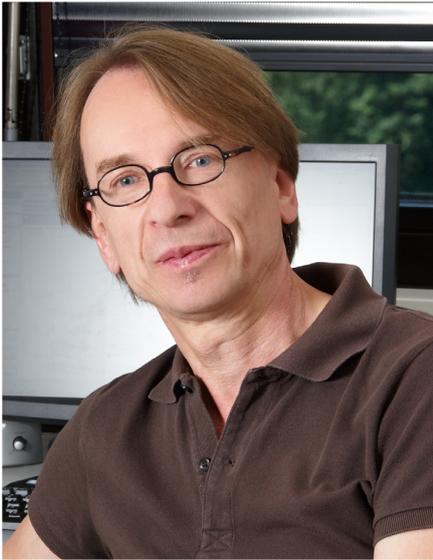




Institut für Polymertechnologie

Aktivitäten 2015/2016



Prof. Dr. Ullrich Scherf

Leiter des Instituts für Polymertechnologie

Lehrstuhl für Makromolekulare Chemie,
Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften

Editorial:

Die Broschüre will Ihnen das Interdisziplinäre Zentrum „Institut für Polymertechnologie“ der Bergischen Universität Wuppertal vorstellen: Neben einigen Fakten zu den Aktivitäten der vergangenen Jahre (u.a. eingeworbene Drittmittelprojekte, Publikationen, Kolloquiumsvorträge) wird das Institut vor allem anhand aktuell bearbeiteter Drittmittelprojekte präsentiert. Hervorzuheben sind dabei vor allem zwei Dinge: (1) Eine große Zahl der Projekte sind gemeinsame Projekte, an denen mehrere Mitglieder des Instituts beteiligt sind, und (2) die Projekte befassen sich weit überwiegend mit im besten Sinne interdisziplinärer Forschung, mit Beiträgen aus Chemie, Physik, Materialwissenschaft und Elektrotechnik, wobei sich erhebliche Synergien ergeben haben. Die aktuellen Projekte bilden dabei eine solide Grundlage für unsere Planungen zukünftiger, konzertierter Aktivitäten.

Viel Spaß beim Lesen!

Ihr Ullrich Scherf



Institut für Polymertechnologie

Aktivitäten 2015/2016

Inhaltsverzeichnis:

Editorial.....	Seite 01
Das Institut für Polymertechnologie stellt sich vor.....	Seite 04
Zahlen, Literatur und Kolloquien.....	Seite 05
Personen.....	Seite 07
EU-Projekt: Organic Semiconductors for NIR Optoelectronics, OSNIRO.....	Seite 08
DFG-Projekt: Photoprozesse in der Lehre der Naturwissenschaften, PHOTO-LENA.....	Seite 10
BMBF- und MIWF (NRW)-Projekte: Transparente Dünnschichtbarrieren für die organische Elektronik.....	Seite 12
DFG-Projekt: Oberflächenplasmonen für die nächste Generation groß- flächiger Optoelektronik auf elastischen Substraten.....	Seite 14
EU-Projekt: Hybrid Node Modes for Highly Efficient Light Concentrators, HyMoCo	Seite 16
DFG-Projekt: Nanoskopische Erfassung des anisotropen Wärmetransports.....	Seite 18
EU-Projekt: Innovative materials for efficient, stable and cheap organic photovoltaic cells, MUJULIMA	Seite 20

BMBF-Projekt: Neue Donorpolymere und Elektrodenkonzepte für gedruckte semi-transparente Bulk-Heterojunction Solarzellen.....	Seite 22
DFG-Projekt: Erhöhung der spezifischen Wärmekapazität in Nanofluiden.....	Seite 24
Kooperationsprojekt mit der Firma Continental Reifen Deutschland GmbH: Molecular Interpretation of Dynamical Mechanical Properties of Filled Rubber Networks.....	Seite 24
BMBF-Projekt: Konjugierte Polyelektrolyte zur Modifikation der Grenzfläche zwischen Elektroden und Organischen Halbleitern	Seite 26
DFG-Projekt: Flexible Hochfrequenz-Transistoren und -Tunneldioden und deren Schaltungen.....	Seite 28
DFG-Projekt: A metal-oxide TFT technology platform for flexible RF communication systems (10by10).....	Seite 28
Impressum.....	Seite 30



Das Institut für Polymertechnologie stellt sich vor:

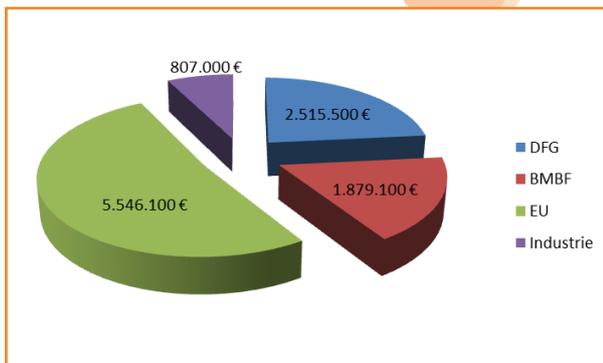
Das interdisziplinäre Institut für Polymertechnologie (IfP) der Bergischen Universität Wuppertal wurde im Jahr 2005 als Zusammenschluss dreier etablierter, materialwissenschaftlich tätiger Arbeitsgruppen gegründet (Gründungsprofessoren: Prof. Ludwig Balk und Prof. Jürgen Engemann, Elektrotechnik; Prof. Ullrich Scherf, Chemie). Im Zuge von Neubesetzungen und einer thematischen Umorientierung hat sich aus diesem Keim ein sehr aktives interdisziplinäres Forschungszentrum etabliert, das eine Brücke zwischen naturwissenschaftlicher Grundlagenforschung, Materialwissenschaften und Ingenieurtechnik schlagen will. Im Fokus der Forschungsprojekte stehen aktuell die Organische Elektronik/Hybridelektronik sowie innovative Verbundmaterialien.

Die organische Elektronik gehört zu den Zukunftstechnologien, die inzwischen Einzug in ersten *Consumer Products* gefunden hat und in den nächsten Jahren viele Bereiche unseres täglichen Lebens verändern wird. Ein wichtiges Ziel ist dabei eine energieeffizientere, ressourcenschonende Elektronik, die zunehmend herkömmliche Komponenten ersetzen kann sowie die Entwicklung innovativer, neuartiger Produkte befördert, zum Beispiel in Medizintechnik und Unterhaltungselektronik. Dem Institut gehören inzwischen eine Professorin und sieben Professoren aus den Bereichen Chemie (Prof. Ullrich Scherf/Makromolekulare Chemie; Prof. Michael Tausch/Chemie und ihre Didaktik), Physik (Prof. Reinhard Hentsche/Theoretische Chemische Physik, Prof. Ronald Frahm/Röntgenphysik), Elektrotechnik (Prof. Thomas Riedl/Elektronische Bauelemente, Prof. Patrick Görrn/Großflächige Optoelektronik, Prof. Hella-Christin Scheer/Mikrostrukturtechnik) und Druck- und Medientechnologie (Prof. Ullrich Jung/Digital- und Offsetdruck) an. Inzwischen ist eine rege und enge Zusammenarbeit der beteiligten Kollegen in Forschungsprojekten, bei der Antragstellung für Drittmittelprojekte sowie in der gemeinsamen Publikation von Forschungsergebnissen entstanden. Hervorzuheben ist auch die Bewilligung eines *ERC Starting Grants* für Prof. Görrn.

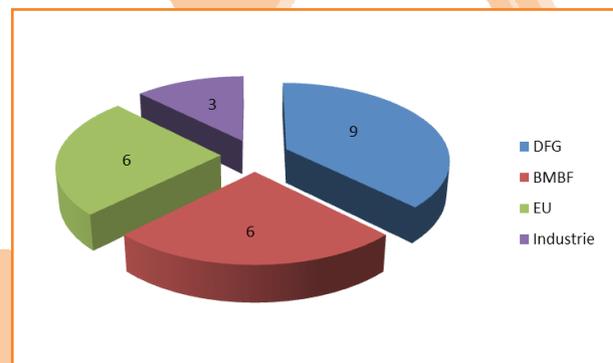
► Adresse:
Bergische Universität Wuppertal
Institut für Polymertechnologie (IfP)
Rainer-Gruentner-Straße 21
42119 Wuppertal

Tel: +49 (0) 202 439 2493
<http://www.ifp.uni-wuppertal.de>
E-Mail: ifp@uni-wuppertal.de

▶ **Eingeworbene Drittmittel** laufender Projekte, aufgeschlüsselt nach Zuwender:



▶ **Eingestellte Mitarbeiter**, aufgeschlüsselt nach Zuwender:



Ausgewählte gemeinsame Publikationen; die vollständige Publikationsliste finden Sie auf der Homepage des Instituts für Polymerforschung unter www.ifp.uni-wuppertal.de

- ▶ K. Yuan, Y. Xu, J. Uihlein, G. Bruncklaus, L. Shi, R. Heiderhoff, M. Que, M. Forster, T. Chassé, T. Pichler, T. Riedl, Y. Chen, U. Scherf: "Straightforward generation of pillared, microporous graphene frameworks for use in supercapacitors", *Adv. Mater.* 27, 6714 (2015).
- ▶ J. Zajadacz, P. Lorenz, F. Frost, R. Fechner, C. Steinberg, H.-C. Scheer, K. Zimmer: "Reactive ion beam etching of fused silica using, vertical, lamellar patterns of PS-*b*-PMMA diblock copolymer masks", *Microelectron. Eng.* 141, 289 (2015).
- ▶ M. Kraft, S. Adamczyk, A. Polywka, K. Zilberberg, C. Weijtens, J. Meyer, P. Görrn, T. Riedl, U. Scherf: "Polyanionic, alkylthiosulfate-based, thiol precursors for conjugated polymer self-assembly onto gold and silver", *ACS Appl. Mater. Interfaces* 6, 11758 (2014).
- ▶ R. Hentschke, J. Hager, N.W. Hojdis: "Molecular modeling approach to the prediction of mechanical properties of silica-reinforced rubbers", *J. Appl. Phys. Sci.* 131, 40806 (2014).
- ▶ M. Fakhri, M. Theisen, A. Behrendt, P. Görrn, T. Riedl: "Top-gate zinc tin oxide thin-film transistors with high bias and environmental stress stability", *Appl. Phys. Lett.* 104, 251603 (2014).
- ▶ D. Lützenkirchen-Hecht, R. Wagner, S. Szillat, A.K. Huesecken, K. Istomin, U. Pietsch, R. Frahm: "The multi-purpose hard X-ray beamline BL10 at the DELTA storage ring", *J. Synchrotron Radiat.* 21, 819 (2014).

- ▶ K. Zilberberg, A. Behrendt, M. Kraft, U. Scherf, T. Riedl: "Ultrathin interlayers of a conjugated polyelectrolyte for low work-function cathodes in efficient inverted organic solar cells", *Org. Electron.* 14, 951 (2013).
- ▶ M.W. Tausch, A. Banerji, U. Scherf: "Classroom experiments and teaching materials", *Education Quimica* 24, 17 (2013).
- ▶ S. Kowalski, S. Allard, K. Zilberberg, T. Riedl, U. Scherf: "Direct arylation polycondensation as simplified alternative for the synthesis of conjugated polymers", *Prog. Polymer Sci.* 38, 1805 (2013).
- ▶ H. Marciniak, M. Teicher, U. Scherf, S. Trost, T. Riedl, M. Lehnhardt, T. Rabe, W. Kowalsky, S. Lochbrunner: "Photoexcitation dynamics in polyfluorene-based on thin films: Energy transfer and amplified spontaneous emission", *Phys. Rev. B.* 85, 214204 (2012).
- ▶ K. Zilberberg, S. Trost, J. Meyer, A. Kahn, A. Behrendt, D. Lützenkirchen-Hecht, R. Frahm, T. Riedl: "Inverted organic solar cells with sol-gel processed high work-function vanadium oxide hole-extraction layers", *Adv. Funct. Mater.* 21, 4776 (2011).
- ▶ M. Lehnhardt, T. Riedl, U. Scherf, T. Rabe, W. Kowalsky: "Spectrally separated optical gain and triplet absorption: towards continuous wave lasing in organic thin film lasers", *Org. Electron.* 12, 1346 (2011).

