Stand: Juni 2004

Förderkonzept "Photovoltaik Forschung 2004-2008"

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit führt im Rahmen des 4. Programms Energieforschung und Energietechnologien der Bundesregierung mit der Fördermaßnahme Photovoltaik (PV) die langfristig angelegten Forschungsaktivitäten zum verstärkten Ausbau der PV-Solarstromenergienutzung mit neuen Schwerpunkten fort.

Die Photovoltaik ist eine Hochtechnologie mit hohem Innovations- und Ausbaupotenzial. Mit einer Verstärkung der Forschungsförderung sollen langfristig die strategischen Weichen für eine Erhöhung des Anteils der PV-Solarstromproduktion gestellt und die internationale Wettbewerbschancen der deutsche PV-Technologie weiter ausgebaut werden.

Hintergrund und Zielsetzung

Die zentralen Herausforderungen an eine nachhaltige Energie- und Klimaschutzpolitik sind die Schonung von Umwelt und Ressourcen sowie der Schutz des Klimas, die wirtschaftliche und international wettbewerbsfähige Versorgung mit Energie und eine dauerhaft sichere Versorgung mit Energie. Zugleich setzt die Beseitigung von Armut in der Welt und die Verbesserung des Zugangs zu Energie in den Entwicklungsländern eine sichere und wirtschaftliche Versorgung mit Energie voraus.

Dabei gehören nachhaltige Energieversorgung und Klimaschutz eng zusammen. Hierzu arbeitet die Bundesregierung an Eckpunkten einer neuen Energieversorgungsstruktur. Diese Strategie wird die Einhaltung der Klimaschutzziele, den Ausstieg aus der Kernkraft, den schrittweisen Ersatz fossiler Brennstoffe durch erneuerbare Energieträger sowie den Einsatz effizienter Gas- und Dampfkraftwerke und anderer hocheffizienter fossiler Heizkraftwerke umfassen.

Um diese Ziele zu erreichen, stellt die Bundesregierung die Verbesserung der Energieeffizienz und den Ausbau der erneuerbaren Energien in den Vordergrund ihrer Energiepolitik. Mit der Novelle des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) sind die Weichen für den weiteren verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien gestellt worden. Bis 2020 sollen mindestens 20% des Strom aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden. Bis Mitte des Jahrhunderts sollen erneuerbare Energien rund die Hälfte der Energieversorgung ausmachen.

In diesem künftigen Energiemix bietet die Nutzung der Solarenergie langfristig besonders große Potenziale. Gegenwärtig ist zwar der Beitrag der Photovoltaik zur Stromerzeugung mit 0,03 % in Deutschland noch gering, aber gleichwohl ist in den vergangenen Jahren durch gezielte politische Rahmenbedingungen eine rasante Marktentwicklung in der Solarstromproduktion zu verzeichnen: Ende 2003 betrug die insgesamt installierte elektrische Leistung 405 MWp. Damit ist die Installationsrate gegenüber dem Vorjahr noch einmal um 50% angewachsen. Insgesamt entspricht das einer Verzehnfachung der installierten PV-Leistung von 40 MWp in 1997 auf rd. 400 MWp in 2003.

In Folge des o.g. Marktzuwachses, der verbesserten Effizienz der Module und der zunehmenden Automatisierung von größeren Produktionsanlagen sanken die Preise für Photovoltaik-Solarstromanlagen um rd. 25% seit 1999 und rd. 60 % seit 1991. Weitere Kostensenkungen können bei weiterem Marktwachstum und gesteigerter Nachfrage, insbesondere bei größeren, in den MW-Bereich gehenden Anlagen, was

durch die Freiflächenregelung in der Novelle EEG möglich wird, erreicht werden. Darüber hinaus muss es Ziel sein, die gesamte Photovoltaik-Wertschöpfungskette in Deutschland auszubauen.

Photovoltaik besitzt unter allen erneuerbaren Energien mit die größten Ausbaupotenziale. Dies hat auch der Wissenschaftliche Beirat für Globale Umweltveränderungen (WBGU) in seinem jüngsten Gutachten „Energiewende zur Nachhaltigkeit“ hervorgehoben. Dennoch gibt es wegen der derzeit verhältnismäßig teuren Technik noch eine Reihe von Hemmnissen zu überwinden. Hier stehen wir vor großen Herausforderungen zur Optimierung der Technologien und zur Kostensenkung der Anlagen.

