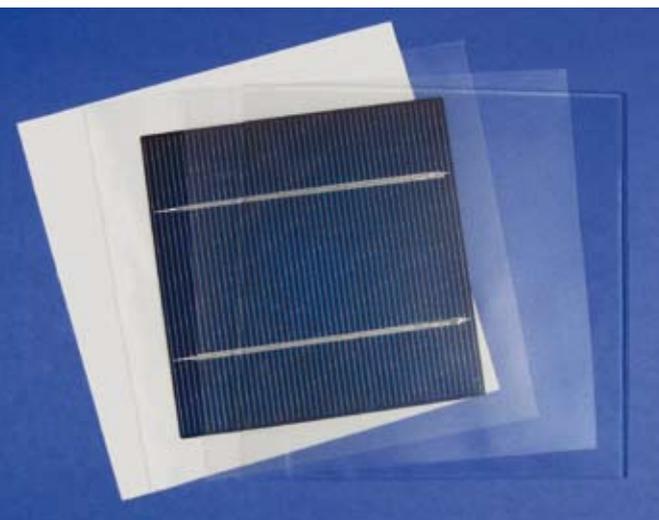


Neuerungen bei Solarzellen und Modulen

Stetige Innovationen

EINE GRUPPE VON SOLARZELLEN wird so verschaltet, dass sich die Einzelspannungen zu einer nutzbaren Spannung addieren. Und zum Schutz vor mechanischen und Umwelteinwirkungen werden die Solarzellen eingekapselt – man erhält so ein vielseitig einsetzbares Solarmodul. In der scheinbar unspektakulären und ausgereiften Modultechnik zeichnen sich verschiedene Innovationen ab.



In einem Standard-Solarmodul verwendete Materialien, v.r.n.l.: eisenarmes Glas, EVA, Solarzelle, Rückseitenfolie (Quelle: Fraunhofer ISE)

Stand der Technik

Die Herstellung von Solarmodulen aus kristallinen Solarzellen beginnt damit, dass die Solarzellen aufgrund ihrer geringen Einzelspannung in Reihe geschaltet werden. Dafür werden die Frontseitenkontakte einer Zelle mit den Rückseitenkontakten der nächsten Zelle mittels eines dünnen Kupferbändchens elektrisch verbunden. Diese Anordnung wird Zellstring genannt.

Die Zellstrings werden, um sie gegen mechanische Beanspruchung, Witterungseinflüsse und Feuchtigkeit zu schützen, in ein transparentes Verbundmaterial eingebettet. Das Material isoliert darüber hinaus die Zellen und Leitungen.

Zur statischen Stabilisierung wird das Verbundsystem auf ein Trägermaterial aufgebracht. In den meisten Fällen handelt es sich um Glas, bei Sondermodulen kommen auch Plexiglas, Metall oder Kunststofffolien zum Einsatz.

Die Solarzellen können je nach Verfahren auf, hinter oder zwischen dem Trägermaterial sitzen. Wichtig ist, dass die Abdeckung auf der lichtempfindlichen Seite der Solarzelle eine hohe Transmission aufweist, um möglichst viel der eingestrahelten Sonnenenergie auf die Solarzelle weiterzugeben.

In der Glas/Folie-Verkapselung (Bild unten links) werden für die Vorderseite eine gehärtete Weißglasscheibe, zur Einbettung ein vernetzender Kunststoff mit dem Namen Ethylen-Vinylacetat (EVA) und für die Rückseite ein Folienverbund verwendet. Dieser Folienverbund besteht aus drei Folien. Zwischen zwei dünnen Polyvinylfluorid-Folien (PVF, „Tedlar“)

ist eine dickere Folie aus Polyethylenterephthalat (PET) geklebt. Dieser Folienverbund gewährleistet die elektrische Isolierung nach hinten und ist gleichzeitig sehr witterungsstabil.

