



Fraunhofer

IAP

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE POLYMERFORSCHUNG | INSTITUTE FOR APPLIED POLYMER RESEARCH

JAHRESBERICHT
ANNUAL REPORT

2014
2015





FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE POLYMERFORSCHUNG IAP
FRAUNHOFER INSTITUTE FOR APPLIED POLYMER RESEARCH IAP

Wechsel der Institutsleitung | 4
Change in institute leadership
Vorwort | 6
Preface

10

DAS INSTITUT **THE INSTITUTE**

Das Fraunhofer IAP im Überblick | 12
The Fraunhofer IAP at a glance
Kuratorium | 14
Advisory board
Das Institut in Zahlen | 15
The institute in figures
Organisation und Schwerpunkte | 16
Organization and main topics
Ansprechpartner | 18
Contact persons
Die Fraunhofer-Gesellschaft | 20
The Fraunhofer-Gesellschaft
Fraunhofer-Verbund
Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS | 22
The Fraunhofer Group
for Materials and Components – MATERIALS

24

BIOPOLYMERE **BIOPOLYMERS**

Neue Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen | 26
New products made from renewable raw materials
Anwendungen und Dienstleistungen | 30
Applications and services
Kurzumtriebsplantagen – Neue Ressource
für Polysaccharide? | 34
Short rotation forestry – new resources
for polysaccharides?
Neue Hydrogelstrukturen für Massestärken
in der Papierherstellung | 36
New hydrogel structures for wet-end starches
in paper manufacturing
Fermentative Herstellung einer Peroxidase
zur Modifizierung von Lignin | 38
Fermentative production of peroxidase
for the modification of lignin
Strukturbildung biobasierter Thermoplaste
im Spinnprozess | 40
Structural formation of biobased thermoplastics
during the spinning process
PLA-Folien mit verbesserten Barriereigenschaften | 42
Improved barrier properties of polylactide films

44

FUNKTIONALE **POLYMERSYSTEME** **FUNCTIONAL POLYMER** **SYSTEMS**

Funktionswerkstoffe und Technologie | 46
Functional materials and technology
Anwendungen und Dienstleistungen | 50
Applications and services
Entwicklung von OLED Modulen
für die Integration in Textilien | 52
Development of OLED modules for integration
into textiles
Thermisch stabile organische Solarzellen
mit vernetzten Polymer-Fulleren-
Mischschichten | 54
Organic solar cells with cross-linked bulk-
heterojunction layers for enhanced thermal
stability
Überhitzungsschutz für Solarkollektoren | 56
Protection against overheating of solar
collectors
Reflektierende elastische Gitter für einstellbare
diffraktive optische Bauelemente | 58
Reflective elastomeric gratings for tunable
optical diffractive devices

60

SYNTHESE- UND POLYMERTECHNIK SYNTHESIS AND POLYMER TECHNOLOGY

Forschung und Entwicklung im Profil | 62

Research and development (R&D) profile

Anwendungen und Dienstleistungen | 66

Applications and services

Thermisch stabile Kern-Schale Mikropartikel
mit flüssigem Kern | 68

Thermally stable core-shell microparticles
with high liquid core content

Thermosensitive Mikrogele zur Herstellung
von Thermoregulationsbekleidung | 70

Thermosensitive microgels for the fabrication
of thermo-regulated clothing

FNR-Projekt Biopolymere/ Modifikationsmöglich-
keiten von PLA für das Blasfolienverfahren | 72

FNR Project Biopolymers/ Modification potential
of PLA for the Blown Film Technology

90

PILOTANLAGEN- ZENTRUM SCHKOPAU PILOT PLANT CENTER SCHKOPAU

Polymertechnologie im Pilotanlagenzentrum | 92

Polymer technology at the Pilot Plant Center

Anwendungen und Dienstleistungen | 96

Applications and services

Neues Aufarbeitsverfahren für
Kautschuklösungen | 98

New polymer isolation process for rubber solutions

Hybridspritzguss mit endlosfaserverstärkten
Thermoplasten | 100

Hybrid injection molding with continuous
fiber-reinforced thermoplastics

74

SPEZIALPOLYMERE SPECIALTY POLYMERS

Spezialpolymere | 76

Specialty Polymers

Anwendungen und Dienstleistungen | 80

Applications and services

Maßgeschneiderte Polymerbeschichtungen
mit hoher Beständigkeit gegen unspezifische
Adsorption | 82

Tailor-made polymer coatings
with high resistance to non-specific adsorption

Analytische Ultrazentrifugation von
selbstorganisierenden Käfigverbindungen | 84

Analytical ultracentrifugation on self-assembled cages

Biomaterialien für die Medizin – Polymere
und Metalle | 86

Biomaterials in medical applications – polymers
and metals

Methode für den validierbaren Vergleich von
Wirkstoffträgern | 88

An internally validated method to compare carrier
systems

102

FAKTEN, EREIGNISSE, PUBLIKATIONEN FACTS, EVENTS, PUBLICATIONS

Rückblick 2014 | 104

Review 2014

Methoden und Ausstattung | 106

Methods and equipment

Zusammenarbeit | 112

Collaboration

Ereignisse | 117

Events

Publikationen | 120

Publications

Patente | 135

Patents

Anfahrt | 137

How to reach us

Standorte | 138

Locations

WECHSEL DER INSTITUTSLEITUNG CHANGE IN INSTITUTE LEADERSHIP



Nach 23 Jahren am Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP und neun Jahren als dessen Institutsleiter wurde Prof. Dr. Hans-Peter Fink am 4. März 2015 feierlich in den Ruhestand verabschiedet. Mit einer Festveranstaltung würdigten rund 130 Gäste seine Verdienste für die Wissenschaft, für Fraunhofer, die Industrie und das Land Brandenburg. Das Fraunhofer IAP mit seinem breiten Forschungsspektrum, das von Biopolymeren über Funktionsmaterialien bis zu Spezialpolymeren reicht, hat unter der Leitung von Prof. Fink eine kontinuierlich positive Entwicklung genommen. Äußerlich sichtbar ist diese Entwicklung vor allem in der 2012 fertiggestellten zweiten Ausbaustufe des Instituts in Potsdam-Golm. Der Fraunhofer-Präsident Prof. Neugebauer ehrte Prof. Fink für sein Lebenswerk am Institut mit der Fraunhofer-Medaille und hob dabei insbesondere sein zielgerichtetes, konsequentes Handeln sowie die Erfolge auf dem Gebiet der Biopolymere hervor.

Prof. Dr. Alexander Böker übernahm die geschäftsführende Leitung des Instituts bereits am 1. Februar 2015. Nach längeren Auslandsaufenthalten in den USA und der Habilitation an der Universität Bayreuth war er seit 2008 Inhaber des Lehrstuhls für Makromolekulare Materialien und Oberflächen an der RWTH Aachen sowie stellvertretender wissenschaftlicher Direktor des DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien e.V. Prof. Böker wurde gleichzeitig auf den Lehrstuhl für Polymermaterialien und Polymertechnologien an der Universität Potsdam berufen, wobei er mit seinen Arbeiten zu funktionalisierten Proteinen, Naturfasern und der Haarkosmetik-Chemie neue Aspekte der Grundlagenforschung und ihrer Umsetzung in die Industrie einbringt.

After 23 years at the Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, and nine years as head of the institute, Prof. Dr. Hans-Peter Fink took his official leave on March 4th, 2015 and entered into a well-deserved retirement. One hundred and thirty guests honoured his services to science, the Fraunhofer-Gesellschaft, industry and the state of Brandenburg at the farewell celebration. The Fraunhofer IAP has a large portfolio of research activities, ranging from biopolymers through to functional materials and specialty polymers, and experienced continuous positive development under the leadership of Prof. Fink. This is outwardly visible, above all, in the second expansion phase of the institute in Potsdam-Golm, which was completed in 2012. Fraunhofer President, Prof. Neugebauer, honoured Prof. Fink with the Fraunhofer Medal for his life's work at the institute and with Fraunhofer, emphasizing, in particular, Fink's target-oriented and consistent approach as well as his success in the area of biopolymers.

Prof. Alexander Böker became head of the institute on February 1st, 2015. After longer-term stays in the United States of America and a habilitation at the University of Bayreuth, he became a professor of Macromolecular Materials and Surfaces at RWTH Aachen from 2008 onwards and was the Deputy Scientific Director of DWI – Leibniz Institute for Interactive Materials. Böker was simultaneously appointed Professor of Polymer Materials and Polymer Technologies at the University of Potsdam to which he brings new aspects of basic research and their application in industry through his work on functionalized proteins, natural fibers and hair-cosmetic chemistry.



VORWORT

Kontinuität und Veränderung

Polymere in Form von Kunststoffen, aber auch in vielen anderen Anwendungen wie Compositen, Fasern und Folien, Schaumstoffen, Kautschukprodukten, Lacken und Klebstoffen, als Additive für die Baustoff-, Papier-, Waschmittel-, Kosmetik- und Pharmaindustrie, in Form von Biomaterialien, organischen Leuchtdioden, als Sensormaterial oder als elektronisches Speichermedium sind allgegenwärtig – wir leben im Kunststoffzeitalter. Und natürlich steht die Entwicklung auf diesem dynamischen Gebiet nicht still. Neben ökologischen Verpackungsmaterialien und den unterschiedlichen Commodity-Kunststoffen werden zunehmend technische Kunststoffe und faserverstärkte Composite für den Leichtbau benötigt, hierbei vor allem für den Flugzeugbau, für Windenergieanlagen und für die Fahrzeugindustrie mit der Elektromobilität als Zielstellung. Neben den Strukturmaterialien spielen auch Funktionsmaterialien mit besonderen elektrischen, optischen oder medizinisch-diagnostischen Eigenschaften eine wichtige Rolle. Bei der Polymerherstellung und entsprechenden Verfahrensentwicklungen geht es heute vor allem um umweltfreundliche und effiziente Technologien, aber auch um die Nutzung von erdölunabhängigen biobasierten Ressourcen. Neue Entwicklungen der Polymerverarbeitung mittels generativer (Druck-)Verfahren oder die Einführung neuer Halbzeuge für den polymerbasierten Leichtbau stellen auch neue Ansprüche an die Materialien. Die Kombination von Struktur- und Funktionsmaterialien in einem Arbeitsgang ist das Thema der funktionsintegrierenden Verarbeitung, die heute erst am Anfang steht, aber eine hocheffiziente industrielle Fertigung von komplexen Bauteilen in der Zukunft erwarten lässt.

Das Fraunhofer IAP ist in diesem Zusammenhang sehr gut aufgestellt, sein Profil umfasst in einmaliger Form Kompetenzen auf dem Gebiet der synthetischen und biobasierten Polymere. Die interdisziplinären Forschungsarbeiten des Instituts reichen von biobasierten Fasern und Kunststoffen über synthetische Funktionsmaterialien bis zu einer großen Palette von Spezialprodukten für die chemische Industrie, für Kosmetik, Pharmazie und Medizin. Material- und Verfahrensentwicklungen gehen in der Regel Hand in Hand, wobei Entwicklungen aus dem Labormaßstab in den Technikums- und Pilotanlagenmaßstab übertragen werden können. Die Möglichkeit des Up-scalings als ein für die industrienahen Fraunhofer-Forschung wichtiges Alleinstellungsmerkmal wurde seit Bestehen des Instituts konsequent ausgebaut. So stehen im Fraunhofer IAP in Potsdam-Golm Technika und Miniplant-Anlagen für Polymer-synthese und Faserentwicklung (Nass- und Schmelzspinnen) zur Verfügung, ein Anwendungszentrum für innovative Funktionsmaterialien auf der Basis von Drucktechnologien wurde 2012 als zweite Ausbaustufe des Fraunhofer IAP in Betrieb genommen. Im Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum PAZ in Schkopau im mitteldeutschen Chemiedreieck können seit 2005 Polymersynthesen im Tonnenmaßstab realisiert werden. Ein Verarbeitungstechnikum für Biopolymere wurde im Jahr 2013 auf dem BASF-Standort Schwarzheide eröffnet. Die erfolgreiche Entwicklung des Fraunhofer IAP basiert dabei vor allem auf überregionalen Kooperationen mit den in den alten Bundesländern gelegenen industriellen Zentren der Polymer- und Faserindustrie, aber auch in nicht unerheblichem Maße auf Kooperationen in Europa und weltweit. Diese Strategie des weltweiten Angebots hochspezialisierter Kompetenzen wird ergänzt durch das Angebot von angewandter Forschung an den Standorten der ostdeutschen Kunststoff- und Chemieindustrie in Form der Außenstellen des Instituts in Schkopau und Schwarzheide sowie durch zunehmende Kooperation mit lokalen kleinen und mittleren Unternehmen im Rahmen der Innovationsstrategie der Länder Berlin und Brandenburg.



Aktuelle Beispiele für die erfolgreiche Forschung des Fraunhofer IAP sind Entwicklungen neuer Spinnverfahren für Man-made Cellulosics sowie von PAN- und biobasierten Carbonfasern, neue Stärkeprodukte, Technologieentwicklungen für die Biopolymersynthese und -verarbeitung, die Entwicklung von Quantum-Dots für den Einsatz in flexiblen Displays sowie das Angebot von OLED- und OPV-Technologien. Bemerkenswert sind ebenfalls Arbeiten zur medizinischen Nutzung von Polymeren, dabei besonders herausragend die mehrfach preisgekrönte Entwicklung einer künstlichen Augenhornhaut (ArtCornea®). Im Pilotanlagenzentrum in Schkopau wurde seit seiner Eröffnung eine Vielzahl von Großprojekten mit Industriepartnern aus aller Welt durchgeführt, deren Ergebnisse in aller Regel strikter Vertraulichkeit unterliegen.

Es ist nur natürlich, dass sich das Fraunhofer IAP mit seinen Forschungsaktivitäten den allgemeinen Forschungstrends, aber gerade auch den Bedürfnissen der Industrie anpasst. Auf der Grundlage der vorhandenen Kompetenzen und erfolgreichen Arbeitsgebiete wurden und werden dabei neue Arbeitsrichtungen ermittelt und ausgebaut. Mit dem Wechsel der Institutsleitung soll die bisherige Strategie des Bewahrens und Erweiterns dabei konsequent weiter verfolgt werden. Insbesondere die durch den neuen Institutsleiter eingebrachten Kompetenzen der engen Verbindung von Biotechnologie und Proteinmodifizierung eröffnen neue Wege, biologische Funktionen in polymere Bausteine zu integrieren und somit von dem Funktionsreichtum der Natur für maßgeschneiderte Anwendungen in der Oberflächenveredelung, bei Klebstoffen, Waschmitteln und der Kosmetik zu profitieren.

An dieser Stelle erwähnt werden soll auch die Vorbereitung der vom Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft beschlossenen Integration der Fraunhofer-Einrichtung PYCO in das Fraunhofer IAP ab dem 1. Januar 2016. Das auf Composite und Leichtbau spezialisierte PYCO ergänzt dabei die Kompetenzen des Fraunhofer IAP in nahezu idealer Weise, der geplante Ausbau des Standorts Wildau entspricht der Fraunhofer IAP-Strategie der Präsenz an wichtigen Standorten der ostdeutschen Industrie.

Das Institut konnte 2014 seine erfolgreiche wirtschaftliche und wissenschaftliche Entwicklung fortsetzen, was in den umfangreichen Projektaktivitäten und Kooperationen zum Ausdruck kommt, aber auch in der Zahl der Präsentationen, Publikationen und Patente. Die gute Entwicklung des Fraunhofer IAP und das erfolgreiche Jahr 2014 wären ohne das Vertrauen der Auftraggeber und Kooperationspartner und ohne die bewährte Unterstützung durch das Kuratorium und durch die öffentlichen Stellen nicht möglich gewesen. Insbesondere sind es jedoch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer IAP, deren Ideen, Einsatz und vielfältigen Leistungen die Grundlage des Erfolgs des Instituts schaffen. Ihnen allen dankt die Institutsleitung dafür an dieser Stelle herzlich.

Prof. Dr. habil. Hans-Peter Fink

Prof. Dr. Alexander Böker

PREFACE

Continuity and change

Polymers are omnipresent – they are used in plastics and in many other applications such as composites, fibers, films, foams, rubber products, paints, adhesives, additives for the construction, paper, detergent, cosmetic and pharmaceutical industries, bio-materials, organic light emitting diodes, sensor materials and electronic storage media. We are living in an age of plastics. And, naturally, development in this dynamic field doesn't stand still. In addition to ecological packaging and various commodity plastics technical polymers and fiber-reinforced composites are required for aircraft manufacturing, wind turbines and to achieve electromobility in the automotive industry. In addition to structural materials, functional materials play a key role, having special electrical, optical or medical-diagnostic properties. When producing polymers and developing corresponding processes, emphasis today is on using environmentally friendly and efficient technologies as well as on the use of biobased resources that don't rely on crude oil. New demands are being placed on the materials as a result of new developments in polymer processing that use generative (print) processes and because semi-finished products have been introduced into polymer-based lightweight construction applications. Combining structural and functional materials in one operating step is the focus of function integration processing, which is currently still in its infancy but which is expected to produce complex components on a highly efficient industrial scale.

The Fraunhofer IAP is well-positioned in this regard and its research profile encompasses a unique set of competencies in the area of synthetic and biobased polymers. The institute's interdisciplinary research ranges from biobased fibers and plastics to synthetic functional materials and a wide selection of specialty products for the chemical, cosmetics, pharmaceutical, and medical industries. Material and process developments generally go hand-in-hand, and developments can be scaled up from lab to technical and pilot plant scale. This scaling up – an important USP of industry-oriented research at Fraunhofer – has been steadily growing since the institute's inception. The Fraunhofer IAP in Potsdam-Golm is equipped with technical plants and miniplants for polymer synthesis and fiber development (wet and melt spinning). An application center for innovative functional materials based on printing technology began operations in 2012 as part of the Fraunhofer IAP's second expansion phase. Polymer synthesis has been carried out on a ton scale since 2005 at the Fraunhofer Pilot Plant Center PAZ in Schkopau which is located in Central Germany's Chemical Triangle. A processing pilot plant for biopolymers began operations in 2013 at the BASF site in Schwarzheide. The successful development of the Fraunhofer IAP is primarily based on supra-regional cooperation with industrial centers of the polymer and fiber industry in the former West German states and, to a large extent, collaborations throughout Europe and the world. This strategy of offering highly specialized expertise worldwide is complemented by offering applied research at locations of the plastics and chemical industry in Eastern Germany. This is reflected in branches of the institute in Schkopau and Schwarzheide as well as in increased cooperation with local SMEs as part of the innovation strategy of the states of Berlin and Brandenburg.

Current examples of successful Fraunhofer IAP research include the development of new spinning processes for man-made cellulose and PAN- and biobased carbon fibers, new starch products, the development of biopolymer synthesis and processing technologies, the development of quantum dots for use in flexible displays, and OLED and OPV technologies. Using polymers in medical applications is another notable line of work and the multiple award-winning artificial cornea (ArtCornea®) is one important achievement in this area. A number of major projects has been conducted with industrial partners from around the world at the Pilot Plant Center in Schkopau. The results of these projects are generally subject to strict confidentiality agreements.

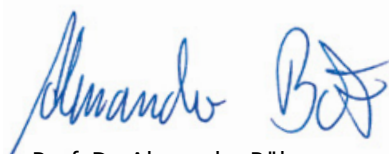
It is only natural that the Fraunhofer IAP adapts its research activities to general research trends as well as to demands made by industry. Based on existing competencies and successful fields of research, new lines of work have been – and are being – identified and developed. Despite a change in institute leadership, the institute will continue to follow its previous strategy of preserving and expanding. The institute's new leader has expertise in and close ties to biotechnology and protein modification. These competencies open up new ways to integrate biological functions into polymer components and, as a consequence, provide the opportunity to profit from the functional richness of nature when it comes to tailored applications in surface finishing, adhesives, detergents and cosmetics.

At this point it should be noted that the Executive Board of the Fraunhofer-Gesellschaft has decided to start preparations to integrate the Fraunhofer Research Institution for Polymeric Materials and Composites (PYCO) into the Fraunhofer IAP as of January 1st, 2016. PYCO specializes in composites and light-weight construction and will complement the competencies of the Fraunhofer IAP in an ideal way. The scheduled expansion of the Wildau site is in line with the strategy of the Fraunhofer IAP of being present at major industrial sites in Eastern Germany.

The Fraunhofer IAP was able to continue its successful economic and scientific development which is reflected in its extensive project activities and partnerships, as well as in the number of presentations, publications and patents it has produced. The Fraunhofer IAP's positive development and successful year in 2014 would not have been possible without the trust of its clients and cooperation partners and without the proven support of its advisory board and public bodies. However, of primary importance are the employees of the Fraunhofer IAP whose ideas, hard work and range of services form the basis of the institute's success. The institute's management would like to take this opportunity to thank you all.



Prof. Dr. habil. Hans-Peter Fink



Prof. Dr. Alexander Böker

DAS INSTITUT

THE INSTITUTE

- 12 Das Fraunhofer IAP im Überblick**
The Fraunhofer IAP at a glance
- 14 Kuratorium**
Advisory board
- 15 Das Institut in Zahlen**
The institute in figures
- 16 Organisation und Schwerpunkte**
Organization and main topics
- 18 Ansprechpartner**
Contact persons
- 20 Die Fraunhofer-Gesellschaft**
The Fraunhofer-Gesellschaft
- 22 Fraunhofer-Verbund**
Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS
The Fraunhofer Group
for Materials and Components – MATERIALS



pioneers in polymers



DAS FRAUNHOFER IAP IM ÜBERBLICK

THE FRAUNHOFER IAP AT A GLANCE

Ob Hochleistungsfasern oder Composite für den Leichtbau, organische Leuchtdioden für flexible Displays oder künstliche Augenhornhäute als Implantate – das Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP bedient das gesamte Spektrum der Polymeranwendungen. Hand in Hand mit unseren Kunden entwickeln wir Materialien, Verfahren und Produkte, die speziell auf die Bedürfnisse der jeweiligen Anwendungen zugeschnitten sind. Synthetische Polymere stehen dabei ebenso im Fokus unserer Arbeiten wie Biopolymere und biobasierte Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Wir schaffen die Voraussetzungen, dass die entwickelten Verfahren nicht nur im Labormaßstab, sondern auch unter Produktionsbedingungen funktionieren.

Biopolymere | Die nachhaltige stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe steht im Zentrum der Biopolymerforschung. Sowohl natürliche Polymere wie Cellulose, Stärke oder Ligninals auch biobasierte Kunststoffe wie Polylactid werden zu Fasern, Nonwovens, Folien, Formkörpern und faserverstärkten Compositen verarbeitet. Neben Produktentwicklungen aus nativen Polymeren steht die Synthese neuer biobasierter Kunststoffe im Mittelpunkt. Seit 2013 sind auch Stabilisierungs- und Carbonisierungstechnologien für die Carbonfaserentwicklung verfügbar. Außerdem können Biopolymere chemisch, enzymatisch oder physikalisch modifiziert werden, um bestehende Anwendungen zu optimieren bzw. neue Einsatzmöglichkeiten zu erschließen. Das Spektrum reicht von Stärkederivaten für die Papierindustrie über Nanocellulosen bis hin zu Klebstoffen, thermoplastischen Stärke- und Cellulosederivaten sowie Ligninfraktionen und -derivaten für den Einsatz in Thermoplasten und Duromeren. Neu sind biotechnologische Arbeiten zur technischen Nutzung von Proteinen insbesondere für Anwendungen in Kosmetik, Pharmazie und im Waschmittelbereich.

Funktionale Polymersysteme | Polymere mit besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften werden zunehmend als Funktionsmaterialien für Hightech-Anwendungen eingesetzt. Das Spektrum reicht von Materialien und Technologien für organische elektronische Elemente über Sensoren und Aktoren bis hin zu optischen Komponenten und chromogenen Polymeren. Quantum Dots eröffnen neue Möglichkeiten für technologische Entwicklungen von OLEDs und organischer Photovoltaik, aber auch für die Diagnostik mittels photonischer Methoden. Funktionalisierte Oberflächen bilden einen weiteren Arbeitsschwerpunkt.

Synthese- und Polymertechnik | Das Fraunhofer IAP ist spezialisiert auf die Synthese neuartiger Polymerstrukturen

sowie auf die Entwicklung und Optimierung von Polymerisationsprozessen. Dabei bilden Heterokettenpolymere sowohl auf Basis fossiler als auch nachwachsender Rohstoffe einen Schwerpunkt. Die Mikroverkapselung von Wirkstoffen und Additiven sowie Partikelanwendungen gehören ebenfalls zum Forschungsspektrum. Die Membrantechnologie sowie die Biokunststoffverarbeitung stellen neue FuE-Richtungen dar.

Spezialpolymere | Am Fraunhofer IAP werden Materialien und Schlüsselsubstanzen zum Beispiel für die Papier- und Lackindustrie, für Waschmittel und Kosmetikartikel, für die Medizintechnik sowie für Umwelt- und Nanotechnologien entwickelt. Zusätzlich zu den klassischen Polymerstrukturen, Kolloiden und Tensiden konzentrieren sich Forschung und Entwicklung auf schaltbare »intelligente« Polymersysteme, Biomaterialien, Hydrogele, Implantate, bioaktive Oberflächen und Sensoren.

Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ | Am Standort Schkopau bündeln die beiden Fraunhofer-Institute IAP und IWM ihre Kompetenzen in der Polymer- und Verfahrensentwicklung sowie in der Kunststoffverarbeitung unter einem Dach. Flexible und moderne Pilotanlagen ermöglichen die Übertragung neuer Forschungsergebnisse in produktionsnahe Größenordnungen und die Bereitstellung von Mustermengen bis in den Tonnenmaßstab. Neue Produkte und innovative Technologien können entlang der gesamten Wertschöpfungskette entwickelt werden – vom Monomer über die Synthese und Verarbeitung von Polymeren bis hin zum geprüften Bauteil nach Maß.

Anwendungszentrum für Innovative Polymertechnologien | Im Anwendungszentrum in Potsdam-Golm werden neue Funktionsmaterialien entwickelt und in den Pilotanlagenmaßstab übertragen. Schwerpunkte sind: 1. Hightech-Polymere mit besonderen physikalischen Eigenschaften, 2. Biokompatible Materialien für Implantate und weitere medizinische Anwendungen, 3. Entwicklung biotechnologischer Prozesse zur effizienten Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

Verarbeitungstechnik Biopolymere Schwarzheide | Mit dem Verarbeitungstechnik Biopolymere Schwarzheide hat das Fraunhofer IAP seine marktnahen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Biokunststoffverarbeitung weiter ausgebaut. Über eine Integration des Verarbeitungstechnikums in lokale und überregionale Netzwerke und Verbundstrukturen wird insbesondere das Ziel verfolgt, kleine und mittlere regionale Unternehmen bei der Einführung biobasierter Kunststoffe zu unterstützen.



The Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP offers a complete range of polymer applications which include high-performance fibers and composites for lightweight construction, organic light diodes for flexible screen displays and artificial corneas for use in eye implants. We develop materials, processes and products that are tailored to meet the special requirements of our polymer applications. Our work focuses on synthetic polymers, as well as biopolymers and biobased plastics made from renewable raw materials. We create the necessary conditions for the processes we develop to function on a lab and production scale.

Biopolymers | The sustainable use of renewable materials is the main objective of the biopolymer research at the Fraunhofer IAP. Natural polymers, such as cellulose, starch or lignin, as well as biobased plastics, such as polylactide, can be processed into fibers, nonwovens, films, molded paddings and fiber-reinforced composites. In addition to developing products made from natural polymers, we focus on synthesizing new biobased plastics. Since 2013, stabilization and carbonization technologies for carbon fiber development have been available at our disposal. In addition, biopolymers can be chemically, enzymatically or physically modified in order to optimize existing applications or to open up new application possibilities. The spectrum ranges from starch derivatives for the paper industry to nanocelluloses, adhesives, thermoplastic starch, cellulose derivatives and lignin fractions and derivatives that are used in thermoplastics and thermosets. New activities include biotech research into the technological use of proteins, in particular for cosmetic, pharmaceutical and detergent applications.

Functional Polymer Systems | Polymers with special physical and chemical properties are being increasingly used as functional materials in high-tech applications. Our spectrum ranges from materials and technologies for organic electronic elements to sensors and actuators, optical components and chromogenic polymers. Quantum dots open up new opportunities for the technological development of OLEDs and organic photovoltaics, as well as for diagnostics that employ photonic methods. Functionalized surfaces are another focus of this research division.

Synthesis and Polymer Technology | The Fraunhofer IAP specializes in the synthesis of innovative polymer structures and in the development and optimization of polymerization processes. The focus is on hetero-chain polymers based on both fossil and renewable resources. The microencapsulation of active ingredients and additives as well as particle treatments are part of the research spectrum. Membrane technology and bioplastic processing are new R&D areas that expand our research profile.

Specialty Polymers | The Fraunhofer IAP develops materials and key substances for the paper and paint industries, for detergent and cosmetic products, and for medical, environmental and nanotechnologies. In addition to traditional polymer structures, colloids and tensides, our research and development focuses on switchable “smart” polymer systems, biomaterials, hydrogels, implants, bioactive surfaces and sensors.

Pilot Plant Center for Polymer Synthesis and Polymer Processing PAZ | At the Fraunhofer PAZ in Schkopau, the Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP and the Fraunhofer Institute for Mechanics and Materials IWM combine their expertise in polymer and process development and in plastic processing. Flexible, state-of-the-art pilot plants enable the latest research findings to be transferred to scales needed for production and for sample quantities up to ton scale. New products and innovative technologies can be developed along the entire value chain – from monomers, polymer synthesis and polymer processing, to testing made-to-measure components.

Application Center for Innovative Polymer Technologies | At the Application Center in Potsdam-Golm, processes that are used to produce innovative materials and new nanotechnologies are scaled up from lab to industrial production scale. Our work focuses on three areas: 1. high-tech polymers with special physical properties, 2. biocompatible materials for implants and other medical applications, 3. the development of biotech processes for the efficient use of renewable raw materials.

Processing Pilot Plant for Biopolymers Schwarzheide | With the Processing Pilot Plant for Biopolymers Schwarzheide the Fraunhofer IAP has expanded its market-oriented research and development work in the area of biopolymer processing. By integrating the processing pilot plant into local and regional networks and structures, Fraunhofer IAP helps small and medium-sized regional companies introduce biobased plastics to the market.



KURATORIUM ADVISORY BOARD

Das Kuratorium berät und unterstützt die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung. Mitglieder des Kuratoriums waren im Juni 2014:

The advisory board advises and supports the Fraunhofer-Gesellschaft as well as the institute's director. The following persons were members of the advisory board in June 2014:

Prof. Dr. Thomas Müller-Kirschbaum

Vorsitzender des Kuratoriums
Henkel KGaA, Düsseldorf

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Andrzej K. Bledzki

West Pomeranian University of Technology, Stettin

Dr. Stefan Dreher

BASF SE, Ludwigshafen

Dipl.-Ing. Ulrich Hamann

Bundesdruckerei GmbH, Berlin

Staatssekretär a.D. Henning Heidemanns

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim

Universität Kassel, Kassel

Dr. Claudia Herok

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg, Potsdam

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. phil. Sabine Kunst

Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg, Potsdam

Prof. Dr. Dr. h. c. Jürgen Kurths

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam

Dr. Volker Landschütze

aevotis GmbH, Potsdam

Prof. Dr. Meinolf G. Lindhauer

Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Detmold

Prof. Dr. Dr. h. c. Helmuth Möhwald

Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, Potsdam-Golm

Dr.-Ing. Christoph Mühlhaus

Cluster Chemie/Kunststoffe Mitteldeutschland, Halle

Dr. Klaus Nachtkamp

Dow Wolff Cellulosics GmbH, i. R., Neuhofen

Prof. Dr. Patrick O'Brien

Universität Potsdam, Potsdam

Dr. Andreas Pachten

MT.DERM GmbH, Berlin

Prof. Dr. Friedhelm Pracht

Alfred Pracht Lichttechnik GmbH, Dautphetal

Dr. Birgitt Reiche

Hesco Kunststoffverarbeitung GmbH, Luckenwalde

Dr.-Ing. Andreas Schütte

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow

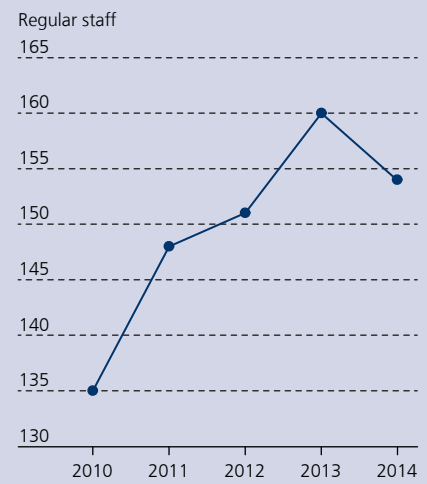
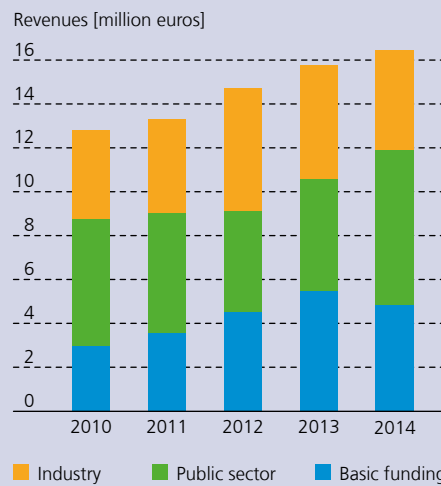
Prof. Dr.-Ing. Manfred H. Wagner

Technische Universität, Berlin

Dr. Bernd Wohlmann

Toho Tenax Europe GmbH, Wuppertal

DAS INSTITUT IN ZAHLEN THE INSTITUTE IN FIGURES



Betriebshaushalt

Der Betriebshaushalt betrug im Jahr 2014 ca. 16,8 Millionen Euro, dies entspricht einer Steigerung von 900 000 Euro gegenüber dem Vorjahr. Die externen Erträge beliefen sich auf 11,9 Millionen Euro, davon 41,2 Prozent Erträge aus der Wirtschaft.

Investitionshaushalt/Ausbauinvestitionen

Neben den Normalinvestitionen in Höhe von 800 000 Euro wurde ein automatisches Reaktionskalorimeter (500 000 Euro) als strategische Investition angeschafft. Zusätzlich konnte mit Hilfe von Landesmitteln die technische Ausstattung des Verarbeitungstechnikums Biopolymere Schwarzheide im Umfang von 500 000 Euro erweitert werden.

Mitarbeiter

Ende 2014 waren im Fraunhofer IAP insgesamt 195 Personen beschäftigt.

Stammpersonal	154
– Wissenschaftliche Mitarbeiter	79
– Technische Mitarbeiter	62
– Verwaltung/Wiss.-techn. Dienste	13

Nachwuchs	21
– Doktoranden	14
– Auszubildende	7

Das Fraunhofer IAP beschäftigte im Jahr 2014 42 Praktikanten, Studenten, Hoch- und Fachschulabsolventen und Stipendiaten.

Operating budget

The operating budget for 2014 was approximately 16.8 million euros – an increase of 900,000 euros over the previous year. External income amounted to 11.9 million euros; 41.2 percent of this was income from industry.

Investment budget/ expansion investment

In addition to normal investments amounting to 800,000 euros, an automatic reaction calorimeter (500,000 euros) was acquired as a strategic investment. Furthermore, with the help of state funding, the technical equipment at the Processing Pilot Plant for Biopolymers Schwarzheide was enhanced at a value of 500,000 euros.

Human resources

At the end of 2014, the Fraunhofer IAP employed 195 people.

Regular staff	154
– Scientific staff	79
– Technical staff	62
– Administration/scientific and technical services	13
Junior staff	21
– Ph.D. students	14
– Apprentices	7

42 trainees, students, university graduates and scholarship holders were employed in 2014.

Kontakt Contact

Verwaltungsleiterin
Head of administration



Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand

Telefon +49 331 568-1157
marina.hildenbrand@iap.fraunhofer.de

ORGANISATION UND SCHWERPUNKTE

STAND APRIL 2015

	Institutsleitung	
Verwaltungsleitung Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand	Institutsleiter Prof. Dr. Alexander Böker	Strategie & Marketing Prof. Dr. Dieter Hofmann

- ▣ Verwaltung
- ▣ Wissenschaftliche Dienste I- und K-Systeme und DV-Organisation
- ▣ Betriebsingenieur und Haustechnik

Biopolymere | Dr. Johannes Ganster

Lignocellulose Dr. Bert Volkert	Stärkemodifikation/Molekulare Eigenschaften Dr. Waltraud Vorwerg	Fasertechnologie Dr. André Lehmann	Materialentwicklung und Strukturcharakterisierung Dr. Johannes Ganster
<ul style="list-style-type: none"> ▣ Polysaccharidderivate für Medizin, Biotechnologie, Kosmetik-, Bau-, Waschmittel- und Papierindustrie ▣ Gezielte Veretherung, Veresterung, Oxidation, Pfropfpolymerisation sowie enzymatische Behandlung von Polysacchariden 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Stärkeprodukte mit funktionellen Eigenschaften ▣ Molekulare Charakterisierung von Polymeren ▣ Analytik von Polymeren und niedermolekularen Substanzen 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Entwicklung von Herstellungsverfahren für Fasern, Nonwovens und Folien ▣ Viskose-, Carbat-, Lyocellverfahren ▣ Entwicklung von Precursoren für C-Fasern ▣ Schmelzspinnen von biobasierten Thermoplasten 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Compositmaterialien mit cellulosischer Verstärkung ▣ Biocomposite, Nanocomposite ▣ Charakterisierung übermolekularer Strukturen ▣ Materialprüfung ▣ Stabilisierung und Carbonisierung von C-Faser-Precursoren

Funktionale Polymersysteme | Dr. Armin Wedel

Funktionsmaterialien und Bauelemente Dr. Armin Wedel	Polymere und Elektronik Priv.-Doz. Dr. habil. Silvia Janietz	Chromogene Polymere Dr. Arno Seeboth	Sensoren und Aktoren Priv.-Doz. Dr. habil. Michael Wegener
<ul style="list-style-type: none"> ▣ Technologien für Sensoren, OLEDs, optoelektronische Bauelemente und flexible integrierte Systeme ▣ Elektrete/Ferroelektrete ▣ Polymere Nanocomposite und Quantum Dots ▣ Technologieentwicklung für Chemie an Polymeroberflächen ▣ Oberflächenanalytik 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Monomer- und Polymersynthesen durch C-C-Kupplungsreaktionen und radikalische Polymerisationen ▣ Polymere und Polymersysteme für OLEDs, OPV, OTFT, dielektrische Elastomeraktuatoren ▣ Thermische und photovernetzbare Polymersysteme für Festelektrolyte, künstliche Blutgefäße ▣ Formulierungen für Drucktechniken ▣ Material-, Device-Charakterisierung 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Thermochrome Kunststoffe für Solartechnik, Maschinenbau, Kraftfahrzeug- und Informationstechnik ▣ Zelluläre Materialien ▣ Extrusionstechnik ▣ Sonnenschutzverglasung 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Elektrete, Piezoelektrika und elektroaktive Polymerwandler ▣ Polymerschäume und -composite, Elektrodensysteme ▣ Optische, photosensitive und holographische Materialien, Elemente und Verfahren ▣ Technologien zur Materialprozessierung und Wandlerherstellung

Synthese- und Polymertechnik | Dr. Mathias Hahn

Mikroverkapselung/Partikelanwendungen Dipl.-Ing. Monika Jobmann	Polymersynthese Dr. Antje Lieske	Membrantechnologie Dr. Detlev Fritsch	Verarbeitungstechnik Biopolymere Schwarzheide Dr. Mathias Hahn
<ul style="list-style-type: none"> ▣ Polymere Wirkstoffträger in Form von Kapseln und Partikeln ▣ Verfilmung von Beschichtungen, Kontrastmittel, Diagnostika, Reaktivkleber ▣ Aminoharze – Synthese, Modifizierung, Anwendung: Schäume, Fasern, formaldehydfreie Melaminharze ▣ Partikel- und Polymeranalytik 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Innovative Verfahren und Technologien zur Polymersynthese ▣ Materialentwicklung für (biobasierte) Heterokettenpolymere ▣ Prozessanalyse und -optimierung bis zum Miniplant-Maßstab 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Synthese von Membranpolymeren ▣ Entwicklung von Flachmembranen ▣ Membranen für Gastrennung und Nanofiltration 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Verarbeitung von biobasierten Kunststoffen ▣ Folienextrusion, Spritzguss ▣ Materialbewertung

Spezialpolymere | Prof. Dr. André Laschewsky

Materialien für Life Science Dr. Erik Wischerhoff	Funktionspolymere für die Medizintechnik Dr. Joachim Storsberg	Synthese Dr. Ulrich Wendler	Verarbeitung* Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Michel
<ul style="list-style-type: none"> ▣ »Intelligente« Polymere ▣ Antifouling-Materialien ▣ Sensoroberflächen ▣ Funktionale Kolloide für bildgebende Verfahren ▣ Monomer- und Polymersynthese, radikalische Polymerisation, chem. Modifizierung ▣ Wasserlösliche Polymere, Polyelektrolyte, Hydrogele ▣ Polymerkolloide, Latices ▣ Additive, Tenside 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Biomaterialien/Biomedizinische Polymere ▣ Implantate für die Ophthalmologie, z.B. Keratoprothesen, Intraokularlinsen ▣ Gele für medizinische Anwendungen ▣ Zellbiologie/Molekularbiologie 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Scale-up und Verfahrensentwicklung von (polymer-)chemischen Prozessen ▣ Halbtechnische Synthese von Polymeren in <ul style="list-style-type: none"> – Heterophasenpolymerisation – Lösungspolymerisation – Massepolymerisation – Hochviskositätsverfahren ▣ Materialentwicklung u.a. von Elastomeren 	<ul style="list-style-type: none"> * dem Fraunhofer IWM zugeordnet ▣ Material-, Verfahrens- und Bauteilentwicklung für langfaserverstärkte Thermoplaste (LFT) ▣ Extrusion, Spritzguss ▣ Compoundierung und Spritzguss in einer Maschine (IMC)

Funktionale Proteinsysteme/ Biotechnologie | Prof. Dr. Alexander Böker

<ul style="list-style-type: none"> ▣ Keratinfasern ▣ Biotechnologische Prozesse ▣ Proteinkonjugate ▣ Selbstassemblierungstechniken

ORGANIZATION AND MAIN TOPICS

STATUS APRIL 2015

	Institute management	
Head of administration Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand	Director Prof. Dr. Alexander Böker	Strategy & Marketing Prof. Dr. Dieter Hofmann

- ▣ Administration
- ▣ Scientific services, information and communication systems
- ▣ Plant engineer and building services

Biopolymers | Dr. Johannes Ganster

Lignocellulose Dr. Bert Volkert	Starch Modification/Molecular Properties Dr. Waltraud Vorwerg	Fiber Technology Dr. André Lehmann	Material Development and Structure Characterization Dr. Johannes Ganster
-----------------------------------	-----------------------------------------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------

- | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Polysaccharide derivatives for medicine, biotechnology, the cosmetic, construction, detergent and paper industries ▣ Targeted etherification, esterification, oxidation, graft polymerization and enzymatic treatment of polysaccharides | <ul style="list-style-type: none"> ▣ Starch products with functional properties ▣ Molecular characterization of polymers ▣ Analysis of polymers and low molecular substances | <ul style="list-style-type: none"> ▣ Development of production processes for fibers, nonwovens, and films ▣ Viscose, carbamate and Lyocell technologies ▣ Development of precursors for carbon fibers ▣ Melt spinning of biobased thermoplastic materials | <ul style="list-style-type: none"> ▣ Composite materials with cellulosic reinforcement ▣ Biocomposites, nanocomposites ▣ Characterization of supermolecular structures ▣ Materials testing ▣ Stabilization and carbonization of carbon fiber precursors |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Functional Polymer Systems | Dr. Armin Wedel

Functional Materials and Devices Dr. Armin Wedel	Polymers and Electronics Priv.-Doz. Dr. habil. Silvia Janietz	Chromogenic Polymers Dr. Arno Seeboth	Sensors and Actuators Priv.-Doz. Dr. habil. Michael Wegener
----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------	-----------------------------------------	---------------------------------------------------------------

- | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Technologies for sensors, OLEDs, optoelectronic devices, and flexible integrated systems ▣ Electrets/ferroelectrets ▣ Polymer nanocomposites and quantum dots ▣ Technologies for chemistry on polymer surfaces ▣ Surface analytics | <ul style="list-style-type: none"> ▣ Monomer- and polymer synthesis through C-C-coupling reaction and radical polymerization ▣ Polymer and polymersystems for OLEDs, OPV, OTFT, dielectric elastomeractuators ▣ Thermal and photo-crosslinkable polymer systems for solid electrolytes, artificial blood vessels ▣ Formulations for printing techniques ▣ Material and device characterization | <ul style="list-style-type: none"> ▣ Thermochromic plastics for solar technology, mechanical engineering, automotive and information technology ▣ Cellular materials ▣ Extrusion technology ▣ Solar protective glazing | <ul style="list-style-type: none"> ▣ Electrets, piezoelectrics and electroactive polymer transducers ▣ Polymer foams and composites, electrode systems ▣ Optical, photosensitive and holographic materials, elements and processes ▣ Technologies for the processing of materials and transducers |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Synthesis and Polymer Technology | Dr. Mathias Hahn

Microencapsulation/Particle Applications Dipl.-Ing. Monika Jobmann	Polymer Synthesis Dr. Antje Lieske	Membrane Technology Dr. Detlev Fritsch	Processing Pilot Plant for Biopolymers Schwarzhilde Dr. Mathias Hahn
----------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------

- | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ Capsules and particles as polymeric active agent carriers ▣ Coatings based on film formation, contrast agents, diagnostics, reactive glues ▣ Amino resins – synthesis, modification, applications: foams, fibers, formaldehyde-free melamine resins ▣ Particle and polymer analytics | <ul style="list-style-type: none"> ▣ Innovative processes and technologies for polymer synthesis ▣ Material development for (biobased) hetero-chain polymers ▣ Process analysis and optimization up to mini-plant scale | <ul style="list-style-type: none"> ▣ Synthesis of membrane polymers ▣ Development of flat sheet membranes ▣ Membranes for gas separation and nanofiltration | <ul style="list-style-type: none"> ▣ Processing of biobased plastics ▣ Film extrusion, injection molding ▣ Material valuation |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Specialty Polymers | Prof. Dr. André Laschewsky

Materials for Life Science Dr. Erik Wischerhoff	Functional Polymers for Medical Technology Dr. Joachim Storsberg	Synthesis Dr. Ulrich Wendler	Processing* Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Michel
---------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	--------------------------------	--------------------------------------------------

- | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ▣ "Smart" polymers ▣ Antifouling materials ▣ Sensor surfaces ▣ Functional colloids for imaging ▣ Monomer and polymer synthesis, radical polymerization, chemical modification ▣ Water-soluble polymers, polyelectrolytes, hydrogels ▣ Polymer colloids, latices ▣ Additives, surfactants | <ul style="list-style-type: none"> ▣ Biomaterials/biomedical polymers ▣ Implants for ophthalmology, e.g. keratoprosthesis, intraocular lenses ▣ Gels for medical applications ▣ Cell biology/molecular biology | <ul style="list-style-type: none"> ▣ Scale-up and process development of (polymer-) chemical processes ▣ Semi-technical synthesis of polymers in <ul style="list-style-type: none"> – Heterophase polymerization – Solution polymerization – Bulk polymerization – High viscosity technology ▣ Material development of elastomers i. a. | <ul style="list-style-type: none"> * assigned to Fraunhofer IWM ▣ Materials, processes and component development for long-fiber-reinforced thermoplastics (LFT) ▣ Extrusion, injection molding ▣ Compounding and injection molding in one machine (IMC) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Functional Protein Systems/

Biotechnology Prof. Dr. Alexander Böker

- ▣ Keratin fibers
- ▣ Biotechnological processes
- ▣ Protein conjugates
- ▣ Self-assembly techniques

ANSPRECHPARTNER CONTACT PERSONS



 **Institutsleiter**
Director

Prof. Dr. Alexander Böker
seit 2|2015

Telefon +49 331 568-1112
alexander.boeker@iap.fraunhofer.de



 **Institutsleiter**
Director

Prof. Dr. habil. Hans-Peter Fink
bis 3|2015

Telefon +49 331 568-1113
hans-peter.fink@iap.fraunhofer.de



 **Verwaltungsleiterin**
Head of administration

Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand

Telefon +49 331 568-1157
marina.hildenbrand@iap.fraunhofer.de



 **Strategie & Marketing**
Strategy & Marketing

Prof. Dr. Dieter Hofmann

Telefon +49 331 568-1114
dieter.hofmann@iap.fraunhofer.de



 **Biopolymere**
Biopolymers

Dr. Johannes Ganster

Telefon +49 331 568-1706
johannes.ganster@iap.fraunhofer.de



 **Funktionale Polymersysteme**
Functional Polymer Systems

Dr. Armin Wedel

Telefon +49 331 568-1910
armin.wedel@iap.fraunhofer.de




 **Synthese- und Polymertechnik**
Synthesis and Polymer Technology

Dr. Mathias Hahn *

Telefon +49 331 568-1320
mathias.hahn@iap.fraunhofer.de



 **Spezialpolymere**
Specialty Polymers

Prof. Dr. André Laschewsky

Telefon +49 331 568-1327
andre.laschewsky@iap.fraunhofer.de



 **Pilotanlagenzentrum Schkopau**
Pilot Plant Center Schkopau

Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke

Telefon +49 3461 2598-120
michael.bartke@iap.fraunhofer.de

* ab 6|2015

Dr. Thorsten Pretsch

thorsten.pretsch@iap.fraunhofer.de



Dr. Bert Volkert

Telefon +49 331 568-1516
bert.volkert@
iap.fraunhofer.de



Dr. Waltraud Vorwerg

Telefon +49 331 568-1609
waltraud.vorwerg@
iap.fraunhofer.de



Dr. André Lehmann

Telefon +49 331 568-1510
andre.lehmann@
iap.fraunhofer.de



**Priv.-Doz. Dr. habil.
Silvia Janietz**

Telefon +49 331 568-1208
silvia.janietz@
iap.fraunhofer.de



Dr. Arno Seeboth

Telefon +49 30 6392-4258
arno.seeboth@
iap.fraunhofer.de



**Priv.-Doz. Dr. habil.
Michael Wegener**

Telefon +49 331 568-1209
michael.wegener@
iap.fraunhofer.de



**Dipl.-Ing.
Monika Jobmann**

Telefon +49 331 568-1213
monika.jobmann@
iap.fraunhofer.de



Dr. Antje Lieske

Telefon +49 331 568-1329
antje.lieske@
iap.fraunhofer.de



Dr. Detlev Fritsch

Telefon +49 331 568-1515
detlev.fritsch@
iap.fraunhofer.de



Dr. Erik Wischerhoff

Telefon +49 331 568-1508
erik.wischerhoff@
iap.fraunhofer.de



Dr. Joachim Storsberg

Telefon +49 331 568-1321
joachim.storsberg@
iap.fraunhofer.de



Dr. Ulrich Wendler

Telefon +49 3461 2598-210
ulrich.wendler@
iap.fraunhofer.de



**Prof. Dr.-Ing. habil.
Peter Michel**

Telefon +49 345 5589-203
peter.michel@
iwmh.fraunhofer.de

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

THE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

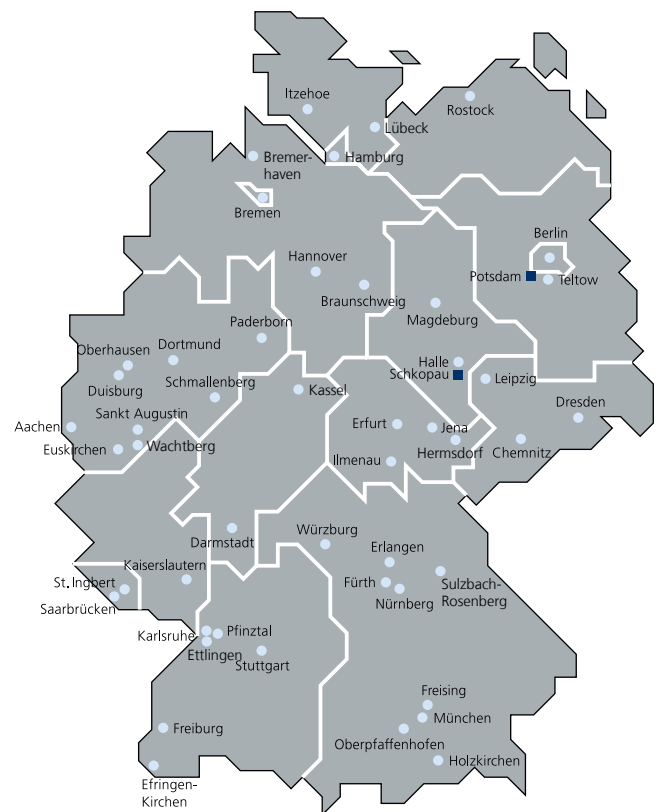
Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 66 Institute und Forschungseinrichtungen. Knapp 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2 Milliarden Euro. Davon fallen rund 1,7 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

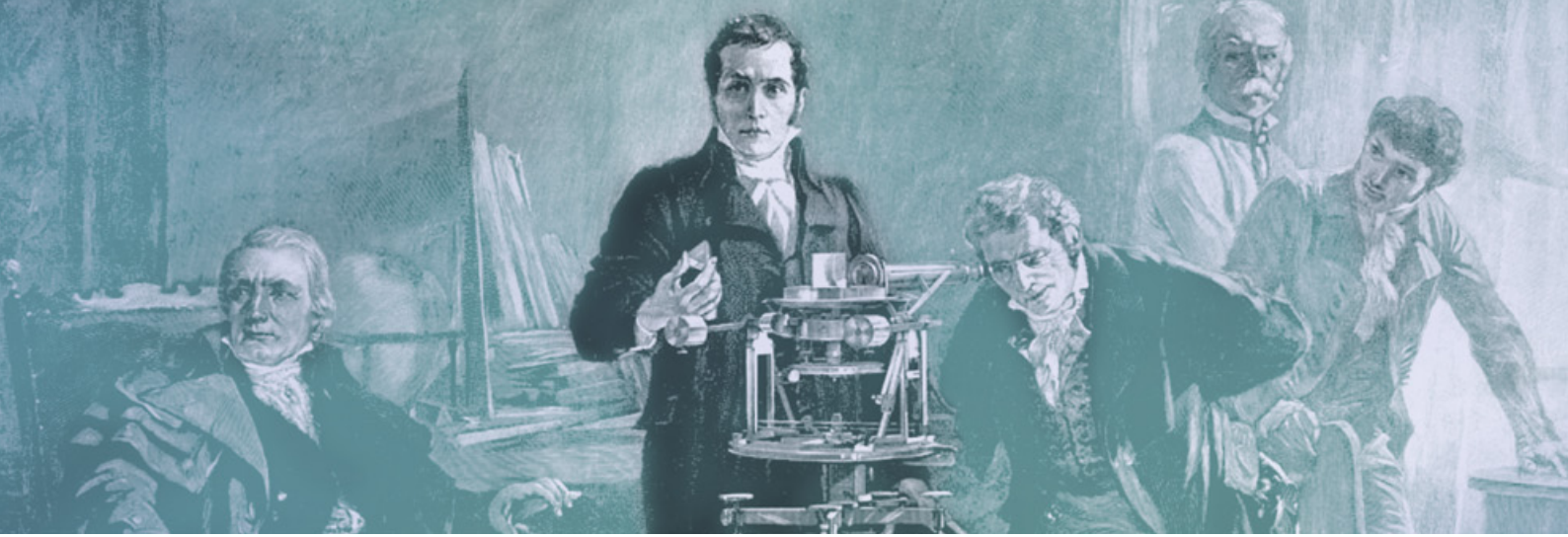
Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.





Research of practical utility lies at the heart of all activities pursued by the Fraunhofer-Gesellschaft. Founded in 1949, the research organization undertakes applied research that drives economic development and serves the wider benefit of society. Its services are solicited by customers and contractual partners in industry, the service sector and public administration.

At present, the Fraunhofer-Gesellschaft maintains 66 institutes and research units. The majority of the nearly 24,000 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of more than 2 billion euros. Of this sum, around 1.7 billion euros is generated through contract research. More than 70 percent of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract research revenue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. Almost 30 percent is contributed by the German federal and Länder governments in the form of base funding, enabling the institutes to work ahead on solutions to problems that will not become acutely relevant to industry and society until five or ten years from now.

International collaborations with excellent research partners and innovative companies around the world ensure direct access to regions of the greatest importance to present and future scientific progress and economic development.

With its clearly defined mission of application-oriented research and its focus on key technologies of relevance to the future, the Fraunhofer-Gesellschaft plays a prominent role in the German and European innovation process. Applied research has a knock-on effect that extends beyond the direct benefits perceived by the customer: Through their research and development work, the Fraunhofer Institutes help to reinforce the competitive strength of the economy in their local region, and throughout Germany and Europe. They do so by promoting innovation, strengthening the technological base, improving the acceptance of new technologies, and helping to train the urgently needed future generation of scientists and engineers.

As an employer, the Fraunhofer-Gesellschaft offers its staff the opportunity to develop the professional and personal skills that will allow them to take up positions of responsibility within their institute, at universities, in industry and in society. Students who choose to work on projects at the Fraunhofer Institutes have excellent prospects of starting and developing a career in industry by virtue of the practical training and experience they have acquired.

The Fraunhofer-Gesellschaft is a recognized non-profit organization that takes its name from Joseph von Fraunhofer (1787–1826), the illustrious Munich researcher, inventor and entrepreneur.

FRAUNHOFER-VERBUND WERKSTOFFE, BAUTEILE – MATERIALS

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS bündelt die Kompetenzen der materialwissenschaftlich orientierten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft.

Fraunhofer-Materialwissenschaft und Werkstofftechnik umfasst die gesamte Wertschöpfungskette von der Entwicklung neuer und der Verbesserung bestehender Materialien über die Herstelltechnologie im industrienahen Maßstab, die Charakterisierung der Eigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens. Entsprechendes gilt für die aus den Materialien hergestellten Bauteile und deren Verhalten in Systemen. In all diesen Feldern werden neben den experimentellen Untersuchungen in Labors und Technika gleichrangig die Verfahren der numerischen Simulation und Modellierung eingesetzt. Stofflich deckt der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS den gesamten Bereich der metallischen, anorganisch-nichtmetallischen, polymeren und aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugten Werkstoffe sowie Halbleitermaterialien ab.