Die Langfristszenarien für Deutschland gem. der gleichnamigen UBA-Studie von 2002 sowie des BMU-Forschungsberichtes „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland“ von 2004 sieht einen Anteil der Photovoltaik am Stromverbrauch in Deutschland in Höhe von rd. 0,3% bis 2010 und rd. 6% bis 2050 vor. Weltweit wird ein Anteil der Photovoltaik von rd. 23% prognostiziert.

Ziel muss es sein, mittel- bis langfristig die Wettbewerbsfähigkeit erneuerbarer Energien ohne Subventionen auf dem Markt zu erreichen. Deshalb gilt es, die Anreize so zu setzen, dass bei den Technologien die Kosten reduziert werden, die Qualität und der Wirkungsgrad der Anlagen aber steigt.

Hierfür sollen die folgenden Forschungsschwerpunkte die Grundlage liefern. Denn Forschung und Entwicklung sind die Basis für Innovation und Markteinführung in dieser zukunftsweisenden Schlüsseltechnologie.

Stand von Wissenschaft und Technik

A. Silizium Wafertechnik

Obwohl sich zur Herstellung von Solarzellen im Prinzip eine Vielzahl von Halbleitermaterialien eignen, haben sich nur einige wenige technisch durchgesetzt. Heute bestehen weltweit 99% aller kommerziell gefertigten Solarzellen aus Silizium (Si), mehr als 90% davon aus kristallinem Silizium, d.h. im Jahr 2003 wurden weltweit Module mit einer Leistung von rund 650 MW und einem Gesamtwert von mehr als 1.500 Mio. € installiert. Der Bedeutung dieser Technik entsprechend ist die Konkurrenz groß: Sowohl in Europa als auch in Japan, den USA und weiteren Ländern treiben eine größere Anzahl von Firmen und Forschungslaboren die Entwicklung voran. Folgender Stand ist erreicht:

Ausgangsmaterial

Jahrelang konnte die Photovoltaik von den Si-Abfällen der Elektronik - Industrie leben. Es gab zwar bereits in den achtziger Jahren Bestrebungen, für die Technologie der Si-Solarzelle eine eigene Silizium-Versorgung zu schaffen. Diese Aktivitäten kamen jedoch zu früh. Der Markt wuchs langsamer als gedacht und die Qualitätsanforderungen waren höher als ursprünglich angenommen. Bei dem aktuellen jährlichen Wachstum des Photovoltaikmarktes von 25-30% global muss man aber bereits naher in Zukunft mit einer zunehmenden Konkurrenz zwischen Photovoltaik - und Elektronik – Industrie um das Silizium rechnen mit entsprechend negativen Folgen für das Preisniveau. Auch steht das Silizium nicht immer in der für die nachfolgenden Prozesse notwendigen Form zur Verfügung (z.B. Si-Granulat)

Kristallisation

Die zur Herstellung von Solarzellen notwendigen Scheiben werden heute zum überwiegenden Teil aus multikristallinen Blöcken oder einkristallinen Stäben geschnitten. Die Blöcke werden durch gerichtete Erstarrung einer Si-Schmelze kristallisiert, die Einkristalle nach dem so genannten Czochralski-Verfahren gezogen (nur in geringem Maße und für spezielle Anwendungen wird hochwertiges Float Zone Material eingesetzt).

Die mit Solarzellen aus diesen beiden Materialien erreichbaren Wirkungsgrade wurden durch intensive F&E-Anstrengungen in den vergangenen Jahren deutlich weiterentwickelt. Das einkristalline Si blieb mit ca. 1.5 bis 2% besser im Wirkungsgrad, das multikristalline Si hat leichte Kostenvorteile. Auch wenn der Marktanteil des multikristallinen Si stetig gestiegen ist, gibt es in der Gesamtbetrachtung keinen eindeutigen Vorteil für eines der beiden Verfahren.

