

Photovoltaik - Energielieferant der Zukunft

Basis einer nachhaltigen Stromversorgung und Faszination

Prof. Dr. rer. nat. Joachim Luther, Leiter Fraunhofer ISE, Träger des deutschen Umweltpreises, Oktober 2005

Photovoltaik fasziniert die Menschen, seit die ersten Solarzellen aus Licht Strom erzeugt haben. Photovoltaik (PV) ist physikalisches Hightech und ästhetischer Genuss, ist eine zuverlässige Kraftwerkstechnik und eine umweltpolitische Notwendigkeit. Seit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG kann man mit PV auch Geld verdienen. Der Boom hat viele Dächer blau gemacht. Doch was optisch so präsent ist, hat energiewirtschaftlich derzeit noch keine Bedeutung. Ganze 0,2 % des deutschen Stroms liefert diese Technik heute. Viele Kritiker unterschätzen deshalb das enorme Potenzial, das in ihr steckt. In diesem

Artikel wird ein Bogen vom Heute zum Morgen gespannt und so ein realistischeres Bild der Photovoltaik vermittelt, die aus meiner Sicht eine ganz essentielle Rolle bei der künftigen Energieversorgung spielen wird. Der Brückenpfeiler des Heute ist die Silicium-Wafer-Technologie, die Brücke in die Zukunft wird über PV-Technologien mit optischer Konzentration, Dünnschichttechnologien und fundamental neuen physikalischen Konzepten gebaut werden. Massenproduktion und technologische Innovationen werden dabei in Zukunft zu den notwendigen Kostenreduktionen führen.

