

Ein Prototyp für Anschlussboxen in Photovoltaikanlagen besteht aus einem flammgeschützten Polyamid, das sich bereits in der E/E-Industrie bewährt hat

(Bilder: BASF)



## Eine Frage der Haftung

**Klebebänder.** Anschlussdosen für Photovoltaikanlagen bestehen u. a. aus flammgeschütztem Polyamid. Bisher werden die Dosen auf den kristallinen oder Dünnschicht-Solarmodulen mit Silikonklebstoffen befestigt. Bedingt durch deren zeitaufwendige Aushärtung entstehen jedoch hohe Produktionskosten. Umfangreiche Untersuchungen belegen, dass sich bei Verwendung von Acrylat-Klebebändern als Alternative Zeit und somit Kosten einsparen lassen.

**FLORIAN MÜLLER  
STEFAN MOCHEV**

Die Photovoltaik (PV)-Industrie befindet sich derzeit in einer Konsolidierungsphase. Hersteller in Deutschland müssen neben Kürzungen in der Einspeisevergütung auch den Kostendruck durch Importe von billigen Photovoltaik-Modulen aus Asien ertragen. Am Ende werden nur Firmen mit neuen Technologien und niedrigen Produktionskosten bestehen können.

Eine Möglichkeit Produktionskosten einzusparen, bieten Klebebänder, die bei der Befestigung von Anschlussdosen auf kristallinen oder Dünnschicht-Solarmo-

dulen eingesetzt werden. Im Vergleich zu gängigen Silikonklebstoffen kann hier die zeitaufwendige Aushärtung entfallen. Seit einigen Jahren bietet die BASF SE, Ludwigshafen, mit ihren Ultramid-A3X-Marken flammgeschützte Polyamide (PA) als Alternative zu den etablierten Produktklassen wie modifizierter Polyphenylenether (m-PPE) und Polycarbonat (PC) für die elektrische Anschlusstechnik in der Photovoltaik an (**Titelbild, Bild 1**). Im Rahmen einer eingehenden Untersuchung wurde die Verträglichkeit der Klebesysteme mit den verschiedenen Kunststofftypen geprüft.

### Anforderungen und Regularien

Photovoltaikanlagen sind in der Regel auf eine Lebensdauer von 25 Jahren ausgelegt

und dabei harschen Umweltbedingungen ausgesetzt. Werkstoffe für die elektrische Anschlusstechnik von PV-Modulen müssen daher nicht nur sehr flammwidrig, sondern auch witterungsbeständig sein und insbesondere eine gute Kälteschlagzähigkeit aufweisen: Kunststoffe für den Einsatz in Anschlussdosen müssen die Anforderungen an Flammwidrigkeit nach UL 94, Brandschutzklasse 5VA er-

### i Kontakt

**BASF SE**  
Fachpressestelle Plastics  
D-67056 Ludwigshafen  
TEL +49 621 60-43348  
→ [www.plasticsportal.eu](http://www.plasticsportal.eu)

**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU111149

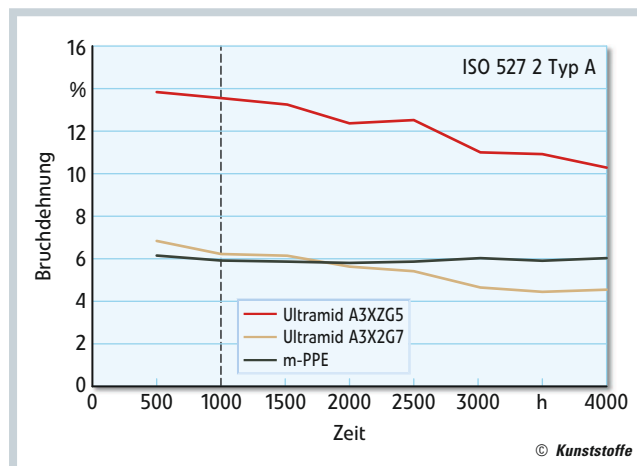


**Bild 1.** Anschlussboxen für Photovoltaik-Anlagen (im Bild links) lassen sich beispielsweise aus der Polyamidspezialität Ultramid A3XZG5 fertigen; für Steckverbinder eignet sich das steife Ultramid A3XZG7 (im Bild rechts)

