

1. **Wann wurde die erste Solarzelle realisiert und woher kommt der Name Photovoltaik?** 2
2. **Wie kann die Solarzelle elektrischen Strom ohne bewegte Teile produzieren?** 3
3. **Wie viel Quadratmeter Solarzellen braucht ein Haushalt um den Stromverbrauch mit Solarenergie abzudecken?.....** 4
4. **Welchen Solarstromertrag erzielt mein Hausdach, wenn es nicht optimal nach Süden zeigt?.....** 5
5. **Was braucht es neben den Solarmodulen noch, um Solarenergie ins elektrische Stromnetz zu liefern?** 6
6. **Was ist der Unterschied zwischen den Standard Siliziummodulen und den Dünnschichtmodulen?.....** 7
7. **Welche Wirkungsgrade haben Solarzellen und Solarmodule und ist der Wirkungsgrad wirklich so wichtig für den wirtschaftlichen Erfolg?** 8
8. **Worauf muss der Kunde achten, um eine hohe Qualität der Photovoltaikanlage zu sichern und damit Fehlinvestitionen zu vermeiden?** 9
9. **Wie lange dauert es bis der Strom für die Herstellung der Solarmodule erzeugt ist?** 10
10. **Welche Nachbarländer sind beim Einsatz der Solartechnik führend?** 11

1. Wann wurde die erste Solarzelle realisiert und woher kommt der Name Photovoltaik?

Im Jahr 1953 wurde von Gerald Pearson an den Bell Laboratorien, New Jersey USA, die erste Solarzelle erfunden, die bereits einen Wirkungsgrad von ca. 5 Prozent hatte. In der gleichen Forschungseinrichtung wurde fünf Jahre davor der Transistor erfunden, ein Bauelement, welches ebenfalls aus dem Halbleitermaterial Silizium aufgebaut ist und ohne dem heute kein elektronisches Gerät wie Handy, Fernseher, Computer funktionieren könnte. Über 90% aller heutigen Solarzellen sind ebenfalls aus Silizium gefertigt. Einzelne Dünnschichtsolarzellen, die heute auf den Markt kommen, verwenden aber andere Halbleitermaterialien wie Verbindungen aus Kupfer, Indium und Selen (CIS) oder Cadmium und Tellur.

Der Begriff Photovoltaik (oder Fotovoltaik) ist ein Wortgebilde aus Photos, griechisch Licht, und Volt, die Einheit der elektrischen Spannung, benannt nach Alessandro Volta (1745-1827). Photovoltaik bezeichnet die Funktion der Solarzelle, die das Licht und den elektrischen Strom „verheiratet“.

Die Photovoltaik Branche setzte im Jahr 2008 weltweit ca. 30 Mrd. Euro um und beschäftigte dabei ca. 70 000 Menschen.



Abbildung 1 Die erste Anwendung der Photovoltaik wurde zur Stromversorgung des Satelliten Vanguard I im Jahr 1958 realisiert, bereits fünf Jahre nach der Erfindung der ersten Solarzelle.

2. Wie kann die Solarzelle elektrischen Strom ohne bewegte Teile produzieren?

Die Energie im Sonnenlicht wird von den kleinsten Lichtteilchen, den Photonen, geliefert. Ein Photon, dessen Energie der Farbe blau entspricht, trägt die doppelte Energie wie ein rotes Photon. Die Solarzelle übernimmt die Energie eines einzelnen Photons vollständig und verwendet sie, um die Energie an ein Elektron der Solarzelle zu übergeben. Allerdings können nur jene Photonen dazu genutzt werden, deren Energie die Bandlücke, eine materialspezifischen Energiedifferenz, übersteigt. Für das heute am Markt dominierende Solarzellenmaterial, das kristalline Silizium, würde die Anzahl der im Standard Sonnenlicht (AM1.5 nach STC) vorhandenen Photonen mit einer Energie grösser als die Bandlücke, eine elektrische Stromstärke der üblichen Solarzellen von 10 Ampere theoretisch erlauben. Kommerzielle kristalline Siliziumsolarzellen erreichen etwa drei Viertel dieses theoretischen Werts, was einem Strom von 7.5 Ampere für heute typische quadratische Abmessung von 156mm mal 156mm entspricht. Die elektrische Leistung, die die Solarzelle liefert, wird vom Produkt aus Strom und Spannung bestimmt. Die elektrische Spannung einer kristallinen Solarzelle von ca. einem halben Volt ist umso grösser, je grösser die materialspezifische Bandlücke ist.