1 Stand der Forschung bei Solarzellen

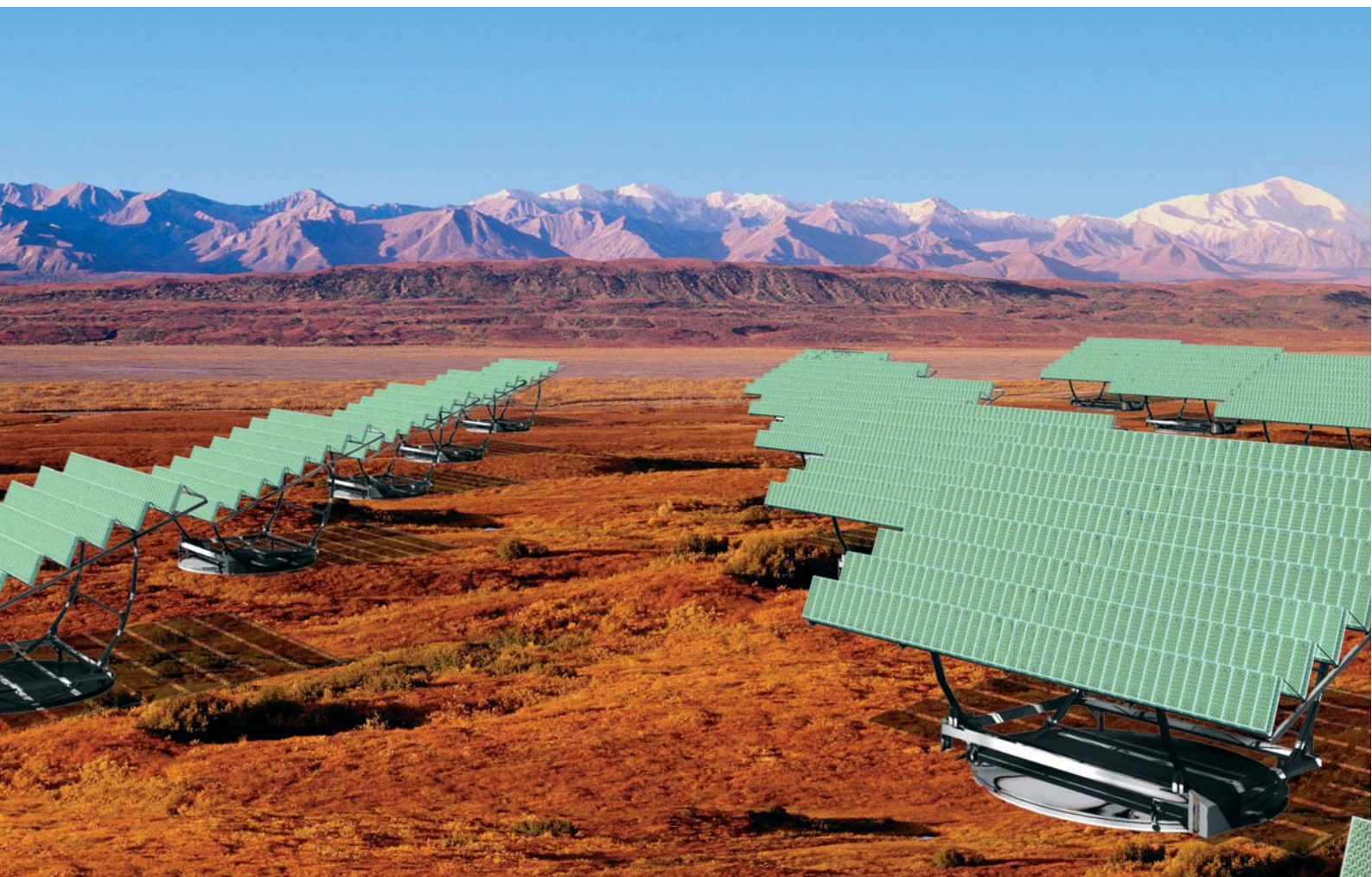
1.1 Funktionsprinzip

Solarzellen sind modular und wandeln Licht ohne Lärm, Abgase, Kraftstoff oder Verschleiß direkt in Strom um. Von der Größe eines Fingernagels bis zu Gigawatt-Kraftwerken mit mehreren Quadrat kilo-

metern Fläche können sie bedarfsgenau zusammengeschaltet werden. Strom kommt aus dünnen Wafeln oder Schichten, die sich nach Kapselung gut in bestehende Strukturen integrieren lassen. Photovoltaik-Fassaden schützen Gebäude, begehbare Module sorgen auf Booten für Strom, auf Kunststoff ka-

schiert schmiegen sie sich Rundungen an - und bald könnte es photovoltaische Kleidung geben.

Die übliche Handelsform von Photovoltaik sind cm-dicke Module von 0,5 bis 1,5 m² Größe. Darin sind hinter einer Glasabdeckung bis zu 72 Zellen hintereinander geschaltet, die in diesem Fall 35 Volt Gleich-



spannung und 50 bis gut 150 Watt Leistung liefern. Die meisten Hersteller geben auf die Leistungsfähigkeit der Module 25 Jahre Garantie. Das Solarzellen-Herz altert praktisch nicht. Neue technologische Ansätze in der Modulentwicklung streben noch eine deutliche Verlängerung der technischen Lebensdauer der PV-Module an.

Wer die Funktionsweise von Solarzellen verstehen will, muss tief in die Festkörperphysik eindringen, sich mit Elektronen und ihren positiv geladenen Alter Egos, den "Löchern" (an einem Ort fehlende Elektronen) beschäftigen. Er wird auf Einsteins Spuren wandelnd die Quantennatur des Lichts benötigen und sich Reinheiten von 10^{-12} vorstellen müssen. So rein ist das Ausgangsmaterial für Solarzellen aus kristallinem Silicium (Si), aus dem heute über 90 % der industriefertigten Solarzellen bestehen: Es enthält nur 1 "fremdes" Atom auf 1 Billion Silicium-Atome.

Grob betrachtet ist das Prinzip folgendes: Lichtquanten (Photonen) werden zunächst im photovoltaischen Konverter - der Solarzelle - absorbiert. Dabei wird die Energie der Photonen in die Energie frei beweglicher, negativer und positiver Ladungsträger (Elektronen und Löcher) umgewandelt. Durch eine eingebaute Unsymmetrie in dem Konverter gelingt es, diese energiereichen Ladungsträger, nach positiver und negativer Ladung getrennt, an die äußeren Anschlüsse der Solarzelle zu transportieren.

Die dadurch zwischen dem Pluspol und dem Minuspol entstehende elektrische Spannung kann Strom durch einen externen Verbraucher treiben und dort Arbeit verrichten - Energie, die von den Lichtquanten stammt. Auf dem Weg von ihrer Entstehung bis zu den Elektroden können die energiereichen Ladungsträger auf vielfältige Weise ihre Energie durch ungewollte Prozesse verlieren. Diese Verluste lassen sich zum einen durch die Verwendung reinsten Materials, zum anderen durch das richtige Zelldesign vermeiden.



Abb.1 Multikristalline Wafer-Solarzelle

Die Höhe der Spannung einer Solarzelle ist unabhängig von der Energie der absorbierten Lichtquanten, aber abhängig von der Art des verwendeten Halbleitermaterials und - in geringerem Umfang - von der Zahl der pro Sekunde absorbierten Photonen. Diese Rate bestimmt den maximal erzeugten Strom. Typisch für eine Solarzelle aus kristallinem Silicium sind eine Spannung von 0,6 Volt und ein Strom von gut 5 Ampere bei einer Zellfläche von $15 \times 15 \text{ cm}^2$.

Das Verhältnis von nutzbarer elektrischer Energie zu einfallender Lichtenergie nennt man Wirkungsgrad. Bei kommerziellen Anwendungen beträgt er rund 14 %, bei den besten Labor-Zellen 24 %. Diese Rekordzellen haben mit der normalen Industrie-Silicium-Zelle etwa so viel zu tun wie ein Formel-1-Rennwagen mit einem Golf Diesel. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE will diese Kluft verringern und entwickelt zielgerichtet kostengünstige Fertigungsmethoden für 20 % Wirkungsgrad.