Mit Schwerpunkt setzt der Verbund sein Know-how in den Geschäftsfeldern Energie und Umwelt, Mobilität, Gesundheit, Maschinen- und Anlagenbau, Bauen und Wohnen, Mikrosystemtechnik und Sicherheit ein. Über maßgeschneiderte Werkstoff- und Bauteilentwicklungen sowie die Bewertung des kundenspezifischen Einsatzverhaltens werden Systeminnovationen realisiert.

Schwerpunktt Themen des Verbunds sind:

- Erhöhung von Sicherheit und Komfort sowie Reduzierung des Ressourcenverbrauchs in den Bereichen Verkehrstechnik, Maschinen- und Anlagenbau
- Steigerung der Effizienz von Systemen der Energieerzeugung, Energiewandlung und Energiespeicherung
- Verbesserung der Biokompatibilität und der Funktion von medizin- oder biotechnisch eingesetzten Materialien
- Erhöhung der Integrationsdichte und Verbesserung der Gebrauchseigenschaften von Bauteilen der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik
- Verbesserung der Nutzung von Rohstoffen und Qualitätsverbesserung der daraus hergestellten Produkte

Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute für

- Angewandte Polymerforschung IAP
- Bauphysik IBP
- Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
- Chemische Technologie ICT
- Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM
- Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB (ständiger Gast)
- Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
- Integrierte Schaltungen IIS (ständiger Gast)
- Keramische Technologien und Systeme IKTS
- Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut EMI
- Silicatforschung ISC
- Solare Energiesysteme ISE
- System- und Innovationsforschung ISI
- Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM (ständiger Gast)
- Windenergie und Energiesystemtechnik IWES
- Werkstoffmechanik IWM
- Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP

Verbundvorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner
Fraunhofer-Institut für
Chemische Technologie ICT
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7
76327 Pfinztal

Stellvertretender Verbundvorsitzender:

Prof. Dr. Peter Gumbsch
Fraunhofer-Institut für
Werkstoffmechanik IWM
Wöhlerstr. 11
79108 Freiburg

Geschäftsstelle:

Dr. phil. nat. Ursula Eul
Telefon +49 6151 705-262
Fax +49 6151 705-214
ursula.eul@lbf.fraunhofer.de
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit
und Systemzuverlässigkeit LBF
Bartningstraße 47
64289 Darmstadt

www.materials.fraunhofer.de

THE FRAUNHOFER GROUP FOR MATERIALS AND COMPONENTS – MATERIALS

The Fraunhofer Group for Materials and Components – MATERIALS pools the expertise of those Fraunhofer institutes which are focused on materials science.

Fraunhofer research in the field of materials science and technology covers the entire value chain from the development of new materials and the improvement of existing ones to manufacturing technology on a semi-industrial scale, the characterization of materials' properties and the assessment of their performance. This work extends to the components produced from the materials and their performance in systems. In addition to experimental tests in laboratories and pilot plants, numerical simulation and modeling techniques are applied in all these areas. The Fraunhofer Group for Materials and Components – MATERIALS encompasses the entire field of metallic, inorganic-nonmetallic, polymer and sustainable materials, as well as semiconductor materials.

The Group concentrates its expertise in the Energy and Environment, Mobility, Health, Machinery and Plant Engineering, Construction and Living, Microsystems Technology, and Safety business sectors. System innovations are achieved by means of tailor-made material and component developments and customer-specific performance assessment.

Key aims of the Group are:

- to increase safety and comfort and to reduce the consumption of resources in transport, mechanical engineering and plant construction
- to raise the efficiency of systems for generating, converting and storing energy
- to improve the biocompatibility and functioning of materials used in medical engineering and biotechnology
- to increase the integration density and improve the utility properties of components in microelectronics and microsystem technology
- to improve the use of raw materials and the quality of the products made from them

The Group comprises the Fraunhofer Institutes for

- Applied Polymer Research IAP
- Building Physics IBP
- Ceramic Technologies and Systems IKTS
- Chemical Technology ICT
- High-Speed Dynamics, Ernst-Mach-Institut, EMI
- Industrial Mathematics ITWM
- Integrated Circuits IIS
- Interfacial Engineering and Biotechnology IGB
- Manufacturing Technology and Advanced Materials IFAM
- Mechanics of Materials IWM
- Non-Destructive Testing IZFP
- Silicate Research ISC
- Solar Energy Systems ISE
- Structural Durability and System Reliability LBF
- Systems and Innovation Research ISI
- Wind Energy and Energy System Technology IWES
- Wood Research, Wilhelm-Klauditz-Institut WKI

Chairman of the group:

Prof. Dr.-Ing. Peter Elsner
Fraunhofer Institute for
Chemical Technology ICT
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7
76327 Pfinztal

Deputy chairman:

Prof. Dr. Peter Gumbsch
Fraunhofer Institute for
Mechanics of Materials IWM
Wöhlerstraße 11
79108 Freiburg

Central office:

Dr. phil. nat. Ursula Eul
Phone +49 6151 705-262
Fax +49 6151 705-214
ursula.eul@lbf.fraunhofer.de
Fraunhofer Institute for Structural
Durability and System Reliability LBF
Bartningstraße 47
64289 Darmstadt

www.materials.fraunhofer.de

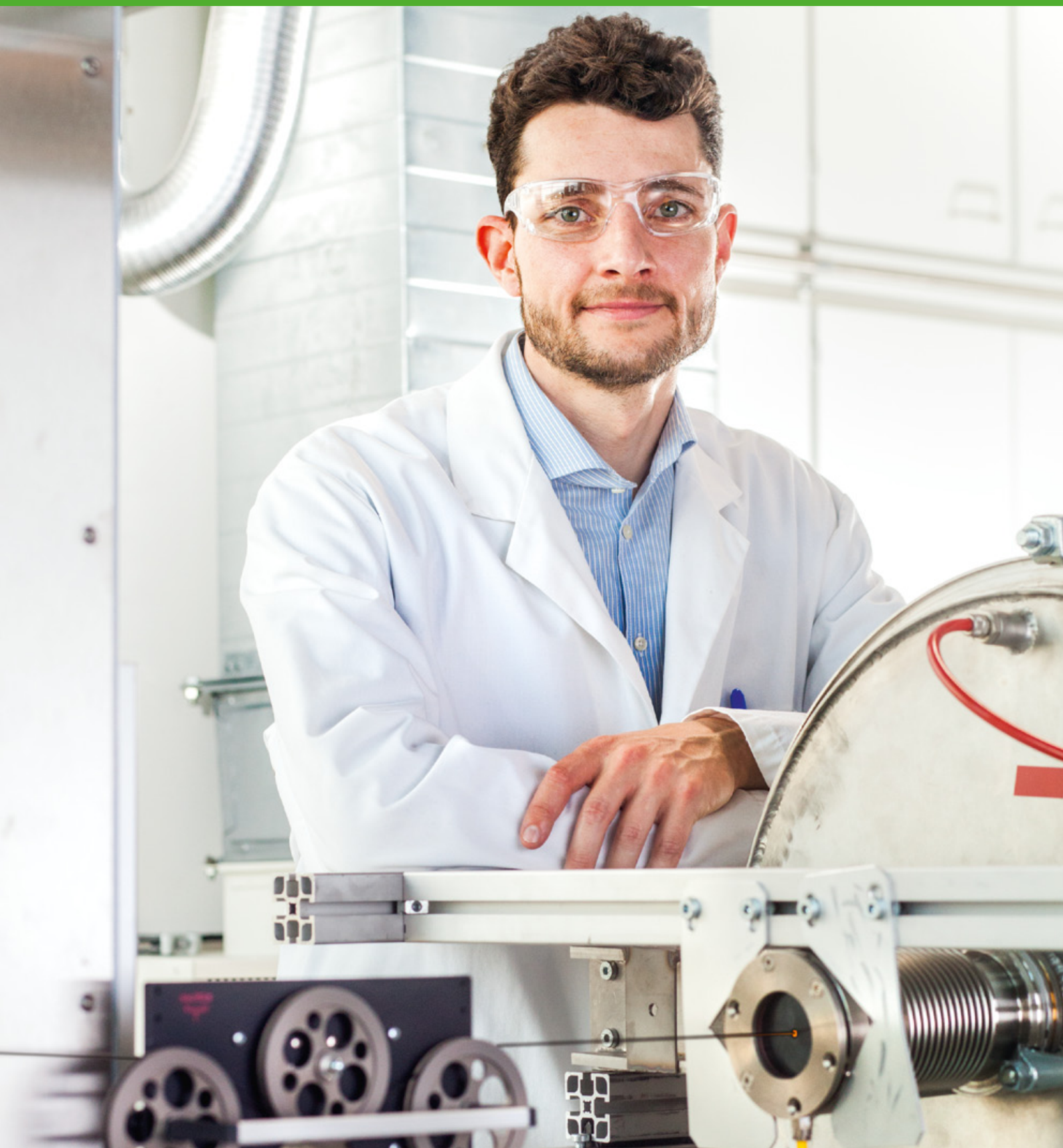
BIOPOLYMERE

BIOPOLYMERS

- 26** **Neue Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen**
New products made from renewable raw materials
- 30** **Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 34** **Kurzumtriebsplantagen – Neue Ressource für Polysaccharide?**
Short rotation forestry – new resources for polysaccharides?
- 36** **Neue Hydrogelstrukturen für Massestärken in der Papierherstellung**
New hydrogel structures for wet-end starches in paper manufacturing
- 38** **Fermentative Herstellung einer Peroxidase zur Modifizierung von Lignin**
Fermentative production of peroxidase for the modification of lignin
- 40** **Strukturbildung biobasierter Thermoplaste im Spinnprozess**
Structural formation of biobased thermoplastics during the spinning process
- 42** **PLA-Folien mit verbesserten Barriereigenschaften**
Improved barrier properties of polylactide films



| p | i | o | n | e | e | r | s | | i | n | | p | o | l | y | m | e | r | s | |



NEUE PRODUKTE AUS NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN

Im Strukturwandel von einer erdöl- zu einer biobasierten Industrie spielen nachwachsende Rohstoffe als Quelle nachhaltig hergestellter Materialien und Spezialprodukte unter Berücksichtigung von Ernährungssicherheit sowie ökologischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Belange eine zunehmende Rolle. Vorteile gegenüber fossilen Rohstoffen sind vor allem die Erneuerbarkeit, die weltweite Verfügbarkeit sowie spezielle Produkteigenschaften, u.a. die häufig gegebene biologische Abbaubarkeit. Die Natur synthetisiert eine beeindruckende Vielfalt von nieder- und makromolekularen Strukturen, die nach geeigneter Aufbereitung als Ausgangsstoffe für Biopolymerprodukte verschiedenster Art dienen können. Nachhaltige Innovationen für die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe stellen daher das Grundanliegen der Biopolymerforschung am Fraunhofer IAP dar. In möglichst vielen Prozessen und Anwendungen sollen die Abhängigkeit von erdölbasierten Grundstoffen durch Verwendung nachwachsender Rohstoffe vermindert sowie bestehende biobasierte Produkte verbessert bzw. deren Herstellungsprozesse optimiert werden.

Wichtige Ausgangsstoffe sind dabei Lignocellulose (z.B. Holz), Zellstoff, Lignin, Stärke und Proteine, aber auch Kohlenhydrate für Fermentationen sowie Reststoffe aus der Agrarwirtschaft wie Stroh, Rübenschnitzel oder Haferspelzen. Andererseits spielen (teil-)biobasierte Thermoplaste eine zunehmende Rolle und Polymere wie Polylactid (PLA), weitere aliphatische Polyester und Polyamide werden bei Rezepturenentwicklungen oder bei Faser- und Nonwovensherstellung verwendet. Weitreichende Möglichkeiten der Compoundierung gestatten die Kombination mit den o.g. nativen Polymeren und die Realisierung biobasierter Materialentwicklungen. Für anschließende Verarbeitungsversuche stehen Spritzguss, Folienextrusion, Faserspinnen und Thermofolien in verschiedenen Maßstäben zur Verfügung. Alle Entwicklungen werden durch eine vielfältige chemische und physikalische Analytik sowie Materialprüfung und Strukturanalyse begleitet.

Fasern, Folien und Nonwovens

Für die Herstellung von Fasern, Folien und Nonwovens werden spezielle Verfahren weiterentwickelt. In der Anwendung von Celluloseregenerat-Technologien stehen neben dem Viskoseverfahren umweltfreundliche Alternativen wie die Lyocell-Technologie und das Carbamatverfahren im Vordergrund.

Darauf angepasste, umfangreiche und variable Anlagen zum Lösungs- und Schmelzspinnen im Labor- und Technikumsmaßstab stehen hierfür zur Verfügung. So wurde eine neue, modifizierbare 3k-Nassspinnlinie erfolgreich in Betrieb genommen, um den unterschiedlichsten Forschungsaufgaben im Bereich Faserentwicklung gerecht zu werden. Mit Hilfe von maßgeschneiderten ionischen Flüssigkeiten, die am Fraunhofer IAP entwickelt wurden, konnte erstmals erfolgreich die Umformung von Lignocellulose aus Lösung in ein Multifilamentgarn demonstriert werden. Precursoren für Carbonfasern aus biobasierten und synthetischen Polymeren, deren Spinntechnologie und die nachfolgenden Konvertierungsstufen Stabilisierung und Carbonisierung sind ein weiterer zentraler Forschungsschwerpunkt. Auch die Verarbeitung von synthetischen Polymeren aus konzentrierten Lösungen nach verschiedenen Nassspinnverfahren gehört zu den Arbeitsrichtungen im Fraunhofer IAP. Die Verarbeitung schmelzbarer Biokunststoffe zu Fasern und Vliesstoffen und die Verarbeitungs-Struktur-Eigenschaftskorrelation dieser teilweise neuen Rohstoffe ist ein weiteres etabliertes Arbeitsgebiet.

Biobasierte Composite und Blends

Faserverstärkte biobasierte oder partiell biobasierte Spritzguss-Compounds mit cellulosischer Verstärkung bilden seit langem ein Thema im Forschungsbereich »Biopolymere«. Einerseits werden lignocellulosische Produkte aus Restströmen (z.B. Bagasse) aufbereitet und auf deren Eignung zur Verstärkung von Thermoplasten hin untersucht und entsprechende Rezepturen und Verfahren entwickelt. Andererseits spielen Celluloseregeneratfasern als Verstärkungsmaterial nach wie vor eine wichtige Rolle. Besonders im Vergleich zu PLA höher schmelzende (teil-)biobasierte Thermoplaste wie Polyamide oder Terephthalsäurepolyester stellen eine Herausforderung für die Celluloseregeneratfaserverstärkung dar. Durch geeignete Faservorbehandlungen mit Stabilisatoren konnten hier Fortschritte erzielt werden.

Der Einfluss nanoskaliger Schichtsilikate auf die Verbesserung der Barrierewirkung von PLA-Folien konnte über ein Schmelzcompoundierverfahren nachgewiesen werden. Ebenso wurde die Rolle des Kristallinitätsgrades verschiedener PLA-Typen bei der Ausbildung der Barriere untersucht. Eine drastische



Reduktion der Sauerstoffdurchlässigkeit wurde durch die Verwendung einer Deckschicht aus Nanocellulose erreicht.

Die Überführung lignocellulosischer Komponenten aus Restströmen in thermoplastisch verarbeitbare Materialien stellt einen weiteren Ansatz zur Nutzung biobasierter Roh- bzw. Reststoffe dar. In ersten Untersuchungen konnte durch die Veresterung von Bagassefraktionen die prinzipielle Realisierbarkeit dieses Ansatzes gezeigt werden.

Derivate für weitere Anwendungen

Die heterogene und homogene Derivatisierung von Cellulose, Stärke und weiterer Polysaccharide sowie von Lignin zur gezielten Einstellung gewünschter Produkteigenschaften stellt ein Gebiet dar, auf dem eine Reihe von Spezialprodukten für verschiedene Anwendungsfelder entwickelt werden. Verfahren zur Herstellung von perlförmigen Trenn- und Trägermaterialien, Folien mit Barriereigenschaften, Verdickungsmittel, Adsorber, Thermoplaste und Duroplaste sowie Derivate für den Einsatz in der Medizin wurden bis zur Überführungsreife entwickelt. Durch die Erzeugung von spezifischen Substitutionsmustern an den freien OH-Gruppen in den Zuckereinheiten der Polysaccharide bzw. an den aliphatischen oder aromatischen Einheiten im Lignin kann das Eigenschaftsprofil der Endprodukte hydrophil oder hydrophob variiert werden. Die Arbeiten an neuen Derivaten sind in der Regel mit einer Prozessentwicklung gekoppelt, die bis in den Technikumsmaßstab (50 L-Reaktor) reicht.

Stärkeprodukte nach Maß

Der Rohstoff Stärke bietet ein sehr vielfältiges Entwicklungspotenzial. Neben physikalischer, säurehydrolytischer und enzymatischer Behandlung der Stärke gewinnt die chemische Funktionalisierung zunehmend an Bedeutung. In Abhängigkeit von der molekularen Struktur sind gewünschte Eigenschaften für eine Vielzahl von Anwendungsbereichen einstellbar; z.B. für biobasierte Verpackungsmittel, Papier, Wellpappe, Klebstoffe, Coatings, Bindemittel und Flockungsmittel. Im Forschungsprojekt »Neue Hydrogelstrukturen für Wet-End-Stärken«, gefördert durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)/Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) werden in enger Zusammenarbeit mit der Papiertechnischen Stiftung und Firmen der Stärke- und Papierindustrie

effizienter wirkende Additive entwickelt. Stärke- und Proteinprodukte mit dem Vermögen zur Bildung transparenter, flexibler und reißfester Schichten für wasserlösliche und wasserstabile Filme und Coatings stellen die Forschungsziele in weiteren Projekten dar.

Biotechnologische Prozesse

Im FNR/BMEL-Projekt »Florfliegen-seide« werden Verfahren zur Herstellung und Verarbeitung von Florfliegen-seidenprotein für neue Materialien untersucht und entwickelt. Im Rahmen eines EU-Projektes wird die antimikrobielle Wirkung von Beschichtungen geprüft. Verschiedene Fermentationsprozesse werden im Technikumsmaßstab untersucht und ein Up-Scaling bis zum 100-Liter-Maßstab durchgeführt, u. a. zur Produktion neuer lignocellulolytischer Enzyme. Neben der Enzymgewinnung befinden sich Verfahrensentwicklungen zur Herstellung biobasierter Polymere und Polymerbausteine in Vorbereitung.

Forschungsverbünde

Gemeinsam mit drei anderen Forschungseinrichtungen und dem Verarbeitungstechnikum Biopolymere Schwarzheide des Fraunhofer IAP arbeitet der Forschungsbereich »Biopolymere« im Kompetenz-Netzwerk zur Verarbeitung von Biopolymeren. Gefördert wird dieses Projekt vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über seinen Projektträger, die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Die thematischen Schwerpunkte im Forschungsbereich »Biopolymere« sind Faserspinnen, Folienextrusion, Thermoformen und Compoundierung.

Innerhalb des Spitzenclusters »BioEconomy«, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird, und zu den Gewinnern des Spitzenclusterwettbewerbs des BMBF gehört, verfolgt der Forschungsbereich im Projekt »CeLiKa« das Ziel, neue nanoskalierte Füllstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in Kautschuk-Masterbatches einzusetzen und so etablierte Stabilisator- bzw. Füllstoffsysteme in Autoreifen mit Performancegewinn zu ersetzen.

NEW PRODUCTS MADE FROM RENEWABLE RAW MATERIALS

Renewable raw materials are playing an ever-greater role in the production of sustainable materials and specialty products in light of the structural transition from a petroleum-based to a biobased economy. At the same time, considerations have to be taken regarding food security and ecological, economic and social concerns. The advantages of renewable raw materials over fossil resources are, above all, renewability, global availability and special product properties which, very often, include biodegradability. Nature synthesizes an impressive variety of low and macro-molecular structures, which, after undergoing the right form of processing, are able to serve as precursors for various types of biopolymer products. Finding sustainable and innovative solutions for the material use of renewable raw materials is therefore the main focus of biopolymer research at the Fraunhofer IAP. Our aim is to reduce dependence on petroleum-based raw materials in as many processes and applications as possible by using renewable raw materials. At the same time, we strive to improve existing biobased products and optimize their production processes.

Important raw materials include lignocellulose (e.g. wood), pulp, lignin, starch and proteins, as well as carbohydrates for fermentations and residual materials from agriculture such as straw, beet pulp and oat spelt. At the same time, (partially) biobased thermoplastics are becoming more important and polymers, like polylactide (PLA), other aliphatic polyesters and polyamides, are being used in the development of formulations and in the production of fibers and nonwovens. A wide range of compounding options enables them to be combined with the above-mentioned native polymers and for biobased materials to be developed. We use injection molding, film extrusion, fiber spinning and thermoforming at different scales for subsequent processing trials. A diverse range of chemical and physical analyses, material testing, and structural analysis accompany all of these developments.

Fibers, films and nonwovens

Special processes are developed further to produce fibers, films and nonwovens. In addition to the viscose process, we use environmentally friendly alternatives such as Lyocell technology and the carbonate process in the application of man-made cellulose technologies. We have extensive and variable solution- and melt-spinning facilities on a laboratory and pilot plant scale, which are specially adapted for this. For example, a new, modifiable 3k wet spinning line allows us to carry out many different types of research tasks in the area of fiber development. With the aid of tailored ionic liquids developed at the Fraunhofer IAP, we have been able to successfully convert lignocellulose from a solution into a multifilament yarn. Other central aspects of our work include precursors for carbon fibers that are made from bio-based and synthetic polymers, their spin technology, and stabilization and carbonization as subsequent conversion steps. Using various wet-spin methods to process synthetic polymers made from concentrated solutions is another line of research at the Fraunhofer IAP. The processing of meltable bioplastics into fibers and nonwovens, and the processing-structure-property correlation of these often new materials is another established area of research.

Biocomposites and blends

Fiber-reinforced biobased or partially biobased injection molding compounds with cellulose reinforcements have been a long-standing focus of the "Biopolymers" research division. Here, lignocellulose products made from waste streams (e.g. bagasse) are processed and checked for suitable use as reinforcements for thermoplastics. Corresponding formulations and processes are developed. At the same time, cellulose man-made fibers continue to play an important role as a reinforcement material. Particularly (partially) biobased thermoplastics with a higher melting point than PLA, such as polyamides or terephthalic acid polyesters, pose a challenge for cellulose man-made fiber reinforcement. Appropriate pretreatment of the fibers with stabilizers has enabled progress to be made in this area.

Through a melt compounding process, we have been able to establish the positive influence of nanoscale layered silicates on the barrier effect of PLA films. We have also investigated the extent to which the degree of crystallinity of various types of PLA affects the formation of this barrier. Oxygen permeability could be drastically reduced by using a surface layer made of nanocellulose.

Transferring lignocellulose components made from waste streams into thermoplastically processable materials represents another approach to using biobased raw and residual materials. In initial tests, the fundamental feasibility of this approach was demonstrated through the esterification of bagasse fractions.

Derivatives for further applications

The heterogenic and homogenous derivatization of cellulose, starch, other polysaccharides and lignin to produce the desired product properties is an area in which a series of specialty products for different fields of applications are being developed. Processes to produce pearl-shaped separation and carrier materials, films with barrier properties, thickeners, adsorbents, thermoplastics and thermosets, and derivatives for medical purposes are developed until they are ready for technology transfer. The property profile of the end product can be hydrophilically or hydrophobically varied by creating specific substitution patterns in the free OH groups in the sugar units of the polysaccharides or in the aliphatic or aromatic units of the lignin. Research into new derivatives is usually coupled with process development up to the pilot plant scale (50L reactor).

Made to measure starch products

Starch is a raw material that can be developed in very versatile ways. Chemical functionalization plays an ever-greater role alongside the physical treatment, acid hydrolysis, and enzymatic treatment of starch. Desired properties can be achieved for numerous application fields depending on the molecular structure, for example for bio-based packaging, paper, corrugated cardboard, adhesives, coatings, binding agents and flocculants. In the research project "New Hydrogel Structures for Wet-end Starches", funded through the Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) and the Federal Ministry of Food and Agriculture,

more effective additives are being developed in close cooperation with Papiertechnische Stiftung and companies in the starch and paper industry. Starch and protein products with the ability to form transparent, flexible and tear-resistant layers for water-soluble and water-stable films and coatings constitute the objectives of additional research projects.

Biotech processes

The FNR/BMEL project entitled "Lacewing Silk Protein" studies and develops processes used to manufacture and process lacewing silk protein for new materials. The antimicrobial effects of coatings are tested as part of an EU project. Various fermentation processes are investigated at the pilot plant scale and scaled up to a level of 100L in order to produce new lignocellulytic enzymes among other things. In addition to enzyme production, preparations are being made to develop processes to produce biobased polymers and polymer building blocks.

Research collaborations

The "Biopolymers" research division is working together with three other research institutes and the Fraunhofer IAP's Processing Pilot Plant for Biopolymers Schwarzheide in a competence network for biopolymer processing. This project is funded by the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL) through its project coordinator, the Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR). The "Biopolymers" research division focuses on the topics of fiber spinning, film extrusion, thermoforming and compounding.

The research division is also taking part in the leading-edge cluster "BioEconomy". The cluster is funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMFB) and is one of the winners of the Leading Edge Cluster competition. As part of its "CeLiKa" project, the research division is pursuing the goal of adding new nano-scale fillers made from renewable raw materials to rubber master batches to replace conventional stabilizers and filler systems in car tires to enhanced performance.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Cellulose-/

Hemicelluloseprodukte

- Anti-Graffiti-Beschichtung
- Bakterienzellulose
- Bioabbaubare Hochabsorber für Hygieneartikel und Kosmetik
- Biokompatible Symplex-Kapseln für Biotechnologie und Pharmazie
- Blutverträgliche oder gerinnungsfördernde Additive und Beschichtungen für die Medizin
- Cellulosederivate aller Art (Ether, Ester ...)
- Flockungsmittel für die Papierindustrie, Wasser- und Abwasserreinigung
- Hydrogele und Aerogele
- Percellulosen als Trenn- und Trägermaterialien für Pharmazie und Medizin
- Symplex-Membranen für destillationsfreie Lösungsmitteltrennung in der chemischen Industrie und der Lebensmittelindustrie
- Viskositätsregulatoren und Dispersionsstabilisatoren für die Kosmetik-, Lebensmittel-, Farb- und Baustoffindustrie sowie für die chemische Industrie

Syntheseverfahren

- Neue Synthesewege für Polysaccharidether und -ester
- Optimierung von Homogen- und Heterogensynthesen
- Synthese von Cellulosecarbamaten und Cellulosesulfaten
- Upscaling von Synthesen bis zum 50 L-Maßstab für Heterophasen-Reaktionen
- Verfahren zur Herstellung von Cellulosemischderivaten

Verformungsverfahren für Cellulose

Viskose-Verfahren

- Eignungstests von Zellstoffen
- Filamentgarne und Stapelfasern
- Folien und Schläuche (Wursthüllen)
- Hohlfasern

Carbamate-Verfahren

- Filamentgarne und Stapelfasern
- Hochfestfasern und Nonwovens aus LC-System CC-NMMO-Wasser

- Hochporöse Aerogel-Materialien (Dichte um $0,05 \text{ g/cm}^3$)
- Hohlfasern, Schläuche, Folien
- Synthese von Cellulosecarbamaten

Lyocell-Verfahren

- Filamente und Fasern
- Meltblown Nonwovens
- Verpackungen, Membranen, Blasfolien für Wursthüllen

Biobasierte thermoplastische Blends und Composite

- Biobasierte Folien mit verbesserten Barriereigenschaften
- Biobasierte meltblown Vliesstoffe
- Cellulose-Rayon verstärkte Composite
- Faserverstärkte Spritzgusscompounds
- Nano-Additivierung von Poly(lactid) (PLA) und biobasierten Polyamiden
- Naturfaserverstärkte Composite
- PLA, Stärke und Lignin als Blendkomponenten
- Schmelzgesponnene Biopolymerfasern
- Spritzgusscompounds mit verbesserten Eigenschaften

Stärkeprodukte

- Amphiphile Stärkederivate
- Baustoffadditive
- Bindemittel für Gipskarton- und Mineralfaserplatten
- Flockungsmittel zur Abwasserreinigung und Schlammwässerung
- Funktionelle Lebensmittelzusatzstoffe: Dickungsmittel, Bindemittel und Gelbildner
- Hydrophobe Stärken für Dispersionsklebstoffe
- Klebemittel für Holzfaserplatten
- Papier- und Textilhilfsmittel (Schlichten)
- Stärkederivate in Kosmetik, Wasch- und Reinigungsmitteln
- Stärkederivate zur Folienherstellung
- Stärkeether für Mikroverkapselung
- Stärkeester für Spritzgussanwendungen und Folienherstellung
- Tablettierhilfsmittel, Mikroverkapselung für die Pharmaindustrie
- Umweltfreundlicher Klebstoff für Papiermaterialien
- Vernetzte Stärken

Verfahrensentwicklung

- Kombination von enzymatischen und chemischen Verfahrensstufen
- Reaktivextrusion von Stärke
- Verfahren zur Herstellung von bisubstituierten Stärkederivaten

Ligninmaterialien

- Anwendung in thermoplastischen Systemen und Compositen
- Derivatisierung von Lignin
- Ligninanalytik und Strukturcharakterisierung
- Ligninisolierung
- Ligninextraktion und Fraktionierung
- Lignin als Precursormaterial für Carbonfasern
- Lignin für Duomere und Composite

Biotechnologie

- Bestimmung der Zusammensetzung von Biomasse
- Entwicklung/Optimierung von Fermentationsprozessen (Upstream)
- Entwicklung/Optimierung von Aufarbeitungsprozessen (Downstream)
- Fermentative Herstellung von Monomeren (z.B. Milchsäure für die Polymersynthese) und von Biopolymeren (z.B. PHB, Strukturproteinen)
- Fraktionierung von Cellulose, Hemicellulose und Lignin
- Gentechnische Arbeiten S1
- (Heterologe) Proteinexpression (z.B. Peroxidasen) und Aufarbeitung

- Multibioreaktoranlage mit Online-Analytik (pH, pO₂, Biomasse, Zuluft/Abluft)
- Nutzung von Biomasse als Quelle für neue Rohstoffe
- Nutzung von Biomassereststoffen als Substrat bei Fermentationen
- Scale-Up von Up- und Downstream-Prozessen

Rohstoffuntersuchung, Materialcharakterisierung und -prüfung

- Barriereigenschaften (Wasserdampf, Sauerstoff)
- Bestimmung der Emission flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) nach VDA 277
- Charakterisierung der Morphologie und der übermolekularen Struktur von Polymeren
- Charakterisierung von nativen und modifizierten Biopolymeren wie Cellulose, Stärke, Heteropolysacchariden, Chitosan, Lignin
- Charakterisierung von Polymerlösungen (Molmassenverteilung, Rheologie)

- Charakterisierung von Sorptionseigenschaften, Poren und inneren Oberflächen
- Chemische Analyse organischer und anorganischer Substanzen und Substanzgemische
- Chemisch-physikalische Charakterisierung von Polymeren
- Einsatzorientierte Prüfung
- Materialprüfung von Fasern, Folien und Formkörpern
- Stofftransport- und Trenneigenschaften von Membranen und Trägermaterialien
- Substitutionsgrade und -muster von Polysacchariden (u. a. NMR)
- Zusammenhänge zwischen Herstellungsbedingungen, Strukturen und Eigenschaften

Kontakt Contact

Forschungsbereichsleiter
Biopolymere
Division director
Biopolymers



Dr. Johannes Ganster

Telefon +49 331 568-1706
Fax +49 331 568-3000
johannes.ganster@iap.fraunhofer.de

Lignocellulose
Lignocellulose

Dr. Bert Volkert

Telefon +49 331 568-1516
Fax +49 331 568 33-1516
bert.volkert@iap.fraunhofer.de

Stärkemodifikation/Molekulare Eigenschaften

Starch Modification/Molecular Properties

Dr. Waltraud Vorwerg

Telefon +49 331 568-1609
Fax +49 331 568-3000
waltraud.vorwerg@iap.fraunhofer.de

Fasertechnologie
Fiber Technology

Dr. André Lehmann

Telefon +49 331 568-1510
Fax +49 331 568-3000
andre.lehmann@iap.fraunhofer.de

Materialentwicklung und Strukturcharakterisierung
Material Development and Structure Characterization

Dr. Johannes Ganster

Telefon +49 331 568-1706
Fax +49 331 568-3000
johannes.ganster@iap.fraunhofer.de

APPLICATIONS AND SERVICES

Cellulose/hemicellulose products

- anti-graffiti coatings
- bacterial cellulose
- bead cellulose as separating agent and carrier material for pharmacy and medicine
- biocompatible symplex capsules for biotechnology and pharmacy
- biodegradable superabsorbers for hygiene articles and cosmetics
- blood-compatible additives, coagulants and coatings for medicine
- cellulose derivatives of all types (ethers, esters, ...)
- flocculants for the paper industry, water purification and wastewater treatment
- hydrogels and aerogels
- symplex membranes for distillation-free solvent separation in the chemical and food industries
- viscosity regulators and dispersion stabilizers for cosmetics, food, dye, construction material, and chemical industry

Synthesis processes

- new synthesis routes for polysaccharide ethers and esters
 - optimization of homogeneous and heterogeneous syntheses
 - process for the production of mixed cellulose derivatives
 - synthesis of cellulose carbamate
 - synthesis of cellulose sulfates
 - upscaling of syntheses to 50 L scale for heterophase reactions
-

Cellulose forming processes

Viscose technology

- filament yarns and staple fibers
- films and tubes (sausage casings)
- hollow fibers
- screening tests for cellulose pulps

Carbamate technology

- filament yarns and staple fibers
- highly porous aerogel-like materials (density about 0.05 g/cm³)
- high-tenacity fibers and nonwovens from LC system CC-NMMO-water
- hollow fibers, tubes, films
- synthesis of cellulose carbamate

Lyocell technology

- blown films for sausage casings, packaging, membranes
 - filaments and fibers
 - meltblown nonwovens
-

Biobased thermoplastic blends and composites

- biobased films with improved barrier properties
 - biobased meltblown nonwovens
 - cellulose rayon reinforced composites
 - fiber-reinforced injection
 - injection molding compounds with improved properties
 - melt spun biopolymer fibers
 - molding compounds
 - nano additives for polylactide (PLA) and biobased polyamides
 - natural fiber-reinforced composites
 - PLA, starch, and lignin as blend components
-

Starch products

- additives for building materials
- adhesives for wood fiberboards
- amphiphilic starch derivatives
- binders for gypsum plaster boards and mineral fiber boards
- crosslinked starches
- environment-friendly adhesives for paper materials
- flocculants for wastewater treatment and sludge dewatering
- functional food additives: thickening agents, binders and gelling agents
- hydrophobic starches for dispersion adhesives
- paper and textile additives (sizing)
- starch derivatives for film production
- starch derivatives in cosmetics, detergents and cleaning agents
- starch ester for injection molding and film production
- starch ether for micro-encapsulation
- tableting aid, micro-encapsulation for the pharmaceutical industry

Process development

- combination of enzymatic and chemical process steps
- process for production of bi-substituted starch derivatives
- reactive extrusion of starch

Lignin materials

- application in thermoplastic systems and composites
- derivatization of lignin
- isolation of lignin
- lignin analysis and structure characterization
- lignin as precursor for carbon fibers
- lignin extraction and fractionation
- lignin for thermosets and composites

Biotechnology

- determination of biomass composition
- development/optimization of fermentation processes (upstream)
- development/optimization of downstream processes
- fermentative production of monomers (e.g. lactid acid) for polymer synthesis, and biopolymers (e.g. PHB, structure proteins)
- fractionation of cellulose, hemicellulose and lignin
- genetic engineering research, safety level 1
- (heterologous) protein expression (e.g. peroxidases) and purification
- multi-bioreactor plant with online analytics (pH, pO₂, viable biomass, gas inlet/outlet)
- scale-up of upstream and downstream processes
- utilization of biomass as a source of new resources
- utilization of biomass residues as a substrat for fermentations
- characterization of native and modified biopolymers like cellulose, starch, heteropolysaccharides, chitosan, lignin
- characterization of polymer solutions (molecular mass distribution, rheology)
- characterization of pores and inner surfaces
- characterization of the morphology and the supramolecular structure of polymers
- chemical analysis of organic and inorganic substances and mixtures
- chemico-physical characterization of polymers
- degree of substitution and substitution pattern of polysaccharides (e.g. NMR)
- determination of the emission of volatile organic compounds (VOC) according to VDA 277
- mass transport and separation properties of membranes and carrier materials
- material testing of fibers, films and molded parts
- relationships between production conditions, structures and properties

Feedstock analysis, material characterization and testing

- application-oriented testing
- barrier properties (water vapor, oxygen)



1 Poplar root from a short rotation forestry.

2 Results of the chemical analysis.

Kurzumtriebsplantagen – Neue Ressource für Polysaccharide?

Im Jahr 2012 sind in Deutschland 140 Millionen Kubikmeter Holz wirtschaftlich genutzt worden [1,2]. Während im Jahre 2007 die stoffliche Nutzung des Holzes mit 59 Prozent deutlich im Vordergrund stand, hat die energetische Nutzung des Holzes mit einem Anteil von 51 Prozent die stoffliche Nutzung im Jahr 2012 überholt. Im gleichen Zeitraum ist der gesamte Holzbedarf um neun Prozent gestiegen. Es ist daher von Interesse weitere Holzquellen zu erschließen. Als Kurzumtriebsplantage (KUP) werden Anpflanzungen schnell wachsender Bäume, wie Pappeln und Weiden bezeichnet, die in möglichst kurzer Zeit Holz produzieren. Die Pflanzen werden vorwiegend durch Stecklinge angepflanzt und alle 3 bis 10 Jahre im Winter maschinell geerntet. Üblicherweise erfolgt der Betrieb einer KUP maximal 20 Jahre.

Das übergeordnete Ziel dieses Verbundprojekts ist die Erzeugung von qualitativ optimierten Pappeln mit erhöhtem Holzertrag und optimierter Pflanzenarchitektur. Das Fraunhofer IAP ist für die chemische Charakterisierung der von den Partnern gelieferten Pappeln verantwortlich. Vom Projektpartner P&P wurden aus einer Plantage fünf verschiedene zweijährige Pappelhybride geliefert: drei Schwarzpappeln (Pannonia, Koltay, AF2), eine Balsampappel (Androscoggin) und eine Kreuzung aus beiden (Max3).

Für die Analytik der Pappelproben wurden Standardmethoden adaptiert und am Fraunhofer IAP etabliert [3]. Zunächst wurden die Proben durch Mahlen zerkleinert. Anschließend erfolgte die Bestimmung des Gehalts an Proteinen, Asche und Extraktstoffen. Durch eine zweistufige Hydrolyse mit Schwefelsäure wurden die Proben für die ionenchromatographische Bestimmung der Kohlenhydratzusammensetzung aufgeschlossen. Für die Analyse wurde das untere Drittel des Hauptstammes mit einem Durchmesser von ca. 6–10 Zentimeter verwendet (Fig. 1). Die Ergebnisse sind in Fig. 2 dargestellt. Erwartungsgemäß traten Unterschiede beim Vergleich der Proben mit und ohne Rinde auf. Bei allen Proben mit Rinde sind die Anteile an Extraktstoffen sowie der Protein- und Aschegehalt meist doppelt so hoch wie bei den Proben ohne Rinde. Folglich sinkt der Anteil an den drei Hauptkomponenten Cellulose, Lignin und Hemicellulose. Deutliche Unterschiede im Vergleich zur Literatur zeigten sich im Cellulosegehalt. Dieser lag bei den KUP-Proben zwischen 37 und 40 Prozent, während für ausgewachsene Pappeln der Cellulosegehalt um 52 Prozent liegt [4]. Die Anteile von Lignin und Hemicellulose lagen zwischen 23 und 27 Prozent. Die Literaturwerte für Hemicellulose (20 Prozent) und Lignin (23 Prozent) für ausgewachsene Pappeln liegen in ähnlicher Größenordnung. In der Literatur gibt es bisher keine Angaben zu KUP bezüglich des Biopolymerengehalts.

Zur Gewinnung von Cellulose wurde in einem Autoklaven eine Pappelprobe nach dem Organosolv-Verfahren mit einem Ethanol-Wasser-Gemisch bei 170°C aufgeschlossen. Bezogen auf die eingesetzte Menge wurden ca. 30 Prozent Cellulose erhalten, was einer Ausbeute von 75 Prozent entspricht. Weitere Untersuchungen zur Effizienz der Synthese und die Charakterisierung der Produkte stehen noch aus. Die Untersuchungen zeigten, dass prinzipiell das Organosolv-Verfahren geeignet ist, um aus den KUP-Pappeln Cellulose zu gewinnen.

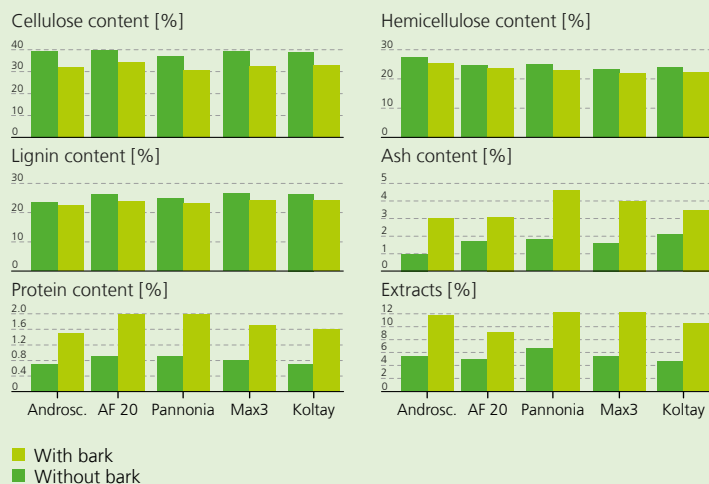
Literatur Literature

[1] Angaben des Statistisches Bundesamtes, Destatis (2014)

[2] U. Mantau: *Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2015*, Zentrum Holzwirtschaft Hamburg (2012)

[3] *Carbohydrate ition of extractive-free wood and wood pulp by gas-liquid chromatography*, Tappi T249 CM-00

[4] H. Hirschberg: *Handbuch Verfahrenstechnik und Anlagenbau*, Springer Verlag, p. 436 (1999)



2

Short rotation forestry – new resources for polysaccharides?

140 million cubic meters of wood were used commercially in Germany in 2012 [1, 2]. Whereas the material use of wood clearly prevailed in 2007 at 59 percent, by 2012 the energy use of wood had overtaken material use with a share of 51 percent. In the same period, the overall demand for wood increased by 9 percent. It is therefore of interest to develop additional sources of wood.

Short rotation forestry (SRF) is the term for plantations of fast-growing trees like poplars and willows which produce wood in the shortest possible time. The trees are mainly taken from cuttings and are harvested mechanically in winter every 3 to 10 years. A short rotation forestry plantation usually only operates for a maximum of 20 years. The overall objective of this collaborative project is to produce highly optimized poplars with an increased wood yield and optimized plant architecture. The Fraunhofer IAP is responsible for the chemical characterization of the poplars provided by its partners. Project partner P&P provided five different two-year hybrid poplars from a plantation: three black poplars (Pannonia, Koltay, AF2), a balsam poplar (Androscoggin), and a hybrid of the two (Max3).

For the analysis of poplar sample standard methods were adapted and established in the Fraunhofer IAP [3]. First, the samples were ground down. Then the content of protein, ash and extractives was determined. The samples were hydrolyzed with sulfuric acid in a two-stage procedure for the ion chromatographic determination of the carbohydrate composition. The lower third of the main stem, measuring 6–10 centimeter in diameter, was used in the analysis (Fig. 1). The results are shown in Fig. 2. As expected, differences appeared when comparing the samples with and without bark. For all samples, the content of extractives, protein and ash is typically twice as high in the samples with bark as in the samples without bark. Accordingly, there is a decrease in the proportion of the three main components cellulose, lignin and hemicellulose. There were significant differences in the cellulose content to the literature. The cellulose content was between 37 and 40 percent for samples from short rotation forestry, while for full-grown poplars the cellulose content is usually 52 percent [4]. The proportion of lignin and hemicellulose was 23–27 percent. The literature values for hemicellulose (20 percent) and lignin (23 percent) for full-grown poplars are of a similar order of magnitude. The literature has no information on biopolymers in short rotation forestry.

In order to obtain cellulose, a poplar sample was processed using the Organosolv method at 170 °C in an autoclave with an ethanol-water mixture. About 30 percent cellulose was obtained based on the amount of the sample. This corresponds to a yield of 75 percent. Further studies on the efficiency of the synthesis and characterization of the products are still pending. The investigations have shown that, in principle, the Organosolv method is suitable for obtaining cellulose from short rotation forestry poplars.

Kontakt Contact



Dr. Kay Hettrich

Telefon +49 331 568-1514
 Fax +49 331 568-3000
 kay.hettrich@iap.fraunhofer.de

Dr. Hendrik Wetzel

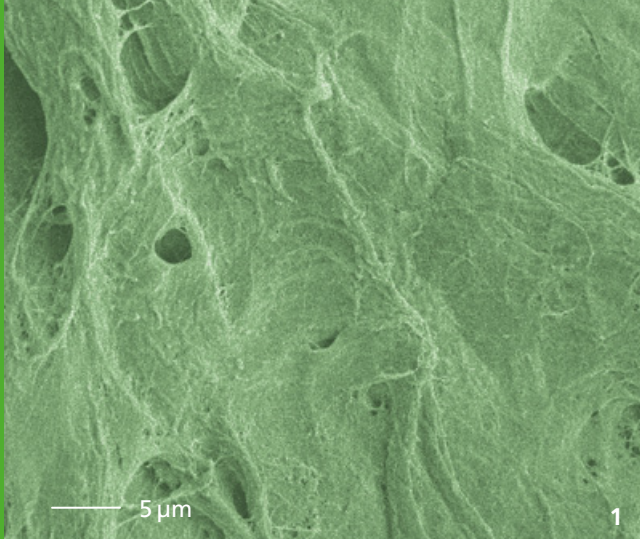
Telefon +49 331 568-1604
 Fax +49 331 568-3000
 hendrik.wetzel@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Projektträger Forschungszentrum Jülich GmbH

Kooperation Collaboration

– Thünen-Institut für Forstgenetik, Großhansdorf
 – Freie Universität Berlin, Institut für Angewandte Genetik
 – Universität Potsdam, Institut für Molekularbiologie
 – Georg-August-Universität Göttingen, Schwann-Schleiden Forschungszentrum
 – Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Potsdam
 – P&P Business Service GmbH, Eitelborn
 – Phytowelt Green Technologies GmbH, Köln



1 Scanning electron micrograph of wood pulp.

2 Degree of swelling and cold-water solubility of wet-end starches as a result of different conditions of synthesis.

3 Chromatograms of a wet-end starch dispersed under different conditions, characterized by hydrodynamic chromatography.

Neue Hydrogelstrukturen für Massestärken in der Papierherstellung

Massestärken werden in der Papierherstellung eingesetzt, um die Blattbildung zu unterstützen und gewünschte Papiereigenschaften zu erreichen. Sie verbessern die Retention von Fein- und Füllstoffen und erzeugen höhere Festigkeiten. Kationische Stärkederivate gehören zu den bedeutendsten in der Masse angewendeten Hilfsstoffen. Durch die Wasserkreislaufschließung bei der Papierherstellung akkumulieren sich heute im Prozesswasser große Mengen an Salzen und Störstoffen, welche die Retention dieser Massestärken vermindern. Die geringere Effizienz der Stärkederivate kann auch durch einen höheren Funktionalisierungsgrad nicht kompensiert werden [1]. Um den Bedingungen in der Praxis gerecht zu werden, ist daher die Entwicklung neuer Massestärken notwendig. Neue kalt- oder warmdispersierbare Systeme könnten außerdem den Papierfabriken helfen, ihre Energieeinsparungsziele zu erfüllen.

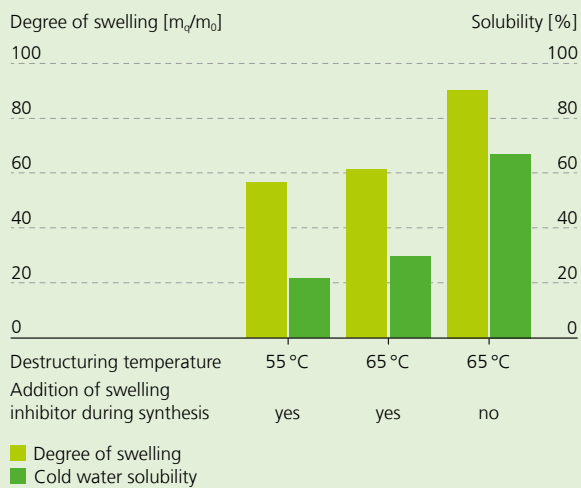
Neben der rein elektrostatischen Adsorption gelöster Strukturen, können Stärken auch über filtrative Effekte auf dem Faservlies gebunden werden. Dazu müssen sie eine partikuläre Struktur aufweisen, die in ihrer Größe und Geometrie zur Porenstruktur des Fasergefüges passt (Fig. 1). In einem neuen Ansatz soll dies über die Erzeugung von Hydrogelstrukturen realisiert werden, welche die Vorteile der Lösungsstruktur mit den Vorteilen einer partikulären Struktur vereinen. Bei der Synthese wurden dazu native und bereits kationisierte Maisstärken unter dem Einfluss von Alkali und Temperatur destrukturiert und in diesem Zustand vernetzt. Die vernetzte native Stärke wurde in einem anschließenden zweiten Schritt mit einem Kationisierungsreagenz verethert. Die verschiedenen Parameter bei der Destrukturierung aber auch der Vernetzungs- und der Derivatisierungsgrad beeinflussen die Quellbarkeit und den Anteil an löslicher Stärke in den Produkten (Fig. 2). Die partikulären Hydrogelstrukturen bilden ohne weitere Kochung ausreichend stabile Dispersionen für die Blattbildung.

Die Wirksamkeit der neuen Massestärken bei der Blattbildung wird in Zusammenarbeit mit der Papiertechnischen Stiftung PTS Heidenau untersucht. In einem salzhaltigen Modellwasser zeigten erste Entwicklungsstärken bereits höhere Retentionswerte als Referenzprodukte auf Basis kationischer Kochstärke. Mit Hilfe der papiertechnischen Kenngrößen werden, bei Kenntnis der Zusammensetzung und Größenverteilung der Hydrogelstärken, Struktur-Wirkungs-Beziehungen aufgestellt. Für die umfassende Größencharakterisierung wird eine Kombination von mikroskopischen, chromatographischen, sowie Lichtstreu- und Lichtbeugungsmethoden eingesetzt. Fig. 3 zeigt Chromatogramme der hydrodynamischen Chromatographie, welche größere Aggregate sowie Fragmente im Nanometerbereich erfasst. Es zeigt sich, dass die Partikelgrößenverteilung sowohl von den Synthesebedingungen als auch von der Art der Dispergierung abhängt.

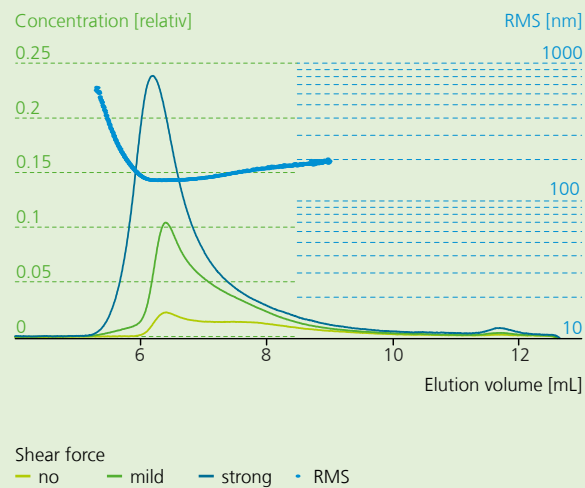
Mit der Kenntnis wirksamer Strukturen sollen im laufenden Projekt in Zusammenarbeit mit Unternehmen der Stärke- und Papierindustrie neue kaltdispersierbare Massestärken synthetisiert und deren Papiereigenschaften verbessert werden.

Literatur Literature

[1] M. Ulbrich, S. Radosta, B. Kießler, W. Vorwerg: *Interaction of cationic starch derivatives and cellulose fibres in the wet-end and its correlation to paper strength with a statistical evaluation*, Starch 64, pp. 972–983 (2012)



2



3

New hydrogel structures for wet-end starches in paper manufacturing

Wet-end starches support the process of sheet formation in papermaking. They improve the retention of fines and fillers, and generate higher mechanical stability in paper sheets. Cationic starch derivatives are among the most important additives in the wet-end process. However due to the closed water cycles in papermaking these days, more and more salts and impurities accumulate in the process water reducing the effect of wet-end starches. The diminished efficiency of the starch derivatives cannot be compensated by a higher degree of functionality [1]. Thus, the development of new wet-end starches is essential in order to cope with real conditions in the field. New cold or warm dispersible systems can also help paper mills achieve their energy saving targets.

In addition to the pure electrostatic adsorption of dissolved structures, starches can also be bound to fibers by filtrative effects. In order to do this, the starch has to have a particulate structure which fits into the fiber pores in terms of size and geometry. This is achieved in a new approach by using hydrogel structures which combine the advantages of the solution structure with the advantages of the particulate structure. Destructured native and cationic starches were produced during synthesis through the interaction of alkali and temperature and then cross-linked. In a second step, the cross-linked native starch was etherified with a cationizing reagent. The various parameters of destructuring and derivatisation of starch affect the degree of swelling and the solubility of the products (Fig. 2). The process of destructuring and derivatisation creates hydrogel structures that generate sufficiently stable dispersions for sheet formation without further cooking.

The effectiveness of the new wet-end starches in sheet formation is studied in collaboration with the Papiertechnische Stiftung PTS Heidenau. In a model water containing saline, the first newly developed wet-end starches already showed higher retention values than a reference product based on cooked cationic starch. Paper technology parameters and information about the molecular composition and particle size distribution of the hydrogel starches enable structure-property relationships to be established. Various microscopic, chromatographic, and dynamic light scattering and laser light diffraction methods are used in order to get a broad size characterization. Fig. 3 shows chromatograms of hydrodynamic chromatography which detect bigger aggregates and nanometer-sized fragments. It becomes apparent that particle size distribution of the hydrogel starches not only depends on synthesis conditions, but also on the type of dispersion.

With knowledge of more effective structures, new cold dispersible wet-end starches are synthesized in conjunction with starch and paper companies in order to achieve better paper quality.

Kontakt Contact



Dr. Jens Buller

Telefon +49 331 568-1478

Fax +49 331 568-3000

jens.buller@iap.fraunhofer.de

Dr. Sylvia Radosta

Telefon +49 331 568-1608

Fax +49 331 568-3000

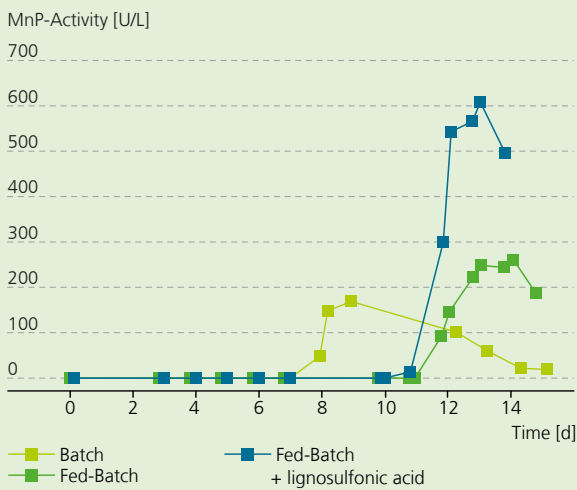
sylvia.radosta@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow
- Unternehmen der Stärke- und Papierindustrie

Kooperation Collaboration

- Papiertechnische Stiftung PTS, Heidenau



1

1 MnP activity trends for three different fermentation strategies.

2 Elution profile on GPC of alkali lignin after different biocatalytic treatments.

3 100L Bioreactor in the biotechnological laboratories at the Fraunhofer IAP.

Fermentative Herstellung einer Peroxidase zur Modifizierung von Lignin

Die Herstellung von Bioethanol der zweiten Generation aus Lignocellulose-haltiger Biomasse wird stark durch die Zugänglichkeit von Cellulose und Hemicellulose beeinflusst. Daher werden z.B. thermo-mechanische und Alkali-Vorbehandlungen eingesetzt, um den Ligningehalt vor der Hefefermentation deutlich zu reduzieren. Wegen des relativ hohen Anteils von Lignin zwischen 15–30 Prozent in pflanzlicher Biomasse ist eine substanzielle Verwertung des Lignins bedeutsam für die Ökonomie des gesamten Prozesses. Heutzutage wird Lignin hauptsächlich als Energiequelle eingesetzt, trotz seines Potenzials als komplexes Biopolymer in Materialanwendungen. Das Ziel unserer Arbeit ist die Abtrennung des Lignins aus Biomasse-Reststoffen und die nachfolgende Modifikation hinsichtlich des Molekulargewichts, um es als thermoplastisches oder duroplastisches Additiv bei nachhaltigen Biokunststoffen einzusetzen.

Das Molekulargewicht des Lignins ist in der Materialanwendung wichtig.

In unserem Ansatz wurden verschiedene Weichhölzer und Gräser als mögliche Ligninquellen untersucht. Nach einer thermo-mechanischen Vorbehandlung wurde das Substrat mit Alkali inkubiert, um das Lignin abzutrennen (Alkali-Lignin) und die Zugänglichkeit für die nachfolgende Peroxidase-Behandlung zu steigern. Das resultierende Alkali-Lignin verhielt sich wie ein Thermoplast und konnte ohne Zusatz von Weichmachern in einem Laborextruder prozessiert werden.

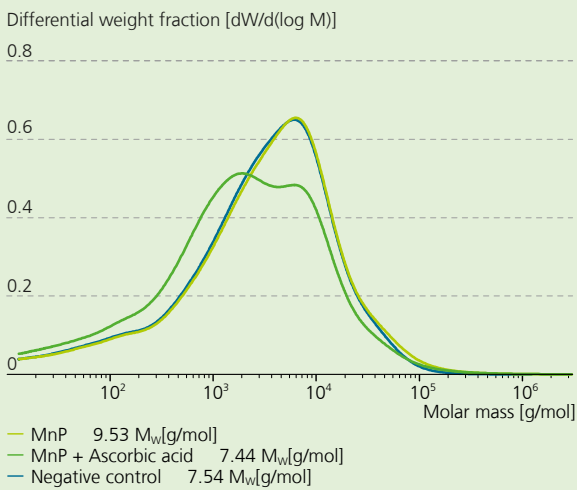
Um den Anwendungsbereich des Alkali-Lignin durch Verändern des Molekulargewichts zu erweitern, wurde die Wirkung der Manganperoxidase aus *Phanerochaete chrysosporium* auf das Lignin untersucht [1]. Um eine ausreichende Enzymmenge für Anwendungstests herzustellen wurde die Fermentation in Rührkesselreaktoren durchgeführt (Fig. 3). Zur Entwicklung eines Fed-Batch-Prozesses wurden verschiedene Kohlenstoffquellen, Fütterungsstrategien und induzierende Agenzien untersucht. Ein pH-Auxostat mit Essigsäure als Substrat zeigte die besten Ergebnisse. In Kombination mit der Zugabe von Lignin-Derivaten wie Lignosulfonsäure konnte im Vergleich zum ursprünglichen Prozess eine deutliche Steigerung der finalen Enzymaktivität erreicht werden (Fig. 1).

