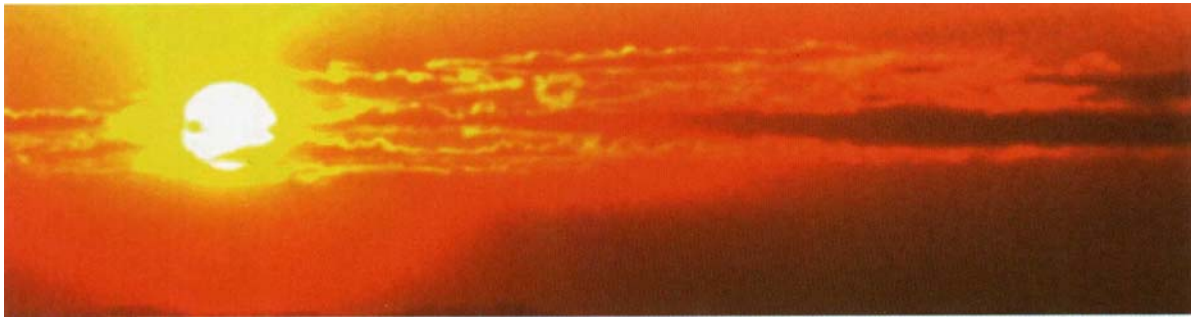


Fotovoltaik

Energiequelle der Zukunft



Ein Referat von Sonja Diesner und Rebeka Valentincic

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung

1.1 Die Bedeutung der Fotovoltaik

2. Die Geschichte der Solarzellen

3. Die Solarzellen

3.1 Der Aufbau

3.2 Wie funktioniert eine Solarzelle?

3.3 Zelltypen und Wirkungsgrade

3.3.1 Kristalline Zellen

3.3.2 Dünnschichtzellen

3.3.3 Optische Gestaltungsmöglichkeiten

3.3.4 Neue Entwicklungen

4. Anwendungsgebiete

4.1 Netzgekoppelte Anlagen

4.1.1 Bestandteile einer netzgekoppelten Anlage

4.1.2 Aufbau einer netzgekoppelten Fotovoltaik-Anlage

4.2 Inselanlagen

4.3 Montage

4.4 Energetische Amortisation und die Lebensdauer von PV-Anlagen

5. Vorteile und Nachteile einer Fotovoltaik-Anlage

5.1 Nachteile

5.2 Vorteile

6. Preis-Kalkulation

6.1 Kostenverlauf im Zuge der Entwicklung

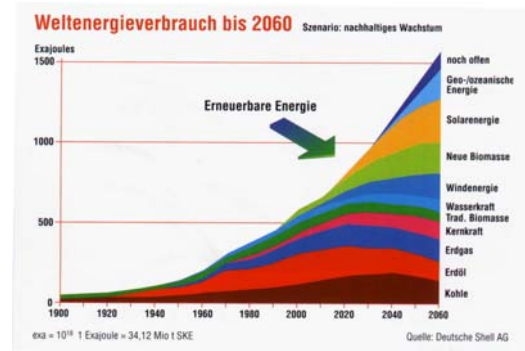
6.2 Wie sinnvoll sind eigentlich Fördermaßnahmen?

7. Fazit und Ausblick

8. Literaturverzeichnis

1. Einführung

Der Energiehunger der Weltbevölkerung ist immens und wächst Jahr für Jahr. Eine moderne, funktionierende Gesellschaft ohne ausreichende Energieversorgung ist nicht möglich. Doch die Vorräte an Energierohstoffen werden in absehbarer Zeit zu Ende gehen. Nach neueren Berechnungen wird geschätzt, dass Kohle- und Uranvorkommen noch ca. 150 Jahre reichen und Mineralöl und Erdgas noch ca. fünf Jahrzehnte zur Verfügung stehen werden.



Doch es gibt noch weitere Argumente welche für den verstärkten Einsatz regenerativer Energiequellen sprechen. Einerseits ist der Einsatz fossiler Brennstoffe mit Emissionen verbunden und fördert damit Treibhauseffekt, Waldsterben und Smog und auch die Nutzung der Atomkraft birgt unkalkulierbare Gefahren in sich. Andererseits hat sich gezeigt, dass von der Entwicklung bis zum großflächigen Einsatz neuer Techniken meist längere Zeiträume vergehen, die zur Optimierung der Entwicklungen und zur gesellschaftlichen Akzeptanz notwendig sind.

Dieses Referat wird sich nun mit einer der regenerativen Energiequellen näher beschäftigen: der Fotovoltaik.

1.1 Die Bedeutung der Fotovoltaik

Eigentlich müsste man auch die fossilen Brennstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas zu den regenerativen Energiequellen zählen. Diese Brennstoffe sind im Endeffekt auch durch die Einwirkung von Sonne entstanden. Allerdings haben die Prozesse viele hunderttausend Jahre gedauert. Sie werden heute sehr viel schneller verbraucht, als sie sich wieder nachbilden.

Als regenerative Energiequellen im eigentlichen Sinne bezeichnen wir durch Wärme und Licht erzeugte Energie. Diese kann aus dem glühenden Erdinnern stammen und in Form von Erdwärme genutzt werden. Bedeutender ist allerdings die Sonnenenergie. Die Sonne bewirkt einerseits durch ihre Strahlung den Wind- und Wasserkreislauf auf der Erde und das Entstehen von Leben und damit von Biomasse. Andererseits ist ihre Strahlungsenergie auch direkt zur Stromgewinnung mittels Fotovoltaik nutzbar.

Die Solarenergie gilt als die Zukunftsträchtigste Form der erneuerbaren Energien. Sie ist geräuschlos, emissionsfrei und erzeugt keine Abwärme. Allerdings steht die Entwicklung erst ganz am Anfang dieses unermesslichen Potential der Sonne zu nutzen. Dabei könnte die Sonnenenergie, die jeden Tag die Erde erreicht, den Energiebedarf der gesamten Menschheit rund 14.000 mal decken. Mit anderen Worten, die Sonne strahlt in einer halben Stunde so viel Energie auf die Erde ab, wie innerhalb eines Jahres auf der gesamten Erde

verbraucht wird.

Solarenergie bietet nun die Möglichkeit mit Hilfe von Siliziumzellen einen geringen Teil dieser Sonnenstrahlung durch einen physikalischen Prozess nutzen zu können und direkt in elektrische Energie umzuwandeln.

In Deutschland treffen jährlich über 1.000 Kilowattstunden Solarenergie pro Quadratmeter auf. Dies entspricht dem Energiegehalt von ca. 100 Litern Heizöl.

Die Nutzung der Sonnenenergie zur Stromerzeugung hat in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Die installierte Fotovoltaikleistung verzehnfachte sich innerhalb von 8 Jahren auf 65 MW im Jahr 1999. Etwa 20.000 Solarstromanlagen sind in Deutschland installiert. Allein 1999 wurden davon 15 MW Fotovoltaik-Module installiert. Doch trotz aller Förderprogramme der Regierung und Werbeaktionen von Anbieterfirmen, erzeugen alle in Baden Württemberg installierten Fotovoltaik-Anlagen gerade mal 0,01% des Jahresstromverbrauchs. Würde sich allerdings das jetzige Wachstum fortsetzen, könnte der Anteil bis 2010 auf 1% ansteigen. Fotovoltaik kann die Umwelt- und Energieprobleme zwar nicht kurzfristig lösen, mittelfristig wird sie jedoch eine wichtige Rolle einnehmen.