Kristalline Solarzellen bestehen aus einer ca. 0.18 Millimeter dicken Siliziumscheibe (Wafer). Durch den gezielten Einbau von Fremdstoffen, Dotierung, erlangt sie die Fähigkeit, die energetisch angehobenen Elektronen mittels des elektrischen Feldes, welches an der Grenz zwischen n-dotiertem und p-dotiertem Gebietes entsteht, an die äusseren Kontakte zu führen. Um diese beweglichen Elektronen über die gesamte Waferfläche der kristallinen Solarzelle zu sammeln, sind auf der der Licht zugewandten Seite metallische Streifen (Elektrodenfinger) im Abstand von ca. einem Millimeter aufgebracht.

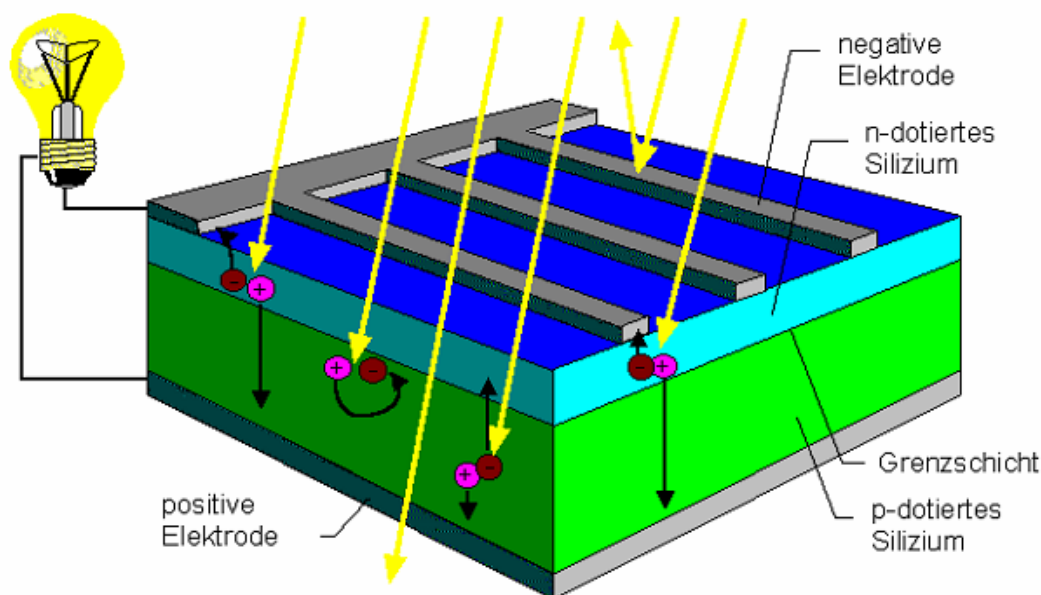


Abbildung 2 Der Querschnitt einer Solarzelle mit den metallischen Streifen (negative Elektrode) die auf dem n-dotierten Silizium aufgebracht ist. (Bild. V. Quaschnigg, TU Berlin)

3. Wie viel Quadratmeter Solarzellen braucht ein Haushalt um den Stromverbrauch mit Solarenergie abzudecken?

Zur vollständigen Versorgung eines sparsamen Durchschnittshaushalts ist eine Photovoltaiknennleistung von 3kW nötig, was einer photovoltaisch genutzten Dachfläche von 21 Quadratmetern entspricht.

Im typischen Schweizer Haushalt bewohnen zwei Personen vier Zimmer. Der gesamte jährliche Stromverbrauch lag im Jahr 2005 bei 5200kWh für Zweipersonenhaushalten, die in Einfamilienhäuser und 2700kWh für jene, die in Wohnungen leben. Typische Verbraucher sind der Kühlschrank mit im Mittel 450kWh, der PC mit ca. 250kWh oder der Elektroboiler, der pro Person 1000kWh jährlich verbraucht.

Mit einem einzelnen Solarmodule der Nennleistung von 230W kann auf einer Fläche von ca. 1.6 Quadratmeter im Schweizer Durchschnitt 200kWh solare Elektrizität ins Stromnetz eingespeist werden. Ein solches Solarmodul genügt, um z.B. den eigenen PC mit Solarstrom zu versorgen und weitere zwei Module würden benötigt, um den Wäschetrockner solar zu versorgen. Grundsätzlich lässt sich die Leistung der Photovoltaikanlage wunschgerecht ab einer Leistung von 1000W wirtschaftlich realisieren, wobei zu empfehlen ist, möglichst das gesamte Potential des Hausdachs zu nutzen, auch aus ästhetischen Gesichtspunkten der homogenen Dachbedeckung. In jedem Fall sollten Solarmodule auf dem Dach so angeordnet werden, damit auch nicht kleine Teile der Solaranlage abgeschattet werden, sei es durch Schornsteine, Nachbargebäude oder Bäume.

