

8. Komponenten von netzunabhängigen Photovoltaiksystemen

Tsiliki Despoina, TDK CRETE GR

Lernziele

Dieser Kapitel hat zum Ziel, Komponenten von netzunabhängigen Photovoltaiksystemen vorzustellen. Nach dem Durcharbeiten dieses Kapitels sollte der Leser in der Lage sein:

- zu begreifen, wie PV-Module Energie produzieren
- Funktionsweise und Eigenschaften von Akkumulatoren zu verstehen
- Funktionsweise und Notwendigkeit eines Ladereglers zu verstehen
- zu verstehen, wie ein Wechselrichter funktioniert
- Grundwissen über andere für ein Inselsystem erforderliche Komponenten (Sockel, Schutz, etc) besitzen

Einführung

Netzunabhängige Photovoltaik- (PV-) Systeme geben dem Stromerzeuger/Energieverbraucher die Möglichkeit, seinen ganzen Strombedarf mit seinen eigenen Produktionsmitteln abzudecken. Sie sind auch dort sehr verbreitet, wo es technisch schwierig oder unmöglich oder zu kostenintensiv ist, eine Anbindung an das existierende Stromnetz herzustellen. Mit einem netzunabhängigen Solarsystem, wie auch mit anderen autonomen Systemen, die Energie aus erneuerbaren Energiequellen erzeugen (wie z.B. kleine Windräder), wird außerdem die Energieunabhängigkeit von festen und flüssigen Brennstoffen gefördert.

Die in einem Inselsystem benutzten Komponenten werden in diesem Kapitel als Ganzes vorgestellt; aber einen Teil von ihnen werden auch in netzgekoppelten Systemen verwendet.

Alle in diesem Text erwähnten Geräte müssen den nationalen Vorschriften und Standards genügen (d.h. ELOT in Griechenland, europäische (EN, DIN) und internationale (ISO, IEC) Standards für Herstellung, Design, Anbindung und Wartung von Solarsystemen).

Photovoltaik-Module

Solarmodule sind der Kernbestandteil einer PV-Installation, da sie elektrische Energie erzeugen. Ihre Funktion beruht auf dem photoelektrischen Effekt. Sie sind die Elemente, die Sonnenenergie aus direkter und diffuser Strahlung direkt in elektrische Energie umwandeln. Zu diesem Zweck nutzt man Halbleitermaterialien zur Herstellung von Fozellen, die dann, abhängig von der Technologie, in Reihe oder parallel (oder beides) geschaltet werden, um PV-Module herzustellen.

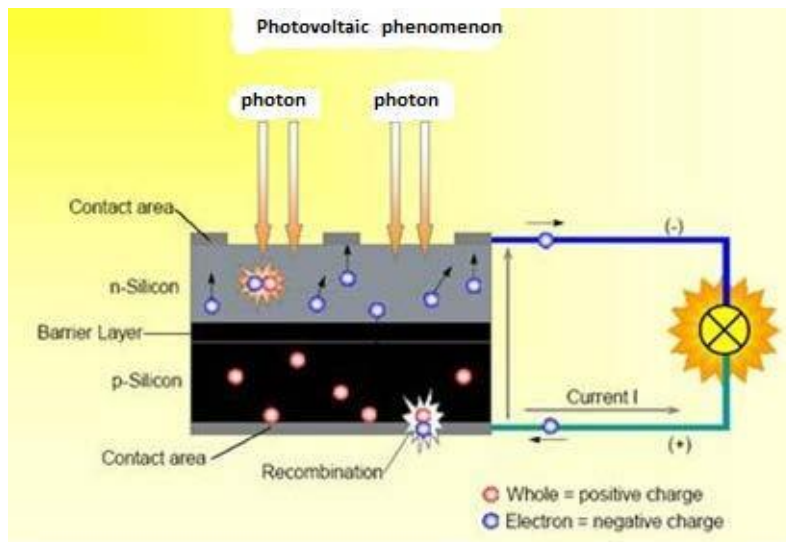


Abbildung 1 – Photoelektrischer Effekt

Wie wird elektrische Energie produziert?

Solarzellen sind Halbleiterdioden, bestehend aus einem p-n Übergang.

Wenn Photonen (das Sonnenlicht) auf ein Halbleitermaterial treffen, kollidieren Photonen, die die gleiche oder eine höhere Energie besitzen als die Bandlücke des Halbleitermaterials, mit den Valenzelektronen des Halbleitermaterials und geben dabei ihre ganze Energie an sie ab. Energie, die gleich oder grösser der Bandlücke des Halbleitermaterials ist, wird absorbiert und führt dazu, dass ein Elektron aus einer Atombindung gelöst, oder der Platz eines Loches eingenommen wird. Wenn dann noch Energie übrig bleibt, wird sie in kinetische Energie der Elektronen umgewandelt und schließlich als Wärmeenergie verloren¹. Im Kristall bewegen sich Elektronen und Löcher unregelmäßig. Um diese Bewegung zu richten und elektrischen Strom zu erzeugen, benötigt man Halbleitermaterialien mit Verunreinigungen an bestimmten Stellen des Kristallgitters. Der Zweck dieser Verunreinigungen ist es, zwei verschiedene

¹ Der negative Einfluss des Temperaturanstiegs wird durch einen spezifischen Kennwert des Panels ausgedrückt

Bereiche in dem Material zu schaffen: einen mit mehr Valenzelektronen (n-Typ) und einen mit weniger Valenzelektronen (p-Typ). Die Verbindung dieser beiden Bereiche führt zu einer Diode. Auf diese Weise kann die Bewegung der Elektronen gerichtet werden und elektrischer Strom erzeugt werden. (Abb. 1).