1.2 Silicium Wafer

Silicium Wafer für die heutigen Solarzellen haben meist eine Dicke von 0,3 mm und eine Fläche von etwa $15 \times 15 \text{ cm}^2$. Industrie und Forschungsinstitute arbeiten mit Hochdruck gemeinsam daran, die Dicke der Zellen schrittweise auf 0,2 und später auf 0,1 mm oder darunter zu reduzieren, Abb.2, und gleichzeitig die Fläche der Wafer zu vergrößern. Dies führt mit Sicherheit - vor allem

über die Reduzierung des Materialeinsatzes - zu einer deutlichen Kostenreduktion.

In erster Linie werden zwei Typen von Material eingesetzt: Einkristallines (monokristallines) und multikristallines Silicium. Ersteres wird in Kristallform aus der Schmelze gezogen, letzteres in Tiegeln in einem komplexen Prozess gerichtet erstarrt. Die Solarzellen sind dann nicht mehr ein einziger (mono) Kristall, sondern bestehen aus mehreren zusammenhängenden Kristallbezirken. Sie haben eine schillernde Oberfläche ähnlich verzinktem Eisen, Abb.1. Der Wirkungsgrad von multi-Si liegt meist einige %-Punkte hinter dem von mono-Si. Auf der anderen Seite hat multikristallines Silicium einen merklichen Kostenvorteil. Beide Materialien werden heute in etwa gleichem Umfang eingesetzt.

Multikristalline Solarzellen

Letztes Jahr haben wir am Fraunhofer ISE weltweit zum ersten Mal eine multikristalline Solarzelle mit über 20 % Wirkungsgrad im Labor hergestellt. An unserem Herstellungsver-



Abb.2 Si-Solarzelle auf 40 μm -Wafer: 20 %

fahren sind schon wesentliche Herstellungsschritte industrietauglich und damit praxisnah. Das Ergebnis zeigt, welch großes Potenzial in diesem Materialsystem steckt.

Silicium hat noch eine dritte Variante zu bieten, das amorphe Silicium, kurz a-Si. Es ist eine Dünnschichttechnik, deren Halbleiterbasis sich physikalisch stark vom kristallinen Material unterscheidet. Solarzellen aus amorphem Silicium werden über eine Siliciumverbindung aus der Gasphase direkt auf Glas oder

Folien abgeschieden. Die Schichten sind mit 0,003 mm etwa 100mal dünner als beim heutigen kristallinen Silicium. Solarmodule aus diesem Material haben einen Marktanteil von gut 5 %. A-Si-Solarmodule werden vor allem zur Stromversorgung von elektronischen Kleingerä-

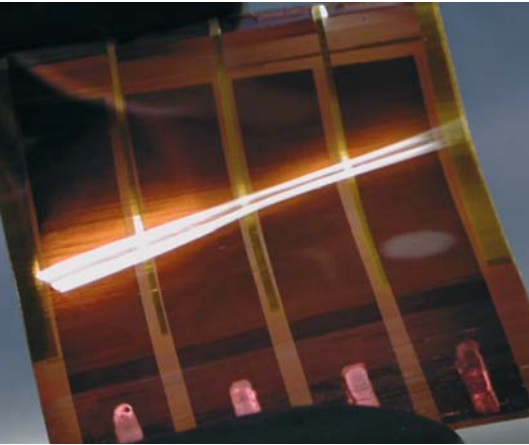


Abb.3 Organische Solarzelle

ten und in architektonisch hochwertigen Anwendungen eingesetzt. Man erhofft sich günstigere Herstellungskosten, bisher liegen die Modulpreise noch bei denen von kristallinem Silicium. Die Wirkungsgrade liegen in den Marktprodukten allerdings noch unter 10 %.

Neben Silicium gibt es eine Fülle photovoltaisch nutzbarer Materialien. Ich beschränke mich hier auf die aus Marktsicht aussichtsreichen oder aus Forschungssicht besonders spannenden.

Weitere Dünnschichtkandidaten sind Kadmium-Tellurid (CdTe) und Kupfer-Indium-Diselenid (CIS). Wie beim a-Si sind die Schichten ultradünn, die Modulwirkungsgrade liegen derzeit bei 7-10 %. Beide Technologien werden bereits industriell gefertigt; sie haben bisher nur geringe Marktanteile.

Bei allen bisher genannten photovoltaischen Energiewandlern wird die Energie der Photonen in anorganischen Halbleitern absorbiert und in die Energie beweglicher Ladungsträger umgewandelt. Es gibt aber auch viel versprechende Konzepte, bei denen der Lichtabsorber aus Farbstoffen bzw. organischen Polymeren besteht. Bei diesen Verfahren besteht noch deutlicher For-

schungsbedarf, um zu stabilen Bauelementen mit hinreichenden Wirkungsgraden zu kommen. Insbesondere das Feld der organischen Solarzellen, Abb.3, wird erst seit kurzem bearbeitet. Die Energiewandler 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 wurden in Laboruntersuchungen gut 3 % Wirkungsgrad erreicht.