Nach einer Aufarbeitung des Enzyms durch Ultra- und Diafiltration wurde eine Peroxidase-Behandlung des Alkali-Lignins bei gleichzeitiger Unterdrückung der Repolymerisation realisiert. Kraft oder Alkali-Lignin wurden zunächst teilweise in organischen Lösungsmitteln gelöst, anschließend wurde das Lignin bei wiederholter H_2O_2 -Zugabe mit Peroxidase behandelt. Ascorbinsäure wurde als Radikalfänger zugesetzt, um die Repolymerisation zu unterbinden. Die Analyse mittels GPC zeigte, dass eine kritische Menge an Enzym und Radikalfänger zu einem partiellen Abbau des Lignins führen (Fig. 2).

Ein nächster Schritt ist die Herstellung einer ausreichenden Ligninmenge für Versuchsversuche nach Peroxidasebehandlung.

Literatur Literature

[1] B. Ledermann: *Optimierung von Fermentationsbedingungen zur Produktion von Peroxidasen aus Weißfäulepilzen*, Master thesis, Heinrich Heine Universität, Düsseldorf (2013)



2



3

Fermentative production of peroxidase for the modification of lignin

The production of second-generation cellulosic ethanol from lignocellulosic biomass sources strongly depends on cellulose accessibility. Therefore, thermomechanical and alkaline pretreatment methods are applied to separate lignin before the yeast fermentation process. Because of the high proportion of lignin – between 15 and 30 percent – in plant biomass, substantial valorization of lignin is crucial for overall economic viability. Today lignin is mostly used as an energy source despite its potential of being a complex biopolymer for material applications. The goal of our work is to separate lignin from lignocellulosic residues and to modify its molar mass in order to use it as a thermoplastic or duroplastic additive in sustainable bioplastic materials.

The molecular size of lignin plays a very important role in material development.

In our approach, different soft woods and grasses were tested as potential sources of lignin. After thermo-mechanical pulping, the substrate was treated with alkali to separate the lignin (alkali lignin) and to increase its accessibility for the subsequent peroxidase treatment. The resulting alkali lignin behaved like a thermoplast and could be processed with a laboratory extruder without having to add a plasticizer.

An investigation was carried out on the influence of manganese peroxidase, obtained from *Phanerochaete chrysosporium*, on the lignin in order to increase the application range of the alkali lignin by altering its molecular size [1]. In order to produce enough enzyme for application tests, fermentation was done in stirred tank reactors (Fig. 3). Different carbon sources, feeding strategies and inducing agents were tested in order to develop a fed-batch process. A pH-controlled fed-batch strategy using acetic acid as a substrate achieved the best results. When lignin-derivatives, such as liginosulfonic acid, were also added, final enzyme activity increased significantly (Fig. 1).

After the enzyme was partially purified using ultra- and diafiltration, the alkali lignin was treated with peroxidase and the repolymerization was concurrently suppressed. Kraft or alkali lignin was partially solubilized in organic solvents. The lignin was then treated with peroxidase along with the repeated addition of H_2O_2 . Ascorbic acid was added to the reaction mixture to capture the radicals suppressing repolymerization. GPC analysis showed that a critical amount of enzyme and radical scavenger led to the partial degradation of the lignin (Fig. 2).

The next step is to prepare enough lignin for processing trials after peroxidase treatment.

Kontakt Contact



Dr. David Dietz

Telefon +49 331 568-1614

Fax +49 331 568-3000

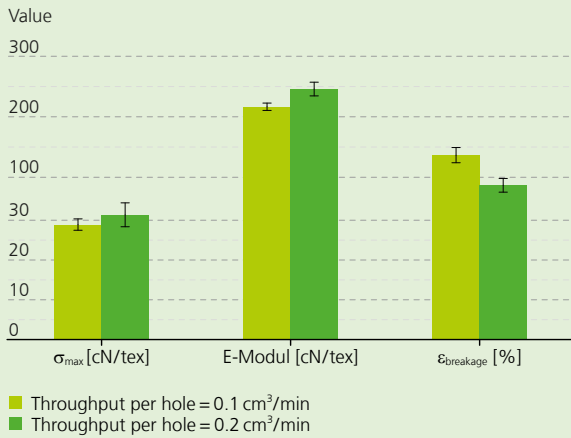
david.dietz@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Ministerium für Wirtschaft und
Europaangelegenheiten des Landes
Brandenburg (MWE)

Kooperation Collaboration

– aevotis GmbH, Potsdam
– Universität Potsdam



1

Material	Tensile strength [cN/tex]	E-Modul [cN/tex]	Elongation at break [%]	Titer [dtex]
PLA 6201 D	<28	<465	>45	>0.81
PLA 6400 D	<42	<590	>29	>1.46
PA 11	<53	<576	>27	>0.57
PA 410	<44	<304	>36	>0.86

2

Strukturbildung biobasierter Thermoplaste im Spinnprozess

Auf der Suche nach Alternativen zu den herkömmlich aus fossilen Rohstoffen hergestellten Kunststoffen wächst in den letzten Jahren das Interesse an teilbiobasierten und biobasierten Polymeren. Um ihr Potenzial für die jeweiligen Anwendungen besser einschätzen zu können und ihren Einsatz im Kunststoff verarbeitenden Gewerbe zu fördern, ist es von Bedeutung, ein breites Know-how zum Verarbeitungsverhalten und den erzielbaren Eigenschaften dieser Materialien zu generieren.

Das Fraunhofer IAP beteiligt sich gemeinsam mit weiteren kompetenten Partnern (SKZ Würzburg, IfBB Hannover, SLK Chemnitz) am Verbundvorhaben »Verarbeitung von biobasierten Kunststoffen und Errichtung eines Kompetenznetzwerkes im Rahmen des Biopolymernetzwerkes der FNR«. Die gemeinsamen Projektziele liegen in der Verbesserung der Informationsbasis zum Verarbeitungsverhalten von neuartigen biobasierten Kunststoffen und der Entwicklung wirksamer Strukturen für einen Technologietransfer.

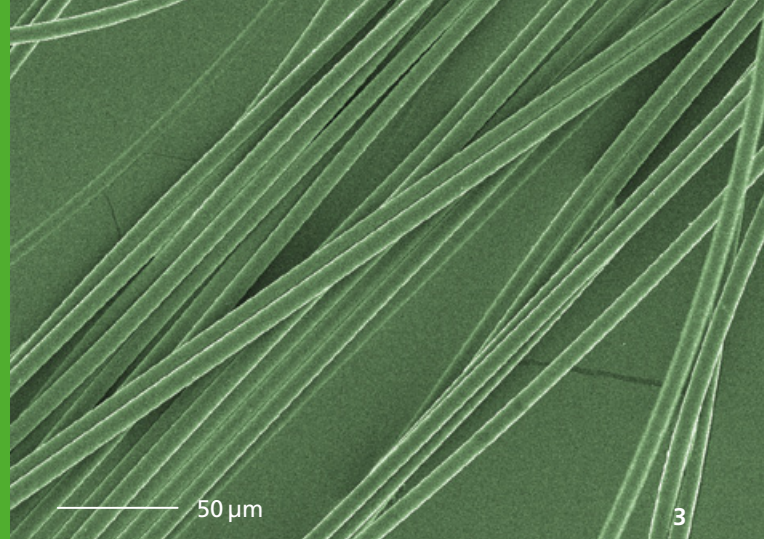
Der Projektteil »Faserherstellung« beinhaltet eine intensive Auseinandersetzung mit der Verarbeitbarkeit von kommerziell erhältlichen (teil-)biobasierten Polyamiden (PA 11 und PA 4.10) und PLA (Ingeo 6201D/6400D) auf einer industrienahen Schmelzspinnanlage (Fourné). Da die Grundvoraussetzung für eine Produktion in größerem Maßstab ein stabiler Prozessverlauf ist, lag das Hauptaugenmerk zunächst in der Identifikation solcher Verarbeitungsfenster. Weiterhin wurden Zusammenhänge zwischen den zahlreichen Prozessparametern, wie Temperaturführung, Fördermenge, Verstreckung oder Düsengeometrie, und den resultierenden mechanischen Eigenschaften der Filamente durch systematische Untersuchungen aufgezeigt. Strukturuntersuchungen der Filamente brachten dabei wichtige Erkenntnisse zu den Struktur-Eigenschaften Korrelationen beim Fadenbildungsprozess der untersuchten Thermoplaste. Dieses tiefgehende Verständnis ermöglicht eine gezielte Steuerung der Fasereigenschaften, etwa bei erhöhten Prozessgeschwindigkeiten bzw. Fördermengen (Fig. 1) und damit eine Anpassung an ökonomische Erfordernisse. Der Schmelzspinnprozess stellt hohe Anforderungen an die zu verarbeitenden Materialien. Entsprechende Fließeigenschaften sind notwendig, damit die Schmelze gleichmäßig durch Schmelzleitungen befördert werden kann und beim Austritt aus der Düse den hohen Dehnraten und Zugspannungen standhält, die beim Verstrecken der Filamente entstehen. Nur so können ein hohes Eigenschaftsniveau und ein stabiler Spinnprozess gewährleistet werden.

Die untersuchten teilbiobasierten Polyamide und biobasierten PLA-Typen konnten diesen Anforderungen gerecht werden und stellen gute Alternativen zu erdölbasierten Polymeren für den Schmelzspinnprozess dar. Sie können auf den konventionellen Maschinen zu Fasern mit vielfältigen Eigenschaftsprofilen (Fig. 2) verarbeitet werden. Die Optimierung der mehrstufigen Verstreckprozesse ermöglichte sogar die Herstellung von PA 11-Mikrofasern [0,6 dtex] (Fig. 3).

1 Correlation between the throughput and the resulting mechanical properties (1.4 dtex).

2 Maximum mechanical properties obtained for polyamide and PLA fibers.

3 SEM image of polyamide 11 melt spun fibers (0.6 dtex).



Structural formation of biobased thermoplastics during the spinning process

In the quest for alternatives to conventional fossil-based plastics, there is growing interest in partially or fully biobased polymers. In order to assess their potential for suitable applications and to encourage their use in the plastic manufacturing industry, it is important to generate a wide range of expert knowledge about their processing behavior and achievable properties.

The Fraunhofer IAP has been involved in the joint project "Processing of Bio-Based Plastics and Establishment of a Competence Network within the German Biopolymer Network organized by the Agency of Renewable Resources (FNR–Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.)" in line with the "Competence Network for Biopolymer Processing" (Fraunhofer IAP, SKZ Würzburg, IfBB Hannover, SLK Chemnitz). The common objectives of this project are to improve the information base for the processing behavior of novel biobased plastics and to develop structures for the effective transfer of technical knowledge.

The project area "fiber manufacturing" includes an intensive analysis of the processability of commercially available, partially biobased types of polyamide (PA 11 and PA 4.10) and PLA (Ingeo 6201D/6400D) using Fourné melt spinning equipment. Since the basic requirement for large-scale production is a stable process flow, the initial focus was on the identification of appropriate processing windows. Furthermore, systematic spinning trial studies demonstrate the correlations between the various process parameters, such as temperature, throughput, stretching or nozzle geometry, and the resulting mechanical fiber properties. Meanwhile structural analysis has supplied important information on structure-property-correlations in the fiber formation process. This has enabled the achievable mechanical properties to be optimized and a wealth of experience to be gained in developing fibers with the desired properties. Such deep understanding is helpful in controlling the fiber properties, for instance by increasing processing speeds, i.e. the throughput quantities (Fig. 1) and, in doing so, enabling them to be adjusted to economic requirements. A further issue is to develop preferably fine fibers with the best possible mechanical properties.

The melt spinning process places great demands on material quality. In particular, the polymer melt must have the appropriate flow characteristics so that it can flow evenly through melt lines and withstand the high strain rates and tensile stresses when exiting the nozzle and when the filaments are stretched. Only when such requirements are taken into consideration a stable spinning process can be ensured.

We can state at this point in our investigation that the partially and fully biobased thermoplastics (PA and PLA) we have studied meet the aforementioned requirements and represent good alternatives to petroleum-based polymers for melt spinning. They can be processed into fibers with a variety of properties using conventional machines (Fig. 2). The optimization of the two-step stretching process has even enabled the production of PA11–microfibers [0.6 dtex] (Fig. 3).

Kontakt Contact



Dipl.-Phys. Evgueni Tarkhanov

Telefon +49 331 568-1512

Fax +49 331 568-3000

evgueni.tarkhanov@iap.fraunhofer.de

Dr. André Lehmann

Telefon +49 331 568-1510

Fax +49 331 568-3000

andre.lehmann@iap.fraunhofer.de

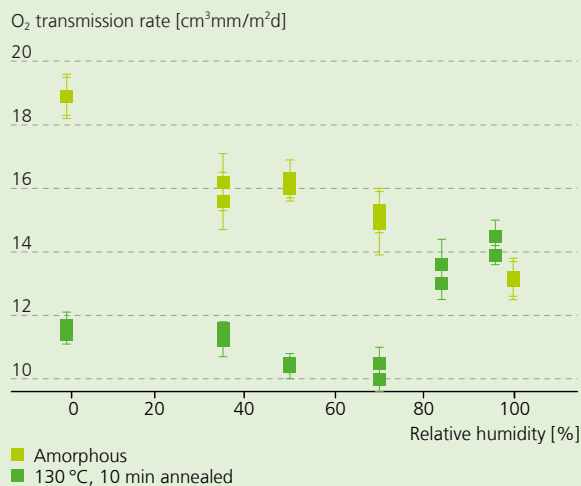
Förderung Funding

– Fachagentur Nachwachsende

Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow

- Bundesministerium für Ernährung

und Landwirtschaft (BMEL)



1 O₂ transmission rate of Ingeo™ 4043D compared to the relative humidity of the test gas.

2 SEM of the nanocellulose coating on the surface of the PLA film.

PLA-Folien mit verbesserten Barriereigenschaften

Polymilchsäure (PLA) ist ein biobasierter thermoplastischer Polyester, der auf Grund der steigenden Nachfrage an Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen immer mehr an Bedeutung gewinnt. Die Nachfrage nach biobasierten Verpackungsfolien speziell für Bio-Lebensmittel steigt. Die Folien sollen die Lebensmittel während des Transports und der Lagerung schützen und dabei je nach Anwendungsfall eine Barriere bilden, die gegen Einflüsse von außen schützt und/oder dafür sorgt, dass nichts an die Umgebung abgegeben wird.

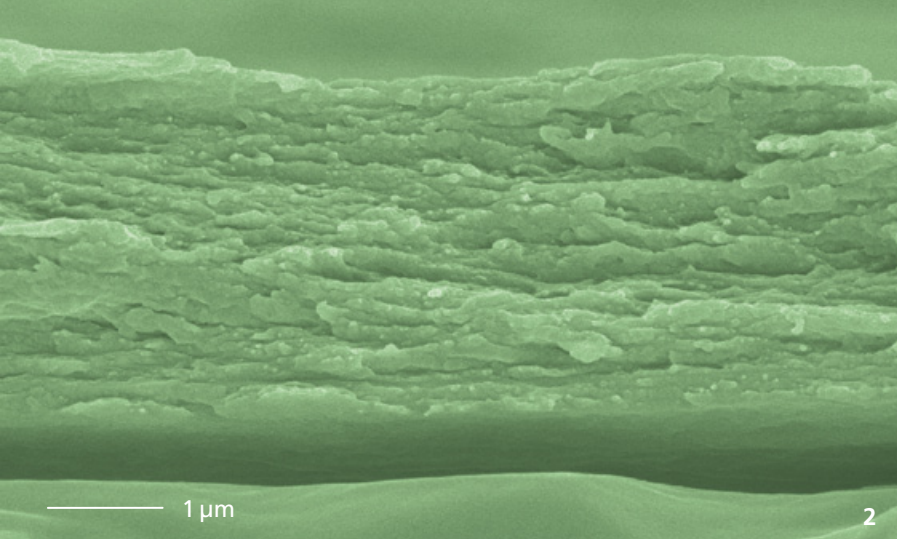
Folien aus PLA besitzen eine relativ hohe Wasserdampf- und Sauerstoffdurchlässigkeit. Wir haben deshalb die Abhängigkeit der Barriereigenschaften von der Prozessführung der Folienherstellung, von der relativen Feuchte (für die Sauerstoffdurchlässigkeit), der Zugabe eines Nanoclays, einer anschließenden Kristallisation sowie der Beschichtung mit Nanocellulose untersucht.

Verwendet wurden zwei kommerziell verfügbare PLA-Folientypen Ingeo™ 4043D und Ingeo™ 4032D, welche sich signifikant in ihrem D-Lactid-Gehalt unterscheiden. Durch Extrusion auf einer Flachfolienanlage wurden Folien von 50 Mikrometer Dicke hergestellt. Dabei wurden die Chill-Roll Abzugsgeschwindigkeit und Temperatur variiert. Sowohl durch die Herstellungsparameter als auch durch den PLA-Typ konnte die Wasserdampf- und Sauerstoffdurchlässigkeit nicht beeinflusst werden. Anschließendes Tempern der Folien mit fixierten Enden führte zu einer Erhöhung der Kristallinität und damit zu einer Verbesserung der Barriereigenschaften. Die Durchlässigkeit der Folien gegenüber Wasserdampf und Sauerstoff sank auf 60 Prozent bzw. 80 Prozent der Ausgangswerte.

Die Durchlässigkeit der Folien gegenüber Sauerstoff hängt dabei zusätzlich noch von der Feuchte der Umgebungsluft ab. Mit einer Erhöhung des Kristallinitätsgrades durch Tempern kann diese Abhängigkeit verringert werden (Fig. 1). Steigende relative Feuchten verursachten allerdings eine Quellung der Kristalle sowie einen geringeren Kristallinitätsgrad der semikristallinen Folien. Deshalb steigt die Sauerstoffdurchlässigkeit bei hoher Feuchtigkeit der Umgebung wieder an.

Ein anderer Weg zur Verbesserung der Barriereigenschaften ist die Zugabe eines organofunktionalisierten Montmorillonit Nanoclays wie Cloisite 30B. Dieser Füllstoff und eine anschließende Temperung reduzierten die Wasserdampf- und Sauerstoffdurchlässigkeit auf 35 Prozent der Ausgangswerte.

Die geringste, auf ein Prozent reduzierte Sauerstoffdurchlässigkeit wurde mit Hilfe einer Nanocellulose-Beschichtung erreicht. Fig. 2 zeigt die nur wenige Mikrometer starke Nanocelluloseschicht. Der Spalt zwischen dem PLA (unten) und der Nanocellulose in diesem Bild ist durch die Probenpräparation entstanden. Durch die Beschichtung der Folien mit Nanocellulose wird jedoch die Durchlässigkeit gegenüber Wasserdampf praktisch nicht verändert.



Improved barrier properties of polylactide films

Poly(lactic acid) (PLA) is a biodegradable thermoplastic aliphatic polyester made from renewable resources. Market demands for biobased packaging materials, especially for organic food, has increased the importance of PLA among packaging films. The films are supposed to protect food during transport and storage. Depending on their specific requirements, the films act as a barrier against outside influences and/or against the release of substances into the environment.

The water vapor and oxygen permeability of PLA is high compared to conventional packaging materials like polyethylene. Therefore, we analyzed the barrier properties as a function of the parameters of the film cast extrusion process, subsequent annealing, relative humidity for oxygen permeability, the addition of nanoclay and a nanocellulose coating.

Two types of commercially available PLA film with different D-lactic acid content were used: Ingeo™ 4043D and Ingeo™ 4032D. Using a cast film extrusion process, 50 micrometers thick PLA films were produced on a flat-film line. Varying parameters were the chill roll speed and the chill roll temperature. Different production parameters of the films as well as the different PLA grades do not significantly influence the gas barrier properties for water vapor and oxygen. Annealing the films with fixed ends after film casting improved the crystallinity of the PLA and consequently improved the barrier properties. The degree of water vapor and oxygen permeability decreased to 60 percent and 80 percent of the original values, respectively.

Oxygen permeability also depends on the moisture content of the environment. This dependence can be reduced by increasing the degree of crystallinity through annealing (Fig. 1). On the other hand, increasing relative humidity causes a swelling of the crystals resulting in a decrease in the degree of crystallinity of the semi crystalline PLA films. This effect causes an increase in oxygen permeability when the environment has a high relative humidity.

Another way to improve barrier properties is to add organo-functionalized montmorillonite like Cloisite 30B to the PLA melt. With the help of this filler, and through subsequent annealing of the films, the rate of water vapor and oxygen transmission could be reduced to 35 percent of the original values.

By coating the films with nanocellulose, the oxygen transmission was reduced to only one percent of the reference sample. Fig. 2 shows an SEM of the nanocellulose layer that is only a few micrometers thick. The gap between the PLA (on the bottom) and the nanocellulose is the result of sample preparation. Interestingly, the water vapor permeability of the films is practically unaffected by the nanocellulose coating.

Kontakt Contact



Dipl.-Phys. Helmut Remde

Telefon +49 331 568-1206
 Fax +49 331 568-2506
 helmut.remde@iap.fraunhofer.de

M.Sc. Melanie Bartel

Telefon +49 331 568-1434
 Fax +49 331 568-3000
 melanie.bartel@iap.fraunhofer.de

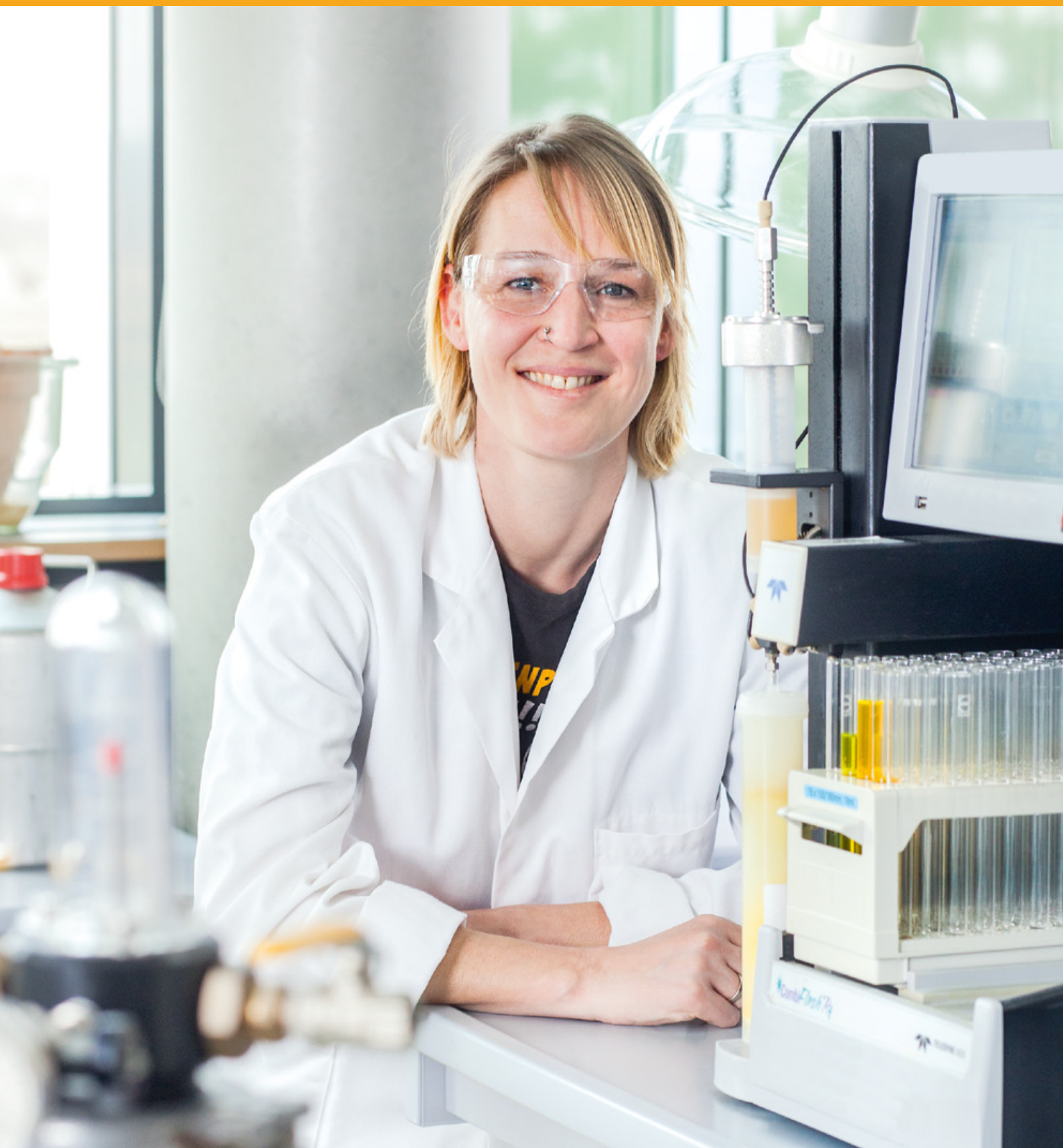
Förderung Funding

– Fachagentur Nachwachsende
 Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow

FUNKTIONALE POLYMERSYSTEME

FUNCTIONAL POLYMER SYSTEMS

- 46 Funktionswerkstoffe und Technologie**
Functional materials and technology
- 50 Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 52 Entwicklung von OLED Modulen für die Integration in Textilien**
Development of OLED modules for integration into textiles
- 54 Thermisch stabile organische Solarzellen mit vernetzten Polymer-Fulleren-Mischschichten**
Organic solar cells with cross-linked bulk-heterojunction layers for enhanced thermal stability
- 56 Überhitzungsschutz für Solarkollektoren**
Protection against overheating of solar collectors
- 58 Reflektierende elastische Gitter für einstellbare diffraktive optische Bauelemente**
Reflective elastomeric gratings for tunable optical diffractive devices



FUNKTIONSWERKSTOFFE UND TECHNOLOGIE

Materialien und Technologien für neue Bauelemente und Anwendungen

Im Anwendungszentrum für Innovative Polymertechnologien ist es möglich, die verschiedenen Dünnschichttechnologien für die Photovoltaik und für organische Leuchtdioden (OLEDs) zu evaluieren. An einer Pilotanlage können wesentliche Schritte zur Entwicklung produktionstauglicher Prozesse für die Herstellung derartiger Bauelemente durchgeführt werden. Die weitgehend automatisierten Abläufe erlauben eine weitaus höhere Produktivität und bessere Konstanz der Prozesse gegenüber manuellen Herstellungstechniken. Neben modernen Drucktechniken (Tintenstrahl, Schlitzdüse) und Bedampfungseinheiten ist die Anlage mit einem Modul für die Dünnschichtdirektverkapselung mit ALD (Atomic Layer Deposition) und einer Einheit für die Kapselung der Bauelemente ausgerüstet. Die Technologieentwicklung ist eng mit den verschiedenen Materialentwicklungen im Bereich verbunden.

Dazu eröffnet die organische Synthesechemie ein weites Spektrum an Möglichkeiten, um die Entwicklung von Technologien zur Bauelementherstellung mit maßgeschneiderten Lösungen zu unterstützen. Im Falle der OLEDs werden neue Materialsysteme entwickelt, die in der polymeren Hauptkette strukturoptimierte Transport- und Emittermoleküle enthalten. Durch die Anwendung von geeigneten funktionalisierten Polymeren können diese zusätzlich durch thermische als auch photochemische Initiierung vernetzt werden, um die abgedichtete dünne Schicht zu stabilisieren und weitere Prozessschritte vorzunehmen. Für die organischen Feldeffekttransistoren (OFETs) sind neue halbleitende Polymere mit hoher Ladungsträgermobilität und dünne spannungsfeste Dielektrika Schwerpunkte der Entwicklung, die für die Herstellung luftstabiler Transistoren und Schaltungen genutzt werden können. Spezielle angepasste konjugierte Absorberpolymere werden für den Einsatz in der organischen Photovoltaik entwickelt.

Die thermochromen Materialien bilden einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten im Bereich. Thermochrome Materialien zeigen kontinuierliche oder sprunghafte Farbwechsel infolge von Temperaturänderungen. Bei thermochromen Polymerwerkstoffen lassen sich sowohl die Farbintensitäten temperaturgesteuert schalten als auch zielgerichtet Farben steuern. Zu den Schwerpunkten der Entwicklungsarbeiten gehören farbselektive Thermochromie in Duromeren, Thermoplasten, Lacken einschließlich Gießharzsystemen und hochtransparenten Hydrogelen. Technologisch wird an der Extrusion von thermoplastischen Systemen gearbeitet, die eine Überführung in industrielle Prozesse erlauben. Neben der Anwendung als Temperatursensoren werden thermochrome und thermotrope Polymere vor allem als energieeffizienzsteigernde Materialien in der Solartechnik oder in der Sicherheitstechnik eingesetzt. Schwerpunkte hierbei sind der aktive Sonnenschutz in der Gebäudearchitektur und die Vermeidung von Überhitzungseffekten in Sonnenkollektoren.

Die Quantum Dots (QDs) sind eine Klasse von Nanomaterialien, bei denen die Absorptions- und Emissionseigenschaften durch die Einstellung der Partikelgröße und Passivierung der Partikeloberfläche festgelegt werden. Nahezu der gesamte sichtbare Spektralbereich bis hinein in das nahe Infrarot ist zugänglich. Diese einzigartigen Eigenschaften ermöglichen den Einsatz in verschiedensten Anwendungsbereichen, etwa als Leuchtstoffe, in der Displaytechnologie, für die Up-conversion in der Photovoltaik, als Sicherheitsmerkmal auf Banknoten oder in Sensoren. Die Funktionalisierung der Partikeloberfläche macht den Einsatz von QDs insbesondere in der Analytik und Bioanalytik interessant. Hier können QDs herkömmliche Fluorophore ersetzen, um durch bessere Stabilität und überlegene photochemische Eigenschaften die Sensitivität und Verlässlichkeit der analytischen Verfahren zu verbessern. Es werden neue Verfahren erprobt, um konventionelle Cadmiumselenid-QDs und infrarotaktive QDs im Gramm-Maßstab herzustellen. Darüber hinaus werden auch cadmiumfreie Synthesen entwickelt, um umweltfreundliche Indiumphosphid-QDs für die LED/OLED- und Displaytechnologie sowie infrarotaktive Kupferindiumsulfid-QDs für die Effizienzsteigerung in Solarzellen bereitstellen zu können.



Flüssigkristalle haben in Form der LCDs die Informationstechnologie revolutioniert. Die Materialentwicklung konzentriert sich auf thermotrope und lyotrope Flüssigkristallsysteme auf Basis calamitischer und diskotischer Flüssigkristalle, glasbildender oder vernetzbarer Mesogene sowie auf lichtemittierende Flüssigkristalle und flüssigkristalline Polymere. Die speziell funktionalisierten Polymere, Polymercomposite und komplexen photovernetzbaren Flüssigkristall-Mischungen lassen sich leicht verarbeiten und erlauben die Herstellung von Filmen unterschiedlicher optischer Funktionalität. Neben der Materialentwicklung selbst kommt der darauf abgestimmten Entwicklung polymertypischer Verarbeitungs- und Strukturierungstechnologien, neuartiger Filmpräparationstechniken, Orientierungsverfahren, dem permanenten Fixieren supramolekularer oder lichtinduzierter Ordnungszustände und in Perspektive in zunehmenden Maße auch Drucktechniken eine entscheidende Bedeutung zu. Diese Schichten können für zukünftige holografische Displays eingesetzt werden.

Neue dreidimensionale Strukturen können durch Photovernetzung mit Hilfe verschiedener Technologien eingeschrieben werden. Grundsätzlich eignen sich dafür die lasergestützte Multiphotonenpolymerisation und stereolithografische Techniken. Die dazu notwendige Entwicklung von Materialien konzentriert sich derzeit auf die Synthese von acrylatbasierten Reaktivharzen, die durch orts aufgelöste Polymerisation für die Herstellung von künstlichen Blutgefäßsystemen verwendet werden. Die Materialkombinationen bieten weiterhin die Möglichkeit, die mechanischen Eigenschaften je nach Vernetzungsgrad von weich elastisch bis starr einzustellen. Weitere Anwendungsfelder dieser Materialien und Technologien werden in der Mikrosystemtechnik gesehen.

Die Entwicklung organischer oder hybrider Wandler konzentriert sich auf die Themenfelder der elektromechanischen und kapazitiven Sensoren und Aktoren, sowie der Nanocomposit-Sensoren z.B. für das Detektieren von Magnetfeldern oder Feuchte. Als elektromechanische Wandler werden piezoelektrische Polymere und Composite, wie klassische Ferroelektrika oder neuartige Ferroelektrite, erforscht und prozessiert sowie den Anwendungen in taktile Sensorarrays, Impaktdetektoren, Ultraschallwandlern oder Sensoren für die Energiegewinnung

angepasst. Weiterhin werden neue dielektrische Elastomere als Aktoren (DEA), Sensoren und Generatoren entwickelt, die u.a. aufgrund einer deutlich höheren Permittivität eine Absenkung der Aktorbetriebsspannung ermöglichen. Derartige Elastomere werden als dünne Folien mit dehnbaren Elektroden prozessiert und anschließend als Flächen- oder Stapelaktoren eingesetzt.

Die optische Sensorik ermöglicht durch den Einsatz von neuartigen lumineszierenden Materialien maßgeschneiderte Lösungen für verschiedenste Messanforderungen. Dabei wird die hohe Leistungsfähigkeit optischer Sensoren durch den Einsatz von speziell entwickelten Materialien weiter verbessert. So können z.B. QD-basierte FRET-Drucksensoren berührungslos über größere Entfernungen ausgelesen werden, der Einsatz von QDs in der medizinischen Diagnostik ermöglicht aufgrund der herausragenden photophysikalischen Eigenschaften der QDs die simultane Bestimmung der Konzentration mehrerer Biomarker im pikomolaren Bereich.

Das Anpassen der Oberflächeneigenschaften eröffnet den polymeren Materialien viele neue Einsatzbereiche. Die Aktivierung der Oberflächen macht es möglich, Polyethylenfolien zu bedrucken (Einkaufstüten), Polypropylen zu kleben (Chipkarten) und Polymeroberflächen zu lackieren. Die chemische Zusammensetzung einer nur wenige Nanometer dicken Oberflächenschicht ist für diese Eigenschaften verantwortlich. Dazu werden Nanotechnologien zur gezielten Einstellung von Oberflächeneigenschaften von Polymeren und mit Polymeren entwickelt. Insbesondere werden kombinierte Prozesse genutzt, bei denen die hervorragenden Eigenschaften elektrischer Entladungsplasmen für die Aktivierung inerte Oberflächen mit Gasphasen und Nasschemie verbunden wird, um mit hoher Produktivität Oberflächen mit wohl definierter chemischer Struktur herzustellen. Diese sind z.B. geeignet, eine ausgezeichnete Haftung von Metallen auf Kunststoffen zu erzeugen oder dreidimensionale Wirtsstrukturen für Proteine in der biologischen und medizinischen Diagnostik herzustellen. Alle Technologieentwicklungen auf diesem Gebiet werden durch eine leistungsfähige Analytik von Oberflächen und Dünnschichten unterstützt.

FUNCTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGY

Materials and technologies for new components and applications

The Application Center for Innovative Polymer Technologies enables us to evaluate various thin film technologies for photovoltaics and organic light emitting diodes (OLEDs). Essential steps for developing production-ready processes to manufacture such components are carried out at our pilot plant. The largely automated processes allow for a much higher productivity and better process consistency than manual production techniques. In addition to modern printing technologies (inkjet and slot die) and vaporization units, the plant is equipped with a module for thin-film direct-encapsulation with ALD (atomic layer deposition) and a unit for the encapsulation of components. The development of technology is closely linked with various material developments in the department.

Synthetic organic chemistry offers a wide range of possibilities to support the development of technologies for producing devices with customized solutions. New material systems are being developed for OLEDs that contain structure-optimized transport and emitter molecules in the polymer backbone. By using suitable functionalized polymers, these can also be cross-linked through thermal and photochemical initiation. This stabilizes the isolated thin film and enables further processing steps. Research in the area of organic field effect transistors (OFETs) focuses on new semi-conductive polymers that have a high charge carrier mobility and thin surge-proof dielectrics. These can be used to produce oxygen-stable transistors and circuits. Specially adapted conjugated absorber polymers are developed for use in organic photovoltaics.

Our work also focuses on thermochromic materials. These materials exhibit gradual or sudden changes in color as a result of temperature changes. In the case of thermochromic polymer materials, both the intensity of the color and the color itself can be controlled by temperature. Development in this area focuses on color-selective thermochromism in thermosets, thermoplastics, paints (including casting resin systems), and highly transparent hydrogels. The development of technology focuses on the extrusion of thermoplastic systems that can be transferred to industrial processes. In addition to being used as temperature sensors, thermochromic and thermotropic polymers are primarily used in materials that enhance energy efficiency in solar technology and in security technology. Key areas of application include active solar protection for buildings, and as a means to prevent overheating in solar collectors.

Quantum Dots (QDs) are a class of nanomaterials whose absorption and emission properties can be determined by adjusting particle size and through passivation of the particle surface. Virtually the entire visible light spectrum, all the way up to near infrared light, is accessible. These unique properties enable quantum dots to be used in a wide range of applications, for example, as luminescent materials, in display technology, for photovoltaic up-conversion, as a security feature in banknotes, and in sensors. The functionalization of the particle surface makes QDs particularly attractive in analytics and bioanalytics. Here QDs can replace fluorophores in order to improve the sensitivity and reliability of the analytical process through better stability and superior photophysical properties. New processes are tested to produce conventional cadmium selenide QDs and infrared active QDs on a gram-scale. Additionally, cadmium-free synthesis methods are being explored in order to provide environmentally friendly indium phosphide QDs for LED/OLED and display technologies, and infrared active copper indium sulfide QDs that would increase solar cell efficiency.

Liquid crystals in the form of liquid crystal displays (LCDs) have revolutionized information technology. Material development focuses on thermotropic and lyotropic liquid crystal systems

that are based on calamitic and discotic liquid crystals, glass-forming or crosslinkable mesogens, light-emitting liquid crystals and liquid-crystalline polymers. The specially functionalized polymers, polymer composites and complex photo-crosslinkable liquid crystal mixtures can be processed easily and enable films to be produced that have diverse optical functionalities. In addition to the development of materials, focus is increasingly being placed on the corresponding development of polymer-typical processing and patterning technologies, innovative film preparation techniques, orientation procedures, the permanent fixation of supramolecular or light-inducing states and, increasingly, printing techniques. These layers can be used in future holographic displays.

New three-dimensional structures can be produced through photo-crosslinking with the aid of various technologies. Laser-based multiphoton polymerization and stereolithographic techniques are well suited for this purpose. The development of materials for this field currently focuses on synthesizing acrylate-based reactive resins that are used to produce artificial blood vessel systems through spatially resolved polymerization. The material combinations also offer the possibility of customizing the mechanical properties from soft and elastic, to rigid depending on the degree of crosslinking. Other application areas for these materials and technologies can be found in microsystem technology.

The development of organic and hybrid converters focuses on the fields of electromechanical and capacitive sensors and actuators and nanocomposite sensors which are used, for instance, to detect magnetic fields or moisture. Piezoelectric polymers and composites, like traditional ferroelectrics or novel ferroelectrets, are being studied and processed for use as electromechanical converters. These materials are also being customized for applications such as tactile sensor arrays, impact detectors, ultrasound converters and sensors for energy production. Moreover, new dielectric elastomers are being developed as actuators (DEAs), sensors and generators, which, among other things, allow the actuator's operating voltage to

be lowered due to a considerably higher permittivity. These types of elastomers are processed as thin films with stretchable electrodes, and then used as flat or stacked actuators.

Optical sensor technology creates tailored solutions for a wide range of measuring tasks by using innovative luminescent materials. The high-performance optical sensors are improved even further through the use of specially developed materials. For example, QD-based FRET pressure sensors can be read remotely over larger distances. Using QDs in medical diagnostics enables picomolar concentrations of multiple biomarkers to be determined simultaneously due to the extraordinary photophysical properties of the QDs.

Tailoring polymer surface properties allows them to be incorporated into various applications. For example, surface activation makes it possible to print onto polyethylene films (shopping bags), to adhesively bond polypropylene (smart cards) and to paint polymer surfaces. These properties are the result of the chemical composition of the nanometer-thin surface layer. Nanotechnologies are developed that tailor the surface properties of polymers and with polymers. In particular, combined processes are used that take advantage of the excellent properties of electrical discharge plasmas for activating inert surfaces with gas phases and liquid phase chemistry in order to more efficiently produce surfaces with a well-defined chemical structure. These can be used to produce excellent adhesion of metals onto plastics and three-dimensional host structures for proteins in biological and medical diagnostics. All technology development in this field is supported by sophisticated analytical methods for surfaces and thin films.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Materialien – Synthese und Verarbeitung von

- Dielektrischen Elastomeren
- Elastomeren
- Elektreten
- Elektroaktiven Polymeren
- Elektrolumineszierenden Polymeren
- Flüssigkristallinen Polymeren
- Halbleitenden Polymeren
- Holographischen Materialien
- Lumineszierenden Quantum Dots
- Photochromen Polymeren
- Photolumineszierenden Polymeren
- Photovernetzbaaren Polymeren
- Piezoelektrischen Polymeren
- Polymeren Nanocompositen
- Pyroelektrischen Polymeren
- Thermochromen und elektrochromen Polymeren

Funktionselemente

- Anisotrope Schichten
- Barrierschichten für flexible Displays
- Biokompatible Funktionsschichten
- Fluoreszenzkollektoren für die Photovoltaik
- Holographisch erzeugte Oberflächenreliefgitter
- Holographische Volumenelemente
- Laserstäbe für die Messtechnik
- Lichtsender und -empfänger
- Optische Datenspeicher
- Orientierungsschichten für Flüssigkristalle
- Polarisations-elemente
- Polymere Elektrete für Sensoren und Aktoren
- Polymere Elektrete als Ladungsspeicher
- Spektrale Lichtwandler zum Nachweis von UV-Licht
- Strukturierte biofunktionale Oberflächen

Bauelemente

- Dielektrische Elastomer Aktoren (DEAs)
- Elektro-aktive Polymere (EAP)
- Flexible Elektroden
- Flüssigkristall-Displays
- Künstliche Blutgefäße
- OFETs (Organische Feldeffekttransistoren) und Dioden
- OFET-Ansteuerung von OLED-Pixeln
- OLEDs (Organische Leuchtdioden)
- OLED-Beleuchtung
- OLED-Passiv-Matrix-Displays
- OLED-Signage-Displays
- OPVs (Organische Photovoltaik Zellen) und Module
- Organische DFB-Laser
- Piezoelektrische Sensoren und Aktoren
- Pyroelektrische Sensoren

Oberflächentechnik

- Drucken funktionaler Materialien mittels Inkjet-Druck, Slot Die Coating, Tiefdruck
- Funktionale Beschichtungen
- Hydrophile oder hydrophobe Oberflächen
- Immobilisierung von biologisch aktiven Substanzen auf polymeren Oberflächen
- Klebstofffreies Verbinden
- Metallisierung von Polymeren
- Oberflächen- und Dünnschichtanalytik
- Rolle-zu-Rolle-Verarbeitung von Polymerfolien

Weitere Beispiele

- Biozide Oberflächen für Folien oder Textilien
- Charakterisierung der chemischen Struktur, der Topographie und der makroskopischen Eigenschaften
- Elektronisches Wasserzeichen
- Fälschungssichere Markierung von Polymermaterialien
- Fluoreszenzschichten für die Sensortechnik
- Funktionalisierung von Pulvern
- Messung der Wasserdampftransmission durch Polymeren und Barrierschichten
- OLED-Lebensdauer-test
- OLEDs als Sicherheitsmerkmal
- OPV-Lebensdauer-test
- Photobiozide Beschichtungen für den Pflanzenschutz
- Photolithographielinie zur Strukturierung
- Strukturierte Aktivierung von Oberflächen
- Wasserabweisende Textilien
- Tintenstrahldruck von OLEDs

APPLICATIONS AND SERVICES

Materials – synthesis and processing of

- dielectric elastomers
- elastomers
- electrets
- electroactive polymers
- electroluminescent polymers
- holographic materials
- liquid crystalline polymers
- luminescent quantum dots
- photochromic polymers
- photocrosslinkable polymers
- photoluminescent polymers
- piezoelectric polymers
- polymer nanocomposites
- pyroelectric polymers
- semiconducting polymers
- thermochromic and electrochromic polymers

Functional elements

- anisotropic layers
- barrier layers for flexible displays
- biocompatible functional layers
- holographically produced surface relief gratings
- holographic volume elements
- laser rods for spectral measurements
- layers for optical data storage
- light senders and receivers
- luminescent solar concentrators
- photo alignment of layers
- polarization elements
- polymer electrets for sensors and actuators

- polymer electrets for charge storage
- spectral light converter for the detection of UV-light
- structured biofunctional surfaces

Components

- artificial blood vessels
- dielectric elastomer actuators (DEAs)
- electro-active polymers (EAP)
- flexible electrodes
- liquid crystal displays
- OFETs (organic field effect transistors) and diodes
- OFET driving OLED pixels
- OLEDs (organic light emitting diodes)
- OLED illumination
- OLED passive matrix displays
- OLED signage displays
- OPVs (organic photovoltaic cells) and modules
- organic DFB laser
- piezoelectric sensors and actuators
- pyroelectric sensors

Surface technology

- adhesive-free bonding
- coupling of biologically active substances to polymer surfaces
- functional coatings
- hydrophilic or hydrophobic surfaces
- metallization of polymers

- printing of active materials by inkjet printing, slot die coating, rotogravure
- roll-to-roll processing of polymer films
- surface and thin-film analysis

More examples

- biocidal surfaces for films and textiles
- characterization of chemical structure, topography and macroscopic properties
- counterfeit protection of polymer materials
- electronic watermark
- fluorescent layers for sensor technology
- functionalization of powders
- inkjet printing of OLEDs
- measurement of the water vapor transmission rate through polymers and barrier layers
- OLED lifetime characterization
- OLEDs as a security feature
- OPV lifetime characterization
- photobiocidal coatings for pest management
- photolithography line for structuring
- structured activation of surfaces
- water-repellent textiles

Kontakt Contact

Forschungsbereichsleiter
Funktionale Polymersysteme
Division director
Functional Polymer Systems



Dr. Armin Wedel

Telefon +49 331 568-1910
Fax +49 331 568-3910
armin.wedel@iap.fraunhofer.de

Funktionsmaterialien
und Bauelemente
Functional Materials and Devices

Dr. Armin Wedel

Telefon +49 331 568-1910
armin.wedel@iap.fraunhofer.de

Polymere und Elektronik
Polymers and Electronics

Priv.-Doz. Dr. habil. Silvia Janietz

Telefon +49 331 568-1208
silvia.janietz@iap.fraunhofer.de

Chromogene Polymere
Chromogenic Polymers

Dr. Arno Seeboth

Telefon +49 30 6392-4258
arno.seeboth@iap.fraunhofer.de

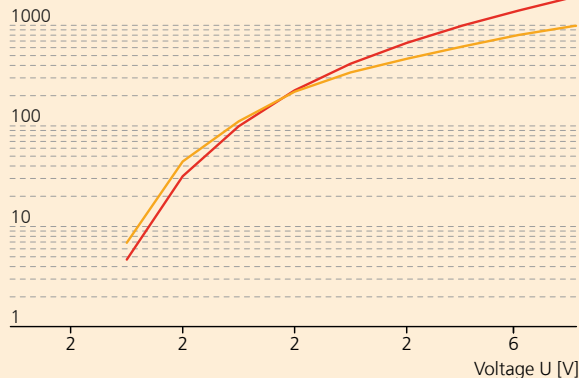
Sensoren und Aktoren
Sensors and Actuators

Priv.-Doz. Dr. habil. Michael Wegener

Telefon +49 331 568-1209
michael.wegener@iap.fraunhofer.de

ITO/PEDOT:PSS/OLED material/Ba/Ag

Luminance L [cd/m²]



■ OLED processed on air
■ OLED processed inert

1

1 The brightness and voltage characteristics of OLEDs prepared in different ways.

2 Electrode for OLEDs produced using inkjet technology.

3 Flexible OLEDs with printed electrodes.

Entwicklung von OLED Modulen für die Integration in Textilien

Die intelligente Funktionsbekleidung ist in den letzten Jahren immer mehr in den Fokus von Kunden im Sport- und Freizeitbereich getreten. Sensoren, Anzeigen und Stromversorgungen werden in solche Kleidungsstücke integriert, die mit der Funktionalität von Smartphones gekoppelt werden können. Der Bedarf entwickelte sich aus dem Wunsch, an jedem beliebigen Ort mobil zu kommunizieren und die Körperfunktionen selbst zu überwachen. Die größte Herausforderung ist dabei natürlich die Entwicklung von funktionellen Fäden. Bis heute gibt es nur wenige Ansätze zu »leuchtenden Fäden« [1].

Eine Zwischenstufe auf diesem Weg ist jedoch die Integration von Funktionselementen auf der Kleidung. Dazu muss man sich folgenden Herausforderungen stellen: zum einen müssen die Funktionselemente flexibel sein und zum anderen sind neue Kontaktierungsverfahren zu entwickeln. Die OLED-Technologie kann auf diesem Weg entscheidende Beiträge liefern. OLEDs können sehr dünn aufgebaut werden, polymere Substrate erleichtern die Integration in Kleidung. Die technologische Entwicklung verfolgt das Ziel, OLEDs mittels Druckprozessen und unter normalen Bedingungen an Luft herzustellen. Im Projekt »Textilbasierte autarke Batteriesysteme für textilintegrierte, flächig leuchtende Anzeigen (TexBatt)« werden neben der Entwicklung einer textilbasierten Batterie auch technologische Entwicklungen zu flexiblen OLEDs verfolgt. Zunächst musste die Frage beantwortet werden, welche Schritte der OLED-Herstellung auch ohne inerte Atmosphäre präpariert werden können. Dazu zählen die Lochinjektionsschicht PEDOT:PSS und das aktive leuchtende Material. Damit kann der Übergang von Aufdampfprozessen (im Vakuum) auf Druckprozesse (unter Luft oder inerte Atmosphäre) erfolgen. Erste voll gedruckte OLED Strukturen mit einer Silberelektrode wurden im Rahmen des Projekts entwickelt. Es wurde festgestellt werden, dass z.B. das Aufbringen der PEDOT:PSS Schicht in Abhängigkeit von den Präparationsbedingungen (unter Luft oder unter inerte Atmosphäre) zu unterschiedlichen Schichtdicken führt (z.B. Luft: 130 nm, Inert: 100 nm). Dadurch sind Unterschiede in den Helligkeiten zwischen 800 und 1000 cd/m² zu beobachten, aber nur geringe Unterschiede in den Betriebsspannungen zu verzeichnen [2].

Bei der Untersuchung der Lebensdauer der OLEDs präpariert unter Luft und unter inerte Atmosphäre konnten jedoch große Unterschiede festgestellt werden. Es ist ein starker Abfall der Leuchtstärke in den ersten Stunden zu verzeichnen. Die Lebensdauer der unter Luft prozessierten OLEDs ist damit geringer gegenüber denen, die unter inerte Atmosphäre präpariert worden sind. Eine deutliche Erhöhung kann man dadurch erreichen, wenn man nach der Flüssigprozessierung der Materialien unter Luft die Temperschlritte, also das Verdampfen der Lösungsmittel, unter inerte Atmosphäre ablaufen lässt. Der Aufbau der OLEDs erfolgt in der Regel auf strukturierten Polymersubstraten (PEN oder PET), die nach Prozessschritten mittels Transferklebebändern und beidseitig angebrachten Barriersubstraten gekapselt werden. Somit wird eine Langlebigkeit erreicht und gleichzeitig die Flexibilität garantiert. Typische Aufbauten besitzen eine Dicke von 150 bis 250 Mikrometer.

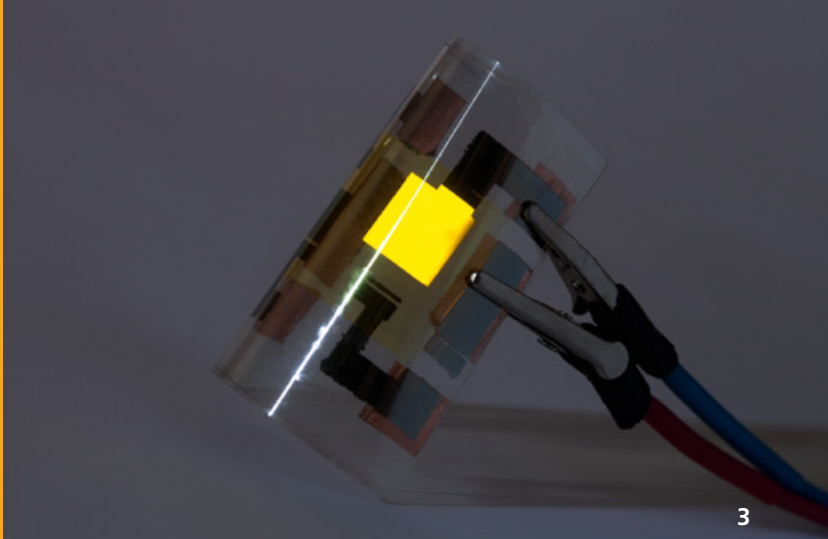
Literatur Literature

[1] T. Könyves-Toth, A. Gassmann, H. von Seggern: *The Challenge of Producing Fiber-Based Organic Electronic Devices*, Materials 7, pp. 5254–5267 (2014)

[2] Y. Zimmermann, B. Siegl, J. Hänel, J. Geörg, S. Janietz, S. Asaftei, A. Wedel, P. Brückner, C. Schaarschmidt, C. Fecher, A. Röpert: *texbatt—the textile based autarkic battery for textile integrated electronic systems*, Poster auf der Aachen Dresdener Textiltagung, Dresden, 27.–28.11.2014 (2014)



2



3

Development of OLED modules for integration into textiles

In recent years, there has been an increase in the demand for intelligent functional clothing by customers in the sports and leisure sectors. Sensors, displays and power supplies that are coupled with smartphones can be integrated into such clothing. Demand grew out of a desire to communicate on a mobile basis wherever possible and to monitor body functions. The biggest challenge is, of course, to develop functional filaments. To date, there have only been a few approaches to "luminous filaments"[1].

However, an intermediate step in this direction is to integrate functional elements into the clothes. To do this, one must address the following challenges: firstly, the functional elements need to be flexible and, secondly, new bonding methods have to be developed. OLED technology can contribute significantly to this. Very thin OLEDs can be constructed and polymeric substrates enable them to be integrated into clothing. This technological development aims to produce OLEDs using printing processes under normal air. The project "textile-based autonomous battery systems for flat illuminating LEDs integrated into textiles (TexBatt)" is working on the technical development of flexible OLEDs and a textile-based battery. First, the matter was addressed as to which OLED production steps could be carried out without an inert atmosphere. These include the hole injection layer PEDOT:PSS and the active luminous material. Thus, the deposition processes (in a vacuum) can be transitioned to printing processes (in air or under an inert atmosphere). The project has developed the first fully printed OLED structures with a silver electrode. It was observed that the preparation conditions (in air or under an inert atmosphere), for example, led to differences in the thickness of the PEDOT:PSS layer (e.g. air: 130 nm, inert: 100 nm). This resulted in differences in brightness of between 800 and 1000 cd/m², however only minor differences in operating voltages were measured [2].

On the other hand, there were large differences in the lifetimes of the OLEDs prepared under air and OLEDs prepared under an inert atmosphere. A strong decrease in the luminosity was recorded in the first few hours. The lifetime of the OLEDs processed under air is therefore lower compared with those which have been prepared under an inert atmosphere. Lifetime can be significantly increased by annealing under an inert atmosphere in order to evaporate the solvent of the solution-based materials. The OLEDs are generally structured on polymer substrates (PEN or PET) which are encapsulated by means of adhesive transfer tapes and barrier substrates affixed to both sides. This achieves a long lifetime while also ensuring flexibility. Typical OLED devices have a thickness of 150 to 250 microns.

Kontakt Contact



Dr. Armin Wedel

Telefon +49 331 568-1910
 Fax +49 331 568-3910
 armin.wedel@iap.fraunhofer.de

Priv.-Doz. Dr. habil. Silvia Janietz

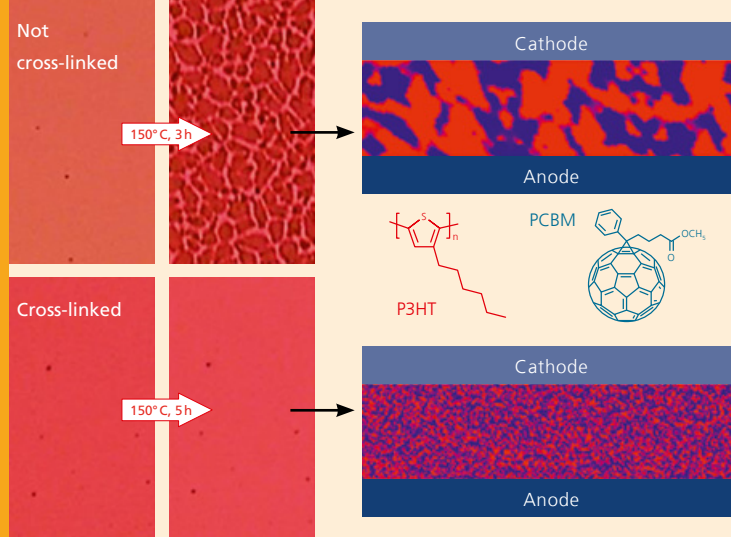
Telefon +49 331 568-1208
 Fax +49 331 568-3910
 silvia.janietz@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

- Textilbasierte autarke Batterie-systeme für textilintegrierte, flächig leuchtende Anzeigen (TexBatt), BMBF-Förderkennzeichen: 16SV6093

Kooperation Collaboration

- 3D-Micromac AG, Chemnitz
- Smart Battery Solutions GmbH, Kleinostheim
- UVEX SAFETY Textiles GmbH, Ellefeld
- Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V., Greiz
- Interactive Wear AG, Starnberg



1

Thermisch stabile organische Solarzellen mit vernetzten Polymer-Fulleren-Mischschichten

Organische Solarzellen auf der Basis von halbleitenden Kohlenwasserstoffen könnten die Zukunft der Energieversorgung kleiner mobiler Geräte sein. Die Löslichkeit vieler dieser Halbleiter in organischen Lösemitteln eröffnet neue Möglichkeiten, Solarzellen großflächig und in beliebiger Form mit kostengünstigen Verfahren wie dem Tintenstrahldruck herzustellen. Damit können organische Solarzellen auch auf mechanisch flexiblen Substraten (z.B. PET-Folie) aufgebaut werden und biegsame oder aufrollbare Solarzellenmodule werden denkbar.