Scheibenfertigung

Der nachfolgende Sägeprozess ist vor allem energetisch aufwendig und bestimmt die Scheibenkosten entscheidend mit. Auch wenn die Drahtsägetechnologie in den letzten Jahren eine beeindruckende Entwicklung erfahren hat, erscheinen die Möglichkeiten, hier noch durchschlagende Kostenreduktionen zu erzielen, begrenzt. Zur Vermeidung dieses Prozess-Schrittes bieten sich zwei Alternativen an: Statt die Siliziumscheiben aus großen Blöcken oder Stäben herauszuschneiden, kann man diese direkt aus der Schmelze, z.B. in Form von dünnen Bändern kristallisieren. Eine andere Möglichkeit besteht in der Abscheidung von dünnen Schichten aus der Gasphase auf preisgünstigere Substrate. Durch diese Maßnahmen kann man Material (Sägeverlust) und zusätzlich den teuren Sägeprozess sparen.

Zelltechnik

Multikristallines Silizium

In der Produktion werden Zellwirkungsgrade zwischen 13% und 16% auf Formaten bis 15 x 15 cm² erreicht. Diese Zellen sind charakterisiert durch siebgedruckte Metallkontakte und eine reflexionsmindernde, passivierende Oberflächenvergütung. Einige Hersteller setzen zudem auf eine texturierte Frontseite, um eine weiter bessere Lichteinkopplung zu erreichen. In jüngster Zeit wurden Durchlaufprozesse mit hoher Taktfrequenz eingeführt. Schnelle thermische Prozesse sowie „kalte“ Plasmaprozesse befinden sich in der Entwicklung.

Im Labor werden unter Verwendung technisch aufwendiger Prozessvarianten Wirkungsgrade von 17% bis knapp 20% erreicht.

Einkristallines Silizium

Das Wirkungsgradniveau von einkristallinen Zellen liegt in der Produktion mit 14,5% bis 17% oberhalb dem des multikristallinen Siliziums. Das Zellformat reicht bis 12,5 x 12,5 cm². Überdurchschnittliche Ergebnisse werden durch den Einsatz spezieller Zelldesigns erreicht, wie z.B. BP Solar mit einer „Buried-Contact-Zelle“ oder Sanyo seiner „HIT-Zelle“. Das Potential des Materials wird bei Betrachtung der Entwicklungen in verschiedenen Labors deutlich: Zwischen 20% und knapp 25% werden erreicht; die Herstellbedingungen sind jedoch weitgehend nicht industrietauglich.

Modultechnik

Die Weiterverarbeitung der Zellen zu Modulen ist weitgehend Stand der Technik. Angeboten werden heute zumeist Module in Laminattechnik. Dabei werden die einzelnen Zellen über Verbinder miteinander verlötet. Für diesen Modulaufbau werden üblicherweise Leistungsgarantien von 20 Jahren angeboten.

Die typische Modulgröße liegt bei rund 120 W bis 200 W bei Modulwirkungsgraden zwischen 10 und 14% (multikristallin) bzw. 11 und 15% (einkristallin).

B. Dünnschichtsolarzellen

Dünnschichtsolarzellen spielen mit ca. 5 % Anteil weltweit im Bereich der großtechnischen Anwendung immer noch eine untergeordnete Rolle und die in sie gesetzten Hoffnungen haben sich bisher nicht erfüllt. Trotz intensiver Forschung und Entwicklung in den vergangenen 15 Jahren konnten die theoretischen Kostenvorteile innovativer Dünnschicht-Technologien noch nicht in der Praxis verifiziert werden. Keine

