

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 100 (2009)
Heft: 5

Artikel: Organische Solarzellen
Autor: Häusermann, Roger / Ruhstaller, Beat
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-856374>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Organische Solarzellen

Wenn eine Plastikfolie zur Stromquelle wird

Organische Moleküle kennt man im Alltag als PET-Flaschen, Plastikverpackungen oder Gehäuse für Elektronikgadgets. Diese Polymere, die dem Strom gegenüber als Isolatoren auftreten, können leitfähig gemacht werden. Erste Bildschirme für Handys, die aus organischen LEDs bestehen, werden bereits verkauft, und die Industrie arbeitet an Schaltungen, die günstig auf Plastik gedruckt werden können. Die Forschung konzentriert sich nun immer stärker auf Solarzellen auf der Basis von organischen Molekülen. Denn die aktiven Schichten darin sind wesentlich dünner als bei den Solarzellen, die auf Silizium basieren, womit Material gespart werden kann und sich die Solarzelle sogar biegen lässt, wenn sie auf eine Plastikfolie aufgetragen wird.

Als vor über 30 Jahren das erste leitfähige Polymer synthetisiert wurde, war noch nicht klar, welchen Einfluss diese Entdeckung auf die Wissenschaft und Technik haben sollte. Auch heute, 9 Jahre nach der Verleihung des Chemienobelpreises an die

Roger Häusermann, Beat Ruhstaller

damals beteiligten Wissenschaftler, sind noch immer viele Fragen über die Mechanismen, die in diesen komplexen Molekülen eine Rolle spielen, ungeklärt. Erste elektrische Geräte, die teilweise organische Elektronik benutzen, werden seit wenigen Jahren kommerzialisiert, und verschiedene Industrieunternehmen treiben die Entwicklung weiter. Um die Vor- und Nachteile dieser neuen Technologie und auch die zukünftigen Möglichkeiten zu verstehen, wird im ersten Teil eine Einführung in die relevanten physikalischen Prozesse gegeben. Danach folgt ein Überblick über die verschiedenen Anwendungsgebiete, der mit der Beschreibung der organischen Solarzelle endet. Am Schluss wird ein Einblick in die Simulation von organischen Solarzellen gegeben.

Organische Halbleiter und Bauelemente

Organische Moleküle zeichnen sich dadurch aus, dass sie aus Kohlenstoff aufgebaut sind. Die Bezeichnung «organisch»

kommt daher, dass sich diese Kohlenstoffverbindungen auch in Lebewesen und Pflanzen wiederfinden. Die Vielfalt der uns umgebenden Natur spiegelt sich auch in der Vielfalt der möglichen organischen Moleküle wider, die je nach Anwendungsgebiet spezifisch synthetisiert und optimiert werden. Die gewünschten Eigenschaften können insbesondere bei den Polymeren dadurch erreicht werden, dass die Seitenarme je nach Wunsch durch zusätzliche Verbindungen angepasst werden. Bild 1 zeigt

zwei bekannte halbleitende Moleküle für organische Fotovoltaikzellen.

In unserem Alltag kennen wir organische Moleküle am besten als elektrische Isolatoren, sei es als Plastikgehäuse von elektrischen Geräten, PET-Flaschen oder Verpackungsmaterial. Die Entwicklung als leitendes Material begann in den 60er-Jahren des letzten Jahrhunderts. Die Untersuchungen zielten darauf ab, metallische Leitfähigkeit in den organischen Molekülen zu erhalten [1]. Erst später wurde untersucht, wie man elektrische Halbleiter aus organischen Molekülen herstellen kann. Schon Jahre vorher wurde erkannt, dass organische kristalline Verbindungen leuchten, wenn man sie mit einer Stromquelle verbindet und eine sehr hohe Spannung anlegt. Die spätere Entwicklung verschiedener Dünnschichttechnologien führte Ende der 80er-Jahre zu einer richtiggehenden Revolution auf diesem Forschungsgebiet.

Wenn wir uns fragen, wie es eigentlich sein kann, dass organische Moleküle Strom leiten, dann müssen wir ein bisschen näher auf die Chemie von organischen Verbindungen eingehen. Der Stromtransport kommt dadurch zustande, dass die Elektronen nicht fest an ein Atom gebunden sind, sondern sich relativ frei über mehrere Atomdurchmesser bewegen können. Der Bewegungsraum der Elektronen wird in der Chemie ein π -Orbital genannt. Wenn sich