Innerhalb des EU-geförderten Projekts SOLPROCEL (604506) im Rahmen der Ausschreibung »NMP.2013.4.0–2 Innovative materials for efficient, stable and cheap organic photovoltaic cells« entwickelt das Fraunhofer IAP, zusammen mit der französischen Firma Specific Polymers (SP), neue p-halbleitende Terpolymere mit breiter Absorption des Sonnenlichts bis hin in den Infrarotbereich. Mischungen dieser Polymere mit Fullerenmolekülen dienen als photoaktive Schicht in organischen Solarzellen.

Ein wesentliches Problem bei der Herstellung von Solarzellen mit Polymer-Fulleren-Mischschichten besteht in der optimalen Phasenseparation der beiden Komponenten. Einerseits sollte die Durchmischung beider Substanzen so groß wie möglich sein, um einen möglichst großen Anteil der einfallenden Sonnenstrahlung an den Phasengrenzen in freie Ladungsträger umzuwandeln. Andererseits führt eine zu feine Durchmischung von Polymer und Fulleren dazu, dass diese Ladungsträger mangels durchgängiger Transportpfade die Solarzelle nicht verlassen können und verloren gehen.

Die Wahl der Prozessparameter (z.B. die Wahl des Lösemittels), aber auch die Umgebungsbedingungen können zu erwünschten oder unerwünschten Veränderungen in der Phasenseparation der aktiven Schicht führen. Letzteres stellt ein schwerwiegendes Problem für den Betrieb der Solarzellen dar: Es wurde für eine Vielzahl verschiedener Polymere beobachtet, dass die Fullerenphase bei Erhitzung (z.B. durch die Sonne) auskristallisiert und die Solarzelleneffizienz erheblich abnimmt. Dies kann mittels einer selektiven Vernetzung der Fullerenmoleküle verhindert werden [1].

Neuartige, lösliche molekulare Vernetzer auf der Basis von Bisaziden mit der Struktur N_3-R-N_3 wurden von SP entwickelt und am Fraunhofer IAP in Solarzellen untersucht. Durch die Vernetzung der aktiven Schicht konnte die Filmmorphologie des Polymer-Fulleren-Modellsystems P3HT:PCBM selbst gegen den Einfluss höherer Temperaturen stabilisiert werden (Fig. 1). Dabei bleibt die Solarzellenperformance erhalten (Fig. 2).

Eine Besonderheit der neuen Vernetzer ist, dass deren Siedepunkt durch die Wahl des Abschnitts »R« in der Molekülstruktur in weiten Grenzen eingestellt werden kann. Denkbar wird, dass diese Vernetzer gleichzeitig die Funktion eines Lösemitteladditivs übernehmen, dessen Einsatz sich für einige Polymere als essentiell erwiesen hat, um hohe Solarzelleneffizienzen zu erreichen [2]. Dies ist Gegenstand weiterer Untersuchungen im laufenden Projekt.

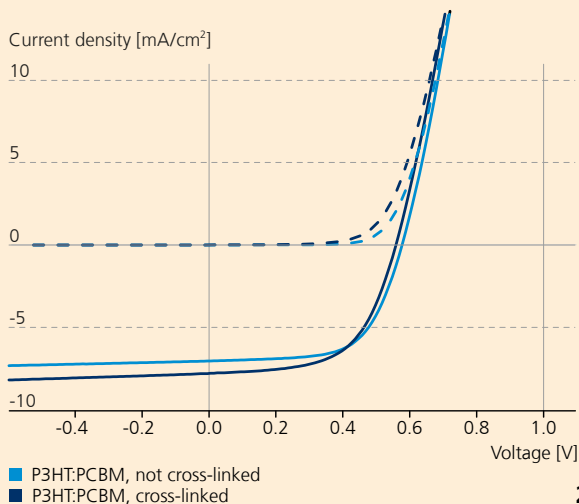
Literatur Literature

[1] L. Derue, O. Dautel, A. Tournebize, M. Drees, H. Pan, S. Berthumeyrie, B. Paveau, E. Cloutet, S. Chambon, L. Hirsch, A. Rivaton, P. Hudhomme, A. Facchetti, G. Wantz: *Thermal Stabilisation of Polymer-Fullerene Bulk Heterojunction Morphology for Efficient Photovoltaic Solar Cells*, Adv. Mater. 26, pp. 5831–5838 (2014)

[2] J. Peet, J. Kim, N. Coates, W. Ma, D. Moses, A. Heeger, G. Bazan: *Efficiency enhancement in low-bandgap polymer solar cells by processing with alkane dithiols*, Nature Mater. 6, pp. 497–500 (2007)

1 Optical microscopy images and schematic drawings of the morphology of cross-linked (bottom) and non-cross-linked (top) P3HT:PCBM layers before and after heating.

2 Solar cell characteristics of cross-linked and non-cross-linked P3HT:PCBM devices.



Organic solar cells with cross-linked bulk-heterojunction layers for enhanced thermal stability

Organic solar cells based on semiconducting hydrocarbons may be the future for powering small, portable devices. New manufacturing possibilities are opened up thanks to the solubility of many of these semiconductors in organic solvents; for example, solar large-area solar cells can be produced with arbitrary shapes using low-cost methods like inkjet printing. Thus organic semiconductors based on solution processing can be fabricated on mechanically flexible substrates (e.g., PET film), which enable solar modules to bend or unroll.

As part of the EU-funded project SOLPROCEL, the Fraunhofer IAP and the French enterprise Specific Polymers (SP) are developing new p-type semiconducting terpolymers which can absorb a broad range of the sunlight spectrum including infrared light. Blends of these polymers with fullerenes are used as the photoactive layer in organic solar cells.

Achieving optimal phase separation of both components is one of the fundamental issues faced in the production of solar cells with polymer fullerene blend layers. On the one hand, both substances should be mixed together as thoroughly as possible in order to convert as much incident sunlight as possible into free charge carriers at the polymer-fullerene phase boundaries. On the other hand, too much mixing hampers the formation of continuous transports pathways, which leads to trapping and loss of charge carriers.

Varying process parameters (e.g., by varying the solvent) and different ambient conditions can lead to desired or undesired changes in the phase separation of the active layer. The latter is a significant issue for the practical application of solar cells. In numerous polymers, the fullerene phase has been known to separate and crystallize upon heating (e.g., through exposure to the sun), which leads to a significant loss in solar cell performance. This effect can be avoided by selective crosslinking of the fullerene molecules [1].

Novel soluble crosslinkers based on the bisazide molecular structure N_3-R-N_3 have been developed by SP and have been investigated in solar cells at the Fraunhofer IAP. A crosslinking of the active layer results in a stabilization of the layer morphology of the polymer-fullerene model system P3HT:PCBM even when subjected to elevated temperatures (Fig. 1). At the same time, solar cell performance is maintained (Fig. 2).

One of the features of the new crosslinker molecules is that their boiling point can be adjusted within a broad range by altering the segment "R". Therefore, these crosslinkers may serve as solvent additives, which is essential if high solar cell efficiencies are to be achieved [2]. This is a subject of ongoing investigations within the project.

Kontakt Contact



Dr. Patrick Pingel

Telefon +49 331 568-1333

Fax +49 331 568-3910

patrick.pingel@iap.fraunhofer.de

Priv.-Doz. Dr. habil. Silvia Janietz

Telefon +49 331 568-1208

Fax +49 331 568-3910

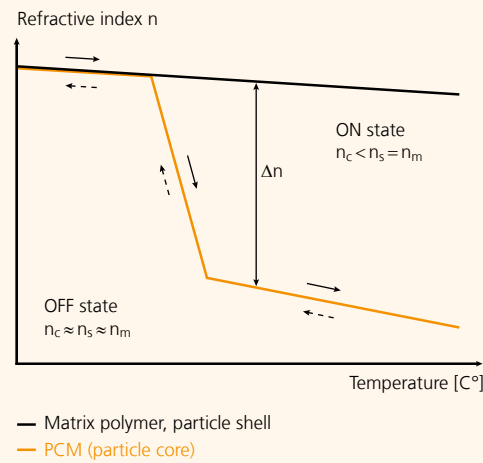
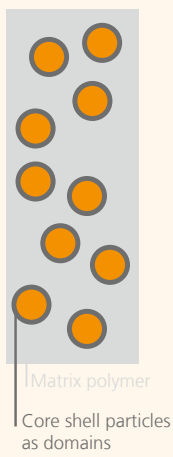
silvia.janietz@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– European Commission, SOLPROCEL: Solution-Processed High-Performance Transparent Organic Photovoltaic Cells (604506), Subprogramme NMP.2013.4.0-2: Innovative materials for efficient, stable and cheap organic photovoltaic cells

Kooperation Collaboration

– Specific Polymers, Castries (France)



1

1 Schematic representation of the correlation between refractive indices and temperature.

2 Representation of different transmission measurements.

Überhitzungsschutz für Solarkollektoren

Trotz des gegenwärtigen Booms erneuerbarer Energien ist der europäische Markt für Solarkollektoren rückläufig. Obwohl die Systeme über einen hohen Wirkungsgrad verfügen, schrecken die hohen Anschaffungskosten ab. Die Bestrebungen die Produktionskosten für die Kollektoren zu reduzieren, bleiben durch die ansteigenden Rohstoffpreise für z.B. Kupfer weitestgehend wirkungslos. Für die noch wenig automatisierte Fertigung der Kollektoren bieten Kunststoffe eine Möglichkeit die Produktion zu optimieren sowie Gewicht und Preis der Module zu reduzieren. Hier müssen jedoch Wege gefunden werden, die maximale Kollektortemperatur auf Grund der geringen Hitzebeständigkeit von Kunststoffen auf etwa 90°C zu begrenzen.

Thermotrope Materialien bieten eine kostengünstige Möglichkeit Solarkollektoren vor Überhitzung zu schützen. Bei einer Temperaturerhöhung wechseln sie von einem Zustand hoher Transmission (OFF) in einen Zustand geringer Transmission (ON) und starker Streuung. Die entwickelten thermotropen Additive bestehen aus Kern-Schale-Partikeln, die einen Latentwärmespeicher (PCM, engl.: phase-change material) enthalten [1]. Diese lassen sich in ein transparentes Matrixpolymer dispergieren (Fig. 1). Unterhalb der durch die Wahl des PCMs einstellbaren Schalttemperatur stimmen die Brechungsindizes aller beteiligten Materialien näherungsweise überein.

Bei höheren Temperaturen kommt es durch das Auftreten verschiedener Brechungsindizes des Kerns (n_c) einerseits und der Schale (n_s)/Matrix (n_m) andererseits, zu einer erhöhten Streuung der Sonnenstrahlung. Für einen effizienten Wärmeschutz ist ein hoher Anteil an Rückstreuung erstrebenswert. Für eine hohe Rückstreuung im Bereich des solaren Spektrums (280–2500 nm) haben sich Partikeldurchmesser von 200–400 Nanometer als effizient erwiesen. Für den Schutz von Kollektoren bieten sich PCMs mit einem Phasenübergang von 55–60°C an.

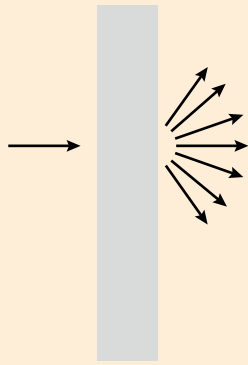
Zur Bewertung des Schaltverhaltens werden die normal-normale Transmission (T_{nn}) und die normal-hemisphärische Transmission (T_{nh}), die der Gesamttransmission bei Sonneneinstrahlung entspricht, gemessen (Fig. 2). Daraus lässt sich die normal-diffuse Transmission (T_{nd}) ableiten und der Einfluss des Schaltens auf Reflektion und Schalthub ($\Delta_{abs} = T_{nh}[OFF] - T_{nh}[ON]$) errechnen.

Die Beimischung von fünf Gewichtsprozent des Additivs in ein Gießharz führt beim Erwärmen über die Schalttemperatur zu einem Δ_{abs} ~28 Prozent. Weiterhin lassen sich die Partikel auch in Ethylvinylacetat (EVA) und Polyvinylbutyrat (PVB) einarbeiten, um Lamine zwischen Glas- oder Polycarbonatfenstern herzustellen. Dies bildet die Grundlage für die Fertigung großer Flächen im industriellen Maßstab. Durch die Wahl des PCMs, die Menge des Additivs, die Änderung der Partikelgröße oder des PCM-Anteils in den Partikeln stehen viele Möglichkeiten zur Beeinflussung der Schaltung bereit.

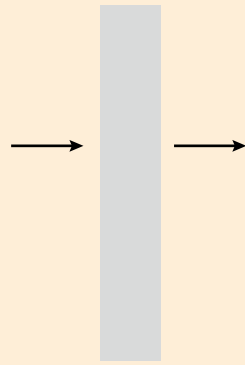
Literatur Literature

[1] O. Mühlh, A. Seeböth, R. Ruhmann, V. Eberhardt, H. Byker, C. D. Anderson, S. De Jong: *Solar Collector Cover with Temperature-controlled Solar Light Transmittance*, Energy Procedia 48, pp. 163–171 (2014)

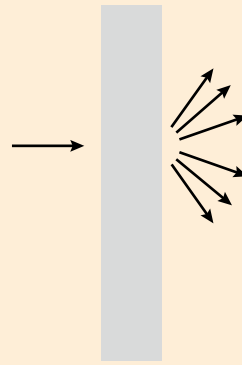
Normal – hemispheric



Normal – normal



Normal – diffuse



2

Protection against overheating of solar collectors

Despite the current upturn in renewable energy sources, there is a downturn in the European market for solar collectors. Although these systems are highly efficient, their high cost is a deterrent. Efforts to reduce production costs of the panels remain ineffective due to the rising prices of commodities such as copper. Plastics provide a way to simplify the little-automated process used in the production of the collectors, and to reduce their weight and price as well. However, this requires that the collector temperature be limited to about 90 °C due to the low heat resistance of plastics.

Thermotropic materials offer an economic way to protect solar panels against overheating. As temperatures increase, they change from a state of high light transmittance (OFF) to a state of low light transmittance (ON) and strong scattering. The developed thermotropic additives consist of core-shell particles containing a latent heat storage material (PCM; phase-change material). In a transparent matrix polymer, these particles can be dispersed homogeneously to form separate domains (Fig. 1). When temperatures are below the switching temperature set by selecting the PCM, the refractive indices closely match up. This results in a material with high light transmittance (OFF). Different refractive indices of the core (n_c) on the one hand, and the shell (n_s) and polymer matrix (n_m) on the other, lead to increased scattering of solar radiation at higher temperatures.

A high amount of backscattering is desirable (ON state) for efficient thermal protection. The highest backscattering efficiency for solar radiation (280–2500 nm) was found for scattering domains with a diameter between 200–400 nanometer. Commercial PCMs with a phase transition at 55–60 °C best meet the requirements of conventional collectors.

Switching behavior is evaluated by measuring the normal-normal transmission (T_{nn}) and the normal-hemispherical transmission (T_{nh}), which corresponds with the total transmission upon solar radiation. The normal-diffuse transmission (T_{nd}) is derived from these values along with the overall switching efficiency ($\Delta_{abs} = T_{nh}[OFF] - T_{nh}[ON]$) and the amount of reflection.

Adding five weight percent of the additive to a UV-curable resin results in a $\Delta_{abs} \sim 28$ percent when warmed above the switching temperature. Furthermore, the particles can be incorporated in ethylene vinyl acetate (EVA) and polyvinyl butyral (PVB) to produce laminates between glass or polycarbonate windows. This forms the basis for the production of large surfaces on an industrial scale. The choice in PCM influences the switching temperature. The amount of additive, the particle size, or the fraction of PCM within the particles provide more opportunities to influence the switching behavior.

Kontakt Contact



Dr. Volker Eberhardt

Telefon +49 30 6392-2064

Fax +49 30 6392-2065

volker.eberhardt@iap.fraunhofer.de

Dr. Ralf Ruhmann

Telefon +49 30 6392-2034

Fax +49 30 6392-2065

ralf.ruhmann@iap.fraunhofer.de

Dr. Arno Seeboth

Telefon +49 30 6392-4258

Fax +49 30 6392-2065

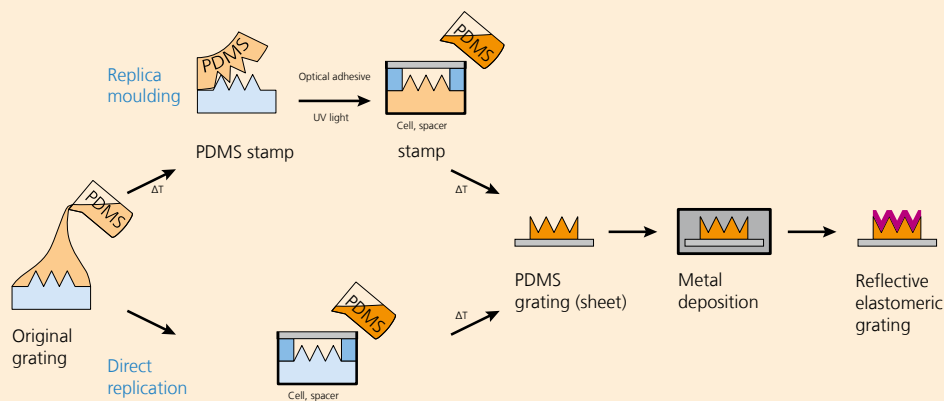
arno.seeboth@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Projekt »Adaptiver Sonnenschutz«, FKZ 03ET1118A

Kooperation Collaboration

– Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Lehrstuhl für Angewandte Physik/ Thermophysik



1 Schematic drawing of the manufacturing process of elastomeric deformable gratings.

2 AFM images of a) an original holographic grating (O), c) its corresponding elastomer replica before (R) and after (MR) the Ag deposition: a) profile and b) 3D image of O, c) profiles of R and MR, d) 3D image of MR.

3 Images of sinus-shaped and sawtooth-shaped elastomer gratings with silver and gold coatings.

1

Reflektierende elastische Gitter für einstellbare diffraktive optische Bauelemente

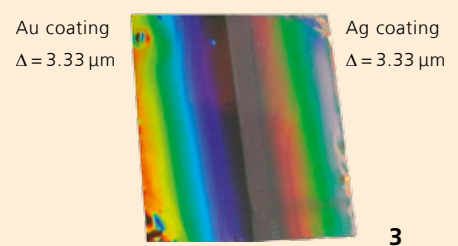
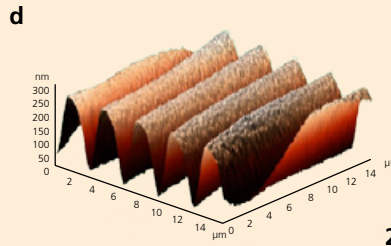
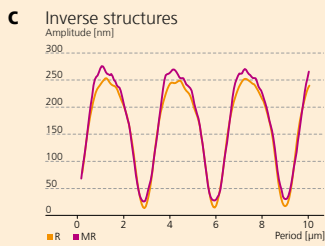
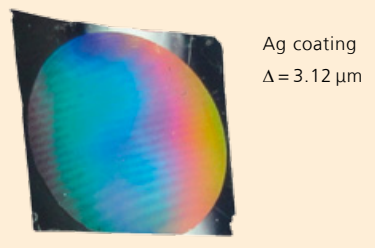
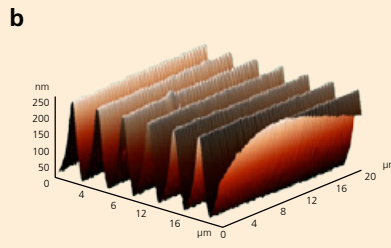
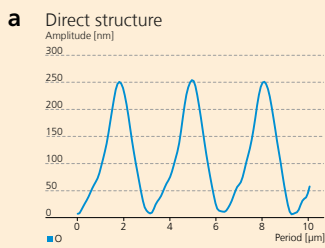
In vielen Gebieten der optischen Technologien werden zunehmend polymere Materialien eingesetzt. Ein Grund dafür sind Vorteile von Polymeren, wie die Flexibilität der Strukturen und Eigenschaften, die Anpassungsfähigkeit an verschiedenste Anwendungen sowie die meist kostengünstige Herstellung mit polymertypischen Verarbeitungsverfahren. Ein aktueller Trend bei refraktiven wie auch bei diffraktiven optischen Komponenten ist die Entwicklung von elastischen, flexibel einstellbaren oder sogar adaptiven Polymerbauelementen aus weichen Materialien, um aufwendige Verstellapparaturen durch kleinere, einfacher kontrollierbare und kostengünstigere optische Systeme zu ersetzen und so auch neue Anwendungsbereiche zu erschließen. Elastomer-Optiken können durch einen externen Stimulus in ihren Parametern systematisch verändert werden. So lassen sich damit verstellbare Linsen, Gitter und Spiegel herstellen.

Zum Know-how der Abteilung »Sensoren und Aktoren« gehört eine Technologieplattform zur volloptischen Herstellung diffraktiver Oberflächenreliefgitter mit Perioden und Amplituden im (Sub-)Mikrometer-Bereich z.B. in azobenzehaltigen Materialien [1]. Weitere Expertise besteht in der Replikation der Oberflächengitter in verschiedene optische, feste oder elastische Polymere auf starren Substraten bzw. flexiblen Folien mittels polymertypischer Verfahren und in der weiteren funktionalen Beschichtung [2, 3]. Zur Realisierung flexibler diffraktiver optischer Elemente werden dabei holographisch hergestellte Oberflächenreliefgitter sowie teilweise auch kommerzielle Glasgitter in Elastomermaterialien, wie z.B. Polydimethylsiloxan (PDMS), abgeformt. Dies erfolgt entweder direkt vom Originalgitter oder mittels eines vom Original gefertigten Stempelabdrucks (Fig. 1).

Die entwickelte Replizieringstechnologie gewährleistet eine hohe Abformgenauigkeit für das Gitterprofil bei nur wenigen Prozent Verlust der Strukturgenauigkeit in der Gittertiefe (Fig. 2). Die Herstellung adaptiver reflektierender Gitter oder Spiegel erfordert zusätzlich eine reflektierende Schicht, die bei Deformation bzw. Verstreckung keine Verschlechterung der optischen Qualität aufweist. Um dies zu gewährleisten wurden entsprechende Beschichtungsverfahren für die Metallisierung der optischen Elemente mit Silber (Ag) bzw. Gold (Au) entwickelt. Fig. 3 zeigt exemplarisch reflektierende Gitter mit einer Au- bzw. Ag-Beschichtung. Der Reflexionsgrad elastischer Ag- bzw. Au-metallisierter Elastomerfilme beträgt bis zu 80 Prozent im sichtbaren Spektralbereich. Beispielhaft wurde für die metallisierte PDMS-Kopie eines Blase-Gitters bei einer Wellenlänge von 532 Nanometer eine Beugungseffizienz für die höchste Beugungsordnung von ca. 50 Prozent im Vergleich zu ca. 70 Prozent für das Originalgitter gemessen. Die Metallbeschichtungen weisen bei einer Verstreckung bis zu 10 Prozent keine wesentlichen Strukturschäden bzw. Verschlechterung der optischen Qualität auf. Je nach Anwendungsfall kann eine weitere Optimierung des Metallisierungsverfahrens für elastische Schichten sowie refraktive und diffraktive Strukturen erfolgen.

Literatur Literature

- [1] O. Kulikovska, L. Kulikovsky, L. Goldenberg, J. Stumpe: *Generation of microstructures in novel supramolecular ionic materials based on azobenzene*, Proc. SPIE, Vol. 6999, p. 69990I (2008)
- [2] Y. Gritsai, L. Goldenberg, O. Kulikovska, O. Sakhno, J. Stumpe: *All-optical fabrication of 2D- and 3D photonic microstructures in polymeric materials*, Proc. SPIE, Vol. 7716, p. 7716V (2010)
- [3] S. Döring, T. Rabe, R. Rosenhauer, O. Kulikovska, N. Hildebrandt, J. Stumpe: *Azobenzene-based surface relief gratings for thin film distributed feedback lasers*, Proc. SPIE, Vol. 7722, p. 77221H (2010)



Reflective elastomeric gratings for tunable optical diffractive devices

Since optical technologies are now present in all areas of modern life, novel optical components are needed that have a higher quality, higher complexity, more compactness and a lower price. Because of their many advantages, polymers have replaced optical glass and metals in many optical fields. These advantages include an enormous variety and flexibility in structure, adaptability to various customer requirements, and low production costs. One current trend involves elastic, flexible, tunable or adaptive polymer components like deformable mirrors, lenses and gratings which can be stretched, bent or compressed. Because the parameters of elastic components can easily be tuned through deformation, a single component can be adapted for several applications. These components are not likely to achieve the highest optical performance, but they do have many useful characteristics: they are inexpensive, have a wide range of optical properties, are durable and have great potential for new applications.

The department "Sensors and Actuators" specializes in the all-optical fabrication of diffractive one-, two- and three-dimensional surface relief gratings with periods and amplitudes in the (sub) micrometer range for polymers containing azobenzene [1]. Our expertise also includes the replication of gratings in different optical, solid or elastic polymers on rigid or flexible substrates (Fig. 1), as well as other surface functionalization [2, 3].

In order to produce flexible diffractive elements, holographically recorded polymer-based and commercial glass gratings were replicated in polydimethylsiloxane (PDMS) either through a direct replication procedure or by using an elastomer stamp. The thickness of the sample and the coating can be customized. The developed technology provides high replication accuracy for a grating profile with very minimal loss in structure height (Fig. 2). The fabrication of adaptive reflection gratings and mirrors requires a reflective metal coating that can be significantly deformed. Suitable technology for coating the elastic optical elements with metals such as silver (Ag) and gold (Au) is under development. High quality Au- and Ag-coatings have been created using sinus-shaped and blaze-shaped elastic gratings (Fig. 3). Up to 80 percent reflection was achieved for elastic films coated with Au and Ag for the wavelengths in the visible spectral range. A reflection efficiency of about 50 percent at a wavelength of 532 nanometer has already been achieved for a blazed PDMS grating with an Ag-coating compared to a reflection efficiency of around 70 percent for the corresponding original glass grating. The current state of technology produces coatings that have very negligible changes in surface quality and optical parameters up to a stretching degree of about 10 percent. Further tailored optimization of the metal deposition technology for elastic polymer diffractive optical components is possible based on customer requirements.

Kontakt Contact



Dr. Oksana Sakhno

Telefon +49 331 568-1247

Fax +49 331 568-3259

oksana.sakhno@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF),
Projekt: Validierung elektrisch durchstimmbarer elastischer Beugungsgitter und DFB-Laser (EDEL),
FKZ 16V0881

Kooperation Collaboration

– Universität Potsdam

SYNTHESE- UND POLYMERTECHNIK

SYNTHESIS AND POLYMER TECHNOLOGY

- 62** **Forschung und Entwicklung im Profil**
Research and development (R&D) profile
- 66** **Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 68** **Thermisch stabile Kern-Schale Mikropartikel mit flüssigem Kern**
Thermally stable core-shell microparticles with high liquid core content
- 70** **Thermosensitive Mikrogele zur Herstellung von Thermoregulationsbekleidung**
Thermosensitive microgels for the fabrication of thermo-regulated clothing
- 72** **FNR-Projekt Biopolymere/Modifikationsmöglichkeiten von PLA für das Blasfolienverfahren**
FNR Project Biopolymers/Modification potential of PLA for the Blown Film Technology



pioneers in polymers



FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG IM PROFIL

Das FuE-Profil des Forschungsbereichs Synthese- und Polymer-technik umfasst in seiner strategischen Ausrichtung gleichermaßen stofforientierte und technologiegetriebene Forschung. Dabei erfährt die Orientierung auf erneuerbare Ressourcen als alternative Syntheserohstoffe zum Erdöl oder die Nutzung gesundheitsfreundlicher Chemikalien ebenso zunehmende Bedeutung wie die Effizienzsteigerung bei der Herstellung von Polymeren und Kunststoffmaterialien. Neben Forschungsarbeiten zur Entwicklung und Einführung neuartiger Technologien im Bereich der Polymerpartikelbildung wurden deshalb in den letzten Jahren die Arbeiten zu biobasierten Kunststoffen deutlich intensiviert. Auch galt der Weiterentwicklung neuer Geschäftsfelder, die das Forschungsportfolio des Forschungsbereiches erweitern, besonderer Beachtung. Die Membrantechnologie ist eine der neuen FuE-Richtungen, die etabliert wurde. Darüber hinaus ergänzt die Gruppe Verarbeitungstechnik für Biopolymere die Forschungsarbeiten auf dem Biokunststoffgebiet mit Blick auf eine Erweiterung der Wertschöpfungskette.

Biobasierte Polymersysteme

Die überproportionalen Wachstumsraten bei Biokunststoffen in den vergangenen Jahren sprechen für eine steigende Akzeptanz dieser Kunststoffklasse am Markt. Längerfristig kann den Biokunststoffen eine zunehmende Marktrelevanz beigemessen werden. Die Verfügbarkeit von geeigneten Blendkomponenten für Biokunststoffe am Markt gestattet es, das Eigenschaftsprofil der Materialien zu erweitern und verbessert damit deren Anwendungsmöglichkeiten. Die Industrialisierung von biobasierten Kunststoffen ist am weitesten bei Polylactid (PLA) fortgeschritten. Mit einer Jahresproduktion von etwa 150 000 Tonnen beherrscht NatureWorks (USA) nach wie vor allein den PLA-Markt mit unterschiedlichen Qualitäten für Spritzguss-, Faser- und Folienanwendungen. Nach der Industrialisierung der Synthese beider optischer Isomere L- und D-Dilactid (70 000 Tonnen pro Jahr) durch Corbion in Thailand plant das Unternehmen eine Polymerisationslinie mit entsprechenden Kapazitäten zu realisieren. Die damit entstehende Marktkonkurrenz sollte einerseits zu einer Befruchtung der Marktsituation führen. Andererseits eröffnet die Verfügbarkeit von D-Lactid völlig neue Applikationspotenziale über die Entwicklung thermisch stabilerer Materialien mit verbesserten mechanischen Eigenschaften. In den vergangenen Jahren

sind auch in Europa mit Versuchsproduktionen in Pilotanlagen (Sulzer (CH) und UIF (D)) bemerkenswerte Aktivitäten auf diesem Gebiet vorangebracht worden, die auf die Erweiterung des Anwendungspotenzials von PLA-basierten Kunststoffen ausgerichtet sind.

Eigene FuE-Arbeiten zu biobasierten Kunststoffen werden schwerpunktmäßig auf Fragestellungen fokussiert, die auf attraktive Applikationen von PLA-Typen der dritten Generation mit verbesserten Gebrauchseigenschaften zielen.

Im Mittelpunkt stehen dabei Untersuchungen zur Steuerung der Polymerstruktur über die Synthese maßgeschneiderter Stereoblock-PLA-Typen mit dem Ziel, solche Materialien für neue Marktsegmente vorzubereiten. Daneben werden Ideen zur Effizienzsteigerung der Polymersynthese und neue End-of-Life Ansätze zur stofflichen Verwertung von PLA verfolgt.

Die Abteilung ist zudem innerhalb eines Verbundprojekts im Spitzencluster BioEconomy Mitteldeutschland eingebunden. Hier werden neuartige WPC-Materialien auf Polyamidbasis entwickelt. Die Teilaufgabe des Fraunhofer IAP ist hierbei die Synthese einer teilbiobasierten Polyamidmatrix.

Partikelanwendungen

Mikroverkapselung von Wirkstoffen und Additiven sowie Synthese und Design von Latexpartikeln gehören zu den Kernkompetenzen der Abteilung Mikroverkapselung/Partikelanwendungen. Nach wie vor besteht ein hohes Potenzial für den Einsatz von Kapseln und Partikeln vom Mikro- bis in den Nanometerbereich in den verschiedensten Anwendungsgebieten. Es werden unterschiedlichste industrierelevante FuE-Fragestellungen zu Herstellungstechniken und zum applikationsorientierten Tailoring des Wandmaterials gelöst und konkrete Aufgabenstellungen von Industriepartnern zur Mikroverkapselung von Wirkstoffen oder Additiven für spezielle Anwendungen bearbeitet. Die Bildung von Mikrokapseln auf Basis von Aminoharzen über Reaktivverkapselungsverfahren steht hier im Mittelpunkt der Arbeiten. Wegen der zu erwartenden Forderungen zur weiteren Reduzierung der Formaldehydemissionen aus Werkstoffen wurden neuartige formaldehydfreie Melaminharze entwickelt und deren



Synthesen und Anwendungen patentiert. Auf Basis dieser neuartigen Harzsysteme wurden innerhalb eines Kooperationsvorhabens mit dem Fraunhofer WKI in Braunschweig innovative Holzwerkstoffe entwickelt. Diese sind in ihren mechanischen Eigenschaften vergleichbar mit herkömmlichen Marktprodukten, in einigen Parametern sind sie diesen sogar überlegen.

Mit großem Engagement wird zudem die Technologieplattform Mikroverkapselung betrieben. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IAO soll über dieses Netzwerkprojekt der Technologietransfer von Verkapselungsverfahren und Kapselapplikationen in die Wirtschaft vorangetrieben werden. Die teilnehmenden Unternehmen erhalten im Rahmen der Plattform einen kompakten Einblick in neueste Entwicklungen auf diesem Gebiet.

Membrantechnologie

Die Arbeiten zur Membranentwicklung verfolgen das Ziel, Trennprozesse kostengünstiger zu gestalten oder durch neue Materialien erst zu ermöglichen. Dabei steht die Suche nach Membranen mit verbesserten Eigenschaften wie Fluss, Selektivität und Stabilität aktuell im Mittelpunkt der FuE-Aktivitäten. Auf einer kontinuierlich arbeitenden Membranziehmaschine mit einer Breite von 30 Zentimetern können poröse oder integral asymmetrische Membranen nach dem Fällbadverfahren hergestellt werden. In einem Folgeschritt werden die Membranen mittels eines speziellen und an die Leistungen der Ziehmaschine angepassten Waschbades von Restlösemittel befreit und konditioniert. Zur Bewertung und Qualitätskontrolle poröser Membranen steht eine umfangreiche Analysetechnik zur Verfügung. Die Gastrenneigenschaften Permeanz, Diffusions- und Löslichkeitsparameter nichtporöser Membranen werden durch eine Membrantestanlage mit Reingasen gemessen. In einem internen Fraunhofer-Projekt wurden auf Basis von Polyacrylnitril poröse Membranen aus umweltverträglichen Lösungsmitteln hergestellt. Diese Membranen zeigen bei einer Porengröße von ca. 19 Nanometern einen Gasfluss von $300 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}$ und damit im Vergleich zu handelsüblichen Membranen eine dreifach höhere Durchlässigkeit. Ebenfalls hergestellte besonders druckstabile Membranen von 19 Nanometer Porengröße sind weniger porös und durchlässig. Auch auf Basis von Polyacrylnitril in einem kontinuierlichen Prozess

hergestellte, lösemittelstabile Membranen zeigen größere Poren von 20–22 Nanometern. Alle hergestellten Membranen können direkt zur Filtration eingesetzt werden. Sie sind darüber hinaus besonders zur Herstellung von Compositmembranen für die Gastrennung oder Nanofiltration geeignet.

Biopolymerverarbeitungstechnik

Die FuE-Arbeiten im Verarbeitungstechnik für Biokunststoffe am BASF-Standort Schwarzheide konzentrieren sich auf die Vertiefung der Kernkompetenzen im Bereich der Materialentwicklung bei biobasierten Kunststoffen. Mit den über eine Investitionsfördermaßnahme des Landes Brandenburg 2014 realisierten anlagentechnischen Erweiterungen (Blasformen, Thermoformen und 3D-Druck) ist die Gruppe mit Blick auf die Anwendungsbreite von Kunststoffmaterialien nunmehr optimal aufgestellt. Für die Standortentscheidung war auch die Nachbarschaft zur Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg ein entscheidender Faktor. Die Kooperation mit der BTU, die zu einer Stärkung des verfahrens- und maschinentechnischen Know-hows führen soll, konnte hier weiter vorangebracht werden.

Im Fokus der Arbeiten steht die Entwicklung von biobasierten Kunststoffprodukten mit breitem Anwendungspotenzial. Innerhalb des vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) geförderten Verbundvorhabens »Verarbeitung von biobasierten Kunststoffen und Errichtung eines Kompetenznetzwerkes im Rahmen des Biopolymernetzwerkes der FNR« sind anwendungsnahe Ergebnisse zu den Teilkomplexen Folienverarbeitung von Biokunststoffen erarbeitet und Aktivitäten mit dem Ziel initiiert und umgesetzt worden, die mittelständische kunststoffverarbeitende Industrie bei der Einführung biobasierter Materialien zu unterstützen.

RESEARCH AND DEVELOPMENT (R&D) PROFILE

The R&D profile of the Synthesis and Polymer Technology research division encompasses, in its strategic approach, both material-oriented and technology-driven research. Emphasis is on replacing petroleum with renewable resources as alternative synthesis raw materials, using health-friendly chemicals, and increasing the production efficiency of polymers and plastics. In addition to conducting research into the development and introduction of innovative technologies in the area of polymer particle formation, we have intensified our research into bio-based plastics in recent years. Special attention has also been given to further developing new business segments that expand the department's research portfolio. One of the newly established R&D fields is membrane technology. The group "Processing Pilot Plant for Biopolymers" has expanded research in the field of bioplastics with a view to extending the value chain.

Biobased polymer systems

The disproportionate rate of growth of bioplastics in recent years is testament to the market's growing acceptance of this class of plastics. In the longer term, bioplastics will play an increasingly larger role on the market. Availability on the market of suitable blend components for bioplastics will enlarge the property profiles of the materials, thus increasing their application possibilities. The industrialization of biobased plastics has progressed furthest for polylactide (PLA). With an annual production of around 150,000 tons, NatureWorks (USA) commands the PLA market with different qualities of injection molding-, fiber- and film applications. Since Corbion's (Thailand) industrialization of the synthesis of both optical isomers L and D-lactide (70,000 tons per year) in 2012, the company has been planning a polymerization line with corresponding capacities. The resulting competition should stimulate the market. At the same time, the availability of D-lactide opens up fully new application possibilities through the development of thermally stable materials with improved mechanical properties. In recent years, trial productions in pilot plants in Europe (Sulzer (CH) and UIF (D)) have advanced activities in this field. These remarkable activities are directed at increasing the application potential of PLA-based plastics.

Our own R&D work on biobased plastics focuses on the attractive applications of third generation PLA with improved functional properties.

Emphasis is on investigations into controlling the structure of polymers through the synthesis of tailored stereoblock PLA with the aim of preparing such materials for new market segments. At the same time, we are developing ideas for increasing the efficiency of polymer synthesis and new end-of-life approaches for the material recycling of PLA.

The department is also involved in a joint research project as part of Central Germany's BioEconomy Cluster. The project develops innovative polyamide-based WPC materials. The Fraunhofer IAP's task is to synthesize a partially biobased polyamide matrix.

Particle applications

The core-competencies of the department for microencapsulation/particle applications include the microencapsulation of active ingredients and additives, and the synthesis and design of latex particles. There continues to be a high demand for capsules and particles in the micro- to nanometer range in various application areas. We find solutions to a broad range of industry-relevant R&D issues related to production technology and application-oriented tailoring of the wall material. Furthermore, we are working on concrete tasks commissioned by industry partners concerning the microencapsulation of active ingredients and additives for special applications. Our work focuses on the formation of amino resin-based microcapsules using reactive encapsulation methods. Because a demand for a further reduction in formaldehyde emissions from materials is expected, novel formaldehyde-free melamine resins are being developed and their synthesis and applications are being patented. Innovative wood materials are being developed based on these new resin systems as part of a cooperation project with the Fraunhofer WKI in Braunschweig. These materials have mechanical properties that are similar to conventional market products and some of their parameters are even superior.

We also have a strong commitment to running the micro-encapsulation technology platform. In collaboration with the Fraunhofer IAO, this network project is advancing the technology transfer to industry of encapsulation methods and capsule applications. Companies participating in this platform receive concise insight into the latest developments in this area as part of this platform.

Membrane technology

Our work in the area of membrane development aims to create more cost-effective separation processes, or to enable these processes in the first place through new materials. The search for membranes with improved properties like flux, selectivity and stability are currently at the heart of our R&D activities. A 30centimeters wide, continuously operating membrane casting machine produces porous and integrally asymmetrical membranes using precipitation bath technology. In a subsequent step, the membranes are separated from the residual solvent and conditioned using a special washing bath that is adapted to the output of the casting machine. There is an extensive range of analytical technology available for evaluating and testing the quality of porous membranes. A membrane testing unit using clean gases measures gas separation properties such as permeance, diffusion and solubility of non-porous membranes. In an internal Fraunhofer project, porous membranes are made from environmentally friendly solvents on the basis of polyacrylonitrile. These membranes, with a pore size of approx. 19nanometers, exhibit a gas flux of $300\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{bars}$. They have three times the permeability of conventional membranes. We also produce membranes with a pore size of 19nanometers that are especially stabile under pressure and less porous and permeable. Solvent-stable membranes that are polyacrylonitrile-based, are also produced in a continuous process and exhibit larger pores measuring 20–22nanometers. All of the membranes produced can be used directly for filtration. They are also particularly suitable for producing composite membranes for gas separation or nanofiltration.

Processing plant for biopolymers

R&D work in the Processing Pilot Plant for Biopolymers at BASF's Schwarzheide site focuses on broadening our core competencies in the area of material development of biobased plastics. Thanks to additional plants and equipment (blow molding, thermal molding and 3D printing) acquired through an investment support measure of the state of Brandenburg in 2014, the group is now optimally positioned with regard to the application spectrum of plastics. A decisive factor in selecting the site was its proximity to Brandenburg University of Technology (BTU) Cottbus-Senftenberg. Progress has been made in strengthening the cooperation with BTU which is expected to improve our expertise in processes and machines.

Our work focuses on developing biobased plastic products with a wide range of potential applications. As part of the joint project "Processing of Biobased Plastics and Establishment of a Competence Network within the FNR Biopolymer Network", which is funded by the Federal Ministry of Food and Agriculture and organized by the Agency of Renewable Resources (FNR–Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.), application-related findings on biopolymer film processing are developed, and activities are initiated and implemented with the aim of supporting medium-sized plastic processing enterprises in launching biobased materials.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Synthese von Polymeren

Produktentwicklung

- Aminoharze (auch formaldehydfrei)
- Applikationsbezogene (wässrige) konzentrierte Polymerdispersionen (Hartkugeln, weich-verfilmend, Reaktivkleber)
- C-Kettenpolymere
- Synthetische und biobasierte Polyester, Polyamide, Polyurethane

Prozessentwicklung

- Herstellung von Compounds durch in situ-Prozesse
- Optimierung technischer Polymersyntheseprozesse
- Polykondensation in Lösung und Schmelze
- Polymersynthesen und Polymermodifizierung durch Reaktivextrusion
- Radikalische Polymerisation in Lösung, Masse und in Heterophasensystemen
- Synthese von Polymeren durch Polyaddition

Charakterisierung

- Bestimmung der Molmassenverteilung von Polymeren in organischen Lösungsmitteln
- Bestimmung der thermischen Eigenschaften von Polymeren (TGA/DSC)
- Rheologische Charakterisierung von Polymerschmelzen, Dispersionen und Lösungen (Rotations- und Oszillationsrheometer)

Kunststoffverarbeitung

Verarbeitungsverfahren

- Blasfolien-Herstellung
- Blasformverfahren/Ein- und Zweischichtaufbau
- Charakterisierung und Optimierung von Verarbeitungseigenschaften und -verfahren
- Compoundieren
- Flachfolien-Herstellung/3-Schicht-Folien
- Materialerprobung und -optimierung
- Strangextrusion und Granulierung
- Spritzgießen
- Thermoformen inklusive Folienherstellung
- 3D-Druck/Fused Deposition Modeling (FDM)

Mikroverkapselung und Partikelanwendungen

Partikelsynthese

- Einschlusspolymerisation von Pigmenten, Fluoreszenzmarkern und Wirkstoffen
- Morphologiekontrollierte Heterophasenpolymerisation
- Oberflächenmodifizierung synthetischer Polymerkolloide (Ligandenkopplung, Ausrüstung als Biomolekülträger)
- Reaktive und nichtreaktive Mikroverkapselung von Wirkstoffen und Additiven (Pharmaka, Lebens- und Futtermittelergänzungstoffe, Kunststoffadditive, Reaktionskomponenten für Kleb- und Dichtstoffe und andere Komponenten)

Charakterisierung

- Abbau- und Freisetzungsstudien für Wirkstoffträger und mikroverkapselte Wirkstoffe/Additive
- Bestimmung der Oberflächenladungsdichte kolloidaler Dispersionen
- Bestimmung von Partikelgrößen und -größenverteilung
- Elektrokinetische Charakterisierung kolloidaler Dispersionen (Strömungspotenzial, elektrophoretische Mobilität, Zetapotenzial)

Membrantechnologie

Materialsynthese

- Metallorganische Gerüststoffe (MOFs)
- Polykondensate (Polyimide, Polymere mit inherenter Mikroporosität (PIMs) etc.)

Membranentwicklung

- Herstellung und Charakterisierung von Flachmembranen
- Herstellung und Charakterisierung von Dünnschicht-Compositmembranen
- Messung der Gaspermeabilität von Polymeren

APPLICATIONS AND SERVICES

Polymer synthesis

Product development

- amino resins (formaldehyde-free as well)
- application-oriented (aqueous) concentrated polymer dispersions (hard spheres or film-forming or reactive adhesives)
- C-chain polymers
- synthetic and biobased polyesters, polyamides, polyurethanes

Process development

- manufacturing of compounds in in situ processes
- optimization of technical polymer synthesis processes
- polycondensation in solution and melt
- polymer synthesis and polymer modification through reactive extrusion
- radical polymerization in solution, in bulk and in heterophase systems
- synthesis of polymers through polyaddition

Characterization

- determination of molecular weight distribution of polymers in organic solvents
- determination of thermal properties of polymers (TGA/DSC)
- rheological characterization of polymer melts, dispersions and solutions (rotational viscometer and oscillation rheometer)

Polymer processing

Processing methods

- blown film production
- blow moulding/one and two layers
- characterization and optimization for processing properties and technique
- compounding
- extrusion and granulation
- flat film production (3 layer)
- injection moulding
- testing and optimization of plastic materials
- thermoforming and thermoform film production
- 3D printing/fused deposition modeling (FDM)

Microencapsulation and particle applications

Particle synthesis

- inclusion polymerization of pigments, fluorescence markers and active substances
- morphology controlled heterophase polymerization
- reactive and non-reactive microencapsulation of active ingredients and additives (pharmaceuticals, food and feed supplements, plastic additives, reaction components for adhesives and sealants and other components)
- surface modification of synthetic polymer colloids (ligand coupling, equipment as biomolecular carriers)

Characterization

- degradation and release studies for carrier systems and microencapsulated active ingredients and additives
- determination of particle size and particle size distribution
- determination of surface charge density of colloidal dispersions
- electro-kinetic characterization of colloidal dispersions (streaming potential, electrophoretic mobility, zeta potential)

Membrane technology

Material synthesis

- metal organic frame works (MOFs)
- polycondensates (polyimides, polymers of intrinsic microporosity (PIMs) etc.)

Membrane development

- flat sheet membrane preparation and characterization
- preparation and characterization of thin film composite membranes
- measurement of gas permeability of polymers

Kontakt Contact

Forschungsbereichsleiter
Synthese- und Polymertechnik
Division director
Synthesis and Polymer Technology



Dr. Mathias Hahn (bis 5|2015)
Telefon +49 331 568-1320
Fax +49 331 568-3000
mathias.hahn@iap.fraunhofer.de

Mikroverkapselung/
Partikelanwendungen
Microencapsulation/
Particle Applications

Dipl.-Ing. Monika Jobmann

Telefon +49 331 568-1213
Fax +49 331 568-3000
monika.jobmann@iap.fraunhofer.de

Polymersynthese
Polymer Synthesis

Dr. Antje Lieske

Telefon +49 331 568-1329
Fax +49 331 568-3000
antje.lieske@iap.fraunhofer.de

Membrantechnologie
Membrane Technology

Dr. Detlev Fritsch

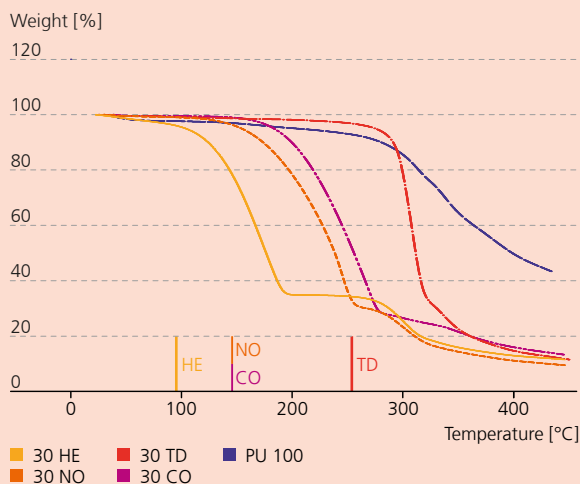
Telefon +49 331 568-1515
Fax +49 331 568-3000
detlev.fritsch@iap.fraunhofer.de

Biopolymerverarbeitung Schwarzheide
Biopolymer Processing Schwarzheide

Dr. Mathias Hahn

 (bis 5|2015)

Telefon +49 331 568-1320
Fax +49 331 568-3000
mathias.hahn@iap.fraunhofer.de



1

1 TGA curves of the core-shell microparticles with different hydrocarbons as the core materials: N-heptane (He), cyclooctane (CO), N-nonane (No) and tetradecane (TD). PU100 stands for the pure shell material. All microparticles have the same average size (ca. 3.5 μm) and core content (ca. 70 weight percent). The bars show the boiling points of the corresponding core materials.

2 Optical microscope images and volume size distributions of different sizes of core-shell microparticles (left) and their TGA curves (right). All three samples contain 80 weight percent of cyclooctane as the core material.

Thermisch stabile Kern-Schale Mikropartikel mit flüssigem Kern

Die Anwendung von Mikro- und auch Nanopartikeln mit Kern-Schale Morphologie als funktionelle Polymeradditive ist bereits gängige Praxis. Aktuelle Anwendungsrichtungen erfordern zur Einstellung der gewünschten Funktionalität häufig den Einsatz von Mikropartikeln mit flüssigem Kern. Dazu gehören z.B. selbstheilende und selbstschmierende Verbundwerkstoffe, bewuchsverhindernde Beschichtungen, Wärmespeichermaterialien, Wundverbände, elektro-phoretische Displays, intelligente thermochrome Fenster, die Lagerbedingungen anzeigende Verpackungsmaterialien und viele andere.

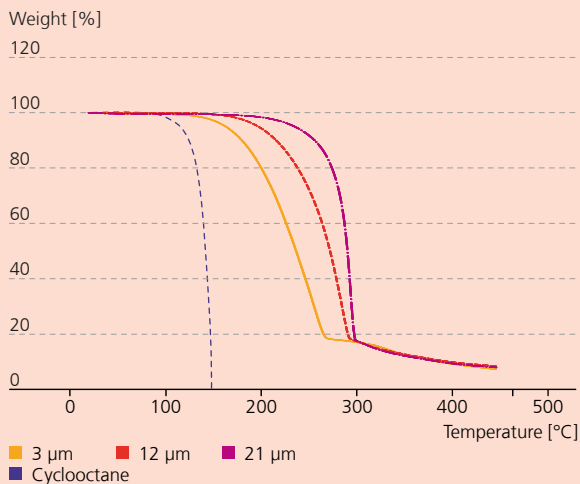
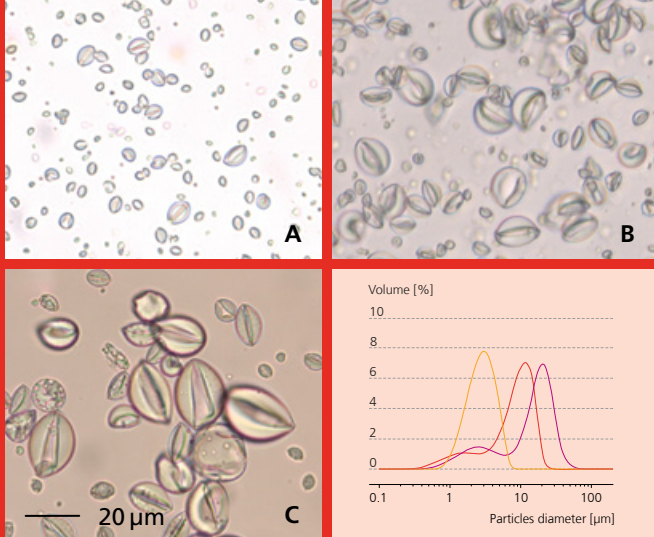
Polymere und Polymerverbundwerkstoffe werden meistens durch Extrusion verarbeitet. Da die Extrusion generell die Anwendung von Temperaturen oberhalb von mindestens 100 °C impliziert, müssen auch die funktionellen Polymeradditive bei diesen Temperaturen stabil sein. Weiterhin wäre es wünschenswert, die Mikro- und Nanopartikel maßgeschneidert auf die jeweiligen Verarbeitungstemperaturen im Extruder anpassen zu können. Die Kenntnis des Einflusses der thermischen Belastung auf die Stabilität von Funktionspartikeln mit flüssigem Kern wäre hierfür hilfreich. In der einschlägigen Fachliteratur finden sich hierzu allerdings nur sehr wenige Informationen.

Um diese »Lücke« zu schließen, wurden systematische Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Partikelparameter wie Kernmaterial, Partikelgröße und Schalendicke auf die thermische Stabilität der Funktionspartikel durchgeführt. Einfach ausgedrückt, es wurde untersucht, was passiert, wenn man die Mikropartikel mit flüssigem Kern erwärmt und welche Parameter die thermische Stabilität besonders stark beeinflussen. In TGA-Untersuchungen zeigten sich sowohl zu erwartende, als auch einige überraschende Ergebnisse. Generell kann das Einschließen einer Flüssigkeit in eine polymere Hülle die Flüchtigkeit erheblich verringern. So wurde für Kern-Schale Mikropartikel, bestehend aus 80 Gewichtsprozent eines flüssigen Kernmaterials und 20 Gewichtsprozent eines Polymers, eine Verbesserung der thermischen Stabilität um 150 °C erreicht. Die Hauptfaktoren, die die thermische Stabilität beeinflussen, sind der Siedepunkt des Kernmaterials und die durchschnittliche Partikelgröße. Die Rolle der Schalendicke ist überraschenderweise viel weniger relevant. Zwei Mechanismen, die für die Freisetzung des Kernmaterials aus den Mikropartikeln bei erhöhten Temperaturen verantwortlich sind, konnten gefunden werden: (1) thermischer Abbau der Polymerhülle und (2) Diffusion des Kernmaterials durch die Polymerhülle wegen des erhöhten Innendrucks. Trotz ihrer geringen Schalendicke ($\leq 1 \mu\text{m}$) sind die Mikropartikel in der Lage, einem überraschend hohen inneren Druck (bis 13 bar) standzuhalten, ohne dass sie bersten.

Diese Ergebnisse werden es uns ermöglichen, in der Zukunft maßgeschneiderte, thermisch stabile Mikropartikel mit komplexem Aufbau zu entwickeln.

Literatur Literature

[1] A. Latnikova, A. Yildirim: *Thermally-induced release from polymeric microparticles with liquid core: the mechanism*, *Soft Matter* 11(10), p.2008–2017 (2015), DOI: 10.1039/c4sm02674h



2

Thermally stable core-shell microparticles with high liquid core content

Application of composite micro- and even nanoparticles with core-shell morphology as functional polymer additives has already become common practice. Functionality of many novel composite materials can be achieved only if microparticles with liquid core are used as the functional additive. These novel materials include self-healing and self-lubricating composites, antifouling coatings, thermal energy storage materials, wound dressings, electrophoretic displays, smart thermo-chromic windows, packaging materials with storage conditions indicators and many others.

Extrusion is the most common way to process polymers and polymer composites. Since extrusion generally implies using temperatures of at least 100 °C, it is essential to understand the stability of the functional additives at elevated temperatures. Moreover, it would be very useful to be able to tailor the thermal stability to the application. In order to be able to do so one needs to understand what happens when microparticles with liquid cores experience thermal stress. It seems that this field of material science has not yet been systematically studied.

We decided to fill this gap and studied how parameters, such as core type, particle size and shell thickness, influence the thermal stability of the microobjects. This systematic study allowed us to determine the mechanisms responsible for the objects' thermal instability, which could be the key factor limiting the application of microparticles in polymer composites.

It turned out that enclosing a liquid in a polymeric shell can decrease its volatility substantially. Thus, composite core-shell microparticles consisting of 80 weight percent of a liquid core material and 20 weight percent of a polymer can be made 150 °C more thermally stable than the individual core component. The thermal stability of the composite microparticles was found to depend on the boiling point of the core material and the average particle size, while particle shell thickness played a much less relevant role. Two mechanisms responsible for the release of the core material from the microparticles at elevated temperatures were identified: (1) thermally-induced degradation of the shell and (2) diffusion of the core material through the polymeric shell boosted by the increased inner pressure. Despite their small size ($\leq 70 \mu\text{m}$), the microparticles are able to withstand surprisingly high inner pressure (up to 13 bars).

These findings will allow us to design more thermally stable microparticles with complex morphology in the future.

