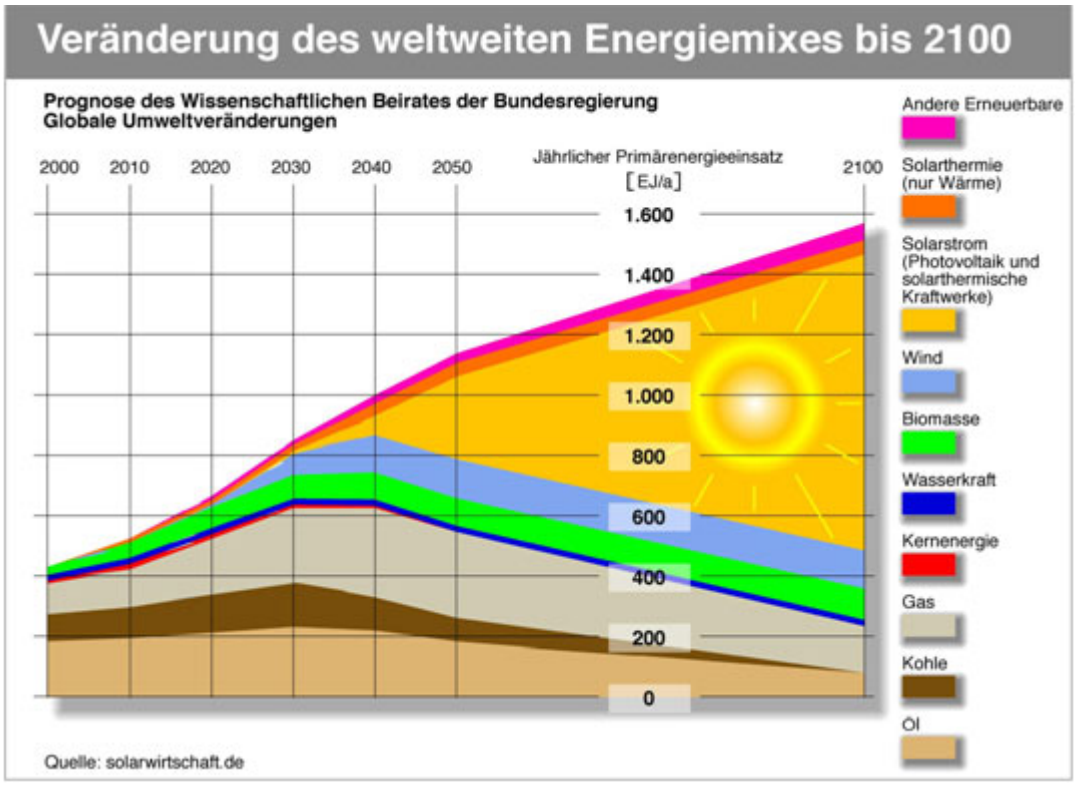


Bild 1: Der Sonne gehört die Zukunft (Quelle: www.solarwirtschaft.de)