Schließlich will ich noch die III-V Solarzellen ansprechen mit dem bekanntesten Vertreter Galliumarsenid (GaAs). Die zu dieser Familie gehörenden, im Vergleich zu kristallinem Si teuren Materialien ergeben besonders leistungsfähige Solarzellen. Sie versorgen bisher vor allem Satelliten mit Strom. In der Kombination mit optischen Konzentratoren könnten entsprechende Großanlagen in sonnenreichen Gegenden schon in einigen Jahren den Silicium-Zellen auch auf der Erde Konkurrenz machen. Diese Technik wird im nächsten Kapitel beschrieben.

1.3 Stapel-Solarzellen

Vorher möchte ich noch das Prinzip der Stapel-Solarzellen erläutern, das bereits heute beim amorphen Silicium in Industrieprodukten eingesetzt wird. Hierzu muss ich etwas ausholen.

Solarzellen absorbieren nur einen Teil der Photonen des gesamten Solarspektrums. Es werden nur Lichtquanten absorbiert, die eine materialcharakteristische Schwellenenergie überschreiten. Photonen mit zu geringer Energie werden nicht absorbiert. Photonen mit Energien über dieser Schwelle werden absorbiert und erzeugen, unabhängig von ihrer tatsächlichen Energie, genau ein Ladungsträgerpaar. Dies führt vor allem bei hohen Photonenenergien (z.B. blaues Licht) zu merklichen Verlusten, weil die gesamte Energie über der Schwellenenergie ungenutzt verloren geht. Die Spannung, die an der

Solarzelle entsteht, hängt im Wesentlichen ab von der Schwellenenergie, und diese wiederum vom verwendeten Solarzellen-Material. Eine normale Solarzelle ist deshalb so etwas wie ein schlechter Geldwechsler: Ob man 1,5 oder 10 US-Dollar einführt, spielt keine Rolle, es kommen immer 50 Euro-Cent heraus. Die Zahl der Münzen (der elektrische Strom), die den Wechsler verlassen, ist aber im Wesentlichen gleich der Zahl der eingegebenen Dollarscheine.

Stapelsolarzellen (oder Tandemsolarzellen) verwenden nun zum Beispiel drei Solarzellen, die übereinander angeordnet sind. Die obere Solarzelle, auf die das Sonnenlicht fällt, konvertiert nur den hochenergetischen, blauen Teil des Sonnenspektrums, Photonen mit geringerer Energie (grün, rot etc.) treffen nun auf die darunter liegenden Zellen, die für die Umwandlung von grünem bzw. rotem Licht spezialisiert sind. Die drei Zellen dieses Beispiels werden dann in Serie geschaltet. Der Strom fließt durch alle Zellen des Dreierstapels,

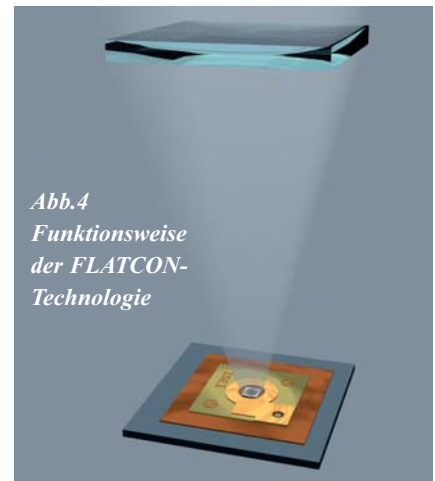


Abb.4 Funktionsweise der FLATCON-Technologie

die drei Spannungen addieren sich. Im Beispiel des Geldwechslers heißt das, für 10 USD bekomme ich nun immerhin 7 Euro statt 50 Cent, für 5 USD 3 Euro und für 1 Euro 50 Cent. Mit diesem Konzept lassen sich bei Gallium-Arsenid-basierten Systemen Wirkungsgrade um 30 % erreichen. Solche Stapelsolarzellen werden in großem Umfang für die Stromversorgung von Satelliten eingesetzt. Für terrestrische Anwendung sind die Kosten derzeit zu hoch.

Sparen Sie Ihren Kunden mehr als 40% Heizkosten!

Mit effizienten Energiesparsystemen von Wolf!

Empfehlen Sie wirtschaftliche Heiz- und Solartechnik: Die innovativen Systeme von Wolf erfüllen spielend die Anforderungen der EnEV, sind besonders leistungsfähig, energie- und kostensparend und kinderleicht in jedes Gebäude integrierbar. Für maximale Effizienz beim Heizen, Lüften und Klimatisieren. Und das alles aus einer Hand.