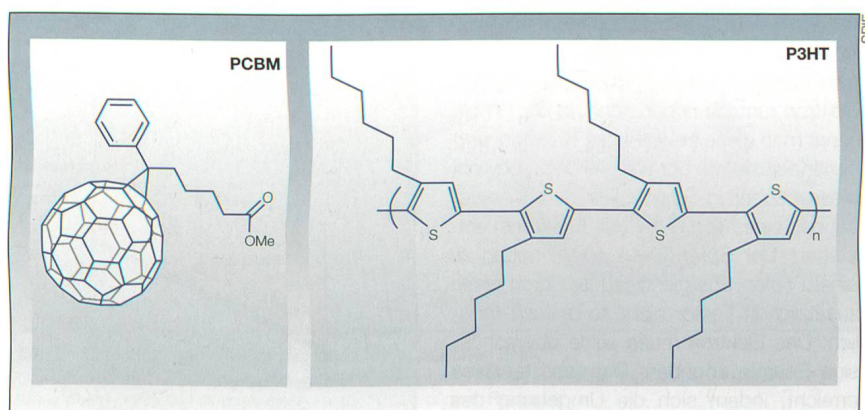


Bild 1 Halbleitende organische Moleküle.

Bei den halbleitenden organischen Molekülen wird zwischen kleinen Molekülen (z.B. PCBM) und Polymeren (z.B. P3HT) unterschieden. Die hier abgebildeten organischen Verbindungen werden für die organische Fotovoltaik verwendet. Links ein PCBM-Molekül, das aus einem C60-Fussballmolekül besteht und den Elektronentransport übernimmt [2]. Auf der rechten Seite ist ein P3HT-Polymer abgebildet, das der Absorption des Lichts und dem Transport der Löcher dient.

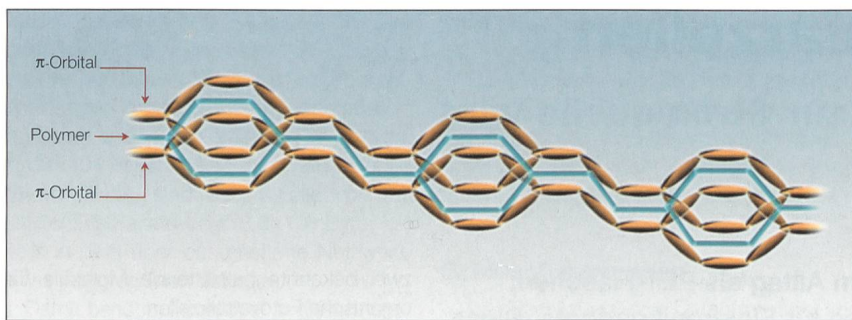


Bild 2 Delokalisiertes π-System.

Auf dem Polymer (blau) können sich Elektronen in delokalisierten π-Orbitalen (gelb) frei bewegen. Durch Anlegen eines elektrischen Feldes können so Ladungen transportiert werden.

nun mehrere solcher π-Orbitale überlappen, ergibt sich daraus ein delokalisiertes π-System, in dem sich durch Anlegen eines elektrischen Feldes einzelne Elektronen über das ganze Molekül hinweg bewegen können. Wenn die Überlappung dieser π-Systeme sogar zwischen verschiedenen Molekülen gegeben ist, kann Strom durch einen Festkörper fließen, der aus diesen Molekülen aufgebaut ist. Eine Illustration der π-Orbitale in Polymeren ist in Bild 2 gezeigt.

Da aber nicht nur Strom fließen soll, sondern die Wechselwirkung dieser Moleküle mit Licht wichtig ist, müssen wir die Beschreibung des Stromflusses präzisieren. Es gibt, einfach gesagt, zwei Energieniveaus, auf denen sich Elektronen bewegen können: ein hochenergetisches und ein niederenergetisches. Diese beiden Energieniveaus unterscheiden sich dadurch, dass sich die Elektronen in diesen beiden delokalisierten π-Systemen auf verschiedenen Molekülorbitalen bewegen. Da nun aber ein System meist schnell in den niedersten Energiezustand zurückkehren wird, wird ein Elektron, das sich auf dem hohen Energielevel befindet, auf das niederenergetische Energieniveau springen, sobald es dort einen freien Platz findet. Das niederenergetische Niveau ist aber schon stark mit Elektronen gefüllt, und daher gibt es nur wenige freie Plätze, auf die ein hochenergetisches Elektron runterspringen kann. In der Physik nennt man diese freien Plätze «Löcher» und behandelt sie wie normale Teilchen, obwohl diese Löcher in Realität nur durch Abwesenheit eines Teilchens (des Elektrons) entstehen. Der Sprung von einem hohen zu einem tiefen Energieniveau ist durch einen zusätzlichen Faktor nicht so einfach möglich: Das Elektron muss seine überschüssige Energie abgeben. Das wird teilweise erreicht, indem sich die Umgebung des Elektrons aufwärmt, das heißt, die Moleküle beginnen stärker zu schwingen. Der viel interessantere Mechanismus ist aber, wenn die überschüssige Energie durch ein Photon, also Licht, weggetragen wird. Das

bedeutet, dass die Elektronen des Materials mit Licht interagieren. Wenn man in einer organischen Schicht auf der einen Seite Elektronen in das höhere Energieniveau injiziert und auf der anderen Seite Elektronen aus dem tieferen Energieniveau herausnimmt, also Löcher injiziert, werden die höherenergetischen Elektronen, während sie durch die organische Schicht hindurchfließen, einen solchen Energiesprung durchführen und Licht emittieren. Die Funktionsweise dieser organischen Leuchtdioden ist in Bild 3 illustriert.

