

Photovoltaik und Solarthermie – Energieförderanten der Zukunft

Erneuerbare Energien sind klimafreundlich und
versorgungssicher

Prof. Dr. rer. nat. Eicke R. Weber, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE



Photovoltaikkraftwerk

Foto: Fraunhofer ISE

Klimawandel, Ressourcenknappheit und steigende Ölpreise sind in aller Munde. Anfang Januar 2008 hat der Ölpreis erstmals die magische Grenze von 100 US-Dollar durchbrochen. Damit hat er sich in den letzten zehn Jahren mehr als versechsfacht. Die Nachfrage nach erneuerbaren Energien steigt. Erneuerbare Energien deckten 2007 rund 14,4 % des Stromverbrauches.

Noch liefert die Photovoltaik erst etwa 0,5 %, doch das Wachstum ist gewaltig: Seit 1997 stieg ihr Beitrag um mehr als das Hundertfache, Abb.1! Erneuerbare Ener-

gien sind unerschöpflich: Sonnenstrahlung, Windenergie, Wasserkraft, Biomasse, Erdwärme. Mit Ausnahme der Erdwärme haben alle die Sonne als Quelle. Solarthermie und Photovoltaik wandeln die Strahlung direkt in Nutzenergie um und haben damit das höchste Potenzial aufzuweisen. Die Sonne ist die größte Energiequelle des Menschen. Jede Stunde liefert sie uns den weltweiten Jahresenergieverbrauch frei Haus auf die Erde – das ist ein Faktor von 8600! Die Solarenergie kann die Energieprobleme der Erde lösen.

ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZ EEG ALS MOTOR DES WANDELS

Der Umbau der Energieversorgung von fossilen Energieträgern hin zu erneuerbaren Energien ist verbunden mit dem Wechsel von einer zentralen zu einer dezentralen Energieversorgung. Der Systemwechsel ist auch politisch gewollt und wird in Deutschland durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert. Es bietet jedem Besitzer einer geeigneten Dachfläche die Möglichkeit, ein PV-System auf Kredit zu kaufen, den Kredit mit dem Ertrag des erzeugten Stromes abzuzahlen und nach etwa 15 Jahren ohne Anfangsinvestition Geld zu verdienen. Wer dagegen das System am Anfang voll bezahlt, kann sich über eine jährliche Ausschüttung von fast 10 % der Investition freuen.

Kritiker stören sich an den Kosten. Der Preis für jede Kilowattstunde Solarstrom liegt derzeit nach dem EEG zwischen 35,49 und 51,75 Cent. Dabei wird aber eines leicht übersehen: Jede neue Technologie braucht Förderung. So wurde und wird die Kernenergie massiv unterstützt, doch wird dies über Steuern finanziert und ist wenig transparent.

Das Erneuerbare Energien Gesetz ist eine konsequente Umsetzung des Verursacherprinzips: Die Stromverbraucher finanzieren die neue Technik. Wer viel verbraucht, fördert entsprechend mehr.

Der Erfolg gibt dem EEG Recht: Inzwischen gibt es in über 35 Ländern weltweit Einspeisevergütungen. Die Schere zwischen sinkenden Kosten der Photovoltaik und steigenden Preisen fossiler Energie wird sich zugunsten der Photovoltaik schließen. Bereits in 10 bis 15 Jahren wird Solarstrom zu konkurrenzfähigen Preisen produziert werden können. Ein Großteil der Wertschöpfung bleibt im Land und kommt der deutschen Volkswirtschaft zugute.

Die erneuerbaren Energien werden zunehmend zu einem bedeutenden Wirtschaftsfaktor – sie beschäftigen hierzu bereits 230.000 Menschen. Seit Inkrafttreten des EEG ist die installierte Photovoltaikleistung von 62 auf über 3.400 MW gestiegen.

GEFÄHRLICHER TEMPERATURANSTIEG

Der Einfluss der Menschen auf das Klima ist mittlerweile unbestritten. Im letzten Jahrhundert ist die Jahresmittel-Temperatur um 0,6 °C gestiegen. Nie in der Menschheitsgeschichte war die Konzentration am Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) höher. Es ist zu befürchten, dass die Periode des stabilen Klimas, die seit Beginn des Holozäns vor etwa 10.000 Jahren anhält, zu Ende geht. Eine drastische Reduktion der Treibhausgase ist notwendig. Laut einer Studie

DEUTSCHLAND IST FÜHREND BEI DER PHOTOVOLTAIK

Die Solarzelle ist der Grundbaustein der Photovoltaik. 2007 hat die weltweite Solarzellenproduktion um 44 % zugenommen. Bis 2010 wird die Solarindustrie jedes Jahr um schätzungsweise 50 % wachsen, Abb.3. Experten erwarten, dass der globale Photovoltaik-Markt in einigen Jahren den klassischen Halbleitermarkt und dann selbst die Automobilindustrie überholen wird. Deutschland ist im internationalen Solarmarkt gut aufgestellt und zusammen