Biomasse-Heiztechnik



Gas-Brennwertgeräte und -Brennwertzentralen



Solarthermie und Photovoltaik



Öl- und Gas-Brennwertkessel



2 Optische Konzentration

Bereits seit vielen Jahren gibt es in der Photovoltaik Ansätze, mit konzentrierter Solarstrahlung zu arbeiten. Das Prinzip ist einfach: Solarstrahlung wird mit Spiegeln oder Linsen konzentriert und auf spezielle Konzentrator-Solarzellen gerichtet. Konzentriert man 1000fach (1000 X), dann braucht man theoretisch nur 1/1000 des teuren Zellenmaterials, denn bei Solarzellen ist der Strom in erster Näherung proportional der Bestrahlungsstärke. Zusätzlich steigt die Spannung logarithmisch mit der Bestrahlungsstärke der Zellen, so dass der Wirkungsgrad mit dem Konzentrationsfaktor größer wird. Diesen Anstieg bremsen gegenläufige Effekte wie Verluste durch die hohen Ströme. So gibt es für jeden Zelltyp einen optimalen Konzentrationsfaktor. Bei III-V Halbleitern liegt er besonders hoch, bei Silicium Zellen eher bei 50-300 X. Wo soviel Licht ist, gibt es auch Schatten: Konzentratoren müssen der Sonne nachgeführt werden. Sie brauchen direkte Sonnenstrahlung, weil man nur diese mit Spiegeln und Linsen fokussieren kann. Diese praktischen Probleme haben nach einer Anfangseuphorie vor 20-30 Jahren die Weiterentwicklung gebremst. Durch verbesserte Nachführtechnik (Tracker), optimierte Konzentratoren und die Wirkungsgradsteigerung bei Solarzellen steht eine Renaissance der Konzentratortechnik bevor.

Der Reiz der Konzentration liegt in

der Möglichkeit, Höchstleistungs-Solarzellen einzusetzen, die im Normalfall unwirtschaftlich wären, sozusagen den Formel-1-Rennwagen im Alltag zu nutzen. So hält eine 3fach-Stapel-Solarzelle mit 39 % Wirkungsgrad bei 236 X den absoluten Wirkungsgrad-Weltrekord. Wir haben am Fraunhofer ISE bereits über 35 % erzielt und werden diese Solarzellen auch in dem kommerziellen FLATCON®-System einsetzen, das im folgenden beschrieben wird.

Die Technologie konzentriert das Sonnenlicht mit Fresnel-Linsen 500- bis 1000fach auf III-V Solarzellen, Abb.4. Das Modul besteht im Wesentlichen aus einem Glas-Gehäuse, an dessen Oberseite Fresnel-Linsen das Sonnenlicht konzentrieren und auf die an der Unterseite angebrachten Hochleistungszellen lenken. Fresnel-Linsen sind flache, kostengünstige und robuste Kunststofflinsen. Die einzelnen Linsen haben hier eine Fläche von 4 x 4 cm², die verwendeten Stapel-Solarzellen einen Durchmesser von 2 mm und Wirkungsgrade von 30-35 %. Das Modul ist nur rund 8 cm hoch. Damit ist es kompakt, kann einfach auf einer Nachführung montiert werden und bietet dem Wind wenig Angriffsfläche.

Die Konzentrator-Module werden zweiachsig der Sonne nachgeführt, eine Achse für horizontale und eine für vertikale Bewegung. Das Gesamtsystem besteht aus einer Vielzahl von einzelnen Modulen, die auf einer Nachführeinheit (Tracker) installiert sind, Abb.5. Die Leistung einzelner Systeme wird 5 - 15 kW betragen. Einzelne Systeme sollen zu Kraftwerken von 100 kW bis zu einigen MW gebündelt werden, um in sonnenreichen Ländern kostengünstigen Solarstrom für die Ein-

speisung in das öffentliche Stromnetz zu erzeugen, siehe Titelfoto. Modellrechnungen für ein 1 MW-Photovoltaik Kraftwerk zeigen eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, dass in Südeuropa die Konzentrator-Technologie der herkömmlichen Alternative überlegen ist. Für Taber-

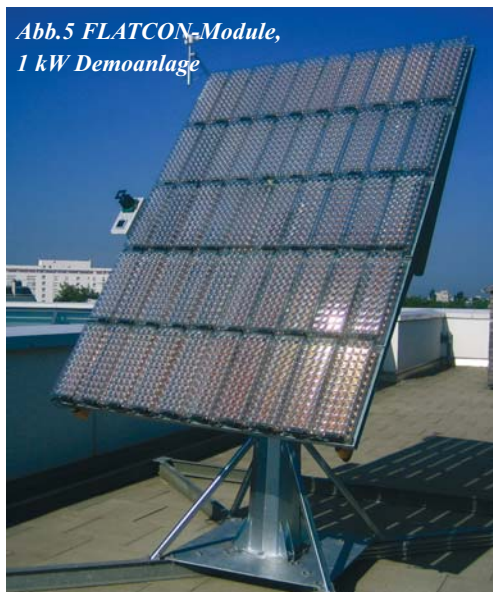


Abb.5 FLATCON-Module, 1 kW Demoanlage

nas in Spanien ergeben sich für die FLATCON-Systeme Stromkosten von 0,16 €/kWh, während Flachmodul-Systeme bei über 0,19 €/kWh liegen. Für Regionen mit höherem Direktstrahlungsanteil, wie Wüstenregionen in Nordafrika oder den USA, steigt der errechnete Kostenvorteil auf über 20 %. Wegen dieser ermutigenden Zahlen bereitet eine mit dem Institut kooperierende GmbH die Markteinführung der Technik vor. Das Prinzip Konzentration ist noch aus einem anderen Grund interessant: Konzentratorsysteme haben eine geringe energetische Rücklaufzeit. Darunter versteht man die Zeit, die ein System Energie produzieren muss, um seine Herstellungenergie einzuspielen. Bei FLATCON®-Systemen in Südeuropa sind das lediglich 15 Monate.