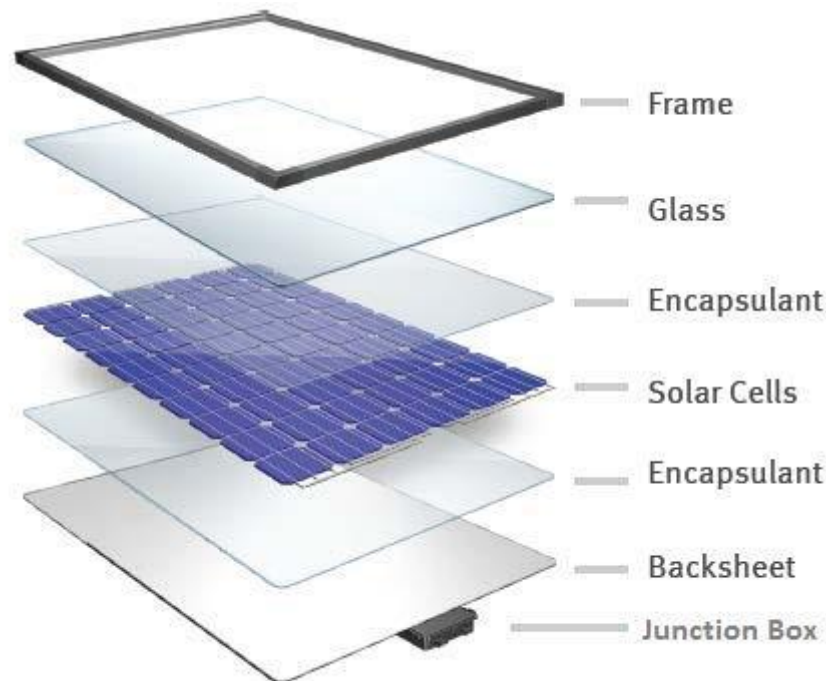


Abbildung 2 – Schichten eines Solarmoduls [1].

Um erzeugte Spannung und Stromstärke zu erhöhen, werden Fotozellen jeweils in Reihe oder parallel geschaltet. Diese Anordnung schafft den Kern eines Solarpanels (Abb. 2).

Außer Solarzellen hat ein PV-Panel noch vier andere Bestandteile:

1. die Rückseitenfolie, für den Schutz vor UV-Strahlung, erhöhten Temperaturen (mit Wärmeableiter) und Feuchtigkeit, sowie der notwendigen elektrischen Isolation des Panels und der Begrenzung seiner mechanischen Abnutzung. Die Forderung einer Haltbarkeit von 25 Jahren, hoher Effizienz und niedrigen Kosten wurden bis heute von Tedlar etabliert (PVF-Folie – Polyvinylflourid) und durch die Herstellung von TPT-Folien, die drei Schichten PET (Polyethylenterephthalat) zwischen den zwei Tedlar-Schichten enthalten. Die neue Generation besteht aus Tedlar/PET/TPA (Polyamid), mit einer Schicht, die eine verbesserte Folienreflexion (15-20% Erhöhung) mit sich bringt [2].
2. Ummantelung, die aus einer glasartigen, lichtdurchlässigen Membran besteht, die den Langzeitschutz der empfindlichsten Teile von Solarzellen gewährleistet. Sie bestehen üblicherweise aus Silikon oder EVA (Ethylenvi-

nylacetat).

3. Schutzglas, das mechanische Beständigkeit und Schutz gegen Beschädigungen bietet, aus eisenarmem Material. Die Oberfläche ist nichtreflektierend, um die eintreffende Strahlung vollständig durch zulassen.
4. Metall- oder Polymerrahmen. Gelegentlich ist er nicht vorhanden. Er soll das Glas schützen und die Stabilität des Moduls gewährleisten.

Gemäß der technologischen Herstellungsweise kann man PV-Module in drei Hauptkategorien einteilen:

1. Kristallines Silizium (c-Si)
2. Dünnschicht
3. Andere Technologien

Die erste Kategorie wird auch in drei grundlegende Unterkategorien unterteilt:

- A. Elemente aus monokristallinem Silizium. Das Kristallgitter von Si-Atomen nähert sich einem perfekten Kristall an (max. Wirkungsgrad 25%). Die Herstellung erfolgt, indem man geschmolzenes Silizium kühlt und in sehr dünne Scheiben schneidet, die dann die Fotozellen sind. Ihre Dicke beträgt etwa 0,3 mm.
- B. Elemente aus polykristallinem Silizium haben in ihrem Gitter Kristalle verschiedener Ausrichtungen. Der Grund für diesen Unterschied ist der Herstellungsprozess und die weniger genau gesteuerte Abkühlung des Si. Genau wie das monokristalline Silizium wird das polykristalline Gitter nach dem Abkühlen in sehr dünne Fotozellen geschnitten. Das Vorhandensein verschiedener Kristalle im Gitter erhöht den Innenwiderstand an den Verbindungsstellen (max. Wirkungsgrad 21,2%).
- C. Siliziumfolien. Man benötigt dazu bis zu 50% weniger Si im Vergleich zu "traditionellen Techniken" der Herstellung von mono- oder polykristallinen Si-Zellen (maximaler Wirkungsgrad 16%). Ihre Dicke ist etwa 0,3 mm.

Die zweite Kategorie wird in vier grundlegende Unterkategorien unterteilt:

- D. Amorphe Si-Zellen. Ein besonderes Merkmal dieser Kategorie ist die nicht-kristalline Struktur. Sie werden hergestellt, indem man das Si in eine spezielle Glasschicht einbringt. Das Fehlen der Kristallgitters limitiert den Wirkungsgrad (maximaler Wirkungsgrad 13,4%) [3].
- E. Chalkopyritverbindungen (CuInSe_2 oder CIS, mit Gallium CIGS) bieten einen außergewöhnlichen Absorptionsgrad von einfallendem Licht. Mit Gallium kann der Wirkungsgrad sogar noch mehr gesteigert werden (max. Wirkungsgrad 21,7%).
- F. Kadmiumtellurid, Cd-Te. Seine Energielücke beträgt etwa nur 1eV, was dem Cd-Te die Fähigkeit verleiht, 99% der auftreffenden Strahlung zu absorbieren (max. Wirkungsgrad 21,5%). Ein Hindernis für seine Nutzung ist die Tatsache, dass Cadmium einigen Studien zufolge krebserregend ist.
- G. Galliumarsenid, GaAs. Seine Bandlücke ist 1,43 eV, ideal zur Absorption von Sonnenstrahlung (maximaler Wirkungsgrad 38,8% wenn in Mehrfachsolarzel-

len).