Unter Fotovoltaik versteht man die direkte Umwandlung der Energie des Sonnenlichtes in Strom mittels Solarzellen. Das griechische Wort „photo“ steht dabei für Licht, während Voltaik vom Namen des italienischen Physikers Alessandro Volta abgeleitet ist.

2. Die Geschichte der Solarzellen

Die Energiemenge, die von der Sonne auf die Erde gelangt, ist schätzungsweise 30.000mal höher als die gegenwärtig von der Menschheit produzierte Energie. Dass man sich diese Energie Aktiv zu nutze machen kann, wussten schon die alten Griechen. Angeblich bündelten sie mittels Spiegel das Sonnenlicht bei der Belagerung von Syracus im Jahre 212 v.Chr. und richteten die gebündelten Sonnenstrahlen gegen die römische Flotte, deren Segel darauf zu brennen anfangen. Die Griechen nutzten die Sonnenenergie aber auch zu friedlichen Zwecken wie zum Entfachen der olympischen Flamme im Tempel zu Delphie.

Die Nutzung der Sonne zur Gewinnung von elektrischer Energie kann man grob in das Jahr 1839 datieren. Der Franzose Antoine Becquerel stellte fest, dass eine Batterie, wenn man sie dem Sonnenlicht aussetzt eine höhere Leistung hat als ohne Sonnenlicht. Später wies man nach, dass auch andere Materialien wie Kupfer photoleitfähig sind. Die Photoleitfähigkeit wurde bei Selen 1873 nachgewiesen. Zehn Jahre später wurde die erste „klassische“ Photozelle aus Selen hergestellt. Wiederum Zehn Jahre später, 1893, wurde die erste Solarzelle zur Erzeugung von Elektrizität gebaut. 1904 entdeckte der deutsche Physiker Philipp Lenard, dass Lichtstrahlen beim Auftreffen auf bestimmte Metalle Elektronen aus deren Oberfläche herauslösen und lieferte damit die ersten Erklärungen für den Effekt der Fotovoltaik. Ein Jahr später erhielt er den Nobelpreis für Physik für die Erforschung des Durchganges von Kathodenstrahlen durch Materie und die Elektronentheorie.

Ein erneut sehr entscheidender Schritt zur Solarzelle hin ereignete sich 1949. W. Shockley entdeckte den Effekt des Kristallgleichrichters (pn-Übergang/Sperrschicht). Somit waren von diesem Zeitpunkt an auch die praktischen Voraussetzungen zur Fertigung von Solarzellen geschaffen. Doch der Anstoß zur Konstruktion der ersten wirtschaftlichen Solarzellen aus Silizium entstand durch einen Zufall. Anfang der 50iger machten Wissenschaftler der „Bell-Telephone-Laboratorien“ in New Jersey eine überraschende Beobachtung. Gleichrichter, die mit Hilfe von Silizium, damals ein neues Material, in der E-Technik arbeiteten, lieferten mehr Strom, wenn sie im Sonnenlicht standen als wenn sie abgedeckt waren. Morton Price war der Teamleiter bei Bell und fand die Ursache heraus. Bei Bell erkannte man schnell den Nutzen dieser Entdeckung zur Versorgung des Telefonnetzes von ländlichen Regionen mit Strom, was bis dahin noch mit Batterien geschah. Die Firma Bell, genauer die Herren Chapin, Fuller und Pearson, entwickelten 1953 so die ersten Solarzellen aus Silizium, welche mit Arsen dotiert waren und einen Wirkungsgrad von etwa 4% besaßen. Durch Wahl einer anderen Dotierung konnte der Wirkungsgrad auf etwa 6% erhöht werden.



Die Raumfahrt erkannte sehr schnell den Nutzen der Solartechnik und rüstete 1958 den ersten Satelliten mit Solarzellen aus. Vanguard I startete am 17 März 1958. Er besaß ein Solarmodul, welches mit 108 Si Solarzellen ausgestattet war, die nur als Ladestation der Akkus dienten und nicht zur direkten Stromversorgung. Die Zellen hatten einen Wirkungsgrad von 10,5%.

Man erwartete keine großen Resultate dieses Tests, und da die Techniker dachten, die Solarzellen würden die Batterien nicht langfristig unterstützen und schnell kaputt gehen, schickte man 3 Jahre später einen neuen Satelliten hinauf, der die Funktion des alten übernehmen sollte. Nun hatte man diesen jedoch mit der selben Frequenz wie den Ersten ausgestattet, jenen aber nicht mit einem „Ausschalter“ versehen. Das hatte zur Folge, dass der Satellit noch fünf Jahre später weiter Signale sendete und somit laufend Störsignale produzierte. Nach acht Jahren ging der Satellit an Strahlenschäden schließlich kaputt. Kurz darauf entstand die CdS-Cu₂S-Solarzelle, die Anfang der 90ziger noch in Satelliten eingesetzt wurde. Heutige Satelliten sind im Vergleich mit Vanguard I mit rund 40.000 Solarzellen ausgestattet.

Im Weltraum gibt es im Gegensatz zur Erdoberfläche keine Störfaktoren wie Tag-Nacht Rhythmen, Wolkendecken und Atmosphäre die das Sonnenlicht behindern und die Strahlung von den Zellen abhalten.

Seit 1958 hat sich in der Solarzellen-Entwicklung einiges getan. Durch die Verwendung reiner Siliziums und besserer Dotierungsmöglichkeiten, wurde der Wirkungsgrad gesteigert und die Lebensdauer erhöht. Mandelkorn und Lamneck verbesserten die Lebensdauer der Zellen 1972 durch eine Reflexion der Minoritätsladungsträger, indem sie ein sogenanntes „black surfaces field“ (BSF) in die p-leitende Schicht einbrachten. 1973 stellten Lindmayer und Ellison die sogenannte Violette Zelle vor, die bereits einen Wirkungsgrad von 14% besaß. Durch das Reduzieren des Reflexionsvermögens 1975 wurde der Wirkungsgrad auf 16 % gesteigert. Diese Zellen heißen CNR - Solarzellen (Comsat Non Reflection; Comsat = Telefonsatellit) und wurden für Satelliten entwickelt. Inzwischen sind von Green, sowie an der Stanford Universität und bei Telefunken Solarzellen mit Wirkungsgraden um 20% entwickelt worden.

Maßgeblicher Anstoß für diese Entwicklung war Anfang der 70iger die Vervielfachung des Ölpreises. Bis dahin kostete jedes Watt 200 Dollar und das sprach nicht gerade für eine rosige Zukunft der Solarzelle in der Energiepolitik jener Zeit. Nach dieser Preissteigerung rief Richard Nixon 1974 ein Forschungsprogramm ins Leben, welches sich mit regenerativen Energien auseinandersetzte.

Um die Akzeptanz und das Vertrauen bei der Bevölkerung zu gewinnen, wurden Anfang der 80ziger Rennen mit Solarmobielen ausgetragen und im Juli 1981 überquerte ein mit Solarkraft angetriebenes Flugzeug den Ärmelkanal. Diese Demonstrationen der Zuverlässigkeit der Solarzellen erinnern an das ausgehende neunzehnte Jahrhundert, wo Preise für den ersten Flug über den Ärmelkanal und den ersten Transatlantikflug ausgesetzt wurden, um das Vertrauen in die „neue“ Technik zu setzen.

Es bleibt nur zu hoffen, dass wir kein solches Erwachen nach anfänglicher Euphorie erleben wie bei den letzten Technischen Lösungsversuchen unserer Energieprobleme.

