

Strom aus Licht und Plastik

Organische Solarzellen auf flexiblen Trägerfolien sollen in Zukunft als mobile Stromquellen zum Einsatz kommen. Inzwischen werden solche Solarzellen bereits in Funktionsjacken, z. B. zum Aufladen des Smartphones, verbaut.

Mit den starren Solarzellen wäre das wohl recht unbequem.

Organische Solarzellen versprechen noch einige andere Vorteile: geringes Gewicht etwa und kostengünstige Herstellung. Anfang 2016 erreichten organische Solarzellen bereits einen Wirkungsgrad von ca. 13 %. Die Lebensdauer von ca. 5 bis 12 Jahren ist allerdings noch mangelhaft.

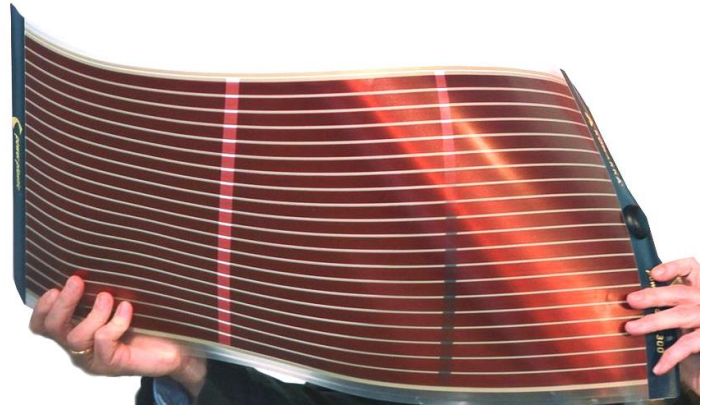


Abbildung 1: Die organische Solarzelle.

Foto: von Kuebi = Armin Kübelbeck (Eigenes Werk) [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], via Wikimedia Commons, bearbeitet (Ausschnitt) durch Siemens Stiftung

Aufbau und Funktionsprinzip der organischen Solarzelle

Schichtweiser Aufbau aus Donor- und Akzeptormaterial

In der Regel bestehen die organischen Solarzellen aus einer elektronenspendenden („Donor“) und einer elektronenaufnehmenden Schicht („Akzeptor“), die zwischen zwei Elektroden – Anode (Pluspol) und Kathode (Minuspol) – angeordnet sind. Als Donor wird häufig ein Makromolekül („Polymer“) mit abwechselnden Einfach- und Doppelbindungen (konjugiertes Polymer) verwendet, welches leicht Elektronen abgibt. Für den Akzeptor, der die abgegebenen Elektronen aufnimmt, werden z. B. Fullerene genutzt – das sind kugelförmige Moleküle aus 60, 70, 76 oder 84 Kohlenstoffatomen.

Parallel werden auch Forschungs- und Produktionsansätze auf Basis von Oligomeren verfolgt, von denen man sich höhere Effizienz und besonders eine längere Lebensdauer der Zellen verspricht. (Auch Oligomere sind Makromoleküle, aber im Gegensatz zu den Polymeren bestehen sie aus weniger Monomerbausteinen, sind also kürzer.)

Funktionsprinzip

Das durch die transparente Anode einfallende Licht wird von den Donormolekülen absorbiert und diese werden dadurch elektronisch angeregt. Bei der Lichtabsorption bilden sich nicht sofort freie Elektronen, sondern „Exzitonen“. Das sind Paare von jeweils einer negativen (Elektron) und einer positiven Ladung (sog. „Loch“). Um die Elektronen freizusetzen, müssen diese Paare getrennt werden. Dies erfolgt an der Grenzfläche zum Akzeptor: Dort gibt das Exziton im Donor ein Elektron an den Akzeptor ab (siehe Abbildung 2). Dieses Elektron wird dann durch die Kathode abgeleitet und kann über einen äußeren Stromkreis zur Anode zurückfließen: Das Modul liefert Strom. Wird mit getrennten Donor-Akzeptor-Schichten gearbeitet, ist die Elektronenerzeugung nur auf den dünnen Grenzbereich zwischen Donor- und Akzeptorschicht limitiert. Deshalb wird oft das Donor-

und Akzeptormaterial in einer gemeinsamen Schicht gemischt (siehe Abbildung 3 unten). Das dehnt die Elektronenerzeugung auf das gesamte Volumen aus und die Stromausbeute steigt. Aufgrund des langkettig konjugierten Systems des Polymerdonors kann dieser Licht vieler unterschiedlicher Wellenlängen absorbieren. Im Unterschied zu herkömmlichen Siliziumsolarzellen, die nur in einem schmalen Spektralbereich absorbieren, wandeln deshalb organische Solarzellen ein wesentlich breiteres Lichtspektrum um. So kann z. B. auch Kunstlicht in Strom umgewandelt werden. Trotz des breiten Absorptionsspektrums und des damit theoretisch hohen Wirkungsgrads ist aber der Wirkungsgrad der derzeit technisch realisierbaren organischen Solarzellen erst ca. halb so groß wie der der Siliziumzellen (siehe Kapitel „Erfolgsfaktoren der organischen Solarzelle“).

