

Vida Engmann

Wie werden auch organische Solarzellen mit Hilfe von Antioxidantien immun?

In den letzten Jahrzehnten ist das Bewusstsein gewachsen, dass wir in einem fragilen Ökosystem mit begrenzten Ressourcen leben. Im 20. Jahrhundert haben wir verschiedene Energieformen übernutzt – insbesondere fossile Brennstoffe. Dies ist nicht nachhaltig und wird für zukünftige Generationen ein großes Problem darstellen, da fossile Brennstoffe nicht recycelt werden können, nur in begrenzten Mengen existieren und ihre Anwendung zu einem starken Anstieg der CO₂-Emissionen führen. Eine der Lösungen für dieses Problem besteht darin, Energiesparmaßnahmen mit der Entwicklung neuer erneuerbarer Energietechnologien zu kombinieren. Die Sonne ist eine sichere Wahl, die uns problemlos mit der gesamten benötigten Energie versorgen kann. Die Solarzellen, die wir heute zur Gewinnung der Sonnenenergie verwenden, haben jedoch eine Vielzahl von Einschränkungen, die organische Solarzellen nicht haben.

merkete, Sonnenlicht zu absorbieren, definieren. Je länger die Kette, desto mehr Sonnenlicht kann sie aufnehmen. Dadurch können Polymerketten große Lichtmengen absorbieren, selbst wenn sie nur wenige Nanometer dick und zudem ultraleicht sind. Diese Eigenschaft ermöglicht es auch, organische Solarzellen transparent und biegsam zu machen und in nahezu jede beliebige Struktur zu bringen. Gleichzeitig haben sie das Potenzial zur Massenproduktion in einem einfachen, kontinuierlichen und kostengünstigen Druckverfahren.

Dies hat es in den letzten Jahrzehnten zu einem äußerst beliebten Forschungsgebiet gemacht. Dank ihrer Flexibilität können Polymersolarzellen in einem breiten Anwendungsspektrum eingesetzt werden; z. B. in der Automobilindustrie, in gebäudeintegrierten Materialien, mobilen Geräten, Landwirtschaft und Industriedesign etc. Im Gegensatz zu den derzeit kommerziell erhältlichen starren Siliziumsolarzellen können OPV-Solarmodule ausgerollt oder in Dächer, Fassaden und andere Flächen integriert werden. Die Herstellung von Solarzellen der ersten und zweiten Generation erfordert hohe Produktionstemperaturen und ist sehr energieintensiv, während organische Solarzellen auf Polymerbasis bei niedrigen Temperaturen hergestellt werden können. Die Produktion kann bis in den industriellen Maßstab hochskaliert werden, wodurch ihre „Energie-Amortisationszeit“ deutlich geringer ist als bei anderen erneuerbaren Energietechnologien (die Herstellung der Zellen kostet im Verhältnis zu ihrer Energieausbeute am wenigsten Energie). Gleichzeitig sind organische Solarzellen die umweltfreundlichste alternative Energietechnologie mit einem CO₂-Fußabdruck von nur 0,01 kg CO₂ pro kWh [1].

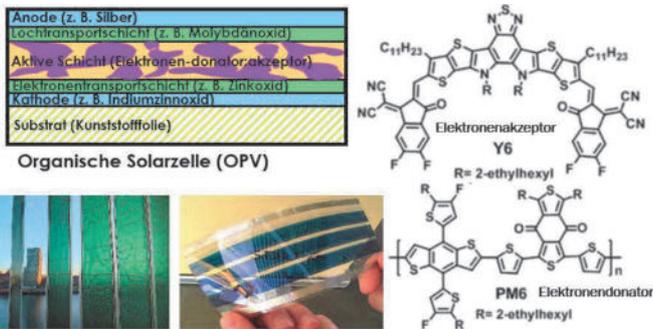


Abb. 1: Der Schichtstapel einer organischen Solarzelle (OPV), die Strukturen modernster Aktivschicht-Moleküle, und das OPV-Produkt "Suncurtain" von Armor Group (<http://de.asca.com>) und die OPV-Zellen aus unserem Labor.