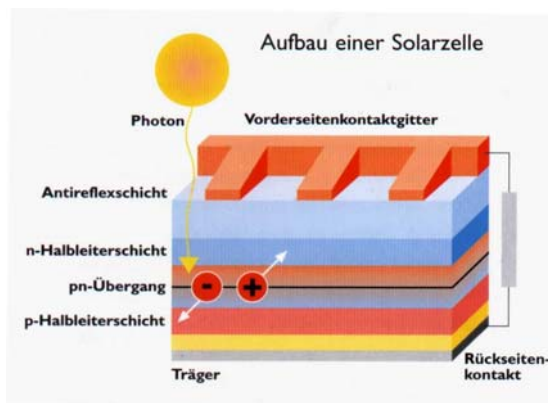
3. Die Solarzelle

3.1 Der Aufbau

95% aller Solarzellen werden aus Silizium hergestellt. Silizium ist nichts anderes als Quarzsand, das praktisch in unbegrenzten Mengen zur Verfügung steht. Damit aber aus dem verunreinigten Sand eine hochreine Form des Siliziums wird, sind diverse aufwendige und kostenintensive Schritte notwendig. Zuerst muss das Silizium in sehr hoher Reinheit vorliegen, wobei es später wieder gezielt mit Bor und Phosphor „verunreinigt“ werden kann.

3.2 Wie funktioniert eine Solarzelle ?

Solarzellen bestehen aus Halbleitermaterialien. Fast alle Solarzellen werden aus Silizium gefertigt, welches durch absichtliches Hinzufügen von Verunreinigungen, Dotierung genannt, positive oder negative elektrische Ladungsträger erhält, dazu werden Fremdatome von Bor oder Phosphor verwendet.



Zum Solarzellenbau werden zwei Halbleiterschichten verwendet, wobei die mit Phosphor dotierte Schicht einen Überschuss an positiven, die mit Bor dotierte Schicht einen Überschuss an negativen elektrischen Ladungsträgern enthält. Zwischen diesen beiden Schichten baut sich ein elektrisches Feld auf, welches zu einer Ladungstrennung der bei Lichteinfall freigesetzten Ladungsträger führt. Das heißt, die negativen Ladungen wandern auf die eine Seite der Zelle, die positiven Ladungen auf die andere.

Durch dort angebrachte Metallkontakte kann die entstandene Spannung abgegriffen werden. Es entsteht ein Plus- und ein Minuspol wie bei einer Batterie. Dadurch kann ein Verbraucher angeschlossen werden und ein Stromkreis entsteht. Soll der erzeugte Strom ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden, wird noch ein Wechselrichter benötigt, welcher den Gleichstrom in Wechselstrom umwandelt.

3.3 Zelltypen und Wirkungsgrade

Es gibt verschiedene Typen von Solarzellen.

3.3.1 Kristalline Zellen

Monokristalline Solarzellen:

Diese werden aus monokristallinem, d.h. hochreinem Silizium hergestellt. Die Zellen werden hierzu üblicherweise aus Säulen oder Blöcken in 0,3 mm dicke Scheiben gesägt. Eine Säule, die aus einem einzigen Kristall besteht, wird aus flüssigem Silizium gezogen. Die daraus gefertigten Solarzellen nennt man monokristallin. Monokristalline Solarzellen haben zwar den höchsten Wirkungsgrad von 14 bis 17 %, sind aber vergleichsweise teuer herzustellen.

Der Wirkungsgrad ist der Anteil der durch Sonnenstrahlung auf die Solarzelle eintreffenden Energie, der dann tatsächlich in elektrischen Strom umgewandelt wird.

Polykristalline Solarzellen

Polykristalline Zellen sind zwar preiswerter herzustellen als die Zellen aus hochreinem Silizium, haben dafür aber einen geringeren Wirkungsgrad von 13 bis 15 %. Hier wird das flüssige Silizium in Blöcke gegossen; bei der Erstarrung ergibt sich die typische Eisblumenstruktur aus einer Vielzahl von einzelnen Kristallen. Die daraus hergestellten Zellen werden nun als Polykristallin bezeichnet.

3.3.2 Dünnschichtzellen

In den letzten Jahren wurden verstärkt Dünnschichtzellen entwickelt, die eine kostengünstigere Alternative zu den beiden Kristallinen-Zellen darstellen, da sie extrem wenig Halbleitermaterial benötigen und in automatischen Durchlaufanlagen in Massenfertigung hergestellt werden können.

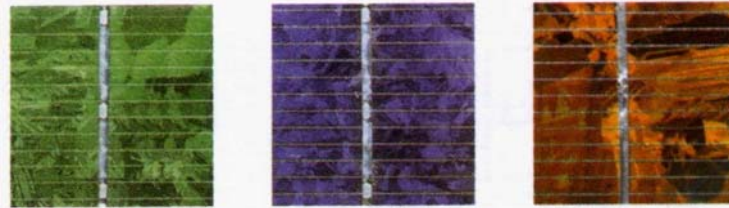
Dünnschichtzellen entstehen durch das Aufbringen von sehr dünnen Siliziumschichten auf ein anderes Material, meist auf Glas. Sie werden direkt zu Modulen verschaltet und hermetisch versiegelt. Die Schichten haben eine geringere Dicke als ein Fünfzigstel eines menschlichen Haares. Am weitesten verbreitet sind die amorphen Siliziumzellen, die in Taschenrechnern und anderen Kleingeräten Anwendung finden. Die Wirkungsgrade erreichen nur 5 bis 7%, im Labor sind allerdings schon etwa die doppelten Werte erzielbar.

Mit neuen Materialien, wie beispielsweise CdT (Cadmium-Tellurid) und CIS (Kupfer-Indium-Diselenid) werden derzeit Dünnschichtsolarmodule mit höheren Wirkungsgraden (über 10%) entwickelt. Für diese Technologien sind die Produktionsanlagen allerdings erst noch in Planung oder im Aufbaustadium.

3.3.3 Optische Gestaltungsmöglichkeiten

Den größten Einfluss auf das Erscheinungsbild hat die Farbe der Solarzellen. Ertragsoptimierte kristalline Standardzellen sind dunkelblau bis schwarz um eine möglichst große Absorption des Sonnenlichts zu erreichen.

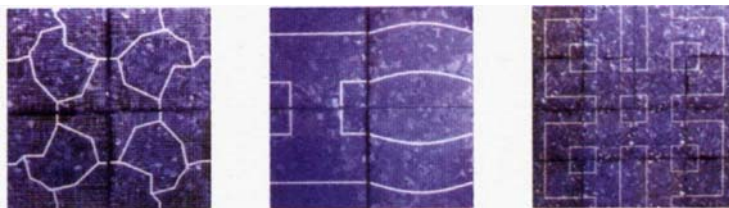
Durch Veränderung der Antireflexschicht können bei kristallinen Zellen auch andere Farbtöne erzeugt werden.



Es sind jedoch nicht alle Farben sinnvoll. Generell gilt: je heller der Farbton, desto ungünstiger wirkt sich dies auf die Leistung aus. Das farbliche Erscheinungsbild wird durch die Herstellung transparenter kristalliner Zellen erweitert. Bei Dünnschichtzellen ist die Varianz in der Farbgebung noch eingeschränkt: amorphes Silizium hat einen rotbraunen Farbton während ein CIS-Modul schwarz erscheint. Zellen aus amorphem Silizium sind auch mit transparenten Eigenschaften herstellbar.