füllen, für die im Vergleich zu V0- bis V2-Einstufungen bei zehnmal stärkerer Flammenleistung geprüft wird. Die Beurteilung der Kälteschlagzähigkeit findet nach dem Cold-Impact-Test (UL 1703) statt: Diese Prüfung bestehen Bauteile, wenn sie bei -35°C nach dem Aufprall einer 535 g schweren Kugel aus 1,3 m Höhe keine Risse oder andere Schäden aufweisen. Darüber hinaus werden Bedingungen an die UV-Beständigkeit (f1 outdoor use: UL 746 C) und zur Hydrolysebeständigkeit (85°C/85 % rel. Feuchtigkeit für 1000 h: IEC 61215; **Bild 2**) gestellt.

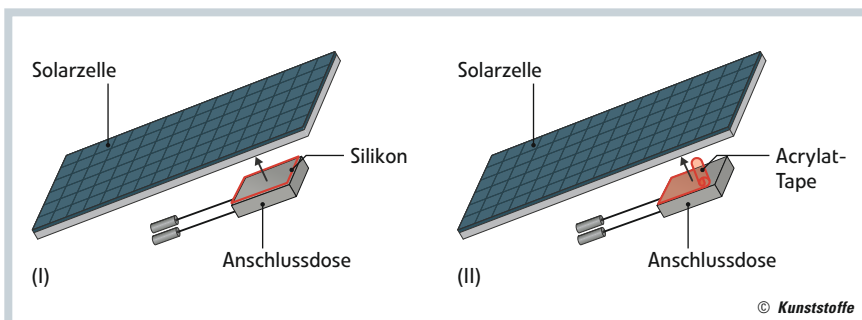
Aufgrund der hohen Anforderungen ist es naheliegend, dass die BASF Materialtypen für die Solartechnik anbietet, die sich bereits in der E/E-Branche seit Jahren bewährt haben. Dazu gehören Ultramid A3X2G7 und das zähmodifizierte Ultramid A3XZG5.

Neben den Rohstoffen bietet die BASF ihren Kunden eine umfassende technische Unterstützung, z. B. CAE-Kompe-



**Bild 2** Die Witterungsbeständigkeit von Werkstoffen für Photovoltaikanlagen wird im Damp-Heat-Test bestimmt

tenz, Bauteilauslegung und Bauteilprüfung, an. Ein gutes Beispiel dafür sind Haftungsuntersuchungen, die die BASF speziell für die Verklebung von Anschlussdosen mit Acrylat-Klebebandern anlässlich einer Diskussion in der Fachöffentlichkeit durchgeführt hat.



**Bild 3.** Zum Verkleben von Anschlussdosen wird meist RTV1-Silikon (I) oder ein doppelseitiges Acrylat-Klebeband (Tape) (II) verwendet

Ziel der Versuche war es, die Haftung von Polyamid und anderen gängigen Kunststoffen mit verschiedenen Acrylat-Klebebandern sowie bei unterschiedlichen Vorbehandlungsmethoden zu bewerten. Zum Vergleich stehen auch Ergebnisse aus Versuchen mit Silikonklebstoffen zur Verfügung (**Bild 3**). Diese werden bisher überwiegend eingesetzt, um Anschlussdosen mit dem PV-Modul zu verbinden.

## Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Im Rahmen der Untersuchungen wurden zwei grundsätzlich unterschiedliche Versuchsreihen für Silikonklebstoffe und Acrylat-Klebebandern durchgeführt.