Organische LEDs (OLEDs)

Seit einigen Jahren werden immer mehr elektronische Kleingeräte wie Handys, MP3-Player und Fotoapparate, die auf einen kleinen Bildschirm angewiesen sind, nicht mehr mit LCD-Bildschirmen ausgeliefert, sondern mit OLED-Bildschirmen. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie viel dünner sind, was bei diesen kleinen Geräten sehr wünschenswert ist. Ein weiterer Vorteil ist, dass die einzelnen Farbpunkte im Bild von selbst leuchten und nicht auf eine weisse Hintergrundbeleuchtung angewie-

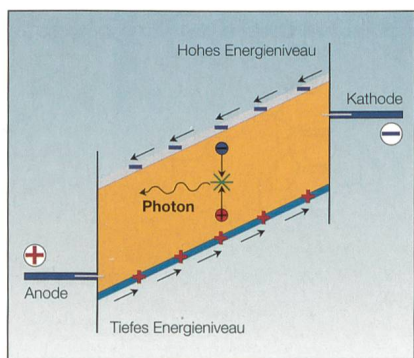


Bild 3 Energieschema in einer organischen Schicht.

Von der Anode werden Löcher und von der Kathode Elektronen in die organische Schicht injiziert. Wenn sich ein Elektron und ein Loch treffen, rekombinieren sie und emittieren ein Photon (Lichtteilchen).

sen sind. Dies erlaubt einen geringeren Stromverbrauch bei derselben Bildschirmhelligkeit, und die Bildqualität ist kaum vom Blickwinkel abhängig.

In den letzten Jahren bereiteten allerdings die kurzen Lebenszeiten der organischen Moleküle Probleme. Diese degradieren, wenn sie aufgrund ungenügender Verkapselung der Luft ausgesetzt sind, teilweise innerhalb weniger Stunden oder Tagen und emittieren nachher kein Licht mehr. Dieses Problem war umso grösser, je hochenergetischer die involvierten Prozesse waren. Das heißt, dass eine blau leuchtende Schicht meist schneller degradierte als eine rot leuchtende Schicht. Diese Probleme bestehen heute nicht mehr. Dank der intensiven Entwicklung in den verschiedenen Forschungslabors werden heute Betriebszeiten von mehreren 10000 Stunden erreicht, was meist länger ist als die Lebensdauer der restlichen Elektronik, die in einem solchen Gerät verbaut ist, und auch mehr als dem 10-Fachen der Lebensdauer einer Glühbirne entspricht.

OLEDs sind aber nicht nur für Bildschirme interessant, sondern auch zur Raumbeleuchtung. Dadurch, dass sie sehr dünn und grossflächig produziert werden können, ergeben sich neue Möglichkeiten für Designlampen aller Art. Ein weiterer Vorteil ist, dass OLEDs das Licht nicht durch einfaches Aufheizen eines Stoffes produzieren. Daher sind sie heute schon effizienter als die klassische Glühbirne. Einzelne Forschungsgruppen erreichen gar Effizienzen, die vergleichbar mit Leuchtstoffröhren sind.

Die Probleme liegen bei diesen zwei Anwendungen deshalb nicht mehr im Erreichen immer besserer Effizienzen. Die Herausforderung ist das Hochskalieren der erreichten Ergebnisse auf grossflächigere Bildschirme und Beleuchtungen unter Beibehaltung der erreichten Effizienz und Zuverlässigkeit, damit auch der Preis konkurrenzfähig zu den angestammten Technologien ist.

Organische Feldeffekttransistoren (OFETs)

Neben OLEDs sind OFETs eine weitere Art von elektronischen Bausteinen, die für die Forschung und Industrie interessant sind. Feldeffekttransistoren (FET) bilden in der heutigen Welt die Grundlage eines jeden Computers, Handys und MP3-Players. Was diese Bauteile so interessant macht, ist, dass man durch Anlegen einer Spannung am Gate den Stromfluss über einen zweiten Kanal steuern kann. Durch geschickte Kombination mehrerer Feldeffekttransistoren lassen sich logische Schaltungen bauen, die die Grundlage der heutigen Elektronik bilden.



Bild 4 Organische photovoltaische Zelle auf Plastiksubstrat.

Die Forschung in diesem Bereich fokussiert sich nicht so sehr darauf, dass man die konventionellen FETs in einem Computerprozessor durch organische ersetzt. Vielmehr geht es darum, durch einfachste Herstellungsverfahren sehr billige elektronische Schaltungen herzustellen, die in Nischenmärkten konkurrenzfähig sind. Einfach gesagt, ist man durch die Hoffnung getrieben, elektrische Schaltungen ähnlich billig wie eine Zeitung zu drucken.