IfP-Kolloquien 2015/2016 (montags, 16:00 Uhr, Hörsaal FZH3, Campus Griffenberg):

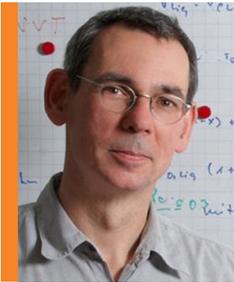
25.04.2016	Dr. Tobias Kurz, INM Leibniz Institut für Neue Materialien	Particle-based Inks for Electronics
14.12.2015	Prof. Dr.-Ing. Edgar Dörsam, TU Darmstadt	Printable Electronics – an interdisciplinary approach
23.11.2015	Prof. Dr. Wolfgang Brütting, Universität Augsburg	Molecular Orientation as Key Parameter in Organic Optoelectronics
20.11.2015	Prof. Dr. Jana Zaumseil, Universität Heidelberg	Semiconducting Polymers and Polymer-sorted Carbon Nanotubes for Optoelectronic Devices
09.11.2015	Prof. Dr. Kay Saalwächter, Universität Halle-Wittenberg	Polymer nanocomposites – from colloidal model materials to every-day commodities
27.04.2015	Prof. Dr. Thomas Kirchartz, FZ Jülich	Charge transport and recombination in organic solar cells
19.01.2015	Prof. Dr. Ifor D.W. Samuel, University of St. Andrews	Organic Optoelectronics: from Understanding Solar Cells to Measuring Muscles



Prof. Dr. Ullrich Scherf
 Leiter des Instituts für
 Polymertechnologie & Lehrstuhl
 für Makromolekulare Chemie
 Fakultät für Mathematik und
 Naturwissenschaften
 Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal
 Tel.: +49 (0) 202 439 2493
 E-Mail: scherf@uni-wuppertal.de



Prof. Dr. Thomas Riedl
 Stv. Leiter des Instituts für
 Polymertechnologie & Lehrstuhl
 für Elektronische Bauelemente
 Fakultät für Elektrotechnik,
 Informationstechnik und Medien-
 technik
 Rainer-Gruentner-Str. 21
 42119 Wuppertal
 Tel.: +49 (0) 202 439 1411
 E-Mail: t.riedl@uni-wuppertal.de



Prof. Dr. Reinhard Hentschke
 Lehrstuhl für Theoretische
 Chemische Physik
 Fakultät für Mathematik und
 Naturwissenschaften
 Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal
 Tel.: +49 (0) 202 439 3859
 E-Mail: hentschk@uni-
 wuppertal.de



Prof. Dr.-Ing. Ulrich Jung
 Lehrstuhl für Digital- und Offset-
 druck
 Fakultät für Elektrotechnik,
 Informationstechnik und Medien-
 technik
 Rainer-Gruentner-Str. 21
 42119 Wuppertal
 Tel.: +49 (0) 202 439 1311
 E-Mail: ujung@uni-wuppertal.de



Prof. Dr. Ronald Frahm
 Lehrstuhl für Röntgenphysik
 Fakultät für Mathematik und
 Naturwissenschaften
 Gaußstr. 20
 42119 Wuppertal
 Tel.: +49 (0) 202 439 2493
 E-Mail: frahm@uni-wuppertal.de



Prof. Dr.-Ing. Hella-Christin Scheer
 AG Mikrostrukturtechnik
 Fakultät für Elektrotechnik,
 Informationstechnik und
 Medientechnik
 Rainer-Gruentner-Str. 21
 42119 Wuppertal
 Tel.: +49 (0)202 439-1572
 E-Mail: scheer@uni-wuppertal.de



Prof. Dr.-Ing. Patrick Görrn
 Lehrstuhl für Großflächige
 Optoelektronik
 Fakultät für Elektrotechnik,
 Informationstechnik und Medien-
 technik
 Rainer-Gruentner-Str. 21
 42119 Wuppertal
 Tel.: +49 (0) 202 439 1411
 E-Mail: goerrn@uni-wuppertal.de



Prof. Dr. Michael W. Tausch
 Lehrstuhl für Chemie und
 ihre Didaktik
 Fakultät für Mathematik und
 Naturwissenschaften
 Gaußstr. 20
 42119 Wuppertal
 Tel.: +49 (0) 202 439 3466
 E-Mail: mtausch@uni-wuppertal.de

EU-Projekt: Organic Semiconductors for NIR Optoelectronics, OSNIRO

Laufzeit: 01.10.2013–30.09.2017, Projektleiter: Prof. Dr. U. Scherf, Gesamtbudget: 3,6 Mio. € (BUW-Anteil: 700.000 €)

Die Organische Elektronik ist eine zukunftsweisende Technologie auf Basis von leitenden und halbleitenden organischen Verbindungen.

Die Zukunftsvisionen betreffen eine umweltschonende Energiegewinnung und -speicherung sowie die ressourcenschonende Herstellung elektronischer Bauelemente. Die Arbeitsgruppe „Makromolekulare Chemie“ an der Bergischen Universität koordiniert ein von der Europäischen Union gefördertes *Marie Curie Initial Training Network* zur Herstellung und Anwendung organischer Halbleiter für die Optoelektronik (FP 7).

„Das Projekt setzt einen neuen, vielversprechenden Akzent in der Forschung zur Organischen Elektronik. Die Koordination an der Bergischen Uni trägt dabei zur internationalen Sichtbarkeit unserer Universität als dynamische Forschungsinstitution bei“,

sagt Prof. Scherf.

■ Forschungsziel von OSNIRO – einem sogenannten innovativen Ausbildungsnetzwerk (Innovative Training Networks, ITN) – sind Synthese, Charakterisierung und Anwendung von neuartigen, Nah-Infrarot(NIR)-absorbierenden und -emittierenden Materialien für die Organische Elektronik. NIR-empfindliche Absorber besitzen dabei Potenzial für die Entwicklung einer neuen Generation von druckbaren Photodetektoren mit abstimmbarer Empfindlichkeit, die in multifunktionale elektronische Bauelemente für Sensorik und optische Kommunikation integriert werden sollen. Solch neuartige Bauelemente ermöglichen die kostengünstige Konstruktion großflächiger und flexibler Sensoren. Potenzielle Anwendungen von NIR-emittierenden organischen Leuchtdioden (OLEDs) betreffen die Informationsverarbeitung und Nachtsicht-Displays.

■ Das Trainings-Netzwerk vereint europäische Arbeitsgruppen aus verschiedenen

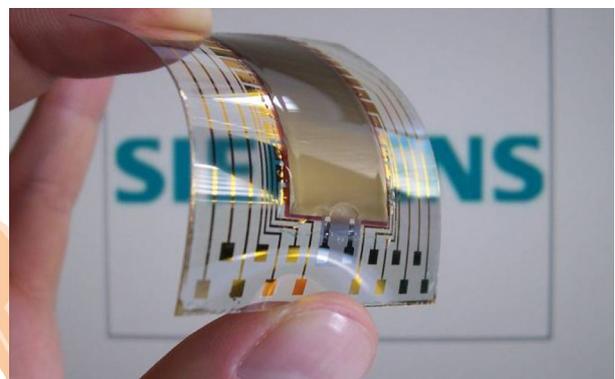


Institut für Polymertechnologie



Bereichen (Materialsynthese, Prozesstechnik und Bauelement-Herstellung, Bauelement-Physik). Das Forschungsprogramm ist dabei in vier Themenbereiche unterteilt (Materialien, Charakterisierung, Bauelemente, Integration), die die gesamte Wertschöpfungskette von der Synthese über Bauelementherstellung bis zur ihren Einbau in Demonstratoren bzw. Modulen abdeckt.

■ An dem Projekt sind neben der Bergischen Universität vier weitere Universitäten beteiligt: die Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, die Chalmers University of Technology Göteborg (Schweden), das University College London (Großbritannien) sowie die TU Eindhoven (Niederlande). Industriepartner sind die Siemens AG und Advent Energy Technologies AE (Griechenland), die Bayrische Forschungsallianz (BayFor) als assoziierter Partner unterstützt bei der Koordination sowie bei der Durchführung von Workshops.



Organischer Fotodetektor auf flexiblem Substrat des Partners SIEMENS

■ Neben der Projektkoordination werden an der Bergischen Universität zwei junge Nachwuchswissenschaftlerinnen trainiert, die im OSNIRO-Projekt neuartige NIR-aktive Kunststoffmaterialien entwickeln. Durch Variation der Struktur der Kettenmoleküle können deren Eigenschaften gezielt beeinflusst und den jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Die Materialien werden dann den Partnern für Bauelement-Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Die bei den Partnern erzielten Ergebnisse fließen wiederum in eine nächste Runde der Optimierung der Molekülstrukturen ein.

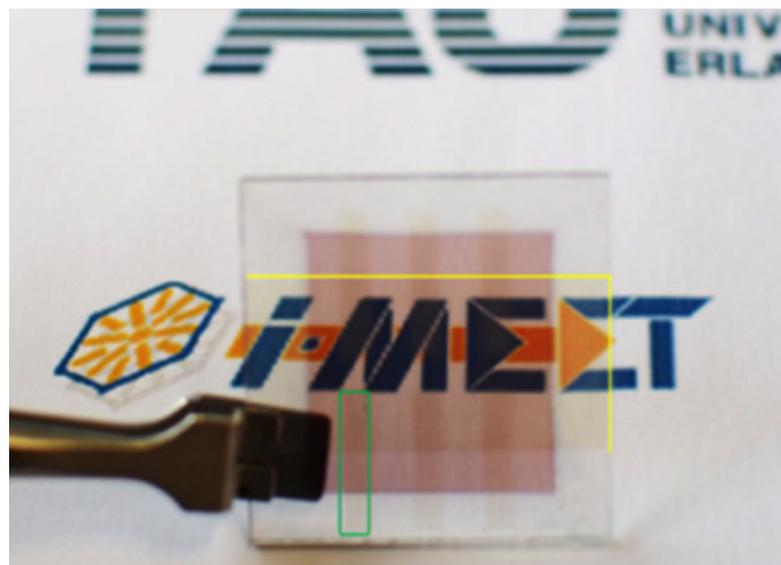
■ Schwerpunkt von OSNIRO ist das Training von exzellenten Nachwuchswissenschaftlern in interdisziplinärer Materialforschung sowie die Vermittlung komplementärer Kompetenzen (*soft skills*). Dazu gehören wissenschaftliches Schreiben, Präsentieren von Ergebnissen, Projektakquisition und -management. Ziel ist dabei, den wissenschaftlichen Nachwuchs auf seine zukünftige Tätigkeit als Führungskräfte in Industrie oder Wissenschaft vorzubereiten. Dazu werden Workshops und Seminare angeboten, die auch für externe Teilnehmerinnen und Teilnehmer offenstehen.

■ Innerhalb des Austauschprogramms des OSNIRO-Projekts wird allen beteiligten Nachwuchswissenschaftlern im Rahmen von Secondments die Möglichkeit gegeben mindestens zwei weitere Projektpartner aus Hochschule und Industrie intensiv kennenzulernen und die Interaktion der beteiligten Fellows zu befördern.

„Jeder Nachwuchswissenschaftler hat sein eigenes Teilprojekt. Diese sind miteinander verknüpft, so dass auch zwischen den Nachwuchsforschern eine enge Zusammenarbeit erforderlich ist. Außerdem haben die Nachwuchswissenschaftler die Möglichkeit, die Arbeitswelt in Industrie und Universitäten gleichermaßen kennenzulernen“, so Prof. Scherf.



Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des OSNIRO-Forschungsnetzwerks anlässlich des Kickoff-Meetings am 28.11.2013 in Wuppertal



Aus Lösung prozessierte, halbtransparente, organische Solarzelle des Partners Universität Erlangen

Laufzeit: 1.10.2013–30.09.2016, Projektleiter: Prof. Dr. M. W. Tausch, Budget: 174.800 €

Bei zentralen Themen der Grundlagenforschung im 21. Jahrhundert haben Prozesse mit Lichtbeteiligung Schlüsselfunktionen (Stichworte: Fluoreszenz- und Phosphoreszenz, Elektrolumineszenz, Photokatalyse und Photosensibilisation, intelligente Materialien mit photoaktiven molekularen Schaltern, photochemische Schlüsselschritte in organischen Synthesen, Energiekonversion und -speicherung).

Daher sind Photoprozesse auch für die inhaltlich-konzeptionelle und didaktisch-methodische Innovation von Unterricht und Lehre in Chemie und benachbarten Fächern von eminenter Bedeutung.

„Für den Wissenschafts- und Technologiestandort Deutschland sind Photoprozesse sowohl für die Forschung und Entwicklung als auch für die Vermittlung an die junge Generation ein zeitgenössischer Imperativ. Das gilt nicht nur für Studierende und Promovierende in photochemischen Arbeitsgruppen an Hochschulen und in Forschungseinrichtungen, sondern auch für den Chemieunterricht an Schulen“,

so Prof. Tausch.

■ Mit PHOTO-LENA fördert die DFG erstmalig ein Forschungsprojekt im Wissenschaftsbereich Naturwissenschaften, das von der Chemiedidaktik initiiert und geleitet wird. Kooperationspartner sind dabei Prof. Scherf (Forschungsschwerpunkt Polymerelektronik, Bergische Universität Wuppertal) und Prof. Griesbeck (Organische Photochemie, Universität zu Köln).

■ „Ein hübsches Experiment ist an sich oft wertvoller als zwanzig in der Gedankenretorte erbrütete Formeln“ – dieser oft zitierte Aphorismus von A. Einstein ist ein Leitmotiv in der Lehre naturwissenschaftlicher Fächer. Die Chemie ist in ganz besonderer Weise auf „hübsche“, d.h. didaktisch prägnante Experimente angewiesen, die in sinnlich wahrnehm-

baren Phänomenen genau die Beobachtungen liefern, die treffsicher Deutungen und Erklärungen auf der gedanklichen Ebene der Modelle und Konzepte einleiten. Wenn es um die Erklärung der Phänomene mit Lichtbeteiligung auf der Teilchen-Ebene geht, ist der elektronisch angeregte Zustand der Teilchen, ganz gleich, ob der durch Absorption von Photonen oder auf anderem Weg erzeugt wird, das „Herz aller Photoprozesse“ (N. J. Turro). Damit können in einer ersten, wissenschaftlich konsistenten Näherung alle Photoprozesse auf der modelltheoretischen Ebene beschrieben und erklärt werden.

■ Die im Rahmen von PHOTO-LENA erforschten und entwickelten Lehr-/Lernmaterialien werden für Lehrende und Lernende vorzugsweise als Experimentiersets zur Verfügung gestellt. Dazu gehören die beiden Koffer **„Photo-Mol“** und **„Organic Photo Electronics“**, deren Prototypen und Erstevaluation von der GDCh sowie von Merck und Bayer mit insgesamt 27.000 € gesponsert wurden. Ausgehend von Grundversionen einzelner Experimente zur Photolumineszenz, zu organischen Leuchtdioden und Solarzellen sowie „intelligenten“ Materialien mit molekularen Schaltern, werden mithilfe von Aufgaben und Modellanimationen Erklärungen entwickelt, Hypothesen induziert, weitere Experimente geplant und durchgeführt. Dadurch erhalten diese beiden Koffer den Charakter von Interaktionsboxen für forschend-entwickelndes Lernen. Eine dritte Interaktionsbox **„Photo-Cat“** zur Erschließung photokatalytischer Redoxreaktionen ist kurz vor der Fertigstellung.



**CHEMIE
UND IHRE
DIDAKTIK**



Photo-LeNa
Photoprozesse
in der Lehre der
Naturwissenschaften



Deutsche
Forschungsgemeinschaft



Interaktionsbox „**Photo-Mol**“ zur Erschließung der Fluoreszenz, Phosphoreszenz, Solvatochromie, Photochromie und des photostationären Zustands

Curriculare Innovationsforschung ist ein wesentlicher Bestandteil im Projekt PHOTO-LENA. Es werden innovative Curricula für die universitäre Lehre, insbesondere in den Studiengängen für das Lehramt entwickelt, in denen die zukünftigen Lehrkräfte die Grundkompetenzen für das Unterrichten von Photoprozessen in dem oben beschriebenen Sinn erwerben. Ausgereifte und bewährte Lehreinheiten mit Photoprozessen werden bei Tagungen der GDCh-Fachgruppe Chemieunterricht Fachdidaktikern an anderen Standorten mit Lehramtsausbildung zur Aufnahme in ihre Lehre vorgeschlagen und gegebenenfalls mit ihnen optimiert. Darüber hinaus sollen die Lehrpläne und Lehrgänge für den Chemieunterricht an Schulen nachjustiert werden. Lehrkräfte, die bereits in der Schulpraxis tätig sind, werden in Workshops und Fortbildungskursen mit Experimenten, Konzepten und Materialien zu Photoprozessen ausgestattet.

Im PHOTO-LENA Projekt soll die Einbeziehung von Phänomenen mit Lichtbeteiligung entscheidende Impulse erhalten. Prof. Tausch fordert:

„Licht an! Auch für die universitäre Lehre und für den Chemieunterricht an Schulen!“

Photoprozesse sollen bei der Vermittlung der chemischen Grundprinzipien und Basiskonzepte einen höheren Stellenwert erhalten, als es derzeit der Fall ist. Ihre Einbettung in die Lehrgänge und Vernetzung mit den etablierten Inhalten der Chemie wird in fachdidaktischen Arbeitsgruppen in Wuppertal (Prof. Tausch), Münster (Prof. Krees), Tübingen (Prof. C. Bohrmann-Linde) und Köln (Prof. Banerji) erforscht, evaluiert und optimiert.



Interaktionsbox „**Organic Photo Electronics**“ zur Erschließung der organischen Leuchtdioden und Solarzellen

BMBF- und MIWF (NRW)-Projekte: Transparente Dünnschichtbarrieren für die organische Elektronik

Laufzeit: 01.03.2012–28.02.2017, Projektleiter: Prof. Dr. T. Riedl, Budget: 1.208.000 €



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

In der Natur wie in der Technik finden sich in vielfältiger Art Verpackungen, um das Gut im Innern gegen einen Angriff von Außen zu schützen. Häufig dienen solche Verpackungen dem Schutz vor mechanischen Einwirkungen oder als Barriere gegen Wasser und Sauerstoff aus der Umgebung. Im Bereich der Lebensmittel werden beispielsweise Kartoffelchips mit einer Folie verpackt, um zu verhindern, dass das Produkt durch Aufnahme von Feuchte aus der Luft weich wird. Typischerweise tolerieren solche Anwendungen, dass pro Tag und pro Quadratmeter Verpackungsfläche das Äquivalent eines Wassertropfens aus der Umgebung zu dem Produkt hindurchdringt. Deutlich empfindlicher sind demgegenüber Bauelemente der Organischen Elektronik wie beispielsweise organische Leuchtdioden (OLEDs). OLEDs werden als wesentliche Säule der zukünftigen Display- und Beleuchtungstechnik gesehen und generieren als Displays in Mobiltelefonen bereits einen Milliardenumsatz. Gerade die Verkapselung von OLEDs ist aber besonders anspruchsvoll, da man sie etwa eine Million Mal besser gegen Feuchte schützen muss als typische Lebensmittel. Es darf maximal ein Tropfen Wasser je Quadratmeter über einen Zeitraum von 3000 Jahren zur OLED durchdringen!

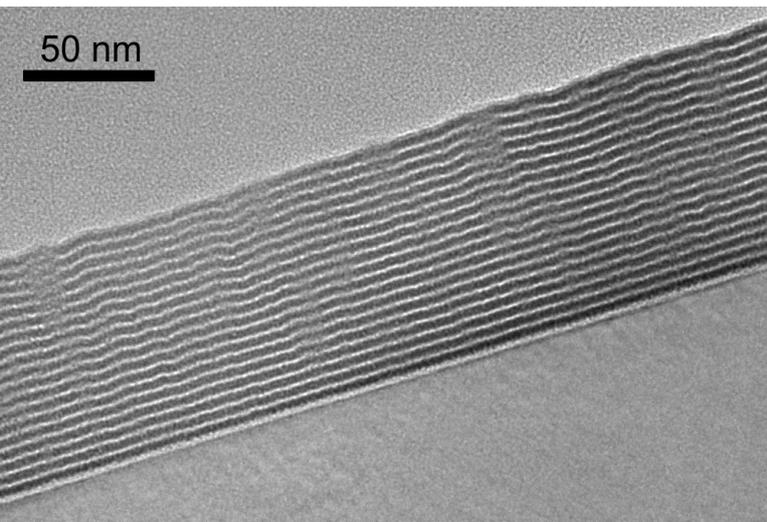
■ Aktuell werden OLEDs in der Regel noch zwischen zwei Glasplatten eingekapselt. Die Glasverkapselung birgt aber verschiedene Nachteile. Sie ist teuer, hat ein hohes Gewicht, was für mobile Anwendungen nachteilig ist. Biegbare oder gar aufrollbare Displays und Leuchten, die häufig als Zukunftsvision im Zusammenhang mit OLEDs diskutiert werden, sind damit nicht zu realisieren.

Lebensmittel: 1 Tropfen Wasser pro Tag

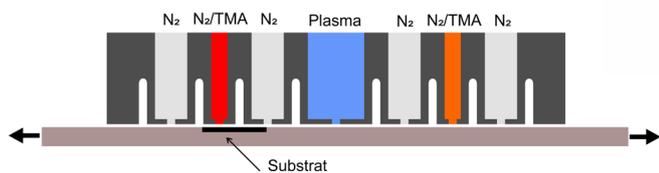
OLED: 1 Tropfen Wasser in 3000 Jahren



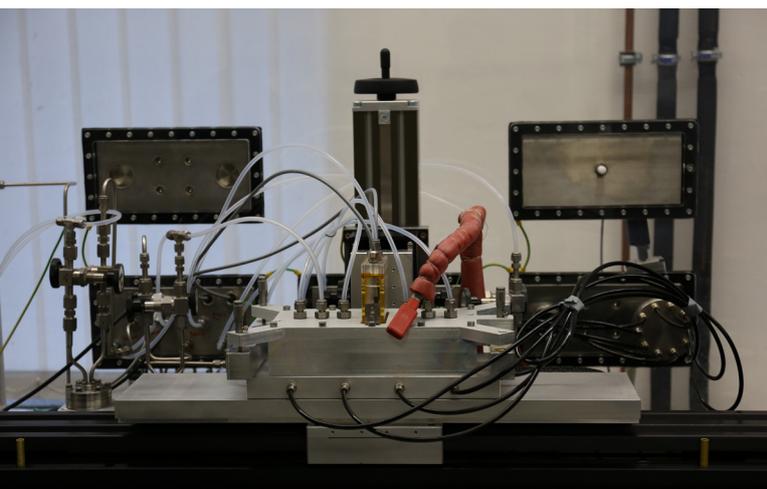
Tolerierbare Wasseraufnahme für typische Lebensmittel und OLEDs im Vergleich



Querschnitt durch eine Nanolaminatbarriere



Prinzip der Atmosphärendruck-Plasma-ALD. Die zu beschichtenden Substrate werden nacheinander an verschiedenen Reaktionszonen vorbei bewegt.