Polymersolarzellen (OPV-Zellen) werden aus kostengünstigen, umweltfreundlichen Materialien hergestellt. Sie bestehen aus langen Polymerketten (Ketten aus sich wiederholenden Molekülen auf Kohlenstoffbasis) und im Gegensatz zu Kunststoff, Kleidung und Möbelpolstern, die ebenfalls aus langen Polymerketten bestehen, besitzen diese speziellen Polymerketten die Fähigkeit, Strom zu leiten. Diese Fähigkeit kommt von der Struktur der Polymerketten, die über die gesamte Länge der Kette aus abwechselnden Einfach- und Doppelbindungen bestehen. Darüber hinaus sind die Ketten mit sogenannten aromatischen Ringen ausgestattet, die die Fähigkeit der Poly-

Die organischen Solarzellen kommen jedoch nicht ohne ihre eigenen Probleme. Wenn die Solarzellen unter optimalen Lichtverhältnissen und in einer sauerstofffreien Umgebung gehalten werden, funktionieren sie sehr gut mit hohem Wirkungsgrad (der neue Rekord liegt bei 18,3 %, nahe an den 20 %, der seit mehreren Jahren der Standard für die kommerziellen, anorganischen Solarzellen ist) [2]. Werden sie wiederum gleichzeitig UV-Licht und Sauerstoff ausgesetzt, sinkt der Wirkungsgrad und damit auch der erzeugte Strom, was eine Herausforderung für die OPV Technologie darstellt [3]. Denn wenn die Polymerketten das UV-Licht absorbieren, werden sie zerstört, was die Lichtabsorptionsfähigkeit der Ketten verringert, und dies führt zu einer Verringerung des durch Licht erzeugten Stroms. Außerdem entstehen beim Aufbrechen der Polymerketten freie Radikale, die die Elektronen stark anziehen, die dann nicht in Strom umgewandelt werden können. Diese Radikale können auch mit Sauerstoff in der Umgebung reagieren und so das Material oxidieren und seine chemischen Eigenschaften verändern. Ein wichtiger Schwerpunkt für Wissenschaftler ist es

Dr. rer. nat. Vida Engmann
Mads Clausen Institut
Süddänische Universität
Alision 2, DK-6400 Sønderborg
engmann@mci.sdu.dk
DOI-Nr.: 10.26125/wbve-f437

daher, die Stabilität organischer Solarzellen zu erhöhen. Es ist unmöglich zu vermeiden, dass Sauerstoff in das System gelangt, aber wir können verschiedene Lösungen entwickeln, die die Zersetzung von Solarzellen verlangsamen, damit sie ihren hohen Wirkungsgrad länger behalten.

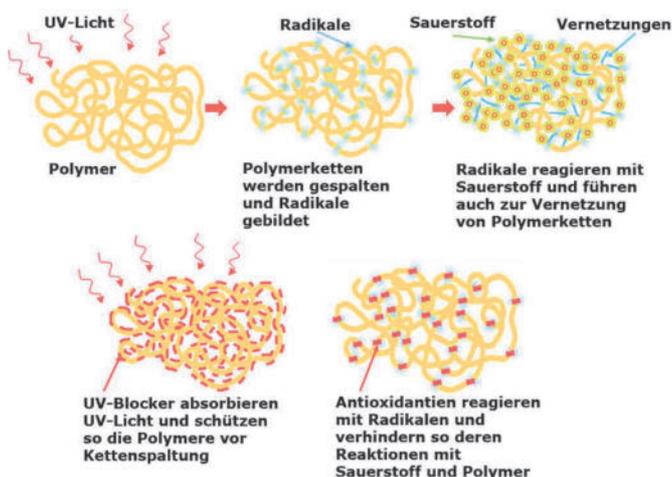


Abb. 2: Die Polymere in organischen Solarzellen werden durch UV-Strahlung abgebaut, wodurch freie Radikale gebildet werden, die mit dem Polymer und den in die Solarzelle eindringenden Sauerstoffatomen reagieren. Dies führt zur Vernetzung und Oxidation der Polymerketten. Diese Abbauprozesse können durch die Zugabe von Molekülen verhindert werden, die als UV-Blocker und Antioxidantien wirken.