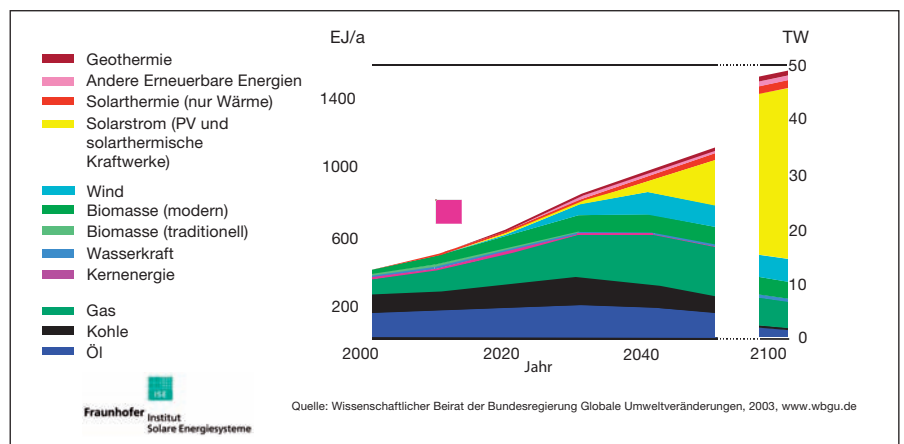


Abb.1 Exemplarischer Pfad: globaler Primärenergieverbrauch (aus Vortrag: „Wohin treibt die Erde“). Die Abbildung zeigt den gesamten Primärenergieverbrauch der Energiewirtschaft. Ohne Solarstrom ist das Potenzial der erneuerbaren Energien ab 2040 ausgeschöpft. Dies zeigt die Notwendigkeit, die Nutzung des Solarstroms weiter auszubauen.

der Bank Sarasin & Cie AG könnten im Jahr 2030 durch die Nutzung der Solarenergie rund drei Gigatonnen CO₂ eingespart werden. Bei erwarteten zusätzlichen 14 Gigatonnen CO₂ entspricht dies einem Anteil von rund 20 %.

mit Japan weltweit führend. Um den Spitzenplatz zu halten, müssen Forschung und Entwicklung ausgebaut werden, so dass Solarzellen leistungsfähiger und preisgünstiger werden. Immerhin sind die Kosten für Photovoltaikanlagen nach Angaben

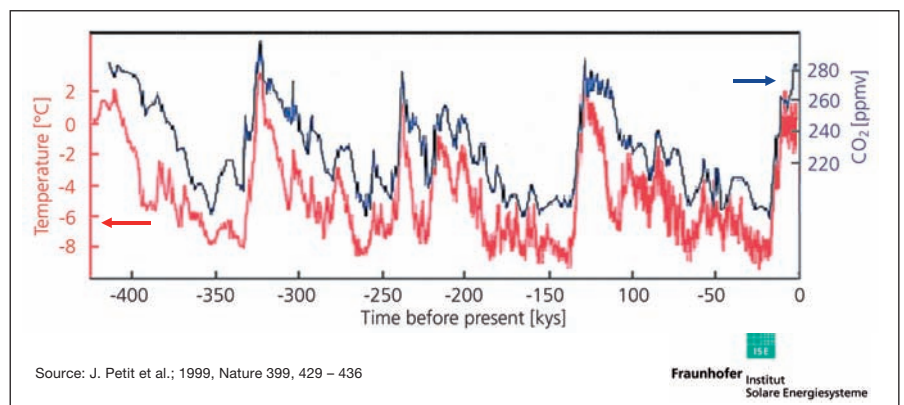


Abb.2 Korrelation zwischen (CO₂) und Temperatur (aus Vortrag: „Wohin treibt die Erde“)

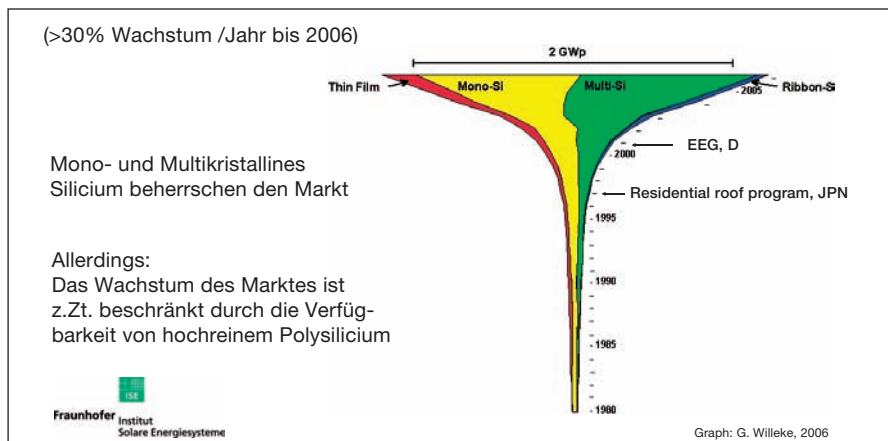


Abb.3 Entwicklung des globalen PV-Marktes (aus Vortrag: „Wohin treibt die Erde“)