Atmosphärendruck-Plasma-ALD-Anlage

Der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente arbeitet daran, diese Nachteile von Glasverkapselungen durch den Einsatz von transparenten Dünnschichten als Barriere zu überwinden. Dazu müssen Schichtdicken im Bereich von weniger als einem Mikrometer realisiert werden.

Zur Abscheidung solcher Barrierschichten hat sich die Atomlagenabscheidung (ALD – *Atomic Layer Deposition*) als ein sehr vorteilhaftes Verfahren herauskristallisiert. Eine besondere Herausforderung ist, dass die Barrierschichten auch auf großen Flächen (> 100 cm²) absolut defektfrei sein müssen und auch im Falle statistisch auftretender unvermeidbarer Verunreinigungen die geforderte Schutzwirkung gewährleisten müssen. Die im Rahmen des Projektes entwickelten Multischichten aus Aluminiumoxid und Titanoxid, sogenannte Nanolamine, können diese Anforderungen hervorragend erfüllen und weisen gleichzeitig Wasserdampf-Transmissionswerte von deutlich unter 10⁻⁶ Gramm pro Quadratmeter und Tag auf, was einer Wassermenge von nur noch einem Bruchteil eines Tropfens pro Quadratmeter OLED-Leuchtfläche über einen Zeitraum von 3000 Jahren entspricht.

Das ALD-Verfahren zur Herstellung von Nanolaminen ist ein Vakuumverfahren, das in einem Prozess nur eine limitierte Anzahl von OLEDs verkapseln kann, was ein wiederholtes Be- und Entladen mit anschließender Vakuumherzeugung erfordert. Um die Schichtabscheidung in Richtung zu höherem Durchsatz und niedrigen Kosten weiter zu optimieren, ist das Ziel des BMBF-Verbundprojektes ANAKONDA, ein plasmaunterstütztes Rolle-zu-Rolle-fähiges ALD-Verfahren für Barrierschichten bei Atmosphärendruck zu entwickeln. Mit einem solchen Verfahren ließen sich Nanolaminatbarrieren mittels ALD auch kostengünstig auf Folien aufbringen, was eine Basis z.B. für zukünftige kommerzielle, aufrollbare OLED-Displays wäre.

Diese Arbeiten wurden von der Firma Philips und vom Land NRW mit Mitteln in Höhe von 590.000 Euro gefördert. Eine weitere Förderung erfolgt im BMBF-Verbund ANAKONDA zusammen mit den zwei mittelständischen Maschinenbau-Firmen Sentech und 3DMM sowie der TU Braunschweig.

DFG-Projekt: Oberflächenplasmonen für die nächste Generation großflächiger Optoelektronik auf elastischen Substraten

Emmy Noether Programm, Laufzeit 01.03.2012–28.02.2017, Projektleiter: Prof. Dr. P. Görrn, Budget 1,1 Mio. €

Im Gegensatz zur klassischen Mikroelektronik können Dünnschichtbauelemente, wie organische Leuchtdioden oder Solarzellen, auf nahezu beliebige Unterlagen aufgebracht werden. Die Folge ist ein Trend von den ursprünglich kristallinen Substraten hin zu kostengünstigeren Unterlagen wie Glas oder sogar flexiblen Plastikfolien. Gerade der letzte Schritt der flexiblen Elektronik ermöglicht eine Rolle-zu-Rolle-Fertigung und damit eine starke Reduktion der Herstellungskosten je Fläche. Diese Entwicklung zu größeren Flächen und geringeren Produktionskosten ist gleichzeitig eine Entwicklung zu immer weicheren Bauelementen, die deshalb mit neuen technologischen Herausforderungen verknüpft ist.

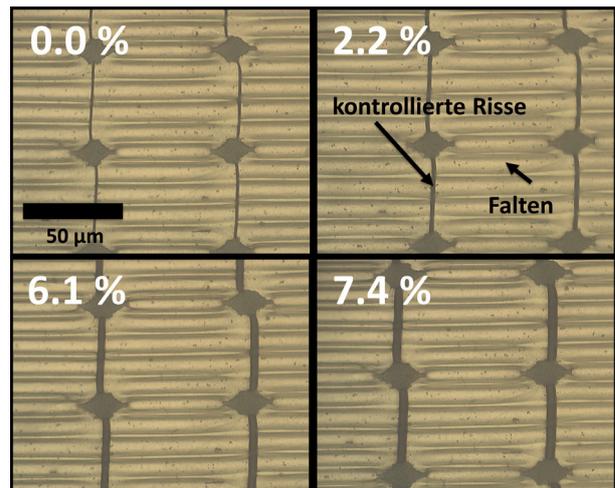
■ Das DFG Projekt „Oberflächenplasmonen für die nächste Generation großflächiger Optoelektronik auf elastischen Substraten“ geht noch einen Schritt weiter. Anstelle der flexiblen, also biegbaren Folien sollen elastisch dehnbare Folien treten. Die entstehende dehnbare Elektronik kann damit wie die flexible Rolle-zu-Rolle gefertigt werden. Nur sie kann aber anschließend auf beliebig gekrümmte Oberflächen laminiert werden. So sind Solarzellen auf in mehreren Richtungen gekrümmten Oberflächen wie den aerodynamischen Karosserien von Fahr- oder Flugzeugen realisierbar.

■ Zu diesem Zweck muss die Elektronik idealerweise in beliebige Richtungen um einige zehn Prozent dehnbar sein. Während die dehnbaren Silikonsubstrate um bis zu 300%, also auf das Vierfache ihrer ursprünglichen Länge, ausdehnbar sind, reißen die funktionalen Schichten, aus denen elektronische Bauelemente bestehen, allerdings schon bei Ausdehnungen unter einem Prozent.

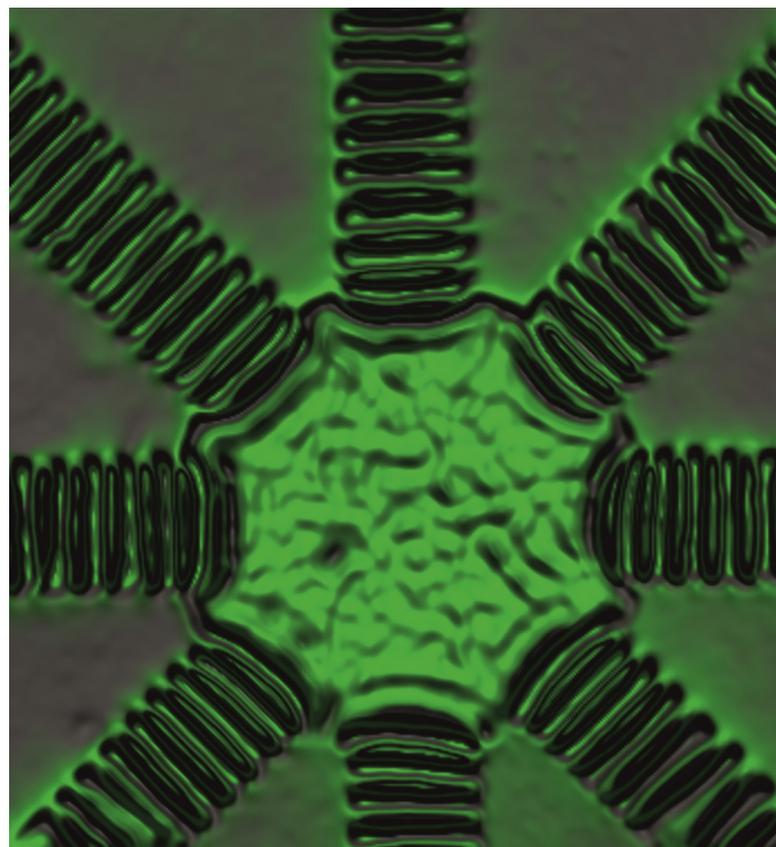
■ Die junge Disziplin der dehnbaren Elektronik nutzt verschiedene Konzepte, um diesem Problem zu begegnen. In der Regel wird durch die Wahl geeigneter Geometrien die lokale Ausdehnung innerhalb der Dünnschichten reduziert. Einer der besterforschten Ansätze ist die Faltenbildung innerhalb dünner Schichten. Hierbei wird die Folie vorgedehnt und nach Abscheidung der zunächst glatten Dünnschicht entspannt. Diese Entspannung führt zur Schrumpfung der Dünnschicht, die infolge dessen Falten bildet. Die gefaltete Dünnschicht ist dann bis zur ursprünglichen Vordehnung der Substratfolie ausdehnbar, da sich diese Ausdehnung der geschrumpften Dünnschicht nur in eine lokal veränderte Biegung der Falten übersetzt.

Die Falten, die in einem die Oberfläche minimierenden Prozess der Selbstorganisation entstehen, können eine hochgeordnete Gitterstruktur in ultradünnen Metallfilmen herstellen, ohne zu erhöhter lokaler Rauigkeit zu führen. Dieses ist gerade in plasmonischen Anwendungen interessant. Auf räumlich periodisch modulierten Metallschichten kann senkrecht einfallendes Licht Oberflächenplasmonen-Polaritonen (SPPs) anregen, die sich an der Grenzfläche zwischen dem Metall und dem angrenzenden Material lateral ausbreiten. Ist letzteres ein Halbleiter, der Licht absorbiert oder emittiert, so kann dieser nun in der Nähe der Metallschicht in identischer Weise auch mit der SPP-Mode wechselwirken. Die Effizienz dieser Wechselwirkung steigt mit geringerer Streuung der Ladungsträger im modulierten Metallfilm. Deshalb können die nahezu perfekt sinusförmigen Falten nicht nur zu dehnbaren und damit beliebig formbaren Solarzellen führen, sondern gleichzeitig deren Effizienz steigern.

Unabhängig von der Anwendung in Solarzellen eröffnet die Dünnschichttechnologie auf dehnbaren Substraten, die im Fokus dieses Projektes steht, neue Perspektiven insbesondere im Bereich intelligenter Textilien und biologischer Anwendungen. Für den Betrieb im direkten Hautkontakt sollte Elektronik möglichst weich sein. Dies gilt umso mehr im Kontakt mit lebenden Zellen oder sogar implantiert im biologischen Gewebe, wo neben geringer Härte auch eine Durchlässigkeit für Wasser und verschiedene Ionen zu fordern ist.



Riss- und Faltenbildung einer Silberschicht auf einem Polydimethylsiloxan (PDMS)-Substrat. Die Prozentzahlen beziehen sich auf die lokale Ausdehnung.



In beliebige Richtung dehnbares Netzwerk aus Silberlinien, das in einem Vakuum- und lösemittelfreien Verfahren hergestellt wurde.

EU-Projekt: Hybrid Node Modes for Highly Efficient Light Concentrators, HyMoCo

ERC Starting Grant, Laufzeit 01.03.2015–29.02.2020, Projektleiter: Prof. Dr. P. Görrn,
Budget 1,5 Mio. €

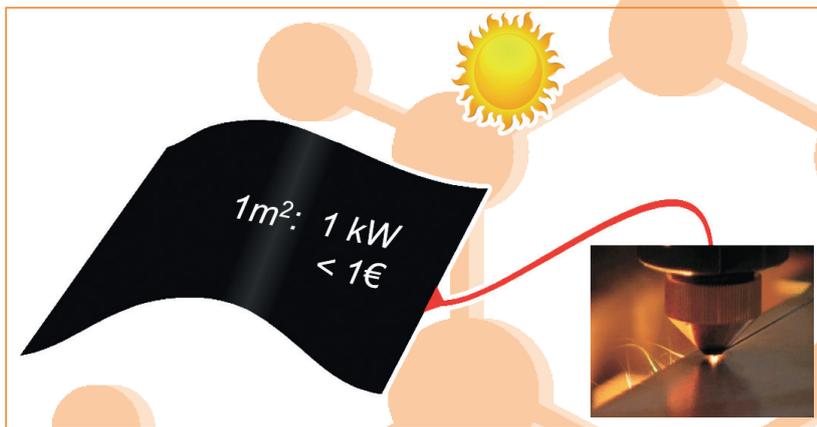
Die Bedeutung der Solarenergie für eine zukünftige dezentrale Energieversorgung wird neben der Effizienz der entsprechenden Systeme vor allem von ihren Herstellungskosten abhängen. Die verschiedenen Technologien zur Nutzung von Solarenergie wie beispielsweise die Photovoltaik oder die Solarthermie könnten besonders von kostengünstigen großflächigen Lichtkollektoren und Konzentratoren profitieren.

