

## **I - Photovoltaik oder „Die Sonne schreibt keine Rechnung“ (3)**

Das Herzstück einer jeden Photovoltaik-Anlage sind die PV-Module, die wiederum aus einer Anzahl von Photovoltaikzellen bestehen. Diese wandeln die einfallende Strahlungsenergie (Globalstrahlung) in elektrische Energie um. Jede PV-Zelle ist ein kleines Minikraftwerk, in dem Lichtenergie direkt in Gleichstrom umgewandelt wird. Dabei gilt, je mehr Lichtenergie zur Verfügung steht, desto mehr Gleichstrom wird auch erzeugt, was dann die Leistung der PV-Anlage entsprechend erhöht.

### **Strom aus Sand plus Licht**

Das Ausgangsprodukt zur Herstellung von kristallinen Photovoltaikzellen ist Quarzsand oder Quarzkiesel, der dann in Schmelzöfen bei rund 2000 Grad unter Zufuhr von Kohlenstoff zu Rohsilizium mit einem Reinheitsgrad von ca. 98-99 % verarbeitet wird. Doch dieser Reinheitsgrad ist noch nicht ausreichend und so sind noch mehrere, teils aufwendige Produktionsschritte notwendig, um den notwendigen Reinheitsgrad von mindestens 99,99 % für sogenanntes multikristallines Solarsilizium (unterschiedliche Ausrichtung der Kristalle) zu erreichen. Zur Herstellung von hocheffizienten monokristallinen Solarzellen (einheitliche Ausrichtung der Kristalle) wird das Silizium bei ca. 1200 Grad erneut aufgeschmolzen und mit Hilfe eines Kristallkeims zu hochreinen (99,9999%) monokristallinen runden Siliziumstäben weiterverarbeitet, woraus dann ca. 0,1-0,2 mm dünne Wafer gesägt werden. Diese werden dann noch gezielt mit Fremdatomen (Bor, Phosphor) dotiert (geimpft), um eine homogene elektrische Leitfähigkeit (Elektronenfluss) in den hergestellten Wafern zu gewährleisten. Eine wenige Millionstel Millimeter dicke transparente Antireflexschicht aus Siliziumnitrid verleiht dann der PV-Zelle die typische dunkelblaue Farbe, um Reflexionsverluste des Siliziums zu reduzieren. Diese so hergestellten monokristallinen Zellen sind mittlerweile Standard und haben auch den höchsten Wirkungsgrad von bis zu 23 %, d.h. 23 % der einfallenden Strahlungsenergie wird in elektrische Energie umgewandelt. Diese verschiedenen Herstellungsprozesse sind komplex und energieintensiv. Daher stellt sich zurecht die Frage, wie lange es dauert, bis ein Modul die zur Herstellung aufgewendete Energie wieder selbst produziert hat. Die dazu nötige Amortisationszeit wird auch Energy-Payback-Time genannt und liegt in den letzten Jahren nach neueren Untersuchungen vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) zwischen ca. 1 und 2,5 Jahren. In Europa produzierte Module schneiden dabei günstiger ab als in Asien produzierte, denn in Europa liegt die Energy-Payback-Time bei ca. 1-1,5 Jahre. Anzumerken ist hierbei auch, dass sich der Rohstoffverbrauch in Bezug auf Silizium in den letzten rund 15 Jahren von etwa 16 g pro Watt Peak auf weniger als 3 g vermindert hat. Auch interessant ist die Recyclingquote, die bei älteren Modulen bei rund 80% liegt und bei neueren Modulen inzwischen mehr als 90 % erreicht.

### **Moduleigenschaften**

Hochleistungsmodule basieren heute fast ausschließlich auf monokristallinen Halbzellen. Der Vorteil von Halbzellenmodulen gegenüber Vollzellenmodulen sind eine um 2-4% höhere Leistung durch eine verbesserte Ausnutzung des Lichts und vor allem eine bessere Ausbeute bei Teilverschattung, was im Bild 1 schematisch dargestellt ist. Eine Anmerkung an dieser Stelle: Bekannte Verschattungen sollten unbedingt bereits bei der Anlagenplanung

berücksichtigt werden, sowohl durch eine entsprechende Modulverteilung auf dem Dach und durch deren Verschaltung untereinander. Auch der Einsatz von sog. Leistungsoptimierern kann den negativen Einfluss von Verschattungen auf die Modulleistung reduzieren.