Solar versorgter Haushalt Schweiz	Anzahl Solarmodul mit 230W	Solar-modul-fläche [m ²]
Kühlschrank	2	3
Gefrierschrank	2	3
Trockner, Tumbler	2	3
Beleuchtung	3	5
PC	1	1.6
Warmwasser Elektroboiler pro Person	5	8
2-Person EFH	26	42
2-Person Wohnung	13	21

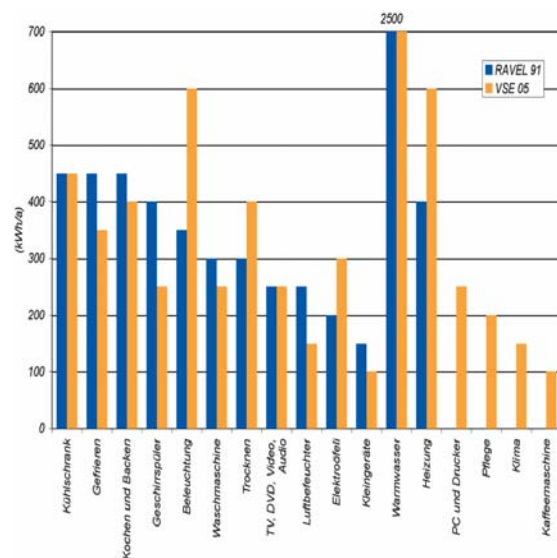


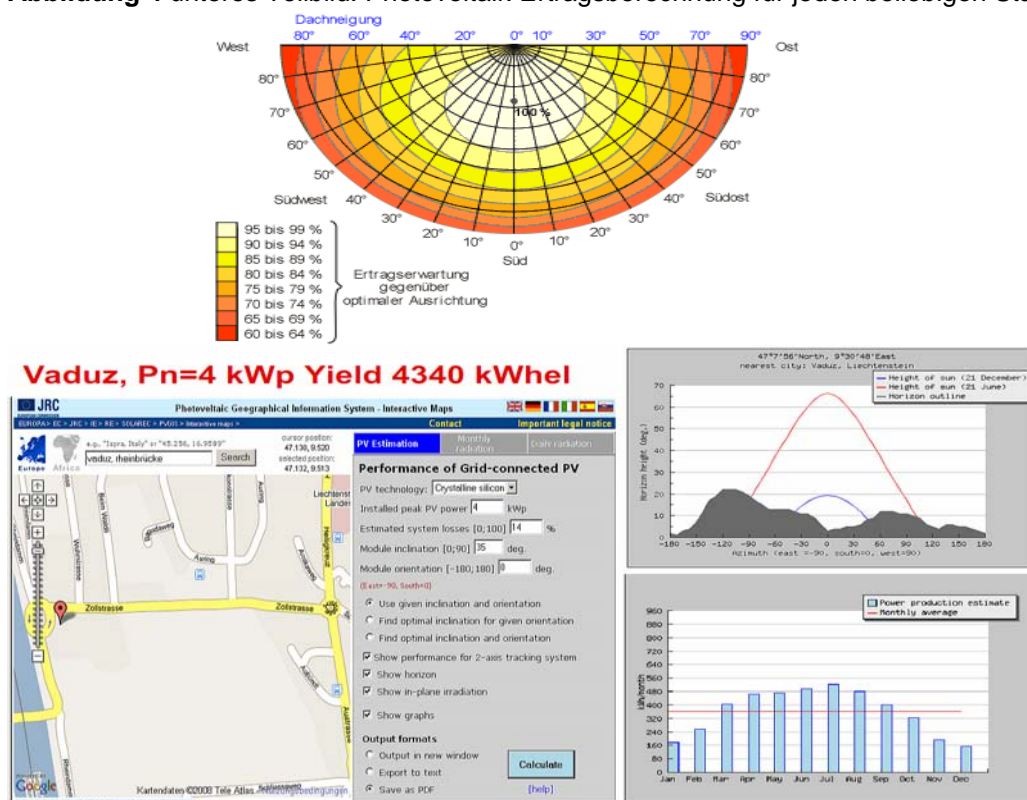
Abbildung 3 Die Tabelle bezieht sich auf ein marktgängiges kristallines Solarmodule mit einem Wirkungsgrad von 14%. Bei der Verwendung von Dünnschichtmodulen sind die nötigen Solarmodulflächen um etwa ein Drittel zu vergrössern.
Rechtes Teilbild: Der Stromverbrauch im Schweizer Haushalt 1991 und 2005 stieg um etwa einem Viertel mit einem typischen Strombedarf für Elektroboiler von 1000kWh pro Person (Referenz: A. Huser et. al. Bulletin SEV/VSE 4/2006)