Die dritte Kategorie beinhaltet die Zukunftstechnologien, die sich in der Forschung und Entwicklung befinden. Sie werden hauptsächlich unterteilt in organische/polymere Elemente (OPV), nicht-organische und hybride (HIT), die aus amorphem Si und monokristallinen Si-Schichten bestehen.

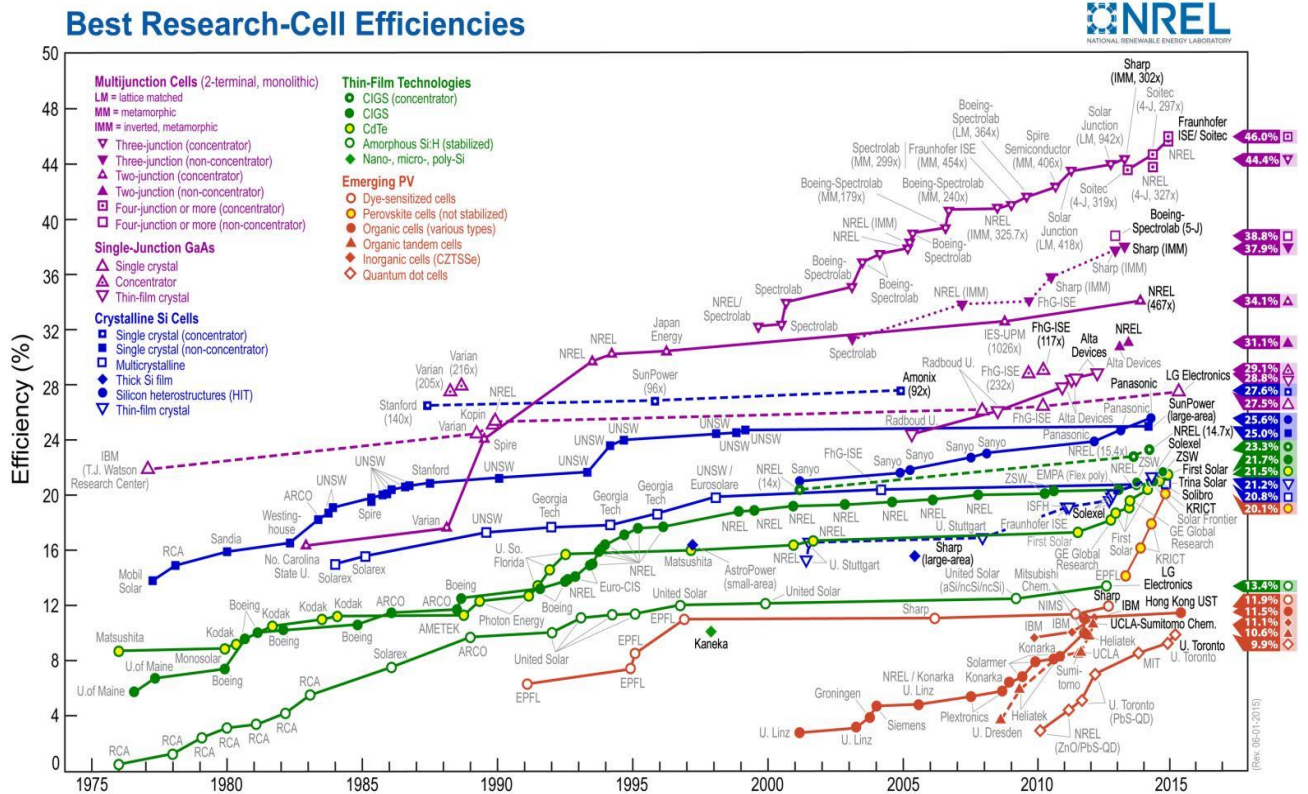


Abbildung 3 - Technologische Verbesserung von PV-Zellen – Technologie und des Wirkungsgrad im Laufe der Zeit [4]

In Photovoltaikanlagen werden vor allem Module aus den Kategorien A und B installiert, da sie einen hohen Wirkungsgrad, hohe Zuverlässigkeit mit relativ niedrigen Kosten verbinden.

Die von den Herstellern angegebenen charakteristischen Größen eines jeden PV-Moduls sind der Kurzschlussstrom I_{sc} , die Leerlaufspannung V_{oc} , die Nennleistung P_{nom} , die MPP-Spannung V_{mpp} , die MPP-Stromstärke I_{mpp} , die Maximalleistung P_{max} und der Wirkungsgrad des Moduls, da diese für die Standard-Testbedingungen (STC: 25°C, Strahlungsleistung 1000W/m²) definiert sind.

PV-Module erzeugen von Sonnenschein abhängigen Gleichstrom. PV-Module produzieren die meiste Energie an einem klaren Tag, wenn die Sonne senkrecht zu den Modulen eines jeden Feldes steht, und weniger Energie am Morgen und am Nachmittag, während der Jahreszeiten, wo die Sonne höher oder tiefer am Himmel steht

und an wolkigen Tagen. Nachts produzieren Solarmodule natürlich keine Energie.

Es sollte erwähnt werden, dass in Inselsystemen verwendete PV-Module, je nach Größe und Kosten des Systems, entweder andere oder auch die gleichen sein können wie jene in netzgekoppelten Anlagen. Der Unterschied der Installationen liegt, neben den Kosten, in der unterschiedlichen Anbindung an die Akkumulatoren und in der Nutzung (oder Nichtnutzung) anderer Geräte (Wechselrichter etc.).

Akkumulatoren – Speicherbatterien

Akkumulatoren (auch wieder aufladbare Batterien oder Speicherbatterien) stellen das Element dar, das dem Energieerzeugungssystem Autonomie verleiht. Elektrische Energie, die produziert, aber nicht im gleichen Moment verbraucht wird, kann gespeichert werden, um sie zu nutzen, wo und wann immer sie benötigt wird (d.h. wenn wegen schlechten Wetterbedingungen oder nach Sonnenuntergang kein Strom erzeugt wird). Die Menge der zu speichernden elektrischen Energie hängt von den örtlichen Bedingungen und den Bedürfnissen des Verbrauchers ab, besonders aber auch von der maximal möglichen Anzahl aufeinander folgender Wolkentage, von Verbrauchsspitzen und der Zuverlässigkeit des Systems, und all dem in Verbindung mit dem Vorhandensein (oder nicht) zusätzlicher Energiequellen. Üblicherweise sind Inselsysteme für die Sicherstellung der Energieversorgung während drei bis zehn Tagen konzipiert [5]. Gleichzeitig haben Akkumulatoren die Aufgabe, die Spannung der Solaranlage innerhalb definierter Grenzen zu halten, damit sie bei angeschlossener Last benutzbar ist.