Organische Fotovoltaik (OFV)

Nach den kommerziellen Erfolgen der OLEDs in den letzten Jahren ist das Feld der organischen Fotovoltaik (OFV) immer mehr ins Rampenlicht der Forschung gerückt. Gleichzeitig ist die Thematik der alternativen Energieherstellung immer wichtiger geworden. Die bereits etablierten Herstellungstechniken aus der OLED-Forschung können auch für die Herstellung von OFVs verwendet werden. Im Bereich der Fotovoltaik gibt es mehrere Technologien, die miteinander konkurrieren. In der folgenden Liste sind sie mit absteigendem Verbreitungsgrad aufgezählt:

- Kristalline Siliziumzellen
- Amorphe/mikrokristalline Siliziumzellen
- CdT-Zellen (Cadmiumtellurid)
- CIS-Zellen (Cadmium-Indium-Sulfid)
- Farbstoffsolarzellen
- Organische Fotovoltaik

Die obersten 4 Techniken sind klar der Inorganik zuzuschreiben. Die Farbstoffsolarzellen, die von Michael Grätzel vor 20 Jahren an der ETH in Lausanne entwickelt wurden, sind ein Spezialfall, da sie sowohl organische Moleküle für die Lichtabsorption als auch inorganische Halbleiter für den Ladungstransport verwenden, sie sind sogenannte Hybridzellen.

Die Frage ist nun, ob die organischen Fotovoltaikzellen konkurrenzfähig werden können. Momentan ist das schwierig abzuschätzen, da noch viel Forschung betrieben werden muss, bis die Physik gut genug verstanden ist, um die OFV-Zellen so weit zu optimieren, bis sie marktreif sind. Dennoch kann man die offensichtlichen Vorteile bereits jetzt sehen: Dadurch, dass die Materialien das Licht sehr stark absorbieren, reichen Schichtdicken von 100 nm, um

90% des ankommenden Lichts zu absorbieren. Die Strukturen sind somit um einen Faktor 1000 dünner als bei kristallinen Siliziumsolarzellen und immer noch um einen Faktor 10 bis 100 dünner als bei den anderen vorgestellten Techniken. Dies spart Material und Kosten bei der Produktion.

Ein weiterer Vorteil dieser dünnen Schichten liegt darin, dass beim Verbiegen die auftretenden Kräfte kleiner sind und es daher viel weniger zu Beschädigungen der organischen Schicht kommen kann. Dadurch kann man diese OFV-Zellen auf Plastiksubstrate aufbringen, was die Herstellungs- und Installationskosten stark senken könnte. Kalowekamo et al. [3] führten eine Abschätzung aller Investitions-, Produktions- und Personalkosten durch und kommen zum Schluss, dass die organische Fotovoltaik das Potenzial hat, billiger Strom zu produzieren als die anderen Techniken. Um aber nicht nur mit anderen Solarzellentechniken konkurrieren zu können, sondern auch mit den angestammten Stromproduktionstechniken, braucht es gemäss Kalowekamo Fortschritte im Bereich der Langzeitstabilität (über 20 Jahre) und der Effizienzen (über 10–15%). Ob und wann dies erreicht wird, ist im Moment noch nicht klar. Aber die Forschung macht jedes Jahr Fortschritte in der Effizienz und der Langzeitstabilität.

Die grösste Effizienz, um die 5% [4], wird momentan mit sogenannten Bulk-Heterojunction-Zellen erreicht. Dieser Zelltyp ist in Bild 5 illustriert. Die Licht absorbierende

Schicht besteht dabei nicht aus einem homogenen Material, sondern es werden zwei Materialien gemischt und gleichzeitig aufgebracht. Die beiden Materialien sind dafür optimiert, Elektronen oder Löcher zu transportieren. Aber auch die Grenzschicht zwischen diesen beiden Materialien ist wichtig, da diese dafür zuständig ist, die Elektronen und Löcher zu trennen. Ein absorbiertes Photon generiert in organischen Solarzellen nicht direkt freie Ladungsträger, sondern es entsteht zuerst ein Zwischenzustand, genannt Exziton, bei dem sich das Elektron und das Loch noch gemeinsam fortbewegen. Wenn dieses Exziton nicht schnell genug aufgetrennt wird, rekombiniert das Elektron wieder mit dem Loch, und die Energie geht verloren. Die Bulk-Heterojunction-Zelle hat nun den Vorteil, dass durch das Mischen dieser beiden Materialien überall in der aktiven Schicht eine Grenzschicht in der Nähe ist und daher die Chance zur Auftrennung des Exzitons erhöht wird.