Eine weitere Optische Veränderung der Zellen ist durch die Metallkontaktemöglich, indem man diese mit verschiedenen Mustern und Formen auf den Zellen anbringt.

Diese Möglichkeiten erlauben es auch in der Architektur interessante Gebäudehüllen zu gestalten, die Optik eines Hauses kann positiv verändert werden und ein ästhetischer Akzent gesetzt werden.



3.3.4 Neue Entwicklungen

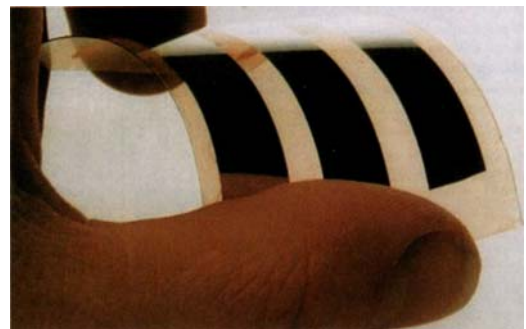
Insbesondere im Bereich der amorphen Zellen findet eine rasante technische Entwicklung statt.

So hat beispielsweise die Pfeiffer Vacuum AG aus dem hessischen Aßlar eine Produktionsanlage zur Beschichtung von Glasscheiben unter Vakuum entwickelt, welche ab dem Jahr 2001 Solarzellen kostengünstig herstellt, die zu 99,9 % aus Fensterglas bestehen. Die Sunways AG aus Konstanz hat transparente Solarzellen entwickelt, welche auf Glas in verschiedenen Farben aufgebracht werden können. Diese lassen noch Licht durch und können als Fassaden, Fenster und Glasschiebedächer eingesetzt werden. Hauptargument ist dabei, dass Licht durchgelassen wird und gleichzeitig bei niedrigen Kosten architektonisch ästhetische Verwendungsmöglichkeiten eröffnet werden.

Weitere Entwicklungen, so ein Gemeinschaftsprojekt der Hochschule Lausanne mit RWE, können schon bald zur Entwicklung von Solarzellen führen, die nur noch einen Bruchteil der heutigen Kosten werden.

Auch neue Erkenntnisse an der Universität in Linz, wo Forscher erstmals Solarzellen aus Plastik entwickelten eröffnen weitere Möglichkeiten.

Der hier entwickelte Prototyp besteht aus der photoempfindlichen Schicht eines polymerorganischen Halbleiters (PPV-Polyphenylidenvinyliden), mit Beimischung von C60-Molekülen, die Lichtenergie in freie Elektronen umwandeln können und dann über Metallkontakte an der Ober- und Unterseite der Kunststoffschicht abgegeben werden können. Als Trägermaterial dient Glas oder Kunststoff.



So können die typischen Vorteile der Kunststoffe wie geringes Gewicht, Flexibilität oder breites Farbspektrum in der Architektur und integrierter Gebäudeplanung eingebunden werden. Allerdings ist der Wirkungsgrad dieser Plastik-Solarzellen mit 0,6 - 2,5 % noch verschwindend gering.

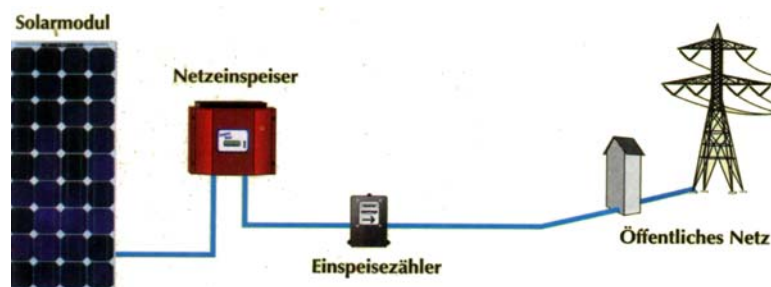
Hier wäre auch anzumerken, dass fast alle großen Öl- und Stromkonzern mittlerweile in der Solarforschung und im Handel mit Fotovoltaikanlagen aktiv sind. So ist BP mittlerweile größter Produzent von Solarzellen und auch NUKEM ist mit ihrer Tochtergesellschaft ASE bedeutender Wettbewerber in dieser Branche.

4. Anwendungsgebiete

Solarzellen sind in verschiedensten Anlagen einsetzbar:

Generell ist zu unterscheiden zwischen netzgekoppelten Anlagen und Inselanlagen. Je nach Einsatzzweck und Einsatzort muss entschieden werden, welche der Systeme Anwendung finden sollen.

4.1 Netzgekoppelte Anlagen



Fotovoltaikanlagen für Neu- und Altbauten sind in Deutschland meist netzgekoppelte Anlagen. Sie finden seit Anfang der 90iger Jahre Anwendung. Die Solaranlagen liefern Wechselstrom und sind mit den öffentlichen Energieversorgern verbunden. Der erzeugte Solarstrom wird, seit es die erhöhte Vergütung gibt, meist vollständig ins öffentliche Netz eingespeist. Wer möchte kann den Strom jedoch auch ins eigene Hausnetz einspeisen und selbst verbrauchen. Der überschüssige Strom wird schließlich ebenfalls ins Stromnetz abgegeben. Durch Netzkopplung kann das zeitlich schwankende Energieangebot durch Einspeisung oder Entnahme aus dem Netz ausgeglichen werden.

Dadurch ist eine Energiespeicherung nicht mehr notwendig und somit sind die Systeme billiger und einfacher geworden. Weltweit hat die Anzahl der netzgekoppelten Anlagen stark zugenommen.



4.1.1 Bestandteile einer netzgekoppelten Anlage

Die Solarmodule

Die einzelnen Solarzellen werden verdrahtet und in Solarmodulen wetterfest eingearbeitet. Nach vorne werden sie üblicherweise von einer Glasscheibe abgedeckt, hinten schützt eine weiße oder farbige Folie. Solarmodule sind mit etwa 10 - 15 kg/m² echte „Leichtgewichte“

Für den Einsatz, z.B. in Fassaden, gibt es Module, bei denen die Zellen zwischen zwei Glasscheiben liegen. Die Module werden in Größen von einigen Watt bis zu 300 Watt Leistung angeboten. Gängige Module mit einer Leistung zwischen 50 und 120 Watt.

Auch Solardachziegel sind auf dem Markt erhältlich. Sie werden anstelle normaler Dachziegel montiert.

Der Wechselrichter

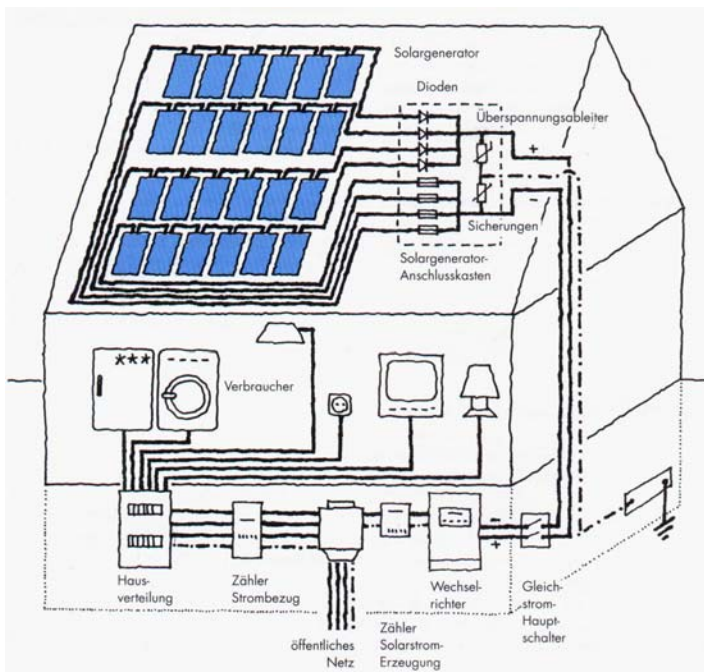
Er wandelt den solar erzeugten Gleichstrom in haushaltsüblichen Wechselstrom von 230 Volt um und macht es möglich, dass der Solarstrom von allen Haushaltsgeräten verwendet und in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden kann.