Akkumulatoren werden geladen, solange die erzeugte elektrische Energie den Bedarf übersteigt, und entladen, wenn das Gegenteil der Fall ist. Die Zeitspanne zwischen der vollständigen Ladung und der kompletten Entladung der gespeicherten Energie und der Wiederaufnahme der Ladung nennt man **Ladezyklus** (der umgekehrte Prozess heißt entsprechend Entladezyklus).

Die Kenngrößen eines Akkumulators sind: Spannung (V), Kapazität² (Ah) und die Entladungstiefe (DOD)³. Da das Produkt von Ladezyklen und Entladungstiefe stabil bleibt, werden die möglichen Gesamtladezyklen (d.h. Lebensdauer) entsprechend reduziert, je öfter man einen Akkumulator entlädt. Gleichzeitig wird während der Lebensdauer eines Akkumulators die nutzbare Kapazität aufgrund von Alterungsprozessen immer weiter verringert. Der Bedarf des Verbrauchers an autonomen Tagen

² Entspricht dem Produkt der Stromstärke (A), die eine Batterie liefern kann und der Zeitdauer (h), während derer sie ihn unter bestimmten Spannungsbedingungen liefern kann, sowie Temperatur und Entladungsrate.

³ Der Teil der Gesamtkapazität die während eines Ladezyklus' akkumuliert und während eines Entladezyklus' verbraucht wird

bestimmt also die Gesamtkapazität des/der Akkumulatoren⁴.

Folgende Kriterien sind einige der wichtigsten, die man bei der Konzeption eines Energiespeichersystems berücksichtigen muss:

- Effizienz über lange Zeit: hohe Energieeffizienz, lange Lebensdauer (in Jahren) und Stabilität der Kapazität, hohe Ladeeffizienz auch bei geringem Ladestrom, niedrige Selbstentladung
- Finanzielle Kosten: niedrige Anschaffungskosten, niedrige Wartungskosten, hohe internationale Verfügbarkeit, Schnellladefähigkeit
- Material: den Umweltbedingungen angepasst, leicht recycelbar, geringe Toxizität.
- Sicherheit, Zuverlässigkeit: ungefährliches Verhalten im Falle von Über- oder Tiefentladung, leicht erweiterbare Spannung und Kapazität durch Parallel- und Reihenschaltung, geringer Spannungsunterschied zwischen Ladung und Entladung (was es erlaubt, eine Last direkt mit dem Akku zu verbinden), geringe Explosionsneigung, hohe Langzeitzuverlässigkeit

In PV-Inselsystemen werden tiefentladende Batterien mit vielen Ladezyklen eingesetzt. Ein verbreiteter Wert für Ladezyklen ist 1500, selbst für eine Entladung auf bis zu 80% der Nennkapazität für 12V.

Bleiakkus decken die meisten der aktuellen Bedürfnisse des Marktes ab. Man unterscheidet, je nach Herstellungsart, zwei Arten – offene oder geschlossene Bauweise; beide werden in PV-Inselsystemen benutzt. Alle Bleiakkumulatoren erzeugen aufgrund der Elektrolyse Wasserstoff- und Sauerstoffgase (Gasung) an den Elektroden. Im offenen Akkumulatortyp entweichen diese Gase (weshalb bei diesem Elektrolyt nachgefüllt werden muss). Die geschlossenen Typen sind so konzipiert, dass die Gase zurückgehalten werden und wieder gebunden werden. Es sollte erwähnt werden, dass Sauerstoffgase in der Luft bei nur 4% vol. explosiv sind.

Offene Akkumulatoren (verbreiteter Typ OpZs) erfordern eine gute Lüftung und das Nachfüllen von Elektrolytlösung, haben aber auch größere Kapazitäten in Verbindung mit vielen Ladezyklen und relativ geringen Kosten. Im Gegensatz dazu haben Akkumulatoren in geschlossener Bauform, die üblicherweise mit einem Überdruckventil ausgestattet sind (valve-regulated lead-acid, VRLA), eine sehr gute Effizienz bei hohen Stromstärken (kurze Entladezeit) und enthalten eine sehr geringe Menge Säure. Das heißt, dass sie anfällig für Wasserverluste sind, die hauptsächlich bei hohen Temperaturen auftreten, aber auch nicht einfrieren, da in den AGM [6] genug Platz für die Ausdehnung vorhanden ist. Außerdem sind sie wartungsfrei, aber auch teurer und haben weniger Ladezyklen.

Neben Bleiakkus finden wir auch Ni-Cd-Akkumulatoren (mit eingeschränkter Nut-

⁴ Wenn wir zwei Batterien in Reihe schalten, bleibt die Kapazität die gleiche, während die Spannung addiert wird (das Gegenteil geschieht, wenn wir zwei Batterien parallel schalten)

zung in PV-Systemen) oder Li-Ion- Akkumulatoren, die in den letzten Jahren entwickelt wurden, um sie in Solarsystemen einsetzen zu können.

