

WO 2009/121502 A2

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. Oktober 2009 (08.10.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/121502 A2

PCT

- (51) Internationale Patentklassifikation:** Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2009/002132
- (22) Internationales Anmeldedatum:**
24. März 2009 (24.03.2009)
- (25) Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:**
10 2008 017 621.4 4. April 2008 (04.04.2008) DE
10 2008 037 814.3
14. August 2008 (14.08.2008) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** **BAYER MATERIALSCIENCE AG** [DE/DE]; 51368 Leverkusen (DE).
- (72) Erfinder; und**
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US):** **EHBING, Hubert** [DE/DE]; Rotdornweg 12, 51519 Odenthal (DE). **SCHAUSEIL, Frank** [DE/DE]; Ehrlichstr. 36, 51373 Leverkusen (DE). **HOFFMANN, Andreas** [DE/DE]; Neusser Str. 457, 50733 Köln (DE). **SEIDLITZ, Daniel** [DE/DE]; Am Brunnen 13, 51503 Rösrath (DE).
- (74) Anwalt:** **JÖNSSON Hans-Peter**; Deichmannhaus am Dom, Bahnhofsvorplatz 1, 50667 Köln (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: PHOTOVOLTAIC SOLAR MODULE

(54) Bezeichnung: PHOTOVOLTAISCHES SOLARMODUL

(57) Abstract: The present invention relates to a photovoltaic solar module, to a method for the production thereof, and to a device for generating electric energy that employs such a solar module. The photovoltaic solar module comprises a frame made of polyurethane, which completely or partially surrounds the solar module and is characterized in that the frame has an elongation at break of at least 50%, an elasticity modulus of at least 30 N/mm² and a thermal expansion coefficient of up to $\alpha = 80 \times 10^{-6}/\text{K}$. The elasticity modulus and the thermal expansion coefficient are each measured parallel to the module edges.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein photovoltaisches Solarmodul, ein Verfahren zu seiner Herstellung sowie eine Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie, welche sich eines solchen Solarmoduls bedient. Das photovoltaisches Solarmodul besitzt einen ganz oder teilweise umlaufenden Rahmen aus Polyurethan, der dadurch gekennzeichnet ist, dass der Rahmen eine Bruchdehnung von mindestens 50%, einen E-Modul von mindestens 30 N/mm² und einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von bis zu $\alpha = 80 \times 10^{-6}/\text{K}$ aufweist, wobei der E-Modul und der thermische Ausdehnungskoeffizient jeweils parallel zu den Modulkanten gemessen werden.

Photovoltaisches Solarmodul

Die vorliegende Erfindung betrifft ein photovoltaisches Solarmodul, ein Verfahren zu seiner Herstellung sowie eine Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie, welche sich eines solchen Solarmoduls bedient.

Unter Solarmodulen versteht man Bauelemente zur direkten Erzeugung von elektrischem Strom aus Sonnenlicht. Schlüsselfaktoren für eine kosteneffiziente Erzeugung von Solarstrom sind der Wirkungsgrad der verwendeten Solarzellen, sowie die Herstellkosten und die Haltbarkeit der Solarmodule.

Ein Solarmodul besteht üblicherweise aus einem gerahmten Verbund aus Glas, verschalteten Solarzellen, einem Einbettmaterial und einer Rückenseitenkonstruktion. Die einzelnen Schichten des Solarmoduls haben folgende Funktionen zu erfüllen.

Das Frontglas dient dem Schutz vor mechanischen und Witterungseinflüssen. Es muss höchste Transparenz aufweisen, um Absorptionsverluste im optischen Spektralbereich von 300 nm bis 1150 nm und damit Wirkungsgradverluste der üblicherweise zur Stromerzeugung eingesetzten Silizium-Solarzellen möglichst gering zu halten. Normalerweise wird gehärtetes, eisenarmes Weißglas (3 oder 4 mm stark) verwendet, dessen Transmissionsgrad im obigen Spektralbereich bei 90 bis 92 % liegt.

- 2 -

Das Einbettmaterial (meist werden EVA (Ethyl-Vinylacetat)-Folien verwendet) dient zur Verklebung des gesamten Modulverbundes. EVA schmilzt während eines Laminievorgangs bei etwa 150 °C, fließt in die Zwischenräume der verlöteten Solarzellen und wird thermisch vernetzt. Eine Bildung von Luftblasen, die zu Reflexionsverlusten führen, wird durch eine Laminierung unter Vakuum vermieden.

Die Modulrückseite schützt die Solarzellen und das Einbettmaterial vor Feuchtigkeit und Sauerstoff. Außerdem dient sie als mechanischer Schutz vor Verkratzung etc. beim Montieren der Solarmodule und als elektrische Isolation. Als Rückseitenkonstruktion kann eine weitere Glasscheibe oder eine Verbundfolie eingesetzt werden. Im Wesentlichen werden dabei die Varianten PVF (Polyvinylfluorid)-PET (Polyethylenterephthalat)-PVF oder PVF-Aluminium-PVF eingesetzt.

Die im Solarmodulbau eingesetzten Kapselungsmaterialien müssen insbesondere gute Barriereeigenschaften gegen Wasserdampf und Sauerstoff aufweisen. Durch Wasserdampf oder Sauerstoff werden die Solarzellen selbst nicht angegriffen, aber es kommt zu einer Korrosion der Metallkontakte und einer chemischen Degradation des EVA-Einbettmaterials. Ein zerstörter Solarzellenkontakt führt zu einem Kompletausfall des Moduls, da normalerweise alle Solarzellen in einem Modul elektrisch seriell verschaltet werden. Eine Degradation des EVA zeigt sich an einer Vergilbung des Moduls, verbunden mit einer entsprechenden Leistungsreduktion durch Lichtabsorption sowie einer visuellen Verschlechterung. Heute werden etwa 80 % aller Module mit einer der beschriebenen Verbundfolien auf der Rückseite verkapselt, bei etwa 15 % der Solarmodule wird Glas für Vorder- und Rückseite verwendet. In diesem Falle kommen als Einbettmaterial anstatt EVA

- 3 -

teilweise hochtransparente, allerdings nur langsam (mehrere Stunden) härtende Gießharze zum Einsatz.

Um trotz der relativ hohen Investitionskosten konkurrenzfähige Stromgestehungskosten von Solarstrom zu erreichen, müssen Solarmodule lange Betriebszeiten erreichen. Heutige Solarmodule sind daher auf eine Lebensdauer von 20 bis 30 Jahren ausgelegt. Neben hoher Witterungsstabilität werden große Anforderungen an die Temperaturbelastbarkeit der Module gestellt, deren Temperatur im Betrieb zyklisch zwischen 80 °C bei voller Sonneneinstrahlung und Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts schwanken können. Dementsprechend werden Solarmodule umfangreichen Stabilitätstests unterzogen (Normtests nach IEC 61215 und IEC 61730), zu denen Witterungstests (UV-Bestrahlung, Damp Heat, Temperaturwechsel), aber auch Hagelschlag- und Tests des elektrischen Isolationsvermögens zählen.

Auf die Modulendfertigung entfällt mit 30 % der Gesamtkosten ein relativ hoher Anteil der Gesamtkosten für Photovoltaikmodule. Dieser große Anteil der Modulfertigung ist durch hohe Materialkosten (unter anderem Einbettmaterial, Rahmen, Rückseitenmehrschichtfolie) und durch lange Prozesszeiten, d. h. geringe Produktivität bedingt. Noch immer werden häufig die oben beschriebenen Einzelschichten des Modulverbunds in Handarbeit zusammengestellt und ausgerichtet. Zusätzlich führen das relativ langsame Aufschmelzen des EVA-Schmelzklebers und die Lamination des Modulverbunds bei ca. 150 °C und unter Vakuum zu Zykluszeiten von etwa 20 bis 30 Minuten pro Modul.