■ Die Vision hinter HyMoCo ist die Realisierung einer flexiblen Konzentratordfolie, die mit Kosten $<1\text{€}/\text{m}^2$ herstellbar ist, auf ihrer gesamten Oberfläche Sonnenlicht aus beliebigem Einfallswinkel sammelt und auf einen Punkt auf oder neben der Folie konzentriert.

■ Die Idee dieser Folien lässt sich durch ein einfaches Bild visualisieren. Man stelle sich eine dünne aufrollbare Plastikfolie der Größe eines Quadratmeters vor, die rein passiv ist, also ohne jede Stromversorgung auskommt. Wenn man diese Folie in die Sonne legt, könnte sie in einem externen Hotspot in einigem Abstand von der Folie eine so hohe Intensität erzeugen, dass dort Stahl schmelzen würde.

■ Der Ansatz ermöglicht neben hohen Konzentrationsfaktoren auch die Fähigkeit, das Licht in seine spektralen Komponenten zu zerlegen. Dadurch steigt das theoretische Effizienzlimit für Photovoltaik (Shockley-Queisser Limit) von klassischerweise 34% auf 86%. Solarwärmekraftwerke können bei so hoher Konzentration des Sonnenlichts theoretisch ebenfalls eine Effizienz über 80% erreichen. Nicht zuletzt ist eine hohe Konzentration notwendig, wenn Solarenergie genutzt werden soll, um effizient chemische Energiespeicher zu erzeugen (Solar-to-Gas oder Solar-to-Fuel).

■ Neben der Steigerung der Effizienz würden die Konzentratordfolien vor allem die Kosten von Systemen zur Nutzung von Sonnenenergie reduzieren. So müssten Solarzellen nicht mehr die gesamte beleuchtete Fläche bedecken. Solarwärmekraftwerke wären nicht mehr auf Spiegelanordnungen angewiesen, die mechanisch bewegt werden müssen, um dem Sonnenstand zu folgen, und so hohe Betriebskosten verursachen.

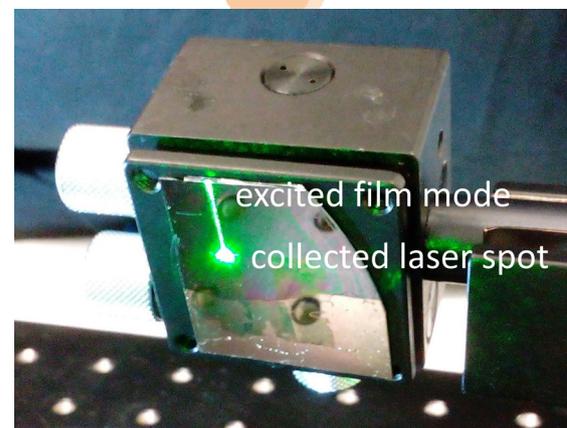


Visualisierung der Idee eines großflächigen kostengünstigen Kollektors, der Licht auf hohe Intensitäten konzentrieren kann.

■ Die Konzentratoren basieren auf optischen Filmwellenleitern auf ihrer Oberfläche. Es gibt bereits Filmwellenleiter, die Licht auf ihrer Oberfläche sammeln können, das sich dann entlang der Oberfläche ausbreitet. Andere Filmwellenleiter können Licht über große Entfernungen führen. Allerdings schließen sich effizientes Sammeln und verlustarme Lichtführung bisher gegenseitig aus. Letztlich aufgrund dieser Problematik sind heutige planare Konzentratoren auf Basis lumineszierender Materialien in klassischen dielektrischen Wellenleitern nach über 30 Jahren Entwicklung noch immer auf Größen weniger Zentimeter beschränkt.

■ Das HyMoCo-Konzept schlägt deshalb neuartige Wellenleiter vor. Dabei werden Silber-Nanostrukturen von unter 20 Nanometern Dicke durch Transferdruck in einer genau definierten Position in der Mitte eines dielektrischen Wellenleiters platziert. Die sogenannte Knotenposition ist für lateral geführtes Licht nahezu „unsichtbar“. So wird einfallendes Licht breitbandig und nahezu für beliebige Einfallswinkel stark in Wellenleitermoden gestreut. Einmal angeregt „sehen“ diese Moden die streuende Anordnung nicht mehr und streuen so nicht zurück. Der Widerspruch zwischen effizientem Sammeln und effizientem Führen über große Flächen könnte so gelöst werden.

■ Im Projekt HyMoCo sind die technologischen Ansätze von vornherein auf kostengünstige Fertigung ausgerichtet. Vakuum-Prozesse werden vermieden und durch Rolle-zu-Rolle kompatible Technologien ersetzt. Darüber hinaus werden Messtechniken entwickelt, um die Eigenschaften der neuen plasmonisch/ dielektrischen Hybridwellenleiter und der zugehörigen Moden insbesondere in flexiblen Systemen genau untersuchen zu können.



Lichtkollektor mit Knotenwellenleiter

DFG-Projekt: Nanoskopische Erfassung des anisotropen Wärmetransports

Laufzeit: 01.3.2014–28.02.2017, Projektleiter: Dr. R. Heiderhoff, Budget: 217.000 €

Aufgrund ihrer speziellen elektronischen, optischen und mechanischen Eigenschaften gewinnen dünne Schichten in einer Vielzahl von technischen Anwendungen immer mehr an Bedeutung. Da die thermischen Eigenschaften dieser dünnen Schichten zu den grundlegenden Funktionen zahlreicher technischer Komponenten beitragen (z.B. in der Mikroelektronik und bei *microelectromechanical systems* (MEMS)), sind sie für deren effizienten Betrieb und ihre Zuverlässigkeit von besonders hohem Interesse. Von besonderem aktuellen Interesse sind Wärmeleitfähigkeitsanalysen organischer Dünnschichtbauelemente, da die Bauelementbetriebsstemperatur sowohl die Lebensdauer als auch das elektrische Verhalten stark beeinflusst.

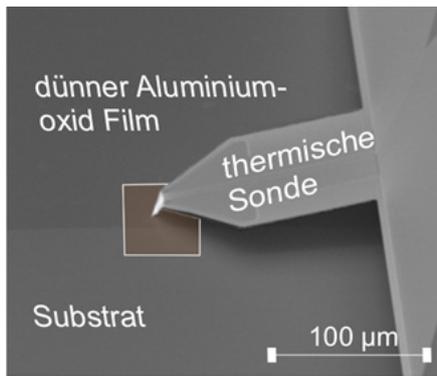
■ Temperaturänderungen in organisch-elektronischen Bauelementen können drastische Veränderungen hervorrufen, wie z.B. Kristallisation, Diffusion von Dotierstoffen oder thermomechanische Ausfälle. Zudem steigt mit der Temperatur auch die Ladungsträgermobilität in organischen Dünnschichten. Allerdings sind die häufig verwendeten Techniken zur Wärmeleitfähigkeitsmessung entweder in ihrer räumlichen Auflösung oder in der Möglichkeit der gerichteten Analyse des Wärmetransports begrenzt. Die Wärmeleitfähigkeit wird nur als eine skalare Größe erhalten, z.B. in Untersuchungen des Wärmestroms durch eine Schicht und in Wärmetransportuntersuchungen in der Ebene. Der Wärmetransport kann jedoch sowohl anisotrop sein als auch ein nichtlineares Verhalten an Grenzflächen zeigen.

■ Deshalb steht die lokale Erfassung des anisotropen Wärmetransports mittels thermischen Nahfeld-Mikroskopie-Verfahren im Mittelpunkt dieses Projekts. Zum ersten Mal werden thermische Transporteigenschaften von dünnen leitenden, halbleitenden sowie dielektrischen Schichten und Grenzflächen quantitativ in allen drei Raumrichtungen mit höchster räumlicher Auflösung studiert. Somit ebnet diese Technik den Zugang zu den gerichteten Wärmetransportmechanismen an Grenzflächen und kann sinnvoll für Forschungsaktivitäten zu nanostrukturierten Vielschichtsystemen angewendet werden.



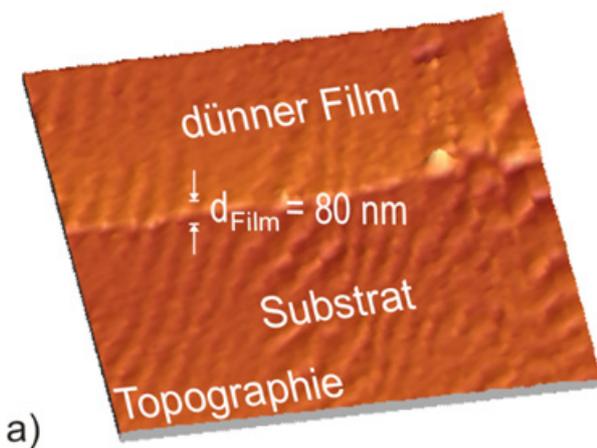
Institut für Polymertechnologie



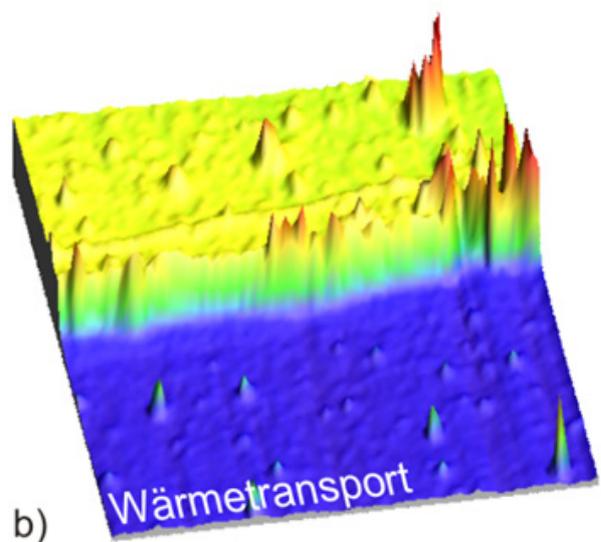


Positionierung einer thermischen Sonde auf einem dünnen Film

Die zerstörungsfreie Erkennung von amorphen und kristallinen Strukturen in organischen und anorganischen Dünnschichten ist ein Ziel im Rahmen des Projektes. Dadurch werden völlig neue und innovative Perspektiven für Schadensanalysen und Zuverlässigkeitsuntersuchungen von zukünftigen Dünnschichtbauelementen erschlossen, z.B. thermische Untersuchungen an Gasdiffusionsbarrieren bzw. Ladungsträger-Injektionsschichten in organischen Leuchtdioden oder organischen Solarzellen. Darüber hinaus können physikalische Modelle der Wärmeleitung durch Messungen überprüft und Grenzen der klassischen Wärmeleitungsmodelle für nanoskalige Systeme aufgezeigt werden.



a) Topographie und **b)** detektierte Wärmetransportunterschiede für einen dünnen Oxid-Film auf einem Silizium-Substrat. Deutlich erkennbar ist ein schlechterer Wärmetransport durch den 80 nm dünnen Aluminium-oxid-Film.