Der Einspeisezähler

Wieviel Solarstrom ins öffentliche Netz eingespeist wurde, misst der Einspeisezähler. Dieser Strom wird vom Stromversorger vergütet.

4.1.2 Aufbau einer netzgekoppelten Fotovoltaik-Anlage



Die einzelnen Solarmodule werden elektrisch miteinander verbunden zu sogenannten Generatorsträngen. Die Nennleistung eines einzelnen Moduls ist kleiner als die erforderliche Eingangsspannung der Wechselrichter, weshalb mehrere Module in Serie geschaltet werden. Je nach Eingangsspannungsbereich des eingesetzten Wechselrichters ist es erforderlich von einigen wenigen bis zu 20 Standardmodulen zu einem Generatorstrang hintereinander zu schalten.

Entsprechend der benötigten Generatorleistung werden dann mehrere dieser Stränge parallel geschaltet. Die jeweiligen

Strangleitungen werden im Solargenerator-Anschlusskasten zusammengefasst. Über die Gleichstrom-Hauptleitung wird der Solargenerator mit dem Wechselrichter verbunden. Am Wechselrichtereingang ist der Gleichstrom-Hauptschalter angebracht. Über diesen Schalter kann der Solargenerator lastfrei geschaltet beziehungsweise vom Wechselrichter und den übrigen Wechselstromkomponenten der Anlage elektrisch getrennt werden.

Der Wechselrichter wandelt den vom Solargenerator gelieferten Gleichstrom in Wechselstrom mit entweder 230 V oder Drehstrom mit 400 V Netzspannung um.

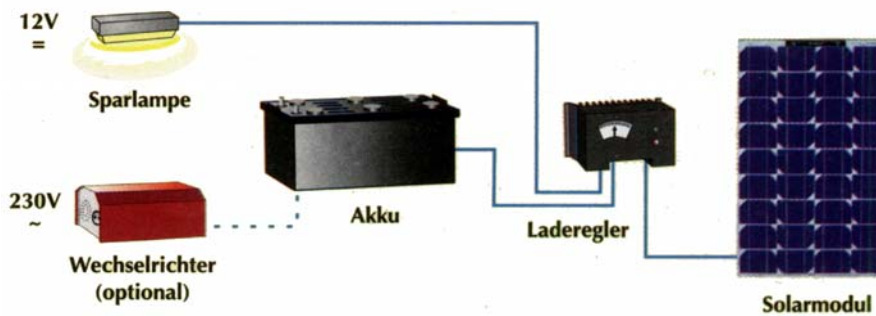
Der Wechselrichter ist über die wechselstromseitige Installation mit dem Zählerplatz verbunden. Um die eingespeiste Energie einer Solarstromanlage messtechnisch zu erfassen wird üblicherweise die bestehende Zähleranlage im Haus erweitert. Der vorhandene Bezugszähler wird dabei gegen einen Zähler mit Rücklaufsperrung ausgetauscht. Zusätzlich zu diesem Zähler wird ein Einspeisezähler mit Rücklaufsperrung zur Messung der abgegebenen

Energie installiert.

Alternativ hierzu kann auch ein elektronischer Zweirichtungszähler für Bezug und Einspeisung eingebaut werden oder man belässt einfach den bereits vorhandenen Zähler und betreibt diesen saldierend.

Ein Teil der erzeugten Energie kann im Haus direkt verbraucht werden. Bei einer vollständigen Einspeisung in das öffentliche Netz wird einsprechend der Abbildung der Einspeisepunkt netzseitig vor die Hausverteilung direkt an den Hausanschluss gelegt.

4.2 Inselanlagen



Die Fotovoltaik bietet besonders Vorteile bei der Versorgung netzferner Verbraucher, wie z.B. Berghütten, Kuhzäune, Wohnmobile, Notrufsäulen, die nicht durch das öffentliche Stromnetz versorgt werden können, da ein Neuanschluss und die dadurch entstehenden Kosten unrentabel wären. Dadurch muss kein Stromgenerator betrieben und kein Treibstoff transportiert werden.

Für die „Inselversorgung“ ist eine Speicherung des solaren Stroms in Akkumulatoren unerlässlich, damit nachts oder an sonnenarmen Tagen die Stromversorgung möglichst gewährleistet bleibt. Ein Laderegler verhindert, dass die Batterien überladen oder tiefentladen werden und dadurch Schaden nehmen. Durch die Batterien wird die Solar-Inselanlage zu einem unabhängigen Energielieferanten.



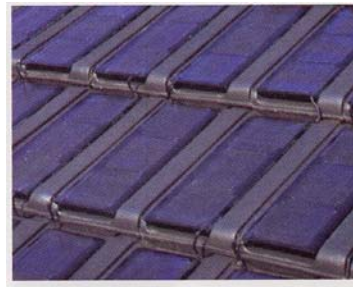
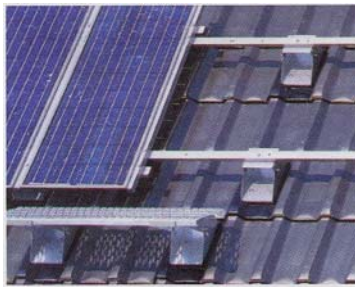
Um zu verhindern, dass es bei extrem schlechter Witterung einmal ganz zum Stromausfall kommt, ist im Normalfall noch ein Dieselgenerator angeschlossen, der eventuelle Stromausfälle überbrückt.

Da bei schlechtem Wetter häufig starker Wind weht, ist eine Kopplung mit einem Windrad sehr sinnvoll, wenn die landschaftlichen Verhältnisse den Anforderungen entsprechen. Ein Wechselrichter macht den Gebrauch des Stroms für Wechselstromverbraucher möglich.



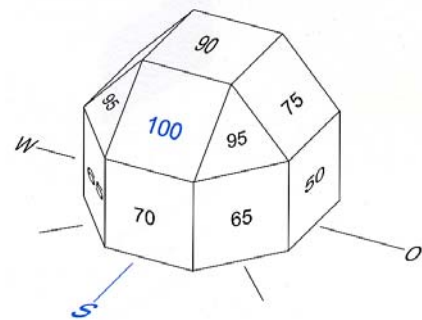
4.3 Montage

Der Solargenerator besteht aus einzelnen Solarmodulen. Das können entweder die klassischen Standardmodule mit dunkelblauen oder anthrazitfarbigen Solarzellen sein, die oft nachträglich über die Dachziegel montiert werden, oder auch schon in die Gebäudehüllen integriert sind. Es gibt auch Solardachziegel, die anstatt der konventionellen Dacheindeckung angebracht werden können. Da allerdings der Wirkungsgrad durch Erwärmung der Solarmodule stark verringert wird, wird die Aufdachmontage bevorzugt. Dadurch wird die nötige Hinterlüftung gewährleistet, indem die Luft zwischen Dach und Modulen zirkulieren kann und angestaute warme Luft abtransportiert wird.