Daneben gibt es die planare Heterojunction-Zelle, bei der, wie der Name schon sagt, zuerst das eine Material und dann das andere aufgebracht wird. Dadurch entsteht eine planare Grenzschicht. Beide Techniken werden in der Forschung vorangetrieben.

Erkenntnisse aus der Simulation

Um solche Systeme wie organische Solarzellen zu verstehen und zu optimieren, werden vermehrt Computersimulationen

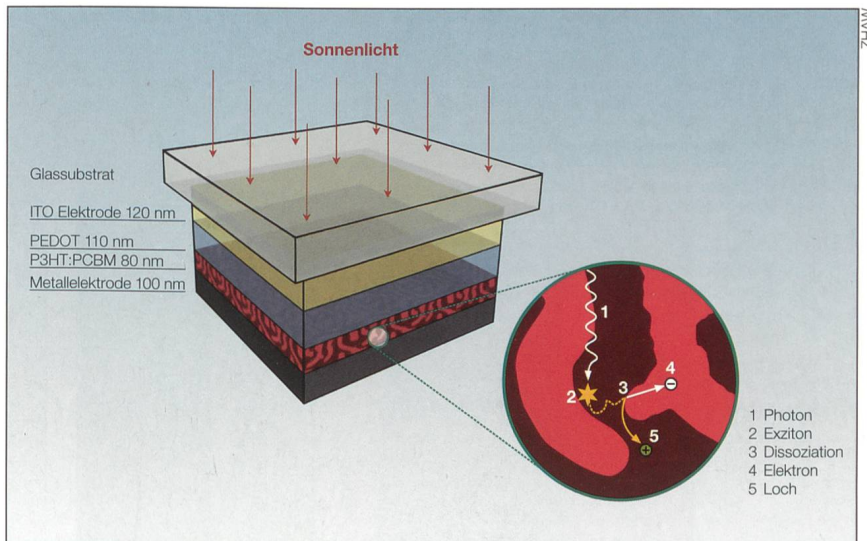


Bild 5 Schichtaufbau einer organischen photovoltaischen Zelle.

Das Glassubstrat ist in diesem Schema viel dünner gezeichnet als in Realität. Die Glasdicke beträgt 1 mm, alle anderen Schichten sind um einen Faktor 10000 dünner. Prozesse:

1. Photonen dringen von oben in die Solarzelle ein.
2. Wenn ein Photon absorbiert wird, entsteht ein Exziton – eine Verbindung zwischen einem Loch und einem Elektron.
3. Das Exziton diffundiert zu einer Materialgrenzfläche und dissoziiert in ein freies Elektron und ein freies Loch.
4. Das Elektron bewegt sich auf den PCBM-Molekülen und wandert unter dem Einfluss des elektrischen Felds zur Elektrode.
5. Das Loch verbleibt auf dem P3HT-Polymer und wandert zur anderen Elektrode.

ausgeführt. Zwar kann man für die einzelnen physikalischen Mechanismen oft eine analytische Gleichung angeben, die diesen Mechanismus beschreibt. Um aber das komplexe Zusammenspiel all dieser Prozesse zu beschreiben, braucht es die Unterstützung von Computern. Dies wird umso wichtiger, wenn man bestehende Solarzellen analysieren und verbessern will. Dazu braucht es eine Analyse der verschiedenen Verlustkanäle, um zu ermitteln, durch welche Mechanismen wie viel Energie verloren geht, um diese spezifisch zu verbessern.

An der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) am Institute of Computational Physics (ICP) entwickelt ein Team von Physikern, Mathematikern und Ingenieuren numerische Methoden und wendet diese an, um gekoppelte physikalische und chemische Systeme und Prozesse zu modellieren. Ein Teil der Forschung findet im Bereich der organischen Elektronik statt. Vor einigen Jahren begann Beat Ruhstaller am ICP eine Software zu entwickeln, die sowohl optische als auch elektrische Simulationen von OLEDs ermöglicht.¹⁾ Da die Prozesse in einer organischen Solarzelle und einer OLED in grossen Bereichen dieselben sind – anstatt Licht durch Strom zu erzeugen (OLED), wird Strom durch einfallendes Licht erzeugt (OFV) – war es naheliegend, die Software für OFV-Simulationen zu erweitern. In einem internationalen Projekt mit akademischen und industriellen Partnern versuchen wir die

numerische Simulation von OFVs weiterzuentwickeln und Erkenntnisse für die Effizienzsteigerung zu gewinnen. Dabei werden Simulationsergebnisse mit Messdaten verglichen, um insbesondere zu verstehen, wo die grössten Verluste auftreten und wo die physikalischen Prozesse noch nicht genügend geklärt sind.