die auch in Sonnenschutzmitteln enthalten sind und die Haut vor den schädlichen UV-Strahlen der Sonne schützen. Diese Materialien sind sehr gut geeignet, um den UV-Anteil des Sonnenlichts zu absorbieren und so die verbleibenden Schichten in den Fotozellen zu schützen. Auf diese Weise wird das UV-Licht absorbiert und als Wärme abgegeben, während die Polymerketten vor dem Brechen bewahrt werden. Eine andere Art von Material sind Antioxidantien, die oft in Hautpflegeprodukten zu finden sind (z. B. Anti-Aging Cremes). Diese Materialien sind wirklich gut, um schnell mit den freien Radikalen in den Polymeren (und in unserer Haut) zu interagieren und weitere Schäden an den aktiven Schichten der Solarzellen zu verhindern. Allerdings besteht das Problem, dass Solarzellen im Gegensatz zur Haut ihre elektrischen und optischen Eigenschaften behalten müssen, damit sie Licht absorbieren und in Strom umwandeln können. Daher dürfen die Materialien, die wir in den Fotozellen einsetzen, die Funktion der Solarzellen in keiner Weise beeinträchtigen. In unseren Studien haben wir eine Methode entwickelt, um Materialien zu screenen und auszuwählen, die die Funktion von Solarzellen nicht beeinflussen. Mit dieser Methode haben wir die Stabilität verschiedener organischer Solarzellensysteme deutlich verbessert. Unsere Testsolarzellen haben die Stromausbeute um den Faktor 10 gesteigert, was bisher Weltrekord ist. Derzeit entwickeln wir diese Methode zur multifunktionalen Stabilisierung weiter, die gleichzeitig z.B. die mechanische als auch die photooxidative Stabilität umfasst [4].

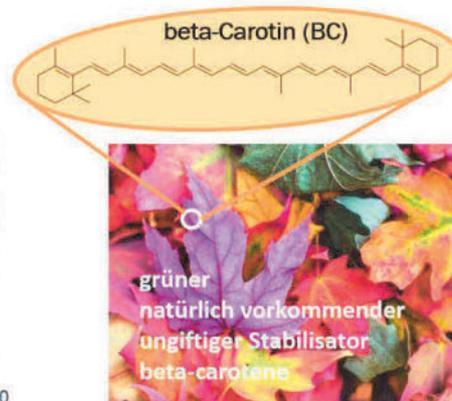
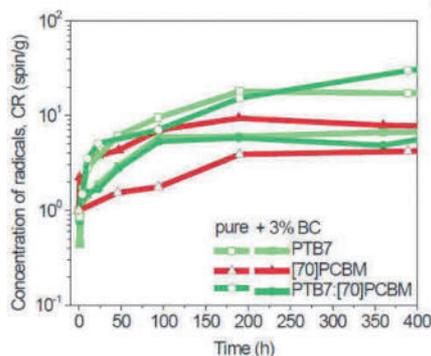
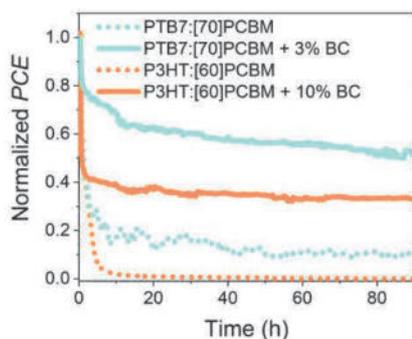


Abb. 3: Langzeitstabilität von PTB7:[70]PCBM Referenzsolarzellen (ohne Stabilisatoren), und stabilisiert mit Beta-Carotin. Die verlängerte Lebensdauer wird auf die starke Auslöschung von Singulett Sauerstoff und seiner Präkursor (Tripletzustand von [70]PCBM Moleküle) zurückgeführt. Reprinted with permission from Ref. [4b] Copyright 2019 American Chemical Society.

Die von mir entwickelte Methode zur Reduzierung der Degradation organischer Solarzellen wird als „Additiv-unterstützte Stabilisierung“ bezeichnet. Dabei werden stabilisierende Moleküle zwischen Elektronendonator und Elektronenakzeptormolekülen in die aktiven Schichten der Solarzellen gemischt. Die Rolle dieser Elemente besteht darin, den photooxidativen Stress, der zum Aufbrechen der Polymerketten und zur Bildung freier Radikale führt, zu verhindern oder zumindest zu reduzieren. Von uns verwendete Moleküle sind UV-Absorber,

Referenzen

- [1] Krebs F.C. et al., *Adv. Mater.* 2014, **26**, 29-39
- [2] Liu Q. et al., *Sci. Bull.* 2020, **65**, 272-275
- [3] Wang Y. et al., *Adv. Energy Mater.* 2021, **11**, 2003002
- [4] a) Prete M. et al., *J. Mater. Chem. C* 2021, <https://doi.org/10.1039/D1TC01544C> (just published);
b) Turkovic V. et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2019, **11**, 41570;
c) Turkovic V. et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2014, **6**, 18525

Vida Engmann

Mein Forschungsschwerpunkt der letzten 13 Jahre liegt in der Degradation und in Langzeitstabilitätsstudien von organischen und Perowskit-Solarzellen, mit Fokus auf Charakterisierung und Stabilisierung. Mein Ziel ist es, durch die Entwicklung grüner, erneuerbarer Energietechnologien zur Lösung der globalen Umwelt- und Klimaherausforderungen beizutragen. Ich habe die additiv-unterstützte photochemische Stabilisierung von organischen Solarzellen (OPV) entwickelt und war eine der Mitwirkenden an den Ringversuchen, die die Lebensdauer und die ISOS-Protokolle für Stabilitätstests von Perowskit-Solarzellen (PSC) neu definiert.