Dünnschicht-Technologie hat es bisher geschafft, der Silizium-Wafer-Technologie ebenbürtig zu sein. Während die Fertigungskapazitäten von kristallinen Siliziummodulen kontinuierlich wachsen, befinden sich die Dünnschicht-Technologien nach Einschätzung von Experten heute in einem kritischen Übergang zur kommerziellen Fertigung, der bei Entwicklern, Herstellern und Kunden mit Pessimismus begleitet wird. Den offensichtlichen Vorteilen der Dünnschicht-Technologien wie großflächige Beschichtung, integrierte Serienschaltung, hohe Materialeinsparung, kürzere Energierücklaufzeiten und größere Flexibilität bei der Verwirklichung innovativer Zellkonzepte stehen noch gravierende Nachteile wie ein erheblicher Rückstand in der technologischen Entwicklung und industriellen Umsetzung sowie mangelnde Langzeiterfahrung gegenüber. Darüber hinaus sind hohe Investitionskosten für Pilotanlagen erforderlich, um zu demonstrieren, dass sich die prognostizierten Kostenvorteile in der industriellen Umsetzung auch bestätigen. In den heutigen Marktanzreizprogrammen wird fast ausschließlich die Silizium-Wafer-Technologie genutzt. Hier wird kräftig investiert und produziert, während die Dünnschicht-Technologien auf der Stelle treten. Im Wettbewerb um die niedrigsten Produktionskosten bewegt sich die immer schon als „moving target“ angesehene Silizium-Wafer-Technologie für die Dünnschicht-Technologien offensichtlich zu schnell.

Bei den Dünnschicht-Technologien werden der Halbleiter und weitere für die Herstellung einer Solarzelle notwendigen Materialien als dünne Schichten auf einen kostengünstigen Träger, das Substrat, großflächig aufgebracht. Die Solarzellen werden auf dem Substrat zu einem Modul verschaltet, indem die durchgehenden Schichten gleich nach der Schichtabscheidung durch Entfernen von Material unterbrochen, isoliert und die einzelnen Streifen (Zellen) durch nachfolgend abgeschiedene Schichten in Serie verschaltet werden. Die theoretischen Kostenvorteile integriert verschalteter dünner Solarzellen gegenüber den seriell verschalteten (dicken) Zellen aus gesägten Siliziumblöcken sind offensichtlich, und ganz besonders dann, wenn das Halbleitermaterial praktisch unbegrenzt zur Verfügung steht und keine Probleme für die Umwelt darstellt. So gesehen werden mittelfristig den Dünnschicht-Technologien und langfristig der kristallinen Silizium-Dünnschicht-Technologie die größten Chancen eingeräumt. Die Erfahrung der letzten 10 Jahre sagt, dass der Weg dorthin lang, schwierig und von Zwischenlösungen geprägt sein wird.

Die Bundesregierung fördert die Dünnschicht-Technologien seit den 80er Jahren. Die Prioritäten hinsichtlich der Basismaterialien, Abscheideverfahren und Zellstrukturen orientierten sich am internationalen Stand, wurden laufend überprüft und falls erforderlich auch aktualisiert. Von den verschiedenen Zellmaterialien stand das amorphe Silizium (a-Si) als erstes im Mittelpunkt des Interesses und wurde schon frühzeitig gefördert. Bereits Anfang der 90er Jahre ging in Deutschland eine Pilotfertigung in Betrieb, deren Anfangskapazität von 1 MW pro Jahr allerdings bis heute auf ca. 3 MW erweitert wurde. Amorphe-Si-Module werden von verschiedenen Herstellern im Leistungsbereich bis 256 W mit a-Si, a-Si (tandem) und a-Si (triple) Zelltypen sowie auf dem japanischen Markt mit a-Si/ μ c-Si-Absorbern angeboten. Der große Durchbruch im großflächigen Einsatz blieb bisher aus. Preisvorteile gegenüber den kristallinen Silizium-Modulen sind nicht erkennbar. Der Modulwirkungsgrad liegt heute bei maximal 6,9 %, in der Regel unter 6 % und bei einigen Modulen auch unter 5 %. Die Entwicklung von Dünnschicht-Solarzellen auf der Basis $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{Se,S})_2$, abgekürzt CIS bzw. CIGS, wird durch die Bundesregierung seit Ende der 80er Jahre ausgehend vom Laborstadium über das Technikum bis zur Pilotierung systematisch gefördert. Heute erreichen CIS- bzw. CIGS-Module auf Flächen von $120 \times 60 \text{ cm}^2$ Wirkungsgrade von über 10 %. Die auf dem Markt angebotenen Module stammen aus Pilotanlagen mit einer Produktionskapazität von maximal 1 MW pro Jahr. Entscheidungen über Produktionsanlagen im 10 MW-Bereich stehen noch aus. Die größte Produktionsanlage für Dünnschicht-Solarmodule verfügt über eine Jahreskapazität von 10 MW und stellt CdTe-Module her. Bei einer Leistung von 50 W beträgt die Modulfläche $120 \times 60 \text{ cm}^2$, der Wirkungsgrad ca. 7-8 %. Die Entwicklung von CdTe-Solarzellen wurde Ende der 80er Jahr durch die Bundesregierung gefördert, anschließend wegen umweltpolitischer Bedenken eingestellt und im Zuge der Errichtung einer 10 MW-Produktionslinie in Thüringen Anfang 2000 wieder aufgenommen.