Die größte Herausforderung bei Konzentratoren liegt in der Systemtechnik. Die hochkonzentrierenden Photovoltaiksysteme sind eine wichtige Option für eine klimafreundliche und wirtschaftlich tragfähige Energieversorgung der Zukunft. Sie sind eine Synthese aus winzigen, hoch-technologischen Halbleiter-

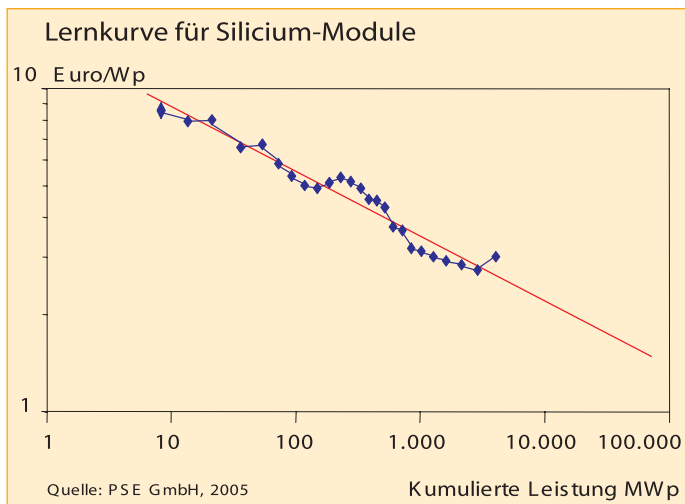


Abb.6 Lernkurve für Silicium-Module

Chips mit einer kostengünstigen, präzisen Optik und hoch genauen Mechanik.

3 Photovoltaik und Wirtschaft

3.1 Möglichkeiten zur Kostensenkung

Photovoltaik ist eine junge Technologie mit einem immensen Anwendungspotenzial. Der Flaschenhals ist der noch hohe Preis des erzeugten Stroms von rund 50 Cent/kWh in unseren Breiten - an Mittelmeer-Standorten kostet der solare Strom bereits heute nur die Hälfte.

Es ist keine Frage, dass die Photovoltaik eines Tages mindestens so günstig Strom erzeugen wird wie die herkömmlichen Techniken, wenn man die externen Kosten dieser Technologien mit berücksichtigt. Interessant ist natürlich die Frage, wann das sein wird - dazu später mehr.

Zwei Hebel gibt es, die die Kosten senken: Die Forschung schafft durch neue Ideen bessere und neue Solarzellen, reduziert den Materialeinsatz und entwickelt zusammen mit der Industrie einfachere Fertigungsprozesse.

Beispiele habe ich in den letzten beiden Kapiteln gegeben. Den anderen Hebel drückt vor allem die Industrie: Immer größere Fabriken produzieren immer rationeller. Dieses Gesetz der Massenfertigung beschreibt die seit über einem Jahrzehnt gültige Lernkurve der Photovoltaik, Abb.6. Eine Verdopplung der akkumulierten Produktionsmenge reduzierte im zeitlichen Mittel die Kosten um 20 %.

Die Gleichung ist ganz einfach: Je rascher große Mengen an Photovoltaik produziert werden, desto schneller können wir von kostengünstigem, umweltfreundlichem Solarstrom profitieren. Vor allem ist dies eine langfristige Perspektive für eine sichere Stromversorgung, denn die Sonne wird noch 4 Milliarden Jahre scheinen und ist nicht den politischen Schwankungen des Ölmarktes unterworfen.

In diesem Sinne ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ein wichtiges strategisches Element für die Ein-

führung einer zukunftsfähigen Energieversorgung. Ein Vielfaches des hier eingesetzten Kapitals kommt der Volkswirtschaft durch umfangreiche industrielle Investitionen und beschleunigte Innovation bei der Technologieentwicklung zugute, ganz zu schweigen von den positiven Beschäftigungs- und Umwelteffekten. Wichtig ist - und das wird oft übersehen - dass die Einspeisevergütung durch das EEG für die jeweiligen Neuanlagen jedes Jahr um 5 % sinken - so steht es im Gesetz. Damit wird zum einen ein hoher Innovationsdruck auf die Photovoltaikindustrie ausgeübt, zum anderen ist sichergestellt, dass die Unterstützung von Photovoltaikstrom zeitlich begrenzt ist.

Die Photovoltaik boomt in Deutschland. In den letzten 5 Jahren wuchs die Branche durch-

weltweit rund 1.000 MW. Deutschland gehört nicht nur technologisch zu den führenden Nationen auf dem Solargebiet: Viele Staaten haben das EEG in abgewandelter Form übernommen oder planen dies.