des Bundesumweltministeriums zwischen 1991 und 2003 schon um rund 60 % gesunken. Zwei Hauptwege gibt es, die die Kosten senken: Forschung schafft durch neue Ideen bessere Solarzellen, reduziert die Anforderung an Menge und Qualität des Materials und entwickelt zusammen mit der Industrie einfachere Fertigungsprozesse. Der andere Weg ist altbekannt: Immer größere Fabriken produzieren immer rationeller. Dieses Gesetz beschreibt die seit über zwei Jahrzehnten gültige Lernkurve der Photovoltaik. Eine Verdopplung der akkumulierten Produktionsmenge reduzierte im zeitlichen Mittel die Kosten um 20 %, Abb.4.

STROM OHNE LÄRM UND ABGASE

Die Stromerzeugung findet bei Photovoltaikanlagen in den Solarzellen statt. Sie wandeln das einfallende Sonnenlicht

direkt in Gleichstrom um. Dazu „löst“ das Sonnenlicht Elektronen aus einem Kristallgitter und hinterlässt ein Loch. Elektronen und Löcher sind frei bewegliche negative und positive Ladungsträger und wandern in einem elektrischen Feld in entgegengesetzte Richtungen. So entstehen elektrischer Strom und Spannung – ganz ohne Lärm und Abgase. Die Höhe der Spannung hängt vor allem vom verwendeten Halbleitermaterial ab. Solarzellen sind modular: Von Milliwatt-Kleinanwendungen bis zu Kraftwerken im Hundert-Megawattbereich ist alles möglich. Dazu werden die Zellen zu Solarmodulen verschaltet.

In Deutschland wird der meiste Solarstrom ins Netz eingespeist. Wechselrichter wandeln dafür den Gleichstrom in Wechselstrom um. Netzunabhängige Anwendungen nennt man Inselssysteme. Ein Beispiel hierfür sind Parkscheinautomaten,

die immer öfters mit Solarzellen bestückt werden. Damit Inselssysteme rund um die Uhr funktionieren, speichern Akkumulatoren die Solarenergie.

SILIZIUM – DAS WICHTIGSTE SOLARZELLENMATERIAL

Gut 90 % aller Solarzellen werden aus Silizium gefertigt – etwa zu gleichen Teilen aus monokristallinem und multikristallinem Silizium. Die Reinheit des Siliziums ist dabei so hoch, dass nur rund ein Fremdatom auf eine Milliarde Siliziumatome kommt. Zum Vergleich: Bei „reinem“ 999-Gold kommt ein Fremdatom auf 1000 Atome Gold, es ist also eine Million Mal „schmutziger“.

Kristalline Siliziumzellen werden aus Wafern geschnitten; der Prozess ist vergleichbar mit der Herstellung von Computerchips. Er ist materialintensiv und teuer. Monokristallines Silizium wird meist nach dem Czochralski-Verfahren, dem Ziehen aus der Schmelze, hergestellt. Multikristallines Silizium wird gegossen – die Zellen aus diesem Material sind daher preiswerter. Sie sind leicht an ihrer typisch blauen Eisblumenstruktur zu erkennen.

Solarzellen aus kristallinem Silizium haben sich als sehr zuverlässig erwiesen. Typischerweise sind sie rund 15 cm x 15 cm groß, etwa 0,2 mm dick und wandeln 14 - 16 % des einfallenden Lichtes in Strom um. Bei den besten Labor-Zellen beträgt der Wirkungsgrad über 24 %. Das Potenzial des kristallinen Siliziums ist also noch lange nicht ausgeschöpft. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE entwickelt kostengünstige Fertigungsmethoden für Siliziumzellen mit über 20 % Wirkungsgrad. Diese werden weitaus dünner als 0,2 mm sein. Generell geht der Trend zu einer Reduktion der Dicke der verwendeten Wafer, Abb.5.

Momentan kann die Industrie die Nachfrage nach Solarmodulen kaum decken, denn Solarsilizium ist knapp. Wurden früher vor allem Reste aus der Chipherstellung verwendet, so wird das Silizium heute speziell für Solarzellen hergestellt. 2008 wird das Defizit an Solarsilizium seinen Höhepunkt erreichen. Hier wird an verschiedenen Lösungen gearbeitet: Herkömmliche Produktionsanlagen für