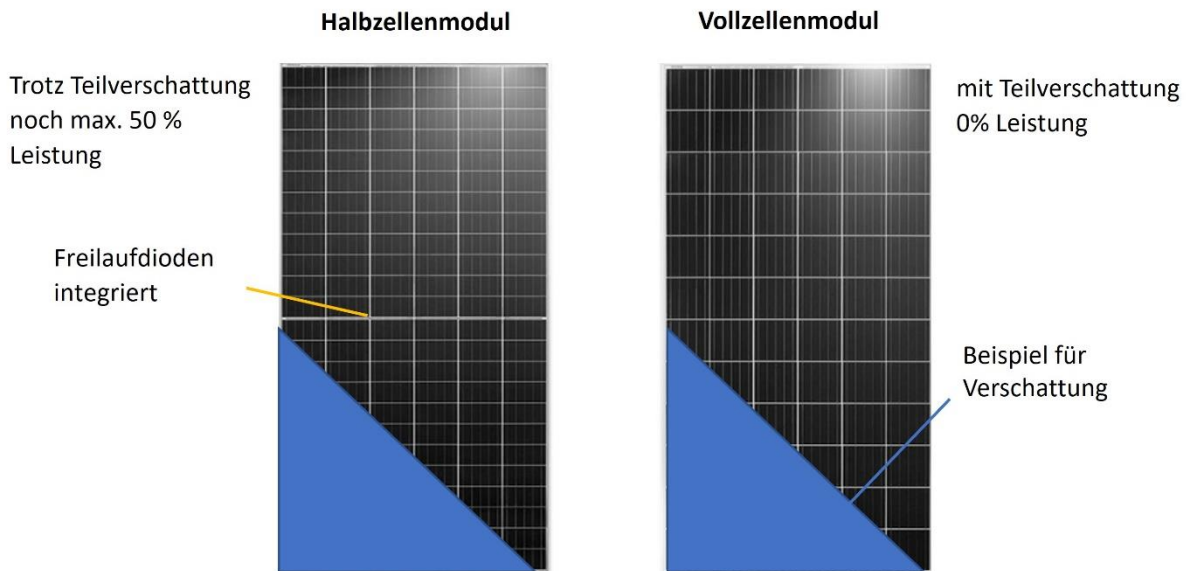


Bild 1: Unterschied zwischen Voll- und Halbzellenmodul beim Einfluss einer Teilverschattung

Typischerweise enthält so ein Modul dann zwischen 108 und 120 Halbzellen mit 6 Strings (jeweils 3 in Reihe verschaltet) mit in Reihe geschalteten Zellen. Die Zellen sind auf der vorderen aktiven Zellseite durch ein Spezialsicherheitsglas geschützt und in einem stabilen Aluminiumrahmen eingerahmt. Bei mono-fazialen Modulen (einseitig) ist die Rückseite durch eine robuste Kunststoffolie geschützt, während die sogenannten bi-fazialen (zweiseitige Zellen) Module auch auf der Rückseite durch eine Spezialglasscheibe geschützt sind. Die bi-fazialen Glas-Glas-Module sind langlebiger und robuster als die Glas-Folien-Module und sind besser vor Umwelteinflüssen geschützt. Sie haben dazu noch den Vorteil, dass auch Licht, das z.B. durch Reflexionen an einem hellen Hintergrund (Rückstrahlvermögen des Untergrunds) auf die Rückseite strahlt, zusätzlich die Leistung des Moduls um etwa 5-15% erhöht. Diese Module werden häufig in der Landwirtschaft und auf Freiflächen mit vertikaler Ausrichtung verwendet. Um sich ein umfassendes Bild über die Leistungsfähigkeit der Module machen zu können, gibt es zu jedem Modul ein umfangreiches Moduldatenblatt, wo alle relevanten Daten angegeben sind. Das sind z.B. Abmessungen und Gewicht, Zelltechnologie, Leistungsdaten und einige mechanische Eigenschaften wie Wind- und Schneelast sowie die Hagelfestigkeit. Prinzipiell lohnt es sich, für die PV-Module eher etwas mehr Geld auszugeben, denn je besser die Qualität ist, umso höher sind die langfristig gesicherten Erträge mit entsprechend deutlich besseren Garantiebedingungen der Hersteller. Dies betrifft einmal die sogenannte lineare Leistungs- und auch die Produktgarantie, wo es zwischen Standard- und Premiummodulen zum Teil große Unterschiede gibt. Die lineare Leistungsgarantie beschreibt die Leistungsabnahme eines Moduls durch den Alterungsprozess, oder anders formuliert, die Leistungsgarantie bezieht sich auf eine garantierte Leistung, die die Module nach einem bestimmten Zeitraum noch erbringen müssen. Gute Standardmodule erzeugen nach 25 Jahren noch

ca. 85% der ursprünglichen Leistung in Bezug auf den Neuzustand, während hochwertige Premiummodule nach 25 Jahren teilweise bis zu 90-95% Ertrag generieren. Im Moduldatenblatt wird dies durch ein entsprechendes Diagramm dargestellt. Auch in der Produktgarantie gibt es deutliche Unterschiede. Für gute Standardmodule geben die meisten Hersteller 12-15 Jahre Garantie, während für Premiummodule 30-40 Jahre keine Seltenheit mehr sind. Es lohnt sich also durchaus diesbezüglich genauer hinzusehen, denn letztendlich sagt die Länge der Produktgarantie einiges darüber aus, wieviel Vertrauen ein Hersteller in seine Produktqualität hat.