EU-Projekt: Innovative materials for efficient, stable and cheap organic photovoltaic cells, MUJULIMA

Laufzeit 01.01.2014–31.12.2016, Projektleiter: Prof. Dr. T. Riedl, Budget: 446.000 €

Die organische Photovoltaik ist ein Forschungsfeld, welches sich in den letzten Jahren schnell entwickelt. Die Vorteile gegenüber der anorganischen Photovoltaik liegen in der vergleichsweise einfachen und kostengünstigen Herstellung ausgehend von flüssig prozessierbaren Materialien. Aufgrund dieser vorteilhaften Herstellungsmethoden erhält man für organische Bauelemente zusätzliche Freiheiten, was Gewicht, Substratwahl oder Design in der Anwendung betrifft. So sind zum Beispiel Rolle-zu-Rolle-Verfahren mit durch *Inkjet*-Druck aufgebrachten Schichtsystemen auf Folien realisierbar. Diese sind aufgrund der geringen, verarbeiteten Materialmenge äußerst leicht. Die großflächige Herstellbarkeit und mechanische Flexibilität ermöglichen eine Anpassung an eine Vielzahl von Anwendungsgebieten, welche mit etablierter Photovoltaik nicht adressiert werden können.

■ Jedoch ist die Effizienz organischer Solarzellen durch die verwendeten photoaktiven organischen Materialien begrenzt, da diese nur einen bestimmten spektralen Anteil des Sonnenlichts absorbieren. Um dieses Problem zu lösen und die Effizienz weiter zu steigern, wird vermehrt dazu übergegangen, OSCs mit mehr als einer aktiven Schicht (Tandem- oder *Multi-Junction*-Solarzellen) herzustellen. Somit können in einer Solarzelle mehrere Materialien mit unterschiedlichen Absorptionsspektren verwendet und somit der Anteil des absorbierten Lichts deutlich erhöht werden.

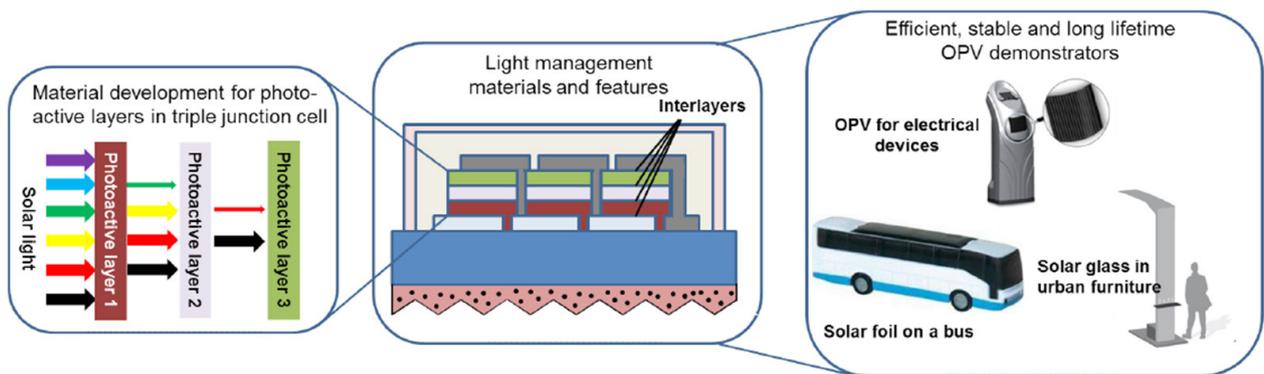
■ Ziel des EU-Projektes MUJULIMA (Multi Junction and Light Management) ist es, das Konzept der *Multi-Junction* Solarzellen in den Bereichen Effizienz und Langzeitstabilität in dem Maße weiterzuentwickeln, dass solche Bauelemente für kommerzielle Anwendungen in Frage kommen. Das generelle Ziel ist also das Design und die Entwicklung neuer Hochleistungsmaterialien mit hoher Stabilität, die kommerziell wettbewerbsfähig sind und hohe

Effizienzen (>15%) und eine lange Lebensdauer (>10 Jahre) der Solarzellen ermöglichen.

■ Um dies zu erreichen, werden in dem Projekt drei grundsätzliche Schlüsselstrategien verfolgt: Zum einen müssen innovative Materialien für die unterschiedlichen Schichten des Bauelements entwickelt werden. Dies gilt sowohl für die photoaktiven organischen Materialien, die für die Umwandlung des Lichts in elektrische Energie verantwortlich sind, als auch für funktionelle Zwischenschichten zur Verbesserung von Transport und Extraktion der erzeugten Ladungsträger.

■ Der zweite Punkt ist die Entwicklung und Integration sogenannter *Light-Management*-Konzepte, die eine verbesserte Nutzung des zur Verfügung stehenden Sonnenlichts ermöglichen sollen. So kann zum Beispiel das für die organische Materialien schädliche UV-Licht in besser nutzbares Licht anderer Wellenlängen umgewandelt werden, was zu einer Steigerung von Effizienz und Stabilität der Bauelemente führen soll.





Ziel des EU-Projekts „MUJULIMA“: Entwicklung anwendungsreifer organischer Multi-Junction-Solarzellen.



Organische Materialien ermöglichen auch flexible Anwendungen.

Im dritten Punkt liegt der Fokus auf der Verbesserung und Beurteilung der Stabilität von Photovoltaik-Modulen im Hinblick auf Außenanwendungen. Dabei steht vor allem die Erprobung von bereits erhältlichen und neu entwickelten Verkapselungsmaterialien im Vordergrund. Diese schützen die Solarzelle vor äußeren Einflüssen wie Luftfeuchtigkeit oder mechanischen Beschädigungen und erhöhen somit die Lebenszeit eines solchen Bauelements.

Im gesamten Konsortium (bestehend aus Universitäten, Instituten und industriellen Partnern aus ganz Europa) wird dabei der Möglichkeit zur großflächigen Produktion verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet. So werden lösungsbasierte Herstellungsverfahren (z.B. Inkjet-Druck) genutzt, um für spätere Anwendungen niedrige Kosten und große Flexibilität zu gewährleisten.

Der Beitrag der Bergischen Universität konzentriert sich dabei größtenteils auf zwei Punkte: Am Lehrstuhl für elektronische Bauelemente wird an neuartigen Zwischenschichten zur verbesserten Ladungsträgerextraktion in Tandemzellen geforscht. Zudem werden hier Rekombinationsschichten entwickelt, welche zur verlustfreien monolithischen Reihenverschaltung der einzelnen Teilzellen genutzt werden.

Darüber hinaus werden in der Arbeitsgruppe Makromolekulare Chemie neue Materialien für Light-Management Konzepte erforscht. Die Erfahrungen im Bereich der Polymersynthese wurden bereits zur Entwicklung neuartiger, sogenannter *down-shifting*-Materialien genutzt. Diese absorbieren für das Bauelement schädliches Licht im UV-Bereich und emittieren Licht in einem Spektralbereich, in dem die Zelle effizient Licht in Strom umwandeln kann.

BMBF-Projekt: Neue Donorpolymere und Elektrodenkonzepte für gedruckte semi-transparente Bulk-Heterojunction Solarzellen

Laufzeit: 01.09.2014–31.08.2017, Projektleiter: Prof. Dr. T. Riedl und Prof. Dr. U. Scherf, Budget: 710.400€

Im BMBF Verbundprojekt: „Erforschung, Entwicklung und Integration materialeffizienter Prozesstechnologien für zukünftige Anwendungen von semi-transparenter Flex-OPV -EPOS“

Um auch in naher Zukunft den weltweit steigenden Energiebedarf möglichst umweltschonend zu decken, ist der Umstieg auf erneuerbare Energie von zentraler Bedeutung. Hierbei tritt seit einigen Jahren die Erzeugung von Strom aus Sonnenenergie in den Fokus der Öffentlichkeit. Solarzellen können zur regenerativen und dezentralen Energiegewinnung entscheidende Beiträge leisten. Zurzeit wird der Photovoltaik-Markt durch siliziumbasierte Solarsysteme bestimmt, welche als opaque Module auf Hausdächern bekannt sind.

■ Im Vergleich zu diesen konventionellen Siliziumsolarzellen setzt die organische Photovoltaik (OPV) auf leitende und halbleitende organische Verbindungen. Dies hat den Vorteil, dass flexible und semitransparente Solarzellen realisiert werden können. So können neue innovative Anwendungsfelder für die Energiegewinnung erschlossen werden. Zudem lassen sich kostengünstige Herstellungsmethoden wie Rolle-zu-Rolle (R2R)-Verfahren verwirklichen.

■ Im Verbundprojekt EPOS „Erforschung, Entwicklung und Integration materialeffizienter Prozesstechnologien für zukünftige Anwendungen von semi-transparenter Flex-OPV“ sollen produktionsstaugliche sowie material- und energieeffiziente R2R-Prozesstechnologien erforscht und entwickelt werden, die es erlauben, semi-transparente organische Solarzellen komplett unter Atmosphären-Bedingungen (ohne Vakuumprozessschritte) zu realisieren.

■ Die Arbeitsgruppe Makromolekulare Chemie von Prof. Scherf und der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente von Prof. Riedl sind mit dem Teilprojekt „Neue Donorpolymere und Elektrodenkonzepte für gedruckte semi-transparente *Bulk-Heterojunction*-Solarzellen“ an dem Verbund beteiligt.

■ Die Forschungsarbeiten an der BUW adressieren die Entwicklung, Herstellung und Auswahl geeigneter, hocheffizienter Donorpolymere in der aktiven Schicht von flüssigprozessierten, semi-transparenten organischen Solarzellen. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf der Synthese von neuartigen Polymeren mit innovativen Syntheseverfahren, wie zum Beispiel der Direktarylierung.



Institut für Polymertechnologie

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Die Arbeitsgruppe von Prof. Riedl befasst sich mit der Entwicklung neuartiger Elektrodenmaterialien und Elektrodenkonzepte für semi-transparente Solarzellen. Dabei kommen unter anderem metallische Nanostrukturen, z.B. Nanodrähte auf Basis von Silber oder Kupfer, welche sich aus flüssiger Phase abscheiden lassen, zum Einsatz. Des Weiteren wird an neuen hocheffizienten funktionellen Zwischenschichten zur verbesserten Extraktion von Ladungsträgern geforscht. Dabei stehen Metalloxide, die aus Flüssigphase hergestellt werden können, im Vordergrund. Komplementär dazu werden auch konjugierte Polyelektrolyte, die von der Arbeitsgruppe von Prof. Scherf synthetisiert werden, eingesetzt. Diese Funktionsbausteine werden in der Gruppe von Prof. Riedl zur Realisierung hocheffizienter, semi-transparenter organischer Solarzellen zusammengeführt.

Neuartiges Elektrodensystem aus Silber-Nanodrähten:

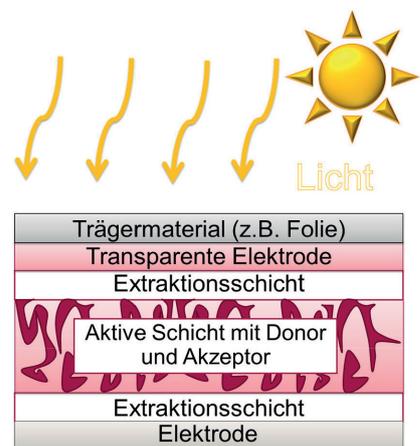
Als Ziel der Forschungsarbeiten soll ein signifikanter Fortschritt hinsichtlich Effizienz, Transparenz und Langzeitstabilität der flexiblen Solarmodule erreicht werden. Daneben kommt der Verarbeitbarkeit der einzelnen Komponenten in für die Industrie relevanter Art und Weise eine besondere Bedeutung zu. Die neu entwickelten Materialien und Konzepte werden an der BUW im Labormaßstab in Bauelementen getestet. In Kooperation mit den Verbundpartnern wird anschließend an der Übertragung aussichtsreicher neuer Materialien und Prozesse auf R2R-Prozesstechnologien gearbeitet. Schließlich sollen diese neu entwickelten Konzepte und Prozesse bei der Fertigung von neuartigen und integrierten OPV-Architekturanwendungen genutzt werden. Die Vision ist eine autarke Energieversorgung, die sowohl für Kleinanwendungen wie Handys oder Beleuchtung als auch für größere Anwendungen, z.B. E-Bikes, genutzt werden kann und sich ohne großen Aufwand integrieren lässt.