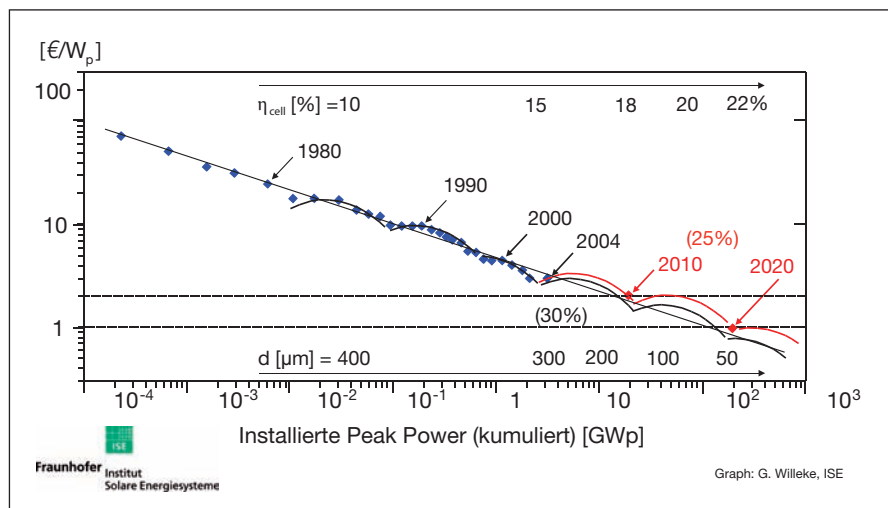


Abb.4 Preis-Lernkurve von PV-Modulen aus kristallinem Silizium (aus Vortrag: „Wohin treibt die Erde“)



www.SMA.de

Was wäre Solarstrom ohne SMA Wechselrichter?

Würden Sie freiwillig auf die wichtigste Komponente einer Solarstromanlage verzichten? Na also. Solar-Wechselrichter von SMA haben nun mal das, was anderen fehlt: zum Beispiel Spitzenwirkungsgrade bis 98 Prozent dank H5-Topologie. Ein preisgekröntes Design. Sie sind hoch effizient durch unser aktives Kühlsystem OptiCool. Und lassen sich mit Bluetooth einfacher installieren als jedes andere Gerät auf dem Markt. All das von Kilowatt bis Megawatt. Ob Netzkopplung oder Inselstromsystem. Für alle Modultypen. Weltweit.

Müssen wir noch mehr sagen?



SMA Wechselrichter
das Herz jeder Solarstromanlage



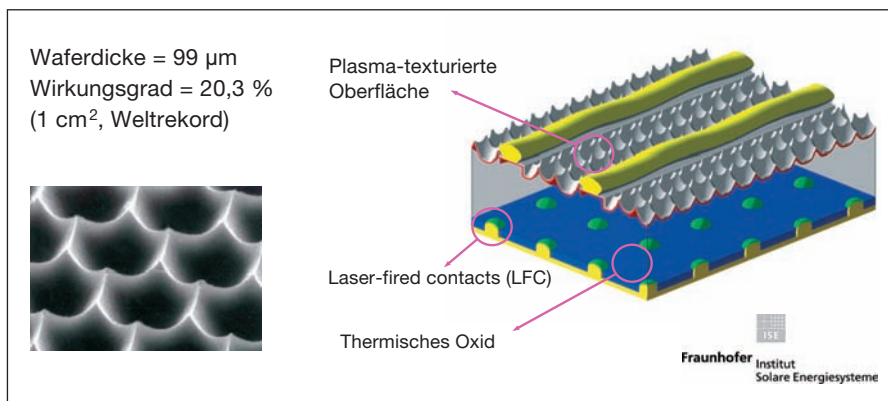


Abb.5 Höchsteffiziente dünne Laborzelle aus multikristallinem Silizium, ISE (aus Vortrag: „Wohin treibt die Erde“)

Reinstsilizium werden ausgebaut. Zu dem klassischen Siemens-Verfahren gesellen sich heute neuere Herstellungsprozesse, wie das Wirbelschichtverfahren, die Flüssig-Dampf-Ablagerung und die Verwendung von gereinigtem metallurgischem Silizium. Viele Hersteller setzen zudem auf dünnere Zellen und bauen Hocheffizienz-Solarzellen in Konzentratorform. Bestimmte Dünnschichtzellen sind aus anderen Materialien als Silizium.

DÜNNSCHICHTMODULE WERDEN ZUKUNFTSFÄHIG

Unter dem Namen „Dünnschicht“ versammeln sich heute ganz unterschiedliche Materialien, denen nur eines gemeinsam ist: Die Dicke der Zelle ist gegenüber der kristallinen Standard-Siliziumzelle stark reduziert – typischerweise um den Faktor 100. Die bekanntesten Vertreter sind amorphes Silizium, Kupfer-Indium-Diselenid und Cadmium-Tellurid.

Amorphes Silizium (a-Si) weist keine Kristallstruktur auf, sondern besteht aus ungeordneten Siliziumatomen, die auf ein Substrat aufgedampft werden. Bereits Anfang der 70er Jahre entwickelten Forscher erste funktionsfähige Solarzellen. Aufgrund seines hohen Absorptionsvermögens erlaubt amorphes Silizium besonders geringe Schichtdicken. Diese machen heute rund 5 % des Marktes aus. Die photovoltaischen Schichten sind mit 0,003mm fast 100 Mal dünner als bei Solarzellen aus kristallinem Silizium. Ihre Wirkungsgrade sind jedoch deutlich niedriger. Sie liegen bei kommerziellen

Modulen zwischen 6 und 8%. Um den Wirkungsgrad zu steigern, werden oft mehrere Schichten kombiniert. Auch mikromorphe Schichten werden dabei verwendet: Sie sind eine Zwischenform von amorpher und kristalliner Struktur.