Die Entwicklung der polykristallinen Si-Dünnschicht-Solarzelle wird seit 1994 gefördert. Das Prinzip der Zelle ist vollständig erarbeitet und im Labor verifiziert. Alle Prozessschritte befinden sich noch im Stadium der Forschung. Einzelne Prozesse stehen vor der Hochskalierung auf eine Fläche von 30 x 30 cm². Mit einer industriellen Umsetzung bzw. Markteinführung ist vor 2010 nicht zu rechnen.

Von den Dünnschicht-Technologien wird generell erwartet, dass sie das Potenzial haben, die Kosten der kristallinen Silizium-Technologie zu unterschreiten. Alle gegenwärtig im Interesse stehenden Zelltypen zeigen gute Wirkungsgrade im Labormaßstab, benötigen geringe Schichtdicken, lassen sich integriert verschalten, großflächig herstellen und erfüllen damit die grundsätzlichen Voraussetzungen für eine kostengünstige Herstellung. Als größte Herausforderung hat sich die Entwicklung der Produktionsmittel herausgestellt, da man kaum etwas von anderen Technologien übernehmen kann.

C. Systemtechnik

Die Einspeisung von Solarstrom in das öffentliche Elektrizitätsnetz erfolgt bei kleinen Anlagen einphasig über einen Wechselrichter (netzgekoppelte Anlagen). Die einzelnen technischen Komponenten sind inzwischen weitgehend gereift und ihre Installation Stand der Technik. Weitgehend Neuland wird jedoch zukünftig bei einer massiven Durchdringung der Netze mit dezentralen Einspeisern auf der Niederspannungsebene betreten. Auch sind die Kosten der Systeme mit 5.000 bis 6.000 €/kW (2003, für Systeme bis 5 kW) und damit auch die der eingespeisten Elektrizität noch nicht auf einem konkurrenzfähigen Niveau.

Inselsysteme sind weitaus komplexer aufgebaut. Benötigt werden zumeist ein Energiemanagementsystem und Elektrizitätsspeicher. Während die Photovoltaik in vielen Anwendungsbereichen gegen konkurrierende Energieversorgungssysteme bestehen kann, sind Fragen der Standardisierung und der Speichertechnik nach wie vor drängend, insbesondere für größere Inselsysteme mit mehreren Verbrauchern.

Gegenstand der Förderung

Analog den formulierten Zielsetzungen des Förderkonzepts stellt nach wie vor der Themenbereich der PV – Leistungsanwendung den Schwerpunkt dar. Weiterhin ist die Übertragung von Forschungsergebnissen in die Fertigung prioritär. Dem entsprechend ist jede Entwicklung regelmäßig an geeigneten Erfolgskriterien zu messen.

Mit zunehmender Verbreitung der Photovoltaik treten Fragen der Verfügbarkeit von Ausgangsmaterialien, der Dauerbeständigkeit der Systeme und ihrer Komponenten und der Umweltverträglichkeit sowohl in Fertigung und Anwendung als auch beim Recycling in den Vordergrund. Eine Berücksichtigung dieser Problemkreise auch in der Förderung erscheint zwingend.

Im Einzelnen werden folgende Themen für wichtig erachtet:

Silizium Rohstoff und Wafertechnik

In den letzten Jahren ist es auch mit Unterstützung durch die Fördermaßnahmen des 4. Programms Energieforschung und Energietechnologien des Bundes gelungen, die Produktionstechniken deutlich voran zu bringen. Vor diesem Hintergrund erscheint ein verstärktes Engagement bei der Weiterentwicklung qualitativer Parameter zielführend, wie z.B. die fertigungsrelevante Steigerung von Wirkungsgraden.