- 4 -

Durch die relativ dicke Frontglassscheibe weisen konventionelle Solarmodule zudem ein hohes Gewicht auf, das wiederum stabile und teure Haltekonstruktionen nötig macht. Auch ist die Wärmeabfuhr bei heutigen Solarmodulen nur unbefriedigend gelöst. Bei voller Sonnenbestrahlung heizen sich die Module auf bis zu 80 °C, was zu einer temperaturbedingten Verschlechterung des Solarzellenwirkungsgrads und damit letztlich zu einer Verteuerung des Solarstroms führt.

Im Stand der Technik werden Solarmodule hauptsächlich mit einem Rahmen aus Aluminium verwendet. Obwohl es sich dabei um ein Leichtmetall handelt, leistet doch dessen Gewicht einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zum Gesamtgewicht. Dies ist gerade bei größeren Modulen ein Nachteil, der aufwändige Halte- und Befestigungskonstruktionen erfordert.

Um den Eintritt von Wasser und Sauerstoff zu verhindern, weisen besagte Aluminiumrahmen auf ihrer dem Solarmodul zuweisenden Innenseite eine zusätzliche Dichtung auf. Darüber hinaus kommt nachteilig hinzu, dass Aluminiumrahmen aus Rechteckprofilen hergestellt werden und man daher hinsichtlich ihrer Formgebung stark eingeschränkt ist.

Zur Verringerung des Solarmodulgewichtes, zur Vermeidung eines zusätzlichen Dichtungsmaterials und zur Erhöhung der Designfreiheit beschreiben US 4,830,038 und US 5,008,062 die Anbringung eines Kunststoffrahmens um das betreffende Solarmodul, der durch das RIM-Verfahren (Reaction Injection Molding) erhalten wird.

Bevorzugt handelt es sich bei dem verwendeten polymeren Material um ein elastomeres Polyurethan. Das besagte Polyurethan soll bevorzugt einen E-Modul in einem Bereich von 200 bis 10000 p.s.i. (entsprechend ca. 1,4 bis 69,0 N/mm²) besitzen.

Zur Verstärkung des Rahmens werden in diesen beiden Patentschriften verschiedene Möglichkeiten beschrieben. So können Verstärkungsbauteile aus zum Beispiel einem polymeren Material, Stahl oder Aluminium bei der Ausbildung des Rahmens mit in diesen integriert werden. Auch können Füllstoffe mit in das Rahmenmaterial eingebracht werden. Bei diesen kann es sich zum Beispiel um plättchenförmige Füllstoffe wie das Mineral Wollastonit oder nadelartige/faserförmige Füllstoffe wie Glasfasern handeln.

In ähnlicher Weise beschreibt DE 37 37 183 A1 ebenfalls ein Verfahren zur Herstellung des Kunststoffrahmens eines Solarmoduls, wobei die Shore-Härte des verwendeten Materials bevorzugt so eingestellt wird, dass eine ausreichende Steifigkeit des Rahmens und eine elastische Aufnahme des Solargenerators sichergestellt ist.

DE 10 2005 032 716 A1 beschreibt flexible Solarmodule, bei denen der Rahmen eine dauerelastisch-biegsame Konsistenz hat. Hierbei ist es nötig, die Steifigkeit des Kunststoffmaterials gering einzustellen und auf Füllstoffe weitgehend zu verzichten, so dass der Rahmen selbst biegbar bleibt.

Aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Polyurethan beziehungsweise Glas und der signifikanten Schwindung der Polyurethansysteme traten in der Vergangenheit immer wieder

- 6 -

Delaminationen und ein Eindringen von Feuchtigkeit in den inneren Bereich des Solarmoduls auf, die letztendlich zur Zerstörung des Moduls führten.

Solarmodule, die in Dachkonstruktionen eingefügt werden, müssen entsprechend der Bauordnung die Anforderungen nach DIN 4102-7 erfüllen. Sie müssen insbesondere die Widerstandsfähigkeit gegen Flugfeuer und strahlende Wärme nachweisen.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Solarmodul bereitzustellen, welches diese Nachteile des Stands der Technik vermeidet. Das Solarmodul sollte insbesondere eine ausreichende Verbund-Langzeitstabilität ausweisen, die verhindert, dass Delaminationen und/oder Feuchtigkeitseintritt auftreten. Weiterhin ist es eine Aufgabe, das Solarmodul so zu gestalten, dass es sich problemlos handhaben lässt. Es muss dazu eine ausreichende Steifigkeit aufweisen, darf aber wiederum nicht eine zu geringe Bruchdehnung besitzen, damit es bei einer geringen Stoßbeanspruchung nicht direkt zerstört wird (zum Beispiel durch Kantenabplatzer bei der Montage auf einer Baustelle). Ferner ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, das Solarmodul so zu gestalten, dass es ausreichenden Flammschutz aufweist.

In einer ersten Ausführungsform wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe gelöst durch ein photovoltaisches Solarmodul mit einem ganz oder teilweise umlaufenden Rahmen aus Polyurethan, wobei der Rahmen dadurch gekennzeichnet ist, dass er eine Bruchdehnung von mindestens 50%, einen E-Modul von mindestens 30 N/mm² und

- 7 -

einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von bis zu $\alpha = 80 \cdot 10^{-6}/K$ aufweist, wobei der E-Modul und der thermische Ausdehnungskoeffizient jeweils parallel zu den Modulkanten gemessen werden.

Die vorgenannten Messwerte für den E-Modul und den Ausdehnungskoeffizienten werden dabei in Faserrichtung gemessen, sofern anisotrope Füllstoffe teilweise oder vollständig verwendet werden. Bei der Füllung der Rahmenform mit dem noch flüssigen Polyurethan richten sich anisotrope Füllstoffe (zum Beispiel Fasern) entsprechend der Fließrichtung parallel zu den Modulkanten aus. Quer zur Faserrichtung (und zu den Kanten) ist der Ausdehnungskoeffizient größer und der E-Modul kleiner, was aber im Sinne der vorliegenden Erfindung ohne Relevanz ist.

Es hat sich überraschend gezeigt, dass ein photovoltaisches Solarmodul mit einem solchen Rahmen durch die Kombination dieser drei makroskopischen Eigenschaften (Bruchdehnung, E-Modul, thermischer Ausdehnungskoeffizient) die gewünschten Eigenschaften in sich vereinigt:

Ein solcher Rahmen weist bedingt durch seinen hinreichend hohen E-Modul eine ausreichend hohe Stabilität beziehungsweise Steifigkeit auf. Es ist daher bevorzugt, wenn der Rahmen einen E-Modul von mindestens 40, besonders bevorzugt von mindestens 60 N/mm², ganz besonders bevorzugt von mindestens 70 N/mm², jeweils gemessen parallel zur Modulkante, aufweist.

Durch eine ausreichend hohe Steifigkeit ist der Rahmen und damit das erfindungsgemäße Solarmodul im Wesentlichen nicht flexibel, ist also insbesondere nicht aufrollbar, wie es in DE 10 2005 032 716 A1 beschrieben ist. Es ist dadurch leicht handhabbar und biegt auch nach längerer Zeit nicht durch (zum Beispiel bei einer beabstandeten Anbringung an nicht senkrechte Flächen).