Ein Durchlauf einer Simulation beginnt mit einer optischen Berechnung, die das Bestrahlungsspektrum, die Brechungsindizes und die Schichtdicken berücksichtigt. Ein Ergebnis ist in Bild 6 dargestellt. Das obere Bild zeigt die Berechnung der Intensität des Lichts innerhalb der verschiedenen Schichten. Daraus wird ersichtlich, dass die Intensität nicht exponentiell von links nach rechts abfällt. Dies hängt damit zusammen, dass die einzelnen Schichten etwa 100 nm dick sind, was nur etwa einem Fünftel der Wellenlänge des Lichts im sichtbaren Bereich entspricht. Durch diesen extrem dünnen Aufbau und da Licht eine Welle ist, kommt es dazu, dass das Sonnenlicht, das in die OFV eintritt und an der Aluminiumelektrode reflektiert wird, mit sich selbst interferieren kann. Dadurch bilden sich die Spitzen in der Intensität in Bild 6. Wenn man eine solche optische Simulation für jede Wellenlänge des Lichts durchrechnet und mit dem jeweiligen Absorptionskoeffizienten des Materials multipliziert, kann man berechnen, wie viele Photonen an jedem Punkt innerhalb der OFV absorbiert werden (Bild 6 unten). Nimmt man nun an, dass in der aktiven Schicht (P3HT:PCBM) alle absorbierten Photonen ein freies Elektron und Loch erzeugen, die ohne weitere Verluste zu den Elektronen geführt werden können, lässt sich berechnen, wie gross der maximal erzeugbare Strom ist.

Eine vollständig gekoppelte optisch-elektrische Simulation verknüpft das Ab-

und

und

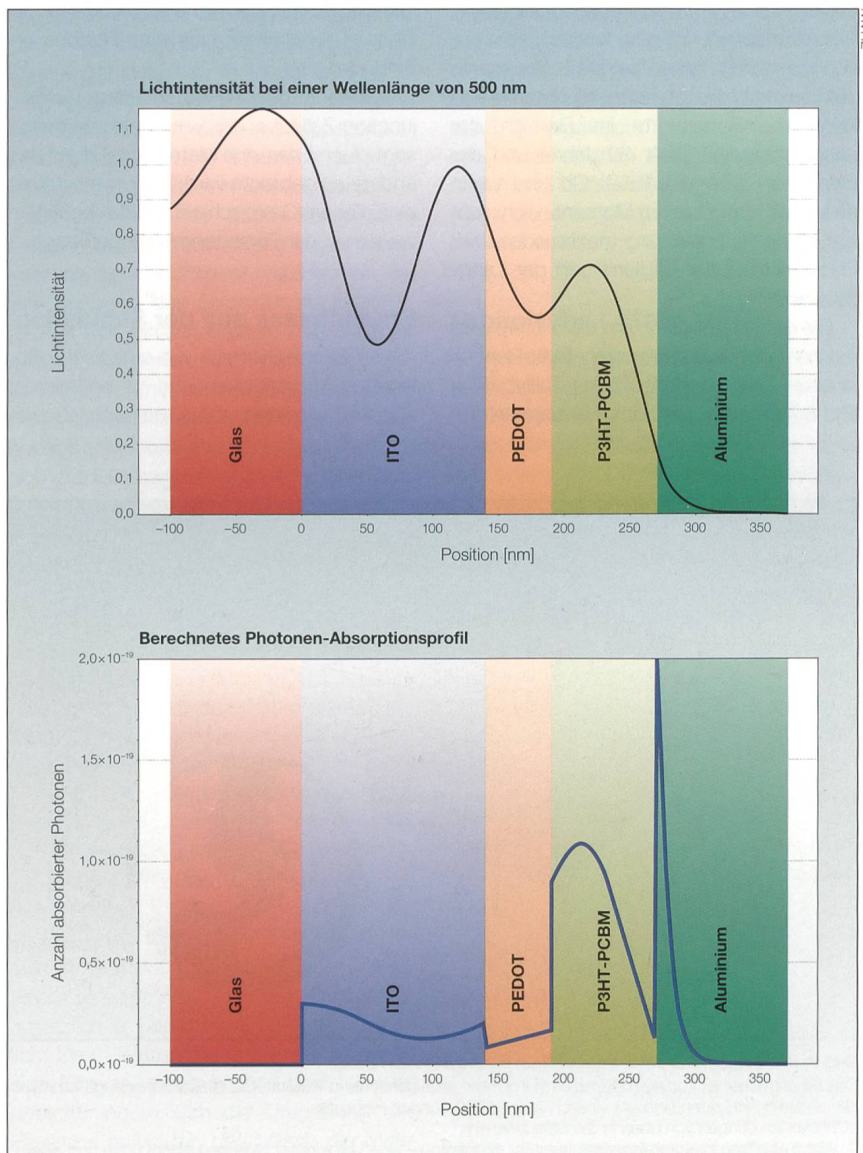


Bild 6 Optische Simulation einer photovoltaischen Zelle.
 Auf der x-Achse ist die Position innerhalb der OFV aufgetragen (in nm). Das Sonnenlicht tritt von links in das Schichtsystem ein. Oben ist die Berechnung der Lichtintensität innerhalb der OFV-Schichtstruktur gezeigt. Die Photonen werden abhängig von ihrer Position innerhalb der Schichtstruktur absorbiert (unten).