Kontakt Contact



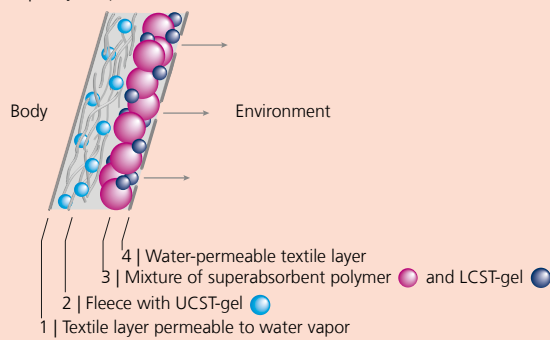
Dr. Alexandra Latnikova

Telefon +49 331 568-1207

Fax +49 331 568-3000

alexandra.latnikova@iap.fraunhofer.de

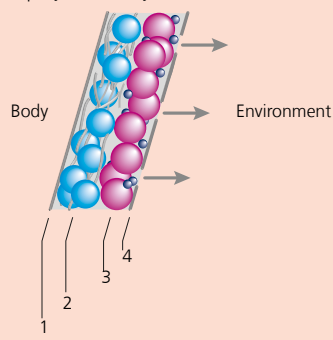
A | Body temperature ~36.5 °C, cold environment



Layer 3 does not release water, cooling is prevented

● In Layer 2 is not swollen, fleece is air-filled and has an insulating effect

B | Physical activity, hot environment

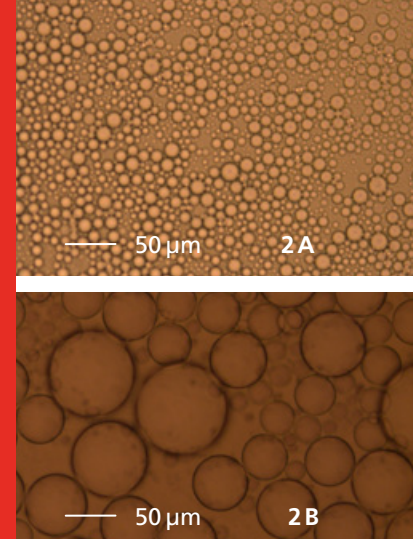


● Is collapsed and water is released, cooling effect is induced

● Becomes swollen, layer 2 transfers heat

● Collapses once the body temperature decreases below 36 °C, absorbs the released water from layer 2 (A)

1



Thermosensitive Mikrogele zur Herstellung von Thermoregulationsbekleidung

Thermoregulation des Menschen bedeutet die Fähigkeit, die Körpertemperatur in einem optimalen Bereich von 36,5–37 °C zu halten. Dies geschieht einerseits durch den Körper selbst: Bei Hitze fangen wir an zu schwitzen, wobei Verdunstungskälte freigesetzt wird; bei Kälte zittern wir, wodurch Wärme produziert wird. Andererseits wird mittlerweile zur Regulierung der Körpertemperatur entsprechende Kleidung – sogenannte Funktionsbekleidung – eingesetzt.

Moderne Funktionsbekleidung zum aktiven Heizen enthält heutzutage beispielsweise Wärmespeicher basierend auf Phasenwechselmaterialien (phase change materials, PCM), wobei hierbei die Schmelz-, Lösungs- oder Absorptionsenthalpie ausgenutzt wird. Dagegen werden zum Kühlen entweder Kühlakkus in den Textilien eingearbeitet oder die Bekleidung enthält wasserabgebende Systeme (z.B. COOLINE® Hightech-Vlies), die die Verdunstungskälte ausnutzen. Allerdings kann bei diesen Beispielen der einmal ablaufende Prozess nicht mehr gestoppt werden, auch wenn sich die Bedingungen ändern. Hier knüpft unser Vorhaben an.

Das Ziel des Projekts ist die Konfektionierung textiler Materialien mit thermosensitiven Polymeren, die die Thermoregulation des Menschen reversibel unterstützen sollen. Das Wirkungsprinzip basiert dabei auf der Verdunstung von Wasser unter Ausnutzung der Verdunstungskälte, wobei die Abgabe des in den thermosensitiven Polymeren »verkapselten« Wassers durch einen Temperatureiz reversibel kontrolliert wird. Letzteres bedeutet, dass bei hohen äußeren Temperaturen bzw. aufgrund körperlicher Tätigkeiten die Wasserabgabe durch die sinkende Wasserkapazität der thermosensitiven Polymere begünstigt und die Kühlung durch Verdunstungskälte aktiviert wird, während bei sinkender Umgebungstemperatur bzw. in Ruhephasen die Wasserabgabe unterbunden wird (Fig. 1).

Für die angestrebte Funktionsweise ist die Verwendung von thermosensitiven Mikrogele auf der Basis von LCST-artigen Polymeren (PNIPAM=Poly-N-isopropylacrylamid) bzw. UCST-artigen interpenetrierenden Netzwerken (IPN) aus PAA (Polyacrylsäure) und PAAm (Polyacrylamid) als »Wasserspeicher« vorgesehen, die oberhalb bzw. unterhalb einer definierten Schalttemperatur eine durch Wasserabgabe gekennzeichnete Volumenänderung erfahren (volume phase transition temperature, VPTT). Die Herstellung von PNIPAM Mikrogele erfolgt üblicherweise durch eine Fällungspolymerisation, wobei die VPTT durch Copolymerisation mit hydrophilen Monomeren verschoben werden kann (Fig. 3). Jedoch besteht ein großer Nachteil darin, dass die Fällungspolymerisation bei sehr geringen Konzentrationen durchgeführt wird (<zwei Prozent Feststoffgehalt). Daher wurde eine Rezeptur entwickelt, um LCST- und UCST-artige Mikrogele mit variierender VPTT durch inverse Emulsionspolymerisation im kleintechnischen Maßstab herzustellen (Fig. 2). Mit diesem Verfahren ist es nun möglich, ausreichend Material bereitzustellen, um die Verwendbarkeit der Mikrogele zur Thermoregulation zu untersuchen.

1 A cross section of functional clothing that illustrates the composition and the corresponding working principle.

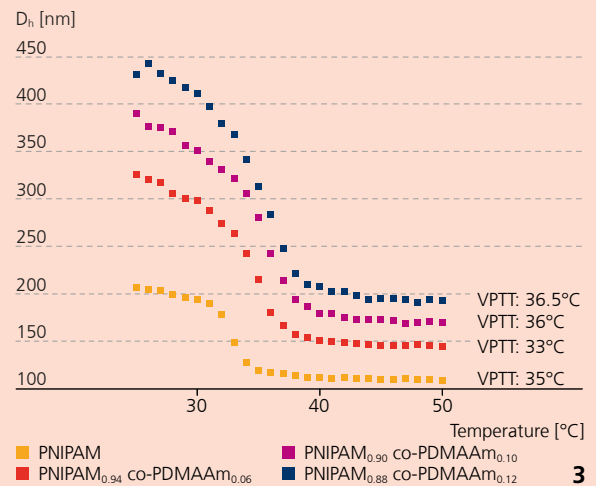
2 Representative light microscope images.

A PNIPAM-co-PDMAAm microgel particles obtained by inverse emulsion polymerization.

B IPN microgels composed of PAA and PAAm obtained by inverse emulsion polymerization.

3 The average hydrodynamic diameter (D_h) as a function of temperature

for a series of PNIPAM-co-PDMAAm microgels synthesized by precipitation polymerization, where PNIPAM denotes poly(N-isopropyl acrylamide) and PDMAAm stands for poly(N,N-dimethyl acrylamide). The figure reveals (i) the shift of the VPTT with an increasing amount of PDMAAm and (ii) a decrease in D_h accompanied by the release of water when temperatures increase.



Thermosensitive microgels for the fabrication of thermo-regulated clothing

Thermoregulation is the human body's ability to regulate its temperature and keep it within the ideal range of 36.5–37°C. This is achieved, on the one hand, by the body itself: When it's hot we start to sweat and as the sweat evaporates the body cools down. When it's cold, we begin to shiver, which produces heat. Today, body temperature can also be regulated by wearing the right kind of clothing – so-called “functional clothing”.

Modern functional clothing that actively warms the body contains, for instance, a thermal storage system based on phase change materials (PCM) that utilize the enthalpy of fusion, solution, and absorption. In contrast, cooling is either induced by ice packs incorporated in the textiles or by water-releasing systems (e.g. COOLINE® high-tech fleece) that utilize the cooling effect of water evaporation. However, once cooling is induced the process continues in both cases even if conditions change. Here draws our project on.

The aim of the project is to finish off textiles with thermo-responsive polymers to support the reversible regulation of human body temperature. More specifically, the principle is based on the evaporation of water that induces a cooling effect, whereby the release of water “encapsulated” in thermo-responsive polymers is reversibly controlled by a temperature stimulus. The latter means that during high external temperatures or physical activity, the water capacity of the thermo-responsive polymers decreases favoring the release of water. When the temperature decreases, or during periods of rest, water cannot be released (Fig. 1).

In order to achieve the envisaged functionality, thermo-responsive microgels based on LCST-like polymers (PNIPAM = poly-N-isopropyl acrylamide) and UCST-like interpenetrating networks of PAA (polyacrylic acid) and PAAm (polyacrylamide) respectively are used as “water reservoirs”. These particles are characterized by a volume phase transition combined with the release of water above and, respectively, below a critical temperature (volume phase transition temperature, VPTT). The preparation of PNIPAM microgels is generally achieved by precipitation polymerization, allowing the VPTT to be precisely adjusted through copolymerization with hydrophilic monomers (Fig. 3). However, a major disadvantage of precipitation polymerization is that the process is usually carried out at a rather low polymer concentration (<2 percent solid content), and thus provides only low quantities of solid material. Hence, a protocol was developed to synthesize both LCST- and UCST-type microgels with varying VPTT on a 250g scale through inverse emulsion polymerization (Fig. 2). This procedure now provides enough material to investigate whether such microgels can be used to partly regulate body temperature.

Kontakt Contact



Dr. Daniel Zehm

Telefon +49 331 568-1318
Fax +49 331 568-3000
daniel.zehm@iap.fraunhofer.de

Dr. Antje Lieske

Telefon +49 331 568-1329
Fax +49 331 568-3000
antje.lieske@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

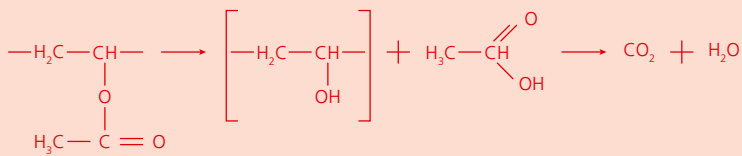
– Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V. (AiF), FKZ 18081 BR

Kooperation Collaboration

– Forschungsinstitut für Leder- und Kunststoffbahnen gGmbH (FILK), Freiberg
– Technische Universität Dresden, Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik (ITM), Dresden

Hydrolysis

Oxidative degradation



1

1 Primary and final degradation of PVA.

2 Comparison of tensile strength of films made of PLA, modified PLA and HDPE.

3 Comparison of elongation at break of films made of PLA, modified PLA and HDPE.

FNR-Projekt Biopolymere/

Modifikationsmöglichkeiten von PLA für das Blasfolienverfahren

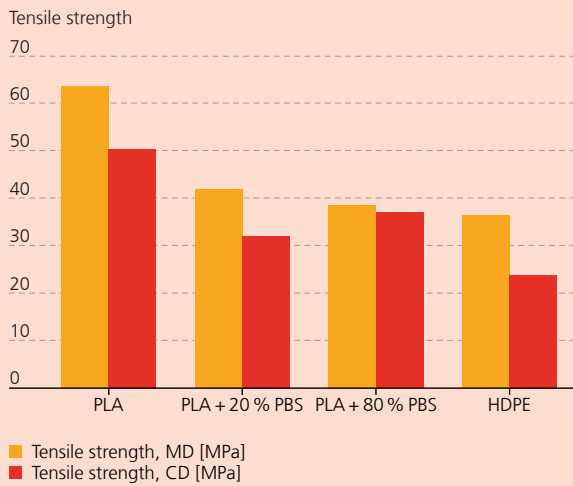
Das Interesse an biobasierten Kunststoffen ist vor dem Hintergrund der Themen Nachhaltigkeit und Umwelt, aber auch wegen des Wissens um die Endlichkeit fossiler Rohstoffe seit vielen Jahren groß und die prognostizierten Zuwachszahlen für ihren Verbrauch sind immens. Dass die tatsächliche Entwicklung den Prognosen bei weitem nicht entspricht, hängt neben der noch nicht gegebenen Wirtschaftlichkeit bei der Verarbeitung von Biopolymeren zu Massenprodukten und neben noch bestehenden technischen Nachteilen gegenüber ausgereiften konventionellen Kunststoffen auch mit Defiziten im Wissen um Eigenschaften und Verarbeitung biobasierter Materialien und daraus hergestellter Produkte zusammen. Es handelt sich um einen schwer zu überblickenden und permanent in Veränderungsprozessen befindlichen Markt. Hier Licht ins Dunkel zu bringen und die Informationsbasis zur Verarbeitung von marktgängigen und von neuen, biobasierten Polymeren für Industriepartner zu verbessern, um so deren Einsatz nachhaltig zu fördern, gehört zur Zielsetzung eines Verbundprojekts der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), an dem, neben dem Fraunhofer IAP, das IfBB Hannover, das SLK der TU Chemnitz und das SKZ Würzburg arbeiten.

Im Rahmen des Verbundprojekts wurde unter anderem die Möglichkeit untersucht, PLA durch die Zugabe von geeigneten Zuschlagstoffen derart zu modifizieren, dass sich geeignetes Verarbeitungsverhalten und gute Produkteigenschaften einstellen, ohne dass sich die Abbaubarkeit negativ verändert.

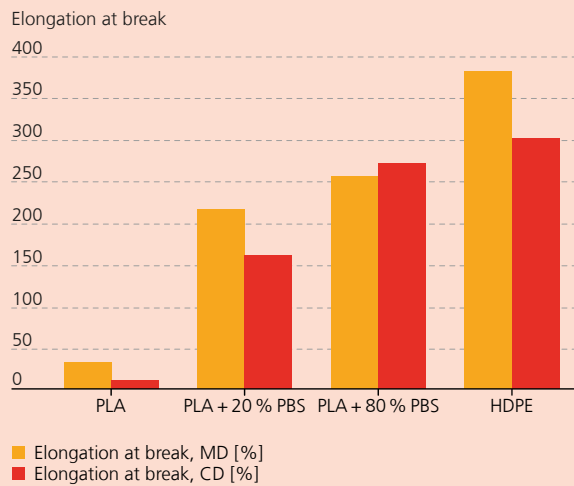
Das Biopolymer PLA als hartes und sprödes Material mit hohem E-Modul und hohen Zugfestigkeiten setzt aufgrund mangelnder Elastizität den Verformungen in der Flachlegung einer Blasfolienanlage deutlichen Widerstand entgegen, was faltige und nicht einsetzbare Folien verursacht. Der ausgeprägt lineare Molekülaufbau bedingt zudem sehr hohe Spleißneigung der hergestellten Folien. In Verbindung mit fehlender Elastizität ist PLA als 100-Prozent-Material für Blasfolien in den meisten Anwendungsfällen kaum geeignet.

Forschungen ergaben, dass es möglich ist, die Dehnfähigkeit von PLA-Folie in einem weiten Spektrum zu variieren, wenn es zuvor mit elastisch eingestellten Polyvinylacetat-Copolymeren veredelt wird. Die Verarbeitbarkeit zu Blasfolien wird dabei signifikant verbessert. Durch die Auswahl der PVAc-Type und durch die Zugabemenge des PVAc können spezifische Eigenschaften gezielt eingestellt werden, die Abbaubarkeit bleibt erhalten (Fig. 1).

Ferner wurde festgestellt, dass existierende Unverträglichkeiten zwischen PLA und PBS durch Compoundieren mit PVAc aufgehoben werden können, da PVAc mit beiden Biopolymeren verträglich ist und als Bindemittel fungiert. So ist es möglich, die positiven Eigenschaften beider Rohstoffe miteinander zu verbinden und eine gute Verarbeitbarkeit im Blasfolienverfahren zu erreichen. Produkteigenschaften wie E-Modul oder Zugfestigkeiten können auf die jeweiligen Anforderungen zugeschnitten werden und kommen denen konventioneller PE-Folien sehr nahe (Fig. 2/Fig. 3); bei Bedruckbarkeit oder Siegelfähigkeit können sogar Vorteile entstehen.



2



3

FNR Project Biopolymers/ Modification potential of PLA for the Blown Film Technology

For many years there has been increased interest in biobased plastics within the context of sustainability and the environment, and because of the knowledge of the finite nature of fossil resources. Consumption of biobased plastics is projected to increase dramatically. However, forecasts far out-perform actual trends because of a lack of efficiency in processing the biopolymers into mass products and because of the technical disadvantages they still have over established conventional plastics. In addition, there is a lack of knowledge about the properties and the processing of biobased materials and about the products made from them. Overall it is a complex market which is difficult to survey and which is permanently changing. In a joint FNR project, the Fraunhofer IAP, the IfBB Hannover, the SLK TU Chemnitz and the SKZ Würzburg are working to shine light into this darkness and to improve the information base concerning the material-related processing of new biobased polymers for industrial partners in order to promote their sustainable use.

One part of the joint project was to investigate the possibility of modifying PLA by adding suitable additives so that the right processing behavior and good product properties develop without negatively changing the degradability.

The biopolymer PLA is a hard and brittle material with a high modulus of elasticity and high tensile strength. Because of its lack of elasticity, deformations occur in the flatness units of blown film plants which cause wrinkled and unusable films. The distinctive linear molecular structure also generates a very high splicing tendency of the films produced. This lack of elasticity results in blown films made from pure PLA that are ill-suited for most applications.

Investigations found that it is possible to widely vary the elasticity of PLA film when it is previously refined with elastic polyvinyl acetate copolymers. Processing it into blown film improves significantly. By selecting the type of PVAc and the amount that is added, the different properties of the film can be specifically adjusted while maintaining degradability (Fig. 1).

It was also found that the incompatibilities existing between PLA and PBS can be offset through compounding with PVAc since PVAc is compatible with both PLA and PBS and acts as a binder. Thus, it is possible to combine the positive properties of both raw materials with each other and to achieve a good processability in blown film processes. Product properties such as modulus and tensile strength can be tailored to meet specific requirements and very closely approach those of conventional PE films (Fig.2/Fig.3). Benefits can even arise in terms of improved printability or sealing properties.

Kontakt Contact



Dipl.-Ing. Thomas Büsse

Telefon +49 331 568-3403

Fax +49 35752 6-3170

thomas.buesse@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

Kooperation Collaboration

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow
- Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe (IfBB) der Hochschule Hannover
- Institut für Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung (SLK) der TU Chemnitz
- Süddeutsches Kunststoff-Zentrum (SKZ), Würzburg

SPEZIALPOLYMERE

SPECIALTY POLYMERS

- 76** **Spezialpolymere**
Specialty Polymers
- 80** **Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 82** **Maßgeschneiderte Polymerbeschichtungen
mit hoher Beständigkeit gegen unspezifische Adsorption**
Tailor-made polymer coatings with high resistance to
non-specific adsorption
- 84** **Analytische Ultrazentrifugation von
selbstorganisierenden Käfigverbindungen**
Analytical ultracentrifugation on self-assembled cages
- 86** **Biomaterialien für die Medizin – Polymere und Metalle**
Biomaterials in medical applications – polymers and
metals
- 88** **Methode für den validierbaren Vergleich von
Wirkstoffträgern**
An internally validated method to compare carrier
systems

 pioneers in polymers



SPEZIALPOLYMERE

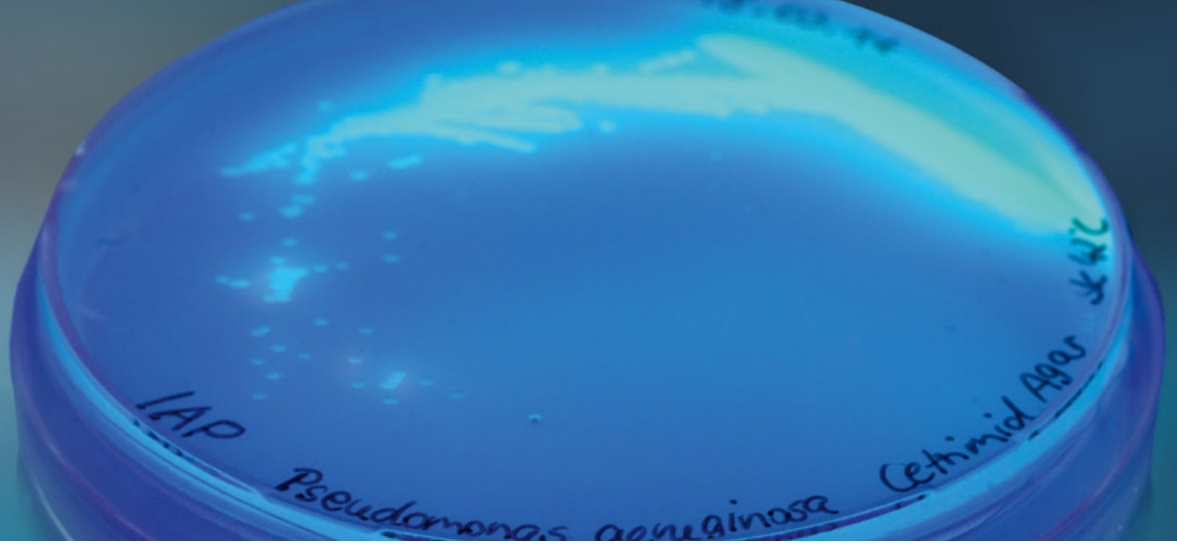
Spezialpolymere sind funktionelle – oder gar multifunktionelle – Polymere mit maßgeschneiderter Struktur und spezialisiertem Anwendungsprofil. Zwar werden sie im Gegensatz zu polymeren Werkstoffen meist nur in relativ geringen Mengen als Bestandteile für Systemlösungen eingesetzt, aber ihnen fällt eine Schlüsselrolle für die Systemeigenschaften zu. Typischerweise werden Spezialpolymere in »high added value« Anwendungen genutzt, in denen der Mehrwert maßgeblich durch die Wirkung der Polymere erzielt wird. Charakteristisch für die Entwicklung von Spezialpolymeren ist die Notwendigkeit, auf hohem Niveau Polymersynthese, molekulare Analytik und Charakterisierung der angestrebten Eigenschaften miteinander zu verbinden, da nur so besondere Effekte implementiert und effektiv genutzt werden können.

Da die Anwendungsfelder und Einsatzmöglichkeiten von Spezialpolymeren praktisch unbegrenzt sind, ist der Forschungsbereich sehr breit aufgestellt. Hier kommt uns die große Erfahrung unserer Wissenschaftler und Techniker sowie die exzellente Ausstattung der Labore zugute, aber insbesondere der ausgewogene Mix von Kompetenzen in unserem Team. Einen Schwerpunkt unserer Aktivitäten bilden seit jeher Spezialpolymere für wässrige Systeme. Dies umfasst sowohl Felder wie Wassermanagement, Waschmittel oder Körperpflege und Kosmetik als auch Bereiche wie Medizintechnik, Pharmazie oder Bio- und Lebensmitteltechnologie. Dabei widmen wir uns nicht nur Spezialpolymeren in Lösung und im Festzustand, sondern auch als Beschichtung an Oberflächen oder in Form von Kolloiden und organisch-anorganischen Hybridmaterialien. So steht neben Anwendungen von Spezialpolymeren z.B. in Form von Hydrogelen, Flockungsmitteln,

Viskositätsreglern, Löslichkeitsvermittlern, Emulgatoren, Waschhilfsstoffen, Entschäumer, Ionenaustauscher oder Wasserenthärter auch der Einsatz als Papierchemikalien, Haarpflegemittel, Lacke, Klebstoffe oder Betonhilfsmittel sowie als Latizes oder Depot- und Verkapselungsmaterialien, für Membranen, Beschichtungen, bakterizide Oberflächen oder medizinische Materialien. Gerade die Kompetenzen im Bereich der Polymere für Medizinmaterialien haben wir in den letzten Jahren gezielt erweitert, da uns seit der Fertigstellung des Anwendungszentrums für Innovative Polymertechnologien im Jahr 2012 Labore der Sicherheitsstufen S1 und S2 zur Verfügung stehen.

Besonders attraktiv für unsere Projektpartner ist die Möglichkeit eines ganzheitlichen Ansatzes, das heißt, wir können bei Bedarf unsere Kompetenzen, die sich von Monomer- und Polymersynthese über Synthesemethodik, Verfahrensentwicklung, Analytik und Charakterisierung in wässrigen Systemen bis zu speziellen Untersuchungen zur geplanten Anwendung erstrecken, zu einer kompletten Entwicklungslinie bündeln. Ein ganzheitlicher Ansatz impliziert, dass wir, wo nötig, mit Partnern anderer Fachrichtungen, sowohl aus dem gesamten Fraunhofer IAP als auch mit Partnern außerhalb des Instituts innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft, im Wissenschaftscampus Golm oder anderen Experten verschiedenster Herkunft zielorientiert zusammenarbeiten.

Gerade im Bereich der Anwendung von Spezialpolymeren in wässrigen Systemen ergeben sich eine Reihe spezieller Anforderungen. Für die meisten Substanzen ist Wasser ein schlechtes Lösemittel und chemisch nicht inert. Dies gilt auch für viele Polymere und muss bei der Herstellung, Lagerung und Anwendung der Systeme berücksichtigt werden. Zusätzlich zu den chemischen Komplikationen zeigt Wasser eine Reihe besonderer physikalischer Eigenschaften. Um eine hohe Affinität zu Wasser zu gewährleisten, tragen wasserbasierende Polymere typischerweise ionische oder hochpolare Gruppen.



Dies führt zu komplexen Wechselwirkungen der Polymere bereits untereinander und erst recht mit dem Lösemittel Wasser. Daher ist das Verhalten solcher Polymere oft sehr kompliziert und verlangt nicht nur besondere Herstellungs-, sondern auch spezielle Analyse- und Untersuchungsmethoden. Parallel zu unserer umfangreichen Erfahrung in der Polymersynthese verfügen wir daher ebenfalls über eine hochentwickelte Analytik. Somit können wir neue Produkte und Verfahren unter sehr unterschiedlichen Gesichtspunkten und auch ganzheitlich angehen und bewerten.

Naturgemäß bilden radikalische Polymerisationen einen besonderen Schwerpunkt unserer Entwicklungsarbeiten, da sie in Wasser weitgehend ungestört ablaufen. Dazu kommen chemische Modifizierungen von Polymeren, wie sie in besonderem Maß für Polymere auf Basis nachwachsender Rohstoffe anfallen. Dabei befassen wir uns sowohl mit der Stoff- als auch der methodischen und der verfahrenstechnischen Seite. Neben der eigentlichen Polymersynthese beinhaltet die Stoffseite auch die Synthese neuer Monomere, Initiatoren, Kettenregler und Inhibitoren. Wir haben u.a. auch diverse Techniken der kontrollierten radikalischen Polymerisation entwickelt, mit besonderem Blick auf den Einsatz in wässrigen und vergleichbaren Systemen wie ionischen Flüssigkeiten. Diese Methoden bieten einen relativ einfachen Zugang zu Polymeren mit besser definierten molekularen Parametern und besonderer Architektur. So lassen sich z.B. relativ einfach funktionale Stern- oder Block-Copolymere herstellen, die neue Möglichkeiten für die Entwicklung neuer Emulgatoren, Dispergiermittel und Viskositätsregler, aber auch nanostrukturierter Polymermaterialien und polymermodifizierter Oberflächen eröffnen. Auf der Verfahrensseite haben bei uns Polymerisationen in Dispersion und in dünnen Schichten ein besonderes Gewicht. In allen Fällen erlaubt die geschickte Wahl des Verfahrens nicht nur eine Optimierung der Herstellung und der etablierten Produkteigenschaften, sondern auch die Entwicklung neuer Eigenschaftsprofile.

Wir entwickeln neue Stoffe und Produkte je nach beabsichtigtem Einsatzgebiet und Anforderungsprofil auf Grundlage synthetischer Polymere wie Poly(meth)acrylaten und natürlicher Polymere wie Polysacchariden. Das Spektrum umfasst sowohl ungeladene (»nicht-ionische«) Systeme als auch geladene Polymere, also Polyelektrolyte und Ionomere. Dazu kommen Spezialprodukte wie Polyampholyte, die gleichzeitig positiv und negativ geladene Gruppen tragen und in ihrem Verhalten einerseits oft Proteinen ähneln, andererseits über ausgeprägte Biokompatibilität und Anti-fouling-Eigenschaften verfügen. Ein besonderes Augenmerk unserer Arbeit der letzten Jahre galt polymeren Hydrogelen. Diese finden z.B. Verwendung in Lebensmitteln, Hygiene- und Körperpflegeprodukten, Kosmetik, Pharmazie und Medizin. Hier sind nicht nur Quellverhalten der Polymere und die Kontrolle des Wasserhaushalts von Interesse. Hydrogele dienen auch als Barriere-, Puffer-, Schutz-, Verträglichkeits-, Passivierungs-, Adhäsions-, Absorptions-, Depot- oder Sensorschichten und bilden die Basis für Schäume oder Trennprozesse.

Die Arbeiten des Forschungsbereichs, die wir in den folgenden Beiträgen beispielhaft vorstellen, widmen sich in diesem Jahr zwei besonderen Einsatzformen von Spezialpolymeren, sowohl von der Material- als auch von der analytischen Seite. Zum einen stellen wir Arbeiten zu Oberflächen von Materialien im biomedizinischen Bereich vor, zum anderen zu Kolloiden für den Transport und die Freisetzung von Wirkstoffen.

SPECIALTY POLYMERS

Specialty polymers are functional – often even multi-functional – polymers with a tailored structure and a specialized application profile. Unlike commodity polymers, they are typically only used in relatively small amounts as elements in system solutions. Despite this, they play a key role in the correct and efficient performance of such systems. Typically, they are employed in "high added value" applications in which the value is mostly achieved by the effects of the polymer. One characteristic for the development of specialty polymers is the strong need to combine polymer synthesis and molecular analysis with the characterization and evaluation of the desired properties. Such a combined approach is pivotal in enabling the optimal implementation and utilization of the desired effects.

There is an almost unlimited number of fields of application for specialty polymers. Accordingly, our research division has a large range of activities, which takes advantage of the vast experience of our scientists and technical staff, as well as of the excellent equipment in our laboratories. Our key to success is the well-balanced mix of qualifications in our team. For a long time now our activities have particularly focused on the application of specialty polymers in aqueous system. These activities include fields such as water management, paper chemicals, laundry detergents, personal hygiene and cosmetics, as well as topics in such fields as medicine, pharmacy, food technology and biotechnology. Our work is devoted not only to specialty polymers in solution or in the solid state, but also to specialty polymers for tailoring surfaces and coatings, colloids, and organic-inorganic hybrids. We have been developing specialty polymers for hydrogels, flocculating agents, viscosity modifiers, compatibilizers, emulsifiers, detergent components, defoamers, ion exchangers, paper, lacquers, adhesives, hair care products, concrete

additives, latexes, encapsulation and controlled release materials, membranes, coatings, bactericidal surfaces and medical materials. In particular, our competences in the area of polymers for medical materials have been systematically strengthened and extended in recent years. Here we profit from the new opportunities provided by the Application Center for Innovative Polymer Technologies, which was completed in 2012. The Application Center offers modern laboratories at a BSL–1 and BSL–2 safety level, allowing us to work with biological material.

A particularly attractive feature for project partners is the possibility of a holistic approach to specialty polymers, if required, as we can concomitantly provide competencies in monomer and polymer synthesis, synthesis methodology and process development, molecular analysis and characterization of aqueous systems as well as in specialized investigational methods. Such a holistic approach implies that, where needed, we also cooperate with partners and specialists from other departments within the Fraunhofer IAP, with other institutes in the Fraunhofer-Gesellschaft, on the Science Campus here in Potsdam-Golm, across Germany, and around the world.

Specialty polymers have a number of particular requirements when used in aqueous systems. Water is a poor solvent, but also a chemically rather aggressive medium for most compounds including polymers. This must be taken into account when synthesizing, storing or using the polymers. In addition to chemical complications, water exhibits several special physical properties. In order to ensure a good affinity to the solvent, water-soluble (or swellable) polymers must carry a high number of ionic or highly polar moieties. This typically results in a complex set of interactions between the polymer molecules themselves, but even more with the water molecules and the environment. Moreover, this implies the need for special methods for molecular analysis and physical-chemical characterization. To cope with the difficulties, we not only have long-standing expertise in polymer synthesis, but also a large toolkit to satisfy the various requirements for analyzing and characterizing such polymer systems. Accordingly, we are able to conduct research into new products and processes from various angles and in a holistic way.

Inevitably, much of our research is linked to free radical polymerizations, as radical processes are virtually unaffected by the presence of water. In addition, we specialize in post-polymerization modifications which are particularly important in the context of polymers produced from sustainable resources. Our activities look at material, methodology and processing aspects. In addition to polymer synthesis, we also develop monomers, initiators, chain transfer agents, inhibitors and additives. As part of our activities, for instance, we have perfected the diverse methods of controlled free radical polymerization for use in water or in related media such as ionic liquids. These methods offer relatively easy access to polymers with better-defined molecular parameters and special architectures. For example, star and block copolymers can be made quite easily now, thus providing access to new functional polymers ranging from improved emulsifiers to novel nanostructured polymer materials and polymer-modified surfaces. In terms of methodology, polymerizations in thin films and in dispersions are of particular importance to us. In every case, choosing the right method enables established products and their properties to be optimized, and new property profiles to be developed.

We develop new materials and products that specifically meet the requirements of the intended use and the application profile. These may be based on synthetic polymers, e.g. polyacrylates, as well as on natural polymers, e.g. polysaccharides. We are equally experienced in uncharged, non-ionic polymers as well as in charged systems such as polyelectrolytes and ionomers. Moreover, we specialize in unconventional polymers such as polyampholytes, which simultaneously carry positively and negatively charged groups. They have much in common with proteins, but also stand out for their biocompatibility and anti-fouling behavior. We have placed particular emphasis in recent years on polymer hydrogels. These have many different types of uses and are used, for instance, in food, hygiene, cosmetic, pharmaceutical and medical products. While water uptake and release, low friction and the mechanical properties of these soft solids define their standard uses, hydrogels are also employed as barrier, buffer and protective films, as well as for depot and sensor films. They are also used in foams and separation processes.

The activities of the research division are presented in several articles below and focus on two particular forms of application of specialty polymers from both a material and an analytical perspective. On the one hand, we provide examples of activities concerning tailored and functional surfaces in the biomedical field. On the other hand, we present colloidal materials used to transport and release active ingredients.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Polymere in wässrigen Medien

Ausgewählte

Anwendungen

- (Super) Absorber
- Beschichtungen
- Hilfsstoffe für Kosmetika und Pharmazeutika
- Oberflächenmodifizierung
- Papierhilfsmittel
- Prozesshilfsmittel für Trennprozesse
- Schwermetall-Immobilisierung
- Solubilisatoren, Emulgatoren und Dispersionsstabilisatoren
- Temporäre und leitfähige Schichten
- Tenside
- Trägerstoffe
- Verträglichkeitsmacher
- Viskositätsregler

Neue Synthesen und Verfahren

- Dispersions- und Emulsionspolymerisation in wässrigen und inversen Systemen
- Kontrollierte Polymerisationen
- Modifizierung von Precursor-Polymeren
- Neue Funktionsmonomere, Initiatoren und Kettenregler
- Polymerisation an Grenzflächen und in dünnen Filmen
- Reaktionen in ionischen Flüssigkeiten

- Sol-Gel-Verfahren
- Vinylpolymerisation in Masse und Lösung

Definierte Molekül- architekturen

- Block- und Pfropfcopolymere
- Ionomere
- Polyelektrolyte mit gezielt eingestellter Ladungsdichte, Ladungsstärke, variablem Verhältnis hydrophiler und hydrophober Anteile
- Polyzwitterionen
- Polymere Tenside
- Reversible und irreversible Gele
- Schaltbare Polymere
- Stern- und Kammpolymere

Spezialdispersionen

- Design von Partikelmorphologien, -funktionalität, -reaktivität
- Maßgeschneiderte Partikelgrößen und -verteilungen im Nano- und Mikrometerbereich
- Steuerung der Viskosität, der Lagerstabilität und des Filmbildungsverhaltens für Beschichtungen

Modellkolloide

- Farb-, Fluoreszenz- oder magnetische Markierung für Diagnostik, Sensoren und medizinische Therapien
- Gitter aus Polymerkolloiden

einheitlicher Größe als optische Sensorelemente (z. B. für Farberkennung, Abstandsmessung und als Masken)

- Oberflächenpräparation als Träger von Biomolekülen für die medizinische Diagnose und die gezielte Wirkstofffreisetzung

Hydrogele

- Absorber
- Antifouling-Beschichtung
- Feuchteregulierung
- »Intelligente« Freisetzung
- Tribologische Schichten

Komplexe chemische und Oberflächenanalyse von Polymeren, Additiven und Tensiden

- (konfokale) Fluoreszenz-mikroskopie, digitale 2D- und 3D- Mikroskopie
- Oberflächenanalyse durch Ellipsometrie, Oberflächenplasmonenresonanz und UV/Vis-Reflexionsmessungen

Biologische in vitro Untersuchungen

- Biokompatibilitätsuntersuchungen
- Grenzflächenbiologie
- Mikrobiologische Untersuchungen mit human pathogenen Erregern nach § 44 IfSG

- Prüfungen auf Zytotoxizität
- Untersuchungen mit primären humanen Zellen
- Zellkulturen (Primär- und Zelllinien)

Analytik von Biomaterialien für die Medizintechnik

- Kontaktwinkelmessung
- Mikroskopische Untersuchungen
- Refraktionsindexbestimmung von Flüssigkeiten und Polymeren
- Restmonomeren- und Restlösemittelbestimmung
- Untersuchungen ophthalmologischer Implantaten und Explantaten

Entwicklung von Medizinprodukten

- Biomaterialentwicklung und Biomaterialsynthese
- Entwicklung bioaktiver Oberflächen
- Entwicklung und Herstellung von Implantaten
- Oberflächenfunktionalisierungen
- Synthese von pharmazeutischen Wirkstoffen

APPLICATIONS AND SERVICES

Polymers in aqueous media

Selected applications

- (super) absorbents
- additives for cosmetic and pharmaceutical formulations
- carrier materials
- coatings
- compatibilizers
- immobilization of heavy metals
- papermaking aids
- processing aids for separation processes
- solubilizers, emulsifiers and dispersants
- surface modification
- surfactants
- temporary and conducting layers
- viscosity regulation

New syntheses and processes

- controlled polymerizations
- dispersion and emulsion polymerization in aqueous, inverse and non-aqueous systems
- modification of reactive precursor polymers
- new functional monomers, initiators, and chain transfer agents
- polymerization at interfaces and in thin films
- reactions in ionic liquids
- sol-gel processes
- vinyl polymerization in bulk and solution

Defined molecular architectures

- block and graft copolymers
- graft and comb structures

- ionomers
- polyelectrolytes with tailored charge density, ionic strength, variable hydrophobic-hydrophilic balance
- polyzwitterions
- polymeric surfactants
- reversible and irreversible gels
- “smart” polymers

Special dispersions

- control of viscosity, storage stability and film formation behavior for coatings
- design of particle morphology, functionality and reactivity
- tailored particle sizes and size distributions in nano and micron range

Model colloids

- color, fluorescence or magnetic labeling for diagnostics, sensors and medical therapies
- polymeric colloidal arrays as optical sensor elements (e.g. for color recognition, distance measurement and as masks)
- surface modification as biomolecule carriers for medical diagnostics and controlled drug release

Hydrogels

- absorbents
- antifouling coatings
- humidity and moisture control
- “smart” release
- tribological films

Complex chemical and surface analysis of polymers, additives and surfactants

- (confocal) fluorescence microscopy, digitale 2D and 3D microscopy
- surface analysis by ellipsometry, surface plasmon resonance and UV/Vis reflectance measurements

Biological in vitro investigations

- biocompatibility testings
- cell biology of surfaces and interfaces
- microbiological examinations using human pathogens according to §44 IfSG
- cytotoxicity assays
- tests using primary human cells
- tissue culture (primary cells and cell lines)

Analysis of biomaterials for medical engineering

- contact angle measurement
- microscopic analysis
- measurement of refraction indices of liquids and polymer films
- identification and quantification of solvents and monomers residues
- examination of ophthalmologic implants and explants

Kontakt Contact

Forschungsbereichsleiter
Spezialpolymere
Division director
Specialty Polymers



Prof. Dr. André Laschewsky

Telefon +49 331 568-1327

Fax +49 331 568-3000

andre.laschewsky@iap.fraunhofer.de

Materialien für Life Science

Materials for Life Science

Dr. Erik Wischerhoff

Telefon +49 331 568-1508

Fax +49 331 568-3000

erik.wischerhoff@iap.fraunhofer.de

Funktionspolymere

für die Medizintechnik

Functional Polymers

for Medical Technology

Dr. Joachim Storsberg

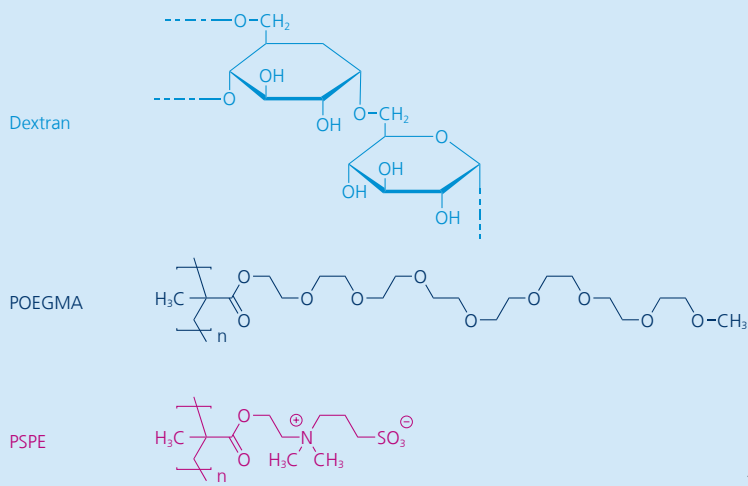
Telefon +49 331 568-1321

Fax +49 331 568-33 1321

joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de

Development of medical devices

- development and synthesis of biomaterials
- development of bioactive surfaces
- development of implants
- surface modifications
- synthesis of active pharmaceutical compounds



1 It exhibits a highly branched structure, with α -1,6, α -1,4, and α -1,3 glycosidic linkages between the saccharide units.

2 The fluorescence is proportional to non-specific adsorption of the protein to the surface. The effectiveness of the polymer coating in suppressing protein adsorption strongly depends on the characteristics of the protein.

1

Maßgeschneiderte Polymerbeschichtungen mit hoher Beständigkeit gegen unspezifische Adsorption

Oberflächen, die gegen unspezifische Adsorption resistent sind, spielen eine wesentliche Rolle für medizinische und bioanalytische Anwendungen. Der aktuelle Trend zur Miniaturisierung in Lab-on-a-Chip-Systemen verschärft das Problem der unspezifischen Adsorption, da das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen umgekehrt proportional zur Größe von Liquid-Handling-Elementen ist.

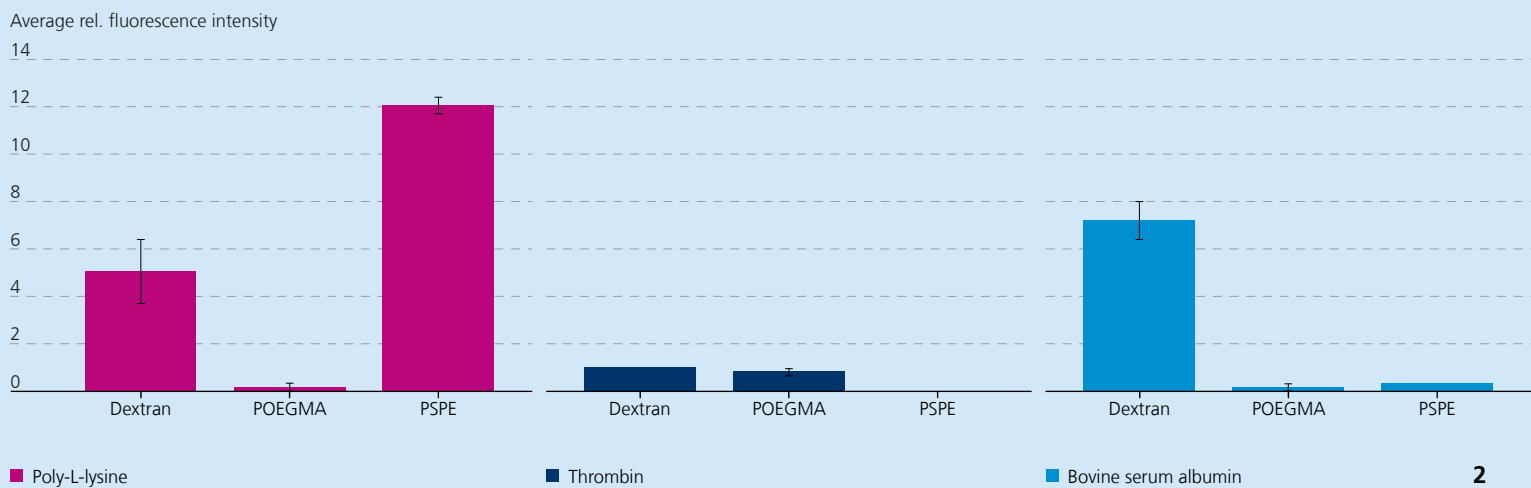
Seit Jahrzehnten werden Beschichtungen aus hydrophilen oder wasserlöslichen Polymeren eingesetzt, um Oberflächen widerstandsfähig gegen Ablagerungen zu machen. In letzter Zeit standen dabei Polymere mit zwitterionischen Bausteinen, meist Sulfobetainen, im Fokus. Es gibt hierzu Berichte über gute Resistenz gegen unspezifische Adsorption, sogar im Kontakt mit Medien wie Blutplasma oder Serum.

Detaillierte Untersuchungen mit mehreren Proteinen ergeben jedoch ein differenzierteres Bild. Wir haben den Einfluss von chemischen Konstituenten, Immobilisierungsstrategien und Schichtdicken auf die unspezifische Adsorption mit einem Satz von Proteinen untersucht, die sich in ihrer Größe, Ladung und Hydrophobie unterscheiden. Im Folgenden werden einige repräsentative Resultate diskutiert. In der Untersuchung haben wir polymerbeschichtete Oberflächen für eine definierte Zeit mit konzentrierten wässrigen Lösungen fluoreszenzmarkierter Proteine in Kontakt gebracht. Nach Spülen mit Puffer wurde die Restfluoreszenz auf den Oberflächen als Maß für die Proteinadsorption bestimmt. Es wurden Beschichtungen aus dem vielfach verwendeten Dextran, einem Polysulfobetain (PSPE) und einem Polymer mit Oligo(ethylenglykol)-Seitengruppen (POEGMA) verglichen (Fig. 1).

Die Ergebnisse sind in Fig. 2 dargestellt. Die unspezifische Adsorption von humanem Thrombin ist bei allen verglichenen Oberflächen niedrig. Jedoch zeigen Dextran- und POEGMA-basierte Beschichtungen eine niedrige, aber immer noch messbare unspezifische Adsorption, während auf PSPE gar keine Proteinadsorption festzustellen ist. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit dem Stand der Technik, aber die Tests mit den übrigen Proteinen ergeben ein anderes Bild.

Sowohl Dextran als auch PSPE zeigen eine deutlich messbare unspezifische Adsorption von Poly-L-Lysin, wobei am meisten Protein auf der Sulfobetain-Beschichtung adsorbiert. Für Poly-L-Lysin ist das Resultat bei der POEGMA-behandelten Oberfläche wesentlich besser. Es ist noch eine Fluoreszenz messbar, jedoch liegt deren Intensität nur wenig über dem Hintergrundrauschen des Kamerasystems. Für Rinderserumalbumin ist die unspezifische Adsorption auf der Dextranbeschichtung merklich, wohingegen die POEGMA- und PSPE-Beschichtungen kaum messbare Adsorption dieses Proteins zeigen.

Die Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass die Optimierung einer Beschichtung gegen unspezifische Adsorption für die konkrete Anwendung wichtig ist. Je nach Fall kann die günstigste Lösung anders aussehen, als der Stand der Technik erwarten lässt. Sulfobetain-basierte Beschichtungen sind oft brauchbar, stellen aber keinesfalls immer die optimale Lösung dar. Material und Geometrie des zu beschichtenden Werkstücks müssen beim Lösungsansatz auch berücksichtigt werden.



2

Tailor-made polymer coatings with high resistance to non-specific adsorption

Surfaces that resist non-specific adsorption play an important role in medical and biosensor applications. The current trend of miniaturization in lab-on-a-chip systems aggravates the problem of non-specific adsorption since the surface-to-volume ratio is inversely proportional to the size of the liquid handling elements.

For decades, coatings made of hydrophilic or water soluble polymers have been used to impart antifouling properties to surfaces. Polymers with zwitterionic building blocks, mostly sulphobetaine units, have become particularly popular for this purpose. Good resistance to non-specific adsorption was even reported when there was contact with media that had a high fouling potential, such as blood plasma or serum.

However, detailed investigations with several proteins reveal a differentiated picture. We studied the influences of the chemical constituents, surface immobilization strategies and layer thicknesses on the non-specific adsorption of a set of proteins with different sizes, net charges and hydrophobicity. In our study, polymer-coated surfaces were placed in contact with concentrated aqueous solutions of fluorescently labelled proteins for a given time. After rinsing with the buffer, the residual fluorescence on the surfaces was determined as a measure of protein adsorption. Of the many different coatings and proteins studied, some representative results are discussed here, focusing on coatings made of poly(sulphobetaine) (PSPE), the widely used dextran, and a polymer with oligo(ethylene glycol) side chains (POEGMA) (Fig. 1).

The results of these tests are illustrated in Fig. 2. Non-specific adsorption of human thrombin is generally low for all of these coatings. Dextran- and POEGMA-based coatings show a low, but still significant protein adsorption, whereas no protein adsorption is detected at all on PSPE. This result is in accordance with the state of the art. However, tests with other proteins reveal a different picture.

For poly-L-lysine, both dextran and PSPE coatings exhibit notable non-specific adsorption, with the sulphobetaine-based coating adsorbing the highest amounts. Here, the POEGMA coating gives a strikingly better result than the other coatings. Weak fluorescence intensity is detected, however it is not much higher than the background noise of the camera system. For bovine serum albumin, however, the non-specific adsorption is relatively strong on the dextran coating, while both POEGMA and PSPE coatings exhibit very little protein adsorption.

In summary, our study demonstrates that it is important to optimize antifouling coatings in specific cases. Depending on the precise nature of the fouling agents that come into contact with the surface, the best choice may deviate from what the state of the art would suggest. While suitable in many circumstances, coatings made of sulphobetaine polymers do not always provide the optimal solution. Moreover, the material and geometry of the item to be protected must be taken into account.

Kontakt Contact

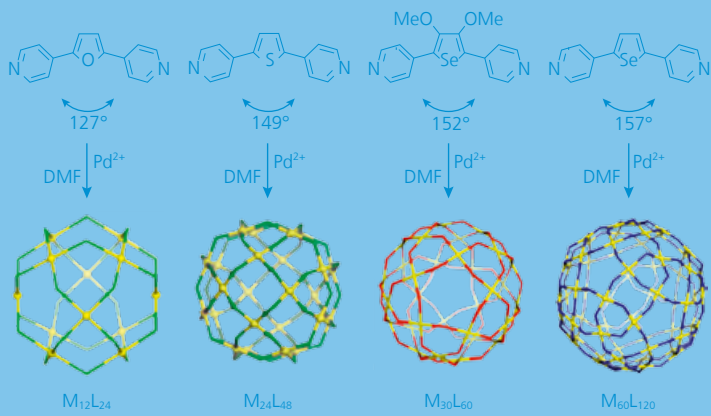


Dr. Erik Wischerhoff

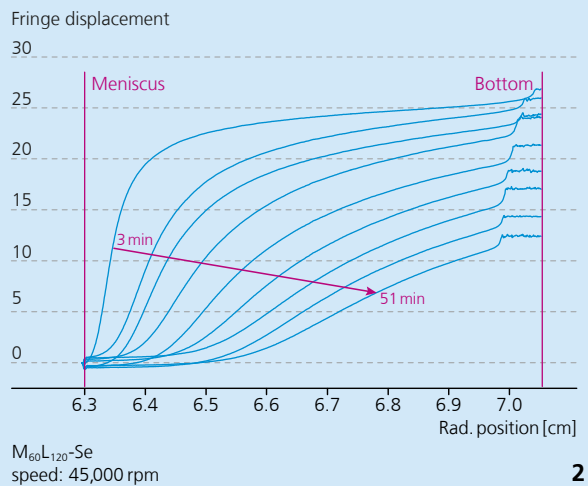
Telefon +49 331 568-1508

Fax +49 331 568-3000

erik.wischerhoff@iap.fraunhofer.de



1



2

Analytische Ultrazentrifugation von selbstorganisierenden Käfigverbindungen

Die Verkapselung funktioneller Moleküle, z.B. Proteine, in selbst-organisierenden, polyedrischen Koordinationseinheiten ist ein innovatives Forschungsfeld. Ziel ist es, Eigenschaften und Stabilität der Proteine zu kontrollieren. Zur Verkapselung geeignete Strukturen lassen sich z.B. aus zweizähligen Liganden unter Zugabe von Metallionen aufbauen. Größe und Form des Komplexkäfigs sind durch seine Geometrie vorgegeben und werden durch die Wahl der Komplexbestandteile bestimmt. Bevor solche Komplexkäfige für die Herstellung von Einschlussverbindungen verwendet werden, muss die Bildung stabiler Komplexverbindung bestätigt und ihre Größenverteilung charakterisiert werden. Wir haben im Auftrag der Universität von Tokyo die Größe unterschiedlicher Komplex-Verbindungen (Fig. 1) mittels Analytischer Ultrazentrifugation (AUZ) untersucht. Diese Methode bietet mehrere Vorteile.

Die AUZ, entwickelt von Theodor Svedberg in den 1920er Jahren des letzten Jahrhunderts, ermöglicht eine Größenbestimmung von Molekülen und Kolloiden mit hoher Auflösung, ohne Scherkräfte auf die Probe auszuüben und ohne die Notwendigkeit einer Kalibrierung.

Die in DMF gelösten Komplexe $M_{12}L_{24}$, $M_{24}L_{48}$, $M_{30}L_{60}$ und $M_{60}L_{120}$ -Se wurden bei Konzentrationen von 2 mM bis 14 mM mittels Sedimentationsläufen untersucht. Die Sedimentationsprofile, exemplarisch in Fig. 2 aufgetragen, zeigen die zeitliche Änderung des Brechungsindexgradienten, während die Partikel zum Zellboden sedimentieren. Aus der zeitlichen Veränderung des Profils sowie dessen Form lassen sich Verteilungen der Sedimentationskonstanten berechnen. Die während der Sedimentation ablaufenden Diffusions- und Sedimentationsprozesse sind vollständig durch die Lamm-Gleichung beschrieben [2], daher ermöglicht sie, hochauflösende, diffusions-korrigierte Größenverteilungen zu ermitteln.

Die so gewonnen Verteilungen sind für die Konzentration von 2 mM in Fig. 3 dargestellt. Da die Größe der Komplexe durch deren Geometrie festgelegt ist, werden insbesondere für die kleinen Komplexe enge Größenverteilungen gefunden.

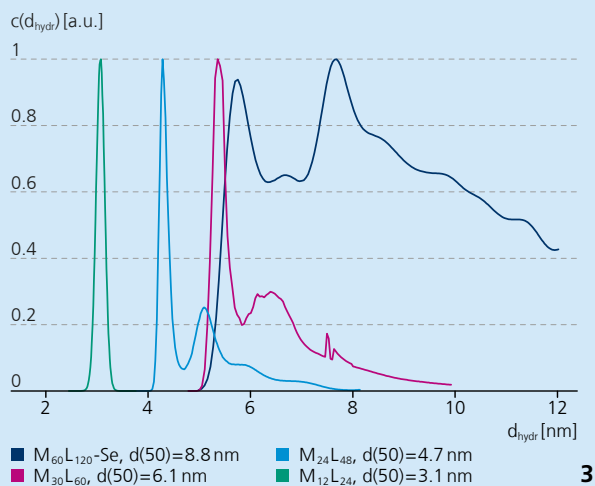
Darüber hinaus zeigt sich eine steigende Tendenz zur Agglomeration für größer werdende Komplex-Käfige. Insbesondere bei $M_{60}L_{120}$ -Se ist die breite und unregelmäßige Größenverteilung ein deutlicher Hinweis auf Agglomeration kleiner Komplexe.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die AUZ-Analyse die Bildung sphärischer Koordinationseinheiten bestätigt. Sie liefert auch Hinweise auf Aggregation, insbesondere bei $M_{60}L_{120}$ -Se. Die zu unendlichen Verdünnungen extrapolierten Median- und Peak-Werte der Durchmesser stimmen in etwa mit theoretischen Werten überein und sind in Fig. 4 zusammengefasst.

Diese Analyse zeigt die vielseitige Nutzbarkeit der AUZ, insbesondere auch für die Charakterisierung von Verbindungen, die anderen Methoden nur schwer zugänglich sind.

Literatur Literature

- [1] D. Fujita, K. Suzuki, S. Sato, M. Yagi-Utsumi, Y. Yamaguchi, N. Mizuno, T. Kumasaka, M. Takata, M. Noda, S. Uchiyama, K. Kato, M. Fujita: *Protein encapsulation within synthetic molecular hosts*, Nat. Commun. 3, p. 1093 (2012)
- [2] P. Schuck: *Size-Distribution Analysis of Macromolecules by Sedimentation Velocity Ultracentrifugation and Lamm Equation Modeling*, Biophys. J. 87, pp. 1606–1619 (2000)



3

1 Diagram of analyzed M_nL_n polyhedra with metals (M) and bridging ligands (L). © Daishi Fujita

2 Sedimentation diagrams as recorded with the interference optics.

3 Distributions of hydrodynamic diameters $c(d_{hydr})$ of the coordination-sphere compounds: $M_{12}L_{24}$, $M_{24}L_{48}$, $M_{30}L_{60}$ and $M_{60}L_{120}\text{-Se}$. Sedimentation was recorded with the interference optic at a concentration of 2 mM.

4 Overview of extrapolated peak diameters d_{peak} and median diameters d_0 as well as theoretical values d_{th} . (© Yoshihiro Ueda | A, © Daishi Fujita | B)

Ligand	d_0 [nm]	d_{peak} [Sved]	d_{th} [nm]
$M_{12}L_{24}$	3.1	3.1	3.5 A
$M_{24}L_{48}$	5.0	4.4	4.5 A
$M_{30}L_{60}$	6.6	5.3	5.0 A
$M_{60}L_{120}\text{-Se}$	9.0	7.7	7.2 B

4

Analytical ultracentrifugation on self-assembled cages

Encapsulation of guest molecules within self-assembled coordination cages is an active field of research focused on controlling the functions, properties and stability of trapped large molecules such as proteins [1]. Cages of different sizes, which may serve as hosts, can be formed through the self-assembly of bidentate ligands and appropriate metal ions. Theoretically, the size of a cage is defined by the geometry of the complex, which depends on the choice of the ligand molecule and the metal ion. Before such complexes can be used as hosts, it is important to confirm the stable formation of coordination spheres and to obtain information on their molecular parameters through appropriate analytical methods. We have characterized several self-assembled coordination cages prepared from bidentate ligands and Pd^{2+} on behalf of the University of Tokyo (Fig. 1). Analytical ultracentrifugation (AUC) was used because it offers several advantages.