Fertigungstechnik

Als Erstes wird das Glas gereinigt und bereitgelegt. Auf dieses kommt eine zugeschnittene EVA-Folie. Die Solarzellen werden mittels Lötbandchen zu einzelnen Strängen verbunden und auf der Scheibe mit der EVA-Folie exakt positioniert. Nun werden die Querverbinder, die die einzelnen Stränge miteinander verbinden und zum Ort der Anschlussdose führen, positioniert und verlötet. Danach werden die Solarzellen mit einer EVA-Folie und einer Rückseitenfolie bedeckt. Als nächster Produktionsschritt erfolgt das Laminieren des Moduls bei Unterdruck und ca. 150 °C.

Beim Laminieren bildet sich aus der bis dahin milchigen EVA-Folie eine klare, dreidimensional vernetzte und nicht mehr aufschmelzbare Kunststoffschicht, in der die Zellen eingebettet sind. Nach dem Laminieren werden die Kanten gesäumt, die Anschlussdose wird auf die Rückseite geklebt und mit den Freilaufdioden bestückt. Die meisten Module erhalten noch einen Rahmen. Zum Abschluss werden die Module vermessen, nach ihren elektrischen Werten klassifiziert und anschließend verpackt.

Je nach Befestigungstechnik erhalten die Module einen Aluminiumrahmen oder werden als reine Lamine verkauft. Sowohl gerahmte als auch ungerahmte Module lassen sich auf einem Dach befestigen.

Bild links: schematischer Aufbau eines Glas/Folien-Moduls (Quelle: Fraunhofer ISE)

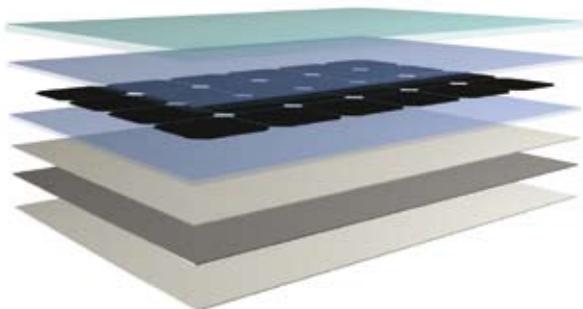
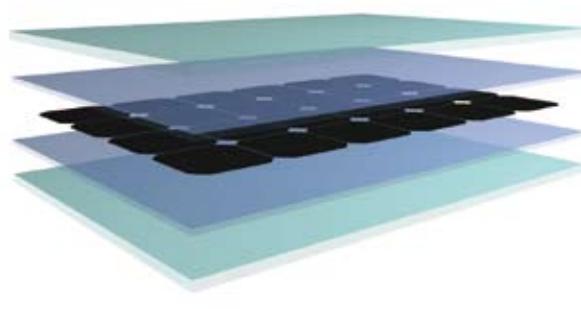


Bild rechts: schematischer Aufbau eines Glas/Glas-Moduls (Quelle: Fraunhofer ISE)



Neben der beschriebenen Laminatverkapselung wird für Spezialmodule eine Gießharzverkapselung verwendet. Hierzu werden die Solarzellen zwischen zwei Glasscheiben fixiert. Die beiden Glasscheiben werden am Rand abgedichtet und der Zwischenraum mit einem reaktiven Gießharz gefüllt. Das Gießharz wird danach ausgehärtet. Mit der Gießharztechnologie lassen sich nahezu unbegrenzt große Module für Gebäudefassaden herstellen.

Automatisierung

Der Automatisierungsgrad in der Solarmodulfertigung ist in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen. Bis vor ein paar Jahren waren nur zwei Stationen in der Modulherstellung automatisiert. Die Verlotung der Solarzellen zu einem String und die Einbettung der Solarzellen wurden von Automaten übernommen. Alle anderen Schritte waren manuelle Arbeiten. Inzwischen gibt es vollautomatisierte Fertigungslinien, bei denen nur noch wenige sehr aufwändig zu automatisierende Fertigungsschritte manuell erledigt werden. Unter anderem sind dies die Beschneidung der am Rand überstehenden Folienreste und die Endreinigung der fertigen Module. Alle anderen Produktionsschritte werden von zum Teil sehr komplexen Automaten übernommen. Die Hersteller versprechen sich davon auch eine höhere Qualität und Haltbarkeit des fertigen Moduls. Die Automatisierung ist zumeist eine Nachahmung der vormaligen manuellen Fertigungsschritte.