Ausgangsmaterial

Die Si-Rohstoff-Kapazitäten bilden die Basis der Fertigungskette. Angesichts der künftig auf dem Weltmarkt prognostizierten Verknappung des Si-Rohstoffes ist die Entwicklung von kostengünstigen Herstellungsverfahren für Solarsilizium prioritär. Aktivitäten zur Sicherung der Rohstoffversorgung in Deutschland sind weiterzubetreiben:

- Entwicklung von Technologien zur Herstellung von Silizium-Rohmaterial zu akzeptablen Preisen, welches in Reinheit und Form den Ansprüchen der Photovoltaik-Industrie genügt.
- Aufbau von Produktionskapazitäten, die dem wachsenden Photovoltaikmarkt ausreichende Materialmengen zur Verfügung zu stellen (unabhängig vom Halbleitermarkt).

Kristallisation

- Verbesserung der Materialqualität bei gleichzeitiger Senkung der Herstellungskosten
- Senkung des Energieaufwandes bei der Fertigung.

Scheibenfertigung

- Nahziel: Optimierung der konventionellen Scheibenfertigung durch Verbesserung des Sägeprozesses und Übergang zu größeren Formaten (Weiterentwicklung Drahtsäge und neue Sägetechnologien mit Verringerung der Waferdicke bei gleichzeitiger Reduzierung der Schnittverluste; Erhöhung der Bruchfestigkeit)
- Mittel- bis langfristige Ziele: Entwicklung von neuer Techniken zur Waferherstellung ohne Sägeprozess (Silizium Folienziehen und –Gießen), um die für eine Massenproduktion notwendigen Materialeinsparungen und Kostenreduktionen realisieren zu können.

Si - Zellen und Module

- Reduzierung der „Wirkungsgradlücke“ zwischen Produktion und Labor einschl. Bereitstellung der notwendigen Prozesstechnik
- Entwicklung neuartiger Zellkonzepte unter Berücksichtigung der Anforderungen zukünftiger Massenproduktion
- Evaluierung neuer Prozessschritte für eine standardisierte Fertigung
- Vermeidung umweltbelastender Stoffe bei der Zell- und Modulherstellung; Reduzierung des Energieeinsatzes in der Produktion
- Adaption der Modultechnik an neue Zellgenerationen
- Erhöhung der Qualitätssicherung bei Modulen (Lebensdauer von 25 Jahren und mehr bei Erhalt von min. 90% der Produktionsnennleistung)
- Beiträge der Zell- und Modulproduktion an einer weiteren signifikanten Reduktion der Herstellkosten von PV-Systemen
- Recycling

Dünnschichttechnik

Die technologische Reife der derzeit aussichtsreichsten Dünnschicht-Technologien ist sehr heterogen. Am reifsten dürfte die Technologie des amorphen Siliziums sein, obwohl Modulwirkungsgrad und die Abscheiderate noch sehr unbefriedigend sind.

Cadmiumtellurid- Module (CdTe) werden bereits in einer 10 MW-Linie hergestellt. Das robuste Herstellungsverfahren lässt sich industriell gut umsetzen. Das

Optimierungspotenzial ist hinsichtlich Wirkungsgrad und Prozessführung noch sehr groß.

Die heute als langfristig aussichtsreich eingeschätzte kristalline Silizium-Dünnschicht-Technologie befindet sich noch weit entfernt von einer industriellen Umsetzung und abhängig von der Prozesstechnik in der Labor- bzw. in der Technikumsphase. Für die Chalkopyrit (CIS) –Technologie (Cu(InGa)Se_2), die ebenso wie CdTe als Zwischenlösung angesehen wird, stehen in den kommenden Jahren Entscheidungen über den Bau einer Produktionslinie an.