4. Welchen Solarstromertrag erzielt mein Hausdach, wenn es nicht optimal nach Süden zeigt?

Liegt die Dachausrichtung zwischen Südost und Südwest und weicht die Dachneigung von den optimalen 30 Grad zur Horizontalen um etwa +/- 15 Grad ab, so beträgt die Einbusse des jährlichen Ertrags nur 5% bezogen auf die optimal nach Süd orientiert und 30 Grad geneigten Dachfläche. (Abbildung, oben) Genauere Ertragsberechnungen können über den Web-Rechner der EU Kommission, JRC Ispra, für jeden Standort in Europa durchgeführt werden. (Abbildung unten)

In unserer Region steht die Sonne zur Mittagszeit im Sommer 67 Grad über dem Horizont und im Dezember nur 20 Grad. Da aber im Sommerhalbjahr eine Solaranlage zwei Drittel der Energie liefert, ist es für den optimalen Jahresertrag günstiger, die Module etwas flacher, mit einem Winkel von etwa 30 Grad zur Horizontalen, fest aufzustellen. So kann im Schweizer Durchschnitt auf einer nach Süden ausgerichteten und 30 Grad geneigten Solarmodulfläche eine Solarenergiemenge von 1250kWh pro Quadratmeter empfangen werden. Wird dieser Solarenergiebezug mit der Kennzahl PR multipliziert, die für gute Anlagen bei ca. 0.8 liegt, folgt die ins Netz eingespeiste Menge an elektrischem Solarstrom. Für eine 3kW Solaranlage errechnet sich so aus dem Produkt:
*Nennleistung (3kW) * Solareinstrahlungsmenge (1250kWh) * Performance Ratio (0.8) = Wert von 3000kWh Elektrizität ans Stromnetz.*

Abbildung 4 unteres Teilbild: Photovoltaik-Ertragsberechnung für jeden beliebigen Standort in



Europa unter: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php> (mit Schattenanalyse, Unsicherheit ca. 3 bis 10%); für die Schweiz stellt der WWF bzw. Swissolar Rechner mit einer einfacheren Berechnung ohne Schattenanalyse die Prognose der Solarstromerträge bereit http://www.wwf.ch/de/tun/tipps_fur_den_alltag/wohnen/solarenergie/ vgl. auch www.swissolar.ch oberes Teilbild aus <http://www.photovoltaik-profit.de>

5. Was braucht es neben den Solarmodulen noch, um Solarenergie ins elektrische Stromnetz zu liefern?

Ein typisches Solarmodul mit einer Leistung von 230 Watt reicht nicht aus um den Strombedarf eines Haushalts zu decken. Daher arbeiten z.B. 15 solcher Module in einer typischen Solaranlage auf dem Einfamilienhaus und können gemeinsam eine Leistung von 3500 Watt (oder 3.5kW) liefern. Sie erzeugen allerdings nur Gleichstrom, wie eine konventionelle Autobatterie auch. Daher braucht es noch ein elektrisches Gerät, den Solar-Wechselrichter, der diesen Gleichstrom in Wechselspannung wandelt. Denn nur 50 Hertz Wechselstrom kann in unser 230 Volt Hausstromnetz eingespeist werden. Jede kWh erzeugter Wechselstrom wird dann von einem eigenen Stromzähler erfasst, da sich danach üblicherweise die Vergütung (KEV Kostengerechte Einspeise Vergütung) berechnet.

Natürlich müssen die Solarmodule erst mechanisch auf dem Dach montiert werden, wozu in den letzten Jahrzehnten eine Vielzahl von auf die jeweiligen Dachtypen angepassten Montagesystemen entwickelt wurden. Danach werden die Solarmodule elektrisch mit Leitungen untereinander und am Ende mit dem Wechselrichter verbunden. Letztere Arbeiten müssen von einer Elektrofachperson ausgeführt werden und den regionalen Anschlussbestimmungen genügen. Das lokale EW muss dann diese Anlage abnehmen. Arbeiten an hohen Gleichspannungen müssen von Fachpersonen ausgeführt werden, da Lichtbögen, die im Fehlerfall entstehen können, zu massiven Personen und Sachschäden führen können.