**Silikonklebstoffe:** Es wurden Prüfkörper aus Ultramid A3XZG5 bzw. m-PPE mit handelsüblichem RTV1-Silikonklebstoff (raumtemperaturvernetzend, ein-



# Kunststoffe

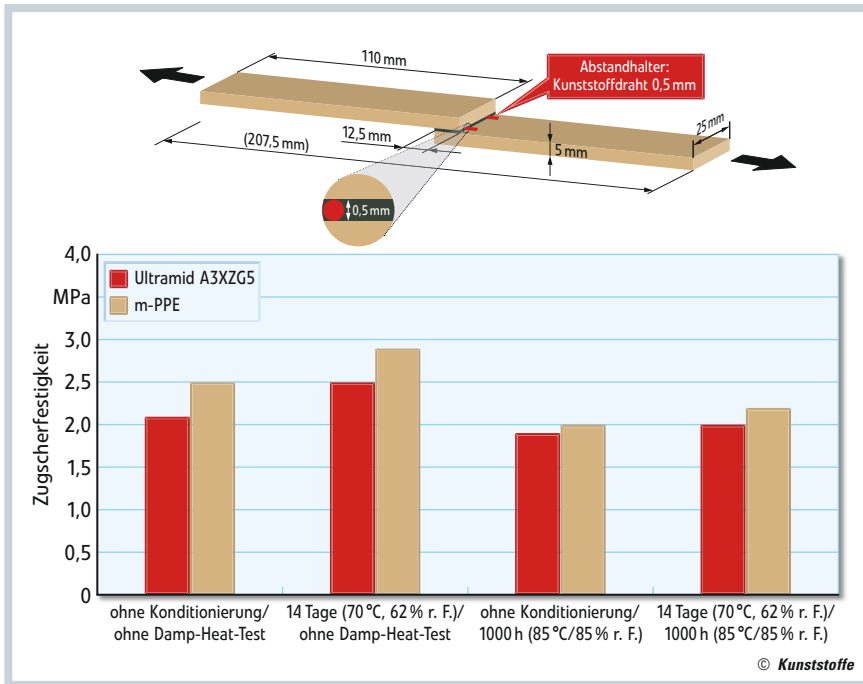
## Newsletter

Wir haben unseren Service ausgebaut: In einem wöchentlichen Newsletter informiert die Redaktion über wichtige Neuigkeiten aus der Branche. Im Fokus stehen Unternehmens- und Wirtschaftsmeldungen, neue Produkte, Technik-Trends, Patente sowie aktuelle Publikationen und Veranstaltungen aus dem Carl Hanser Verlag



→ [www.kunststoffe.de/newsletter](http://www.kunststoffe.de/newsletter)

Registrieren Sie sich kostenfrei!

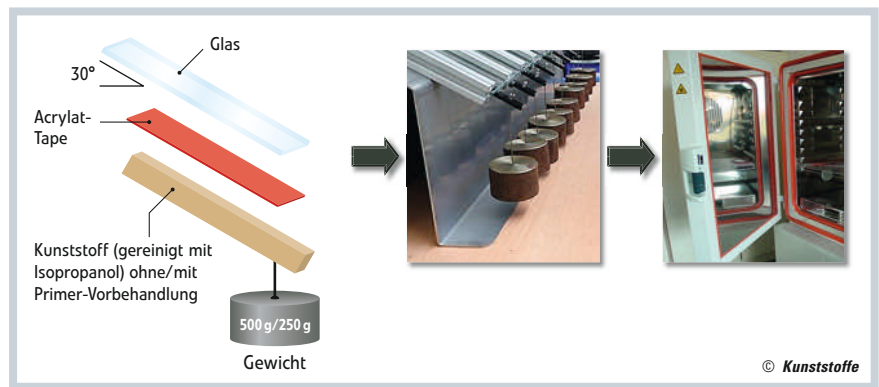


**Bild 4. Verklebung mit handelsüblichem RTV1-Silikon: Die Zugscherfestigkeit liegt bei den geprüften Kunststoffen auf ähnlichem Niveau**

kraft, also Zugscherfestigkeit, getestet (Bild 4). Die Untersuchung fand mit trockenem und konditioniertem Kunststoff sowie ungealtert und nach 1000-stündiger Lagerung bei 85 °C und 85 % relativer Luftfeuchtigkeit statt. Dabei trat kein signifikanter Unterschied zwischen den getesteten Kunststoffen zutage. Bemerkenswert ist, dass bei diesem Test immer ein Kohäsionsbruch – ein Versagen im Silikonklebstoff selbst – auftritt. Die Verbindung zwischen Kunststoff und Klebstoff war somit auch nach dem Versuch intakt und ist als sehr gut zu bewerten.