Als Kind war ich schon immer fasziniert von Bibliotheken mit ihren alten hohen Räumen mit endlosen Reihen von Büchern, die alle darauf warten, geöffnet zu werden, um mich in einen anderen spannenden und unbekanntem Raum zu entführen – mathematische Rätsel, japanische Buchstaben, chemische Reaktionen und die griechische Mythologie gehörten zu den beliebtesten. Das Interesse an angewandten Naturwissenschaften hielt im Laufe der Zeit an und führte mich schließlich zum Praktikum in einem Labor für organische Photovoltaik, wo ich mich in die ungewöhnliche Welt der Polymere verliebte. Seitdem stoße ich immer wieder auf neue spannende Fragen, die ich herausfinden möchte, und so bin ich in der Wissenschaft geblieben. Während meiner Promotion an der TU Ilmenau habe ich vier Jahre lang am Projekt EOS gearbeitet, einem industrienahen Projekt, das vom Bundesministerium (BMBF) gefördert wird mit dem Ziel, innovative Polymersolarzellen für energieautarke Systeme zu entwickeln. Dies gab mir das Privileg, mit weltführenden OPV-Unternehmen wie Merck und Konarka (jetzt Armor-Group) zusammenzuarbeiten und neuartige Hochleistungsmaterialien zu untersuchen. Obwohl die state-of-the-art Materialien immer effizienter wurden, war ihre Degradation unter normalen Arbeitsbedingungen alarmierend. Deshalb habe ich mich in meiner Dissertation, für welche ich das Thüringer Landesgraduiertenstipendium erhielt, auf die Untersuchung der Abbaumechanismen verschiedener OPV-Systeme mit dem Fokus auf die Stabilisierung ihres langzeitigen Wirkungsgrads konzentriert.

In 2014 zog ich an die Süddänische Universität, wo ich seit 2020 als Associate Professor angestellt bin.

Im Jahr 2015 erhielt ich den Individual Postdoc Grant des Unabhängigen Forschungsfonds Dänemark für die Untersuchung der Stabilisierung von OPV-Zellen mit Stabilisatormolekülen. In dem von ACS Applied Materials and Interfaces veröffentlichten Artikel „Long-Term Stabilization of Organic Solar Cells Using Hindered Phenols as Additives“ demonstrierte ich erstmals die additiv-unterstützte Stabilisierungsmethode, bei der durch Zugabe von sorgfältig ausgewählten stabilisierenden Antioxidantien und Radikalfängern der photooxidative Abbau in OPV drastisch reduziert wird, ohne den Wirkungsgrad zu opfern. Weitere Studien zu verschiedenen Additivklassen führten zu mehreren veröffentlichten Artikeln zu diesem Thema. Der Artikel im IOP Journal of Physics D wurde in 2016 zum Highlight des IOP erklärt.

Diese neuen Erkenntnisse bildeten die Grundlage für ein zweites von mir initiiertes Projekt, das von Villum Fonden, einer privaten dänischen Stiftung für Grundlagenforschung, finanziert wurde. Hier liegt der Fokus auf der Untersuchung, wie die Flexibilität und Schichtkohäsion der organischen Solarzellen unter Photooxidationsbedingungen erhöht werden kann, was für Rolle-zu-Rolle Hochskalierung von besonderer Bedeutung ist. Unsere Ergebnisse wurden bisher in drei Artikeln veröffentlicht. Der 2021 Artikel war ein eingeladener Beitrag in der „Emerging Investigator“ Sonderausgabe des Journal of Materials Chemistry C.

In 2019 habe ich ein Übersichts-kapitel über meine Methode in der „World Scientific Reference of Hybrid Materials“, und über die Erweiterung meiner Methode auf neuartige NFA-organische und Perowskit-Zellen im „Emerging Strategies to Reduce Transmission and Thermalization Losses in Solar Cells“ von Springer Nature geschrieben. In 2019 erhielt ich den prestigeträchtigen L'Oréal UNESCO For Women In Science Preis, und wurde in 2020 als eine der 15 internationalen Preisträgerinnen des L'Oréal-UNESCO 2020 International Rising Talent Prize ausgewählt.