Amorphes Silizium hat einige Besonderheiten: Ingenieure schätzen die geringere Temperatur- und Verschattungsempfindlichkeit. Außerdem kann man sie auch auf flexible Materialien wie Stahlbleche aufbringen. Bei diffusem und schwachem Licht sind sie besser einsetzbar als herkömmliche Solarzellen. Deshalb ver-

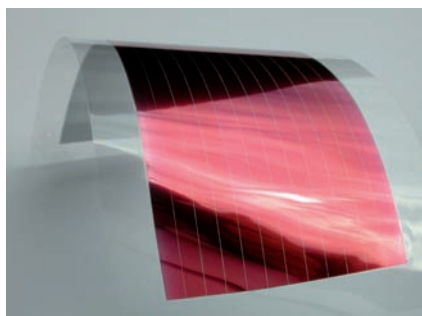


Abb.6 Organische Solarzelle Foto: Fraunhofer ISE

sorgen sie bisher vor allem elektronische Kleingeräte wie Taschenrechner und Uhren. Mehr und mehr erobern sie auch größere Anlagen. Bei gleicher Leistung haben sie einen höheren Flächenbedarf als kristallines Silizium, Abb.7.

Der II-VI-Verbindungshalbleiter Cadmium-Tellurid (CdTe) ist wie der Verbindungshalbleiter Kupfer-Indium-Diselenid (CIS, $CuInSe_2$) ein geeigneter Kandidat für Dünnschicht-Solarzellen. Von ihnen

verspricht man sich eine deutliche Preissenkung. Der höchste im Labor gemessene Wirkungsgrad einer CdTe-Zelle liegt bei rund 16,5%. Kommerzielle CdTe und CIS Module erreichen Wirkungsgrade von etwa 8 – 12%. Manche Hersteller ersetzen bei den CIS-Zellen das Diselenid durch Schwefel, andere fügen Gallium (CIGS) hinzu. Schließlich wird neben dem Wirkungsgrad und dem Preis auch die Verfügbarkeit über die zukünftige Technologie entscheiden: Die bisher bekannten Vorkommen von Indium, Selen und Gallium sind relativ klein.

FARBSTOFFSOLARZELLEN

Bei der nanokristallinen Farbstoffsolarzelle – auch als Grätzelzelle bekannt – setzen die Sonnenstrahlen Elektronen in Farbstoff-Molekülen frei, die über das elektrisch leitende Titandioxid zu den Elektroden abgeleitet werden. Titandioxid ist ein Massenprodukt, bekannt als weißes Pigment in Wandfarbe. Als Farbstoff wird z.B. Ruthenium verwendet. Zu den Vorzügen der Grätzelzelle zählen niedrige Herstellungskosten und die gute Nutzung von diffusem Licht.

Im Fraunhofer ISE wurden bereits Wirkungsgrade von 8% erreicht. Die Aktivitäten konzentrieren sich auf die Zellfertigung mittels einfachster Herstellungsschritte aus preisgünstigen Materialien sowie der Verbesserung der Langzeitstabilität, Abb.8.

ORGANISCHE SOLARZELLEN – AUS KUNSTSTOFFEN STROM GEWINNEN

Diese Energiewandler, Abb. 6, beruhen auf leitfähigen Kunststoffen, für deren Entdeckung 2001 der Nobelpreis verliehen wurde. Für das Verständnis dieser Solarzellen ist organische Chemie wichtig, für ihre Herstellung die Kunststofftechnik. Sie können auch auf Folien oder eventuell auf Textilien Strom erzeugen. Bislang wurde in Labors ein Wirkungsgrad von 4 – 5% erreicht. Auf dem recht jungen Gebiet besteht jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf, weshalb das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Juni 2007 gemeinsam mit Industriepartnern eine Förderinitiative ins Leben geru-

INNERE WERTE

SOLARENERGIE IST EINE FRAGE DES STANDARDS!

SONNENKRAFT®



Sie bestimmen die Form Ihres Objektes. Und seine Funktion. Eine Solaranlage von SONNENKRAFT erfüllt beide Anforderungen. Sie ist kompakt, formschön und entspricht dem letzten Stand der Solartechnik.

- geringste Energiekosten
- kurze Amortisationszeit
- platzsparende Kompaktbauweise
- problemlos auch bei Renovierungen
- ökologisch eiwandfrei
- wartungsarm und äußerst langlebig

Ihr Ansprechpartner:

Dipl.-Ing.Ralf Winnemöller
Tel. 0941 / 46 46 3-0
deutschland@sonnenkraft.com

fen hat. Auch andernorts stößt die neue Technologie auf großes Interesse, so etwa in Asien. Es gibt auch bereits erste kommerzielle Hersteller.