The AUC method, developed by Theodor Svedberg in the early 20th century, allows the size distributions of colloidal systems to be determined with high accuracy without exerting shear forces and without the need for calibration.

For the sedimentation runs, the self-assembled particles $M_{12}L_{24}$, $M_{24}L_{48}$, $M_{30}L_{60}$ and $M_{60}L_{120}\text{-Se}$ were dissolved in DMF at concentrations of 2 mM to 14 mM. The resulting sedimentation profiles, plotted in Fig. 2 for sample $M_{60}L_{120}\text{-Se}$ by way of example, show the gradient of the refractive index as the particles sediment toward the bottom of the cell. The distribution of sedimentation constants can be calculated from the speed at which the profile moves and from its shape. The diffusion and the sedimentation process of non-interacting species during an AUC experiment are well described by Lamm's equation [2]. Based on the numerical solution of this equation, highly resolved, diffusion-corrected distributions can be derived.

Fig. 3 shows the distributions of the hydrodynamic diameters, $c(d)$, as calculated from the solution of Lamm's equation. Since the size of the spheres is mainly determined by the ligands and metal ions used, the widths of the actual distributions are relatively narrow. Only $M_{60}L_{120}\text{-Se}$ shows a broad distribution, which might be due to the clustering of smaller species. Generally, the tendency to form aggregates seems to increase with the size of the sphere. Only the smallest cages $M_{12}L_{24}$ show ideal mono-modal behavior.

In conclusion, AUC measurements confirm, with the exception of $M_{60}L_{120}\text{-Se}$, the formation of the coordination cages but also provide evidence for the formation of aggregates. The determined median and peak values of the diameter extrapolated to zero concentration are comparable with the theoretical values summarized in Fig. 4.

This analysis illustrates that AUC can be used for a broad range of colloidal systems. It is particularly advantageous for characterizing compounds that cannot be easily analyzed by other methods.

Kontakt Contact



Dr. René Kalbitz

Telefon +49 331 568-1317

Fax +49 331 568-3000

rene.kalbitz@iap.fraunhofer.de

Kooperation Collaboration

– Daishi Fujita, Ph.D.,
University of Tokyo, Japan



1 Polymers in medical applications. Different materials with different properties.

2 Keratoprosthesis with modified surfaces. ArtCornea®. The haptic is selectively modified to ensure ingrowth.

3 Intrastromal alloy ring. The alloy composition is nontoxic but prevents ingrowth of blood vessels.

Biomaterialien für die Medizin – Polymere und Metalle

Wenn Polymere eine wichtige Aufgabe erhalten | Aus dem Alltag sind sie nicht mehr wegzudenken: Kunststoffe sind heute ein fester Bestandteil unseres Lebens geworden und ermöglichen einen preiswerten Luxus. Sie haben sich aufgrund ihrer unschlagbaren Kombination von Eigenschaften durchgesetzt. Durch stoffliche und strukturelle Variation lassen sich die Produkteigenschaften in weiten Grenzen einstellen. Klassische Massenpolymere wie beispielsweise Polypropylen und Polyethylen werden nicht nur für die Herstellung von Bauteilen für Kraftfahrzeuge, Gebrauchsgegenstände wie Becher, Schüsseln oder Folien verwendet. Man kann daraus noch viel mehr machen: Aus diesen Kunststoffen werden auch Produkte für den Medizinbereich, z.B. Einwegartikel oder Implantate hergestellt. Zellen erkennen und interagieren mit einem Biomaterial (Implantat) ausschließlich über dessen Oberfläche. Durch geschickte Materialauswahl können die Eigenschaften dem spezifischen Anwendungszweck angepasst werden (Fig. 1).

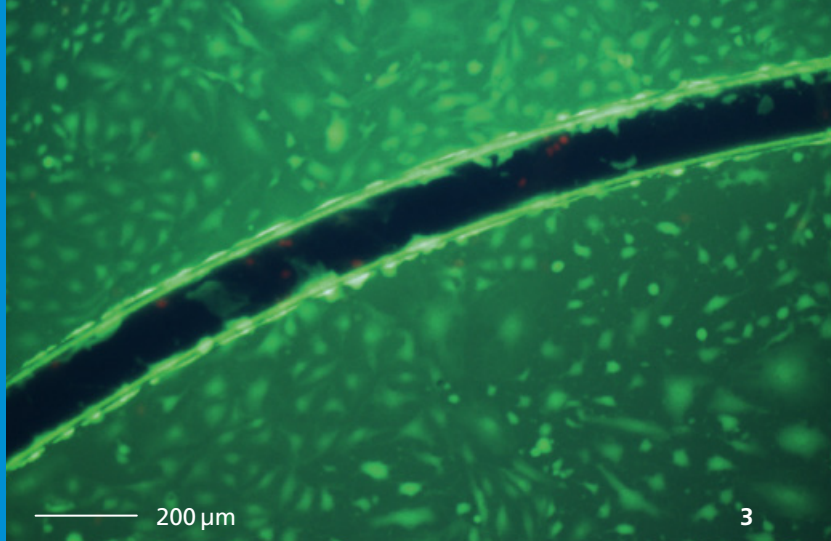
Anpassung an spezielle Aufgaben durch geschickte Modifikation | Dabei werden physikalische, chemische und/oder biologische Modifikationsmethoden angewendet. Die Oberflächenmodifizierung kann dabei in kovalenter bzw. nicht-kovalenter Anbindung an das Basismaterial ausgeführt sein. Die intrinsischen mechanischen Eigenschaften bleiben dabei erhalten; etablierte Herstellungsverfahren können beibehalten werden während nur die Grenzfläche, die in Gewebekontakt steht, entsprechend funktionalisiert wird (Fig. 2). Die Anwendung von Kunststoffen ist nicht auf einen kleinen Bereich limitiert – die Einsatzmöglichkeiten sind nahezu unbegrenzt. Doch nicht nur Polymere auch Metalle und Metalllegierungen sind wichtige Biomaterialien im Medizinbereich.

Metalle als wichtige Biomaterialien | In bestimmten Einsatzbereichen werden Metalle bzw. Metalllegierungen verwendet. Jedem sind z.B. Hüftgelenkprothesen bekannt; aber es gibt auch ganz spezielle Metalllegierungen, die in der Ophthalmologie ihre Anwendung finden und dabei eine hochspezialisierte Aufgabe wahrnehmen. Sie müssen das Einwachsen von Gefäßen in eine transplantierte Hornhaut verhindern, und gleichzeitig untoxisch sein.

Dazu verwendet man eine Metalllegierung, die als sehr feiner, dünner Ring implantiert wird. In einer systematischen Untersuchungsreihe wurden dabei die Einzelmetall-Komponenten in primären humanen Zellkulturmedien untersucht. Dazu wurden entsprechende Metallextrakte hergestellt (Fig. 3), die anschließend in unterschiedlichen Konzentrationen und Kombinationen zu den Vascularzellen gegeben wurden. Die metabolische Aktivität und Vitalität der Zellen wurde untersucht. Die dabei gewonnenen Ergebnisse zeigten, dass in bestimmten Konzentrationen Metalle als Wachstumspromotor wirken können, das heißt, dass Zellen an diesen Oberflächen besonders gut adherieren.



2



200 μm

3

Biomaterials in medical applications – polymers and metals

When polymers are given an important task | Plastics have become an integral part of our daily lives and have enabled us to enjoy a reasonably priced luxury. They have caught on due to their almost unlimited combination of properties. These material properties can be adjusted within a wide range by varying the material and structure. Common mass polymers such as polypropylene and polyethylene are not only used to produce motor vehicle components, everyday items like pots and bowls, and films – they can be made into much more. These plastics are also used to make products for medical applications, such as disposable items and implants. Cells can recognize and interact with a biomaterial (implant) solely via its surface. Intelligent selection of materials enables the properties to be adapted to the specific application (Fig. 1).

Adaptation to specific tasks through clever modification | The desired properties can be created on the surface using physical, chemical and/or biological modification methods. This modification can be performed by way of covalent or non-covalent attachment to the base material. The intrinsic mechanical properties are retained, and established production methods can be maintained because only the interface, which is in contact with the tissue, is correspondingly functionalized (Fig. 2). The use of plastics is not limited to a small sector - the possibilities are virtually unlimited. However, polymers are not the only materials used in the body; metals and metal alloys are also important biomaterials.

Metals as important biomaterials | In certain application areas, metals or metal alloys are used in implants. One well-known example is the hip joint prosthesis; but there are also quite specialized metal alloys used in ophthalmology that have highly specialized tasks. They must prevent the ingrowth of vessels in a transplanted cornea and, at the same time, be non-toxic. In this case, a very fine thin ring made of a special metal alloy is implanted.

In a systematic series of tests of single-metal components, we examined the effect of different metal components of the alloy in primary human cell culture media. Corresponding metal extracts were prepared (Fig. 3), which were then placed in the vascular cells in various concentrations and combinations. Our experiment investigated the metabolic activity and viability of the cells. Findings showed that metals can act as growth promoters at certain concentrations, which means that cells adhere well to these surfaces.

Kontakt Contact



Dr. Joachim Storsberg

Telefon +49 331 568-1321

Fax +49 331 568-33 1321

joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de

Kooperation Collaboration

- Dr. Christian Schmidt, Fraunhofer IAP
- Dr. Arthur Messner, HumanOptics AG, Erlangen
- M.Sc. Stefanie Träg, HumanOptics AG, Erlangen



1



2

Methode für den validierbaren Vergleich von Wirkstoffträgern

Sicherheit von Wirkstoffträgern | Nicht mit Wirkstoff beladene Träger sollten keine Nebenwirkungen beim Patienten auslösen. Die Nebenwirkungen moderner Darreichungsformen von Chemotherapeutika sind in der Literatur hinreichend dokumentiert [1–3]. Dabei scheint die pharmakologisch wirksame Substanz kaum eine Rolle bei den verursachten Nebenwirkungen zu spielen [1–3]. In einer neueren Studie wurde dieser Anfangsverdacht untersucht und das Auftreten des Hand-und-Fuß Syndroms mit der Verwendung von bestimmten Wirkstoffträgern im Vergleich zur konventionellen Therapie bei gleichem Wirkstoff korreliert [4]. Ein validierbarer Vergleich der Effekte von einzelnen Wirkstoffträgern auf Zellen ist daher notwendig, um von derartigen Darreichungsformen ausgehende Nebenwirkungen minimieren oder gar ausschließen zu können.

Preiswerter Vergleich mit interner Validierung | In Zusammenarbeit mit der Beuth Hochschule für Technik Berlin haben wir die Eigenschaft der gegenüber zytotoxischen Agenzien empfindlichen HCT116 beziehungsweise der robusten HeLa-Zellen ausgenutzt, um die Wirkung von Trägern von Chemotherapeutika auf die Stoffwechselaktivität dieser Zellen in einem Modellversuch zu testen. Hierbei wurden aus bioabbaubaren Materialien, die in der Kosmetikindustrie Verwendung finden können [5], 200 bis 500 nm große Wirkstoffträger auf der Basis einer wässrigen Phase, sowie Emulgatoren (Lecithin, Polysorbat 80 bzw. E433) und Ölen der Soja- bzw. Kakaobohne hergestellt [6, 7]. Tests mit den Zellkulturen zeigten eine geringere Stoffwechselaktivität der HeLa und HCT116-Zellen nach Kontakt mit den nicht mit Wirkstoff beladenen Sojabohnenöl-Systemen im Vergleich zu den entsprechenden kakaobohnenölbasierten Formulierungen. Unsere Ergebnisse dokumentieren weiterhin eine bisher nicht bekannte unterschiedliche Sensitivität von HeLa- und HCT116-Zellen gegenüber nicht mit Wirkstoff beladenen Trägern im Vergleich zu den entsprechenden mit zytotoxischen Agenzien beladenen Trägern. Hinsichtlich der Stoffwechselaktivität sind HeLa-Zellen in unseren Experimenten deutlich sensibler als HCT116-Zellen gegenüber den freien Sojabohnenöl-Systemen. Dies ist eine Umkehrung der in der Literatur beschriebenen Sensitivität der HeLa und HCT116-Zellen gegenüber zytotoxischen Agenzien [6, 7].

Einsatz des vorgestellten Verfahrens zur Testung von Wirkstoffträgern | Die gegenüber zytotoxischen Agenzien umgekehrte Sensitivität von HeLa- und HCT-Zellen gegenüber freien Wirkstoffträgern begründet die Validierung des von uns vorgestellten neuartigen Verfahrens zur Testung von Wirkstoffträgern. Diese Erkenntnis kann als Grundlage für eine nachfolgende Weiterentwicklung von Testverfahren zum validierbaren Vergleich der Wirkungen von Wirkstoffträgern verwendet werden. Das von uns vorgestellte Zellkulturmodell kann als preiswertes Testverfahren eingeführt werden.

Literatur Literature

- [1] P. Azadeh, A. Yaghobi, A. Amini, M. Farasatinasab: *Paclitaxel-Induced Fingerprints Loss. Ann Pharmacother*, Vol. 48, pp. 1249–1250 (2014)
- [2] M. Al-Ahwal: *Chemotherapy and fingerprint loss: beyond cosmetic, Oncologist*, Vol. 17, pp. 291–293 (2012)
- [3] M. Wong, S. Choo, E. Tan: *Travel warning with capecitabine, Ann Oncol*, Vol. 20, p. 1281 (2009)
- [4] D. Lorusso, A. DiStefano, V. Carone, A. Fagotti, S. Pisconti, G. Scambia: *Pegylated liposomal doxorubicin-related palmar-plantar erythrodysesthesia ('hand-foot' syndrome), Ann Oncol*, Vol. 18, pp. 1159–1164 (2007)
- [5] L. Vetter, M. Laughton, C. Schmidt, J. Storsberg: *Anti-Aging Creams, Ingredients and their Effects Against Early Skin Aging, SOFW Journal*, Vol. 140, p. 32–39 (2014) *SOFW Journal (English Edition)*, Vol. 140, pp. 34–39 (2014)
- [6] C. Schmidt, N. Doğangüzel, S. Klöpzig, S. Rehfeldt, S. Behne, R.-J. da Silva, J.-P. Krause, M. Kumpugdee-Vollrath, J. Storsberg: *Synthesis of doxorubicin containing drug carriers and their in-vitro performance on HeLa and HCT116 cells, Nanotech Dubai 2013 International Conference Proceeding*, Vol. 1, pp. 40–49 (2014)
- [7] N. Doğangüzel: *Investigations of the release of drugs by nano-particles and their effect on HeLa-cells, Master's Thesis, Beuth University of Applied Sciences Berlin* (2013)

1 Soybean.

2 Cocoa bean.

3 Representative photo of a tested cocoa bean oil based Doxorubicin carrier formulation.



3

An internally validated method to compare carrier systems

Safety of medical drug delivery systems | It is of primary concern that patients do not suffer from side effects elicited by blank carrier systems. Blank carrier systems can be likened to drug delivery systems, such as the ones used in chemotherapy, without the pharmacologically active agent. Many of the chemotherapeutic formulations currently in use are reported to cause profound discomfort in patients [1–3]. A closer look at the published reports reveals that the side effects have been observed in a variety of clinically used formulations [1–3]. A recently published study investigated the incidence of a well-characterized side effect, palmar-plantar erythrodysesthesia, in cases where one particular carrier system was used [4]. The authors found that the incidence of palmar-plantar erythrodysesthesia increased when a newly developed carrier system was employed [4]. The suggestion that the side effects are elicited by a specific drug delivery system instead of the chemotherapeutic agent is new [4]. In an attempt to minimize such side effects, suitable methods to assay their effects on a readily available test system are warranted.

Inexpensive method to compare carrier systems | In a collaborative effort with Beuth University of Applied Sciences, we used the differential sensitivity of the metabolism of HeLa and HCT116 cells after contact with cytotoxic agents to test for the effects of plain drug delivery systems on these two cell lines. In order to do this, we prepared particles ranging in diameter from 200 to 500 nm using biodegradable materials from the cosmetic industry [5]. The materials that were generated consisted of an aqueous phase, emulsifiers (lecithin and polysorbate 80) and either soybean or cocoa bean oils. Our tissue culture assays revealed that soybean oil based plain carrier systems reduced the metabolic activity of HeLa and HCT116 cells, whereas the corresponding cocoa bean oil based formulation had virtually no effect on the metabolic activity of the cells tested. Furthermore, our results revealed that the metabolism of HeLa cells was more susceptible to the effects of soybean oil based plain carrier systems than to the corresponding cocoa bean oil based formulation [6, 7]. This is a reversal of the reported differential sensitivity of the metabolism of HeLa and HCT116 cells after contact with cytotoxic agents [6, 7].

Usage of this internally validated method | The internal validation of our newly presented method for comparing carrier systems is demonstrated in a reversed metabolic sensitivity of HeLa and HCT116 cells to either blank or pharmaceutically active component-loaded carrier systems [6, 7]. Further refinements of this new method are needed. Nevertheless, we suggest that this new technique be used to test for the effects of blank and loaded drug delivery systems on living cells to minimize the discomfort caused by the side effects of chemotherapeutic approaches.

Kontakt Contact



Dr. Christian Schmidt

Telefon +49 331 568-1456

Fax +49 331 568-33 1321

christian.schmidt@iap.fraunhofer.de

Dr. Joachim Storsberg

Telefon +49 331 568-1321

Fax +49 331 568-33 1321

joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de

Kooperation Collaboration

– Prof. Dr. Mont Kumpugdee Vollrath,
Beuth Hochschule für Technik Berlin

– Prof. Dr. Jochen Pfeifer,
Beuth Hochschule für Technik Berlin

PILOTANLAGEN- ZENTRUM SCHKOPAU PILOT PLANT CENTER SCHKOPAU

- 92** **Polymertechnologie im Pilotanlagenzentrum**
Polymer technology at the Pilot Plant Center
- 96** **Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 98** **Neues Aufbereitungsverfahren für Kautschuklösungen**
New polymer isolation process for rubber solutions
- 100** **Hybridspritzguss mit endlosfaserverstärkten Thermoplasten**
Hybrid injection molding with continuous fiber-reinforced thermoplastics



pioneers in polymers



POLYMERTECHNOLOGIE IM PILOTANLAGENZENTRUM

Das Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ in Schkopau – eine gemeinsame Initiative der Fraunhofer-Institute IAP und IWM – bearbeitet schwerpunktmäßig Fragen der Maßstabsvergrößerung von Polymersynthese- und Verarbeitungsprozessen. Sowohl die technischen Möglichkeiten als auch die Bündelung der Kompetenzen auf beiden Fachgebieten sind Alleinstellungsmerkmale des Pilotanlagenzentrums am FuE-Markt. Am Fraunhofer PAZ werden neue Produkte und innovative Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette entwickelt – vom Monomer über die Synthese und Verarbeitung von Polymeren bis hin zum geprüften Bauteil nach Maß. Dabei sind Polymersynthese und -verarbeitung eng miteinander verzahnt.

Entwicklung des Fraunhofer Pilotanlagenzentrums PAZ

Das Fraunhofer PAZ ist, wie die große Anzahl der bislang bearbeiteten Projekte belegt, eine etablierte Forschungseinrichtung, die von der kunststoffherzeugenden und -verarbeitenden Industrie angenommen wird. Dies ist zum einen auf die Bündelung von Synthese und Verarbeitung und zum anderen auch auf die breite technologische Aufstellung der Anlagen zurückzuführen, mit der eine Vielzahl der technisch wichtigen Verfahren im Pilotmaßstab äußerst flexibel abgebildet werden können.

Die Belegschaft wurde in den vergangenen Jahren vor allem im technischen und ingenieurwissenschaftlichen Bereich verstärkt, so dass heute auch stark technisch geprägte Forschungs- und Entwicklungsleistungen angeboten werden können. Im Bereich Synthese gibt es den Trend, dass neben der Übertragung neuartiger Polymersysteme in den Pilotmaßstab und der Mustermengensynthese auch mehr und mehr die Verfahrensentwicklung von Polyreaktionen am Pilotanlagenzentrum durchgeführt wird. In der Polymerverarbeitung nehmen Materialentwicklung und Optimierung der Verarbeitungsbedingungen einen hohen Stellenwert in der Projektbearbeitung ein.

Die Finanzierung der Forschungsarbeiten am Pilotanlagenzentrum nach dem Fraunhofer-Modell funktioniert und ist durch einen hohen Industrieanteil gekennzeichnet. Neben dem Ausbau der industriellen Auftragsforschung steht auch die Einwerbung von öffentlich finanzierten Projekten zur Generierung von Vorlauf und zur Erschließung und Vorbereitung neuer Arbeitsgebiete am Fraunhofer PAZ im Fokus.

Polymersynthesetechnikum

Hauptarbeitsgebiete im Polymersynthesetechnikum sind neben der Bereitstellung von Mustermengen bis in den Tonnenmaßstab für weitergehende Produkt- und Anwendungsentwicklungen auch die Übertragung von neuen Polymersynthesen aus dem Labor- in den Technikumsmaßstab sowie die Entwicklung und Optimierung einzelner Verfahrensstufen bis hin zur Entwicklung neuer Verfahren.

Ein wichtiger Schwerpunkt im Jahr 2014 waren mehrere Projekte im Bereich Polyester für einen internationalen Kunden. Die Projekte beinhalteten umfangreiche Modifikationen der, am Fraunhofer PAZ bestehenden, mehrstufigen kontinuierlichen Polyesterlinie. In zwei vollkontinuierlichen Kampagnen wurden über jeweils zehn Tage am Stück im Dreischichtbetrieb unterschiedliche Verfahrensparameter und deren Auswirkungen auf die resultierenden Produkte untersucht.



Weitere Kundenprojekte wurden auf den Gebiet Synthesekautschuk durchgeführt.

In einem sehr großen Kundenprojekt wurde 2014 erstmals die anionische Polymerisation im kontinuierlichen Verfahren am Fraunhofer PAZ durchgeführt. Neben den technisch-wissenschaftlichen Fragestellungen und den betrieblichen Spezifika des Dreischichtbetriebs stellen hier die resultierenden Mengen an Einsatzstoffen, deren Beschaffung, Lagerung und Reinigung sowie die Entsorgung von nicht benötigten Zwischen- und Endprodukten im Tonnenmaßstab besondere logistische Herausforderungen dar.

Weitere Kundenprojekte im Technikum wurden auf den Gebieten der koordinativen Kautschuksynthese und der Aufarbeitung von Kautschuklösungen durchgeführt.

Im Bereich der öffentlich geförderten Forschung wurde 2014 ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unterstütztes Projekt zur Steigerung der Energieeffizienz bei der Herstellung von Synthesekautschuk mit gutem Erfolg weitergeführt.

Ein weiteres, vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des VIP-Programms (Validierung des Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung) gefördertes Projekt, beschäftigt sich mit der Entwicklung und Maßstabsübertragung von Multiblockcopolymeren mit spezifischen Eigenschaftsprofilen. Die Arbeiten haben bereits zu einer Veröffentlichung in einem Fachjournal geführt.

Neben den genannten Projekten wurden auch eine Reihe weiterer Laborprojekte bearbeitet.

Polymerverarbeitung

Der polymerbasierte Leichtbau und die Entwicklung von Leichtbaustrategien auf Basis thermoplastischer Systemkomponenten stellen einen Schwerpunkt der Arbeitsgruppe Polymerverarbeitung dar. Untersucht werden integrative Fertigungsverfahren für Kombinationen aus endlos-, kurz- und langglasfaserverstärkten Materialien. Zudem werden Bauteile ausgelegt und entwickelt – von der Prototypenerstellung im originalen automobilen Maßstab bis hin zur Nullserie.

Als Leiter der Gruppe Polymerverarbeitung erhielt Prof. Dr. Peter Michel eine Professur für Kunststoffverarbeitung im Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften an der Hochschule Merseburg.

Unter seiner Leitung wurde die Anlagentechnik zur Herstellung von unidirektional endlosfaserverstärkten Tapes und lastgerecht ausgelegten Laminaten auf Basis von thermoplastischen Matrices am Standort Schkopau aufgebaut. Ziel ist es, mit diesen Materialsystemen den Bereich Leichtbau für Mobilitätsanwendungen weiter zu erschließen und die Zusammenarbeit mit der Automobil- und Luftfahrtindustrie zu stärken.

Die Investitionsbank des Landes Sachsen-Anhalt unterstützte die Aktivitäten im Bereich endlosfaserverstärkter Thermoplasthalbzeuge im Rahmen des Projekts EnFaLam.

POLYMER TECHNOLOGY AT THE PILOT PLANT CENTER

The Fraunhofer Pilot Plant Center for Polymer Synthesis and Processing PAZ in Schkopau is a joint initiative of the Fraunhofer Institutes IAP and IWM. It focuses its efforts on scaling-up polymer synthesis and processing methods. Both its technical capabilities and the bundling of competencies in these two fields constitute the Pilot Plant Center's unique selling point on the R&D market. At the Fraunhofer PAZ, new products and innovative technologies are developed along the entire value chain – from monomers, polymer synthesis and polymer processing, to testing made-to-measure components. In this context polymer synthesis and processing are closely intertwined.

Developing the Fraunhofer Pilot Plant Center PAZ

Today the Fraunhofer PAZ is an established research institute which has been embraced by the plastic production and processing industry. This is reflected in the large number of projects it has already completed and is the result of its bundling of synthesis and processing on the one hand, and the broad technological capabilities of its plants on the other. This allows numerous technically significant processes to be very flexibly reproduced on a pilot plant scale.

In the past few years the center's team has been strengthened in the areas of technology and engineering. This has enabled research and development services to be offered that have strong technical capabilities. In the field of synthesis, more and more process development of polymerization reactions is being carried out at the Pilot Plant Center in addition to scale-up and pilot-scale synthesis of new polymer systems. Projects in polymer processing focus on material development and process optimization.

Research work at the Pilot Plant Center is financed according to the Fraunhofer model and is characterized by a high proportion of funding from industry. In addition to expanding its industrial contract research, the Fraunhofer PAZ is focusing on acquiring publicly funded projects in order to generate first runs and to develop and prepare for new fields of activity.

The polymer synthesis plant

The main areas of activity of the polymer synthesis plant include providing sample quantities up to ton scale for the subsequent development of products and applications – in particular transferring new polymer syntheses from lab to pilot plant scale. It also focuses on the development and optimization of individual process stages as well as the development of new processes.

Various polyester projects for an international client formed an important focus of our activities in 2014. The projects consisted of extensive modifications to Fraunhofer PAZ's existing multi-stage continuous polyester line. Various processing parameters and their effects on the resulting products were investigated during two non-stop, triple-shift campaigns lasting ten days each.

Other customer projects were carried out in the area of synthetic rubber.

As part of a major customer project, anionic polymerization was processed on a continuous basis for the first time at the Fraunhofer PAZ in 2014. In addition to finding answers to technical and scientific questions and dealing with the specifics of a triple-shift operation, we faced special logistical challenges as a result of the amount of input material needed, its sourcing, storage and purification, and the disposal of unneeded intermediate and end products on a ton scale.

Other customer projects at the pilot plant center were conducted in the areas of coordinative rubber synthesis and rubber solution regeneration.

With regard to publicly funded research, we successfully continued our work in 2014 on a project supported by the Federal Ministry of Economics to increase energy efficiency in the production of synthetic rubber.

Another project funded by the Federal Ministry of Education and Research within the scope of the VIP program (Validation of Innovation Potential of Scientific Research) looked at the development and scale-up of multi-block copolymers with specific property profiles. The work has already led to a publication in a journal.

In addition to these projects, we also worked on a series of other lab projects.

Polymer processing

Polymer-based light weight engineering and the development of light-weight engineering strategies based on thermoplastic system components are the focus of the polymer processing working group. It investigates integrative manufacturing processes for combinations made of continuous, short and long fiber-reinforced materials. Components are also designed and developed – from the creation of prototypes on an original automotive scale on up to pilot production.

As the head of the polymer processing group, Prof. Dr. Peter Michel was granted a professorship for plastics processing in the Department of Engineering and Natural Sciences at Merseburg University of Applied Sciences.

Under his leadership, the team at the Schkopau site has developed plant technology to produce unidirectional continuous fiber-reinforced tapes and laminates with a load-specific design on the basis of thermoplastic matrices. The aim with these material systems is to further develop the area of light-weight engineering for mobility applications and to strengthen cooperation with the automotive and aviation industries.

The Development Bank of Saxony-Anhalt supported activities in the area of continuous fiber-reinforced semi-finished thermoplastic products as part of the EnFaLam project.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Leistungen

- Auftragsynthese: Herstellung von Klein- und Testchargen
- Austestung und Optimierung von Compoundier- und Verarbeitungsprozessen
- Entwicklung/Anpassung von Polymersystemen im Labormaßstab
- Entwicklung von Kunststoffcompounds
- Ermittlung der Materialstruktur und Korrelation mit den Eigenschaften
- Technologische Optimierung von Polymerisationsprozessen
- Übertragung von Syntheseprozessen vom Labor in den Technikumsmaßstab

Pilotanlage – Synthese

Ausrüstung

- Begasungs-/Hydrierreaktor
- Emulsionspolymerisation (batch und konti)
- Hochviskosetechnologie (Ein- und Doppelwellenkneeter, Scheibenreaktor)
- Kontinuierliche Polyesterlinie
- Lösungspolymerisation (batch und konti)
- Massepolymerisation (batch und konti)
- Suspensionspolymerisation

Designparameter der Synthesereaktoren

- Betriebsdruck: –1 bis 100 bar
- Betriebstemperatur: 5 bis 350 °C
- Durchsatz: 5 bis 100 kg/h
- Endviskositäten: bis 40 000 Pa·s
- Reaktorvolumina: 50 bis 1000 L

Pilotanlage – Verarbeitung

Ausrüstung

Extrusion

- Gleich- und gegenläufig drehende Doppelschneckenextruder
- Modularer Aufbau der Verfahrenseinheiten je nach Anwendung
- Hochtemperaturausrüstung bis 430 °C
- Durchsatz von 5 kg/h bis zu 400 kg/h
- Gravimetrische Dosieranlagen für unterschiedlichste Materialien
- Verschiedene Granuliersysteme
- Option: Schmelzepumpe
- Profilextrusion mit verschiedenen Geometrien mit Coextrusion
- Diverse Versuchswerkzeuge, z. B. Platten- und Hohlkammerplattenextrusion

Spritzguss

- Schließkräfte 2000 kN, 13 000 kN, 32 000 kN
- Schussgewichte 50 g bis 20 000 g
- Entnahme-Roboter
- Kernzug, Heißkanal, Kaskade, Betriebsdatenerfassung, Prozessanalyse

Polymercharakterisierung

- Endgruppenbestimmung
- GPC mit verschiedenen Eluenten (THF, DMF, HFIP, wässrig)
- Rheologie (inkl. Messung von Polymerlösungen)
- Teilchengrößenbestimmung (Laserbeugung)

APPLICATIONS AND SERVICES

Services

- characterization of material structure and correlation with properties
- contract synthesis: production of small lots and test batches
- development and adaptation of polymer systems in laboratory scale
- development of polymer compounds
- technological optimization of polymerization processes
- testing and optimization of compounding and processing methods
- transfer of polymer synthesis processes from lab to pilot scale

Polymer characterization

- end group titration
- partical size measurement (laser diffraction)
- rheological measurement (incl. polymer solution)
- SEC in different eluents (THF, DMF, HFIP, water systems)

Pilot plant – synthesis

Equipment

- continuous polyester line
- bulk polymerization (batch and conti)
- emulsion polymerization (batch and conti)
- gas-phase hydrogenation reactor
- high viscosity technology (single-screw and twin-screw kneader, rotating disc reactor)
- solution polymerization (batch and conti)
- suspension polymerization

Design parameters of synthesis reactors

- final viscosities: up to 40,000 Pa·s
- operating pressure: –1 to 100 bar
- operating temperature: 5 to 350 °C
- reactor volume: 50 to 1000 L
- throughput: 5 to 100 kg/h

Pilot plant – processing

Equipment

Extrusion

- co-and counter-rotating twin-screw extruders
- modular design of process units depending on the application
- high temperature equipment to 430 °C
- throughput of 5 kg/h up to 400 kg/h
- gravimetric dosing systems for a variety of materials
- various granulating systems
- optional: melt pump
- extrusion profile with different geometries with coextrusion
- various experimental tools, e. g. panels and hollow sheet extrusion

Injection molding

- closing force 2000 kN, 13,000 kN, 32,000 kN
- shot weights from 50 g to 20,000 g
- removal robot
- core, hot runner, cascade, data acquisition, process analysis

Kontakt Contact

Forschungsbereichsleiter
Pilotanlagenzentrum Schkopau
Division director
Pilot Plant Center Schkopau



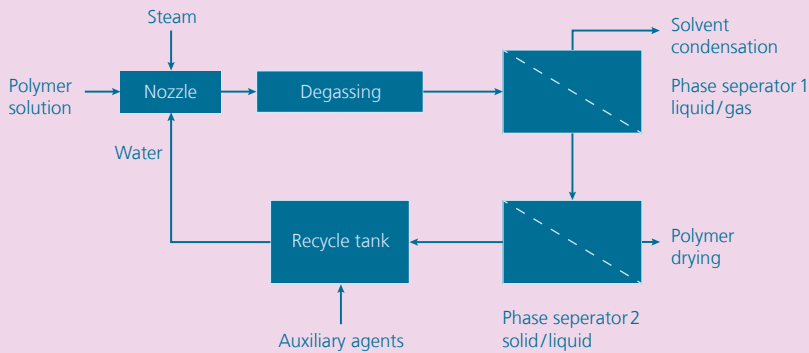
Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke
Telefon +49 3461 2598-120
Fax +49 3461 2598-105
michael.bartke@iap.fraunhofer.de

Synthese
Synthesis

Dr. Ulrich Wendler
Telefon +49 3461 2598-210
Fax +49 3461 2598-105
ulrich.wendler@iap.fraunhofer.de

Verarbeitung
Processing

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Michel
Telefon +49 345 5589-203
Fax +49 345 5589-101
peter.michel@iwmh.fraunhofer.de



1

1 Polymer isolation via stripping with short residence time.

2 Solid/liquid phase separator.

Neues Aufbereitungsverfahren für Kautschuklösungen

Synthesekautschuk ist ein wichtiges Arbeitsgebiet am Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum PAZ. Moderne Hochleistungs-Synthesekautschuke mit kontrollierter Mikrostruktur werden durch anionische oder koordinative Lösungspolymerisation hergestellt. In solchen Lösungsverfahren ist der maximale Polymergehalt durch die resultierende Viskosität der Lösung limitiert und beträgt 10 bis 20 Masseprozent. Der Polymerisation nachgeschaltet wird der Kautschuk vom Lösemittel abgetrennt, das Lösemittel wird gereinigt, in den Prozess zurückgeführt und der Kautschuk wird entgast und getrocknet. Aufgrund des limitierten Polymergehalts in der Lösung übersteigt der Massen-Fluss an rückgeführtem Lösemittel die Produktionskapazität an Synthesekautschuk um den Faktor 5 bis 10. Dies verdeutlicht die Bedeutung von Kautschukabtrennung und Lösemittelreinigung für Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Gesamtverfahrens.

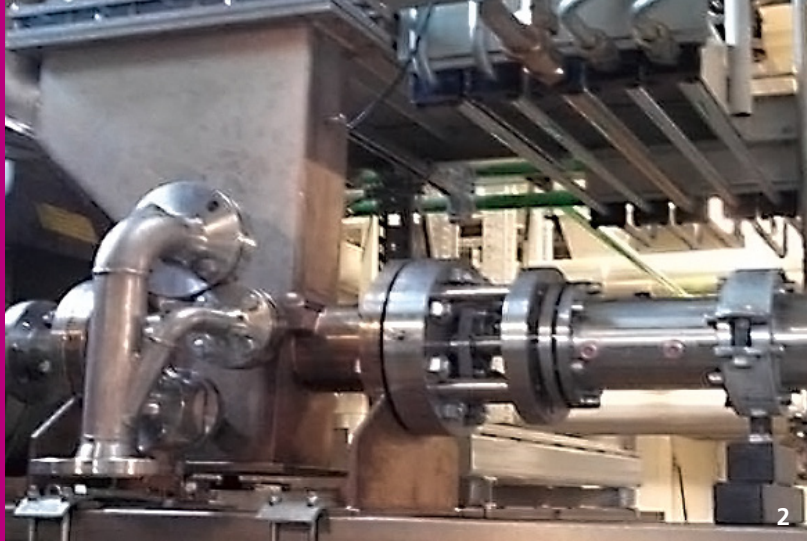
Der derzeitige industrielle Standard für die Abtrennung von Synthesekautschuk aus der Polymerlösung sind Koagulations-/Stripp-Verfahren. Die Polymerlösung wird in einer Düse mit Dampf und Kreislaufwasser kontaktiert, das Lösemittel wird verdampft und es werden Kautschuk-Krümel gebildet, die in Rührkessel-Apparaten bei Verweilzeiten von 30 bis 60 Minuten weiter entgast werden. Aufgrund von im Pilotmaßstab ungünstigen Verhältnissen von Krümelgröße zu Apparateabmessungen und der verhältnismäßig langen Verweilzeit der klebrigen Kautschuk-Krümel neigt das Verfahren zur Bildung von Agglomeraten/Belägen bis hin zu Verblockungen. Verfügbarkeit und Standzeit im Pilotmaßstab sind nach unseren Erfahrungen sehr begrenzt.

Aus diesen betrieblichen Befunden heraus ist am Fraunhofer PAZ ein neues, eigenes Verfahren entwickelt worden: ein Strippverfahren mit kurzer Verweilzeit. Die Kernidee besteht darin, sehr kleine Kautschuk-Krümel zu erzeugen, die in einer hochturbulenten Strömung im Vergleich zum konventionellen Verfahren in sehr viel kürzerer Verweilzeit entgasen.

Das Verfahren (Fig. 1) besteht aus einer Düse, in der die Kautschuk-Lösung mit Dampf und Kreislaufwasser in Kontakt gebracht wird, einer Verweilzeitstrecke und zwei Phasenseparatoren. In einem ersten Gas-Flüssig-Separator werden die Lösemitteldämpfe von der flüssigen Phase, die die Kautschuk-Krümmel enthält, abgetrennt. In dem folgenden Fest-Flüssig-Separator werden die Kautschuk-Krümmel von der Flüssigphase abgetrennt, die in den Prozess zurückgeführt wird.

Das Verfahren ist zum Patent angemeldet und bereits in einer Reihe von Kundenprojekten mit unterschiedlichen Produkten bis in den Tonnenmaßstab erfolgreich eingesetzt worden.

Kernvorteil ist die signifikant reduzierte Verweilzeit, aus der erheblich kleinere Apparateabmessungen, ein reduziertes Inventar, schnellere Produktwechsel und eine – zumindest aus unseren Erfahrungen im Pilotmaßstab – erheblich erhöhte Standzeit und bessere Verfügbarkeit im Vergleich zum konventionellen Verfahren resultieren.



New polymer isolation process for rubber solutions

Synthetic rubber is an important field of activity at the Fraunhofer Pilot Plant Center PAZ. Modern high-performance rubbers with controlled microstructures are produced either by anionic or coordinative solution polymerization. In such solution polymerization processes, the maximum polymer content in the solution is limited to between 10 and 20 weight percent by the resulting viscosity. Downstream from the polymerization process, the rubber is isolated from the solvent, the solvent is purified and fed back to the polymerization section, and the rubber is degassed and dried. Due to the limited polymer content in the polymer solution, the mass-flow of recycled solvent exceeds the rubber production capacity by a factor of 5 to 10. This illustrates the importance of the rubber isolation and solvent purification steps for the efficiency and cost-effectiveness of the overall process.

The current industrial standards for isolating synthetic rubber are coagulation/stripping processes. Polymer solution is contacted with steam and water in a nozzle; solvent is evaporated and sticky rubber crumbs are formed. These are further degassed in stirred-tank apparatuses with residence times ranging from 30 to 60 minutes. Due to unfavorable ratios of crumb-to-equipment sizes and the relatively long residence time of sticky rubber crumbs, the process tends to form agglomerates, fouling and even blockages. Our experience has shown that operational availability is quite limited on the pilot-scale.

Based on these operational findings, a new proprietary process has been developed by Fraunhofer PAZ: a stripping process with a short residence time. The key idea is to generate small rubber crumbs, which degas in a highly turbulent flow and have a much shorter residence time compared to conventional coagulation/stripping processes.

The process (Fig. 1) consists of a nozzle, where rubber-solution is contacted with steam and circulating water, a residence-time section, and two phase separators. In the first gas-liquid separator, the solvent vapors are separated from the liquid phase containing rubber crumbs; in a subsequent solid-liquid separator, the rubber crumbs are separated from the circulating liquid phase.

A patent has been filed and the process has already been successfully applied in a number of customer projects with different products on a ton scale.

The key advantage of this process is the significantly reduced residence time which results in considerably smaller equipment, a reduced hold-up, faster transitions and – at least according to our experience on the pilot-scale – a much better operational availability compared to the traditional coagulation/stripping process.

Kontakt Contact



Dipl.-Ing. Marcus Vater

Telefon +49 3461 2598-230

Fax +49 3461 2598-105

marcus.vater@iap.fraunhofer.de

Dr. Ulrich Wendler

Telefon +49 3461 2598-210

Fax +49 3461 2598-105

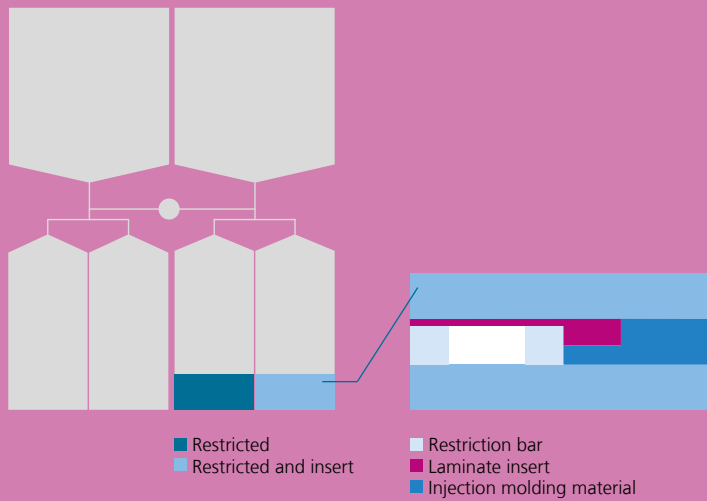
ulrich.wendler@iap.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke

Telefon +49 3461 2598-120

Fax +49 3461 2598-105

michael.bartke@iap.fraunhofer.de



1 Test mold.

2 Interfacial shear strengths of PPIGF hybrid structures in correlation to the injection molding parameters.

Hybridspritzguss mit endlosfaserverstärkten Thermoplasten

Multidirektionale Thermoplast-Lamine im Spritzgussprozess

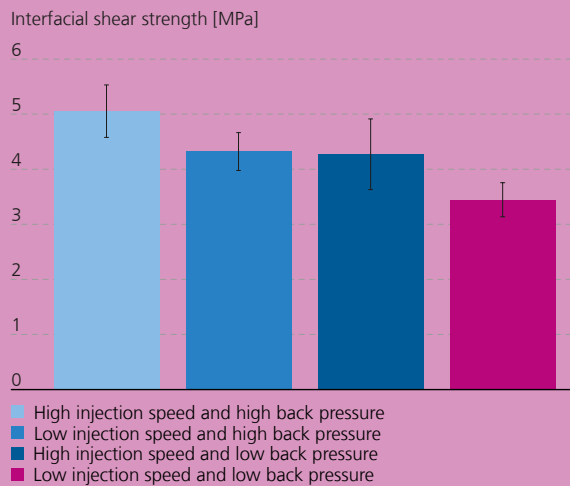
Kunststoffbasierte Hybridstrukturen, die mit anwendungsspezifischen Thermoplast-Laminaten im Spritzgussprozess hergestellt werden, weisen ein besonders hohes Leichtbau-Potenzial auf. Die besonderen Eigenschaften dieser multidirektionalen Lamine ergeben sich hierbei durch die lastgerechte Auslegung der Faserorientierung, wodurch die im Einsatz auftretenden Spannungen optimal aufgenommen werden können. Die Basis hierfür liefern unidirektional-faserverstärkte Halbzeuge (UD-Tapes), die entsprechend der benötigten Faserorientierung miteinander laminiert werden. Im nächsten Schritt erfolgt die verfahrenstechnische Integration in den Spritzgussprozess, die eine wirtschaftliche Umsetzung dieses Leichtbaukonzepts ermöglicht. Hierbei werden die Lamine durch einen integrierten Umformprozess an die Bauteilgeometrie angepasst und anschließend funktionalisiert. Das Ergebnis des Prozesses sind Hybridstrukturen, die hohe und anforderungsgerechte Flächensteifigkeiten und Festigkeiten besitzen [1].

Charakterisierung von Material- und Verfahreseinflüssen

Neben dem Laminataufbau werden die resultierenden Eigenschaften insbesondere durch die verwendeten Polymere und Fasern sowie durch die Verfahrensparameter bei der Verarbeitung beeinflusst. Eine wesentliche Kenngröße für die Leistungsfähigkeit von Hybridbauteilen ist hierbei die Grenzflächenhaftung zwischen Laminat und Spritzgussmaterial. Nur bei einer guten Anbindung erfolgt der maximale Verstärkungseffekt. Entsprechende Untersuchungen zum Material- und Verfahreseinfluss auf die resultierenden Eigenschaften von Hybridstrukturen wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts systematisch durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, dass eine möglichst hohe Einspritzgeschwindigkeit sowie ein möglichst hoher Nachdruck und damit ein hoher Anpressdruck der Schmelze zu einer höheren Zugscherfestigkeit und somit zu einer besseren Anbindung des Spritzgussmaterials führen (Fig. 1, 2). Entsprechende Erkenntnisse ermöglichen die Umsetzung von werkstofflichem und konstruktivem Leichtbau für neue Anwendungen mit hoher Bauteilkomplexität.

Literatur Literature

[1] H. Schürmann: *Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden*, 2. Auflage, Springer-Verlag (2007)



2

Hybrid injection molding with continuous fiber-reinforced thermoplastics

Integrating multidirectional thermoplastic laminates into the injection molding process. Polymer-based hybrid structures that are produced with application-specific thermoplastic laminates through injection molding combine outstanding lightweight potential with production efficiency. The specific mechanical properties of the multidirectional thermoplastic laminates are produced through a load-specific design of the fiber orientation which perfectly absorbs the tension in the hybrid structure. The basic element of this approach are unidirectional fiber-reinforced thermoplastic sheets (UD tapes) that are laminated according to the required fiber orientation. The laminates are then integrated into an injection molding process to ensure cost-effective production of the desired structures. During this process, the laminates are thermoformed and functionalized according to the desired geometry of the final product. This process results in hybrid structures with high stiffness and strength [1].

Characterizing material properties and processing effects

The final properties of the hybrid structures strongly depend on the polymers and fibers used, as well as on the processing parameters. A key parameter for structural performance is the interfacial strength of the integrated laminate and the injection molding material since the desired stiffness and strength can only be gained through good bonding. Accordingly, the Fraunhofer PAZ has systematically investigated the impact of the processing parameters on the structural properties. These investigations found that high injection speed and post pressure affect high interfacial shear strengths and, consequently, high bonding between the laminate and the injection molding material (Fig. 1, 2). These findings support the processing of complex lightweight structures with optimized mechanical properties.

Kontakt Contact



Prof. Dr.-Ing. Peter Michel

Telefon +49 345 5589-203

Fax +49 345 5589-101

peter.michel@iwmh.fraunhofer.de

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Patrick Zierdt

Telefon +49 345 5589-264

Fax +49 345 5589-101

patrick.zierdt@iwmh.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Investitionsbank Sachsen-Anhalt,
Projekt OB-Hybrid, Zuwendungs-
bescheid-Nr. 1104/00053

FAKTEN, EREIGNISSE, PUBLIKATIONEN

FACTS, EVENTS, PUBLICATIONS

- 104 Rückblick 2014**
Review 2014
- 106 Methoden und Ausstattung**
Methods and equipment
- 112 Zusammenarbeit**
Collaboration
- 117 Ereignisse**
Events
- 120 Publikationen**
Publications
- 135 Patente**
Patents
- 137 Anfahrt**
How to reach us
- 138 Standorte**
Locations

□ pioneers in polymers



RÜCKBLICK 2014

REVIEW 2014



Vertragsunterzeichnung mit NDF Special Light Products B.V. zur Entwicklung von Quantum Dot Folien, Potsdam-Golm, 13.3.2014



Brasilianische Delegation – Processed Plastics Network, Potsdam-Golm, 19.11.2014



6. Biopolymer-Kolloquium, Berlin, 23.1.2014



14. Schwarzeider Kunststoffkolloquium, Schwarzeide, 16–17.9.2014



Iranische Delegation, Potsdam-Golm, 2.12.2014



Tag der offenen Türen, Wissenschaftspark Potsdam-Golm, 6.9.2014



Internationale Grüne Woche, Berlin, 17.–26.1.2014



Fakuma 2014, Friedrichshafen, 14.–18.10.2014



Studentendelegation der Vereinigten Arabischen Emirate, Potsdam-Golm, 14.8.2014



Fraunhofer Joint Workshop, 6.2.2014



Institutskolloquium mit Prof. Peter M. Budd der University of Manchester, Potsdam-Golm, 5.3.2014



Rundgang zum Tag der offenen Türen, Potsdam-Golm, 6.9.2014



Japanese-European Workshop, Berlin, Potsdam-Golm, 14–16.10.2014



Erster Spatenstich für das Fraunhofer-Konferenzzentrum, Potsdam-Golm, 6.9.2014



Medtec Europe 2014, Stuttgart, 3.–5.6.2014



Dreharbeiten des rbb, Potsdam-Golm, 5.2.2014



Rundgang zum Tag der offenen Türen, Potsdam-Golm, 6.9.2014



Institutskolloquium mit Prof. Derek Gray, MacGill University, Montreal, Potsdam-Golm, 24.1.2014



Brasilianische Delegation – Processed Plastics Network, Potsdam-Golm, 19.11.2014



Studenten der Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin, Potsdam-Golm, 18.6.2014



Workshop »Biotechnologische Prozessentwicklung und Scale-up«, Potsdam-Golm, 19.3.2014

METHODEN UND AUSSTATTUNG

METHODS AND EQUIPMENT

Polymersynthese – Polymerverarbeitung

Biotechnikum, S1

- Fermentationsanlage
 - 2 L, 15 L, 100 L-Fermenter
- Massenspektrometer zur Gasüberwachung
- Hochdruckhomogenisator
- Tellerseparator
- Technikums- und Ultrazentrifuge
- Ultrafiltrationsanlage
- Rotationsverdampfer 10 L
- Gefriertrocknungsanlage 10 L
- Präparativer Hochleistungs-Flüssig-Chromatograph
- Heißluft-Sterilisator
- Autoklaven 120 L
- Mikrobiologische Sicherheitswerkbänke
- Stand- und Schüttelinkubatoren
- Kühlraum

Extruder und Zubehör

- Konischer Doppelschneckenextruder für Kleinstmengen ab 7 cm³
- Einschneckenextruder, Schneckendurchmesser: 20 mm und 30 mm
- Flexibel konfigurierbare Doppelschneckenextruder, Schneckendurchmesser: 12 mm, 18 mm und 25 mm, Verfahrenslänge: bis 50 D, mit gravimetrischen Dosiereinheiten
- Werkzeuge für Ein- und Mehrschicht-Flachfolien
- Physikalische Verschäumungseinheit Optifoam
- Labor-Blasfolien-Anlage
- Monoaxiale Labor-Reckanlage

Oberflächen, Filme und Membranen

- Kalt-aktives Plasmagerät
- Atmosphärendruckplasmagerät mit Gasmischeinheit
- Labor-Plasmareaktoren
- Pilot-Plasmaanlage
- Plasmaanlage für Bahnware
- Excimer-Strahler
- Corona-Treater
- Derivatisierungskammer
- Metallisierungsgeräte
- Atomlagenabscheidung (ALD)
- Spin Coater
- Easycoater
- Rotary Coater
- Sprühcoater
- automatisches Filmziehgerät
- Membranziehmaschine für Flachmembranen

Pilotanlagenzentrum PAZ

- Suspensionslinie
- Emulsionslinie (batch und konti)
- Massepolymerisationslinie (batch und konti)
- Hochviskostechnik I Knetter
- Hochviskostechnik II Scheibenreaktor
- Lösungspolymerisation (batch und konti)
- Rührkesselkaskade
- Begasungsreaktor bis 100 bar, 300 °C
- Sprühtrockner
- Bandtrockner
- Fließbettrockner
- Gleichlaufende parallele Doppelschneckenextruder unterschiedlicher Größe
- Injection Molding Compounder KM 1300–14000IMC (Schließkraft 1300 Tonnen)
- Spritzgießmaschine KM 200 (Schließkraft 200 Tonnen)

Pilotanlage PLA-Synthese

- Rektifikationskolonne
- Schmelzekristallisator
- Kleintechnische Reaktorsysteme
- Dünnschichtverdampfer
- Mini-Compounder

Pilotlinie für organische elektronische Bauelemente

- Inkjet-Drucker
- Schlitzdüsendrucker
- Aufdampfanlage (thermisch und Elektronenstrahl)
- Sputteranlage
- Atomic Layer Deposition (ALD)
- UV-Reinigung
- UV-Pressen

Probenaufarbeitung

- Labor- und Technikumszentrifugen
- Ultrazentrifugen
- Ultrafiltrationsanlagen
- Hochdruckhomogenisator
- Ultraschallhomogenisator
- Bead Beater-Homogenisator
- Gefriertrocknungsanlagen
- Sprühtrockner
- Wirbelschichtrockner
- Kugel-, Schneid-, Zentrifugalmühlen
- Kryo-Schwingmühle
- Kolloidmühle
- Labormixer für Pulver
- TURBULA® Mischer
- Dispergiergerät
- Siebmaschinen
- Jet-Kocher
- Lösungsaggregate für Volumen von 3 bis 10 kg
- Plattenpressen bis 300 × 300 mm² Pressfläche
- Thermoform und Skin-Pack-Gerät
- Thermische Gradientenbank

Prozessanalyse

- Reaktionskalorimeter RC1 mit RTCal
- ReactIR für in situ FTIR-Spektroskopie
- In-line Mikroskopie von Partikelgrößen (PVM) mit CCD-Kamera
- In-line Partikelgrößenanalytik mit FBRM

Reaktoren und Knetter

- Laborreaktoren 0,05–50 L
- Laborautoklaven 1–5 L
- Explosionsgeschützter 50 L-Reaktor
- Glas/Metall Druckreaktorsysteme
- Automatische Reaktorsysteme LabMax
- Mikrowellenreaktor
- Mikrowellengerät
- Laborfermenter
- Laborknetter und -zerfaserer
- Pflugschar-Mischer
- Messknetter

Spinnanlagen

- Technikums-Viskose-Anlage nach Blaschke
- Nassspinnanlagen
- Lyocell-Laborspinnanlage
- Schmelzspinnstester für Nonwovens und Fasern
- Fourné Labor-Bikomponenten-Schmelzspinnanlage

Polymeranalytik und Charakterisierung

Spritzgießen

- Kolben-Spritzgießgerät für Kleinstmengen
- Spritzgießautomaten mit 220 kN und 350 kN Schließkraft
- Spritzgießwerkzeuge für Thermoplaste und Duromere

Verarbeitungstechnikum Biopolymere

- Gleichlaufender Doppelschneckenextruder
- Dosieranlagen unterschiedlicher Größe
- Blasfolienanlage
- 3-Schicht-Flachfolienanlage
- Spritzgießautomat (Schließkraft 55 Tonnen)
- Extrusionsblasformanlage (2-Schicht)
- Thermoformanlage
- 3D-Drucker, Fused Deposition Modeling
- Diverse Klima-, Trocken-, Zerkleinerungs- und Mischtechnik
- Feuchtemessung
- Pendelschlagprüfgerät
- MFR-Messung
- Shorehärte-Prüfgerät
- Universal Zugprüfmaschine
- Viskosimetrie
- Differential Scanning Calorimetrie (DSC)
- Rheometer

Chromatographie und Lösungscharakterisierung

- Gel-Permeations-Chromatographen mit Multidetektion (VISCO, MALLS, UV, RI), analytisch
- Dichlormethan
- Dimethylformamid/LiBr
- Hexafluorisopropanol/Na-Trifluoroacetat
- dn/dc-Bestimmung
- Hochleistungs-Flüssig-Chromatograph mit DAD-Detektor
- Hochleistungs-Flüssig-Chromatographen mit Massenspektrometer
- Gaschromatograph mit Massenspektrometer
- Combustion Ionenchromatograph
- Titrator
- Tensiometer

DNA- und Proteinanalytik

- Thermocycler
- Real-Time Thermocycler
- Geldokumentationsanlage mit multipler Detektion
- Gelelektrophorese und Blotting-Systeme
- Isoelektrische Fokussierung
- Mikroplattenleser (Absorption, Fluoreszenz)
- Hochleistungs-Flüssig-Chromatograph mit UV- und Leitfähigkeit-Detektion

Lasertechnik

- Ar⁺-Laser (365 nm, 457 nm, 476 nm, 488 nm, 514 nm)
- Festkörperlaser (532 nm)
- Gewinn/Verlust-Wellenleiter-Messplatz: VBL (Variable StripeLength) und SES (Shifting Excitation Spot) Methode
- HeNe-Laser (633 nm)
- Holographie-Aufbau mit Ar⁺-Laser, 364 nm
- Holographische Aufbauten mit Ar⁺-Lasern, 488 nm, in situ-Kontrolle der Beugungseffizienz
- Kr⁺-Laser (647 nm, 674 nm)
- Laser Messplatz: 2 DPSS gepulste Nd: YAG Laser (frequency-doubled und tripled 532 nm und 355 nm, 0,5 ns), Detektion mit Jobin Ivon iHR 320 CCD-Spektrometer (spektrale Auflösung 0,1 nm)
- Messplätze zur laserinduzierten Anisotropie mit online-Messung der Phasenverschiebung und des Dichroismus

Materialkenndaten

- Dynamisches Scanning-Kalorimeter (DSC)
- Thermoanalyse (TGA)
- Partikelgrößenmessgeräte
- Zetapotenzial-Analysengeräte
- Trübungsphotometer
- Digitales Biegeschwinger-Dichtemessgerät
- Polarimeter
- Mechanisches Prüflabor mit Universal-Zugprüfmaschine, Kerbschlaggerät, Dauerbiegeprüfgerät, Fasernassscheuerprüfgerät, Härteprüfgerät, Dickenmessgerät, Vibroskop zur Bestimmung der Feinheit von Fasern
- Schmelzindexprüfgerät
- Permeationsmessstände für Gase und Flüssigkeiten
- Porometer für durchgängige Poren im Bereich 500 bis < 0.02 µm
- Geräte zur Bestimmung der Materialfeuchte von Granulat
- Infrarot-Feuchtemessgerät
- Dichtebestimmung von Festkörpern und Flüssigkeiten
- Helium-Pycnometer zur Dichtebestimmung
- Ladungsträgerbeweglichkeit
- OLED-Lebensdauerprüfung
- Suntester
- Optical-Calcium-Test
- Membrantestanlage für Gase