Tagungshinweis

Im Rahmen der Electrosuisse-Tagungstrilogie «Elektronik der Zukunft» findet am Donnerstag, 2. Juli, an der ZHAW in Winterthur die Tagung mit dem Thema «Organische Elektronik» statt. Forschende aus der Industrie und den Hochschulen stellen ihre Forschungsgebiete in Referaten vor und geben einen Einblick in die Grundlagen sowie Anwendungen dieser erfolgreichen Technologie. Teilnehmer lernen dabei führende Experten aus der Schweiz und Europa kennen. Mehr Informationen über das Tagungsprogramm und ein Anmeldeformular finden sich im Internet unter www.electrosuisse.ch/itg.

fachbeiträge

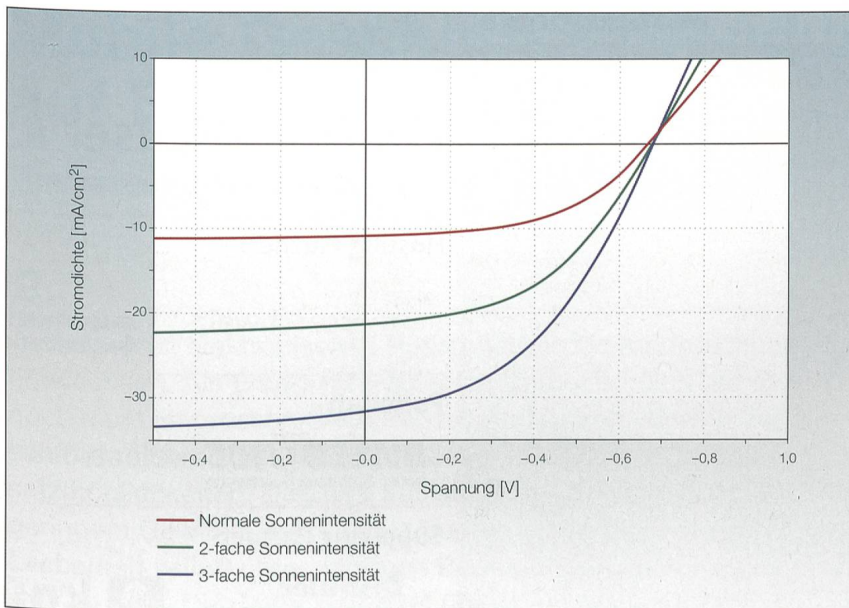


Bild 7 Simulation von intensitätsabhängigen Stromspannungskurven.

sorptionsprofil (Bild 6 unten) mit den Transportgleichungen. Diese Gleichungen beschreiben, wie Exzitonen diffundieren, in freie Ladungsträger aufgetrennt werden und diese Ladungsträger im elektrischen Feld den Strom erzeugen. Eine solche Simulation führt zu Strom-Spannungskennlinien, wie sie in Bild 7 gezeigt sind. Bei diesen Kurven wurde nicht nur die angelegte Spannung an einer OFV variiert, son-

dern zusätzlich auch die Beleuchtungsintensität in drei Schritten. Durch eine derartige Variation der physikalischen Parameter werden deren Einflüsse auf die Kennlinien untersucht. Es zeigt sich, dass sich zum einen die Effizienz durch geeignete Wahl von Schichtdicken und Schichtfolgen optimieren lässt. Zum anderen geben die elektrischen Simulationen Hinweise, wie die Materialien optimiert werden müssen, um

Résumé

Des cellules solaires organiques

Quand une feuille de plastique devient cellule solaire. Au quotidien, on connaît les molécules organiques sous forme de bouteilles en PET, d'emballages en plastique ou de boîtiers pour appareils électroniques. Ces polymères isolants pour le courant électrique peuvent être rendus conducteurs. De premiers écrans à LEDs organiques pour téléphones mobiles sont déjà en vente et l'industrie travaille déjà sur des circuits pouvant être imprimés à peu de frais sur matière synthétique. La recherche se concentre de plus en plus sur des cellules solaires à base de molécules organiques. En effet, les couches actives y sont beaucoup plus minces que dans les cellules solaires à base de silicium, ce qui permet d'économiser du matériau et même d'obtenir des cellules solaires flexibles déposées sur une feuille de plastique.

die Effizienz und andere Kenngrößen zu verbessern.