III-V – SOLARZELLEN – DIE FORMEL 1 UNTER DEN PHOTOVOLTAISCHEN MATERIALIEN

Die bislang leistungsfähigsten Solarzellen sind Verbindungshalbleiter aus der dritten und der fünften Gruppe des Periodensystems. Sie heißen deshalb III-V Halbleiter. Auch bei ihnen reichen dünnste Schichten zur Absorption und Umwandlung der Solarstrahlung; sie sind meist aber nicht gemeint, wenn von Dünnschicht solarzellen gesprochen wird: Mit Dünnschicht assoziiert man preisgünstig, während III-V Solarzellen so etwas wie die Formel 1 der Photovoltaik sind.

Die bekanntesten Vertreter sind Galliumarsenid (GaAs)-Solarzellen. Das Besondere der III-V Familie: Man kann durch unterschiedliche Mischungen Zellen maßschneidern. So gibt es Aluminium-Arsenid- oder Gallium-Aluminium-Arsenid-Solarzellen, die jeweils andere Bereiche des Solarspektrums hocheffizient in Strom umwandeln. Diese Eigenschaft wird in Stapelsolarzellen genutzt.

STAPELSOLARZELLEN – DAS PHOTOVOLTAISCHE SANDWICH

Anschaulich gesprochen, besteht Sonnenstrahlung aus „Lichtteilchen“, den Photonen. Die verschiedenen Farben entsprechen verschiedenen Photonen-

energien, Blau den höchsten und Rot den niedrigsten. Solarzellen absorbieren nur Photonen, die eine bestimmte Schwellenenergie besitzen. Ist die Energie niedriger, so werden die Photonen nicht absorbiert. Photonen oberhalb der Schwellenenergie erzeugen genau ein Elektron-Loch-Paar. Elektrisch nutzbar ist nur diese Schwellenenergie. Haben die Photonen mehr Energie, geht sie als Wärme verloren. Sta-

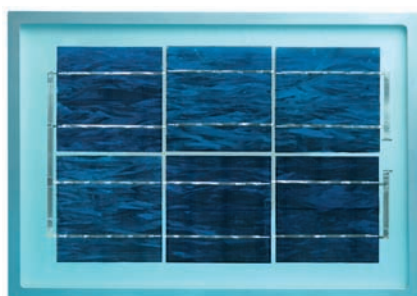


Abb.7 Amorphes Silizium Modul
Foto: Fraunhofer ISE

pelsolarzellen verwenden mehrere Zellen übereinander, wobei jede Zelle einen Teil des Sonnenspektrums abdeckt. Oben liegt die Zelle mit der höchsten Schwellenenergie. Was von ihr nicht absorbiert wird, gelangt in die nächste Zelle.

Die übereinander liegenden Zellen sind in Serie geschaltet, die Spannungen addieren sich. Unter konzentriertem Licht ergeben sich Wirkungsgrade bis zu 40%. Neben dem Begriff Stapelsolarzelle sind auch die Bezeichnungen Tandem-, Tripel-, Kaskaden- oder Mehrfachzelle gebräuchlich. Einige Firmen und Universitäten in

den USA arbeiten derzeit an einem photovoltaischen System mit bis zu 50% Wirkungsgrad, finanziert vom amerikanischen Militär. Sie kombinieren dazu sechs Halbleiterzellen und spalten das Sonnenspektrum mit einem dichroitischen Prisma auf. So können zwei III-V Tandemzellen und eine Siliziumzelle unabhängig in ihrer Leistung optimiert werden.

KONZENTRATION – DAS PRINZIP DES BRENNGLASES

III-V-Verbindungshalbleiter haben nicht nur die höchsten Wirkungsgrade, sie können auch hohe Ströme und Temperaturen hervorragend verarbeiten. Sie eignen sich deshalb gut für Konzentrationen. Dabei werden die Solarzellen nicht flächig ausgelegt, sondern die Sonnenstrahlen mit Spiegeln oder Linsen auf eine winzige kleine Solarzelle gebündelt. Konzentrationen benötigen direkte Sonneneinstrahlung und müssen dem Sonnenlicht nachgeführt werden. Sie sparen jedoch Material, denn der Strom ist proportional zur Bestrahlungsstärke. Zusätzlich steigt die Spannung logarithmisch mit der Solarintensität, sodass die Leistungssteigerung überproportional ist! Mit einer III-V-Tripelzelle bei 500-facher Konzentration haben die Forscher am ISE bereits über 35% Wirkungsgrad erreicht. Damit erzielten sie auf der Fläche einer Briefmarke die gleiche Leistung wie ein herkömmliches Solarmodul. Concentrix, eine Ausgründung des Instituts, nutzt diese Technik erstmals kommerziell und baut in diesem Jahr in Freiburg









Abb.8 Farbstoffmodul

©Fraunhofer ISE



Abb.9 Erste Kraftwerksinstallation der Concentrix Solar in Spanien Foto: Concentrix

Kupfer – im System unvergleichlich günstig!