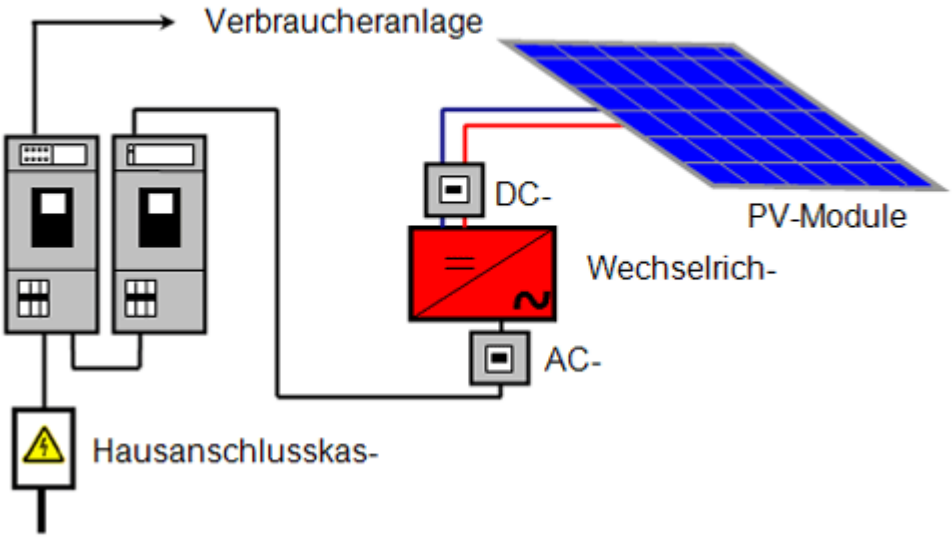


Bild 2: Aufbau einer Photovoltaikanlage (Quelle: Bonhagen)

Quelle: www.voltimum.de

Bild 3: Generatoranschaltkasten mit Überspannungsschutz (Quelle: Phoenix Contact)

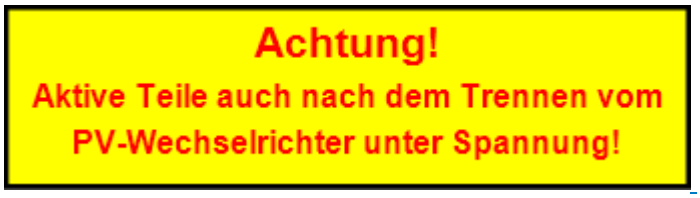


Bild 4: Beispiel für einen Warnhinweis am GAK

Bild 5: Spezialkabel für PV-Anlagen (Quelle: Multi-Contact)

Quelle: www.voltimum.de

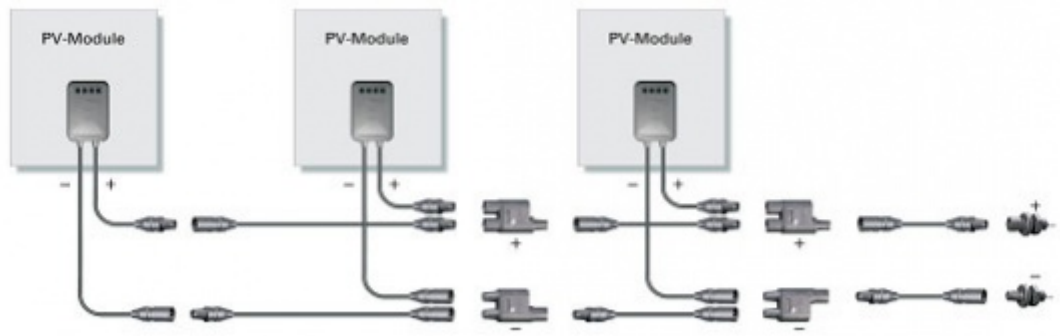


Bild 6: 3 mm Stecksystem (MC 3), Beispiel einer Parallelschaltung von 3 Strängen (Quelle: Multi Contact)

Bild 7: Angaben eines Typenschildes eines Schutzisolierten Moduls (Quelle: Bonhagen)

Quelle: www.voltimum.de

Bild 8: Wechselrichter mit DC-Freischaltestelle (Quelle: Bonhagen)