Bei der Montage von Fotovoltaik-Anlagen sind neben der möglichst guten Hinterlüftung auch noch andere Komponenten zu beachten. Um eine optimale Sonneneinstrahlung auf die Zelle zu erreichen, sollte die Fläche der Module möglichst direkt in Richtung Süden zeigen und das, bei uns in Mitteleuropa, mit einem Winkel von ca. 35° gegen die Horizontale.

Zum Äquator und zu den Polen hin muss dieser Winkel der Sonneneinstrahlung gemäß variieren. Neben der Ertragssteigerung ist die Neigung der Module auch noch dazu nötig, um Schnee oder Regen ablaufen zu lassen, damit die Zellen nicht verdeckt werden.



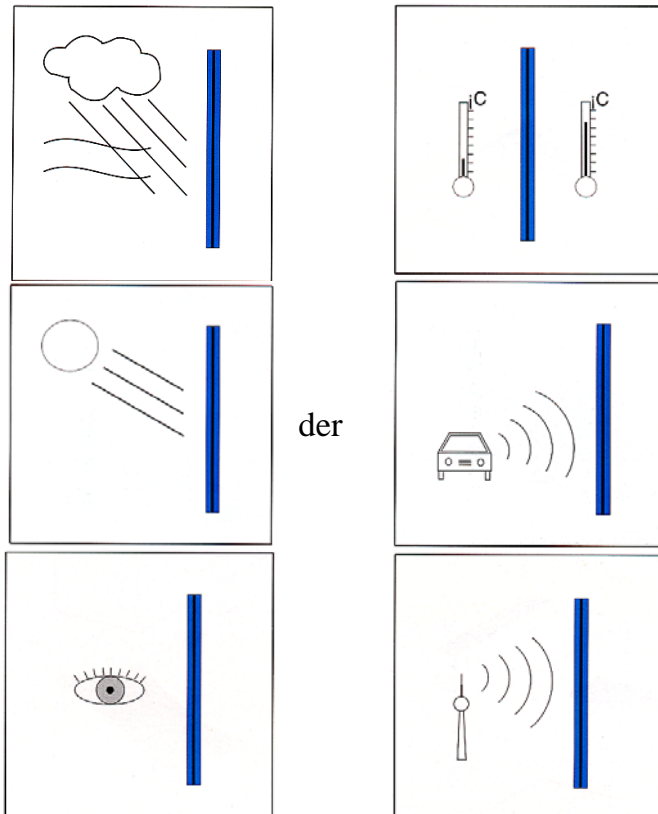
Außerdem muss man bei der Standortsuche einer Fotovoltaik-Anlage darauf achten, dass durch umgebende Bebauung oder Bepflanzung keine Verschattung auftritt. Das würde zu enormen Ertragsminderungen führen, da in einer einzelnen abgedeckten Zelle der Widerstand so hoch wird, dass der Strom auch durch die anderen Module nicht mehr fließen kann. In den USA beugten Behörden einzelner Bundesstaaten dem vor, indem sie die Höhe von Häusern und den Mindestabstand zwischen ihnen durch Gesetze regeln lassen um zu große Beschattung aufgestellter Solaranlagen zu verhindern.

Um den Ertrag noch weiter zu steigern gibt es Nachführungssysteme, die den Winkel der optimalen Sonneneinstrahlung messen und die Module, bzw. den ganzen Generator im Tagesverlauf nach der Sonne ausrichten. Verglichen mit einer ideal ausgerichteten, fest installierten Anlage sind hier bei einachsiger Nachführung bis zu 20% höhere Erträge möglich, bei zweiachsiger Nachführung sogar bis zu 30% Mehrerträge erreichbar. Allerdings ist die Nachführung in Privathaushalten meist nicht sinnvoll, da es in der Regel preiswerter ist anstelle der Nachführungseinrichtung den Solargenerator entsprechend

größer zu wählen und fest zu installieren. Nur bei großflächigen Anlagen und Solarkraftwerken ist der Einsatz solch eines Systems rentabel.

Neben der Stromerzeugung können Fotovoltaik-Module auch weitere Funktionen wie Witterungsschutz, Wärmeschutz, Sonnenschutz, Schallschutz, Sichtschutz, ästhetische

Qualität oder elektromagnetische Abschirmung übernehmen. Dabei kommt es immer auf die jeweiligen Vorstellungen des Auftraggebers an, die Anlage kaufen möchte.



4.4 Energetische Amortisation und die Lebensdauer von PV-Anlagen

Als energetische Amortisation bezeichnet man die Zeit, die eine Solaranlage benötigt, um soviel Energie zu erzeugen, wie für ihre Herstellung benötigt wurde. Öl, Gas- oder Kohlekraftwerke können sich nicht amortisieren, denn für ihren Betrieb ist die ständige Zufuhr von Brennstoffen notwendig.

Fotovoltaik-Anlagen haben sich gemäß einer Studie des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme bisher als weitgehend wartungsarm und zuverlässig erwiesen. Ihre Lebensdauer liegt bei 25 - 30 Jahren. Schon nach 1½ bis 4 Jahren amortisiert sich eine PV-Anlage energetisch. Das Vorurteil, dass für die Produktion von Solaranlagen mehr Energie aufgewendet werden muss als später daraus erlöst wird, stimmt heute nicht mehr.

5. Vorteile und Nachteile einer Fotovoltaik-Anlage

Fotovoltaik, lange umstritten, ist generell gesehen die eleganteste Art der Stromerzeugung. Um jedoch auch Kritikern gerecht zu werden wollen wir hier noch einmal die Vorteile und Nachteile gegenüberzustellen.

5.1 Nachteile

- Man braucht große, möglichst optimal ausgerichtete Flächen.
- Die Anschaffungskosten sind trotz aller Unterstützungen der Regierung noch relativ hoch.
- Die Leistung einer Solarzelle läßt sich nicht exakt kalkulieren, da die Sonneneinstrahlung nicht immer gleich groß ist. So fallen 4/5 des gesamten Strahlungsangebots in die Sommermonate, entsprechend weniger ist es im Winter, wo der Energiebedarf eigentlich wesentlich größer ist.
- Die Silizium-Zellen sind relativ aufwendig und kostenintensiv in der Herstellung.
- Tag und Nacht haben zur Folge, dass die Photozelle gerade mal die Hälfte der Zeit beleuchtet werden kann.
- Selbst eine optimal nach Süden ausgerichtete Solaranlage kann in Folge von meteorologischen Einflüssen starken Schwankungen unterliegen.
- Die Abschattung eines kleinen Teils des Moduls z.B. durch Zweige oder Schornsteine, kann die Leistung des ganzen Moduls deutlich reduzieren.
- Die Leitungsdichte ist im Vergleich zu anderen Energieerzeugern relativ gering.