Der E-Modul allein ist aber nicht ausreichend zur hinreichenden Beschreibung des erfindungsgemäßen Polyurethan-umfassenden Rahmens. So weisen zum Beispiel viele Polyurethan-Materialien ebenfalls einen E-Modul von mindestens 30 N/mm², gemessen parallel zur Modulkante, auf, sind aber für die vorliegende Erfindung insofern ungeeignet, als sie zu spröde, das heißt unelastisch sind. In diesen Fällen würde sich eine auf das Solarmodul einwirkende Stoßbeanspruchung nämlich ungehindert auf das eigentliche Solarmodul im Inneren des Rahmens übertragen, was sehr leicht zu dessen Beschädigung (Bruch, Riss o.ä.) führen kann.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der vorliegenden Erfindung ist der Kantenschutz. Spröde Materialien mit geringen Bruchdehnungen brechen oder splittern. Elastische Materialien mit höherer Bruchdehnung sind daher für die Montage im robusten Umfeld einer Baustelle besser geeignet. Aus diesem Grunde soll sich der erfindungsgemäße Rahmen durch eine möglichst hohe Bruchdehnung auszeichnen. Besonders bevorzugt ist dabei eine Bruchdehnung von mindestens 80%, ganz besonders bevorzugt ist eine Bruchdehnung von mindestens 100%.

Selbst mit diesen beiden makroskopischen Größen wäre das erfindungsgemäße Solarmodul beziehungsweise dessen Rahmen noch

nicht hinreichend beschrieben. Wichtig ist darüber hinaus, dass der thermische Ausdehnungskoeffizient des Rahmens einen bestimmten Maximalwert nicht überschreitet beziehungsweise sich der thermische Ausdehnungskoeffizient des Rahmens so wenig wie möglich vom thermischen Ausdehnungskoeffizienten des zur Abdeckung der Solarzellen verwendeten Materials unterscheidet (in der Regel eine oder mehrere Scheiben aus Glas); da letzterer bevorzugt sehr gering ist, ergibt sich daraus eine maximale Obergrenze für den thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Rahmens. Es ist daher besonders bevorzugt, wenn dieser Wert nur bis zu $\alpha = 50 \cdot 10^{-6}/K$ aufweist, gemessen parallel zur Modulkante.

Bei Verwendung eines anisotropen, faserförmigen Verstärkungsstoffes liegt ein niedriger thermischer Ausdehnungskoeffizient nur in Faserrichtung vor. Bei einem umlaufenden Rahmen findet man den niedrigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten durch die Faserorientierung parallel zur Glaskante. Quer dazu entspricht der Ausdehnungskoeffizient dem des unverstärkten Materials von etwa $150 \cdot 10^{-6}/K$.

Durch die besonderen Eigenschaften, insbesondere der Elastizität, des Polyurethan-umfassenden Rahmens benötigt das Solarmodul keine zusätzliche Dichtung zwischen Rahmen und dem von ihm eingeschlossenen Solarmodul (wenngleich eine zusätzliche Dichtung für extreme Wetterbedingungen natürlich vorgesehen sein kann). Zur verbesserten Haftung kann ein Haftprimer auf das Glas bzw. die Rückseitenkonstruktion oder die Rückseitenfolie aufgebracht werden.

- 10 -

Das erfindungsgemäße Solarmodul zeigt ausreichende Beständigkeit gegen Delamination und Feuchtigkeitseintritt. Dies wird durch Kombination eines bestimmte makroskopische Größen einhaltenden Rahmenmaterials im Sinne der vorliegenden Erfindung sichergestellt.

Der Rahmen des Solarmoduls dient in der Regel nicht nur der Abdichtung des Solarmoduls nach außen und der Erhöhung seiner Stabilität. Vielmehr erfolgt über den Rahmen auch die Befestigung des Solarmoduls an den jeweiligen Untergrund (zum Beispiel Hausdächer oder -wände). Das Solarmodul kann daher zum Beispiel Befestigungsmittel, Ausnehmungen und/oder Löcher aufweisen, über welche eine Anbringung an den jeweiligen Untergrund erfolgen kann. Ferner kann der Rahmen die elektrischen Verbindungselemente aufnehmen. Eine nachträgliche Anbringung einer Anschlussdose entfällt in diesem Fall.

Weiterhin weist der Rahmen des Solarmoduls bevorzugt eine Dichte von mindestens 800, insbesondere von mindestens 1000 kg/m³ auf. Durch solche als bevorzugt angegebenen Dichten wird zum Ausdruck gebracht, dass es sich bei dem Rahmen bevorzugt nicht um einen Schaumstoff, sondern bevorzugt um ein massives Material handelt, welches keine beziehungsweise wenn überhaupt nur äußerst wenige Gaseinschlüsse aufweist. Dies ist nicht nur für die Stabilität des Rahmens sondern für dessen Dichtigkeit günstig.

Weiterhin ist es möglich, dass der Rahmen des Solarmoduls isotrope und/oder anisotrope Füllstoffe enthält, wobei anisotrope und insbesondere nadelartige und/oder faserförmige Füllstoffe besonders bevorzugt sind.

Unter Füllstoffen werden im Sinne der vorliegenden Erfindung organische und/oder anorganische Verbindungen verstanden, bevorzugt organische und/oder anorganische Verbindungen abgesehen von

- a) organischen Verbindungen, die halogeniert, phosphorhaltig oder stickstoffhaltig sind

und

- b) anorganischen Phosphorverbindungen, anorganischen Metallhydroxiden und anorganischen Borverbindungen.

Die unter a) und b) aufgezählten Verbindungsgruppen werden im Sinne der vorliegenden Erfindung bevorzugt zu den Flammenschutzmitteln gezählt. Der Vorteil anisotroper Füllstoffe liegt in der Orientierung und den dadurch bedingten besonders niedrigen Wärmeausdehnungs- und Schwindungswerten. Gute Eigenschaften im Sinne der Erfindung werden erzielt, wenn:

- 1) die Fasern parallel zur Belastungsrichtung (z.B. parallel zu den Kanten) ausgerichtet sind
- 2) ein großes Länge/Durchmesser-Verhältnis der Fasern vorliegt (je anisotroper desto besser die Verstärkung in Faserrichtung)
- 3) eine Schlichte den Kontakt Faser-Matrix dauerhaft sicherstellt.

Die Menge der im Rahmen enthaltenen Füllstoffe liegt bevorzugt in einem Bereich von 10 bis 30 Gew.-%, besonders bevorzugt in einem Bereich von 15 bis 25 Gew.-%, bezogen auf das Gewicht des Polyurethans. Innerhalb dieser Bereiche nehmen die oben für wichtig befundenen makroskopischen Größen besonders günstige Werte an.

Hohe Verstärkungsgehalte bei gefüllten Polyurethanen lassen sich neben dem R-RIM-Verfahren beispielsweise mit einem

- 12 -

Fasersprühverfahren oder dem sogenannten S-RIM-Verfahren (S = Structual) herstellen. Beim Fasersprühen wird ein Faser-Polyurethan-Gemisch an die gewünschte Stelle ins Werkzeug gesprüht. Anschließend schließt das Werkzeug und das PUR-System reagiert aus. Beim S-RIM-Verfahren wird eine vorgeformte (Endlos-) Faserstruktur in das (Rahmen-) Werkzeug eingelegt und dann in das noch offene oder bereits geschlossene Werkzeug das PUR-Reaktionsgemisch eingespritzt. Auch so lassen sich hohe E-Moduli bzw. niedrigere Wärmeausdehnungswerte erzielen.