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|---|---|--|---|-----------------|--------------------|--------|------------------------|--------|--------------------------|--------|
|  | + |  | + |  | = | 9,23 €* | | | | | | |
| <p>Materialkosten für Kupfer-System 12 x 1:</p> <table border="0"> <tr> <td>2,5 m Kupferrohr:</td> <td>6,13 €</td> </tr> <tr> <td>1 T-Stück:</td> <td>1,80 €</td> </tr> <tr> <td>1 90°-Bogen:</td> <td>1,30 €</td> </tr> </table> | | | | | | | 2,5 m Kupferrohr: | 6,13 € | 1 T-Stück: | 1,80 € | 1 90°-Bogen: | 1,30 € |
| 2,5 m Kupferrohr: | 6,13 € | | | | | | | | | | | |
| 1 T-Stück: | 1,80 € | | | | | | | | | | | |
| 1 90°-Bogen: | 1,30 € | | | | | | | | | | | |
|  | + |  | + |  | = | 12,50 €* | | | | | | |
| <p>Materialkosten für Verbundrohr-System 16 x 2:</p> <table border="0"> <tr> <td>2,5 m Verbundrohr:</td> <td>3,50 €</td> </tr> <tr> <td>1 Verbundrohr T-Stück:</td> <td>5,10 €</td> </tr> <tr> <td>1 Verbundrohr 90°-Bogen:</td> <td>3,90 €</td> </tr> </table> | | | | | | | 2,5 m Verbundrohr: | 3,50 € | 1 Verbundrohr T-Stück: | 5,10 € | 1 Verbundrohr 90°-Bogen: | 3,90 € |
| 2,5 m Verbundrohr: | 3,50 € | | | | | | | | | | | |
| 1 Verbundrohr T-Stück: | 5,10 € | | | | | | | | | | | |
| 1 Verbundrohr 90°-Bogen: | 3,90 € | | | | | | | | | | | |

* Durchschnittliche Gesamtkosten pro System

Denn der Fittingpreis und die Fittingquerschnittsverengung machen Verbundrohr-Installationen unglaublich teuer!

Aufgrund der Querschnittsverengung der Verbundrohr-Fittings und der damit verbundenen energieraubenden Druckverluste muss man bei Verbundrohr-Installationen immer die nächstgrößere Dimension im Vergleich zu Kupfer-Installationen heranziehen. Dadurch werden die Mehrkosten für die im Gegensatz zu Kupfer-Fittings deutlich teureren Verbundrohr-Fittings oft unterschätzt. Damit Sie am Ende nicht draufzahlen, empfiehlt es sich, immer von den Gesamtkosten auszugehen. Und hier schlägt das Kupfer-System ganz klar das Verbundrohr-System.

Den gesamten Materialkostenvergleich finden Sie unter www.kupfer.de



eine 25MW-Produktion auf. In Spanien errichtet die Firma gerade das erste Konzentratorkraftwerk, Abb.9. Im Januar 2008 erhielt Concentrix den Innovationspreis der Deutschen Wirtschaft.

WIRKUNGSGRADSTEIGERENDE KUNSTGRIFFE

Neben Konzentrator- und Stapelzellen gibt es weitere Wege, den Wirkungsgrad von Solarzellen zu steigern. So hilft eine Strukturierung der Oberfläche, Reflexionsverluste zu vermeiden.

Eine feine Pyramidenstruktur lenkt mehr Sonnenlicht in die Zelle. Da ein Teil des Sonnenlichts an der Zellenoberfläche gespiegelt wird, ist das Entspiegeln der Oberfläche ein weiterer Trick. Die Antireflexionsschicht gibt den Zellen die typische blauschwarze oder schwarze Farbe. Eine andere Maßnahme ist die spiegelnde

Rückseite. Sie reflektiert Licht, das, ohne ein Elektron-Loch-Paar erzeugt zu haben, die Zelle verlässt, und ermöglicht so einen „zweiten Versuch“.

SOLARTHERMIE – TECHNIK MIT ZUKUNFT

Strom lässt sich jedoch nicht nur in Photovoltaikanlagen, sondern auch in solarthermischen Kraftwerken gewinnen. Die Sonnenenergie wird hierzu etwa in riesigen Parabolrinnen konzentriert. In der Brennlinie erhitzt sich in einem Absorberrohr Wasser oder ein Thermoöl. Es speist einen Dampferzeuger, eine Dampfturbine macht daraus Strom. Parabolrinnenkraftwerke erreichen Temperaturen von 500 °C. Weit über 1.000 °C erzielen Turmkraftwerke, bei denen ein Spiegelfeld das Licht punktgenau konzentriert. Die Anforderungen an die Nachführtechnik sind dementspre-