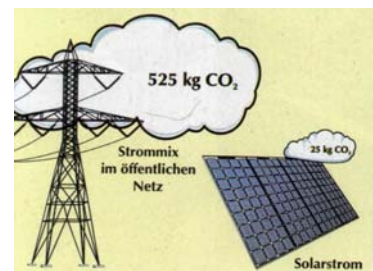
5.2 Vorteile

- Man setzt ein Zeichen, dass man zukunftsbewusst denkt und auch umweltbewusst handelt.
- Da die Solarstrahlung gut mit dem Nachfrageverlauf im Stromnetz übereinstimmt, kann ein privater Stromkunde mit eigener Fotovoltaik-Anlage die Spitzenlast des Strombezugs deutlich verringern.
- Wird „überschüssiger“ Strom erzeugt kann dieser mit dem Anschluss der Fotovoltaik-Anlage ans öffentliche Stromnetz als „Speicher“ verlustfrei genutzt werden. Damit belaufen sich die solaren Deckungsraten auf 100%.
- Die Anlage muss nicht gewartet werden. Wie gut sie funktioniert kann man auf dem Zähler ablesen.
- Das technisch nutzbare Potential der Sonnenenergie ist größer als das anderer erneuerbarer Energiequellen.
- Ein besonderer Vorteil der Stromerzeugung durch Sonnenenergie besteht darin, dass keinerlei mechanisch bewegten Teile erforderlich sind, im Gegensatz z.B. zur Windenergie. Infolgedessen haben sie einen wesentlich geringeren Wartungsaufwand und keinerlei Verschleiß.
- Wesentlich erscheint auch die Vermeidung jeglicher Kohlendioxidproduktion.
- Es wird keine Abwärme produziert, die bei konventionellen Kraftwerken rund das Doppelte des Nutzenergiebetrags ausmachen.
- Es gibt festgelegte Mindestvergütungen für Strom aus Fotovoltaikanlagen, der mit 99

Pf/kWh wesentlich höher liegt als z.B. bei Windkraft oder Biogas. Da die Strompreise für Privathaushalte derzeit bei 25 Pf/kWh liegen, spart man nicht nur, sondern verdient sogar noch dazu. Zudem gibt es auch noch zinsfreie Darlehn über 10 Jahre mit 2 tilgungsfreien Anfangsjahren um die Vorfinanzierung zu erleichtern.

- Die photovoltaischen Anlagen ermöglichen es, die Sonnenenergie direkt in elektrische Energie umzuwandeln, anders als z.B. Kohlekraftwerke, die mehrere verlustreiche Energieumwandlungsschritte durchlaufen müssen.
- Um eine Fotovoltaik-Anlage mit 1-2 kW zu installieren benötigt man in der Regel nicht mehr als 1 oder 2 Tage. So schnell kann kein anderes Kraftwerk gebaut werden.
- Für die Herstellung eines Solarstrom-Systems notwendige Energie wird in 4 – 7 Jahren wieder eingespielt. Ab da erzielt man Nettogewinne und erntet über die Jahre ein Vielfaches der eingesetzten Energie.
- Bei kleinen Inselanlagen wie Ticketautomaten oder Weidezäunen erspart man sich sämtliche Ausgrabungsarbeiten für die Netzanbindung und oft auch bürokratische Genehmigungshürden.
- Fotovoltaik ist eine weltweit einsetzbare Technologie, die gerade auch in Entwicklungsländern, zukunftsreiche Aussichten birgt.
- Es entsteht kein ungelöstes Müllproblem, da nach einer Lebensdauer von mehr als 25 Jahren die wesentlichen Bestandteile der Solarmodule, Glas, Aluminium und Silizium wiederverwendet werden können.

- Mit einer Anlage von 1 kW Leistung auf dem Dach erspart man der Umwelt jährlich ca. 500 kg Kohlenstoffdioxid und andere Schadstoffe.



- Mit einer Fotovoltaikanlage kann man optimistisch in die Zukunft blicken. Strom aus Kohle, Öl oder Gas wird teurer werden, wie man ja momentan den Benzinpreisen entnehmen kann, die Sonne dagegen schickt uns keine Rechnung.

6. Preis-Kalkulation

Kenngrößen:

generell kann man rechnen mit:

Preis: Pro kW installierter Anlage ist mit einem
Preis von 16.000 DM zu rechnen

Fläche: Pro kW installierter Anlage benötigt
man eine Fläche von 10m².

Eine Anlage mit solch einer Fläche von 10 m² liefert an einem sonnigen Sommertag eine elektrische Energie von 6 kWh. Je nach Standort beträgt der Solarertrag dieser Anlage im Jahr 700 bis 1.000 Kilowattstunden Strom. Die Umwelt wird dadurch um bis zu 700 Kilogramm Kohlendioxid entlastet.

Ein 3 Personen Haushalt mit einem Stromverbrauch von 2.500 kWh deckt – über das Jahr gesehen - mit einer 3 kW-Anlage seinen gesamten Strombedarf. Im Sommer wird natürlich mehr ins Netz eingespeist als verbraucht wird und im Winter mehr aus dem Netz bezogen.

Welche Kosten entstehen hängt natürlich auch von vielen Faktoren ab. Dies sind u.a. Größe und Art der Fotovoltaikanlage sowie Aufwand für Montage und Verkabelung. Die Art der Finanzierung spielt ebenso eine Rolle wie die Fördermittel. Im Schnitt liegen die gesamten Kosten für eine fertig installierte Fotovoltaikanlage mit 1 kW Leistung bei etwa 16.000 DM. Bei größeren Anlagen reduziert sich der Preis pro Kilowatt, da der Installationsaufwand pro kW abnimmt.

Wer mit einer Fotovoltaik-Anlage Strom erzeugt, erhält die Investitionskosten mit der Vergütung über die Lebensdauer wieder zurück. Um die Vorfinanzierung zu erleichtern, gibt es zinsgünstige Kredite im 100.000 Dächer-Programm und anderen Förderprogrammen. Der Rest, der selbst finanziert werden muss, hängt von den Finanzbedingungen und den Betriebskosten ab, die im allgemeinen sehr gering sind. Dies macht die Anlagen sehr attraktiv. Hinzu kommen weitere Vorteile: Fotovoltaik-Anlagen sind umweltfreundlich, ungefährlich, nachhaltig und lautlos.

Daher haben bereits mehr als 20.000 Hausbesitzer in Deutschland in eine Fotovoltaikanlage investiert. Oft werden mit einer PV-Anlage auch bewusst ästhetische Akzente am Gebäude gesetzt. Die Anlage symbolisiert Modernität und verantwortungsvolles Handeln. Für einige Hausbesitzer ein wichtiger Aspekt am Beginn eines neuen Jahrtausends.

Da die Anlage ja eine Lebensdauer von rund 30 Jahren hat und sich in 4-7 Jahren kostenmäßig amortisiert hat, ist es auf jeden Fall eine sinnvolle und wegweisende Energieerzeugung, vor allem da der Wirkungsgrad noch verbesserungsfähig ist und in der Fertigungstechnik noch ein großes Kostensenkungspotential durch Automatisierung in der Produktion und Massenfertigung besteht, ebenso wie durch neue Solartechnologien wie Dünnschichtzellen, bandgezogene Silizium-Scheiben, usw.

6.1 Kostenverlauf im Zuge der Entwicklung

Die Fotovoltaik ist eine verhältnismäßig junge Technologie. Der photovoltaische Effekt wurde in der Mitte des 19. Jahrhunderts entdeckt, aber erst 1955 wurde in den USA eine Silizium-Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von ca. 6% entwickelt. Die ersten Anwendungsgebiete waren in der Raumfahrt für die Stromversorgung von Satelliten. Hier war die Solarzelle trotz ihrer sehr hohen Kosten in einer Größenordnung von rund 1.500 DM/W konkurrenzlos.

Durch ihre Weiterentwicklung während der Energiekrise in den 70er Jahren, wo sie schon für die Versorgung abgelegener Inselsysteme eingesetzt wurde, fielen die Modulpreise auf ca. 100 DM/W.