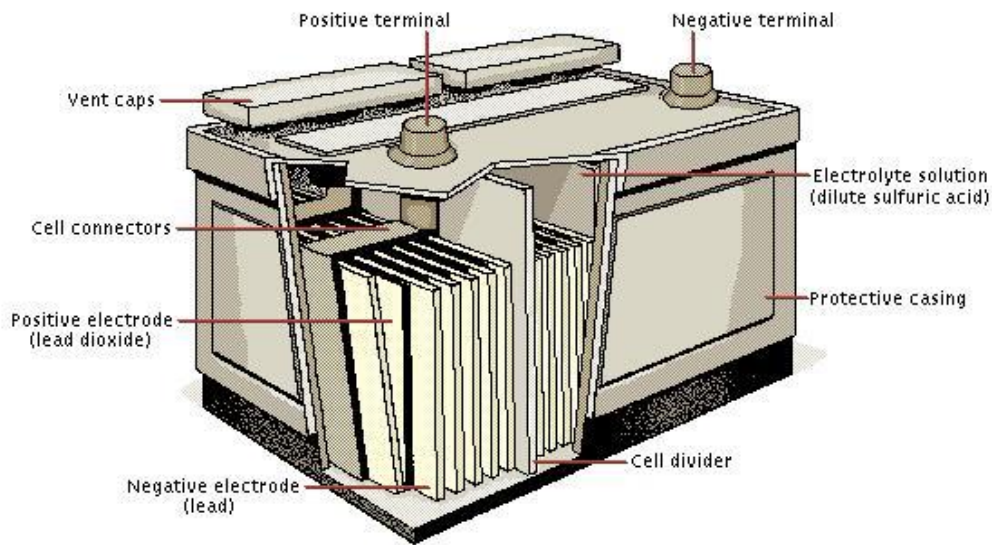


Abbildung 4. Schnitt durch einen Bleiakku [10]

Ladegerät – Laderegler

Die Lade- und Entladevorgänge in Akkumulatoren und ihre Steuerung sind essenziell, um sie in gutem Zustand zu erhalten und damit ihre Lebensdauer zu verlängern. Akkumulatoren müssen mit Gleichstrom geladen werden. Wechselstrom muss umgewandelt (gleichgerichtet) werden. Dafür werden Halbleitergleichrichter verwendet [7]. Wechselspannung wird in Gleichspannung umgewandelt (Konverter), um die Akkumulatoren zu laden. Das Laden kann auf verschiedene Arten geschehen, aber das Ziel, Strom in die entgegengesetzte Richtung als die der Entladung zu leiten, bleibt in jedem Fall das gleiche [8].

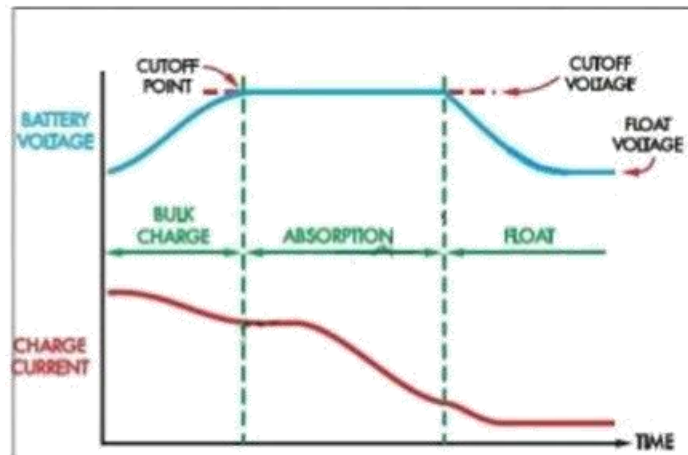


Abbildung 5 – Idealbedingungen für das Laden eines Bleiakkus [11]

Die Grundmethoden, einen Bleiakku zu laden, sind:

1. Konstantstrom
2. Konstantstrom – Verringerung des Stromes in mehreren Schritten
3. Modifizierter Konstantstrom
4. Konstantpotenzial
5. Modifiziertes Konstantpotenzial mit konstantem Strom zum Ladebeginn
6. Modifiziertes Konstantpotenzial mit konstantem Strom zum Schluss
7. Modifiziertes Konstantpotenzial mit konstantem Anfangs- und Endtempo
8. Kegelladung
9. Pulsladeverfahren
10. Erhaltungsladung
11. Konstantes Laden/ Erhaltungsladung unter Last
12. Schnellladen

Ein integraler Bestandteil vom sicheren und effizienten Funktionieren eines Akkumulators ist der Betrieb auf dem höchstmöglichen Ladeniveau. Diese Rolle wird vom Laderegler übernommen, der auch den Schutz des Akkumulators vor Überladung oder Tiefentladung sicherstellt.

Was ein Laderegler steuert:

- A. Schutz gegen Überladen. Normalerweise beschränkt der Regler die Akkumulatordspannung auf einen Maximalwert (Spannungsregulierungssollwert VR). Der entsprechende Strom wird entweder reguliert, solange die Sollspannung stabil ist, oder er bleibt getrennt bis die Akkumulatordspannung unter den als Wiedereinschaltwert definierten Punkt (AVR) fällt.
- B. Tiefentladeschutz. Üblicherweise wird das erreicht durch das Trennen von Akkumulator und Verbraucher wenn die Spannung einen Niederspannungssollwert (LVD) erreicht. Die meisten Laderegler haben entweder einen optischen oder akustischen Alarm, der den PV-Systembetreiber von der Trennung vom Verbraucher unterrichtet. Nach Erreichen eines spezifischen Wiederaufladewertes des Akkumulators wird der Verbraucher wieder verbunden.
- C. kontrolliertes Laden. Es ist möglich, mehrere elektrische Verbraucher während spezifischer Tageszeiten vom Akkumulator zu trennen oder damit zu verbinden, z.B. in Abhängigkeit der vorhandenen Lichtmenge, wenn das PV-System nicht arbeitet (Sonnenuntergang bis Morgengrauen)

Es gibt zwei Grundformen von Ladereglern, auf der für viele andere Abwandlungen fundieren: einstellbare Reihenregler und einstellbare Parallelregler. Reihenregler werden zwischen Solarpanel und Akkumulator in Reihe geschaltet. Dieses System wird gleichermaßen in großen und kleinen Inselsystemen genutzt. Der parallel geschaltete Regler regelt das Laden wobei er intern das Solarpanelfeld kurzschließt. Seine Nutzung ist auf PV-Systeme mit einem Strom kleiner als 20 A beschränkt.