Ferner ist die Herstellung eines Rahmen mit hohen Fasergehalten nach dem RTM-Verfahren (Resin Transfer Molding) möglich, bei dem wiederum eine in ein Werkzeug eingelegte Faserstruktur mit Vakuum unterstützt durchtränkt wird.

Bei niedrigeren Füllstoffgehalten besteht nach jetzigem Kenntnisstand die Gefahr, dass die erfindungsgemäßen makroskopischen Eigenschaften des Rahmens nicht erreicht werden.

Bevorzugt handelt es sich bei den Füllstoffen um synthetische oder natürliche, insbesondere mineralische Füllstoffe. Ganz besonders bevorzugt sind die Füllstoffe aus der folgenden Gruppe ausgewählt: Mica, plättchen- und/oder faserförmiges Wollastonit, Glasfasern, Kohlefasern, Aramidfasern oder deren Gemische. Faserförmiges Wollastonit ist unter diesen Füllstoffen bevorzugt, da es preiswert und gut verfügbar ist.

Bevorzugt weisen die Füllstoffe darüber hinaus eine Beschichtung, insbesondere eine Aminosilan-basierte Beschichtung auf. In diesem

- 13 -

Falle verstkt sich die Wechselwirkung zwischen den Füllstoffen und der Polymermatrix. Dies hat bessere Gebrauchseigenschaften zur Folge, da die Beschichtung dauerhaft Faser und Polyurethan-Matrix koppelt.

Bevorzugt umfasst der Rahmen des erfindungsgemäßen Solarmoduls wenigstens ein Flammschutzmittel. Unter Flammschutzmitteln im Sinne der vorliegenden Erfindung werden insbesondere organische Verbindungen (insbesondere halogenierte, phosphorhaltige, beispielsweise Trikresylphosphat, Tris-2-chlorethylphosphat, Tris-chlorpropylphosphat und Tris-2,3-dibrompropylphosphat, und stickstoffhaltige organische Verbindungen) sowie anorganische Phosphorverbindungen (zum Beispiel roter Phosphor, Ammoniumpolyphosphat), anorganische Metallhydroxide (zum Beispiel Aluminiumtrihydroxid, Aluminiumoxidhydrat, Ammoniumpolyphosphat, Natriumpolymetaphosphat oder Aminphosphate, z.B. Melaminphosphate) und anorganische Borverbindungen (zum Beispiel Borsäure, Borax) verstanden.

Beispiele kommerziell erhältlicher Flammschutzmittel, die im Rahmen der vorliegenden Erfindung zur Anwendung kommen können, sind zum Beispiel: Disflamoll[®] DPK (Diphenylkresylphosphat), Levagard[®] DMPP (Dimethylpropanphosphonat), Levagard[®] PP (Tris (2-chloroisopropyl)-phosphat), Melamin, Exolit[®] AP 422 (ein freifließendes, pulverförmiges in Wasser schwer lösliches Ammoniumpolyphosphat der Formel $(\text{NH}_4\text{PO}_3)_n$ mit $n = 20$ bis 1000 , insbesondere 200 bis 1000), Apyral[®] (AL(OH)₃).

Als Flammschutzmittel besonders bevorzugt ist Melamin.

- 14 -

Bevorzugt ist, dass der Rahmen des Solarmoduls sowohl Füllstoffe als auch Flammschutzmittel umfasst. Bedingt durch diese beiden Inhaltsstoffe resultieren ausreichende mechanische Eigenschaften (Bruchdehnung, E-Modul und thermischer Ausdehnungskoeffizient, siehe oben), wobei das Solarmodul gleichzeitig ausreichende flammhemmende Eigenschaften aufweist, welche für die Verwendung zum Beispiel als Dachmodul erforderlich sind.

Bei dem Verhältnis von Füllstoffen zu Flammschutzmitteln haben sich zwei Alternativen als besonders bevorzugt herausgestellt:

- a) Der Rahmen des Solarmoduls umfasst Füllstoffe in einer Menge von 10 bis 15 Gew.-% und Flammschutzmittel in einer Menge von 10 bis 15 Gew.-%.
- b) Der Rahmen des Solarmoduls umfasst Füllstoffe in einer Menge von 10 bis 20 Gew.-% und Flammschutzmittel in einer Menge von 5 bis 7 Gew.-%.

Durch den etwas höheren Anteil an Füllstoffen in Alternative b) resultieren etwas bessere mechanische Eigenschaften als bei Alternative a) - allerdings auf Kosten der flammhemmenden Eigenschaften des das Solarmodul umgebenden Rahmens. Es ist daher weiterhin bevorzugt – insbesondere bei Alternative b) – dass der Rahmen eine äußere flammhemmende Schicht umfasst. Die äußere flammhemmende Schicht bzw. ihr chemischer Vorläufer wird dabei bevorzugt auf den Rahmen des Solarmoduls aufgetragen oder in einer Form vorgelegt, in der dann anschließend das Solarmodul hergestellt wird (die letzte Alternative bezeichnet man auch als sogenanntes In-mould-coating-Verfahren).

Die äußere flammhemmende Schicht weist bevorzugt eine Dicke in einem Bereich von 0,01 bis 0,06 mm auf. Besonders bevorzugt sind Dicken in einem Bereich von 0,03 bis 0,06 mm. Unterhalb dieses Bereiches sind die flammhemmenden Eigenschaften der äußeren flammhemmenden Schicht nicht ausreichend. Größere Schichtdicken gehen einher mit höheren Herstellungskosten.

In einer zweiten Ausführungsform wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Solarmoduls mit einem Rahmen, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass der Rahmen durch RIM, R-RIM, S-RIM, RTM, Sprühen oder Gießen gebildet wird.

Bedingt durch das angewendete Herstellungsverfahren kann es sich unter Umständen ergeben, dass die oben diskutierten makroskopischen Größen über den Rahmen hinweg nicht notwendigerweise konstant sind (so könnte sich an einer Stelle zum Beispiel eine höhere Dichte ergeben als an anderen). Die hier diskutierten Ober- beziehungsweise Untergrenzen sind in diesem Zusammenhang so zu verstehen, dass diese dann im Mittel über den gesamten Rahmen hinweg nicht überbeziehungsweise unterschritten werden.

Auch gerade bei der Verwendung faserförmiger Füllstoffe hat sich im Zuge der Herstellung des Rahmens über das R-RIM-Verfahren gezeigt, dass die makroskopischen Größen nicht über den Rahmen hinweg konstant sind, da sich verfahrensbedingt eine bestimmte Vorzugsrichtung der Fasern beim Einströmen in die Form einstellt und

- 16 -

die makroskopischen Größen von der Orientierung der faserförmigen Füllstoffe in der Polymermatrix abhängen.