Im Laufe der Zeit habe ich Erfahrungen aus mehreren internationalen Forschungsaufenthalten (z. B. an der Uppsala University, der University of Colorado, Boulder, und dem Institut für Probleme der Chemischen Physik der Russischen Akademie der Wissenschaften gesammelt, und ein internationales Netzwerk von Forschungspartnern aufgebaut. Ich habe mich auch an der EU-COST-Aktion StableNextSol beteiligt, durch die ich an einer Reihe von Experimenten beteiligt war, die sich auf das Verständnis der reversiblen und irreversiblen Prozesse in Perowskit-Solarzellen konzentrierten. Diese haben zu aufregenden neuen Erkenntnissen

geführt, die in renommierten Zeitschriften veröffentlicht wurden. Im Jahr 2020 war ich Mitverfasser eines internationalen Konsens über die Bewertung von Perowskit-Solarzellen, die im Nature Energy erschien.

Anfang dieses Jahres wurde mir das renommierte Young Researcher Fellowship der Carlsberg Foundation für die Gründung meiner eigenen Gruppe, die sich auf die Synthese eines künstlichen Chloroplasten fokussieren wird, erteilt. Dafür werden wir Nanopartikeln, bestehend aus konjugierten Elektronendonator:NFA-Akzeptor:Antioxidantien, synthetisieren. Diese Nanopartikel werden photosynthetische Prozesse auf die gleiche Weise ermöglichen, die die Natur so feinsinnig perfektioniert hat, und auf diese Art ein effizientes und stabiles Materialsystem für grüne Energietechnologien – H₂-Evolution und Solarstromerzeugung – bereitstellen. Ich werde den Energieumwandlungs- und Selbstheilungsmechanismus eines Blattes replizieren, bei dem photooxidativ schützende Carotinoide in der Nähe der Chlorophylle die Lichtabsorption, Energieübertragung und elektrische Ladungstrennung überwachen, eingeschlossen sind. Das Ziel des Projekts ist es, die delikaten Beziehungen zwischen Morphologie, Photophysik und Photochemie in diesen Materialien aufzudecken, mittels tiefgreifender fortgeschrittener spektroskopischer und hochauflösender synchrotronbetriebener Imaging-Techniken sowie Maschinenlernverfahren, die die Entwicklung von Designrichtlinien für effiziente und zuverlässige Energiematerialsysteme ermöglichen werden. Diese Aktivitäten werden auch durch das in 2020 vergebene Grüne Transition Projekt des unabhängigen Forschungsfonds Dänemark finanziert.

Außerdem bin ich Partner in einem weiteren, vom unabhängigen Forschungsfonds Dänemark finanzierten, Forschungsprojekt, in dem ich mit der Universität Kopenhagen und der Universität Aarhus an der Entwicklung neuartiger inhärent stabiler organischer Solarzellenmoleküle arbeite.



News

IRTG 2678 „Functional π -Systems: Activation, Interaction and Application (pi-Sys)“

Hinter dem Internationalen Graduiertenkolleg (international research training group, IRTG) „Functional π -Systems: Activation, Interaction and Application (pi-Sys)“ verbirgt sich ein Team aus 23 Forscher*innen der Universitäten Münster und Nagoya, die sich in einer bilateralen Kooperation diesem hochaktuellen Thema über einen Zeitraum von 4.5 Jahren ab Oktober 2021 widmen.



Insgesamt fördert das IRTG in der ersten Phase 30 Promotionsstudent*innen auf deutscher Seite. Das Hauptaugenmerk des Programms ist der Austausch, bei dem die Doktorand*innen ein halbes Jahr an der jeweiligen Partneruniversität forschen und Einblicke in die deutsche bzw. japanische Kultur erlangen.

Die Sprecher Prof. Dr. Armido Studer und Prof. Dr. Shigehiro Yamaguchi haben ein Team aus jungen Forscher*innen und erfahreneren international bekannten Wissenschaftler*innen zusammengestellt, um funktionelle π -Systeme – deren Aktivierung, Wechselwirkungen und Anwendung – aus den Blickwinkeln der synthetischen, theoretischen und biologischen Chemie sowie den Materialwissenschaften gezielt zu erforschen.

Weitere Informationen auf der Webseite des IRTG 2678: www.uni-muenster.de/irtg2678

Die Pressemeldung der WWU dazu gibt es hier: <https://www.uni-muenster.de/news/view.php?cmdid=11731>

Kontakt: **Dr. Dirk Leifert** (dirkleifert@uni-muenster.de)