Die Ladereglertechnologie hat sich weiterentwickelt, und die heute meist verwendeten Systeme sind PWM und MPPT. Um genau zu sein, ein PWM-System (pulse with modulation) senkt nach und nach die an den Akkumulator abgegebene Leistung, wenn er die volle Ladung erreicht. Auf diese Weise erreicht man eine längere Lebensdauer. Andererseits ist MPPT (maximum power point tracking) das weitverbreitetste und beste Ladereglersystem. Seine Funktion beruht auf einem Abgleich von Solarpanelausgangsspannung und Akkumulatordspannung. Das Ergebnis ist maximale Ladeeffizienz. Diese kann um +30% höher liegen als bei anderen Reglern weil es fast die komplette zur Verfügung gestellte Leistung nutzt. Das gilt vor morgens oder abends, wenn die Leistungsabgabe des PV-Systems niedrig ist – das wäre mit den voreingestellten Spannungswerten in anderen Systemen nicht möglich. Ein MPPT-Regler muss außerdem mit einem DC/DC-Inverter verwendet werden, um die Ausgangsspannung zu regulieren und die Spannung anzuheben/abzusenken wenn nötig.

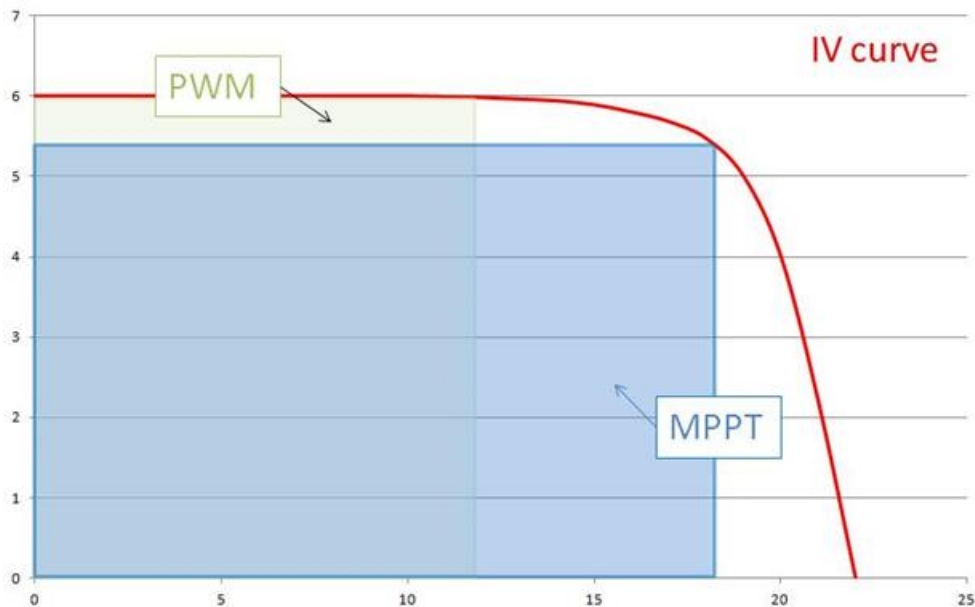


Abbildung 6. Vergleich der Effizienz von PWM und MPPT [9]

Ladegeräte und Laderegler müssen für höchste Systemeffizienz unter denselben La-
debedingungen arbeiten. In PV-Installationen sind sie für gewöhnlich getrennte Ein-
heiten (Ladegerät – Laderegler). Es gibt allerdings bestimmte Invertertypen mit ein-
gebauter Ladeelektronik, die von einem externen / Backup-Generator oder vom
Stromnetz laden können. In diesem Fall ist ein separate Ladeelektronik/Regler nicht
nötig.

Weiterhin müssen Akkumulatoren aus Sicherheitsgründen an gutbelüfteten Orten
und getrennt von Wohnraum und Elektronikräumen aufgestellt werden, da sie ge-
fährliche chemische Substanzen enthalten und während des Ladens Wasser- und
Sauerstoff abgeben. Darüber hinaus muss der Installationsstandort gegen hohe
Temperaturen geschützt sein und leichten Zugang für Wartung, Reparaturen und
Installation bieten. Akkumulatoren können am Ende ihrer Lebensdauer recycelt
werden.

Wechselrichter

Damit die Verbraucher der Anlage die Solarenergie auch nutzen können, muss der
erzeugte Gleichstrom in Wechselstrom umgewandelt werden, da Verbraucher im
Allgemeinen für den Betrieb an einem Wechselspannungsnetz vorgesehen sind. Der
Wechselrichter ist ein Gerät, das Gleichspannung in Wechselspannung umwandelt.
Der Wechselrichter (oder die Wechselrichter, abhängig von der Größe der Anlage) ist
auf Gleichspannungsseite direkt mit den Akkumulatoren verbunden und auf der
Wechselspannungsseite mit dem Schaltkasten der Last.

Der geeignete Wechselrichter wird in Abhängigkeit der gewählten Solarmodule aus-

gesucht, wobei man die maximale Betriebsspannung und -leistung berücksichtigt.

Im Gegensatz zu netzgekoppelten Anlagen, werden in PV-Inselsystemen zwei Arten von Wechselrichtern benutzt: Sinuswechselrichter und Trapezwechselrichter (auch modifizierter Sinus- oder Quasi-Sinuswechselrichter) (Abbildung 7), was von der erzeugten Spannungsform abhängt. Reine Sinuswechselrichter werden bevorzugt, da manche Geräte eine reine Sinusspannung erfordern. Trapezwechselrichter können weitläufig verwendet werden, außer für bestimmte Geräte (kapazitive und elektromagnetische). Die zweite Kategorie wird auf Grund der geringeren Kosten bevorzugt, außer bei bestimmten Gelegenheiten, d.h. für den Betrieb von empfindlichen elektronischen Geräten, die eine geringe THD (Total Harmonic Distortion, nichtlineare Verzerrungen eines Signals) erfordern.