Standardisierung/Labeling

Wer eine Solaranlage kauft, bezahlt letztlich für eine definierte Maximalleistung, die sich anhand der Herstellerangaben im Datenblatt oder Label errechnet. Damit diese Angaben vergleichbar werden und die Abweichungen tatsächlich im angegebenen Bereich liegen, arbeiten die deutschen Modulhersteller gemeinsam mit der TÜV Immissionsschutz GmbH und dem Fraunhofer ISE im Rahmen eines vom BMU geförderten Cluster-Projekts an einem Abgleich der Messanlagen für Solarmodule. Die Angaben zur Modulleistung können damit reproduzier- und vergleichbarer werden.

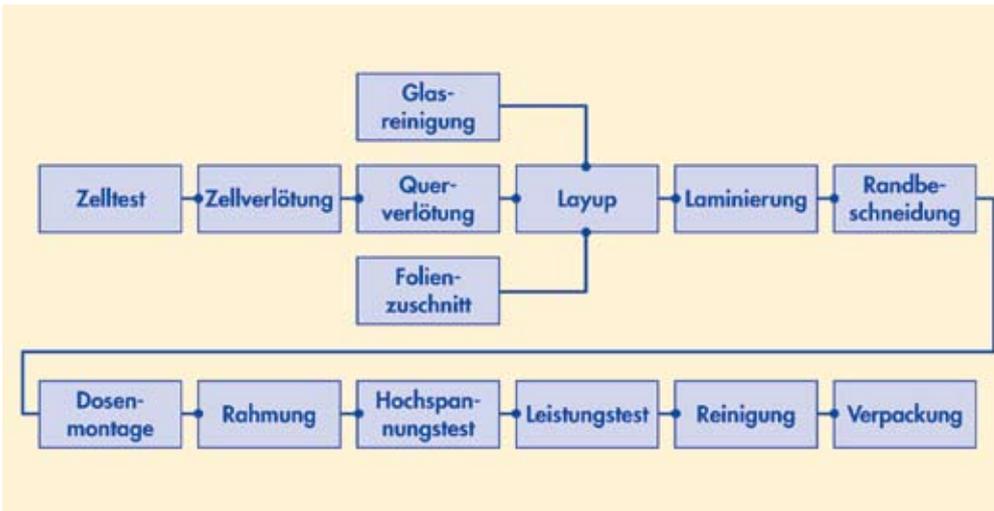
Recycling

Trotz einer Lebensdauer der Solarmodule von 20 – 30 Jahren müssen schon jetzt Lösungen für das Recycling der Module entwickelt werden. Denn die etwa 300 000 m² Solarmodule, die vor 1985 weltweit produziert wurden, müssen in naher Zukunft entsorgt werden.

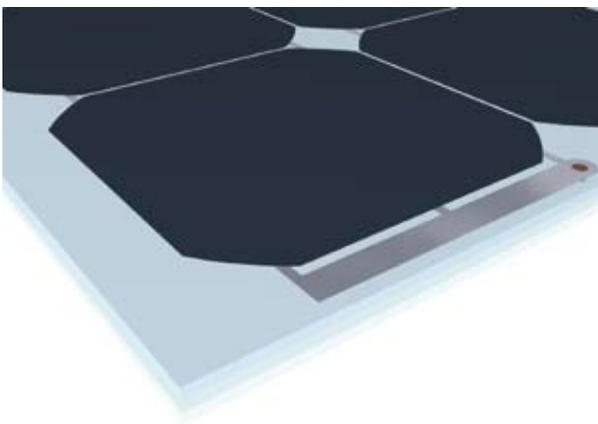
Das Recyclingpotenzial von Solarmodulen ist verhältnismäßig hoch, da neben dem Silizium-Wafer das Glas und der Aluminiumrahmen als Altglas und Altmetall wieder verwendet werden können.