Teilkosten	Anteil
Solarmodul	70%
Wechselrichter	10%
Montage	10%
Diverses	10

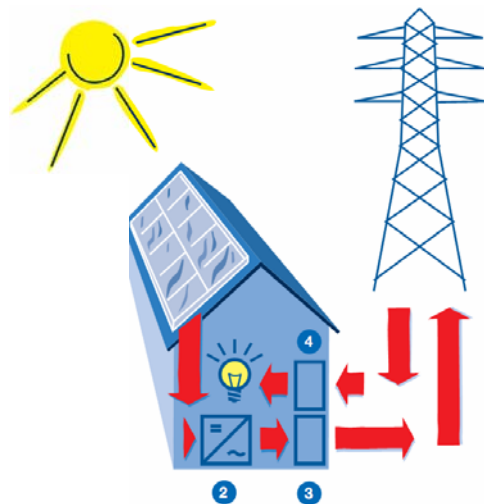


Abbildung 5 Die Komponenten eines Photovoltaik Kraftwerks auf dem Hausdach und deren Kostenanteil (LKW, PV Fibel 2004)

6. Was ist der Unterschied zwischen den Standard Siliziummodulen und den Dünnschichtmodulen?

Kristalline Silizium Solarmodule haben heute eine typische Solarzellendicke von etwa 0.2mm, während die Materialklasse der Dünnschichtsolarzellen mit einer um etwa den Faktor 100 kleineren Solarzellendicke auskommt. Dies ist nur möglich, da die Materialien der Dünnschichtmodule die Eigenschaft besitzen, die einzelnen Photonen des Sonnenlicht bereits mit einer kleineren Zelldicke zu absorbieren, ohne dass sie auf der Rückseite ohne Energietransfer wieder entweichen. Weniger hochreines und teures Solarzellenmaterial reduziert Kosten und verbessert die Energierücklaufzeit des Solarmoduls (vgl. Frage 10)

Aufbau des Standardsolarmoduls aus kristallinem Silizium:

Eine einzelne Standard Solarzelle aus Silizium von der Grösse 15 mal 15 Zentimeter kann heute eine Leistung von 4 Watt erzeugen. In einem Solarmodul von der Grösse 1 mal 1.6 Meter arbeiten typisch 60 solcher Solarzellen nebeneinander und liefern so eine maximale Leistung von 240 Watt. Die einzelnen Zellen sind mittels verzinnnten Kupferbändern elektrisch in Serie geschaltet, was einigen Aufwand im Herstellungsprozess dieser Module erfordert.

Aufbau eines Dünnschichtsolarmoduls:

Die Einzelzelle ist nur etwa ein Zentimeter breit und so lang wie das Solarmodul selbst, z.B. 1.4 Meter. Der Herstellungsprozess der Schichtabscheidung auf Glas und der anschliessende Prozess zur Trennung der Einzelzellen mittels Laser ist hoch automatisiert und bietet so auch noch deutliche Kostenreduktionspotentiale.


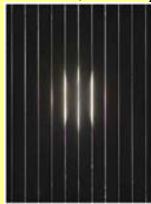
	Standardmodule (kristallines Silizium) 	Dünnschichtmodule (amorphes Silizium, CdTe, CIS) 
Wirkungsgrad	ca. 14% (max 18%)	ca. 10% (max 12%)
Nennleistung/Modulfläche	240W / 1.6m ²	130W / 1.4m ²
Zelldicke	0.18mm	0.002mm
Abmessung Einzelzelle	0.15m x 0.15m	1.4m x 0.01m
Anteil Weltmarkt 2008	90%	10%

Abbildung 6 Gegenüberstellung der Kenngrössen der heute üblichen Solarmodultypen.

7. Welche Wirkungsgrade haben Solarzellen und Solarmodule und ist der Wirkungsgrad wirklich so wichtig für den wirtschaftlichen Erfolg?

Die Hauptursache, warum bei Verwendung eines einzelnen Solarzellenmaterials ca. zwei Drittel der Energie im Licht auch theoretisch nicht genutzt werden kann, liegt an nachfolgenden Effekten (vgl. Frage 2):

Etwa 20 Prozent der Verluste werden jenen Photonen zugerechnet, die eine kleiner Energie als die Bandlücke mitbringen und damit zuwenig Energie haben um ein Elektron anzuregen.

Weitere 50% der Lichtleistung sind andererseits Verluste von jenen Photonen, die eine höhere Energie als die Bandlücke haben. Da die an die Kontakte gelieferter elektrische Energie eines einzelnen Photons etwa 2/3 der Bandlückenenergie entspricht, verpufft die zusätzliche Energie der hochenergetischen Photonen in Wärme und nicht in Strom.

Am Markt liegen heute die Wirkungsgrade von kristallinem Silizium Solarzellenmaterial grossteils bei 14 %, von Solarmodulen mit ca. 1.5 Quadratmeter Grösse, während der Weltrekord dieser Materialklasse für kleine Laborzellen bei 25% liegt. Die besten Dünnschichtsolarmodule am Markt liegen auch knapp über 10% Wirkungsgrad.