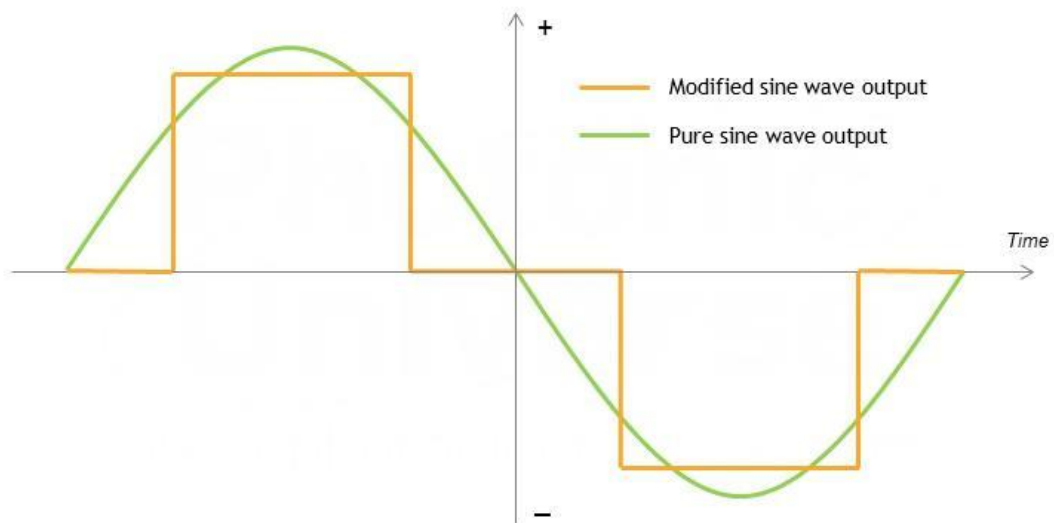


Abbildung 7 – Reine Sinuswelle und modifizierte Sinuswelle

Zusätzliche Geräte

Neben den grundlegenden Geräten, die in den vorherigen Kapiteln eingehend beschrieben wurden, besteht jede Solarstromanlage auch aus den folgenden Teilen:

A) Befestigungssystem für die PV-Module

Abhängig von ihrem Standort, egal ob es eine Dachinstallation auf einem Wohnhaus ist oder eine größere Industrieanlage (Firmengelände, freie Flächen) ist, werden Solarmodule auf geeignete Träger montiert – im Allgemeinen mit einer bestimmten Ausrichtung (feste Neigung, fester Ständer). Die Ausrichtung hängt von der geografischen Breite der Anlage ab, und die Kriterien sind: maximale Sonnenenergienutzung und maximale Flächenausnutzung.

Feste Sockel sind gewöhnlich aus Aluminium, rostfreiem Stahl (feuerverzinkter Stahl) oder Plastik. Sie stellen die Widerstandsfähigkeit gegenüber Wind und/oder am Installationsstandort vorkommende Schneelasten sicher.

Im Falle einer Dachinstallation besteht der Sockel aus den schon erwähnten nebeneinander angeordneten Schienen, die auf die Überdachung geschraubt werden, auf diese Weise ist die Neigung vom bereits existierenden Gebäude vorgegeben. Bei einer Aufdachanlage besteht der Sockel aus Metallrahmen, die auf dem Dach befestigt werden, während die Montage einer Bodeninstallation auf einem Betonsockel oder direkt in der Erde erfolgt. Bei Verwendung einer Betonbasis wird Stahlbeton verwendet und so platziert, dass man Schraubsockel verwenden kann [12].

Elektrischer Anschluss

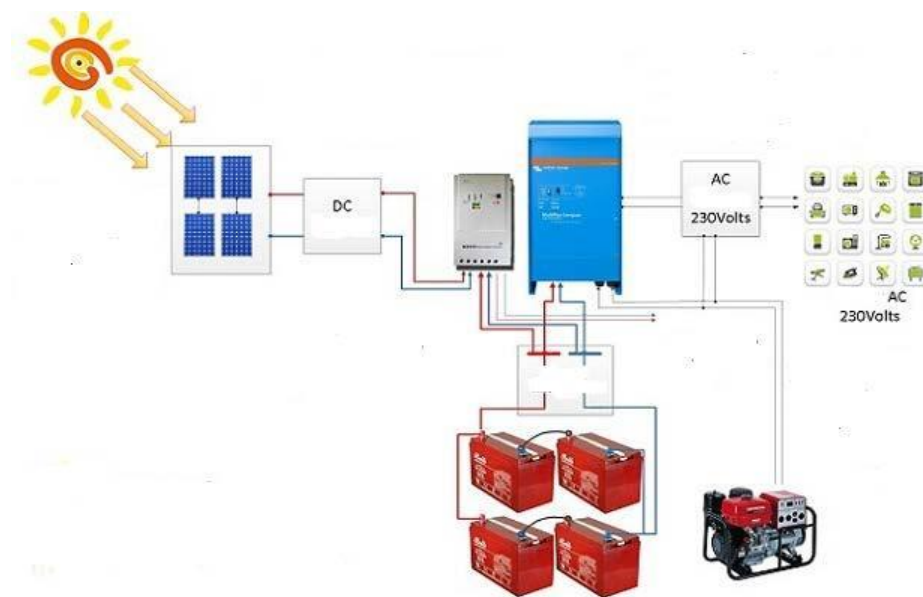


Abbildung 8 – Elektrischer Anschluss einer Inselanlage [13]

Für den reibungslosen Betrieb einer PV-Inselanlage sind eine saubere Konzeption und Aufbau der elektrischen Installation notwendig.

Abbildung 8 zeigt den elektrischen Aufbau eines PV-Inselsystems. Die elektrische Verbindung der verschiedenen Geräte wird mit Gleichspannungsverdrahtung (gleichstromseitig des Wechselrichters) und mit Wechselspannungsverdrahtung (wechselstromseitig des Wechselrichters) gewährleistet. Für die Sicherheit und Isolation der Anlage auf beiden Seiten werden (wie im Bild gezeigt) geeignete elektrische Schaltkästen angeordnet – jeder mit flinken Schmelzsicherungen, Miniaturschutzschaltern, Überstromgeräten (RCD), Überspannungsschutzgeräten, Trennschutzschaltern und Blitzschutzgeräten. Die Auswahl der aufgezählten Geräte hängt von den speziellen Anforderungen eines jeden Projekts ab. In großen Installationen (über 100kW) wird die Niederspannung mit Hilfe eines Transformators auf Mittelspannung erhöht, weil sie für gewöhnlich aus Sicherheitsgründen mit einem elektrischen Gene-

rator verbunden ist. In diesem Fall braucht man zusätzliche Sicherheitsgeräte für Mittelspannung (Automatikschalter, Sicherungen, Kriechstromrelais, Überspannungs- und Überstromschutz, Schutzrelais, Trennschutzschalter, etc.).