Die weltweit einzige Versuchsanlage zum Recycling von kristallinen Siliziumsolarzellen steht in Freiberg. Dort werden bei Temperaturen um 600 °C die im Modul enthaltenen Kunststoffe verbrannt. Zurück bleiben Glas, Metall, Füllstoffe und die Solarzelle. Diese kann unter leichten Materialverlusten zu einer neuwertigen Solarzelle werden.

Hierzu werden alle Schichten, wie Metallisierung oder Antireflexbeschichtung, chemisch vom Wafer entfernt, so dass zum Schluss ein blanker Silizium-Wafer übrig bleibt. Durch



Ablauf einer Solarmodulherstellung: Es gibt viele Arbeitsschritte, die vollständig automatisiert werden können



Schematische Darstellung eines laminatfreien Modulaufbaus für Rückseitenkontaktzellen

eine verbesserte Solarzellentechnologie können auf diesem Wafer höhere Wirkungsgrade erzielt werden, als die Solarzelle vor dem Recycling hatte.

Problematisch ist allein das Format der recycelten Wafer, da die meisten Produktionsanlagen für Solarzellen die alten kleinen Formate nicht mehr verarbeiten können.

Neue Ansätze und Entwicklungen

Die Zellhersteller reagieren auf den Kostendruck und den aktuellen Engpass bei der Siliziumproduktion, indem sie immer dünnere und großformatigere Zellen auf den Markt

bringen. Die Verschaltung dieser empfindlichen Solarzellen verlangt nach neuen Verfahren.

Bei der Verkapselung ist man bestrebt, auf schnellere Prozesse und preiswertere Materialien auszuweichen. In den letzten Jahren wurde verstärkt an neuen Verfahren zur Einkapselung und Kontaktierung von Solarzellen gearbeitet.

Verkapselung ohne Laminat

Ein bemerkenswerter Ansatz ist die vollkommen laminatfreie Verkapselung zwischen zwei Glasscheiben. Im Wesentlichen werden die Solarzellen hier ähnlich wie im Isolierglasfensterbau eingekapselt. Die beiden Glasscheiben sind am Rand möglichst hermetisch versiegelt. Die französische Firma Apollon – hier heißt das Konzept NICE (New Industrial Cell Encapsulation) – verwendet hierzu ein mit einem Trocknungsmittel gefülltes Butyl aus der Isolierglasindustrie.

Am Fraunhofer ISE in Freiburg untersucht man dagegen eine Randversiegelung mittels Glaslot. Beide Technologien haben den Vorteil, dass sich vor den Solarzellen kein Kunststoff mehr befindet, dessen Lichtdurchlässigkeit durch Sonnenlicht vermindert werden kann. Außerdem wird der etwa 20 Minuten dauernde Laminierschritt durch einen deutlich kürzeren und kostengünstigeren Press- und Randversiegelungsschritt ersetzt.

Beide Konzepte haben allerdings den Nachteil, dass an den zusätzlich entstehenden Grenzflächen mehr Licht reflektiert wird. Diese Reflexionen lassen sich zwar durch Antireflexbeschichtungen auf Glas und Solarzellen verringern, doch ist dies mit zusätzlichen Kosten verbunden.

Kontaktierung ohne Löten

Die Entwickler von Apollon arbeiten auch an einer lötfreien Kontaktierung der Solarzellen. Damit könnte einer der aufwendigsten und teuersten Fertigungsschritte vereinfacht werden, indem die Solarzellen allein durch Druck mechanisch und damit elektrisch miteinander verbunden werden.