Entsprechend dem technologischen Reifegrad und dem Stand der Fertigungstechnik ergeben sich für die Dünnschicht-Technologien unterschiedliche Forschungs- und

Entwicklungsziele. Angesichts des weltweit massiven Ausbaus der Fertigung von kristallinen Siliziummodulen erscheint es heute notwendiger denn je, die industrielle Umsetzung der Dünnschicht-Technologie zu unterstützen, damit der Rückstand in der produktionstechnischen Reife sich nicht vergrößert und der prozentuale Marktanteil nicht weiter zurück geht. Dies gilt insbesondere für die CIS- und mit Einschränkungen für die CdTe-Technologie. Andererseits ist es derzeit nicht möglich vor auszusehen, welches Zellkonzept und welche Materialien das Rennen machen, so dass es durchaus sinnvoll ist, ein breites Spektrum an Lösungsansätzen zu verfolgen.

Ein grundsätzlicher Entwicklungsbedarf besteht bei den Dünnschicht-Technologien in den Fertigungstechniken. Dabei geht es um die Reproduzierbarkeit der Prozesse auf größeren Flächen, hohe Prozessausbeuten und eine hohe Anlagenverfügbarkeit (Weiterentwicklung hochproduktiver Anlagentechnik unter minimierten Kostenbedingungen). Weiterer Entwicklungsbedarf besteht in der Optimierung von Prozessen (Fertigungstechnologien für die Dünnschichttechnik) mit den Zielen Erhöhung der Abscheideraten (kürzere Taktzeiten), Reduzierung des Verbrauchs von teuren Materialien, des Energieeinsatzes und der Prozessschritte bzw. -zeiten, Verbesserung des Wirkungsgrads sowie Realisierung einfacher Prozesse. Da neue Dünnschichtsolarmodule auch nach ihrem Degradationsverhalten bzw. ihrer Langzeitstabilität bewertet werden, müssen das Langzeitverhalten verstanden, Methoden zu seiner Beeinflussung erarbeitet und stabile Dünnschichtstrukturen entwickelt werden. Ein erheblicher Forschungsbedarf ist für die kristalline Silizium-Dünnschichtsolarmodule erforderlich. Auf teuren Wafersubstraten erzielt sie im Labor die besten Wirkungsgrade, ist aber so nicht industriell umsetzbar. Ihre Realisierung auf preiswerten und großflächigen Fremdsubstraten stellt dagegen Forschung und Industrie noch vor eine Vielzahl nicht gelöster Probleme.

Die Dünnschicht-Technologien stehen auf der Schwelle zur Markteinführung. Im Wettbewerb mit der kristallinen Silizium-Technologie brauchen sie ebenso wie diese ein organisiertes FuE-Umfeld, das wegen der Verschiedenheit der Materialien und Zellkonzepte heterogen sein kann. Da sich mit der Dünnschicht-Technologie auch neue und innovative Zellkonzepte zur besseren Ausnutzung des Sonnenspektrums verwirklichen lassen (Multispektralzelle, Tandemzellen), soll auf Vorlauforschung hier nicht verzichtet werden.

Systemtechnik

- Beseitigung technischer und organisatorischer Hemmnisse bei der massiven Durchdringung des Niederspannungsnetzes mit dezentralen Einspeisern
- Systemtechnik für dezentrale Netzstrukturen
- Anpassung der Leistungselektronik an die Erfordernisse zukünftiger Modulgenerationen und Beiträge der Systemtechnik an einer weiteren signifikanten Reduktion der Kosten von Solarstrom
- Standardisierung großer (über 5 kW) und mittelgroßer (1 bis 5 kW) Inselfsysteme
- Identifizierung sicherer, umweltfreundlicher und preiswerter Energiespeicher mit ausreichender Lebensdauer
- Internationale Normarbeiten

Alternative Konzepte

Für die Entwicklung beziehungsweise Weiterentwicklung von Alternativen zu den oben aufgeführten Technologielinien sollen bis etwa 10% des verfügbaren Etats aufgewendet werden. Auch hier gilt, dass die übergeordneten Kriterien wie Eignung für Leistungsanwendungen, Übertragbarkeit in einen industriellen Fertigungsmaßstab, Dauerbeständigkeit und Umweltverträglichkeit perspektivisch erfüllbar sein müssen.

Übergreifende Fragestellungen/Qualitätssicherung

Hierzu gehört insbesondere die Entwicklung von Qualitätsstandards für alle wesentlichen Fertigungsstufen sowie die Verbesserung der Qualität der Produkte, insbesondere auch

Fragen der Langzeitstabilität. Eine Vernetzung der einzelnen Qualitätssicherungsmaßnahmen soll darüber hinaus zu einem integrierten Qualitätsschema beginnend bei den Ausgangsmaterialien bis hin zum Endprodukt „Solarstrom“ führen.