Da jedoch die im Jahr erzeugte Menge an Solarstrom proportional zur Nennleistung des Moduls ist, ist für den wirtschaftlichen Erfolg die spezifische Kennzahl, Preis pro Nennleistung, der Mitte 2009 am Weltmarkt bei ca. 3.5 Franken pro Watt, für kristalline Silizium Module lag. Die Herstellkosten der heute in grösseren Mengen verfügbaren Dünnschichtmodulen lag im gleichen Zeitraum bei weniger als der Hälfte des obigen Wertes.(vgl. Frage 9)

	Krist. Si	a-Si/uc-Si	CdTe	CIGS
Rekordzelle	24 %	12 %	16 %	20 %
Marktmodul	11-17 %	6- 10 %	10-11%	10-12 %

Quelle: F. Baumgartner

Angaben: die drei rechten Spalten sind jeweils
Dünnschichtmodule

elektronik JOURNAL

Abbildung 7 Der Wirkungsgrad der unterschiedlichen Solarzellentechnologien. (elektronik Journal 09/2009)

8. Worauf muss der Kunde achten, um eine hohe Qualität der Photovoltaikanlage zu sichern und damit Fehlinvestitionen zu vermeiden?

Der heutige Stand der Photovoltaik Technologie bedingt, im Hinblick auf eine Anlagenlebensdauer von über 25 Jahren, bei einer garantierten Nennleistung von 80% über 20 Jahre, dass speziell auf die Qualität der Solarmodule geachtet werden muss. Die Module bestimmen zwei Drittel der Kosten und sind direkt Wind und Wetter ausgesetzt. Üblicherweise haftet der Lieferant nur über die ersten zwei Jahre für die Komponenten wie Module und Wechselrichter, danach sind etwaige Mängel direkt beim Hersteller, der z.B. in Fernost sitzt, einzuklagen. Daher sollte man bei der Auswahl der Produkte neben dem Preis speziell auf die Qualität des Herstellers und seine Philosophie, wie mit Garantiefällen umgegangen wird, aber auch auf Haftungsfragen achten.

Grundsätzlich können bei Solarmodulen direkt beim Kauf Mängel auftreten, wie eine geringere Nennleistung als vereinbart (tatsächliche Leistung kleiner als die Nennleistung minus unterer Toleranzgrenze). Will der Käufer dies allerdings belegen, so kostet die genaue Messung der Solarmodul-Nennleistung fast so viel wie das Modul selbst, da es ein aufwendiges Messverfahren voraussetzt.

Solarmodule mit einer beim Kauf ordnungsgemässen Nennleistung können aber trotzdem schon wenige Jahre nach Kauf (siehe rechtes Teilbild unten) eine mangelhafte Kunststoffschuttschicht aufweisen, was zwangsläufig zu einer Reduktion der Lebensdauer führt. Mangelhafte Qualität in der Modulherstellung, wie Staub, Einsatz minderwertigen EVA Materials, fahrlässiges Handling der Wafer, sind Ursache und können beim Kauf sehr schwierig erkannt werden.

Beim Wechselrichter sollte auf eine möglichst lange Garantiezeit, z.B. zehn Jahre, und einen hohen Wirkungsgrad geachtet werden. Wechselrichter mit einem um vier Prozent kleineren Wirkungsgrad als jene der Spitzengröße von 97% erlauben einen nur etwa halb so hohen Preis bezogen auf die Nennleistung, da der Kostenanteil der Wechselrichter am Gesamtsystem klein ist.

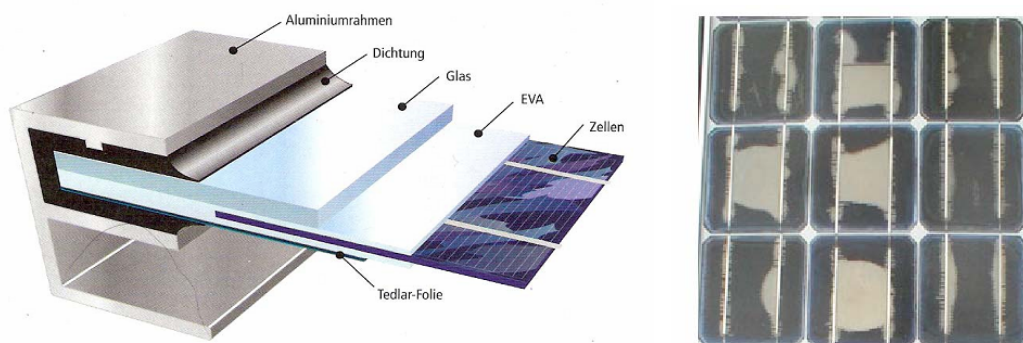


Abbildung 8 Das linke Teilbild zeigt den Querschnitt am Aluminium-Modulrahmen, wobei das Deckglas üblich eine Dicke von 3mm bis 4mm aufweist. Die Siliziumzellen selbst sind in eine Kunststoffschuttschicht (EVA oder PVB) eingebettet und sollen so vor dem Eindringen von Wasserdampf für die 25 jährige Betriebsdauer geschützt bleiben. Das rechte Teilbild zeigt ein Ablösen dieser Schutzschicht von der Siliziumzelle, was langfristig das Eindringen von Wasserdampf und damit die Reduktion der Lebensdauer zur Folge hat. (Bild Referenzen: DGS PV Ordner 2005)