An dem Projekt sind neben der Bergischen Universität auch weitere Partner aus Forschung und Industrie beteiligt.

Projektpartner sind: 3D-Micromac AG (Chemnitz, Konsortialführer) EXAKT Advanced Technologies GmbH (Norderstedt), FMP Technology GmbH (Erlangen), Fraunhofer Institut für Angewandte Polymerforschung (Potsdam), KSG Leiterplatten GmbH (Gornsdorf), LayTec in-line GmbH (Berlin), PUMA SE (Herzogenaurach), Sächsische Walzengravur GmbH (Frankenberg), Technische Universität Braunschweig und Technische Universität Chemnitz.



Semitransparente Dünnschichten für organische Solarzellen

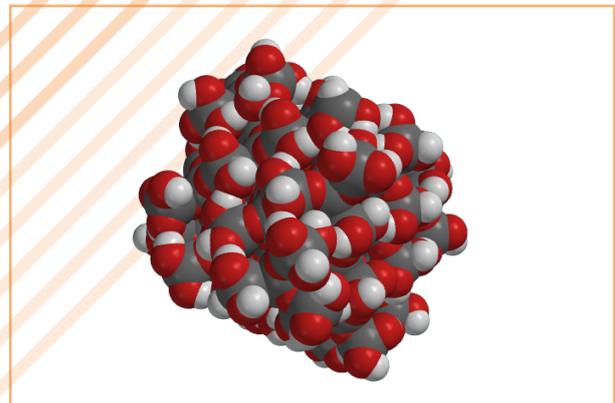


Prinzipieller Schichtaufbau einer organischen Solarzelle

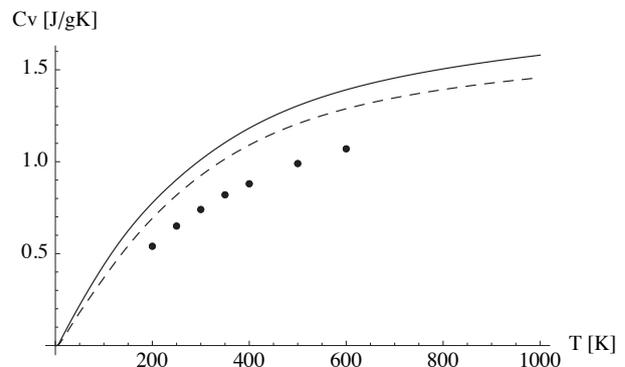
DFG-Projekt: Erhöhung der spezifischen Wärmekapazität in Nanofluiden

Laufzeit: 21.07.2014–31.07.2016, Projektleiter: Prof. Dr. R. Hentschke, Budget: 114.000 €

In solarthermischen Kraftwerken werden Salzschnmelzen als Wärmeträger- und Speichermedien eingesetzt. Die spezifische Wärmekapazität dieser Salzschnmelzen kann durch Einarbeitung von Nanopartikeln stark beeinflusst werden. Insbesondere wird in verschiedenen Nanofluiden, gerade bei sehr geringer Konzentration an Nanopartikeln aus Siliziumdioxid, Aluminiumoxid und anderen, eine Erhöhung der spezifischen Wärmekapazität um 30% oder sogar mehr erreicht. Dieser technisch interessante und wirtschaftlich wichtige Effekt ist bisher nicht verstanden.



Das Projekt will eine theoretische Erklärung des Effekts auf der molekularen Ebene liefern. Methodische Grundlagen sind dabei sowohl die Computersimulation mittels Molekulardynamik oder Monte Carlo Algorithmen auf der Basis Molekularer Kraftfelder, aber auch analytische Modelle auf der Basis der Statistischen Thermodynamik. Das resultierende Grundlagenverständnis soll anschließend zur gezielten Optimierung von Wärmeträger- und Speichermedien beitragen.



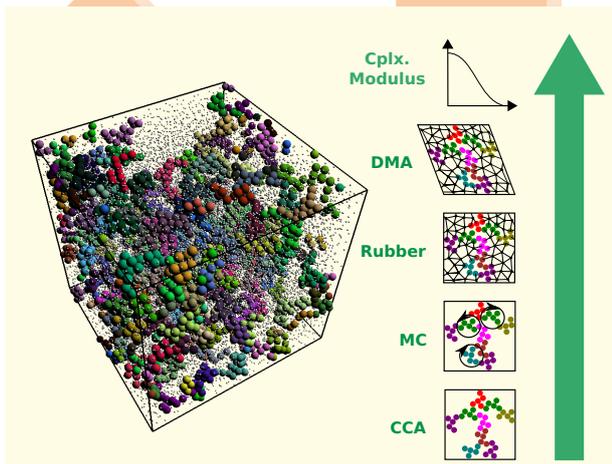
Oben: CPK-Modell eines Nanopartikel aus Siliziumdioxid. Unten: Spezifische isochore Wärmekapazität vs. Temperatur für zwei Nanopartikel aus Siliziumdioxid (durchgezogene Linie – kleiner Partikel; gestrichelte Linie – größerer Partikel) im Vergleich zu experimentellen Werten von Bulk-Siliziumdioxid (Punkte).

Kooperationsprojekt mit der Firma Continental Reifen Deutschland GmbH: Molecular Interpretation of Dynamical Mechanical Properties of Filled Rubber Networks

Laufzeit: 01.01.2015–01.01.2018, Projektleiter: Prof. Dr. R. Hentschke, Budget: 217.000 €

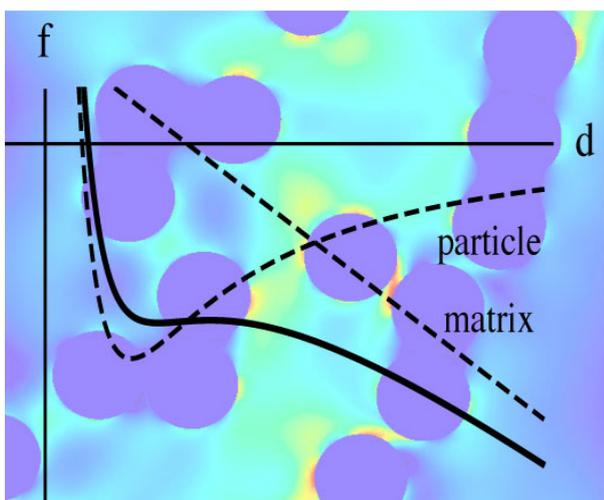
Nur wenige technische Errungenschaften können sich in ihrer nachhaltigen Bedeutung mit dem Rad messen. Es hat unsere Zivilisation „ins Rollen gebracht“ und begleitet uns inzwischen über viertausend Jahre. Heutige Reifenlaufflächen sind Hochtechnologie und dies nicht nur auf den Rennstrecken, sondern insbesondere im Alltag. Leistungsparameter wie Rollwiderstand, Abrieb, Nass- und Schneegriff beeinflussen die Käuferakzeptanz und entscheiden über den kommerziellen Erfolg.

■ Dieses Projekt konzentriert sich besonders auf eine Komponente des Reifens: den Füllstoff. Früher war dies ausnahmslos Ruß. Der Ruß verleiht dem Reifen seine mechanische Widerstandsfähigkeit. Aber er beeinflusst auch die anderen Leistungsparameter. Gegenwärtig hat der Ruß vor allem einen Konkurrenten – Siliziumdioxid. Silica reduziert gegenüber Ruß den Rollwiderstand des Reifens und erhöht dessen Energieeffizienz – ein Aspekt, der immer mehr an Bedeutung gewinnt. Allerdings ist die Festigkeit nicht so hoch wie im Fall von Ruß. Dies ist insbesondere für LKW-Reifen nachteilig. Ein Ziel der Reifenforschung ist daher die Optimierung der Eigenschaften Silica-gefüllter Reifenlaufflächen. Da sich „nacktes“ Silica im Gummi verhält wie Wasser in Öl, benötigt man chemische Verbindungen, sogenannte Haftvermittler, die die Oberfläche des Silica mit dem Gummi verträglich machen, ähnlich wie Spülmittel Fette in Wasser zu lösen erlauben. Aus der schier unendlichen Zahl der möglichen Haftvermittler gilt es diejenigen zu identifizieren, die die gewünschten Reifeneigenschaften erzeugen.



Schematik eines neuen Modells zur Erklärung des Rollwiderstands

■ Die gegenwärtigen experimentellen Methoden erlauben nicht den direkten „Blick“ auf die molekulare Struktur und Dynamik in der Grenzfläche zwischen Gummi und Füllstoff. Damit sind sie nicht in der Lage, einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen chemischer Struktur der Haftvermittler und den durch diese bestimmten makroskopischen Reifeneigenschaften herzustellen. Hier kommt unsere Arbeit ins Spiel – die Computersimulation molekularer Grenzflächen. Wir sind in der Lage, Ausschnitte der Grenzfläche im Computer zu erzeugen und, im Gegensatz zum Experiment, bei gleichzeitiger direkter Beobachtung die makroskopischen mechanischen Reifeneigenschaften vorherzusagen. Diese Modellbildung am Computer assistiert dem Reifenentwickler bei der Auswahl der Art und Menge der für gewünschte Reifeneigenschaften notwendigen Mischungskomponenten und Prozessparameter.



Schematik der Simulation dynamischer Module

BMBF-Projekt: Konjugierte Polyelektrolyte zur Modifikation der Grenzfläche zwischen Elektroden und Organischen Halbleitern

Laufzeit: 01.12.2015–30.11.2018, Projektleiter: Prof. Dr. T. Riedl und Prof. Dr. U. Scherf, Budget: 550.700 €

Im BMBF Verbundprojekt: „Designprinzipien in der organischen Elektronik: Heterogenitäten im Volumen und an Phasengrenzen (Grenzflächen)“

Grenzflächen und Phasengrenzen spielen eine solch entscheidende Rolle in elektronischen Bauelementen, dass Herbert Kroemer in seiner Nobelvortrag den Satz prägte „Often, it may be said that the interface is the device“. Dies gilt in der anorganischen Elektronik und es gilt, hält man sich den komplexen Schichtstapel einer organischen Leuchtdiode (OLED) oder die Morphologie einer Polymersolarzelle vor Augen, sicher noch viel mehr in der organischen Elektronik (OE). Die OE wurde in ihren Anfangsjahren von schnellen und beeindruckenden Erfolgen im Bereich der Bauteilentwicklung verwöhnt. Möchte man aber das Potenzial dieser Technologie voll ausschöpfen, so muss, ganz analog zur Silizium-Technologie, am detaillierten Verständnis der grundlegenden Fragestellungen geforscht werden.

■ Ziel des Verbundprojekts InterPhase ist es, ausgehend von wohldefinierten Grenzflächen, Heterostrukturen zunehmender Komplexität zu verstehen und Wege zur kontrollierten Modifikation und Optimierung ihrer elektronischen Eigenschaften zu eröffnen. An der BU Wuppertal sind die Arbeitsgruppen von Prof. Scherf und Prof. Riedl an InterPhase beteiligt.