3.2 Engpass in der Siliciumversorgung?

Der Boom hat zu einem Materialengpass geführt. Silicium ist als zweithäufigstes Element der Erdkruste nach Sauerstoff beruhigend reichlich vorhanden. Für die Solarzellenherstellung wird aber hochreines Silicium benötigt, wie es - mit nur geringfügig höherer Qualität - in der Mikroelektronik verwendet wird. Von den global pro Jahr verfügbaren 30.000 t werden derzeit 20.000 t von der Mikroelektronik benötigt, 10.000 t bleiben für die Photovoltaik. Das rasante Wachstum der Photovoltaikin-

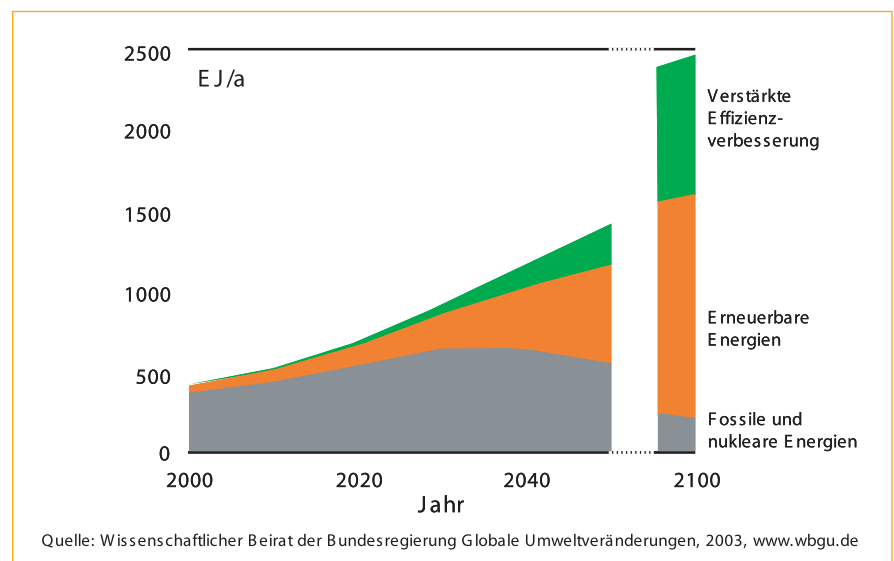


Abb.7 Primärenergieverbrauch bei starkem Wirtschaftswachstum und anhaltend hohen technologischen Innovationsraten bei zugleich nachhaltiger Energiewirtschaft.

Mittlere / untere Fläche: tats. Energieverbrauch; Obere Fläche: Energieeinsparung durch gegenüber dem Trend verstärkte Effizienzmaßnahmen (WBGU)

schnittlich um 90 % pro Jahr. Dabei bleibt rund 75 % der Wertschöpfung im Land und kommen der hiesigen Volkswirtschaft zugute. Die gesamte Solarbranche bietet derzeit 30.000 Arbeitsplätze. Allein 2004 kamen in der Photovoltaik 5.000 neue hinzu.

Durch die rasante Entwicklung des EEG ist Deutschland zum größten PV-Markt der Welt geworden, 2004 wurden hier 360 MW neu installiert,

Industrie in Japan, Deutschland und den USA konnte nicht schnell genug durch den Aufbau neuer Produktionskapazitäten für geeignetes Silicium begleitet werden. Ab 2007 wird aber in merklichem Umfang zusätzliches Material zur Verfügung stehen. In der Zwischenzeit wird es vor allem auf die schnelle Reduzierung des Materialeinsatzes ankommen. An diesem Beispiel wird zweierlei deutlich:

1) Die Entwicklung einer nachhaltigen Energieversorgung ist eine sehr dynamische Sache, die Weitblick und Konstanz im Konzept erfordert. Kein Unternehmer investiert hohe Summen, wenn er keine stabilen Rahmenbedingungen erwarten kann.

2) Die Investitionen sind enorm, doch es werden damit Werte geschaffen, die langfristig genutzt werden können, im Gegensatz zum Einkauf von Energierohstoffen, die verbrannt werden.

Extrapoliert man die Entwicklung

brennung fossiler Energieträger, den Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre um rund ein Viertel auf etwa 370 ppm erhöht. Im 20. Jahrhundert ist die Durchschnittstemperatur der Atmosphäre in der Nähe der Erdoberfläche um 0,6 (+/- 0,2) Grad angestiegen. Die Klimaforschung kann mittlerweile immer klarer auch quantitative Aussagen machen. So hat der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung (WGBU) eine "Leitplanke" für eine nachhaltige Ent-

Sie sind praktisch CO₂-frei und sie fördern die Effizienz auf der Verbrauchsseite. So ist solares Bauen immer verbunden mit einer optimierten Wärmedämmung. Nach einem Gutachten des WGBU aus dem Jahre 2003 könnten erneuerbare Energien 2050 über die Hälfte des globalen Energiebedarfs decken. Dabei spielt Solarstrom aus Photovoltaik und aus solarthermischen Großkraftwerken eine besondere Rolle, denn ohne diese Techniken kann der Energiehunger der Menschheit nicht nachhaltig gedeckt werden. Das ist auf den ersten Blick umso überraschender, als Windenergie, Wasserkraft und Biomassenutzung heute schon mit knapp 10 % energiewirtschaftlich relevante Beiträge zur Stromversorgung liefern, während die globale Stromerzeugung mit Solarzellen noch gering ist. Doch in 20-30 Jahren werden die Potenziale der anderen regenerativen Techniken weitgehend ausgeschöpft sein. Die solare Stromerzeugung wird dann eine Massentechnologie sein, die einen entscheidenden Teil unseres Stroms bereitstellt. Die Grafik in Abb.8 veranschaulicht die Zusammenhänge.