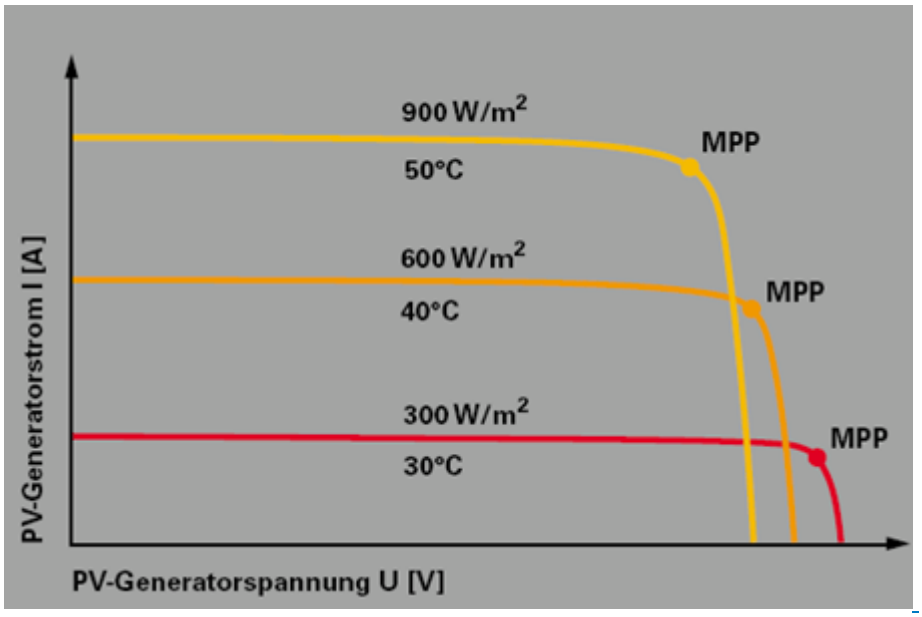


Bild 9: Strom-Spannungs-Kennlinie einer Si-Zelle mit MPP

Quelle: www.voltimum.de

Bild 10: RCD Typ B (allstromsensitiv) (Quelle:Doepke)

Bild 11: Warnhinweis am Wechselrichter

Quelle: www.voltimum.de

Bild 12: Einspeisestelle für Anlagen größer 30 kWp

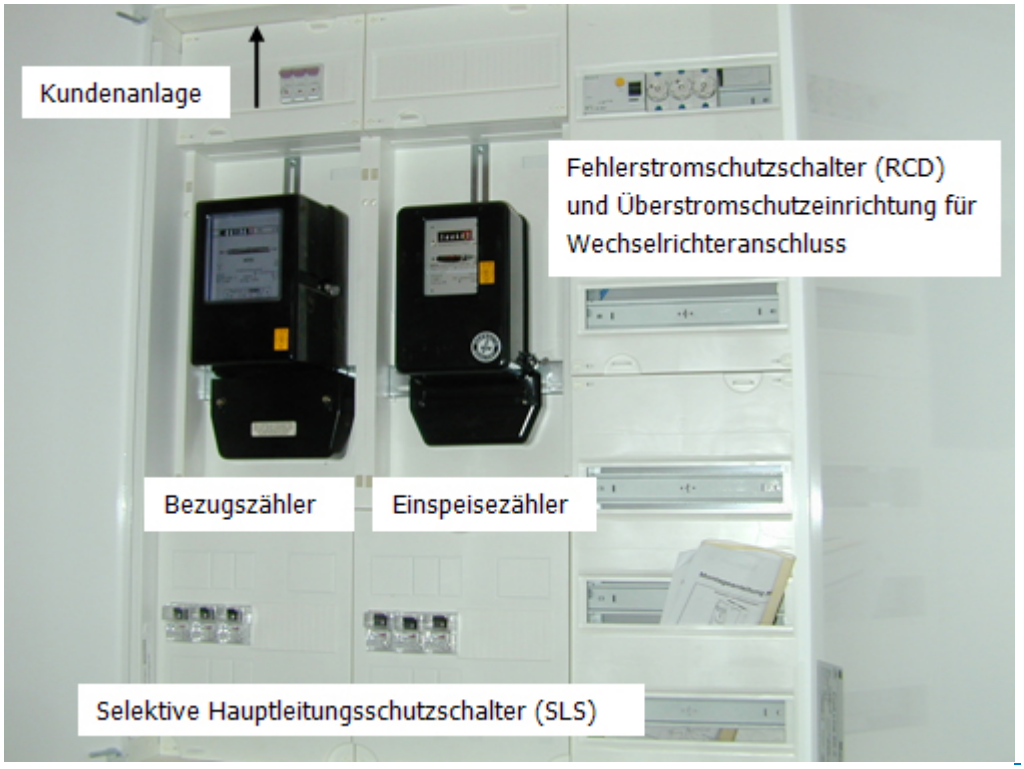


Bild 12: Zähleranlage mit Bezugs- und Einspeisezähler

Quelle: www.voltimum.de