9. Wie lange dauert es bis der Strom für die Herstellung der Solarmodule erzeugt ist?

Die Herstellung eines Photovoltaikkraftwerks braucht natürlich auch Energie, wobei ca. 90% auf die Solarmodule selbst entfallen. Bei Standardmodulen aus multikristallinem Silizium muss etwa die halbe Energie für die Herstellung des hochreinen Siliziumhalbleitermaterials selbst (Si feedstock) und auch noch für die Weiterverarbeitung zu Siliziumscheiben (Wafer) mit einer Dicke von ca. 0.2mm aufgewandt werden. Die Weiterverarbeitung der Wafer zu Strom produzierenden Solarzellen und der Einbau der Wafer hinter Glas ins Modul inklusive dem Modulrahmen benötigt dann auch nochmals fast gleich viel Energie.

Neue Dünnschichtsolarmodule mit Zelldicken von wenigen tausendstel Millimeter Halbleitermaterial haben auch deutlich geringer Energierücklaufzeiten, ca. ein Jahr.

Der Strom erzeugt aus dem europäischen Kraftwerksmix ist mit einer etwa zehnfach höhere Emission des Treibhausgases CO₂ verbunden verglichen mit den ca. 40 gCO₂ pro Kilowattstunde aus Solarzellen.(siehe Abbildung unten)

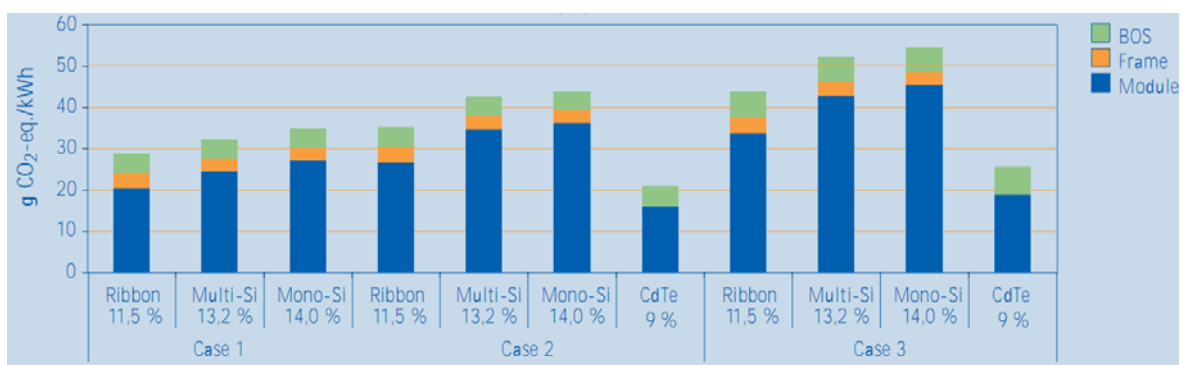
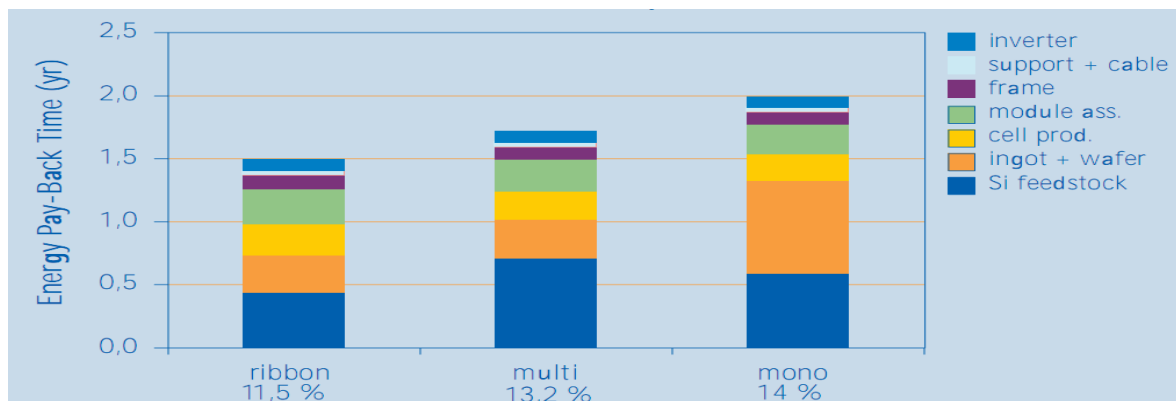