Bei der Herstellung der Solarmodulrahmen aus Polyurethan werden Polyisocyanate eingesetzt. Bei den verwendeten Polyisocyanaten handelt es sich um (cyclo)aliphatische oder aromatische Polyisocyanate. Bevorzugt handelt es sich um Toluylendiisocyanat, Di- und/oder Polyisocyanate der Diphenylmethanreihe, welche einen NCO-Gehalt von 28 bis 50 Gew.-% aufweisen. Hierzu gehören bei Raumtemperatur flüssige und gegebenenfalls entsprechend modifizierte Gemische von 4,4'-Diisocyanatodiphenylmethan mit 2,4'- und in geringem Umfang gegebenenfalls 2,2'-Diisocyanatodiphenylmethan. Gut geeignet sind auch bei Raumtemperatur flüssige Polyisocyanatgemische der Diphenylmethanreihe, die neben den genannten Isomeren deren höhere Homologe enthalten, und die in an sich bekannter Weise durch Phosgenierung von Anilin/Formaldehyd-Kondensaten zugänglich sind. Auch Urethan- bzw. Carbodiimidgruppen und/oder Allophanat- bzw. Biuretgruppen aufweisende Modifizierungsprodukte dieser Di- und Polyisocyanate sind geeignet. Ebenfalls geeignet sind NCO-Prepolymere mit einem NCO-Gehalt von 10 bis 48 Gew.-%. Sie werden aus den vorgenannten Polyisocyanaten und Polyetherpolyolen mit einer Hydroxylzahl von 6 bis 112, Polyoxyalkylenediolen mit einer Hydroxylzahl von 113 bis 1100 oder Alkylendiolen mit einer Hydroxylzahl von 645 bis 1850 oder Gemischen daraus hergestellt.

Zur Bildung des Polyurethans werden bevorzugt aromatische Isocyanat-Komponenten auf Basis von MDI (Diphenylmethan-Diisocyanat), besonders bevorzugt NCO-Prepolymere eingesetzt.

Bei der Herstellung der Solarmodulrahmen aus Polyurethan werden außerdem Polyolformulierungen eingesetzt. Diese enthalten neben wenigstens einer Polyhydroxyverbindung auch noch Kettenverlängerungsmittel, Katalysatoren, Füllstoffe, Hilfs- und Zusatzstoffe.

Bei den Polyhydroxyverbindungen handelt es sich bevorzugt um Polyhydroxypolyether, welche auf an sich bekannte Weise durch Polyaddition von Alkylenoxiden an polyfunktionelle Starterverbindungen in Gegenwart von Katalysatoren hergestellt werden können. Bevorzugt werden die Polyhydroxypolyether aus einer Starterverbindung mit durchschnittlich 2 bis 8 aktiven Wasserstoffatomen und einem oder mehreren Alkylenoxiden hergestellt. Bevorzugte Starterverbindungen sind Moleküle mit zwei bis acht Hydroxylgruppen pro Molekül wie Wasser, Ethylenglykol, Propylenglykol, Diethylenglykol, Dipropylenglykol, Triethylenglykol, Tripropylenglykol, 1,4-Butandiol, 1,6-Hexandiol, Triethanolamin, Glycerin, Trimethylolpropan, Pentaerythrit, Sorbit und Saccharose. Die Starterverbindungen können allein oder im Gemisch verwendet werden. Die Polyole werden aus einem oder mehreren Alkylenoxiden hergestellt. Bevorzugt verwendete Alkylenoxide sind Oxiran, Methyloxiran und Ethyloxiran. Diese können allein oder im Gemisch verwendet werden. Bei Verwendung im Gemisch ist es möglich, die Alkylenoxide statistisch und/oder blockweise einzusetzen. Ebenfalls geeignet sind solche höhermolekularen Polyhydroxypolyether, in denen hochmolekulare Polyaddukte bzw. Polykondensate oder Polymerisate in feindisperser, gelöster oder aufgepfropfter Form vorliegen. Derartige modifizierte Polyhydroxylverbindungen werden z.B. erhalten, wenn man Polyadditionsreaktionen (z.B. Umsetzungen zwischen Polyisocyanaten und aminofunktionellen

Verbindungen) bzw. Polykondensationsreaktionen (z.B. zwischen Formaldehyd und Phenolen und/oder Aminen) in situ in den Hydroxylgruppen aufweisenden Verbindungen ablaufen lässt (wie beispielsweise in DE-AS 1 168 075 beschrieben). Auch durch Vinylpolymerisate modifizierte Polyhydroxylverbindungen, wie sie z.B. durch Polymerisation von Styrol und Acrylnitril in Gegenwart von Polyethern (z.B. gemäß US-PS 3 383 351) erhalten werden, sind für das erfindungsgemäße Verfahren als Polyolhydroxypolyolkomponente geeignet. Vertreter der genannten Polyolkomponente sind z.B. im Kunststoff-Handbuch, Band VII „Polyurethane“, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München / Wien, 1993, Seiten 57 - 67 bzw. Seiten 88 - 90 beschrieben. Bevorzugt werden als Polyhydroxypolyolkomponente ein oder mehrere Polyhydroxypolyether eingesetzt, die eine Hydroxylzahl von 6 bis 112, vorzugsweise von 21 bis 56, und eine Funktionalität von 1,8 bis 8, vorzugsweise von 1,8 bis 6, aufweisen.

Als Kettenverlängerungsmittel in der erfindungsgemäßen Polyolformulierung eignen sich solche, deren mittlere Hydroxyl- oder Aminzahl bei 245 bis 1850 und deren Funktionalität bei 1,8 bis 8, bevorzugt bei 1,8 bis 4, liegt. Beispielhaft zu nennen sind hier Ethylenglykol, Propylenglykol, Diethylenglykol, Dipropylenglykol, 1,4-Butandiol, 1,6-Hexandiol, Triethanolamin, Glycerin, Trimethylolpropan und kurzkettige Alkoxylierungsprodukte. Ethylenglykol und 1,4-Butandiol werden besonders bevorzugt eingesetzt.

Die an sich langsam ablaufende Reaktion zwischen Isocyanat- und Hydroxylgruppen kann durch Zusatz von einem oder mehreren Katalysatoren beschleunigt werden. Dabei kommen insbesondere tertiäre Amine der an sich bekannten Art in Frage, z.B. Triethylamin,

Tributylamin, N-Methylmorpholin, N-Ethylmorpholin, N-Cocomorpholin, N,N,N',N'-Tetramethylethylenediamin, 1,4-Diazabicyclo[2.2.2]oktan, N-Methyl-N'-dimethylaminoethylpiperazin, N,N-Dimethylcyclohexylamin, N,N,N',N'-Tetramethyl-1,3-butandiamin, N,N-Dimethylimidazol- β -phenylethylamin, 1,2-Dimethylimidazol, Bis(2-dimethylaminoethyl)-ether oder 2-Methylimidazol. Auch organische Metallkatalysatoren, wie organische Wismutkatalysatoren, z.B. Wismut-(III)-neodecanoat oder organische Zinnkatalysatoren, z.B. Zinn-(II)-salze von Carbonsäuren, wie Zinn-(II)-acetat, Zinn-(II)-octoat, Zinn-(II)-ethylhexoat und Zinn-(II)-laurat und die Dialkylzinnsalze von Carbonsäuren, z.B. Dibutylzinndiacetat, Dibutylzinndilaurat, Dibutylzinnmaleat oder Dioctylzinndiacetat können allein oder in Kombination mit den tertiären Aminen verwendet werden. Die Katalysatoren können allein oder in Kombination verwendet werden. Weitere Vertreter von Katalysatoren sowie Einzelheiten über die Wirkungsweise der Katalysatoren sind im Kunststoff-Handbuch, Band VII „Polyurethane“, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München / Wien, 1993 auf den Seiten 104 - 110 beschrieben.