chend höher. Der Wirkungsgrad solarthermischer Kraftwerke liegt bei rund 20%; sinnvoll ist ihr Bau jedoch nur in Regionen mit intensiver, direkter Sonnenstrahlung. Das erste kommerzielle Solarturmkraftwerk wurde 2006 in Spanien errichtet. Bei Dish-Stirling-Anlagen wandelt ein Stirlingmotor die solarthermische Energie in mechanische Energie um, ein nachgeschalteter Generator erzeugt Strom. Dazu wird die Sonnenstrahlung in einer parabolisch gekrümmten Schüssel eingefangen und gebündelt. Im Brennpunkt befindet sich der Wärmetauscher des Stirlingmotors. Dish-Stirling-Anlagen erreichen Wirkungsgrade von bis zu 30 %, müssen aber auch nachgeführt werden. Solarthermische Kraftwerke erreichen höhere Wirkungsgrade und bessere Wirtschaftlichkeit als Photovoltaikanlagen. Sie benötigen jedoch intensive Wartung sowie eine Mindestgröße.



Abb.10 Solarthermische Versuchsanlage in Almeria, Spanien (aus Vortrag „The big picture – PV in the next 20 years“) Foto: Fraunhofer ISE

Bereits seit 1984 werden in den USA solarthermische Kraftwerke wirtschaftlich betrieben. Inzwischen produzieren neun SEGS-Kraftwerke (Solar Electricity Generation System) in Kalifornien eine Leistung von 354 MW. Ein 64-MW-Kraftwerk ging 2007 in Nevada ans Netz. Es versorgt 14.000 Haushalte mit sauberem Strom und spart dabei 80.000 Tonnen CO₂ pro Jahr. In Spanien wird derzeit das größte Solarkraftwerk Europas gebaut, mit einer Leistung von 50 MW. Eine Optimierung der Parabolrinnen verspricht die Verwendung linearer Fresnel-Kollektoren. Die das Sonnenlicht konzentrierenden Spiegel bestehen dabei aus einer Anzahl von in Reihen nachgeführter Flachspiegel, Abb.10. Die Fresnel-Technik ist unempfindlich gegen

Windlasten, und die benötigten Bauteile sind kostengünstige Standardkomponenten. Bereits in der Mitte des kommenden Jahrzehnts sollen solarthermische Kraftwerke in Südeuropa so viel Strom wie fünf Kernkraftwerke liefern. Die Stromentstehungskosten werden bei rund 16 Cent pro Kilowattstunde liegen.

DIE CHANCE

Um einen Sturz in den Abgrund der weltweiten Klimakatastrophe zu vermeiden, haben Wissenschaftler eine Leitplanke aufgestellt: Sie halten eine maximale Erwärmung der globalen Oberflächentemperatur der Erde um zwei Grad für gerade noch tragbar. Um dies zu erreichen, dürfen die globalen jährlichen Emissionen

im Jahr 2050 nur noch 2/3 des heutigen Wertes betragen. Angesichts des gewaltigen Energiehungers von Ländern wie Indien oder China und des immensen derzeitigen Verbrauchs in den Industrieländern wird klar, dass es nicht um kleinere Korrekturen geht, sondern um eine umfassende Transformation der globalen Energiesysteme hin zu Nachhaltigkeit. In der öffentlichen Diskussion steht dieses Problem zurzeit im Vordergrund. Es kann aber auch eine große Chance gesehen werden, nämlich nicht nur eine nachhaltige Energieversorgung aufzubauen, sondern auch zu einer nachhaltigen Form des globalen Wirtschaftens zu kommen. Der Begriff Erneuerbare Energien bedeutet immer auch effizientere Systeme. Und Effizienz heißt weniger Materialumsatz und damit auch weniger Umweltbelastung. Die Wärmedämmung eines Hauses führt dazu, dass eine kleinere Heizung genügt, was zu weniger Materialeinsatz bei der Herstellung führt. Die kleinere Heizung braucht weniger Brennstoff und bedeutet auch weniger Ressourcenverbrauch bei Erzeugung und Transport. Im Betrieb werden weniger Schadstoffe, z. B. Feinstaub, emittiert. Auch im Transport und in der industriellen Produktion liegen noch große Einsparpotentiale, die in den nächsten Jahrzehnten genutzt werden müssen. Ein weiterer Aspekt: Erneuerbare Energieanlagen werden meistens dezentral und damit arbeitsintensiv erzeugt. Photovoltaikanlagen müssen von Handwerkern vor Ort installiert werden. Insgesamt ergibt sich ein völlig neuer und langfristig wachsender Arbeitsmarkt.

Um diese Chance zu nutzen, braucht es eine entschlossene und weitsichtige Forschungs-, Industrie- und Energiepolitik. In der Staatengemeinschaft kommt es darauf an, die Chancen deutlich zu machen, damit die Jahrhundertaufgabe weltweit zügig und engagiert angegangen wird. Deutschland und die europäische Union sind auf einem guten Weg dazu.

Autor

*Prof. Dr. rer. nat. Eicke R. Weber,
Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare
Energiesysteme ISE
www.ise.fraunhofer.de*