Abbildung 9 Oben: Die Energierücklaufzeit (Energy Pay Back Time) für multikristalline Silizium Solarmodule beträgt in Südeuropa (mit 1700 kWh/m²/a Einstrahlung) etwa 1.7 Jahre. In der Schweiz ist die Zeit um ca. ein Drittel länger bis die Energie für die Herstellung erzeugt ist. (Quelle: IEA PVPS annual report 2007; Alsema; www.iea-pvps.org)

10. Welche Nachbarländer sind beim Einsatz der Solartechnik führend?

Deutschland ist am erfolgreichsten in der Markteinführung von Photovoltaik und hat heute pro Einwohner die zehnfache Leistung an Solarzellen installiert, verglichen mit der Schweiz. Scheinbar ist das Argument, nur dort Solartechnik einzusetzen wo auch die Solarstrahlung hoch ist, nicht relevant. Tatsächlich ist Deutschland auch Weltmarktführer in der Produktion von Solarzellen mit den meisten Photovoltaikjobs weltweit.

Das Förderprogramm in Deutschland garantiert auf der Basis des Energieeinspeisegesetzes den Vergütungspreis für die Einspeisung von Solarstrom über den Zeitraum von 20 Jahren und ist nicht mengenmässig begrenzt. In der Schweiz gibt es seit Anfang 2009 auch ein Förderprogramm für Photovoltaikstrom, jedoch ist die Fördersumme jährlich begrenzt, wodurch pro Jahr in der Schweiz die installierte Leistung nur um etwa 1 Watt pro Kopf erhöht werden kann. Sollte es bei dieser Fördersituation bleiben wären noch 45 Jahre nötig um in der Schweiz die gleiche installierte Solarzellendichte wie in Deutschland zu erreichen.

Die Geschichte der Industrialisierung zeigt, dass nur mit der Marktausweitung die Preise für die Produkte sinken. So auch in der Solartechnik. Bei einer Verdopplung des gesamten Produktvolumens reduzieren sich die Kosten von Solarwärmesystemen um rund 14% sowie um rund 18 % bei der Photovoltaik. Jedoch ist das Marktwachstum im Photovoltaikbereich wesentlich stärker, was zu einer Produktionssteigerung in den letzten 10 Jahren um den Faktor dreissig geführt hat, während der Solarwärme-Markt im gleichen Zeitraum „nur“ um den Faktor 3.8 gewachsen ist.

Die Photovoltaik-Technologien haben das Potential, dass der Photovoltaikstrom mit heutigen Stromgestehungskosten von ca. 70Rp pro kWh Elektrizität in den nächsten Jahren noch deutlich gesenkt werden können. So konnte im Zeitraum Dezember 2008 bis Juli 2009 eine Preisreduktion der Solarmodule auf dem Weltmarkt um ca. einem Fünftel erzielt werden. Getragen wurde dies durch eine Überwindung der Knappheit von Solarsilizium und ausreichende Produktionskapazitäten von Solarmodulen aber auch ein Wegfallen der Solarförderung in Spanien, der im Jahr 2008 kurzfristig der wichtigste Photovoltaikmarkt war.

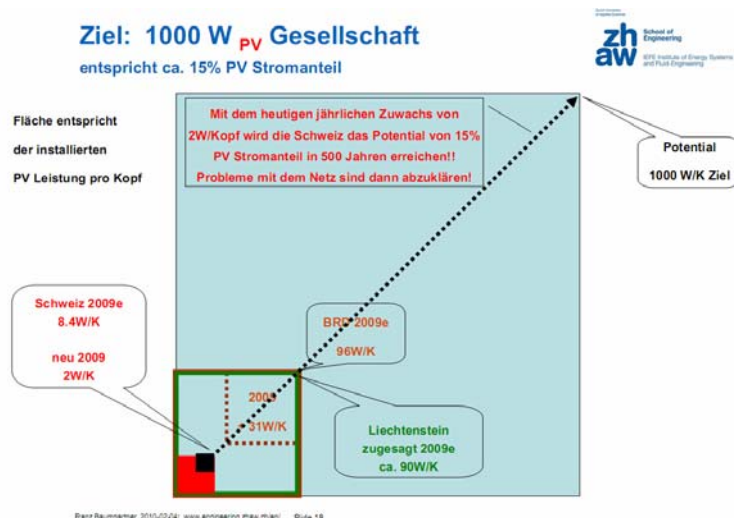


Abbildung 10 Die pro Kopf installierte Solartechnik Leistung von Photovoltaik und Solarthermie Systemen im Ländervergleich (F. Baumgartner, Vortrag National PV Tagung Schweiz, Feb. 2010; bzw. Schweizerisch Technische Zeitschrift STZ, Energy now; Nov. 2008.)