Für große Anlagen gibt es Clustering-Boxen auf der Gleichstrom-Seite (Anschluss tafeln, Stromkreisüberwachung und Schutzeinheiten) auf den Halterungen an der Rückseite der PV-Module von manchen Arrays, um so eine einfache Gleichstromverkabelung mit wenig Verlust bis zum Laderegler zu ermöglichen.

Bei einer Außeninstallation der Gleichstromverkabelung müssen Niederspannungskabel, sogenannte "Solarkabel" verwendet werden, die widerstandsfähig gegen UV-Strahlung sind (Schutzklasse II).

Solarmodule werden im Allgemeinen mit den nötigen Gleichstromkabeln geliefert, so dass sie miteinander in Reihe geschaltet werden können. Vom Rand eines jeden Arrays gehen Kabel zu einer Clusteringbox. In Außenanlagen kann die Kabelführung unterirdisch erfolgen oder in Kabelkanälen direkt unter dem Sockel entlanggeführt werden.

Alle Strom- und Kommunikationskabel (für die Anlagenverbindung und die Verbindung mit Niederspannungsgeräten) werden in entsprechend konzipierten Kanälen installiert und, was die unterirdische Verlegung in Gräben betrifft, müssen die Herstellerrichtlinien berücksichtigt werden.

Darüber hinaus haben manche Anlagen eine USV (Unterbrechungsfreie Stromversorgung) um die Versorgung kritischer elektrischer Lasten sicherzustellen.

Absicherung – Sicherheitssysteme für Mensch und Anlage

Im Allgemeinen haben Solaranlagen eine **automatische oder manuelle Feuererkennung und Feuerschutz** integriert. Im Falle eines automatischen Feuererkennungs- und Feuermeldesystems gibt es Feuerdetektoren, die mit einem Feueralarmschaltkasten verbunden sind, von welchem aus die Alarmsirene angesteuert wird. Bei einem manuellen Feuerschutzsystem gibt es gewöhnlich nur vorbeugende Maßnahmen, wie zum Beispiel Feuerlöscher oder Feuerlöschsysteme (Wasserpumpe).

Auch das **Erdungssystem** ist essenziell für einen nahtlosen Betrieb der Anlage, da es die Hauptabsicherung für Mensch und Anlage darstellt. Das Erdungssystem einer PV-Anlage wird nach folgenden Kriterien konzipiert:

- Erdungswiderstand der Anlage minimieren (< 1 Ohm)
- Materialkosten minimieren
- einfache Installation des Erdungssystems

Das Erdungssystem wird nach einer Messung des spezifischen Bodenwiderstandes

am Installationsort und unter Verwendung eines geeigneten Softwarepaketes konzipiert. Im Allgemeinen nutzt man dazu ein feuerverzinktes (St/tZn) Stahlband. Es wird um den Schaltkasten herum installiert oder an einer Schaltanlage (abhängig von der Größe der Anlage) und gewöhnlich an einem Kupfer-Erdungsstab befestigt. Die Systeme für die Umgebungserdung, wo die Kathode und die Blitzableiter enden, werden mit dem Rest des Erdungssystems der PV-Anlage verbunden.

Schließlich gibt es noch die **Blitzschutzanlage (S.A.P)**. Nach der Beurteilung der Gefahr durch Blitze kann es nötig sein (oder auch nicht), eine externe Blitzschutzanlage (S.A.P. I, II, III oder IV) zu installieren, um unterhalb der gesetzlich festgelegten bezahlbaren Risikogrenzen zu bleiben. Gibt es keinen externen Blitzschutz, wird die Absicherung von den eingebauten Überspannungsschutzgeräten (ÜSP, engl.: Surge Protective Device, SPD) übernommen. Jede Blitzschutzanlage besteht aus einem externen und einem internen Blitzschutzsystem. Das externe Blitzschutzsystem schützt die elektronischen Geräte, sowie auch Menschen, vor direkten Blitzen. Es besteht aus dem Erdungssystem, dem Überspannungsschutzgerät und dem Blitzauffangsystem. Der interne Blitzschutz schützt Geräte und Menschen vor den elektromagnetischen Auswirkungen direkter oder indirekter Blitze. Es besteht aus dem Potenzialausgleichssystem und dem Überspannungsschutzgerät.

Literaturnachweis – Webquellen

- [1] <http://www.dupont.com/products-and-services/solar-photovoltaic-materials/what-makes-up-solar-panel.html#>
- [2] Issue 03/2014, PV-magazine , Industry and suppliers, Enduring to the end, Sara Ven-bruggen
- [3] Evolution in photovoltaic systems for sparse electric energy production, I. Kompougias, A. Kiritsis, A. Nanakos, E. Tatakis, 2006
- [4] National Renewable Energy Laboratory, Golden CO, [United States Department of Energy](#), 01 June 2015
- [5] K. Kagkarakis, Photovoltaic Technology, Symmetria Publications, Athens 1992
- [6] Tom Markvart, Luis Castaner, Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Elsevier Ltd 2003
- [7] H.A. Kiehne, Battery Technology Handbook, Marcel Dekker Inc, 2nd edition 2003
- [8] DOE Handbook, Primer on Lead Acid Storage Batteries, Department of Energy, United States of America, 09/1995
- [9] <http://www.victronenergy.com/blog/2014/03/28/matching-victron-energy-solar-modules-to-the-new-mppt-charge-regulators/>
- [10] <http://www.molis.gr/ilektrismos.html>
- [11] Sandeep Anand, Rajesh Singh Farswan, Bhukya Mangu, B.G. Fernades, "Optimal charging of battery using solar pv in standalone DC system", Industrial Electronics Magazine, vol.7, no-3, pp.6-20,

Sep 2013

[12] M. Damianidhs, Γ.Katsaros, M.Tolis, Φ.Stergiopoulos, Technical Chamber of Greece, Department of Central Macedonia, Constant commission of energy, «Guide for design and actualization of photovoltaic projects», Thessaloniki, April 2011

[13] M.P. energy solutions, 2015