Auswahlkriterien

Grundsätzlich erfolgt die Auswahl der Förderprojekte unter Berücksichtigung der einschlägigen Auswahlkriterien für die Forschungsförderung der Bundesregierung (siehe Richtlinien für Zuwendungsanträge auf Ausgabenbasis bzw. Kostenbasis z.B. unter <http://www.kp.dlr.de/profi/easy/index.htm>).

Darüber hinaus ist hier für eine Förderung wesentlich der Beitrag der Forschungs- und Entwicklungsleistungen insbesondere zur Kostensenkung, Wirkungsgradsteigerung, Erhöhung der Qualitätsstandards sowie zur technischen Optimierung der Fertigungsprozesse.

Weiterhin steht ein schnellerer Transfer der Forschungsleistungen in den Markt im Mittelpunkt, um den Ausbau der Photovoltaik-Solarstromleistung mit weiterhin hohen jährlichen Wachstumsraten voranzubringen. Entsprechende Umsetzungsstrategien sind im Verwertungsplan zum Antrag darzulegen.

Für die Projektauswahl kommen generell Forschungsprojekte an Universitäten, öffentlichen Forschungsinstituten und der Industrie, Verbundprojekte zwischen Universitäten/Forschungsinstituten und der Industrie sowie Clusterprojekte (Gemeinschaftsforschung mehrerer Industrieunternehmen im vorwettbewerblichen Bereich zusammen mit Forschungsinstituten) in Frage.

Förderverfahren

- Die Projektförderung erfolgt auf dem Wege der Einzelbewilligung in Form einer nicht rückzahlbaren Zuwendung. Zuwendungen werden im Rahmen der verfügbaren Haushaltsmittel gewährt. Ein Rechtsanspruch auf Zuwendung besteht nicht. Von Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft ist entsprechend den geltenden Rahmenbedingungen eine angemessene Eigenbeteiligung von im Regelfall mindestens 50% der zuwendungsfähigen Kosten zu tragen. Es gelten die Regelungen des Gemeinschaftsrahmens der Europäischen Kommission für staatliche FuE-Beihilfen.
- Für die Bewilligung, Auszahlung und Abrechnung der Zuwendung sowie den Nachweis und die Prüfung der Verwendung gelten die §§ 23, 44 BHO sowie die entsprechenden Verwaltungsvorschriften zur Bundeshaushaltsordnung (VV-BHO). Die Projekte werden im Regelfall nach den Allgemeinen und Besonderen Nebenbestimmungen für Zuwendungen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Projektförderung für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auf Ausgabenbasis (A/BNBest-P/BMBF98) bzw. bei Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft nach den Nebenbestimmungen für Zuwendungen auf Kostenbasis des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (NKBF 98) gefördert. Im Einzelfall können ergänzende Nebenbestimmungen relevant sein.
- Zur Unterstützung der Haushaltsplanung sind im Regelfall frühzeitig vor der förmlichen Antragstellung in einer Projektskizze insbesondere der bestehende Forschungsbedarf, die technisch-wirtschaftliche Zielstellung, der Arbeitsplan, der erforderliche Zeit- und

Mittelaufwand und die beabsichtigte Zusammenarbeit (Industriebeteiligung) einschließlich der Verwertungsperspektiven darzustellen.

Ansprechpartner / Kontaktstelle

Mit der Koordinierung der Fördermaßnahme ist der Projektträger Jülich (PTJ) des BMU im Forschungszentrum Jülich beauftragt (<http://www.fz-juelich.de/ptj/>).

Anfragen bzw. Förderanträge sind zu richten an:

Forschungszentrum Jülich GmbH
PTJ - Geschäftsbereich EEN
52425 Jülich

(Telefon: 02461/613172, Email PTJ-EEN-PV@fz-juelich.de)

Antrags- bzw. Skizzenformulare sind erhältlich unter
<http://www.kp.dlr.de/profi/easy/index.htm>.