Mitte der 80iger Jahre wurden mehrere photovoltaische-Versuchskraftwerke mit Leistungen bis 500 kW gebaut, mit Modulkosten von ca. 20 DM/W.

Seit den 90er Jahren wird die Anwendung der Fotovoltaik in Deutschland durch breite Förderprogramme unterstützt. Für die Ersteinsteiger war es damals schwierig überhaupt einen Anbieter zu finden, was es den wenigen Firmen ermöglichte die Preise sehr hoch zu halten. Heute ist die Konkurrenzsituation so verschärft, dass auch viele Installationsfirmen auf marktüblichen Gewinnmargen verzichten um sich ihre Stellung auf dem Markt zu ergattern. Die Modulpreise bewegen sich seither in der Größenordnung um 10 DM/W. Die Bruttopreise von privaten netzgekoppelten Anlagen im Kleinleistungsbereich sind etwas höher.

6.2 Wie sinnvoll sind eigentlich Fördermaßnahmen?

Fördermaßnahmen für Fotovoltaik-Anlagen finden nicht uneingeschränkte Zustimmung. Vergleicht man die derzeitigen Systemkosten mit der dadurch erzielbaren Entlastung für die Umwelt, liegt der Schluss nahe, „dass dieses Geld für andere Maßnahmen, z.B. Wärmedämmung besser eingesetzt wäre“. Ausschließlich mit umweltpolitischen Argumenten ist derzeit der Einsatz von Fördergeldern für die Fotovoltaik daher nicht zu begründen. Unumstritten ist jedoch das durch weitere technologische Fortschritte realisierbare energetische Potential dieser weltweit einsetzbaren Technologie. Wirtschaftspolitisch betrachtet sind daher alle eingesetzten Mittel zur Umsetzung dieses Zieles „gut angelegtes Geld!“. Fördermaßnahmen sollten deshalb nach wirtschaftspolitischen Gesichtspunkten konzipiert sein, mit dem Ziel der kontinuierlichen Nachfragesteigerung um die Marktstrukturen aufzubauen.

7. Fazit und Ausblick

Die Technik und der Markt für die Nutzung der Sonnenenergie wächst rasant. Wenn auch die Fotovoltaik schon auf einem hohen Entwicklungsstand ist, steht der großflächige Einsatz noch aus. In der Fotovoltaik steht die Erhöhung des Wirkungsgrades der Solarmodule und der Einstieg in die großtechnische Produktion noch bevor.

Diese kommende Entwicklung ist einerseits sicherlich darauf zurückzuführen, dass an vielen Hochschulen, Universitäten und in Firmen diesbezüglich geforscht wird. Andererseits wird dem Markt für Fotovoltaik ein großes wirtschaftliches Potential zugeschrieben.

Sowohl in unseren Breitengraden, als auch besonders in Gebieten mit weit höherer Sonneneinstrahlung wie z.B. Afrika, wo die Energieversorgung auch erst grundsätzlich im Aufbau ist, sind immense Potentiale nutzbar.



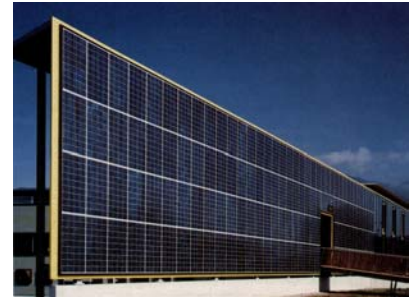
Die Erzeugung von Strom aus Fotovoltaik ist heute noch deutlich teurer als aus Kohle, Gas oder Uran. Da die Bundesregierung aus Umwelt- und Klimaschutzgründen aber auch aus industriepolitischen Überlegungen möchte, dass heute schon möglichst viel Solarstrom erzeugt und genutzt wird, bestimmte sie im Frühjahr 2000 ein Gesetz welches die Mindestvergütung von ins öffentliche Netz eingespeistem Solarstrom von 17 auf 99 Pfennige pro Kilowattstunde angehoben hat.

Des Weiteren existieren viele Fördermöglichkeiten für Errichter von Solarstromanlagen. Diese Rahmenbedingungen werden den Anlagenbau und die Solarforschung intensivieren. Gemäß einer Studie der KPMG können die regenerativen Energien auch zur Entstehung von mehreren zehntausend neuen Arbeitsplätzen führen.

Langfristig wird an der Energieerzeugung mittels regenerativer Energien nichts vorbeigehen, da die fossilen Brennstoffe zu Ende gehen werden. Spannend wird hier werden, welche Länder und Unternehmen federführend in der Technik sein werden und wo diese Arbeitsplätze somit entstehen werden.

Solarenergie ist ein Zukunftsmarkt der allerdings noch einer gesicherten kontinuierlichen Nachfragesteigerung bedarf, denn das photovoltaische Stromerzeugungspotential auf Dachflächen liegt in Baden Württemberg bei etwa 15 Mrd kWh pro Jahr.

Dem liegt eine installierte Leistung von 11.200 MW zugrunde. Damit könnte etwa ein Viertel des gegenwärtigen Baden-Württembergischen Stromverbrauchs erzeugt werden. PV-Anlagen können heute auf jeder geeigneten Dachfläche errichtet werden. Allein auf Lärmschutzwänden der Autobahnen installierte Solarzellen könnten 20% unseres derzeitigen Strombedarfs decken.



Je mehr Bürger sich für Solarstrom entscheiden, desto größer ist der Umweltvorteil. Wir müssen handeln, nicht nur um die Energieresourcen zu schonen, sondern aus einem Umweltgedanken heraus, denn wir alle tragen Verantwortung für unsere Umwelt und die Generationen nach uns.



8. Literaturverzeichnis

Infomaterial verschiedener Anbieter der Messe „Erneuerbare Energien 2001“:

- Wirtschaftsministerium, Unterwegs zu den erneuerbaren Energien
- BRAAS Solarstrom
- Photon
- EnBW, Solar plus
- SunTechnics
- RICOM, Mensch und Technik im Einklang
- Simens, Solarmodule
- SOLAR DIRECT, Solarstromanlagen
- Umweltbundesamt, Energiesparen im Haushalt
- ZSW Baden-Württemberg
- Landesgewerbeamt, Energie Fotovoltaik

Ansonsten verwendetes Material:

- Anfrage bei den Neckarwerken sowie Infomaterial
- Besuch bei einem Privathaushalt mit PV-Anlage
- Nachfrage bei fachkundigem Lehrer
- Aktuell 99, Harenberg Lexikon der Gegenwart
- Kleine netzgekoppelte PV-Anlagen im Breitentest
- Langzeitverhalten von Solaranlagen
- 100.000 Dächer-Solarstrom-Programm
- Bild der Wissenschaft 8/2000
- Schichtweise Sonne, Zeitung der Pfeiffer Vacuum AG
- Fotovoltaik Springer Verlag
- Energie Oldenbourg Verlag
- Physik für Ingenieure VDI Verlag
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Internetseiten von:

- <http://bine.fiz-karlsruhe.de>
- <http://www.kyocera.de>
- <http://www.nukem.de>
- <http://www.solarserver.de/lexikon/index.html>
- <http://www.dgs-solar.org>
- <http://www.sunways.de>
- <http://www.solardirect.de>
- <http://www.greenpeace.de>
- <http://www.hof.de/gemeinhardt/solar/funktion/funktion.htm>
- <http://www.solarstromag.de>