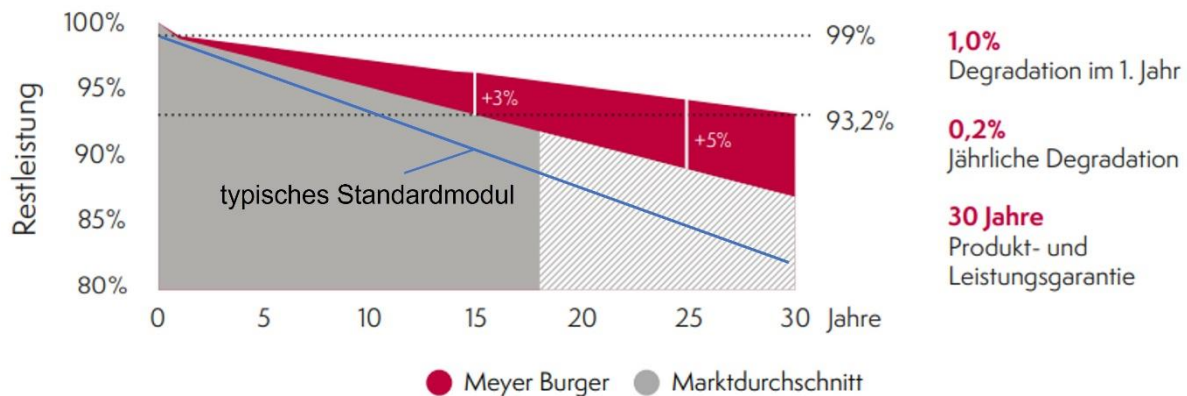


Bild 2: Beispiel für eine lineare Leistungsgarantie eines hochwertigen Glas-Glas-Moduls (Meyer Burger) von über 93% nach 30 Jahren und einer Produktgarantie von 30 Jahren

Es stellt sich nun noch die Frage, wie eigentlich Qualität bei PV-Modulen definiert ist. Letztendlich geht es um die Zuverlässigkeit während des realen Betriebs und dies ist aus den Moduldatenblättern nicht zu erkennen. Neben den gängigen Basiszertifizierungen, die auch im Datenblatt angegeben sind, gibt es auch weiterführende umfangreiche Qualitätstests durch das unabhängige PVEL-Institut. PVEL (PV Evolution Labs) ist ein weltweit anerkanntes Labor für Zuverlässigkeits- und Leistungstests von Solarmodulen. Im Rahmen des eigenen Produktqualifizierungsprogramms (PQP) prüfen und testen die Experten unabhängig die Solarmodule führender Hersteller. Die Ergebnisse werden jährlich in der PV Module Reliability Scorecard veröffentlicht. Die besten Produkte erhalten den Titel „Top Performer“. Hierbei werden die Produkte ausgiebig auf diverse mechanische Beanspruchungen, Feuchtwärme, Temperaturwechsel, spannungsinduzierte sowie licht- und temperaturabhängige Degradation getestet. Relativ neu ist die sogenannte Carbon Footprint Verification (CFV) von der British Standards Institution (BSI). Dabei werden Tests durchgeführt, die zur Beurteilung und Quantifizierung der CO<sub>2</sub>-Bilanz dienen. Auf dem Prüfstand steht der gesamte Produktlebenszyklus – von der Beschaffung der Rohstoffe bis hin zum Recycling der Solarmodule. Sehr umfassend und aussagekräftig sind auch die Tests der Fachzeitschrift Photon in Zusammenarbeit mit dem Photovoltaik-Institut Berlin. Hierzu wurden drei Testzyklen entwickelt, die belastbare Aussagen zur Produktqualität, Lebensdauer und Ertrag ermöglichen. Die weit verbreiteten IEC-Zertifikate für PV-Module, auf die häufig in den Moduldatenblättern Bezug genommen wird, haben in der Praxis wenig Aussagekraft. Zum Beispiel sind die Anforderungen der IEC 61215 Norm so gering, dass praktisch jeder Hersteller diese ohne Probleme erfüllen kann. Die darin enthaltenen

verschiedenen Belastungstests sind nicht besonders realitätsnah und daher kaum geeignet, um belastbare Aussagen über die Modulqualität machen zu können.