Hierzu werden federnd vorgeformte Zellverbinderbändchen zwischen vordere oder hintere Glasscheibe und Solarzelle platziert. Beim Pressen des Moduls gehen Solarzellen und Verbinder in innigen Kontakt. Die Solarzellen liegen in einer Art Steckkontakt.

! Info

Lebensdauer von Solarmodulen

Bislang existiert noch kein Test zur Bestimmung der Lebensdauer von Solarmodulen. Ein vom BMU gefördertes Cluster-Projekt beschäftigt sich mit dieser Thematik. Das Projektteam will bis 2008 einen Test zur Bestimmung der Lebensdauer von Solarmodulen entwickeln und verifizieren.

Aktuelle Forschungsprojekte Solarmodultechnik:

- Zuverlässigkeit von PV-Modulen – Entwicklung Alterungstest 2005 bis 2008
- SOLPRO: Expertenkreis für innovative Fertigungsverfahren 2004 bis 2005

Rückseitenkontakte

Rückseitenkontaktzellen sind Solarzellen, die beide elektrische Kontakte auf der Rückseite haben. Sie können auf die elektrisch leitfähig beschichtete rückseitige Glasscheibe kontaktiert werden.

Aufgrund der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten ist dies nicht durch Löten möglich. Denn Temperaturschwankungen der Gläser würden die Solarzellen beschädigen. Also wird eine Kontaktierungsmethode mit elektrisch leitfähigen Klebstoffen entwickelt.

Diese Klebstoffe haben den Vorteil, dass sie mechanische Schwankungen aufgrund von thermischen Änderungen ausgleichen können. Die Solarzellen werden auf die zuvor per Siebdruck leitfähig beschichtete rückseitige Glasplatte geklebt. Dann wird die frontseitige Scheibe vor den Solarzellen platziert und der Rand zwischen den beiden Scheiben versiegelt.

Beschleunigung

Da das beim Laminieren verwendete Einbettungsmaterial EVA eine gewisse Zeit zum Vernetzen benötigt, werden neue Materialien untersucht, die sich schneller verarbeiten lassen. So wurde beispielsweise von der Fa. Bayer Polymer Science ein thermoplastisches Polyurethan entwickelt, welches eine deutlich kürzere Verarbeitungszeit ermöglicht.

Die Entwickler untersuchen mit einem deutschen Laminatorhersteller, wie gut sich das Material in einem Rollenlaminator per Durchlaufprozess verarbeiten lässt. Dies hätte den Vorteil, dass der zeitaufwendige Vakuumlaminationsschritt entfallen könnte.

In der Modultechnik wird das Innovationstempo allerdings durch Haftungsfragen gebremst. Konventionelle Materialien werden nicht so rasch ersetzt, weil die Modulhersteller auf die positiven Erfahrungen mit den bisherigen Materialien setzen. Bei den sehr langen Leistungsgarantiezeiten von zum Teil über 20 Jahren ist das nur allzu verständlich.

Da noch kein Test zur Bestimmung der Lebensdauer von Solarmodulen existiert, müssen die Hersteller hier mit Erfahrungswerten kalkulieren. Ein Umstieg auf neue, möglicherweise günstigere Materialien wird hierdurch erschwert.

Ein vom BMU gefördertes und in 2005 gestartetes Clusterprojekt beschäftigt sich mit dieser Thematik. Das Projektteam, bestehend aus sechs deutschen Modulherstellern, der TÜV Immissionsschutz GmbH und dem Fraunhofer ISE, will bis 2008 einen Test zur Bestimmung der Lebensdauer von Solarmodulen entwickeln und verifizieren. Dieser Test soll Labor- und Freilandprüfungen beinhalten und wird durch eine Computersimulation komplettiert.

! Kontakt

BINE Informationsdienst

FIZ Karlsruhe, Büro Bonn
53129 Bonn
Tel. (02 28) 92 37 90
bine@fiz-karlsruhe.de
www.bine.info