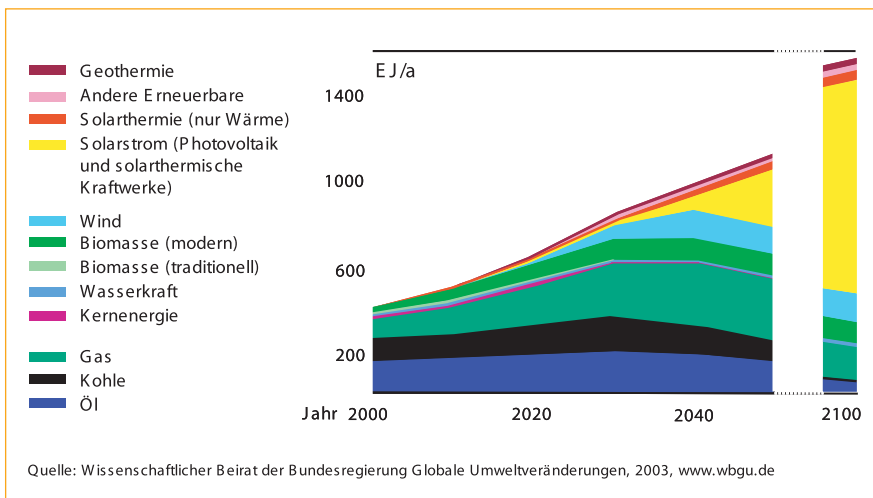


Abb.8 „Exemplarischer Pfad“ des WGBU. Oberste Linie: Gesamter Primärenergiebedarf einer nachhaltigen Energiewirtschaft. Potenzial der erneuerbaren Energien ohne Solarstrom ab 2040 ausgeschöpft.

der Photovoltaik vorsichtig mit 25 % jährlichem Wachstum in die Zukunft, so wird im Jahr 2020 der Solarstrom in Deutschland mit dem herkömmlichen Spitzenlaststrom konkurrieren können.

Ich möchte nicht spekulieren, wie schnell sich das zugunsten der Photovoltaik verschieben könnte, wenn der Ölpreis weiter so steigt wie in den letzten Wochen. Ich möchte aber nachdrücklich auf die positiven Effekte für unsere Volkswirtschaft hinweisen. Bei diesem Szenario wären bis zum Jahr 2020 30 Mrd. € an Investitionen für Solarzellen- und Modulfabriken nötig, in der darauf folgenden Dekade dann 230 Mrd. €. Bis 2020 erwartet die Solarbranche 200.000 Arbeitsplätze.

4 Klima und Energie

Seit der Industrialisierung hat der Mensch, vor allem durch die Ver-

wicklung definiert. Er hält 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 Energiehunger 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, Abb.7.

Dieser Wandel hat zwei Hauptelemente: Effizienzsteigerung bei der Bereitstellung, dem Transport und der Nutzung von Energie, sowie Dekarbonisierung bei der Energieerzeugung. Die erneuerbaren Energien sind unter beiden Aspekten ideal:

Fazit

Photovoltaik ist unverzichtbar, wenn es um eine nachhaltige Energieversorgung für alle Menschen geht, die mittelfristig die Erde bevölkern werden. Sie ist, was Leistung und den Kosten anbetrifft, auf dem besten Weg, die in sie gesetzten Erwartungen zu erfüllen. Dazu bedarf es einer entschlossenen und weitsichtigen Forschungs-, Industrie- und Energiepolitik. Es kommt darauf an, dass die Jahrhundertaufgabe der Transformation der globalen Energiesysteme weltweit und engagiert als strategische Aufgabe angegangen wird.

Autor

Prof. Joachim Luther, Leiter Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

www.ise.fraunhofer.de

Ob solare Warmwasserbereitung, Heizwasserunterstützung, industrielle Prozesswärme oder solare Kühlung: Conergy ist Ihr richtiger Partner - mit maßgeschneiderten Lösungen für jeden Bedarf. Einzelne Produkte, komplette Systeme, Schulungen und Support - Conergy ist für Sie immer die richtige Adresse. Egal, ob es dabei um kostenlos erwärmtes Wasser oder das Heizen mit der Sonne geht. Und das alles selbstverständlich in der Qualität, die Sie von einem der führenden Hersteller Europas im Bereich regenerativer Energien erwarten dürfen.



UNSERE WELT STECKT VOLLER ENERGIE.

Die Conergy Wettervorhersage: Günstige Aussichten für Solarwärmeanlagen