Gegebenenfalls mitzuverwendende Füllstoffe können sowohl anorganische als auch organische Füllstoffe sein. Als anorganische Füllstoffe seien beispielhaft genannt: plättchen- und/oder faserförmige Wollastonite, silikatische Mineralien, wie Schichtsilikate (z.B. Mica), Metalloxide wie Eisenoxide, pyrogen hergestellte Metalloxide wie Aerosile, Metallsalze wie Schwerspat, anorganische Pigmente wie Cadmiumsulfid, Zinksulfid sowie Glas, Glasfasern, Mikroglaskugeln, Mikroglashohlkugeln, u.a. Als organische Füllstoffe seien beispielhaft genannt: organische Fasern (wie z.B. Kohle- und/oder Aramidfasern), kristalline Paraffine oder Fette, Pulver auf Basis von Polystyrol, Polyvinylchlorid, Harnstoff-Formaldehyd-Massen und/oder

- 20 -

Polyhydrazodicarbonamiden (z.B. aus Hydrazin und Toluylendiisocyanat). Es können auch Mikrohohlkugeln organischer Herkunft oder Kork eingesetzt werden. Die organischen bzw. anorganischen Füllstoffe können einzeln oder als Gemische verwendet werden.

Zu den Hilfs- und Zusatzstoffen, die gegebenenfalls in der erfindungsgemäßen Polyolformulierung mitverwendet werden können, gehören beispielsweise Treibmittel, Stabilisatoren, färbende Agenzien, Flammenschutzmittel, Weichmacher und/oder einwertige Alkohole.

Als Treibmittel sind sowohl physikalische Treibmittel als auch Wasser einsetzbar. Physikalische Treibmittel sind zum Beispiel 1,1,1,3,3-Pentafluorpropan, n-Pantan und/oder i-Hexan. Bevorzugt wird Wasser eingesetzt. Die Treibmittel können allein oder in Kombination eingesetzt werden.

Als Stabilisatoren werden insbesondere oberflächenaktive Substanzen, d.h. Verbindungen eingesetzt, welche zur Unterstützung der Homogenisierung der Ausgangsstoffe dienen und gegebenenfalls auch geeignet sind, die Zellstruktur der Kunststoffe zu regulieren. Genannt seien beispielsweise Emulgatoren, wie die Natriumsalze der Rizinusölsulfate oder Fettsäuren sowie Salze von Fettsäuren mit Aminen, Schaumstabilisatoren, wie Siloxanoxalkylengemischpolymerate, und Zellregulatoren, wie Paraffine. Als Stabilisatoren kommen vorwiegend Organopolysiloxane zur Anwendung, welche wasserlöslich sind. Dabei handelt es sich um Polydimethylsiloxanreste, an denen eine Polyetherkette aus Ethylenoxid und Propylenoxid angepfropft ist.

Als färbende Agenzien können für die Einfärbung von Polyurethanen an

- 21 -

sich bekannte Farbstoffe und/oder Farbpigmente auf organischer und/oder anorganischer Basis, beispielsweise Eisenoxid- und/oder Chromoxidpigmente und Pigmente auf Phthalocyanin- und/oder Monoazo-Basis eingesetzt werden.

Unter Flammschutzmitteln im Sinne der vorliegenden Erfindung werden insbesondere organische Verbindungen (insbesondere halogenierte, phosphorhaltige, beispielsweise Trikresylphosphat, Tris-2-chlorethylphosphat, Tris-chlorpropylphosphat und Tris-2,3-dibrompropylphosphat, und stickstoffhaltige organische Verbindungen) sowie anorganische Phosphorverbindungen (zum Beispiel roter Phosphor, Ammoniumpolyphosphat), anorganische Metallhydroxide (zum Beispiel Aluminiumtrihydroxid, Aluminiumoxidhydrat, Ammoniumpolyphosphat, Natriumpolymetaphosphat oder Aminphosphate, z.B. Melaminphosphate) und anorganische Borverbindungen (zum Beispiel Borsäure, Borax) verstanden.

Beispiele kommerziell erhältlicher Flammschutzmittel, die im Rahmen der vorliegenden Erfindung zur Anwendung kommen können, sind zum Beispiel: Disflamoll® DPK (Diphenylkresylphosphat), Levagard® DMPP (Dimethylpropanphosphonat), Levagard® PP (Tris (2-chloroisopropyl)-phosphat), Melamin, Exolit® AP 422 (ein freifließendes, pulverförmiges in Wasser schwer lösliches Ammoniumpolyphosphat der Formel $(\text{NH}_4\text{PO}_3)_n$ mit $n = 20$ bis 1000 , insbesondere 200 bis 1000), Apyral® (AL(OH)₃).

Als Flammschutzmittel besonders bevorzugt ist Melamin.

Als Weichmacher seien beispielsweise Ester von mehrwertigen,

vorzugsweise zweiwertigen Carbonsäuren mit einwertigen Alkoholen genannt. Die Säurekomponente solcher Ester kann sich z.B. herleiten von Bernsteinsäure, Isophthalsäure, Trimellitsäure, Phthalsäureanhydrid, Tetra- und/oder Hexahydrophthalsäureanhydrid, Endomethylentetrahydrophthalsäureanhydrid, Glutarsäureanhydrid, Maleinsäureanhydrid, Fumarsäure und/oder dimeren und/oder trimeren Fettsäuren, gegebenenfalls in Mischung mit monomeren Fettsäuren. Die Alkoholkomponente solcher Ester kann sich z.B. herleiten von verzweigten und/oder unverzweigten aliphatischen Alkoholen mit 1 bis 20 C-Atomen, wie Methanol, Ethanol, Propanol, Isopropanol, n- Butanol, sek.-Butanol, tert.-Butanol, den verschiedenen Isomeren des Pentylalkohols, Hexylalkohols, Octylalkohols (z.B. 2-Ethyl-Hexanol), Nonylalkohols, Decylalkohols, Laurylalkohols, Myristylalkohols, Cetylalkohols, Stearylalkohols und/oder von natürlich vorkommenden oder durch Hydrierung natürlich vorkommender Carbonsäuren erhältlichen Fett- und Wachsalkoholen. Als Alkoholkomponente kommen auch cycloaliphatische und/oder aromatische Hydroxyverbindungen infrage, beispielsweise Cyclohexanol und dessen Homologe Phenol, Kresol, Thymol, Carvacrol, Benzylalkohol und/oder Phenylethanol. Als Weichmacher kommen außerdem Ester der obengenannten Alkohole mit Phosphorsäure in Frage. Gegebenenfalls können auch Phosphorsäureester aus halogenierten Alkoholen, wie z.B. Trichlorethylphosphat, eingesetzt werden. Im letzteren Fall kann gleichzeitig mit dem Weichmacher-Effekt ein flammhemmender Effekt erzielt werden. Selbstverständlich können auch gemischte Ester der obengenannten Alkohole und Carbonsäuren eingesetzt werden. Bei den Weichmachern kann es sich auch um sogenannte polymere Weichmacher handeln, z.B. um Polyester der Adipin-, Sebacin- und/oder Phthalsäure. Weiter sind auch Alkylsulfonsäureester des

- 23 -

Phenols, z.B. Paraffinsulfonsäurephenylester, als Weichmacher verwendbar.

Weitere, gegebenenfalls mitzuverwendende Hilfs- und/oder Zusatzstoffe sind einwertige Alkohole wie Butanol, 2-Ethylhexanol, Octanol, Dodecanol oder Cyclohexanol, die gegebenenfalls zwecks Herbeiführung eines gewünschten Kettenabbruchs mit verwendet werden können. Nähere Angaben über die üblichen Hilfs- und Zusatzstoffe sind der Fachliteratur, beispielsweise dem Kunststoff-Handbuch, Band VII „Polyurethane“, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München / Wien, 1993, Seite 104 ff. zu entnehmen.