METHODEN UND AUSSTATTUNG

METHODS AND EQUIPMENT

Mikro- und zellbiologische Testverfahren

- Autoklaven
- Sicherheitswerkbänke Klasse II mit drei Filtern
- Inkubatoren, Schüttelinkubator
- Zentrifugen, Ultrazentrifugen
- Hochleistungs-Thermocycler
- Casy Zellzähler
- Mikroplatten-Lesegerät für ELISA assays
- Spektrophotometer
- Stereomikroskop mit digitaler Kamera
- Inverses Fluoreszenzmikroskop
- Konfokales Laserscanning Mikroskop

Morphologie und Strukturaufklärung

- Rasterelektronenmikroskop inkl. Röntgenmikroanalyse (EDX) und Rückstreuелектронendetektor, Ausrüstung für Kryopräparation feuchter Proben
- Transmissionselektronenmikroskop; Ultradünnschnitttechnik, Kryomikrotomie, Abdrucktechniken
- Lichtmikroskope mit Video- und Bildanalysetechnik
- Röntengeräte für Weitwinkel- (WAXS) und Kleinwinkelstreuung (SAXS)
- Quecksilberporosimetrie
- Volumetrische Gasadsorption (BET)
- Dynamische Wasserdampfadsorption

Oberflächenanalyse

- Röntgenphotoelektronen-Spektrometer (XPS)
- Kontaktwinkelgoniometer
- Digitales Refraktometer
- Digitales Mikroskop
- Fluoreszenzmarkierung
- Infrarotspektroskopie (ATR, IRRAS)
- Rastersondenmikroskopie
- Atomic Force Microscopy (AFM)

Rheologie

- Rotationsviskosimeter
- Verdünnungviskosimeter
- Oszillationsrheometer
- Rheometer-Hochdruckmesszelle für Lösungsviskosität bis 160 °C
- Gefrierpunkt-Osmometer
- Automatische Kapillar-Viskosimeter für Lösungsviskosität

Spektroskopie

- Hochauflösendes NMR-Spektrometer für Flüssigkeiten
- Hochauflösendes NMR-Spektrometer für Festkörper
- UV-VIS-Spektrometer
- UV-VIS-NIR Spektralphotometer mit Ulbricht-Kugel
- FTIR-Spektrometer
- ATR-FTIR Spektrometer
- FT-Raman-Spektrometer
- Fluoreszenz-Spektrometer
- High performance Fluoreszenz-Spektrometer
- CCD-Spektrometer
- Röntgenphotoelektronen-Spektrometer (XPS)
- Massenspektrometer
- ICP Optisches Emissionsspektrometer
- Oberflächen-Plasmon-Resonanz-Spektrometer
- UV/VIS Mikroskop-Spektrometer
- Hamamatsu Spektrometer zur Messung der Quanteneffizienz
- dielektrische Spektroskopie
- Ellipsometer

Ausführliche Informationen zu unserem umfangreichen Analytikangebot finden Sie unter:

www.polymer-analytik.de

Polymer synthesis – Polymer processing

Biotechnology pilot plant, S1

- fermentation plant
 - 2 L-, 15 L-, 100 L-fermenter
 - mass spectrometer for gas detection
- high pressure homogeniser
- disc separator
- pilot plant and ultra centrifuge
- ultrafiltration device
- rotary evaporator 10 L
- freeze dryer 10 L
- preparative high performance liquid chromatograph
- hot air sterilizer
- autoclaves 120 L
- microbiological safety work benches
- shaking and non-shaking incubators
- cold room

Extruder and equipment

- conical twin screw extruder for compounding of small volume (7 cm³) samples
- single screw extruders, screw diameters: 20 mm and 30 mm
- flexible configurable twin screw extruders, screw diameters: 18 mm and 25 mm, processing length: up to 50 D, equipped with gravimetric feeders
- tools for monolayer or 3-layer flat films
- physical foaming equipment Optifoam
- laboratory blown film line
- monoaxial laboratory stretching unit

Injection molding

- piston injection molding machine for small amounts
- injection molding machines with 220 kN and 350 kN clamping force
- injection molding tools and injection units for thermoplastics and duromers

Pilot line for organic electronics

- inkjet printer
- slot die coater
- evaporation chamber with thermal and e-beam evaporation
- sputter facility
- atomic layer deposition (ALD)
- UV cleaning
- UV press

Pilot Plant Center PAZ

- suspension line
- emulsion line (batch and conti)
- bulk polymerization (batch and conti)
- high-viscosity technology I kneader
- high-viscosity technology II disc reactor
- solution polymerization (batch and conti)
- stirring vessel cascade
- gassing reactor to 100 bar, 300 °C
- spray dryer
- band dryer
- fluid-bed dryer
- co-rotating twin-screw extruders
- injection molding compounder KM 1300 – 14,000 IMC (clamping force 1300 tonnes)
- injection molding machine KM200 (clamping force 200 tonnes)

Pilot plant PLA synthesis

- rectification column
- melt-crystallizer
- pilot plant scale tank reactors
- thin film evaporator
- mini-compounder

Process analysis

- reaction calorimeter RC1 with RTCal
- ReactIR for in-situ FTIR-spectroscopy
- in-line particle size microscopy (PVM) with CCD camera
- in-line particle size measurement with FBRM

Processing pilot plant biopolymers

- co-rotating twin screw extruder
- metering systems of different sizes
- blown film line
- 3 cast film line
- injection molding machine (clamping force 55 tons)
- extrusion blow molding machine
- blow moulding machine
- thermoform machine
- 3D printer, fused deposition modeling
- diverse technology for climate, drying, crushing and mixing
- moisture-tester
- pendulum impact tester
- Mflow
- shore hardness tester
- material testing Z010
- viscometry CT 72/2 SI-analytics
- DSC analysis
- rheometer MCR 102

Reactors and kneaders

- laboratory reactors 0.05–50 L
- laboratory autoclaves 1–5 L
- explosion-proof 50 L reactor
- laboratory pressure reactor systems
- LabMax process development workstations
- microwave reactor
- microwave system
- laboratory fermenter
- laboratory kneader and defibrator
- ploughshare batch mixer
- measuring kneader

Sample reprocessing

- laboratory and pilot plant centrifuges
- ultracentrifuges
- ultrafiltration system
- high pressure homogenizers
- ultrasonic homogenizer
- bead beater homogenizer
- freeze dryers
- spray dryer
- fluidized bed dryer
- ball, cutting and ultracentrifugal mills
- cryo mill
- colloid mill
- laboratory mixer for powder
- TURBULA® mixer
- disperser
- screening machines
- jet cooker
- dissolving aggregates for volumes of 3 to 10 kg
- platen presses up to 300 × 300 mm² press area
- thermoforming and skin pack equipment
- film formation bank

METHODEN UND AUSSTATTUNG

METHODS AND EQUIPMENT

Polymer analysis and characterization

Spinning lines

- viscose pilot plant by Blaschke
- wet spinning line
- lyocell-laboratory spinning system
- melt spintester for nonwovens and fibers
- Fourné laboratory bicomponent melt spinning line

Surfaces, films and membranes

- cold active plasma device
- atmosphere plasma device with gas mixing unit
- lab-scale plasma reactors
- pilot-scale plasma reactors
- plasma reactors for web material
- excimer lamp
- corona treater
- derivatization chamber
- metalliation equipment
- atomic layer deposition (ALD)
- spin coater
- easycoater including slot die, knife coating and screen printing
- rotary coater
- spray coater
- automatic film applicator coater
- flat sheet membrane casting machine

Chromatography and solution characterization

- gel-permeations-chromatographs with multi-detection (VISCO, MALLS, UV, RI), analytical
 - Dichloromethane
 - Dimethylformamide/LiBr
 - Hexafluorisopropanol/Na-Trifluoroacetat
- combustion ion chromatograph
- dn/dc-determination
- high performance liquid chromatograph with DAD-detector
- high performance liquid chromatographs with mass spectrometer
- gas chromatograph with mass spectrometer
- titrator
- tensiometer

DNA and protein analysis

- thermocycler
- real-time thermocycler
- geldocumentation system with multiple detection
- gelelectrophoresis and blotting systems
- isoelectric focussing
- micro plate reader (absorbance, fluorescence)
- high performance liquid chromatograph with UV and conductivity detection

Laser technology

- Ar⁺ laser (365 nm, 457 nm, 476 nm, 488 nm, 514 nm)
- solid state laser (532 nm)
- profit/loss-optic measuring system: VBL (Variable Stripe-Length) and SES (Shifting-Excitation Spot) method
- HeNe laser (633 nm)
- holographic structure with Ar⁺ laser, 364 nm
- holographic setups with Ar⁺ laser, 488 nm, in situ-monitoring of diffraction efficiency
- Kr⁺ laser (647 nm, 674 nm)
- lasing measuring station: 2 DPSS pulsed Nd:YAG laser (frequency-doubled and tripled 532 nm and 355 nm, 0.5 ns), detection with Jobin Ivon iHR 320 CCD spectrometer (spectral resolution 0.1 nm)
- measuring stations for laser-induced anisotropy with online measurement of the phase shift and the dichroism

Material characteristics

- dynamic scanning calorimeter
- thermogravimetric analysis
- particle size analyzers
- zetapotential analyzers
- turbidity photometer
- digital oscillating U-tube density meter
- polarimeter
- mechanical test laboratory with universal tensile testing machine, impact tester, bending endurance tester, wet fiber abrasion machine, hardness gauge tester, thickness gauge tester, vibroskop for determination of fineness of fibers
- melt flow index tester
- gas and liquid permeation analyzers
- capillary flow porometer
- moisture meter for plastics
- halogen moisture meter
- system for density determination of solids and liquids
- helium gas pycnometer
- charge mobility
- OLED lifetime testing
- suntester
- optical calcium test
- gas permeability tester

Micro and cell biological test procedure

- autoclaves
- 3-filter class II microbiological safety cabinets
- incubators, shaker incubator
- centrifuges, ultracentrifuge
- ultra high-performance thermal cycler
- easy cell counter
- microplate reader for ELISA assays
- spectrophotometer
- stereo microscope with digital camera
- inverted fluorescence microscope
- confocal laser scanning microscope

Morphology and structure elucidation

- scanning electron microscope including X-ray microanalysis (EDX) and detector for back-scattered electrons, devices for cryopreparation of moist samples
- transmission electron microscope; ultra-thin cut technology, cryo-microtomy, replica technology
- optical microscopes with video- and image analysis technology
- X-ray equipment for wide angle (WAXS) and for small angle (SAXS) x-ray scattering
- mercury porosimetry
- volumetric gas adsorption (BET)
- dynamic vapour sorption

Rheology

- rotational viscometer
- dilution viscometer
- oscillation rheometer
- rheometer high pressure cell modules for solution viscosity up to 160 °C
- freezing point osmometer
- capillary viscometer for solution viscosity

Spectroscopy

- high resolution NMR spectrometer for liquid state analysis
- high resolution NMR spectrometer for solid states analysis
- UV-VIS spectrometer
- UV-VIS-NIR spectrophotometer with integration sphere
- FTIR spectrometer
- ATR-FTIR spectrometer
- FT-Raman spectrometer
- fluorescence spectrometer
- high performance fluorescence spectrometer
- CCD-spectrometer
- X-ray photoelectron spectrometer
- mass spectrometer
- ICP optical emission spectrometer
- Surface plasmon resonance (SPR) spectrometer
- UV/VIS microscope spectrometer
- quantum yield measurement setup
- dielectric spectroscopy
- ellipsometer

Surface analysis

- X-ray photoelectron spectrometer
- contact angle goniometry
- digital refractometer
- digital microscope
- fluorescence labelling
- infrared spectroscopy (ATR, IRRAS)
- scanning probe microscopy
- atomic force microscopy

Detailed information on our broad range of analytical methods and services:

www.polymer-analytik.de

ZUSAMMENARBEIT COLLABORATION

Zusammenarbeit Collaboration

Fraunhofer-Institute Fraunhofer Institutes

Fraunhofer COMEDD, Einrichtung für Organik, Materialien und Elektronische Bauelemente, Dresden

Fraunhofer ENAS, Institut für Elektronische Nanosysteme, Chemnitz

Fraunhofer FEP, Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnologie, Dresden

Fraunhofer FOKUS, Institut für Offene Kommunikationssysteme, Berlin

Fraunhofer HHI, Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, Berlin

Fraunhofer IAO, Institut für Arbeitswirtschaft und -organisation, Stuttgart

Fraunhofer IBMT, Institut für Biomedizinische Technik, St. Ingbert

Fraunhofer ICT, Institut für Chemische Technologie, Pfinztal

Fraunhofer IFAM, Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung, Bremen

Fraunhofer IGB, Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik, Stuttgart

Fraunhofer IIS, Institut für Integrierte Schaltungen, Erlangen

Fraunhofer IKTS, Institut für Keramische Technologien und Systeme, Dresden

Fraunhofer ILT, Institut für Lasertechnik, Aachen

Fraunhofer IME, Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie, Schmallenberg-Grafschaft

Fraunhofer IOF, Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Jena

Fraunhofer IPA, Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart

Fraunhofer IPK, Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, Berlin

Fraunhofer IPMS, Institut für Photonische Mikrosysteme, Dresden

Fraunhofer ISC, Institut für Silicatforschung, Würzburg

Fraunhofer ISE, Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg

Fraunhofer ISI, Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe

Fraunhofer IVV, Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung, Freising

Fraunhofer IWM, Institut für Werkstoffmechanik, Halle, Freiburg

Fraunhofer IWU, Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Dresden

Fraunhofer IZI-BB, Institut für Zelltherapie und Immunologie, Institutsteil Bioanalytik und Bioprozesse, Potsdam-Golm

Fraunhofer IZM, Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, Berlin

Fraunhofer UMSICHT, Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, Oberhausen

Fraunhofer WKI, Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut, Braunschweig

Hochschulen in Deutschland Universities in Germany

Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Charité-Universitätsmedizin Berlin, Bereich Biomaterialforschung und Zahnärztliche Werkstoffkunde

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Greifswald

Freie Universität Berlin, Institut für Angewandte Genetik, Institut für Chemie

Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Organische Chemie und Makromolekulare Chemie, Institut für Angewandte Optik

Georg-August-Universität Göttingen, Schwann-Schleiden-Forschungszentrum für Molekulare Zellbiologie

Hochschule Hannover, Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe

Hochschule Merseburg

Hochschule Niederrhein, Krefeld

Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo, Fachgebiet Regelungstechnik und Mechatronik

Hochschule Reutlingen

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Physik, Institut für Chemie

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Organische Chemie

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Chemie

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH), Institut für Physikalische Chemie

Ruhr-Universität Bochum, Analytische Chemie

Technische Hochschule Wildau, Biosystemtechnik, Ingenieurwesen

Technische Universität Berlin, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Fachgebiet Polymertechnik/Polymerphysik, Institut für Physik, Institut für Chemie

Technische Universität Braunschweig, Institut für Hochfrequenztechnik

Technische Universität Chemnitz, Institut für Strukturleichtbau, Zentrum für Mikrotechnologien

Technische Universität Clausthal, Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik

Technische Universität Dresden, Institut für Pflanzen- und Holzchemie

Technische Universität Karlsruhe, Institut für Technische Chemie und Polymerchemie

Technische Universität München, Institut für Physik

Universität Bayreuth, Fachbereich Chemie, Polymer Engineering

Universität Bielefeld, Physikalische und Biophysikalische Chemie

Universität Darmstadt, Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente

Universität Erlangen–Nürnberg, Materials for Electronics and Energy Technology

Universität Kassel, Institut für Werkstofftechnik, Kunststoff- und Recyclingtechnik

Universität Leipzig

Universität Marburg, Institut für Pharmazeutische Chemie

Universität Potsdam, Institut für Physik und Astronomie, Institut für Chemie, Institut für Biochemie und Biologie

Universität Stuttgart, Institut für Großflächige Mikroelektronik, Institut für Halbleiteroptik und Funktionelle Grenzflächen, Institut für Organische Chemie, Institut für Technische Optik, Lehrstuhl für Struktur und Eigenschaften polymerer Materialien

Hochschulen im Ausland
Foreign universities

Aalto University, School of Science and Technology/ Department of Forest Product Technology, Espoo (Finland)

Aristotle University, Lab for Thin Films – Nanosystems & Nanometrology, Department of Physics, Thessaloniki (Greece)

Chalmers University of Technology, Department of Applied Mechanics, Gothenburg (Sweden)

Cyprus University of Technology, Molecular Electronics and Photonics Research Unit, Limassol (Cyprus)

Donghua University, College of Materials Science and Engineering, Shanghai (China)

École Nationale Supérieure de Chimie de Lille, ENSCL, Laboratoire de Chimie Moléculaire et Formulation, Lille (France)

École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier, ENSCM, Institut Charles Gerhardt Montpellier, Montpellier (France)

KTH Royal Institute of Technology, Division of Wood Chemistry and Pulp Technology, Stockholm (Sweden)

Lafayette College, Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Easton, PA (USA)

National Technical University of Athens, Physics Department, Material Science and Engineering Department, Athens (Greece)

Technische Universität Graz, Institut für Chemische Technologie von Materialien, Institut für Chemie, Graz (Austria)

The Hebrew University of Jerusalem, HUJI, Institute for Drug Research, School of Pharmacy, Jerusalem (Israel)

The University of Manchester, Manchester Interdisciplinary Biocentre, Manchester (UK)

Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Química, Concepción (Chile)

Universidad de Santiago de Compostela, Departamento Microbiología, Facultad de Biología, Santiago de Compostela (Spain)

Université catholique de Louvain, UCL, Unité Chimie des Matériaux inorganiques et organiques, CMAT, Unité Chimie et Physique des hauts Polymères, POLY, Louvain-la-Neuve (Belgium)

Université de Mons, Institut de Biosciences, Mons (Belgium)

Université de Strasbourg, Institut universitaire de technologie Louis Pasteur, Strasbourg (France)

University of Aveiro, Department of Chemistry, Aveiro (Portugal)

University of Copenhagen, Faculty of Health and Medical Sciences, Copenhagen (Denmark)

University of Durham, Durham (UK)

University of Edinburgh, School of Chemistry, Edinburgh (UK)

University of Helsinki, Department of Chemistry, Helsinki (Finland)

University of Ioannina, Department of Material Science and Engineering, Ioannina (Greece)

Universität Linz, Linzer Institut für Organische Solarzellen, Linz (Austria)

University of Liverpool, Department Chemistry, Liverpool (UK)

University of Maribor, Laboratory for Characterization and Processing of Polymers, Maribor (Slovenia)

University of Nottingham, School of Chemistry, Nottingham (UK)

University of Oxford, Department of Materials, Oxford (UK)

University of Patras, Advanced Polymers Hybrid Nanomaterials Research Laboratory, Patras (Greece)

ZUSAMMENARBEIT COLLABORATION

Universidad de Sevilla,
Departamento Química Física,
Sevilla (Spain)

University of Surrey, Advanced
Technology Institute, Surrey (UK)

University of Tel Aviv, Department
of Zoology, Tel Aviv (Israel)

Uniwersytet Jagielloński Krakow,
Nanotechnology of Polymers
and Biomaterials Group,
Kraków (Poland)

Veterinärmedizinische Universität
Wien, Institut für Virologie, Wien
(Austria)

Andere Forschungs- einrichtungen

Other research institutes

Acondicionamiento Tarrasense
Associación, Barcelona (Spain)

Acreo Swedish ICT AB,
Norrköping (Sweden)

Arbeitsgemeinschaft industrieller
Forschungsvereinigungen
»Otto von Guericke« e.V.,
AIF, Köln

Austrian Institute of Technology
GmbH, Energy Department,
Wien (Austria)

Brazilian Center for Research in
Energy and Materials, CNPEM,
Campinas, São Paulo (Brazil)

Bundesanstalt für Material-
forschung und -prüfung, BAM,
Berlin

Center for Materials Forming,
MINES ParisTech, Sophia
Antipolis Cedex (France)

Centre nationale de la recherche
scientifique, CNRS, Palaiseau
(France)

Charité, Berlin

CIDETEC IK4, San Sebastian
(Spain)

Commissariat à l'énergie
atomique et aux énergies
alternatives, Grenoble (France)

EU Joint Research Center, Ispra
(Italy)

Forschungsinstitut für Leder und
Kunststoffbahnen gGmbH, FILK,
Freiberg

Helmholtz-Zentrum Berlin für
Materialien und Energie GmbH,
Berlin

Helmholtz-Zentrum Geesthacht,
Zentrum für Material- und
Küstenforschung GmbH, Institut
für Polymerforschung, Teltow

Innventia AB, Stockholm (Sweden)

Institut für Holztechnologie
Dresden gemeinnützige GmbH,
Dresden

Institut Charles Sadron, ICS
UPR 22-CNRS, Chimie
Macromoléculaire de
Précision, Strasbourg (France)

Institut für Dünnschichttechnologie
und Mikrosensorik e.V., Teltow

Institut für Lebensmittel- und
Umweltforschung e.V., Nuthetal

Institut für Mikrosystemtechnik,
IMTEK, Freiburg

Instituto de Capacitación e
Investigación del Plástico y
del Caucho, ICIPC, Medellín
(Colombia)

Joanneum Research Forschungs-
gesellschaft mbH, Graz (Austria)

Johann Heinrich von Thünen-
Institut, vTI, Großhansdorf

Karlsruher Institut für
Technologie, KIT, Karlsruhe

Kompetenzzentrum Holz GmbH,
Wood K plus, Wien (Austria)

Latvian State Institute for Wood
Chemistry, Riga (Latvia)

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e.V., ATB, Potsdam

Leibniz-Institut für Polymer-
forschung e.V., IPF, Dresden

MateriaNova, Mons (Belgium)

Max-Planck-Institut für Kolloid-
und Grenzflächenforschung,
Potsdam

Max-Planck-Institut für
Polymerforschung, MPIP, Mainz

Max Rubner-Institut, Bundes-
forschungsinstitut für Ernährung
und Lebensmittel, MRI, Detmold

NanoTecCenter Weiz, Graz
(Austria)

OCAS NV, Zelzate (Belgium)

Papiertechnische Stiftung PTS,
München

Petru Poni, Institute of Macro-
molecular Chemistry, Iasi
(Romania)

Polish Academy of Science,
Center of Polymer Chemistry,
Center of Polymer and Carbon
Materials, Gliwice and Zabrze
(Poland)

Sächsisches Textilforschungs-
institut e.V., STFI, Chemnitz

SINTEF, Oslo (Norway)

Süddeutsches Kunststoff-
Zentrum Würzburg, SKZ,
Würzburg

Tecnalia, Derio (Spain)

Textilforschungsinstitut Thüringen-
Vogtland e.V., Greiz

Instituto de Ciencias Fotónicas,
Barcelona (Spain)

Ukraine Academy of Science,
Institute of Physics, Kiev (Ukraine)

UP Transfer GmbH, Potsdam

VTT Technical Research Centre of
Finland, Espoo (Finland)

Ytkemiska Institutet, Institute for
Surface Chemistry, YKI,
Stockholm (Sweden)

Firmenkooperationen

Cooperations with companies

3D Micromac, Chemnitz	BP Europa SE, Mönchengladbach	Cyramid AG, Güster	HORIBA Jobin Yvon SAS, Palaiseau (France)
ABB, Ladenburg	Bruker Daltonics, Bremen	Delft Solids Solutions B.V., Delft (Netherlands)	ImaBiotech, Lille (France)
Advent, Patras (Greece)	Bundesdruckerei GmbH, Berlin	Drewsen Spezialpapier GmbH, Lachendorf	IMOS Gubela GmbH, Renchen
aevotis GmbH, Potsdam	Cargill Deutschland GmbH, Krefeld	Dow Olefinverbund GmbH, Schkopau	Indulor Chemie GmbH & Co. KG, Bitterfeld
Agrana Research & Innovation Center GmbH, Tulln (Austria)	Celanese Emulsions GmbH, Frankfurt/Main	Dynea Erkner GmbH, Erkner	INEOS Melamines GmbH, Frankfurt/Main
AIXTRON, Aachen	Celulose Beira Industrial, CELBI, SA, Figueira da Foz (Portugal)	Evonik Industries AG, Essen	Interstarch GmbH Alltröglitz, Elsteraue
ALLRESIST GmbH, Strausberg	Centro Ricerche Fiat (CRF), Turin-Orbassano (Italy)	Evonik Membrane Extraction Technology Ltd., London (UK)	Intrinsiq Materials Limited, Farnborough, Hamshire (UK)
ALBIS PLASTIC GmbH, Hamburg	Ceresan Erfurt GmbH, Markranstädt	Festo AG & Co. KG, Esslingen	Isovoltaic AG, Lebring (Austria)
AlgaEnergy, Madrid (Spain)	Ciba Vision GmbH, Ostheim	Follmann GmbH & Co. KG, Minden	Jäckering Mühlen-Nährmittelwerke GmbH, Hamm
AMSilk GmbH, Planegg/Martinsried	Clariant Deutschland GmbH, Frankfurt/Main	Folex AG, Seewen (Switzerland)	Jotun AS, Sandefjord (Norway)
amynova polymers GmbH, Bitterfeld-Wolfen	Coatema, Coating Machinery GmbH, Dormagen	Frank Optic Products GmbH, Berlin	Koenen GmbH, Otterbrunn-Riemerling
AquaBioTech Limited, Mosta (Malta)	Compucon, Thessaloniki (Greece)	Gemalto, Gémenos (France)	Konarka Technologies, Linz (Austria)
ARKEMA France, Grenoble (France)	COMSA EMTE SL, Barcelona (Spain)	GEN-IAL GmbH, Troisdorf	KSG Leiterplatten GmbH, Gornsdorf
AVEBE, Veendam (Netherlands)	Continental, Hannover	German Bioplastics GmbH, Guben	Korea Electronics Technology Institute, KETI, Bundang-gu Seongnam (Korea)
BASF Plant Science Company GmbH, Limburgerhof	Conti Temic microelectronic GmbH, Ingolstadt	GMT Membrantechnik GmbH, Rheinfelden	LANXESS Deutschland GmbH, Leverkusen
BASF SE, Ludwigshafen	Cordenka GmbH & Co. KG, Obernburg	Göckener GmbH, Ahaus	Lenzing AG, Lenzing (Austria)
BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH, Weiherhammer	CORRSYS 3D Industrial & Rail Sensors AG, Wetzlar	Henkel AG & Co. KGaA, Düsseldorf	Linotech GmbH & Co. KG, Forst
BIOTEC GmbH & Co. KG, Emmerich	Cromotransfer, Joinville (Brazil)	Hesco Kunststoffverarbeitung GmbH, Luckenwalde	LIST AG, Arisdorf (Switzerland)
Blücher Adsor-Tech GmbH, Premnitz	crystalsol GmbH, Wien (Austria)	H. Hiendl GmbH & Co. KG, Bogen-Furth	Loewe Technology GmbH, Kronach
Bosch/Siemens-Hausgeräte GmbH, Lipsheim (France)	C-Tech Innovation Limited, Capenhurst (UK)	Hobum Oleochemicals GmbH, Hamburg	

ZUSAMMENARBEIT

COLLABORATION

Lonza AG, Visp (Switzerland)	P & P Service GmbH & Co. KG, Eitelborn	Schoeller Technocell GmbH & Co KG, Osnabrück	Synthos S.A., Oswiecim (Poland)
Lonza Group Ltd., Basel (Switzerland)	PanEuro, Cork (Ireland)	SeeReal Technologies GmbH, Dresden	Tecnaro GmbH, Ilsfeld-Auenstein
Loser Chemie GmbH, Hainichen	Papierfabrik August Koehler AG, Oberkirch	Sensor- und Lasertechnik Dr. W. Bohmeyer, Neuenhagen	tesa SE, Hamburg
LTB Lasertechnik Berlin GmbH, Berlin	Phoenix Contact GmbH, Blomberg	Serumwerk Bernburg AG, Bernburg	TES Frontdesign GmbH, Neuruppin
Lüth&Dümchen GmbH, Berlin	Phytowelt GreenTechnologies GmbH, Köln	SG Austria Pte Ltd, Singapore (Singapore)	Thereos Syral, Aalst (Belgium)
MARINTEK, Trondheim (Norway)	Polyterra Innovations GmbH, Berlin	Siemens AG, Berlin	Tilse Formglas GmbH, Liepe
MateriaNova, Mons (Belgium)	PRA Trading Ltd., London (UK)	Siemens Healthcare Diagnostics Products GmbH, Marburg	Toho Tenax Europe GmbH, Wuppertal
MaxBiogas GmbH, Marienwerder	Pracht Lichttechnik GmbH, Dautphetal	Sikoplast Maschinenbau GmbH, Siegburg	TropoTherm AG, Almeida (Spain)
M. Braun Inertgas-Systeme GmbH, Garching	Precision Varionic International LTD, Swindon (UK)	Smallmatek, Aveiro (Portugal)	Uhde Inventa-Fischer GmbH & Co. KG, Berlin
Merck KGaA, Darmstadt	Procter & Gamble Beauty Care, Schwalbach am Taunus	Smurfit Kappa Hoya Papier und Karton GmbH, Hoya	Vifor Pharma, St. Gallen (Switzerland)
mfd Diagnostics GmbH, Luckenwalde	PSS Polymer Standards Service GmbH, Mainz	Specific Polymers, Montpellier (France)	VITRONIC Dr.-Ing. Stein Bildverarbeitungssysteme GmbH, Wiesbaden
MICRODYN-NADIR GmbH, Wiesbaden	Quarzwerte GmbH, Frechen	Steico SE, Feldkirchen	Volkswagen AG, Wolfsburg
micro resist technology GmbH, Berlin	Raab-Photonik GmbH, Potsdam	Styron Deutschland GmbH, Schkopau	WALA Heilmittel GmbH, Bad Boll
Nanograde Ltd., Staefa (Switzerland)	Reifenhäuser REICOFIL GmbH & Co. KG, Troisdorf	Sunar Grup, Seyhan/Adana (Turkey)	Weyerhaeuser Company, Federal Way (USA)
NATEX Prozesstechnologie GesmbH, Ternitz (Austria)	Rent-a-Scientist GmbH, Regensburg	SwissGel, Schlieren (Switzerland)	WGE Dr. Bures GmbH & Co. KG, Dallgow-Döberitz
Nematel GmbH & Co. KG, Mainz	Rhodia Acetow GmbH, Freiburg	Symrise AG, Holzminden	Xetos AG, Hohenbrunn
Osram Opto Semiconductors GmbH, Regensburg	Roquette, Lestrem (France)	SYNTHON Chemicals GmbH & Co. KG, Wolfen	Zeppelin Reimelt GmbH, Kassel
Oxford Lasers, Oxford-Oxon (UK)	Sapemus Chemie GmbH, Springe	Synthopol Chemie Deutschland, Buxtehude	Zellstoff Stendal GmbH, Arneburg
Oy Separation Research Ab, Åbo/Turku (Finland)	Schafer-N, Copenhagen (Denmark)		Zellstoff- und Papierfabrik Rosenthal GmbH, Blankenstein

EREIGNISSE EVENTS

Veranstaltungen und Messen Events and fairs

NatureTec/Grüne Woche,
Berlin, 17.–26.1.2014

6. Biopolymer-Kolloquium, Berlin,
23.1.2014

Joint Workshop »Energy Polymers«,
Potsdam-Golm, 23.–24.1.2014

Joint Workshop, Inkjet Technologie
bei Fraunhofer, Potsdam-Golm,
6.2.2014

Deutsch-Französischer Workshop
»Perspectives of Knowledge-
Based Bioeconomy – Challenges
and Solutions for the Future«,
Potsdam-Golm, 26.2.2014

Workshop »Biotechnologische
Prozessentwicklung und Scale-
Up«, Potsdam-Golm, 19.3.2014

Trends bei funktionalisierten
Kunststoffoberflächen, Fraunhofer-
Forum Berlin, Berlin, 9.5.2014

Lopec, München, 27.–28.5.2014

Medtec Europe, Stuttgart,
3.–5.6.2014

Information Workshop on the
BBI–JTI Bio-based Industries first
calls, Potsdam-Golm, 12.8.2014

Abschlussmeeting Verbund Bio-
polymere, Potsdam, 28.8.2014

Erster Spatenstich –
Fraunhofer-Konferenzzentrum,
Potsdam-Golm, 6.9.2014

Tag der offenen Türen im Wissen-
schaftspark, Potsdam-Golm,
6.9.2014

European cultural heritage research
and innovation, Britische
Botschaft, Berlin, 15.9.2014

14. Schwarzheider Kunststoff-
kolloquium, Schwarzheide,
16.–17.9.2014

Hightech-Transfertag, Wissen-
schaftspark, Potsdam-Golm,
7.10.2014

Japanese-European Workshop
»Cellulose and Functional Poly-
saccharides«, Fraunhofer Forum,
Berlin, 14.–16.10.2014

Fakuma, Friedrichshafen,
14.–18.10.2014

Medica, Düsseldorf,
12.–15.11.2014

Fachtagung »Hybride
Multilayer-Technologien«,
Aachen, 3.–4.12.2014

Institutskolloquien Institute colloquia

Prof. Derek Gray,
Department of Chemistry, McGill
University Montreal (Canada),
*Chiral nematic properties of
cellulosic materials*, 24.1.2014

Prof. Peter M. Budd, School of
Chemistry/University of Manchester
(UK), *Polymers of intrinsic
microporosity and their potential
for membrane-based separations*,
5.3.2014

Prof. Dr. Christine Lang,
Vorsitzende des Bioökonomie-
rates, Berlin, *Bioökonomie quo
vadis?*, 9.5.2014

Volker Mathes, AVK – Industrie-
vereinigung Verstärkte Kunststoffe
e.V., Frankfurt, *Faserverstärkte
Kunststoffe – Potenziale und
Marktchancen*, 27.5.2014

Dr. Stefan Kubick, Fraunhofer
IZI-BB, Potsdam-Golm, *Zellfreie
Bioproduktion: Neue Bioreak-
toren und adaptierte biologische
Systeme für die zellfreie Protein-
synthese*, 28.11.2014

ZUSAMMENARBEIT COLLABORATION

Netzwerke und Verbände Networks and associations

Das Fraunhofer IAP ist Mitglied in folgenden Netzwerken, Vereinen bzw. Arbeitsgemeinschaften:

- Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, AiF
- Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschungsinstitutionen e.V., AGEF
- Berlin-Brandenburgischer Verband Polymerforschung
- BioTOP Berlin-Brandenburg
- Centre of Excellence for Polymer Materials and Technology, CoE PoliMaT, Member of the Scientific Council
- Chiral Compounds and Special Polymers, CCSP, International Advisory Board
- Cluster Chemie/Kunststoffe Mitteldeutschland
- Deutsches Flachdisplayforum, DFF
- Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., DGM, Fachausschuss Polymerwerkstoffe
- European Polysaccharide Network of Excellence, EPNOE
- Exzellenzcluster »Das Taschentuchlabor – Impulszentrum für Integrierte Bioanalytik«, IZIB
- Fachverband der Stärkeindustrie
- Fraunhofer-Allianz POLO
- Fraunhofer Innovationscluster Polymertechnologie
- Fraunhofer-Netzwerk Elektrochemie
- Fraunhofer-Allianz NANOTECH
- Fraunhofer-Forschungsallianz Kulturerbe
- Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS
- ChemieFreunde Erkner e.V.

- Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V., GdCh
- Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., DECHEMA
- Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V., AVK
- IUPAC, Novel Materials and their Synthesis, NMS, International Advisory Board
- Kompetenznetz Optische Technologien, OpTecBB e.V.
- Kunststoff-Verbund Brandenburg Berlin e.V., KuVBB
- Landesvereinigung Außeruniversitärer Forschung Brandenburg, LAUF e.V.
- Leibniz-Kolleg Potsdam e.V.
- Organic and Printed Electronics Association, oe-a
- pearls-Potsdam Research Network
- Photonik BB e.V.
- POLYKUM e.V., Fördergemeinschaft für Polymerentwicklung und Kunststofftechnik in Mitteldeutschland
- ProWissen Potsdam e.V.
- Society for Information Display Mid Europe Chapter, SID-MEC
- Spitzencluster BioEconomy
- Vereinigung der Seifen-, Parfüm- und Waschmittelfachleute e.V., SEPAWA
- Verein der Zellstoff- und Papierchemiker und -ingenieure e.V., Zellcheming,
- Verein Deutscher Ingenieure, VDI
- Verein Sichere Identität Berlin-Brandenburg e.V.
- Technologieplattform Mikroverkapselung
- ZukunftsAgentur Brandenburg GmbH, ZAB

Prof. Dr.-Ing. M. Bartke
– DECHEMA, Arbeitsausschuss Polyreaktionen

Dr. C. Boeffel
– DKE/GUK 681.2 Gedruckte Elektronik

Prof. Dr. habil. H.-P. Fink
– Alexander von Humboldt Stiftung
– Aufsichtsratsmitglied pearls-Potsdam Research Network
– Berlin-Brandenburgischer Verband für Polymerforschung
– Editorial Board der Zeitschriften »Cellulose«, »Cellulose Chemistry and Technology«, »Carbohydrate Polymers«, »Natural Fibres«
– European Polysaccharide Network of Excellence, EPNOE
– Forschungsbeirat der Papiertechnischen Stiftung München, PTS
– Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V., GDCh
– Juror IQ Innovationspreis Mitteldeutschland
– Vorstandsmitglied der Forschungsvereinigung Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen
– Vorstandsmitglied Kunststoff-Verbund Brandenburg Berlin e.V., KuVBB
– Zellcheming, Fachausschuss Cellulose und Cellulosederivate

Dr. M. Hahn
– Gutachterausschuss, Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V., AiF

Dr. K. Hettrich
– DIN Arbeitsausschuss Partikelmesstechnik, Oberflächenmessverfahren

Dr. A. Holländer
– Deutsche Gesellschaft für Plasmatechnologie e.V., DGPT
– Fachausschuss Plasma und Polymere, Plasma Germany
– International Advisory Board der Zeitschrift »Plasma Processes and Polymers«
– Sprecher der Fraunhofer-Allianz Polymere Oberflächen POLO®

Priv.-Doz. Dr. S. Janietz
– Arbeitsgemeinschaft Elektrochemischer Forschungsinstitutionen e.V., AGEF

Dr. Hartmut Krüger
– Smart³ e.V.

Prof. Dr. A. Laschewsky
– Berlin-Brandenburgischer Verband für Polymerforschung
– Kolloidgesellschaft e.V.
– Vorstandsmitglied Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V., GDCh Fachgruppen »Makromolekulare Chemie« und »Chemie des Waschens«
– Vorstandsmitglied SEPAWA e.V.

Dr. C. Schmidt
– Biochemical Society (UK)
– Genetics Society of America, GSA (USA)
– The American Society for Biochemistry and Molecular Biology, ASBMB (USA)

Dr. A. Seeboth
– International Advisory Board, International Symposium on Fine Chemistry and Functional Polymers, FCFP
– International Advisory Board, International Symposium on High-Tech Polymers and Polymeric Complexes, HPPC
– Gutachterausschuss, Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen »Otto von Guericke« e.V., AiF
– Editorial Board des »Open Journal of Polymer Chemistry«

Dr. J. Storsberg
– Editorial Board des »American Journal of Biomedical Engineering«
– European Association for Vision and Eye Research, EVER (Belgium)
– Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V., GDCh Fachgruppe Makromolekulare Chemie
– Leitung der Arbeitsgruppe »Materialien für medizinische Anwendungen« in der »Regenerativen Medizin Initiative Berlin-Brandenburg« (RMIB)
– Mentor EyeFocus, Berlin
– Société Suisse Des Chimistes-Cosméticiens, SWISS SCC (Switzerland)

Dr. W. Vorweg
– Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V., Stärke-Fachausschuss
– Netzwerk Nachhaltigkeit, Fraunhofer-Gesellschaft

Dr. A. Wedel
– Officer, Society for Information Displays-Mid Europe Chapter, SID-MEC

Dr. M. Wegener
– VDI, GMA-Fachausschuss 4.16
»Unkonventionelle Aktorik«

Lehrveranstaltungen

Lecturing activities

Prof. Dr.-Ing. M. Bartke
– Vorlesung: *Polymerisations-technik*, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
– Vorlesung: *Polymer Reaction Engineering*, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Prof. Dr. habil. H.-P. Fink,
Dr. J. Ganster
– Vorlesung: *Strukturcharakterisierung von biobasierten Polymerwerkstoffen*, Universität Kassel
– Vorlesung: *Strukturcharakterisierung von biobasierten Polymerwerkstoffen*, Universität Potsdam
– Kompaktpraktikum: *Methoden der Strukturcharakterisierung im IAP*, Universität Kassel
– Kompaktpraktikum: *Methoden der Strukturcharakterisierung im IAP*, Universität Potsdam

Prof. Dr. D. Hofmann
– Vorlesung: *Physikalisch-Chemische Eigenschaften der Werkstoffe: PEW organisch*, TU Berlin

Priv.-Doz. Dr. habil. S. Janietz
– Vorlesung: *Polymere für die organische Elektronik*, Universität Potsdam

Prof. Dr. A. Laschewsky
– Vorlesung: *Technische Chemie*, Universität Potsdam
– Vorlesung: *Protecting Group Strategies (in Organic and Polymer Synthesis)*, Universität Potsdam
– Vorlesung: *Functional Polymers (Hydrogels)*, Universität Potsdam

Dr. J. Storsberg
– Vorlesung: *Macromolecular Chemistry in Pharmaceutical and Chemical Engineering*, Beuth Hochschule für Technik Berlin

Auszeichnungen

Awards

Dr. Patrick Pingel, *Kurt-Überreiter-Preis*, Berlin-Brandenburgischer Verband für Polymerforschung (BVP), Potsdam

Dr. Patrick Pingel, *Carl-Ramsauer-Preis*, Physikalische Gesellschaft zu Berlin, Berlin

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

Graduierungsarbeiten

Theses

Recombinant production of a wax ester synthase

Parnian Amin
Bachelor thesis, FU Berlin

Wax esters are produced by certain bacteria as an energy storage compound. The key enzyme in the biosynthetic pathway is the wax ester synthase/acyl-coenzyme A:diacyl-glycerol acyltransferase (WES/DGAT), which catalyzes the esterification of long chain alcohols with long chain fatty acids. The aim was to recombinantly express the WES/DGAT. *Escherichia coli* and *Ustilago maydis* were used as host organisms. After cloning the DNA-fragment of the WES/DGAT in the suitable vectors, the expression was analyzed by sds polyacrylamide gel electrophoresis and a spectrophotometrically enzyme activity test. The expression of the enzyme was not detected clearly. An alternative method is the introduction of a polyhistidin-TAG to improve its detection and its purification.

in semi crystalline Ingeo™ 4032D films resulted from annealing, Ingeo™ 4043D were chosen for further investigation of barrier properties. The oxygen permeability of amorphous films was affected in the range from 0 percent RH to 100 percent RH and the permeability of semicrystalline films in the range up to 70 percent RH. Increasing relative humidity caused swelling of the annealed material as well as reduced degree of crystallinity. The addition of fillers is another possibility to improve the barrier properties. The used Nanoclay was the organo functionalized Montmorillonit Cloisite 30 B. Cloisite 30 B and subsequent annealing decreased the water vapor and oxygen permeability to 35 percent. The lowest value of 1 percent oxygen permeability was achieved by coating the PLA film with nanocellulose. The lowest value of 35 percent water vapor permeability was realized by adding 6 weight percent Cloisite 30B and subsequent annealing.

Production and Comparative Study of PLA Films with Especial Regard on Barrier Properties

Melanie Bartel
Master thesis, University of Potsdam

Because of the increasing interest in materials from renewable resources Poly(lactic acid) (PLA) is one of the most promising biobased thermoplastic polyesters. Especially in packaging industry PLA is already used in a small range of application. To increase this range the barrier properties have to be controlled from low to high values. The barrier properties are important parameters to estimate the usability of materials. Because of the high water vapor and oxygen permeability of PLA films the following dependences on the barrier properties were analyzed: film cast extrusion process parameters by the use of two PLA types, the influence of relative humidity on oxygen permeability, the addition of nanoclay, subsequent annealing and coating with nanocellulose.

Two PLA types with different D-lactic acid ratio were used: Ingeo™ 4043D and 4032D. Based on cast film extrusion the PLA films were produced by a flat-film line. Varied parameters were the chill roll speed and the chill roll temperature. Within the different PLA types and production parameters no significant differences were achieved. Following annealing improved the barrier properties to 60 percent–80 percent. Because of micro voids

Substituted N-alkylcarbamoylphosphonic acids: total synthesis via transition metal catalyzed Michaelis-Arbusov reaction as key step

Sascha Behne
Bachelor thesis, Beuth University of Applied Sciences Berlin

The goal of this Bachelor's thesis was the synthesis of substituted N-alkylcarbamoyl phosphonic acids for use as cytostatic agents due to the inhibition of the matrix-metallo-protease-2. The key step of the synthesis was the Michaelis-Arbusov reaction (MAR) in which alkyl or aryl halides react with trialkyl phosphite to create a phosphonate and transitional metals such as nickel, palladium or cobalt catalyze this reaction. The accurate determination of cytotoxicity required that no toxic metallic ions remained in the organic matrix as they would lead to a falsification of the results. ICP-OES was therefore used to check for the presence of heavy metal ions in the test area. The MAR was optimized using isobutyl chloroformate as starting compound via nickel salt catalysis with a good yield (82 percent) and outstanding purity (96 percent). The synthesis of the diphenylether-derived carbamoyl phosphonates succeeded with a yield of 24 percent and a purity of 93–95 percent. The carbamoyl phosphonate could be clearly identified by using spectroscopic methods. An ICP-OES residue analysis illustrated that the product contained 0.01 ppm nickel. This value was below the limit of nickel in potable water (0.02 ppm).

Investigation of the aggregation of amphiphiles by fluorescent probes

Anke Grün
Master thesis, University of Potsdam

The usefulness of a series of five distinct, sparingly water-soluble fluorescent probes for investigating the aggregation of polymeric surfactants was studied, in comparison to the micellization of the classical surfactants CTAB (cationic) and SDS (anionic). The model block copolymer was made of a long hydrophilic poly(N-isopropylacrylamide) block and a short hydrophobic poly(styrene) block, which thus could be directly dispersed in water. Fluorescent dyes pyrene, coumarin 153, and Nile red, were employed as probes as well as two new ones (namely, 9-propyl-2-dimethylamino-9-(10H)-acridone (DMPA) and 2-ethoxycarbonylmethyl [1,3]dioxolo-(3,6-dibutanoyl [4,5-f] [1,3] benzodioxole) (DBD)). All probes enabled the reliable determination of the critical micelle concentration CMC of the low molar mass surfactant references. In contrast, the use of the probes for studying the presumed micellization of the polymeric surfactant was not conclusive. Their fluorescence characteristics showed a transition at very low polymer concentration, which is generally interpreted as the onset of the formation of hydrophobic domains, i.e. as the CMC. However, a careful analysis of the data suggests that the changes are not due to a CMC, but likely to result from the partitioning of the dye probes between the aqueous phase and the polymeric micelles. These are present already at extreme dilution but have only a limited solubilization capacity in this concentration regime.

Preparation, characterization and covalent immobilization of functional PEG-based copolymers on Si wafers

Gergana Ivanova
Diploma, RWTH Aachen University

Thin coatings were fabricated from biocompatible copolymers derived from PEO macromonomers, with a high density of various functional groups (namely carboxyl, primary amines, and glycidol groups), to explore their potential as construction elements for biosensors. The study comprised synthesis and characterization of various new, hydrogel forming copolymers, their covalent immobilization on differently surface-activated Si wafers, as well as the investigation of the binding capacity of the coatings produced for model proteins.

Synthesis of formaldehyde-free amino resin microcapsules

Madeleine Justianto
Master thesis, Technische Universität Braunschweig

Amino resins, especially melamine-formaldehyde resins are often used for microencapsulation purposes. According to the Official Journal of the European Communities formaldehyde is now classified as a carcinogen of the category 1B ("presumed to have carcinogenic potential for humans"). Therefore, the development of formaldehyde-free amino resins is of very high importance also in the field of microencapsulation.

The master thesis focuses on the suitability of different formaldehyde-free melamine resins for microencapsulation. Alternative aldehydes are glycolic aldehyde, glyoxylic acid and dimethoxyethanal, respectively. These new formaldehyde-free resins were developed and synthesized at Fraunhofer IAP. The amine/aldehyde ratio was varied in each case in order to find the optimum value suitable for the encapsulation.

The encapsulation process conditions (e.g. temperature, pH, stirring conditions) were screened based on preliminary precipitation experiments. Optimum precipitation conditions are chosen to perform the microencapsulation process and optimize the process conditions. Paraffin wax (melting point ca. 40 °C) was used as the model compound of a hydrophobic core material.

Melamine-glycolic aldehyde resins were found to be a suitable material for microencapsulation. After optimization, the properties of the resulting microcapsules (shape, size, thermal stability) are comparable to standard melamine-formaldehyde microcapsules.

Melamine resins based on glyoxylic acid are principally suitable for microencapsulation. Because of the low amount of precipitated resin, the shells are thin and the microcapsules are instable.

A capsule wall formation could not be observed when the melamine-dimethoxyethanal resins were used. The results of rheological measurements have demonstrated that temperatures >90 °C might be more suitable for the precipitation and network formation in this particular case. Therefore, further experiments have to be performed to adapt the encapsulation process to the properties of this kind of resins.

PUBLIKATIONEN

PUBLICATIONS

It can be concluded, that the developed formaldehyde-free melamine resins are suitable for microencapsulation processes. Especially glycolic aldehyde based resins show good potential. But the resins themselves as well as the encapsulation conditions have to be further improved and optimized.

Development of dye-labeled polymers for the visualizing the LCST transition in aqueous solution

Jonas Kölsch
PhD thesis, University of Potsdam

A series of water-soluble thermo-responsive, dye-labeled polymers was developed for biosensing purposes, via the sensitive spectroscopic – and even visual – detection of their coil-to-globule phase transition in aqueous solutions. Various thermo-sensitive polymers were prepared from *N*-isopropylacrylamide, 2-(methoxy)ethoxyethylacrylate, and (oligoethyleneglycol)methacrylate, which were functionalized by free radical copolymerization with reactive fluorescence dyes. Best results were obtained with rather compact, solvatochromic derivatives of coumarin and naphthalimide, which neither interfered with the polymerization nor with the phase transition behavior. Despite the apparent similarity of their chemical structures, the spectral properties of the various polymers showed characteristic, highly individual responses to thermal stimuli. Also, while certain polymeric dyes showed strong effects of the thermal stimulus, others did not. These differences were attributed to specific features of the polymers' chemical structures, which may favor (or disfavor) local shielding of the dyes by hydrophobic pockets. As a proof of principle for the usefulness of such thermo-sensitive fluorescent polymer systems for biosensing, the detection of a molecular recognition processes was demonstrated. The induced phase transition upon an antigen-antibody binding event modulated the fluorescence behavior strongly, and enabled the detection of even minor amounts of the antibody by the naked eye.

Hybrid organic-inorganic structures for solution processed organic light emitting diodes (OLEDs)

Danny Krautz
PhD thesis, University of Wuppertal

Synthesis and characterization of biocompatible polymer materials based on 2-vinylnaphthalene for ophthalmologic implants

Ines Massalski
Bachelor thesis, Beuth University of Applied Sciences Berlin

The aim of this work was the synthesis and characterization of biocompatible polymeric materials for ophthalmic implants. The materials were developed by thermal radical polymerization. The monomer compositions were optimized to produce polymer materials with high refractive index, good flexibility, clarity and softness, high breaking strength and low tackiness. The refractive indices of the materials were determined after steam pressure sterilization, the highest values were about 1.555. Finally the residual monomer contents were determined after extraction with ethanol using GC-MS.

Synthesis of polymerizable aminoacridones

Maria Mattke
Master thesis, University of Potsdam

A synthetic path to 2-(dimethylamino)-9(10*H*)-acridone via Buchwald-Hartwig coupling was developed. The further functionalization via the core nitrogen suffered from severe side reactions, and required the step-by-step introduction of carefully chosen additional functional groups. Best results were obtained by initial allylation, followed by thiol-ene "click" reactions, to prepare 2-(dimethylamino)-10-[3-(2-methacryloyloxyethylthio)propyl]-9(10*H*)-acridone as prototype for a new class of fluorophore-labeled monomers.

Synthesis and characterization of structured gold nanoparticles in micellar block copolymers

Svenja Pinnow
Bachelor thesis, Beuth University of Applied Sciences Berlin

The present Bachelor thesis deals with the synthesis and characterization of gold nanoparticles (AuNP). The AuNP were structured in regular distances onto a glass substrate, to which peptides with the active laminin sequence could be attached. This stimulates the axonal growth of neuronal cells of rodents and could be applied to heal spinal cord injuries. The AuNP were synthesized by two methods. Reduction of the gold salt $\text{HAuCl}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ in inverse micelles of the block copolymer PS-*b*-P2VP yielded AuNP with diameters of 5.1 nm and 9.1 nm. Alternatively, the citrate method produced AuNP with a size of 14.9 nm. AuNP and micelle sizes were obtained with TEM and dynamic light scattering, respectively. Micelles with diameters of 68.1 nm–91.3 nm were found to have a narrow size distribution. They were deposited onto the glass substrate by dip-coating. Only gold salt loaded micelles were structured in a regular layer; not so the micelles with the AuNP. To remove the polymer, the layer was treated with atmospheric pressure plasma with compressed air, nitrogen gas or synthesized air.

Due to the future use of the AuNP with cell cultures, the cytotoxicity was investigated.

New Vinyl Copolymers Containing Glycerol-based Building Blocks

Dusica Radjenovic
Master thesis, University of Potsdam

New glycopolymer analogs on the basis of glycerol-derived vinyl ethers were synthesized as binary, ternary and quaternary copolymers with N-alkylated maleimides. The vinyl ethers were varied with respect to the length of the spacer separating the polymerizable and the (protected) glycerol bearing moieties. Also, the maleimides were modified with respect to nature of the N-substituents. All copolymers were obtained with good yields. GPC analysis confirmed the formation of high molar mass copolymers. The copolymerization reactivity ratios were estimated by the Kelen-Tüdös method. Accordingly, the copolymers are mostly alternating although the maleimide comonomers are somewhat more reactive and thus incorporated more readily. While the deprotected copolymers dissolve only in polar protic and highly polar aprotic solvents, such as water or DMSO, the protected ones are soluble in many polar aprotic and non-polar solvents. The protected copolymers showed exceptionally high thermal stabilities and glass transition temperatures, as evidenced by thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC).

Approach toward functional hydrogel films with low crosslinking density

Sandra Rodríguez-Fabià
Master thesis, University of Potsdam

The work aimed at the preparation of thermoresponsive copolymers of high molar mass, containing a low content of a benzophenone-based photo-crosslinker, as well as additional functional groups for biosensing purposes. In particular, the multi-step synthesis of a new spacer-containing carboxylate monomer suited for the copolymerization with oligo(ethylene glycol) methacrylates was explored. Two alternative pathways were followed, for which the advantages and inconveniences are discussed, according to the detailed analysis of the respectively occurring side products.

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

Determination of residual monomers of silicone hydrogel contact lenses using gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS)

Doreen Rump
Master thesis, Beuth University of Applied Sciences Berlin

In this master thesis, a GC/MS-Method was developed to determine the residues of monomers and crosslinkers in contact lenses after their production. This method showed a determination limit of about 0.04 mg/L and a detection limit of about 0.2 mg/L for the chemicals involved in the preparation of silicone hydrogel contact lenses, allyl methacrylate, (trimethylsilyl)methyl methacrylate, N-vinyl-2-pyrrolidone, N,N-dimethyl-acrylamide and ethylene glycol dimethacrylate. The individual chromatogram peaks were clearly separated (resolution between 10 and 40) and did not show any asymmetry. The duration of analysis could be reduced to 8 minutes, so this method can also be used in quality assurance with a high sample throughput. The recovery for all substances was approximately 96 percent. The measuring precision was determined using an 18-fold repetition of a sample. The measured values of all substances were normally distributed and no outliers occurred. A suitable extraction method was developed to extract residual monomers and crosslinkers from the silicone hydrogel contact lens as quantitatively as possible. The production, extraction and GC/MS measurement could thus be performed in a single day.

Synthesis and characterization of triazine and urea surfactants for microencapsulation in the μm and sub- μm range

Fabien Schultz
Master thesis, University of Applied Sciences Neubrandenburg

This scientific work focuses on the synthesis and characterization of triazine and urea surfactants, namely N²-Mono- and N², N²-di-alkyl-2,4,6-triamino-1,3,5-triazines as well as 1-alkyl- and 1,1-dialkyl ureas. The research seeks to examine their application in microencapsulation technology in order to decrease current capsule sizes of melamine resin polycondensates to 0,5–6 μm due to the surface-active properties of the surfactants. Through the two-step nucleophilic substitution of chlorine, the parent substance 2-chloro-4,6-diamino-1,3,5-triazine was successfully produced from cyanuric chloride and ammonia. Regarding the synthesis of triazine surfactants, 2-chloro-4,6-diamino-1,3,5-triazine was effectively turned over with a 10 percent excess of

aliphatic primary 1-mono- and secondary 1,1-di-alkyl amines in a one-step substitution reaction (165 °C, 18 h) in the presence of potassium carbonate. Urea surfactants were successfully synthesized through reaction of potassium cyanate with 1-mono- and 1,1-di-alkyl amine hydrochlorides (excess 10 percent) in water (80 °C, 30 min). The processes of chemical synthesis were continuously optimized and developed further over the course of this work. Substance characterization involved thorough thermal analysis (TGA/DSC) and NMR spectrometry of synthesized triazine and urea compounds. This resulted in a strong linear dependence of thermal substance stabilities from the carbon chain length of the alkyl groups, caused by van der Waals forces. Solubility was investigated with produced urea derivatives which revealed very low saturation concentrations in water, and also displayed a linear correlation with the alkyl chain length: the bigger the aliphatic remainder, the lower the solubility in water (from 1-octadecyl urea: 0,058 to 1-butyl urea: 2,423 g.kg⁻¹). The low solubility of urea derivatives in water can generally be explained by intermolecular hydrogen bonding between the urea molecules themselves and in consequence, development of strong urea aggregates with high crystallinity. Surprisingly, due to the missing hydrogen atom at the 1-nitrogen atom, 1,1-dioctyl and 1,1-dibutyl urea were distinguished by better miscibility and self-emulsifying properties in water. Additionally, surfactant analyses such as HLB value calculation, emulsion experiments and CMC determination in water (tensiometry) under normal (pH 7, RT) and microencapsulation process conditions (pH 4, 70 °C) were conducted. This resulted, especially in the case of long-chained surfactants, in very low CMCs under normal conditions (pH 7, RT) and even as much as a factor of ten lower at elevated temperature (pH 7, 70 °C) (e.g. N²-hexadecyl-2,4,6-triamino-1,3,5-triazine: 0,11 g.kg⁻¹ H₂O at RT and 0.04 g.kg⁻¹ H₂O at 70 °C). Urea surfactants were proved to achieve lower CMCs than triazine surfactants, whereas a pH decrease to pH 4 led to weakening of the surface-active properties of both surfactant types due to protonation, making the non-ionic surfactants become partly cationic. Finally, microencapsulation experiments with surfactant application were undertaken using three methods:

1. classical process
(ultra-turrax, water-soluble melamine resin, multiple surfactants)
2. classical process
(paddle stirrer, organo-soluble melamine resin, 1-hexadecyl urea)
3. production in kneader
(organo-soluble melamine resin, dodecyl triamino triazine).