■ Der Schwerpunkt der Arbeiten im Teilprojekt der BU Wuppertal, liegt auf Organik/Metall(oxid)-Grenzflächen. Durch das gezielte Anbringen konjugierter Polyelektrolyte (*conjugated polyelectrolytes*, CPE) soll eine vereinfachte Kontrolle über die sich herausbildenden elektronischen Eigenschaften der Phasengrenzen erlangt und eine verbesserte Ladungsträgerextraktion/-injektion aus/in organische(n) Materialien an der Grenzfläche Elektrode/Organik erreicht werden. CPEs können aus polaren Lösemitteln und Lösemittelgemischen (z.B. Wasser, Alkohole) aufgebracht werden. Damit sind CPEs attraktive funktionelle Materialien für die lösungsbasierte OE auf Basis umweltverträglicher Materialien. Einer inzwischen beachtlichen Zahl an vielversprechenden Arbeiten steht derzeit ein substantielles Defizit an grundlegendem Verständnis des Funktionsprinzips der CPEs gegenüber. Bisher fehlt es an systematischen Studien zu diesem Themenfeld, welche den Zugang zu einem umfassenden Verständnis der zugrundeliegenden Prozesse erst ermöglichen würden. In diesem Vorhaben soll daher der Mechanismus, der zu einer verbesserten Bauelementcharakteristik unter Verwendung von CPE-Zwischenschichten führt, im Detail untersucht und verstanden werden.

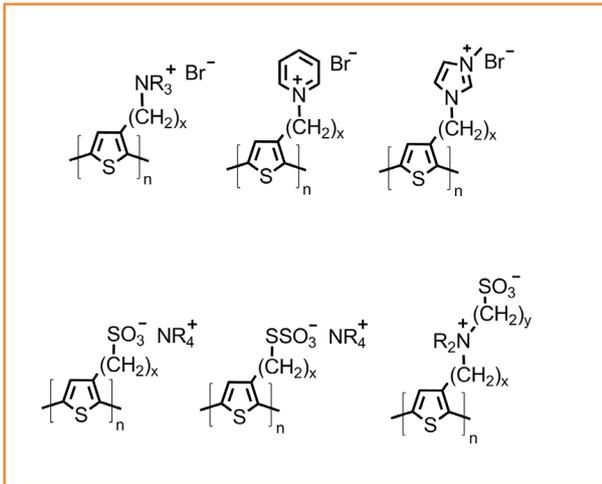


Institut für Polymertechnologie

GEFÖRDERT VOM

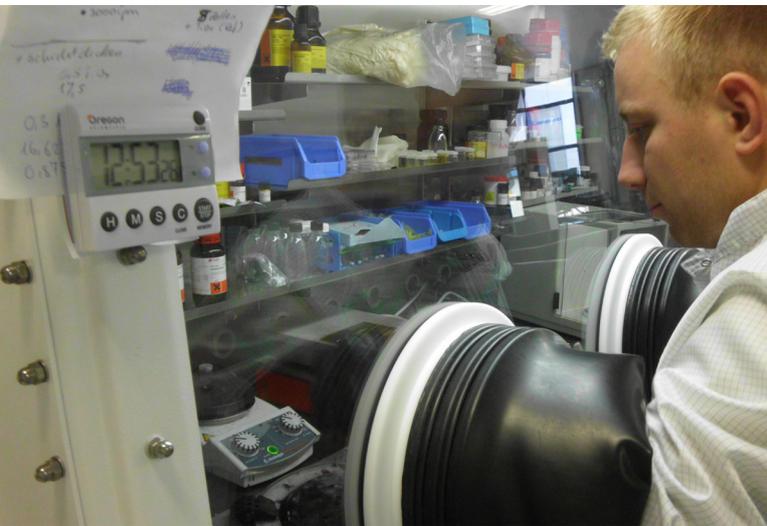


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



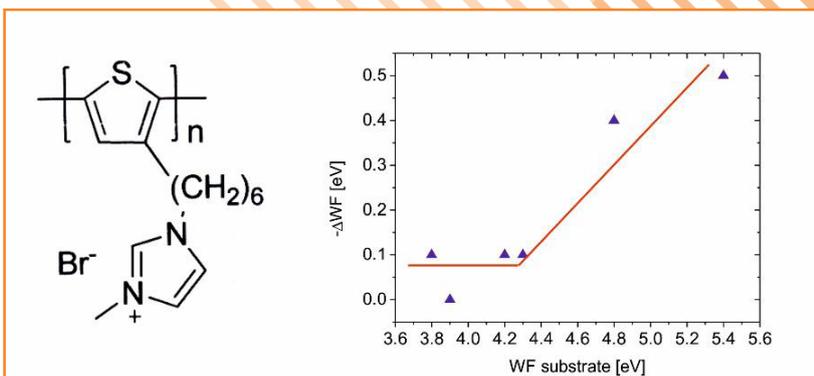
Molekülstrukturen verschiedener konjugierter Polyelektrolyte

■ Vor diesem Hintergrund wird in der Scherf-Gruppe bei der CPE-Synthese die chemische Struktur der konjugierten Polyelektrolyte (Rückgrat, Dichte und Polarität der Seitengruppen, Typ des Gegenions) systematisch variiert. In der Riedl-Gruppe wird die Modifikation der elektronischen Eigenschaften unterschiedlicher Elektrodenmaterialien durch ultra-dünne CPE-Schichten studiert. Mittels spektroskopischer und mikroskopischer Methoden werden die CPE-Schichten und ihre Wechselwirkung mit den angrenzenden Materialien aufgeklärt. Ausgewählte CPE-Systeme werden in unipolare/bipolare Bauelementstrukturen (Solarzellen, Transistoren) integriert werden, um die zuvor erhaltenen Ergebnisse mit den Bauelementeigenschaften zu korrelieren. Die Arbeiten werden in enger Kollaboration mit Partnern im InterPhase-Projekt durchgeführt: z.B. Photoelektronenspektroskopie (TU Darmstadt) und IR-Spektroskopie (Uni Heidelberg).



Die Auftragung der CPE-Schicht erfolgt aus flüssiger Phase. Um Umwelteinflüsse auszuschließen arbeitet man unter kontrollierter Stickstoff-Atmosphäre in sogenannten Handschuhboxen.

■ Das Projektkonsortium ist in seiner Zusammensetzung einmalig: Unter der Leitung des Instituts für Hochfrequenztechnik der TU Braunschweig vereint es das Know-how von insgesamt neun Partnern, neben der BU Wuppertal sind das: Universität Heidelberg, Karlsruher Institut für Technologie, Universität Stuttgart, TU Darmstadt, Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Paul-Drude-Institut Berlin und Universität Augsburg.



Molekülstruktur des CPEs P3ImHT (links) und Verschiebung der Austrittsarbeit in Abhängigkeit von der Austrittsarbeit des Substrates

DFG-Projekt: Flexible Hochfrequenz-Transistoren und deren Schaltungen

Laufzeit: 01.12.2015–30.11.2017, Projektleiter: Prof. Dr. T. Riedl und Prof. Dr. U. Scherf,
Budget: 366.200 €

DFG-Projekt: A metal-oxide TFT technology platform for Flexible RF communication systems (10by10)

Laufzeit: 01.12.2015–30.11.2018, Projektleiter: Prof. Dr. T. Riedl und Prof. Dr. U. Pfeiffer,
Budget: 543.500 €

Im DFG Schwerpunktprogramm SPP 1796:

„Flexible, biegsame Hochfrequenz Elektronik für eine drahtlose Kommunikation FFLexCom“

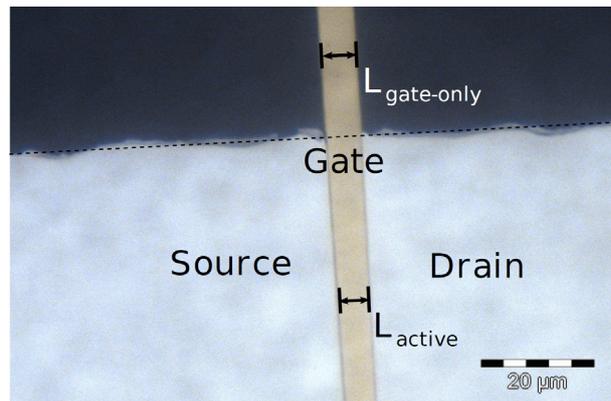
In der Vergangenheit wurden elektronische Bauelemente und Schaltungen im Wesentlichen auf immer höhere Geschwindigkeit und geringere Verlustleistung optimiert. Ein bislang kaum betrachteter Aspekt ist die mechanische Flexibilität: Lässt sich zukünftige Elektronik realisieren, die leicht, durchsichtig, ultra-dünn, biegsam und möglicherweise sogar dehnbar sein wird? Die Dünnschichtelektronik liefert den Schlüssel zu diesem neuen Themenfeld. Als Trägermaterial kommen dann nicht mehr Leiterplatten, sondern z.B. PET-Folien, Textilien, oder sogar Papier in Betracht. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat einen entsprechenden Schwerpunkt mit dem Titel FFLexCom eingerichtet. In FFLexCom soll im Rahmen von Teilprojekten an Technologien zur Realisierung von neuartigen, flexiblen und drahtlosen Kommunikationssystemen geforscht werden.

■ Das erste Projekt, in Zusammenarbeit mit Prof. Scherf (Makromolekulare Chemie), hat die grundlegende Erforschung neuartiger flexibler Dünnschichttransistoren zum Ziel.

„Die Gutachter haben die Interdisziplinarität des Vorhabens und unsere erfolgreichen Vorarbeiten überzeugt.“, freut sich Prof. Riedl und fügt hinzu: „Flexible Elektronik kann zukünftig in vielen Bereichen des täglichen Lebens eine wichtige Rolle spielen, z.B. in der Medizintechnik oder im Bereich sog. „smart wearables“, also Kleidungsstücken, die mit zusätzlichen elektronischen Funktionalitäten aufwarten können.“



DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft



Ein Baustein für schnelle Dünnschicht-elektronik: Zink-/Zinn-Oxid-Dünnschichttransistor (ZTO-TFT) mit einer Grenzfrequenz f_T von 31 MHz. Durch weitere Miniaturisierung wird eine Steigerung der Grenzfrequenz um nochmals eine Größenordnung erwartet.

■ Das zweite geförderte Vorhaben ist eine Zusammenarbeit des Lehrstuhls von Prof. Riedl mit dem Lehrstuhl für Hochfrequenzsysteme in der Kommunikationstechnik unter der Leitung von Prof. Pfeiffer. Darin wird eine neue Technologie für schnelle, rauscharme Dünnschichttransistoren auf der Basis von Metall-Oxid-Halbleitern entwickelt und in fortgeschrittene Schaltungskonzepte implementiert, z.B. durch Erzeugung von Oberwellen in nichtlinearen Schaltungen oder die resistive Selbstmischung. Dazu erläutert Prof. Pfeiffer:

„Die Dünnschichtelektronik ist heute bereits kostengünstig und flexibel, aber sie ist im Vergleich zu etablierter (nicht-flexibler) Mikroelektronik leider auch sehr langsam und daher für Kommunikationsanwendungen nicht zu gebrauchen. Mit unseren Ansätzen erwarten wir, existierende Geschwindigkeitslimits der flexiblen Dünnschichtelektronik zu überwinden.“

Impressum

Herausgeber:

Institut für Polymertechnologie
Bergische Universität Wuppertal
Campus Freudenberg
Rainer-Gruentner-Str 21
42119 Wuppertal
www.ifp.uni-wuppertal.de
Email: ifp@uni-wuppertal.de

Druck:

Druckhaus Ley + Wiegandt GmbH

Redaktion:

Ullrich Scherf
Michael Forster

Design & Layout:

Sebastian Wendland

Das Institut für Polymertechnologie dankt der Bergischen Universität für die finanzielle und technische Unterstützung.

Redaktionsschluss:

Dezember 2015