Wie in diesem Artikel beschrieben, hat die organische Elektronik im Teilbereich der OLEDs den Sprung vom Forschungslabor in die industrielle Anwendung geschafft. Das nächste grosse Feld, das im Moment von der Forschung untersucht wird, ist der Bereich der organischen Fotovoltaik. Hier kann in den nächsten Jahren mit einer beschleunigten Entwicklung gerechnet werden. Die Zukunft in der Forschung im Bereich der organischen Fotovoltaik geht stark in Richtung interdisziplinärer Teams, in denen neben experimentalphysikalischen Techniken vermehrt Computersimulationen zum Einsatz kommen, um bestehende Solarzellen zu verstehen und zu verbessern.

Referenzen

- [1] C. K. Chiang et al.: Electrical conductivity in doped polyacetylene. *Phys Rev Lett* (1977) vol. 39 (17).
- [2] Sariciftci et al.: Photoinduced Electron Transfer from a Conducting Polymer to Buckminsterfullerene. *Science* (1992) vol. 258.
- [3] J. Kalowekamo, E. Baker: Estimating the manufacturing cost of purely organic solar cells. *Solar Energy*, 2009.
- [4] Green et al.: Solar cell efficiency tables (version 33). *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 2009, vol. 17 (1).
- [5] Setfos Software, Fluxim AG, www.fluxim.com.

Angaben zu den Autoren

Roger Häusermann hat an der ETH Zürich Experimentalphysik studiert und führt seit 2008 am ICP der ZHAW zusammen mit der ETH Zürich eine Doktorarbeit über die Simulation von organischen Solarzellen durch.

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 8401 Winterthur, haro@zhaw.ch, www.icp.zhaw.ch

Prof. Dr. **Beat Ruhstaller** hat an der ETH Zürich Experimentalphysik studiert und an der University of California Santa Cruz (USA) eine Doktorarbeit über OLEDs geschrieben. Danach arbeitete er am IBM-Forschungszentrum in Rüschlikon an OLED-basierter Flachbildschirmtechnik. Seit 2002 ist er Mitarbeiter am ICP der ZHAW und führt die Forschungsgruppe organische Elektronik. Er ist Gründer der Fluxim AG und seit 2007 Institutsleiter des ICPs.

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 8401 Winterthur, ruh@zhaw.ch, www.icp.zhaw.ch

¹⁾ Diese Software wird seit 2006 kommerziell von Fluxim vertrieben, einer Spin-off-Firma des ICPs der ZHAW [5].

Anzeige

ECG – PARTNER DER
ENERGIEWIRTSCHAFT

ECG

THE ENERGY CONSULTING GROUP

www.the-ecgroup.com

Wir bilden Ideengeneratoren aus.

Mit der Nachwuchsförderungs-
Bewegung darwin21 engagieren
wir uns für eine ideenreiche neue
Generation von Fachleuten, die
unsere Welt weiterbringt.

www.darwin21.org

Presenting Partner:

Endress+Hauser 

People for Process Automation

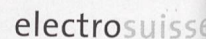
Hosting Partner:

 **messe schweiz**

 **go
automation
technology**

Patronat:

 **swissT.net**
swiss technology network

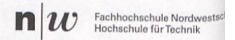
 **electrosuisse**

Supplying Partner:

 **Distrelec**

 **knür**
environments for elect

 **PHENIX
CONTACT**
INSPIRING INNOVATIONS

 **n|w** Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Supporter:

 **Baumer**

 **Rexroth**
Bosch Group

 **ifm electronic** –
close to you!
www.ifm-electronic.ch

 **SIEMENS**

 **SMC**®

Teams:

■ Babel

Hochschule Luzern –
Technik & Architektur
Phoenix Contact AG

■ Big Boss

SUPSI
KUKA Roboter Schweiz AG
STEMMER IMAGING AG

■ Bacchus

Ecole d'ingénieurs et
d'architectes de Fribourg
Hochschule für Technik und
Architektur Freiburg
Saia-Burgess Controls AG

■ Billy Boy

AVIL, BBZ, Wibilea
Weidmüller Schweiz AG

■ Bajazzo

Berner Fachhochschule
Technik und Informatik
Beckhoff Automation AG

■ Bodo

Höhere Fachschule für
Technik des Kantons
Solothurn HFT-SO
Distrelec – Bereich der
Dätwiler Schweiz AG

■ Balbo

HFTbiel – Höhere Fachschule
für Technik Biel
Siemens Schweiz AG

■ Borex

HSR – Hochschule für Tech
Rapperswil, IMA
Bosch Rexroth Schweiz AG

■ Balu

Berufsakademie Karlsruhe
Endress+Hauser Flowtec AG

■ Bruce

FHNW - Fachhochschule
Nordwestschweiz, Institut
für Automation
Sick AG

■ Ben Hur

Gewerblich-industrielle
BERUFSFACHSCHULE LIESTAL
Endress+Hauser Flowtec AG

■ Buster

FHNW - Fachhochschule
Nordwestschweiz, Institut
für Automation
ifm electronic ag

■ Berni

MSW Winterthur
SMC Pneumatik AG