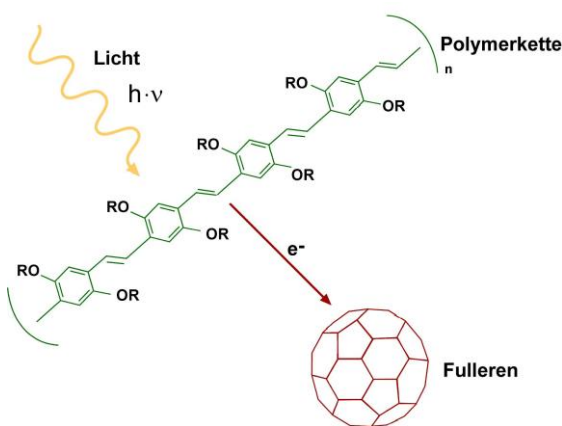


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Ladungstransfers im Donor-Akzeptor-System: Polymerkette (Donor) und Fullerene-Molekül (Akzeptor).

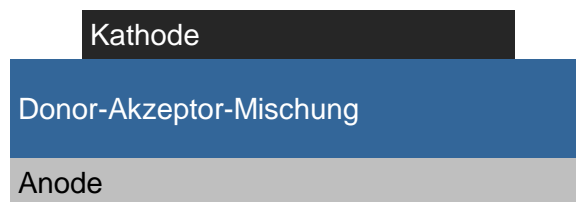


Abbildung 3: Die obere Grafik zeigt den Aufbau einer organischen Solarzelle nach der Zwei-Schichtstruktur: es gibt eine Donor- und eine Akzeptorschicht. In der unteren Grafik besteht die fotoaktive Schicht aus einer Donor-Akzeptor-Mischung.

Organische Solarzellen sind ohne Hochtemperaturprozesse herstellbar

In einer unkomplizierten Drucktechnik werden die einzelnen Schichten aus relativ preisgünstigen Materialien nacheinander auf eine Trägerfolie aufgebracht. Ein großer Vorteil gegenüber den herkömmlichen Siliziumzellen besteht darin, dass diese Folien (zum Beispiel aus PET-Kunststoff) flexibel und wesentlich leichter sind. Die fotoaktive Schicht ist ca. 100 nm dick, das entspricht etwa einem Zweihundertstel der Dicke eines Haars. Allerdings könnten Schmutzpartikel zu Kurzschlüssen in diesen dünnen Schichten führen, deshalb sind äußerst saubere Arbeitsbedingungen ein Muss.

Neben der Drucktechnik hat sich in jüngerer Zeit die Aufbringung der reaktiven Schichten mittels eines Vakuumprozesses bei niedrigen Temperaturen (und ohne Lösungsmittel) etabliert, der sich auch bei der Herstellung von OLED-Displays bewährt hat.

Breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten

Organische Solarzellen sind äußerst flexibel und können daher in nahezu jede beliebige Form gebracht werden. Zudem haben sie ein geringes Gewicht und können sowohl farbig als auch transparent sein. Ihre ungewöhnlichen Eigenschaften eröffnen der organischen Photovoltaik ein großes

Spektrum an Einsatzmöglichkeiten. Denkbar wäre z. B. die Integration organischer Solarmodule in Kleidungsstücke, um elektrische Geräte am Körper mit Strom zu versorgen. Aufrollbare portable Solarfolien könnten für Kleingeräte wie Personal Digital Assistants (PDAs), MP3-Player oder Handys jederzeit Strom liefern. Auch die Bespannung ganzer Fassaden, Fenster oder Markisen mit transparenten oder farbigen Solarzellen könnte in der Zukunft möglich sein.

Erfolgsfaktoren der organischen Solarzelle

Folgende Faktoren bestimmen maßgeblich den zukünftigen Erfolg organischer Solarzellen:

- **Umweltverträglichkeit:** Die verwendeten Materialien sind umweltverträglich und können ohne große Umweltbelastung hergestellt und entsorgt werden. Dies erfüllt die EU Richtlinie 2002/95/EG (RoHS), die die Verwendung von Gefahrstoffen in elektronischen Geräten und Bauteilen regelt.
- **Geringes Gewicht, kleine Abmessungen:** Eine typische Solarzellenfolie ist kaum einen Millimeter dick und wiegt pro Quadratmeter etwa 500 g, wobei das Gewicht des elektrisch aktiven Materials nur ein Gramm beiträgt
- **Preis:** Die Materialien sind im Vergleich zu Silizium günstig, da die aufwändige und teure Züchtung hochreiner Kristalle entfällt. Auch das Druckverfahren ist schnell, einfach und billig. Produzenten hoffen auf unter 15 Eurocent pro Watt elektrischer Leistung zu kommen (Vergleich: 40 Eurocent/Watt bei herkömmlicher siliziumbasierter Solarzellentechnik).
- **Wirkungsgrad:** Die Serienproduktion einer organischen Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von 13 % ist angekündigt. Noch liegt die Effizienz eines handelsüblichen anorganischen Solarmoduls deutlich darüber (bis 25 %). Zudem erreichten organische Solarzellen 2007 lediglich einen Wirkungsgrad von ca. 2 bis 3 %.
Forscher verweisen zudem auf eine vergleichsweise hohe Energieausbeute bei diffusem, schwachem Licht und bei großer Hitze – Bedingungen, die herkömmlichen Zellen zu schaden machen.
- **Lebensdauer:** Frühe organische Solarzellen hatten eine Lebensdauer von einigen 1.000 Sonnenstunden (das entspricht 220 Tagen im Raum Stuttgart). Das Problem ist die effektive Verkapselung der organischen Materialien. In Glas gepackte organische Solarmodule halten bis zu 15 Jahre, die relativ kleinen Moleküle der Oligomere selbst sogar mehr als 20 Jahre. Flexibel verkapselte Module dürften derzeit nur eine Lebensdauer von ca. fünf Jahren erreichen; mit einer Steigerung ist jedoch zu rechnen.