Die äußere flammhemmende Schicht kann dabei nachträglich auf den Rahmen des Solarmoduls aufgetragen werden. Sie kann aber auch in einer Form vorgelegt werden, in der dann das eigentliche Solarmodul hergestellt wird. Das Vorlegen einer (Lack-) Schicht in einer Form, gefolgt von deren Verschluss und Beaufschlagung mit dem eigentlichen Kunststoffmaterial bezeichnet man auch als sogenanntes In-mould-coating-Verfahren. Mögliche Zusammensetzungen solcher In-mould-coating-Lacke sind zum Beispiel in DE 38 21 908 C1 und US 5,567,763 offenbart.

In einer dritten Ausführungsform wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe gelöst durch eine Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie umfassend das erfindungsgemäße photovoltaische Solarmodul mit den oben definierten physikalischen Eigenschaften des Rahmens.

Ausführungsbeispiele

Die folgenden Beispiele verdeutlichen die Herstellung verschieden zusammengesetzter Rahmenmaterialien und ihren Vergleich untereinander.

Erfindungsgemäßes Beispiel:

Mit dem R-RIM-Verfahren wurden plattenförmige Bayflex® Formkörper auf einer Laborkolbendosiermaschine hergestellt.

Eingesetzt wurde das Bayflex®-System Bayflex® VP.PU 51BD11/Desmodur® VP.PU 18IF18 mit 20 Gewichts-% (bezogen auf das fertige Polyurethanelastomer) eines faserförmigen Wollastonit-Verstärkungsmaterials vom Typ Tremin 939.955 der Firma Quarzwerke, Frechen.

Die Platten hatten die Abmaße 200x300x3 mm³. Aus diesen Platten wurden Normprüfkörper entsprechend der jeweiligen Prüfnormen heraus gestanzt. Es wurden die folgenden Materialeigenschaften ermittelt.:

Dichte:	1,25 g/cm ³	DIN EN ISO 845
Zug-E-Modul: (in Faserrichtung*)	64 N/mm ²	DIN EN ISO 37
Zug-E-Modul: (quer zur Faserrichtung**)	44 N/mm ²	DIN EN ISO 37
Bruchdehnung: (in Faserrichtung*)	320 %	DIN EN ISO 37

- 25 -

Bruchdehnung:	350 %	DIN EN ISO 37
(quer zur Faserrichtung**)		
Schwindung:	0,4 %	(gemessen in Anlehnung an ISO 294-4)
(in Faserrichtung*)		
Schwindung:	1,0 %	(gemessen in Anlehnung an ISO 294-4)
(quer zur Faserrichtung**)		
thermischer Ausdehnungskoeffizient:	$40 \times 10^{-6}/K$	DIN 53752
(in Faserrichtung*)		
thermischer Ausdehnungskoeffizient:	$160 \times 10^{-6}/K$	DIN 53752
(quer zur Faserrichtung**)		
*-parallel zur Kante des Moduls		
**-senkrecht zur Kante des Moduls		

Vergleichsbeispiele:

a) Massives, ungefülltes Elastomer

Bayflex® VP.PU 81BD03/Desmodur® 0833 der BMS AG

Dichte:	1,13 g/cm ³	DIN EN ISO 845
Zug-E-Modul:	21 N/mm ²	DIN EN ISO 37
Bruchdehnung:	200 %	DIN EN ISO 37
Schwindung:	1,7 %	(gemessen in Anlehnung an ISO 294-4)
thermischer Ausdehnungskoeffizient:	$190 \times 10^{-6}/K$	DIN 53752

- 26 -

Vergleichsbeispiel a) ist nicht als Rahmenmaterial im Sinne der vorliegenden Erfindung geeignet, da das Polyurethan insbesondere einen zu hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten besitzt.

- b) Mikrozellularer, harter RIM-Werkstoff Baydur® 110 (Baydur® VP.PU 1498 Desmodur® VP.PU 26Ik01, verarbeitet ohne Füll-/Verstärkungsstoff) der Bayer MaterialScience AG.

Dichte:	1,10 g/cm³	DIN 53479
Zug-E-Modul:	1700 N/mm²	DIN 53455
Bruchdehnung:	14 %	DIN 53455
Schwindung:	0,5-0,8 %	(gemessen in Anlehnung an ISO 294-4)
thermischer Ausdehnungskoeffizient:	$90 \times 10^{-6}/K$	DIN 53752

Vergleichsbeispiel b) ist nicht als Rahmenmaterial im Sinne der vorliegenden Erfindung geeignet, da das Polyurethan insbesondere eine zu geringe Bruchdehnung aufweist.

Die folgenden Beispiele verdeutlichen die Herstellung verschieden zusammengesetzter Rahmenmaterialien und ihr Verhalten in verschiedenen Brandprüfungen.

Mit dem R-RIM-Verfahren wurden plattenförmige Bayflex® Formkörper hergestellt. Ferner wurden Polyurethan-Rahmen mit denselben Materialien um Glaslaminate gespritzt. Bei den Glaslaminate handelte es sich um Solarglasscheiben mit einem rückseitig aufgeklebten Folienverbund, der realen Photovoltaikelementen nachempfunden ist

- 27 -

und so zur Simulation eines realen Solarmoduls diente. An den Formplatten und den Solarmodulmodellen wurden mechanische Prüfungen und Brandprüfungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Eingesetzt wurde das Bayflex®-System Bayflex® VP.PU 51BD11/Desmodur® VP.PU 18IF18 (Erfindung) und als Vergleichsbeispiel das Bayflex®-System VP.PU 81BD03 / Desmodur® VP.PU 0833 mit unterschiedlichen Verstärkungs- und Flammschutzmittelanteilen. Als Verstärkungsmaterial wurde faserförmiges Wollastonit vom Typ Tremin 939.955 der Firma Quarzwerke, Frechen verwendet. Als Flammschutzmittel wurde zum einen feinkristallines pulverförmiges Melamin (2,4,6-Triamino-1,3,5-triazin) der BASF AG eingesetzt. Zum anderen wurde ein In-Mould-Coating-Lack, der gleichzeitig Flammschutzfunktion besitzt, eingesetzt. Verwendet wurde das Produkt bomix PUR-IMC VP 5780006 zusammen mit dem Härter 27/77 der Firma bomix Chemie GmbH, Telgte.

Die Formplatten wurden mit den in der Tabelle angegebenen Mengen an Verstärkungsstoff und Flammschutzmittel (Gewichtsprozent bezogen auf das Formteilgewicht) hergestellt und hatten die Abmaße 200x300x4 mm³.

Bei der Aufbringung des In-Mould-Coat wurde in die geöffnete Form zunächst das Trennmittel bomix LC7/A9807-7, der Firma bomix Chemie GmbH, Telgte aufgesprührt. Anschließend wurde mit einer Sprühpistole FSP-FP-HTE 1,5 der Firma Schneider Druckluft GmbH, Reutlingen eine Lackschicht (aus 100 Teilen bomix PUR-IMC VP 5780006 und 25 Teilen Härter 27/77) gleichmäßig auf die Formwände aufgesprührt. Nach einer

- 28 -

Ablüftzeit von 30 Sekunden wurde die Form geschlossen und mit einer Hochdruckkolbendosieranlage das reaktive Poyurethan-Gemisch eingespritzt. Laut des Sicherheitsdatenblattes der Firma bomix GmbH handelt es sich bei dem verwendeten In-Mould-Coat um ein mit anorganischen Pigmenten versehenes und in Estern gelöstes Polyurethanharz, wobei der auftragungsfähige Lack u.a. die folgenden Verbindungen umfasst: ca. 47% Butylacetat, ca. 10% Triethylphosphat, ca. 6% 2,5-Pentandion und ca. 5% Methoxypropylacetat (Angaben in Gew.-%).