**Acrylat-Klebebänder (Tapes):** Für die Untersuchung der Anschlussdosenvorverklebung mit Acrylat-Klebebändern wurden verschiedene Kunststoffproben, jeweils

mit bzw. ohne Vorbehandlung durch einen Primer, mit unterschiedlichen Klebebändern auf Glas verklebt. Zunächst er-



**Bild 5. Versuchsaufbau für die Verklebung mit Acrylat-Tape**

|                 |                         | Ausfallzeit [h] |                |   |                |
|-----------------|-------------------------|-----------------|----------------|---|----------------|
|                 |                         | mit Primer      |                |   |                |
|                 | Proben-Zustand vor Test | Acrylat-Tape 1  | Acrylat-Tape 2 |   | Acrylat-Tape 3 |
| m-PPE           | trocken                 | ✓               | < 24           | A | < 24           |
| PC              | trocken                 | ✓               | < 24           | A | < 24           |
| Ultramid A3XZG5 | trocken                 | ✓               | 84             | A | 500            |
| Ultramid A3XZG5 | feucht                  | ✓               | < 24           | A | 140            |

✓ ohne Ausfall nach 2000 h bei 85 °C/85 % r. F.  
A Adhäsionsbruch

**Tabelle 1. Verklebung mit Acrylat-Tapes, Messung nach Lagerung bei 85 °C/85 % rel. Feuchte und 250 g Belastung (Damp Heat): Sehr gute Haftung unabhängig vom Kunststoff, es sind jedoch große Unterschiede zwischen verschiedenen Tapes festzustellen**

folgte die Prüfung der Proben unter einer konstanten Last bei verschiedenen hohen Temperaturen. Dieser sogenannte Dry-Heat-Test wurde bei 50 °C gestartet und die Temperatur alle 24 h bis zum Versagen der Prüfkörper um 10 °C erhöht. Eine zweite Versuchsreihe umfasste die Haftungsmessung nach Lagerung in feuchtwarmer Umgebung (85 °C /85 % rel. Feuchte) (Bild 5). Bei den Prüfungen wurde demzufolge keine Festigkeit gemessen, sondern das Versagen nach einem gewünschten Zeitraum (Tabelle 1) bzw. bei einer definierten Temperatur (Tabelle 2) bestimmt.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Vorbehandlung des Polymersubstrats mit Primer unabhängig vom verwendeten Kunststoff notwendig ist. Durch den Primer entstehen chemische Bindungen zwischen Substrat und Klebeband, wodurch eine Haftverbesserung bewirkt und eine Schutzbarriere gegen Feuchtigkeit erzeugt wird.

Ohne Primer tritt bei allen Kunststoffen im Test bereits bei moderaten Temperaturen zwischen 50 und 100 °C Adhäsionsbruch auf, d.h. die Verbindung zwischen Kunststoff und Klebstoff wird

gelöst. Erfolgt der Versuch mit geprimerten Kunststoffproben, so findet bis zu Temperaturen von 160 °C in einigen Fällen gar kein Bruch statt, in anderen Fällen ein Kohäsionsbruch im Acrylat-Klebeband unter Erhalt der Verbindung Kunststoff-Klebstoff. Nur in wenigen Fällen versagt die Adhäsion, dies aber auch erst bei erhöhten Temperaturen. Ein Unterschied zwischen den Kunststofftypen ist nicht festzustellen. Bei den verwendeten Klebebändern handelt es sich um handelsübliche Acrylat-Schaum-Klebebänder, bei den Primern um die von dem jeweiligen Klebebandhersteller empfohlenen Produkte.

Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse des Dry-Heat-Versuchs erfolgte die

|                 |                             | Ausfalltemperatur [°C] |   |  |                |   |                |   |                |   |
|-----------------|-----------------------------|------------------------|---|--|----------------|---|----------------|---|----------------|---|
|                 |                             | Ohne Primer            |   |  | Mit Primer     |   |                |   |                |   |
|                 | Proben-<br>Zustand vor Test | Acrylat-Tape 1         |   |  | Acrylat-Tape 1 |   | Acrylat-Tape 2 |   | Acrylat-Tape 3 |   |
| m-PPE           | trocken                     | 60–100                 | A |  | > 150          | ✓ | 90–100         | K | 140            | A |
| PC              | trocken                     | 50                     | A |  | 100/130        | K | 90–100         | K | 90             | A |
| Ultramid A3XZG5 | trocken                     | 50                     | A |  | > 160          | ✓ | 90             | K | > 140          | ✓ |
| Ultramid A3XZG5 | feucht                      | 50                     | A |  | > 150          | ✓ | 90/110         | K | 110            | A |

A Adhäsionsbruch  
K Kohäsionsbruch  
✓ ohne Ausfall

**Tabelle 2. Verklebung mit Acrylat-Klebebändern (Tapes), Messung nach trockener Lagerung und 500 g Belastung (Dry Heat): Die Vorbehandlung mit Primer erhöht die Haftung unabhängig vom Kunststoff signifikant**

sehr viel schärfere Untersuchung bei Damp Heat (**Tabelle 2**) nur an geprimerten Proben. Hier zeigen sich nun deutlich die Unterschiede der verschiedenen Klebebänder. Während alle Kunststoffproben den Verbund mit Tape 1 in feuchtwarmem Klima 2000 h problemlos überstehen, unterscheidet sich das Verhalten der Kunststoffe bei Tape 2 und Tape 3 deutlich. Ein wesentlicher Einfluss durch die verschiedenen Kunststofftypen ist jedoch auch hier nicht zu erkennen.

## Zusammenfassung

Alle getesteten Kunststoffe lassen sich mit gängigen Klebebändern verkleben, ebenso gut wie mit klassischen RTV1-Silikonklebstoffen. Die Unterschiede zwischen den Kunststoffen sind nicht signifikant. Die flammgeschützten Ultramid A3X-Polyamide zeigen das gleiche hohe Niveau wie m-PPE und PC. Deutliche Unter-

schiede gibt es jedoch zwischen den verschiedenen Primersystemen und Klebebändern.

Das bedeutet: Anschlussdosen aus Kunststoff lassen sich unabhängig vom verwendeten Polymer mit Acrylat-Klebebändern und Silikon gut verkleben. Um optimale Ergebnisse zu erzielen, sollte allerdings die Vorbehandlung und das Klebeband bzw. der Silikonklebstoff zwingend aufeinander abgestimmt sein, ein Phänomen, das auch aus anderen Bereichen des Fügens von Materialien bekannt ist. Unter Berücksichtigung der Vorgaben der Hersteller sind Acrylat-Klebebänder eine Alternative zu Silikonklebstoffen, denn mit ihrer Hilfe kann das zeitintensive Aushärten entfallen, die Produktionskosten verringern sich. ■

## DIE AUTOREN

DIPL.-ING. FLORIAN MÜLLER, geb. 1980, arbeitet in der Geschäftseinheit Engineering Plastics Europe

als Anwendungsentwickler für Business Development E/E bei der BASF SE, Ludwigshafen.

DIPL.-ING. STEFAN MOCHEV, geb. 1973, ist in derselben Geschäftseinheit in der Bauteilprüfung/Verbindungstechnik bei der BASF SE, Ludwigshafen, tätig.

## SUMMARY

### A STICKY QUESTION

ADHESIVE TAPES. Junction boxes for photovoltaic systems are produced from flame-retardant polyamide among other materials. Until now, these junction boxes have been bonded to the crystalline or thin-film solar modules with silicone adhesives. However, this gives rise to high production costs due to the lengthy curing process. Extensive trials have shown that time and money can be saved by using acrylic adhesive tapes as an alternative.

Read the complete article in our magazine

**Kunststoffe international** and on

[www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)