Auf den Formplatten - und im weiteren auch auf den Solarmodulrahmen - wurde eine Lackschichtdicke von 0,03 mm realisiert.

Aus den Formplatten wurden Normprüfkörper entsprechend der jeweiligen Prüfnormen herausgestanzt. Die Bestimmung des Zug-E-Moduls und der Reißdehnung jeweils in Faserrichtung erfolgte nach DIN EN ISO 37.

Die Brandprüfung an streifenförmigen Proben aus den Formplatten erfolgte in Anlehnung an die Norm UL 94. Die UL 94 ist eine übliche Vorprüfung, mit der Werkstoffe hinsichtlich ihres Brandverhaltens charakterisiert werden können. Gemessen wurde hierbei die Nachbrennzeit nachdem der Probekörper 10 Sekunden mit einer Flamme beaufschlagt und die Flamme entfernt wurde. Es wurde jeweils zweimal eine Flamme aufgebracht. Ziel ist eine Nachbrennzeit kleiner 10 Sekunden.

Bei der Herstellung der Solarmodulrahmen wurde analog vorgegangen. Die Solarmodulmodelle hatten die lateralen Maße von 1300x800 mm²

- 29 -

bei einer Laminatdicke von 6 mm. Der umlaufende Polyurethan-Rahmen hatte eine durchschnittliche Dicke von 12 mm.

An den so hergestellten Solarmodul-Modellen wurden Brandversuche in Anlehnung an DIN 4102-7 durchgeführt. Hierzu wurden zwei Solarmodulmodelle unter einem Winkel von 45° Grad nebeneinander auf ein metallisches Gerüst geschraubt und jeweils ein normgemäßer Brandsatz auf den horizontalen und vertikalen Rahmenbereich gesetzt. Der Brandschutz wurde in Anlehnung an DIN EN 13501-5 hinsichtlich der vom Brandsatz ausgehenden vertikalen und horizontalen Brandausbreitung klassifiziert. Ziel ist eine möglichst geringe Brandausbreitung in horizontaler und vertikaler Richtung.

Tabelle 1

Polyurethan-System	Verstärkungsstoffgehalt [Gew.-%]	Flammschutz-feststoffgehalt [Gew.-%]	Brandprüfung Formplatte in Anlehnung an UL 94	Brandprüfung Solarmodulrahmen in Anlehnung an DIN 4102-7	Zugversuch DIN EN ISO 37	Thermische Ausdehnung	Dichte [g/cm ³] DIN EN ISO 845
Vgl.-Beispiel				1. Nachbrennzeit 2. Nachbrennzeit	Zug-E-Modul horizontal Brandausbreitung vertikal	Reißdehnung [%] in Faserrichtung	Alpha-Wert [10 ⁻⁶ /K] DIN 53752 in Faserrichtung
Bayflex® VP.PU 81BD03 - Desmodur® VP.PU 0833	20 % Tremain	keinen	> 10 s > 10 s		44	150	56
Vgl.-Beispiel	Bayflex® VP.PU 51BD11 - Desmodur® VP.PU 18IF18	20 % Tremain	keinen	> 10 s > 10 s	89 80	328	40

Fortsetzung Tabelle 1

Erfindung	Bayflex®	12,5 %	12,5 %	Melamin	< 1 s	0	48	284	74	1,15
	VP.PU 51BD11 - Desmodur®	Tremin 939.955			< 1 s	5				
	VP.PU 18IF18									
Vgl.-Beispiel	Bayflex®	18,75 %	6,25 %	Melamin	2 s	abgelöscht	62	226	57	1,15
	VP.PU 51BD11 - Desmodur®	Tremin 939.955			> 10 s	58				
	VP.PU 18IF18									
Erfindung	Bayflex®	18,75 %	6,25 %	Melamin + 0,03 mm In-Mould-Coat bomix	1 s	0	62*	226*	57*	1,15
	VP.PU 51BD11 - Desmodur®	Tremin 939.955			1 s	40				
	VP.PU 18IF18									

* Diese mechanischen Werte wurden vom Vergleichsbeispiel übernommen, da davon auszugehen ist, dass sich die Eigenschaften durch den IMC-Prozess nicht ändern

- 32 -

Patentansprüche

1. Photovoltaisches Solarmodul mit einem ganz oder teilweise umlaufenden Rahmen, aus Polyurethan, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen
eine Bruchdehnung von mindestens 50%,
ein E-Modul von mindestens 30 N/mm² und
einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von bis zu
$$\alpha = 80 \cdot 10^{-6} / K$$
aufweist, wobei der E-Modul und der thermische Ausdehnungskoeffizient parallel zu den Modulkanten gemessen werden.
2. Solarmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen eine Bruchdehnung von mindestens 80, insbesondere mindestens 100% aufweist.
3. Solarmodul nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen einen E-Modul von mindestens 40, insbesondere mindestens 60 N/mm², ganz besonders mindestens 70 N/mm², jeweils parallel zu den Modulkanten gemessen, aufweist.
4. Solarmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von bis zu $\alpha = 50 \cdot 10^{-6} / K$, jeweils parallel zu den Modulkanten gemessen, aufweist.

- 33 -

5. Solarmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen eine Dichte von mindestens 800, insbesondere von mindestens 1000 kg/m³ aufweist.
6. Solarmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen isotrope und/oder anisotrope Füllstoffe umfasst.
7. Solarmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen Füllstoffe in einer Menge von 10 bis 30, insbesondere von 15 bis 25 Gew.-%, bezogen auf das Gewicht des Polyurethan-Elastomeren, enthält.
8. Solarmodul nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen synthetische oder natürliche, insbesondere mineralische Füllstoffe umfasst.
9. Solarmodul nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Füllstoffe ausgewählt sind aus der Gruppe, die Mica, plättchen- und/oder faserförmiges Wollastonit, Glasfasern, Kohlefasern, Aramidfasern oder deren Gemische umfasst.
10. Solarmodul nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Füllstoffe eine Beschichtung, insbesondere eine Aminosilan-basierte Beschichtung aufweisen.

- 34 -

11. Solarmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen wenigstens ein Flammenschutzmittel umfasst.
12. Solarmodul nach einem der Ansprüche 6 bis 10 und nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen Füllstoffe in einer Menge von 10 bis 15 Gew.-% und Flammeschutzmittel in einer Menge von 10 bis 15 Gew.-% umfasst.
13. Solarmodul nach einem der Ansprüche 6 bis 10 und nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen Füllstoffe in einer Menge von 15 bis 20 Gew.-% und Flammenschutzmittel in einer Menge von 5 bis 7 Gew.-% umfasst.
14. Solarmodul nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen eine äußere flammhemmende Schicht umfasst.
15. Solarmodul nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die äußere flammhemmende Schicht eine Dicke in einem Bereich von 0,01 bis 0,06 mm aufweist.
16. Verfahren zur Herstellung eines Solarmoduls nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen durch RIM, R-RIM, S-RIM, RTM, Sprühen oder Gießen gebildet wird.
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass man eine aromatische Isocyanat-Komponente zur Bildung des Polyurethans einsetzt.

- 35 -

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass man die äußere flammhemmende Schicht auf den Rahmen des Solarmoduls aufträgt oder sie in einer Form vorlegt, in der man das Solarmodul herstellt.
19. Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie umfassend das photovoltaische Solarmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 15.