The desired decrease in microcapsule diameter failed in the case of the water-soluble melamine resin with the surfactants added to the water phase (1), but succeeded when the surfactants were added to the apolar phase of the organo-soluble melamine resin (2 and 3).

New inverse hydrogel opals as protein-responsive sensors

Martin Sütterlin

PhD thesis, University of Potsdam

Temperature- and protein-responsive sensor materials are developed, in form of biocompatible, inverse hydrogel opals (IHOs). These materials are designed for the specific recognition of large biomolecules and their optical detection, and, in the ideal case, even for the visualization of the binding event by the bare eye. IHOs are prepared via a template process. Monodisperse silica particles of several hundred nanometers in diameter are assembled into colloidal crystals ("synthetic opals"). This template is embedded in a matrix of biocompatible, thermo-responsive hydrogels. The subsequent chemical removal of the particles produces hydrogels with an inner structure, which maintain the uniform alignment of the pores, and thus, of the opalescent reflection. Such systems are denoted as "inverse hydrogel opals" and exhibit structural color. Large pore diameters of several hundred nanometres as well as interconnections between the pores are implemented to facilitate the diffusion of big (bio)molecules into the hydrogels, which has been a challenge in such sensor systems until now. The hydrogel copolymer composition is chosen to result in a hydrogel collapse of the LCST-type over 35 °C. These hydrogels show strong swelling in water below the phase transition temperature, while shrinking above it. The incorporation of reactive monomers confers coupling groups to the gels, for introducing recognition units for specific analytes, e.g. for proteins. As a model system, biotin is coupled to IHOs as recognition unit for avidin. When avidin is added to the functional IHO, the wavelength of the opalescent reflection shifts strongly, enabling direct visualization of the protein's binding. This effect is caused by the markedly induced swelling of the hydrogel after binding of the hydrophilic avidin. The change of the overall hydrophilicity of the system by the binding is amplified by the thermo-responsive nature of the hydrogel, thus modulating effectively the distance of the colloidal crystal planes. The results thus demonstrate the possibility of creating simple and easy-to-use sensor materials for detecting large biomolecules.

Investigations of the Influence of Liquid Processable Intermediate Layers with Different Coating Technologies on the Efficiency of Organic Photovoltaic Cells

Stefan Wesenberg

Master thesis, TU Chemnitz

To fulfill international carbon reduction goals, it is of major interest to make a change from carbon dioxide intense energy generation to renewable energy production. Within that field of alternative power sources the organic photovoltaics, provide the potential of a low cost and high speed produced energy generator by liquid processed materials and conventional printing techniques. The present thesis investigates in the question of the influence of different liquid processable layers and their application techniques on the performance and lifetime of the organic solar cell. Different materials at different settings and techniques have been tested and compared for the functional layers of electron- and hole-transport, for the photoactive film and for the top electrode. Evaluation took place with respect to the gained performance values as well as regarding the lifetime and stability of the cells. It could be found out, that certain material constellations are more suitable for gaining highest power conversion efficiencies of more than 6 percent, while other architectures provide a better long time stability of more than 1500 hours at outdoor conditions. By that either for high value gaining or for best stability, a best performing material-, parameter- and application-process constellation for each functional layer could be found. A change in the application techniques at different production locations showed additionally, that devices prepared under clean room conditions are not easily processable with the same results under normal atmospheric environment. This work shows, that different materials for functional layers, application settings and techniques have heavy influence on the cells performance, but simultaneously can be adjusted, with focus on the final use of the organic solar cell. With the selection of the materials at hand, a cell setup could be created, which provides high performances values at long term stability. At the other hand this work proves, that a transfer of application parameters as presettings or formulations cannot be transferred from one application technique to another, neither from laboratory environment to printing room conditions. The device architectures determined in this thesis, could be used for further investigations, to establish liquid processed organic solar cells as a highly effective low cost power generating source.

PUBLIKATIONEN

PUBLICATIONS

Production of Self-lubricating Composites

Arda Yildirim
Master thesis, University of Potsdam

Core-shell microcapsules with a polyurethane shell and a core of mineral oil based lubricating oil were synthesized by combining interfacial polymerization and internal phase separation techniques. Polyurethane components, synthesis parameters, oil/water ratio, duration of heating, oil phase composition and string speed were adjusted in order to optimize yield, monomer conversion, capsule size and capsule loading. Capsules of 10 μm in size were incorporated into various thermoplastic polymer matrix materials via extrusion and thermoforming. Stability test showed that the capsules remained intact, despite applied shear force, pressure and heat during the manufacturing. Thus, the possibility of fabrication of self lubricating composites by means of extrusion and thermoforming were demonstrated.

Synthesis of hydrogels by copolymerization of vinyl monomers of different reactivities

Marie-Sophie Zoch
Master thesis, University of Potsdam

Copolymerization reactivity ratios were determined for the ternary system consisting of dimethyl acrylamide (DMAA), N-vinylpyrrolidone (NVP) and (trimethylsilylmethyl)-methacrylate (TMSMMA). Using a combination of indirect analysis (determination of residual monomers by gas chromatography) and direct analysis (determination of the polymer composition by $^1\text{H-NMR}$ spectroscopy, IR spectroscopy and elementary analysis) five monomer compositions for three binary systems were prepared and polymerized to low conversions. The kinetics of the reactions were followed by gas chromatography and the polymers were isolated, purified and analyzed. The results showed that TMSMMA was the most reactive and NVP the most unreactive monomer in this ternary system. Subsequently ternary systems with selected compositions were synthesized as hydrogels. Swelling experiments of synthesized transparent hydrogels showed that the water content decreases with increasing content of TMSMMA. Equilibrium was reached after a swelling time of 24 h. Preliminary cytotoxicity tests were done to evaluate the biocompatibility of the synthesized hydrogels. The hydrogels had no cytotoxic effect on HCE cells.

Vorträge Lectures

M. Alekhina, K. Nieminen, A. Ebert, S. Heikkinen, H. Sixta: *Hydrothermolysis of pine: Dissolution of wood components at elevated temperatures*, 13th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp, Seville (Spain), 24.6.2014

M. Bartel, H. Remde: *Steuerung der Barriereigenschaften von PLA*, 2. Fachsymposium zur Verarbeitung von Biokunststoffen, Würzburg, 18.9.2014

J. Bohrisch, S. Schwarz: *Entwicklung und Optimierung biobasierter Flockungsmittel für öl- und fetthaltige Abwässer*, Sitzung AA »Polyreaktionen« der DECHEMA, Frankfurt am Main, 21.1.2014

T. Büsse, H. Remde: *Verarbeitung von Biokunststoffen zu Folien und Fasern*, Fakuma – Internationale Fachmesse für Kunststoffverarbeitung, Friedrichshafen, 14.10.2014

J.-P. Couturier, A. Laschewsky, M. Sütterlin, E. Wischerhoff, C. Hettrich: *New Responsive Inverse Opals for Fast and Facile Sensing of Biomolecules*, Polydays 2014: Beyond Self Assembly – Making Polymeric Materials More Versatile, Berlin, 1.10.2014

D. Dietz, H. Wetzel, M. Wandrey: *Analysis of Biomass composition*, 10th European Bioconversion and Technology Meeting, Detmold, 8.–9.4.2014

D. Dietz, B. Ledermann, M. Wandrey, M. Schmidt, G. Engelmann: *Biotechnology meets Biopolymers*, Sino-German Symposium on Biobased Chemicals and Biorefinery, Beijing (China), 7.–9.10.2014

G. Duncker, K. Hille, K. Kobuch, W. Müller-Lierheim, S. Sel, J. Storsberg: *The fully synthetic MIRO KPro – Report on development, animal experiments, and initial clinical results*, 9th KPro Study Group Meeting, Paracelsus Medical University, Salzburg (Austria), 12.4.2014

G. Engelmann, J. Ganster: *Lignin from domestic black liquor for the preparation of fibre reinforced thermosets*, 7th International Conference on Bio-based Materials, Köln, 10.4.2014

G. Engelmann, J. Ganster: *Modified lignins as components for bio-based epoxy resins and PA11-blends*, Biochemicals and Bioplastics 2014, Düsseldorf, 10.–11.6.2014

G. Engelmann, J. Ganster: *Lignin-based epoxy resins as potential component for Prepregs and thermosetting molding materials*, 10th International Symposium "Materials made of Renewable Resources", Erfurt, 16.–17.9.2014

J. Erdmann, J. Ganster: *Polyethylene-Lignin Blends – improved mechanical properties by tailored morphology*, 15. Problemseminar Polymermischungen, Halle (Saale), 6.3.2014

J. Erdmann, J. Ganster: *Polyethylene Blends – improved properties by tailored morphology*, 15. Problemseminar Polymermischungen, Halle (Saale), 6.3.2014

H.-P. Fink, J. Ganster: *Bio-based Fibers and Composites – Trends and Case Studies*, First Bioeconomy Congress Baden-Württemberg, Stuttgart, 29.–30.10.2014

H.-P. Fink: *Lignocellulose – Sustainable Resource for Novel Materials – Trends and Case Studies*, Perspectives of Knowledge-based Bioeconomy, Embassy of France, Berlin, 27.2.2014

D. Fritsch, G. Engelmann: *Entwicklung einer Polyacrylnitrilmembran und Ergebnisse der Ligninabtrennung*, Papiertechnische Stiftung (PTS), München, 20.5.2014

D. Fritsch, D. Till: *Solvent stable Polymer Membranes by a continuous manufacturing Process applying sustainable Solvents*, ICOM 2014, Suzhou (China), 20.–25.7.2014

T. Fuchsluger, A. Grünert, J. Storsberg, C. Schmidt: *Optimierung der Beladung und Freisetzung biologisch abbaubarer Nanopartikel aus Silikon-Hydrogel Kontaktlinsen*, 112. DOG-Kongress, Leipzig, 26.9.2014

C. Gabriel, H. Winkler, R. Rihm, W. Vorwerg: *Optimized starch esters for materials*, Starch Convention, Detmold, 10.4.2014

J. Ganster, J. Erdmann: *Cellulose fibers for thermoplastics reinforcement – the crucial role of fiber aspect ratio*, Japan-European Workshop "Cellulose and functional polysaccharides", Berlin, 16.10.2014

J. Ganster, H.-P. Fink: *Bio-based Technical Fibers and Composites – Trends and Case Studies*, 10th Congress for Biobased Materials, Natural Fibers and WPC, Fellbach, 24.6.2014

J. Ganster: *Biodegradable and bio-based plastics – an overview about basics, applications, and markets*, STSD/IRASA 2014 Conference, Berlin, 22.8.2014

J. Ganster: *Biogenic fiber reinforced polymers for injection molding*, TOTAL – Fraunhofer Materials Workshop, Berlin, 22.1.2014

J. Ganster, G. Engelmann: *Modifiziertes Lignin für Anwendungen im Bereich biobasierter Epoxidharze und Komposite*, 4. Wildauer Duromertagung, Wildau, 5.3.2014

J. Ganster: *Biopolymere für technische Anwendungen – Forschungsbeispiele und Perspektiven*, Gründungssymposium des Instituts für Angewandte Biowissenschaften, TH Wildau, 11.4.2014

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

- J. Ganster**, J. Erdmann: *Cellulose rayon reinforced polypropylene – a tough and lightweight alternative to GF-PP*, SKZ-Fachtagung »Polypropylen im Automobilbau«, Würzburg, 22.5.2014
- J. Ganster**, J. Erdmann: *Cellulose fiber reinforced thermoplastic polymer composites for injection molding*, 6th NewGenPack Workshop, Szczecin (Poland), 23.10.2014
- M. Hahn**, A. Lieske: *Neue PLA-Materialien mit erweitertem Marktpotenzial*, 6. Biopolymerkolloquium, Berlin, 23.1.2014
- M. Hahn**, A. Lieske: *PLA-Typen mit verbesserten Materialeigenschaften*, 6. Innovationskongress Chemie und Biopolymere, Leipzig, 22.5.2014
- M. Hahn**: *Modifizierung von PLA zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit bei der Blasfolienherstellung*, 2. Fachsymposium zur Verarbeitung von Biopolymeren, Würzburg, 18.9.2014
- C. Hettrich**, S. Kostova, K. Hettrich: *Morphological characteristics of molecular imprinted polymers (MIP) by different polymerization methods*, Porotec-Workshop, Bad Soden, 13.11.2014
- A. Holländer**: *Chemische Oberflächenfunktionalisierung von Polymeren*, Fachtagung Hybride Multi-Layer-Technologie, Aachen, 4.12.2014
- A. Holländer**: *Behandlung von Kunststoffen mit VUV-Excimer-Strahler zur Verbesserung der Haftung von Metallen*, INNOVENT Workshop »Elegante Haftung durch Oberflächenfunktionalisierung«, Fulda, 12.10.2014
- A. Holländer**, C. Schafer-Nielsen: *Plasma polymer coatings on gold as a support for bio-functionalization*, 14th International Conference on Plasma Surface Engineering, PSE 2014, Garmisch-Partenkirchen, 18.9.2014
- A. Holländer**: *Surface chemistry for the immobilization of proteins*, International Workshop on Coatings and Surfaces in Biomedical Engineering, Chennai (India), 18.2.2014
- S. Janietz**, K. Schulze, T. Egorov-Brening, M. Schmidt: *Design of organic materials and formulations for inkjet printed OFETs*, ISFOE14, Thessaloniki (Greece), 7.–10.7.2014
- S. Janietz**: *Smart chemical strategies for high performance polymers*, KOSMOS, Potsdam, 15.7.2014
- S. Janietz**: *Neue Funktionalitäten in organischen Bauelementen als Basis für Sicherheitsmerkmale*, Informationstag Bundesdruckerei, Berlin, 18.9.2014
- S. Janietz**, H. Krüger, M. Thesen, B. Salert, A. Wedel: *Concepts for the material development for solution processable phosphorescent polymers and their application in PLEDs*, SPIE, San Diego (USA), 20.8.2014
- K. Kobuch**, P. Ebert, J. Storsberg, G. Duncker, S. Sel, K. Hille, W. Müller-Lierheim, C. Lohmann: *The MIRO KPro – a new designed one-material implant with modified surfaces: Histological evaluation of biointegration and stability in vitro, in vivo and after first clinical applications*, 9th KPro Study Group meeting, "Current KPro's - Indications, Complications and Solutions", Paracelsus Medical University, Salzburg (Austria), 12.4.2014
- A. Laschewsky**: *Synthesis of thermoresponsive polymers*, German-Greek Workshop supported by DAAD "Structural methods for the investigation of soft responsive matter", TU München/Garching, 12.5.2014
- A. Laschewsky**: *A New Antigrafitti Coating for the Conservation of European Monuments*, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften Workshop and Exhibition "European Cultural Heritage Research and Innovation", Berlin, 15.9.2014
- A. Laschewsky**: *Stimulus-sensitive polymer hydrogels – a platform for autonomous biosensors*, 6th Potsdam Days on Bioanalysis 2014, Potsdam, 7.11.2014
- A. Laschewsky**, R. Bernin: *Sugar-based Polymers for Aqueous Formulations/Polymères dérivés de sucres pour les formulations aqueuses*, "Formulation et développement durable" 16^{èmes} Journées de Formulation de la Société Chimique de France, Villeneuve d'Ascq/Lille (France), 9.12.2014
- O. Mühling**, A. Seeboth, R. Ruhmann, D. Kruber, J.-U. Zilles: *Adaptiver Sonenschutz – Thermotroper Hochleistungsfüllstoff für Acrylglas*, EnOB-Symposium 2014, Essen, 20.3.2014
- P. Pingel**, D. Neher: *Morphology and charge transport in thiophene-based organic semiconducting thin films*, Polydays, TU Berlin, 2.10.2014
- P. Pingel**, D. Neher: *Struktur, Eigenschaften des Ladungstransports und molekulares Dotieren thiophenbasierter organischer Halbleiterschichten*, HU Berlin, 19.11.2014
- P. Pingel**, S. Janietz, D. Neher: *A comprehensive picture of p-doping P3HT with the molecular acceptor F4TCNQ*, 7th International Symposium on Flexible Organic Electronics (ISFOE), Thessaloniki (Greece), 8.7.2014
- M. Pinnow**, J. Ganster, A. Bohn, K. Hettrich, R. Hurdling, T. Dean: *Self-binding of cellulosic fibre materials by Hydrogen bonds after mechanical disintegration*, AAIC, Intern. Conf. "Industrial Crops and Plants", Athens (Greece), 13.9.2014
- S. Radosta**, W. Vorwerg, B. Kiebler: *Modified starch as paper additive and coating compound*, Zellcheming-Fachkongress, Messe Frankfurt, Frankfurt am Main, 26.6.2014

- H. Remde**, J. Ganster: *Thermoforming von Biopolymeren*, VDI-Fachkonferenz Kunststoffe im Food Packaging, Karlsruhe, 11.12.2014
- J. Rohowsky**, K. Hettrich, B. Volkert: *Engineering of sulphate functionalized cellulose derivatives for novel biomaterials*, Zellcheming-Fachkongress, Messe Frankfurt, Frankfurt am Main, 24.6.2014
- O. Sakhno**, Y. Gritsai, R. Rosenhauer, J. Stumpe: *Electrically controllable diffractive optical elements based on photocurable polymer-LC composites*, EOSAM 2014, Berlin, 18.9.2014
- M. Sborikas**, B. Fischer, M. Wegener: *Piezo- and ferroelectric P(VDF-TrFE) films with inkjet-printed PEDOT:PSS electrodes: Preparation parameters and property evaluation*, 2014 Joint IEEE International Symposium on the Applications of Ferroelectrics, International Workshop on Acoustic Transduction Materials and Devices & Workshop on Piezoresponse Force Microscopy (ISAF/IWATMD/PFM), Pennsylvania State University, State College, PA (USA), 12.5.2014
- C. Schmidt**, J. Storsberg: *Nano-carrier in der Tumorthherapie*, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung, Neue Potenziale für die Nanotechnologie in der Medizin – Fachveranstaltung Therapie, IHK Darmstadt, 22.5.2014
- J. Storsberg**, C. Schmidt, C. Wieland, O. Mauger, S. Rehfeldt, S. Klöpzig, T. Fuchsluger, A. Grünert: *Nano-scaled drug delivery systems for ophthalmic applications – past present and future*, 112. DOG Kongress, Leipzig, 26.9.2014
- J. Storsberg**: *Hydrogel based keratoprosthesis*, EVER 2014 Congress, Acropolis Convention Center, Nizza (France), 4.10.2014
- J. Storsberg**, C. Schmidt, G. Duncker, N. Schrage: *Significant improvement of implant performance by surface functionalization*, 18. Chirurgische Forschungstage, Implantatforschung, Medizinische Hochschule Hannover, 9.10.2014
- J. Storsberg**, C. Schmidt, G. Duncker, N. Schrage: *Künstliche Augenhornhaut – Aktueller Stand der Entwicklung*, 5. Radebeuler Augenärztliches Symposium – Moderne Diagnostik und Therapie, Radebeul, 9.11.2014
- J. Storsberg**, M. Kumpugdee-Vollrath, C. Schmidt: *Liposomal and polymer-assisted nanosized drug-delivery systems for tumor therapy*, Queen Sirikit National Convention Center, Bangkok (Thailand), 2.12.2014
- J. Storsberg**, G. Duncker, S. Sel, C. Schmidt: *Nanotechnology in ophthalmic implants and drug delivery systems: from keratoprosthesis to advanced pharmaceutical formulations*, 6th International Symposium "Advances in diagnosis and treatment of corneal diseases", Wisla (Poland), 7.3.2014
- J. Storsberg**: *Materialien für biomedizinische Anwendungen*, XII. Bionale, Ludwig-Erhard-Haus, Berlin, 13.5.2014
- J. Storsberg**, C. Schmidt: *Künstliche Hornhaut- die Entwicklung einer biomimetischen Keratoprothese*, Höhere Fachschule für Augenoptik, Köln, 30.3.2014
- J. Storsberg**: *Biomimetische Implantate – Funktionelle Verbindung zwischen Kunststoff und Biologie*, 28. Treffpunkt Medizintechnik, Biologisierte Medizintechnik, Charité – Universitätsmedizin, Berlin, 25.9.2014
- J. Stumpe**, T. Fischer, R. Rosenhauer, O. Sakhno, Y. Gritsai: *Polarization Elements due to Bulk-Photoalignment of LC-Polymer*, 1st International Conference on Photoalignment and Photopatterning in Soft Materials (PhoSM), Hongkong (China), 2.12.2014
- E. Tarkhanov**, A. Lehmann: *Faserherstellung aus Biokunststoffen*, 2. Fachsymposium zur Verarbeitung von Biokunststoffen, Würzburg, 18.9.2014
- D. Triantou**, C. Asaftei, S. Janietz: *Neutral green electrochromic material based on 5,7-di(thiophene-2-yl)2,3-diphenyl-thieno[3,4-B]pyrazine*, ICOE 14, Modena (Italy), 11.–13.7.2014
- D. Triantou**, C. Asaftei, S. Janietz: *Effect of the acceptor on the electrochemical and electrochromic properties of Donor-Acceptor polymer films*, ISFOE 14, Thessaloniki (Greece), 7.–10.7.2014
- M. Wegener**: *Elektromechanische Polymersensoren und -aktoren: Neue Entwicklungen, Systemintegration und die Rolle von Carbon-haltigen Elektroden*, Carbon Composites Thementag »Funktionsintegration in der Praxis«, Leipzig, 14.10.2014
- M. Wegener**: *Functional polymers and composites for electro-active transducers*, 1st Workshop European Network for the Development of Organic electric converters, Chemnitz, 17.11.2014
- E. Wischerhoff**: *Sensor-Actor-Systems for Marker- and Instrument-Free Biodetection*, Workshop des Graduiertenkollegs »Hydrogel-basierte Mikrosysteme«, Lübbenau 10.7.2014
- M. Zellmeier**, S. Soulis, S. Janietz, N. Nickel, J. Rappich: *Efficient silicon/polythiophene hybrid solar cells*, Baltic Polymer Symposium, Laulasmaa (Estonia) 24.–26.9.2014
- M. Zellmeier**, S. Soulis, S. Janietz, N. Nickel, J. Rappich: *Interface Characterization of Silicon/Polythiophene Solar Cells Using Spectral Response Measurements*, MRS fall Meeting 2014, Boston (USA) 30.11.–5.12.2014

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

Poster

Posters

L. Augsbach, K. Kyriakos, A. Miasnikova, A. Laschewsky, Z. Di, P. Müller-Buschbaum, C. Papadakis: *Micellar solutions of novel thermoresponsive diblock copolymers*, DPG Spring Meeting (Condensed Matter) 2014, Dresden, 30.3.2014

R. Bernin, C. Wieland, E. Wischerhoff, A. Laschewsky: *A New Family of Water-Soluble Polymers from Bio-Based Components*, Makromolekulares Kolloquium, Freiburg, 28.2.2014

R. Bernin, A. Laschewsky, M. Päch, E. Wischerhoff: *A New Class of Water-Soluble Polymers from Bio-Based Building Blocks*, Polymat 60: Silesian Meetings on Polymer Materials, Zabrze (Poland), 30.6.2014

R. Bernin, A. Laschewsky, M. Päch, E. Wischerhoff: *A Versatile Class of Water-Soluble Glycopolymers and Hydrogels from Bio-Based Building Blocks*, Polydays 2014: Beyond Self Assembly – Making Polymeric Materials More Versatile, Technische Universität Berlin, 30.9.2014

R. Bernin, A. Laschewsky, E. Wischerhoff: *Water-Soluble Glycopolymers and Hydrogels from Bio-Based Building Blocks*, 6th Potsdam Days on Bioanalysis 2014, Fraunhofer IZI-BB, Potsdam-Golm, 6.11.2014

K. Bika, S. Kripotou, P. Pissis, A. Miasnikova, A. Laschewsky, C. Papadakis, A. Kyritsis: *Study of the Thermoresponsive Symmetrical Triblock Copolymer Poly(styrene-block-methoxy diethyleneglycolacrylate-block-styrene) Using Differential Scanning Calorimetry and Dielectric Relaxation Spectroscopy*, German-Greek Workshop supported by DAAD "Structural methods for the investigation of soft responsive matter", TU München, Campus Garching, 12.5.2014

C. Boeffel, A. Enzenberg, A. Laschewsky, M. Rohn: *Fluorescent Copolymers for Molecular Recognition in Autonomous Sensor Systems*, 6th Potsdam Days on Bioanalysis 2014, Fraunhofer IZI-BB, Potsdam-Golm, 6.11.2014

C. Boeffel, A. Enzenberg, A. Laschewsky, M. Rohn, A. Taubert: *New fluorescent copolymers for recognition in autonomous sensor systems*, Makromolekulares Kolloquium Freiburg, 27.2.2014

J.-P. Couturier, M. Sütterlin, E. Wischerhoff, C. Hettrich, A. Laschewsky: *Responsive Inverse Opal Hydrogels for the Sensing of Macromolecules*, 6th Potsdam Days on Bioanalysis 2014, Fraunhofer IZI-BB, Potsdam-Golm, 6.11.2014

J.-P. Couturier, A. Laschewsky, E. Wischerhoff: *Responsive Inverse Opal Hydrogels for Sensing Biomolecules*, DECHEMA-Kolloquium Spektroskopische Verfahren für Life Sciences, Biotechnologiepark Luckenwalde, 5.11.2014

D. Dietz, B. Ledermann, G. Engelmann, M. Schmidt, M. Wandrey: *Fermentative production of peroxidase for the valorization of lignin*, Biomaterials – made in Bioreactors, Radebeul, 26.–28.5.2014

J. Frisch, M. Zellmeier, V. BrusSt. Greil, S. Janietz, J. Rappich, N. Nickel, N. Koch: *High Efficiency Silicon/Polythiophene Hybrid Photovoltaic Cells*, MRS Spring Meeting 2014, San Francisco (USA), 21.–25.4.2014

D. Fritsch: *Porous and pore-free organic solvent stable polymer membranes made from environment-friendly solvents*, Infotag Membrantechnik »Neuentwicklungen Cross Flow Filtration – Membranen, Module und Prozesse«, Frankfurt am Main, 9.4.2014

S. Greil, X. Zhang, M. Zellmeier, V. Brus, S. Janietz, N. Nickel, J. Rappich: *Nanostructuring and surface passivation of silicon nanostructures for organic-inorganic hybrid solar cell absorbers*, DPG, Dresden, 30.3.–4.4.2014

K. Hettrich, H. Wetzel: *Quantification and characterization of polymer ingredients from poplar*, Status Seminar "Plant 2030", Potsdam, 31.3.–2.4.2014

K. Hettrich, B. Volkert, A. Bohn, M. Pinnow: *Preparation and characterization of nanocellulose*, COST-FP1205 Workshop "Innovative applications of regenerated wood cellulose fibres", Bangor/Wales (UK), 5.3.2014

E. Heydari, J. Buller, E. Wischerhoff, S. Döring, A. Sobolewska, R. Rosenhauer, A. Laschewsky, J. Stumpe: *Polymer DFB laser with hydrogel recognition layer for label-free biosensing*, 78th Annual Meeting of the DPG (Deutsche Physikalische Gesellschaft), Berlin, 17.3.2014

V. Hildebrand, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum, C. Papadakis, D. Zehm: *Upper critical solution phase behavior of polysulfobetaines in water, deuterated water, and aqueous salt solutions*, Polydays 2014: Beyond Self Assembly – Making Polymeric Materials More Versatile, Technische Universität Berlin, 30.9.2014

A. Holländer, S. Kröpke: *Up-scaling of a polymer powder surfaces functionalization*, 14th International Conference on Plasma Surface Engineering, PSE 2014 Garmisch-Partenkirchen, 15.–19.9.2014

C. Ippen, T. Greco, Y. Kim, C. Pries, A. Wedel: *Surface composition tuning of InP quantum dots*, 8th International Conference on Quantum Dots, Pisa (Italy), 14.5.2014

D. Triantou, S. Janietz: *Synthesis and characterization of 3,4-ethylenedioxythiophene copolymers with different acceptor units for electrochromic applications*, Polydays, Berlin, 30.9.–2.10.2014

K. Kyriakos, M. Philipp, M. Dyakonova, N. Vishnevetskaya, C. Lin, A. Miasnikova, A. Laschewsky, I. Grillo, P. Müller-Buschbaum, C. Papadakis: *Cononsolvency in P(S-b-NIPAM) in different solvent mixtures – a time-resolved SANS investigation*, 8th International Symposium "Molecular Order and Mobility in Polymer Systems", St. Petersburg (Russia), 2.6.2014

R. Bernin, A. Laschewsky, M. Päch, E. Wischerhoff: *New Water-soluble Polymers from Bio-based Building Blocks*, 3. Berliner Chemie Symposium, JungChemikerForum Berlin der GDCh, Berlin, 9.4.2014

F. Limberg, P. Pingel, D. Landerer, F. Reisbeck, A. Lorente-Sanchez, H. Krüger: *A New One-Component Cross-Linking Approach Towards Fully Solution-Processable OLEDs*, 10th International Conference on Electroluminescence and Organic Optoelectronics (ICEL), Universität Köln, 2.9.2014

O. Mühling, A. Seeboth, R. Ruhmann, D. Kruber, J.-U. Zilles: *Adaptiver Sonnenschutz – Thermotroper Hochleistungsfüllstoff für Acrylglas*, EnOB-Symposium 2014, Essen, 20.3.2014

W. Meyer, K. Hennig: *Biokompatible Materialien für das Rapid Prototyping*, Handlungsfeldkonferenz Mikrosystemtechnik, Berlin, 14.10.2014

C. Papadakis, J. Adelsberger, I. Grillo, A. Bivigou-Koumba, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum: *Kinetics of Collapse and Aggregation in Thermoresponsive Micellar Block Copolymer Solutions*, SNI2014, German Conference for Research with Synchrotron Radiation, Neutrons and Ion Beams at Large Facilities 2014, Bonn, 21.9.2014

P. Pingel, F. Limberg, D. Landerer, H. Krüger, S. Janietz: *Electrical and device characteristics of thermally crosslinked hole transport layers for solution-processed multilayer OLEDs*, 10th International Conference on Electroluminescence and Organic Optoelectronics (ICEL) Universität Köln, 2.9.2014

S. Prevost, M. Gradzielski, V. Nguyen, A. Chilkoti, A. Laschewsky, V. Abetz: *Scaling up micelles with large amphiphiles*, SNI2014, German Conference for Research with Synchrotron Radiation, Neutrons and Ion Beams at Large Facilities 2014, Bonn, 21.9.2014

K. Rauch, C. Müller, U. Hartmann, S. Böhmer, W. Meyer, A. Neudeck, K. Gnewuch, M. McBrearty, B. Reichenbaecher: *Erforschung anodisierter versilberter Garne mit permanentem ionischen Nanofilm zur Behandlung neuronaler Lähmungen (MedKontakt)*, MEDIZIN INNOVATIV, MedTech Pharma 2014, Nürnberg, 2.7.2014

T. Shopova, A. Holländer, M. Keusgen: *Detection and separation of microparticles using surface modified polymer particles*, EnFI–2014, Engineering of Functional Interfaces, Aachen, 14.–15.7.2014

N. Vishnevetskaya, V. Hoang, A. Laschewsky, C. Papadakis: *Aggregation behavior of doubly thermo-responsive poly(sulfobetaine-*b*-(*N*-isopropylmethacrylamide) diblock copolymers*, SNI2014, German Conference for Research with Synchrotron Radiation, Neutrons and Ion Beams at Large Facilities 2014, Bonn, 21.9.2014

J. Wagner, M. Kollosche, O. Sakhno, M. Wegener: *Voltage controlled elastomer optics and photonics*, Polydays 2014, Berlin, 2.10.2014

J. Wagner, E. Wischerhoff, J. Stumpe, M. Wegener: *Funktionale Oberflächen für selektive und schaltbare Adhäsion*, 10. Thementage Grenz- und Oberflächentechnik & 4. Optik-Kolloquium »Dünne Schichten in der Optik«, Leipzig, 4.9.2014

A. Wedel, C. Ippen, Y. Kim, J. Kim, M. Oh, C. Han, T. Greco: *Cadmium-free quantum dots in electroluminescent light-emitting devices*, 8th International Conference on Quantum Dots, Pisa (Italy), 14.5.2014

M. Zellmeier, M. Klaus, C. Genzel, S. Janietz, N. Nickel, J. Rappich: *Highly Efficient Silicon/Polythiophene Hybrid Solar Cell Devices*, HOPV, Lausanne (Switzerland), 11.–14.5.2014

M. Zellmeier, J. Frisch, S. Janietz, N. Koch, J. Rappich, N. Nickel: *Highly Efficient Silicon/Polythiophene Hybrid Solar Cell Devices*, DPG, Dresden, 30.3.–4.4.2014

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

Publikationen Publications

- S. Albrecht**, J. Tumbleston, S. Janietz, I. Dumsch, S. Allard, U. Scherf, H. Ade, D. Neher: *Quantifying Charge Extraction in Organic Solar Cells: The Case of Fluorinated PCPDTBT*, Journal of Physical Chemistry Letters 5, pp. 1131–1138 (2014)
- T. Babur**, J. Balko, H. Budde, M. Beiner: *Confined relaxation dynamics in long range ordered polyesters with comb-like architecture*, Polymer 55, pp. 6844–6852 (2014)
- J. Buchs**, M. Gäbler, D. Janietz, H. Sawade: *Coumarin Based Emissive Liquid Crystals*, Liquid Crystals 41, p. 1605 (2014)
- A. Ciuciu**, P. Cywinski: *Two-photon polymerization of hydrogels—versatile solutions to fabricate well-defined 3D structures*, RSC Advances 4/85, pp. 45504–45516 (2014)
- C. Comminges**, S. Frasca, M. Sütterlin, E. Wischerhoff, A. Laschewsky, U. Wollenberger: *Surface modification with thermoresponsive polymer brushes for a switchable electrochemical sensor*, RSC Advances 4, pp. 43092–43097 (2014)
- P. Cywinski**, T. Hammann, D. Hühn, W. Parak, N. Hildebrandt, H.-G. Löhmannsröben: *Europium-quantum dot nanobioconjugates as luminescent probes for time-gated biosensing*, Journal of biomedical optics 9/10, p. 101506 (2014)
- P. Cywinski**, A. Moro, H.-G. Löhmannsröben: *Cyclic GMP recognition using ratiometric QD-fluorophore conjugate nanosensors*, Biosensors and Bioelectronics 52, pp. 288–292 (2014)
- P. Cywinski**, K. Nchimi Nono, L. Charbonnière, T. Hammann, H.-G. Löhmannsröben: *Photophysical evaluation of a new functional terbium complex in FRET-based time-resolved homogenous fluoroassays*, Physical Chemistry Chemical Physics 16, pp. 6060–6067 (2014)
- G. Duncker**, J. Storsberg, W. Müller-Lierheim: *Die voll-synthetische, biologisch beschichtete MIRO® CORNEA UR Keratoprothese – Entwicklung, präklinische Untersuchungen und erste klinische Ergebnisse*, Spektrum der Augenheilkunde 28/6, pp. 250–260, 0930–4282 (2014)
- H.-P. Fink**, J. Ganster, A. Lehmann: *Progress in cellulose shaping: 20 years industrial case studies at Fraunhofer IAP*, Cellulose 21, pp. 31–51 (2014)
- Y. Gritsai**, O. Sakhno, L. Goldenberg, J. Stumpe: *Dye-doped PQ-PMMA phase holographic materials for DFB lasing*, Journal of Optics 16/3, p. 035101 (2014)
- V. Herrera**, A. Rodríguez, A. Laschewsky, M. Moyá: *Influence of ionic liquids on the aggregation of cationic dimeric surfactants. Salt and solvent effects*, Journal of Colloid and Interface Science 430, pp. 326–336 (2014)
- K. Hettrich**, M. Pinnow, B. Volkert, L. Passauer, S. Fischer: *Novel aspects of nanocellulose*, Cellulose 21/4, pp. 2479–2488, 0969–0239 (2014)
- E. Heydari**, J. Buller, E. Wischerhoff, A. Laschewsky, S. Döring, J. Stumpe: *Label-Free Biosensor Based on an All-Polymer DFB Laser*, Advanced Optical Materials 2/2, pp. 137–141 (2014)
- V. Hildebrand**, A. Laschewsky, D. Zehm: *On the Hydrophilicity of Polyzwitterion Poly(N,N-dimethyl-N-(3-(methacrylamido)propyl) ammoniopropane sulfonate) in Water, Deuterated Water and Aqueous Salt Solutions*, Journal of Biomaterials Science Polymer Edition 25, pp. 1602–1618 (2014)
- I. Hoffmann**, P. Malo de Molina, B. Farago, P. Falus, C. Herfurth, A. Laschewsky, M. Gradzielski: *Dynamics of Microemulsions Bridged with Hydrophobically End-capped Star Polymers Studied by Neutron Spin-Echo.*, Journal of Chemical Physics 140, pp. 034902/1–034902/8 (2014)
- C. Ippen**, T. Greco, Y. Kim, J. Kim, M. Oh, C. Han, A. Wedel: *ZnSe/ZnS quantum dots as emitting material in blue QD-LEDs with narrow emission peak and wavelength tenability*, Organic Electronics 15/1, pp. 126–131 (2014), 1566–1199
- S. Janietz**, H. Krueger, M. Thesen, B. Salert, A. Wedel: *Concepts for the material development of phosphorescent organic materials processable from solution and their application in OLEDs*, Proceeding SPIE 9183, pp. 918303–918314 (2014)
- H. Kangas**, T. Tamminen, T. Liitiä, T. Hakala, W. Vorwerg, K. Poppius-Levlin: *Lignofibre (LGF) Process – A Flexible Biorefinery For Lignocellulosics*, Cellulose Chemistry and Technology 48, pp. 765–771 (2014)
- K. Karlström**, B. Sjogren, W. Vorwerg, B. Volkert: *Sulphur-Free cooking for value added cellulose*, Cellulose Chemistry and Technology 48, pp. 781–786 (2014)

- Y. Kim**, C. Ippen, T. Greco, J. Lee, M. Oh, C. Han, A. Wedel, J. Kim: *Increased shell thickness in indium phosphide multishell quantum dots leading to efficiency and stability enhancement in light-emitting diodes*, *Optical Materials Express* 4, pp. 1436–1443 (2014)
- Y. Kim**, C. Ippen, T. Greco, I. Jang, S. Park, M. Oh, C. Han, J. Lee, A. Wedel, J. Kim: *Electrical aging effect of ZnS based quantum dots for white light-emitting diodes*, *Electronic Materials Letters* 10/2, pp. 479–483 (2014)
- Y. Kim**, C. Ippen, T. Greco, M. Oh, C. Han, J. Lee, A. Wedel, J. Kim: *Semitransparent Quantum Dot Light-Emitting Diodes by Cadmium-Free Colloidal Quantum Dots*, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 14/11, pp. 8636–8640 (2014), 1533–4880
- M. Kopeć**, W. Niemiec, A. Laschewsky, M. Nowakowska, S. Zapotoczny: *Photoinduced Energy and Electron Transfer in Micellar Multilayer Films*, *Journal of Physical Chemistry C* 118, pp. 2215–2221 (2014)
- M. Krug**, S. Barth, I. Endler, D. Glöß, J. Fahlteich, C. Boeffel, P. Frach: *Combination of Pulse Magnetron Sputtering and Atomic Layer Deposition for Very Low Water Vapour and Oxygen Transmission Rates Using Cheap Standard Plastic Substrates*, *Proceedings of the 10th International Conference on Coatings on Glass and Plastics ICCG, ICCG 10*, pp. 117–120 (2014)
- K. Kyriakos**, D. Aravopoulou, L. Augsbach, J. Sapper, S. Ottinger, C. Psylla, A. Rafat, C. Benitez-Montoya, A. Miasnikova, Z. Di, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum, A. Kyritsis, C. Papadakis: *Novel thermoresponsive block copolymers having different architectures – structural, mechanical, thermal and dielectric investigations*, *Colloid and Polymer Science* 292, pp. 1757–1774 (2014)
- K. Kyriakos**, M. Philipp, J. Adelsberger, S. Jaksch, A. Berezkin, D. Kurr, W. Richtering, I. Grillo, A. Miasnikova, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum, C. Papadakis: *Cononsolvency in PNIPAM and P(S-b-NIPAM): Pathway of Aggregate Formation Investigated Using Time-Resolved SANS.*, *Macromolecules* 47, pp. 6867–6879 (2014)
- A. Laschewsky**: *Structures And Synthesis Of Zwitterionic Polymers (Review)*, *Polymers* 6, pp. 1544–1601 (2014)
- A. Lehmann**, J. Ganster, H.-P. Fink: *Rayon and more – Biobased chemical fibers*, *bioplastics magazine* 5/14, pp. 24–27 (2014)
- P. Lorchat**, I. Konko, J. Combet, J. Jestin, A. Johner, A. Laschewsky, S. Obukhov, M. Rawiso: *New regime in polyelectrolyte solutions*, *Europhysics Letters EPL* 106, pp. 28003/1–6 (2014)
- S. Micciulla**, S. Doodoo, C. Chévigny, A. Laschewsky, R. von Klitzing: *Short versus long chain polyelectrolyte multilayers: A direct comparison of self-assembly and structural properties*, *Physical Chemistry Chemical Physics* 16, pp. 21988–21998 (2014)
- S. Micciulla**, P. Sanchez, J. Smiatek, B. Qiao, M. Segal, A. Laschewsky, C. Holm, R. von Klitzing: *Layer-by-layer formation of oligoelectrolyte multilayers: a combined experimental and computational study*, *Soft Materials* 12, pp. S12–S21 (2014)
- O. Mühling**, A. Seeboth, R. Ruhmann, V. Eberhardt, H. Byker, C. Anderson, S. De Jong: *Solar collector cover with temperature-controlled solar light transmittance*, *Energy Procedia* 48, pp. 163–171 (2014)
- G. Nisato**, H. Klumbies, L. Müller-Meskamp, P. van de Weijer, P. Bouten, C. Boeffel, D. Leuenberger, W. Grählert, S. Edge, S. Cros, P. Brewer, E. Kucukpinar, J. de Girolamo, P. Srinivasan: *Experimental comparison of high-performance water vapor permeation measurement methods*, *Organic Electronics* 15, pp. 3746–3755 (2014)
- T. Ortmann**, H. Ahrens, S. Milewski, F. Lawrenz, A. Gröning, A. Laschewsky, S. Garnier, C. Helm: *Lipid Monolayers with Adsorbed Oppositely Charged Polyelectrolytes: Influence of Reduced Charge Densities*, *Polymers* 6, pp. 1999–2017 (2014)
- O. Sakhno**, Y. Gritsai, J. Stumpe: *Distributed feedback lasing from electrically tunable dye-doped polymer-liquid crystal transmission gratings*, *Laser Physics Letters* 11, p. 115812 (2014)

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

- M. Sborikas**, B. Fischer, M. Wegener: *Piezo- and ferroelectric P(VDF-TrFE) films with inkjet-printed PEDOT:PSS electrodes: Preparation parameters and property evaluation*, 2014 Joint IEEE International Symposium on the Applications of Ferroelectrics, International Workshop on Acoustic Transduction Materials and Devices & Workshop on Piezoresponse Force Microscopy (ISAF/IWATMD/PFM), IEEE Service Center article 194, pp. 1–4 (2014)
- C. Schmidt**, N. Doğangüzel, S. Klöpzig, S. Rehfeldt, S. Behne, R.-J. da Silva, J.-P. Krause, M. Kumpugdee-Vollrath, J. Storsberg: *Synthesis of doxorubicin containing drug carriers and their in-vitro performance on HeLa and HCT116 cells*, Nanotech Dubai 2013 International Conference Proceeding 1, 40–9 (2014)
- N. Schrage**, A. Cordes, J. Storsberg, S. Sel, H. Röthgen, N. Nass, E. Berndt, S. Jockenhövel, A. Meßner, C. Panfil: *In vitro and in vivo investigations of a modified textile keratoprosthesis*, ACTO TexKPRO, Ophthalmologie 111/3, pp. 247–253 (2014)
- R. Schulze**, M. Heinrich, P. Nossol, R. Forke, M. Sborikas, A. Tsapikolenko, D. Billep, M. Wegener, L. Kroll, T. Gessner: *Piezoelectric P(VDF-TrFE) transducers assembled with micro injection molded polymers*, Sensors and Actuators 208, pp. 159–165 (2014)
- S. Schwarz**, G. Petzold, J. Bohrisch: *pH-abhängige Bestimmung von Ladung und Oberflächenspannung von wässrigen Pektinlösungen*, gwf-Wasser/Abwasser 155/9, pp. 970–975, (2014)
- A. Seeboth**, D. Löttsch, R. Ruhmann, O. Muehling: *Thermochromic Polymers – Function by Design*, Chemical Reviews 114/5, pp. 3037–3068 (2014)
- T. Smirnova**, O. Sakhno, V. Vitio, Y. Gritsai, J. Stumpe: *Simple and high performance DFB laser based on dye-doped nanocomposite volume gratings*, Laser Physics Letters 11, 125804 (2014)
- J. Storsberg**: *Circle of life*, Medical Device Developments, www.medicaldevice-developments.com, 03/2014, pp. 90–92 (2014)
- J. Storsberg**: *Hydrogel based keratoprosthesis*, Acta Ophthalmologica, 92:0/doi: 10.11, 0–0 (2014)
- J. Storsberg**, C. Schmidt, G. Duncker, N. Schrage: *Significant Improvement of implant performance by surface functionalization*, Langenbecks Arch Surg 399, pp. 901–902 (2014), 1435–2443
- V. Strehmel**, H. Wetzel, A. Laschewsky: *Ionic liquids as advantageous reaction media for free radical polymerization*, Macromolecular Symposia 342, pp. 78–85 (2014)
- J. Stumpe**, O. Sakhno, Y. Gritsai, R. Rosenhauer, T. Fischer, M. Rutloh, F. Schaal, S. Weidenfeld, M. Jetter, P. Michler, C. Pruss, W. Osten: *Active and passive LC based polarization elements*, Molecular Crystals and Liquid Crystals 594/1, pp. 140–149 (2014)
- K. Uhlig**, H.-G. Boerner, E. Wischerhoff, J.-F. Lutz, M. Jaeger, A. Laschewsky, C. Duschl: *On the interaction of adherent cells with thermoresponsive polymer coatings*, Polymers 6, pp. 1164–1177 (2014)
- L. Vetter**, J. Storsberg: *Polymere in der Medizin – Wenn Blinde wieder sehen können und Fäden sich einfach auflösen*, Praxis der Naturwissenschaften, Chemie in der Schule 63/5, pp. 5–12 (2014) 1617–5638
- L. Vetter**, M. Laughton, C. Schmidt, J. Storsberg: *Anti-Ageing Creams, Ingredients and Their Effects Against Early Skin Ageing*, SOFW-Journal 140/11, pp. 34–39 (2014), 09427694
- L. Vetter**, M. Laughton, C. Schmidt, J. Storsberg: *Anti-Ageing Cremes, Inhaltsstoffe und ihre Wirkung gegen vorzeitige Hautalterung*, SOFW-Journal 140/11, pp. 32–39 (2014)
- B. Volkert**, A. Lehmann, K. Hettich: *Novel Cellulose and Starch-Based Materials*, Cellulose Chemistry and Technology 48/5-6, pp. 425–444 (2014)
- J. Weiss**, H. Wienk, R. Boelens, A. Laschewsky: *Block Copolymer Micelles with Intermediate Star-/Flower-Like Structure Studied by 1H-NMR Relaxometry*, Macromolecular Chemistry and Physics 215, pp. 915–919 (2014)
- H. Winkler**, W. Vorwerg, R. Rihm: *Thermal and mechanical properties of fatty acid starch esters*, Carbohydrate Polymers 102, pp. 941–949 (2014)
- H. Winkler**, W. Vorwerg, M. Schmidt: *Synthesis of hydrophobic whey protein isolate by acylation with fatty acids*, European Polymer Journal 62, pp. 10–18 (2014)
- M. Węclawski**, M. Tasiar, T. Hammann, P. Cywinski, D. Gryko: *From π -expanded coumarins to π -expanded pentacenes*, Chemical Communications 50, pp. 9105–9108 (2014)
- Y. Zakrevskyy**, P. Cywinski, M. Cywinska, J. Paasche, N. Lomadze, O. Reich, H.-G. Löhmansröben, S. Santer: *Interaction of photosensitive surfactant with DNA and poly acrylic acid*, The Journal of Chemical Physics 140, pp. 044907 (2014)
- X. Zhang**, F. Rösicke, V. Syritski, G. Sun, J. Reut, K. Hinrichs, S. Janietz, J. Rappich: *Influence of the Para-Substituent of Benzene Diazonium Salts and the Solvent on the Film Growth During Electrochemical Reduction*, Zeitschrift für Physikalische Chemie 2014; pp. 228(4–5): 557–573, 4–5, 557–573 (2014)

PATENTE PATENTS

Angemeldete Patente in 2014: 21

Offengelegte Patente in 2014: 20

Applied patents in 2014: 21

Published patents in 2014: 20

R. Ruhmann, O. Mühling, A. Seeboth, J. Zilles, D. Kruber:
Thermotrope Kunststoffe
WO 2014/096222 A2

J. Stumpe, E. Wischerhoff, E. Heydari, J. Buller:
Sensor mit photovernetztem Hydrogel
WO 2014/198638

F. Morgner: *Lanthanoidkomplexbasierte spektroskopische Hämoglobinbestimmung in einem flüssigen biologischen Medium*
WO 2014/154615

S. Janietz, E. Katholing, A. Lange: *Halbleitendes Copolymer sowie Verfahren zu dessen Herstellung, Stoffgemisch, elektrisches oder elektronisches Bauelement sowie Verfahren zu dessen Herstellung*
DE 10 2013 206 586.8

U. Wendler, M. Vater, C. Gehrhardt, F. Herzig: *Verfahren zur Abtrennung eines Polymers aus einer Polymerlösung oder -dispersion*
DE 10 2013 205 990 A1

T. Greco, C. Ippen, A. Wedel: *Blau-emittierende Leuchtdioden auf Basis von Zinkselenid-Quantenpunkten*
US 2014/0353579 A1
DE 10 2013 206 077 A1

J. Erdmann, G. Engelmann, J. Ganster: *Mikrostrukturiertes Kompositmaterial, Verfahren zu dessen Herstellung, Formkörper hieraus sowie Verwendungszwecke*
DE 10 2013 002 574 A1

J. Erdmann, G. Engelmann, J. Ganster: *Thermoplastische Polymercompounds mit niedermolekularen Lingninen, Verfahren zu deren Herstellung, Formkörper sowie Verwendungen*
WO 2014/122089
DE 10 2013 002 573 A1

K. Hettrich, J. Rohowsky: *Verfahren zur Herstellung von sulfatierten Celluloseestern sowie hieraus hergestellte Mikrokapseln und deren Verwendung*
WO 2014/147123 A1
DE 10 2013 204 817 A1

F. Schnabel, A. Ardilio, N. Koehler, C. Boeffel, A. Lange, S. Kreissl, B. Fischer, C.-O. Danz: *Verfahren und Gerätesystem zur Bereitstellung von Informationen über eine auf einen Benutzer eingestrahlte UV-Dosis*
DE 10 2013 113 445 A1

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, C. Beta, R. Niedl: *Fluidiksystem*
US 2014/0178917 A1
EP 2 745 936

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Päch: *Die Primärwaschkraft verbessernde polymere Wirkstoffe (verzweigte Polymere)*
WO 2014/090770 A1

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Päch: *Die Primärwaschkraft verbessernde polymere Wirkstoffe (mit NVP)*
WO 2014/090769 A1

A. Seeboth, R. Ruhmann, D. Löttsch: *Thermochromes Material, dieses enthaltende Formkörper und deren Verwendung*
WO 2014/044462 A1
DE 10 2012 018 813 A1

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Päch, N. Plath, I. Vockenroth, E.-M. Wikker, B. Luneau: *Waschkraft verbessernde polymere Wirkstoffe auf Basis von Polyvenylamiden*
US 2014/0187462 A1

A. Laschewsky, E. Wischerhoff, M. Päch, N. Plath, I. Vockenroth, E.-M. Wikker, B. Luneau: *Waschkraft verbessernde polymere Wirkstoffe auf Basis von Acrylmonomeren*
US 2014/0187461 A1

S. Bruzzano, A. Somborn-Schulz, E. Möhle, A. Fastabend, B. Volkert: *Adsorbens zur Abtrennung fluorierter organischer Verbindungen aus kontaminierten Fluiden, Verfahren zu dessen Herstellung und Verwendung desselben*
EP 2 763 790 A1

A. Lehmann, H. Ebeling, H.-P. Fink: *Verfahren zur Herstellung ligninhaltiger Precursorfasern sowie Carbonfasern*
EP 2 726 653

W. Vorweg, S. Radosta, R. Reichenbach-Klinke, M. Schuhbeck, L. Einfeld, O. Lafuente Cerda, R. Knapen: *Hydrogel aus einem chemisch modifizierten Polysaccharid-Protein-Blend, Verfahren und Herstellung eines PPB-Hydrogels und Verwendung hiervon*
WO 2014/013288

G. Engelmann, A. Ebert, H.-P. Fink, B. Wohlmann, M. Wölki: *Ligninderivat, das Derivat umfassender Formkörper und Kohlenstoff-Fasern hergestellt aus dem Formkörper*
EP 2 387 593 B1 (DE)

Erteilte Patente in 2014: 11
Granted patents in 2014: 11

J. Stumpe, E. Wischerhoff, E. Heydari, J. Buller:
Sensor mit photovernetztem Hydrogel
DE 10 2013 210 794 B3

S. Janietz, K. Schulze, T. Egorov-Brening: *Verfahren zur Beschichtung eines Substrates mit einer Schutzschicht, beschichtetes Substrat, elektronisches Bauteil sowie Verwendungszwecke*
DE 10 2010 027 239 A1

T. Fischer, J. Stumpe, V. Kahl: *Polymersubstrat mit fluoreszierender Struktur, Verfahren zu dessen Herstellung und dessen Verwendung*
EP 2 292 329 A1 (EP, NL, GB, FR, DE, CH, BE)

T. Greco, M. Wegener: *Piezo- und/oder pyroelektrische Polymerzusammensetzung, Verfahren zu deren Herstellung sowie piezo- und/oder pyroelektrisches Bauteil*
DE 10 2009 016 209 A1

B. Elling, T. Greco, A. Wedel, R. Danz: *Optisches Bauelement sowie dessen Verwendung*
DE 10 2009 019 635 A1

G. Engelmann, A. Ebert, H.-P. Fink, B. Wohlmann, M. Wölki:
Ligninderivat, das Derivat umfassender Formkörper und Kohlenstoff-Fasern hergestellt aus dem Formkörper
EP 2 387 593 B1 (DE)

J. Storsberg, S. Bruzzano: *Pfropfcopolymere, Verfahren zu dessen Herstellung sowie dessen Verwendung*
DE 10 2013 221 207 B3

A. Seeboth, O. Mühling, R. Ruhmann, R. Vetter: *Komposit mit inversen thermochromen Eigenschaften, dieses enthaltender Verbundwerkstoff sowie dessen Verwendung*
CN 101755029 A

J. Storsberg, S. Bruzzano, A. Laschewsky: *Herstellung von Makroinitiatoren, sowie deren Verwendung zur Herstellung von Polymermaterialien für die Ophthalmologie und medizinischen Implantaten*
DE 10 2013 221 208

A. Holländer, M. Keusgen, J. Krämer, A. Ferner: *Verfahren zur spezifischen oder unspezifischen Separation von Zellen und/oder Viren aus flüssigen Medien und dessen Verwendung*
EP 1 839 061 A1 (EP, NL, GB, FR, DE)

A. Seeboth, J. Kriwanek, D. Löttsch: *Thermochrome Polymerschicht und Verfahren zu deren Herstellung*
EP 1 658 324 A1 (EP, TR, PL, IT, GB, FR, DE)

Erteilte Wortmarke in 2014: 1
Granted word mark in 2014: 1

ComCarbon
102039116 (TW)

ANFAHRT

HOW TO REACH US

Anreise mit Bus/Bahn/Flugzeug

ab Berlin Hauptbahnhof oder Berlin Zoologischer Garten

- Regionalbahnen RB 21 oder RB 22 direkt bis Potsdam, Bahnhof Golm
- Regionalexpress RE 1 bis Potsdam Hbf

ab Potsdam Hauptbahnhof

- Busse 605 oder 606 bis Wissenschaftspark Golm
- Regionalbahnen RB 20, RB 21, RB 22 bis Potsdam, Bahnhof Golm

vom Flughafen Berlin–Schönefeld

- Regionalbahn RB 22 direkt nach Potsdam, Bahnhof Golm

vom Flughafen Berlin–Tegel

- Busse X9 oder 109 bis Berlin Zoologischer Garten
- Regionalbahnen RB 21 oder RB 22 bis Potsdam, Bahnhof Golm

Vom Bahnhof Golm ca. 10 Minuten Fußweg. Der Straße »Am Mühlenberg« in Richtung Wissenschaftspark Potsdam-Golm folgen.

Arriving by bus/train/plane

from Berlin's main station or Berlin Zoologischer Garten

- take the regional trains RB 21 or RB 22 directly to Golm
- take the regional express RE 1 to Potsdam's main station

from Potsdam's main station

- take buses 605 or 606 to Wissenschaftspark Golm
- take the regional trains RB 20, RB 21 or RB 22 to Golm

from the Berlin–Schönefeld Airport

- take the regional train RB 22 directly to Golm

from the Berlin–Tegel Airport

- take buses X9 or 109 to Berlin Zoologischer Garten
- from here take the regional trains RB 21 or RB 22 to Golm

It is about a 10 minute walk from the Golm train station to the Fraunhofer IAP (heading in the direction of Wissenschaftspark Potsdam-Golm).

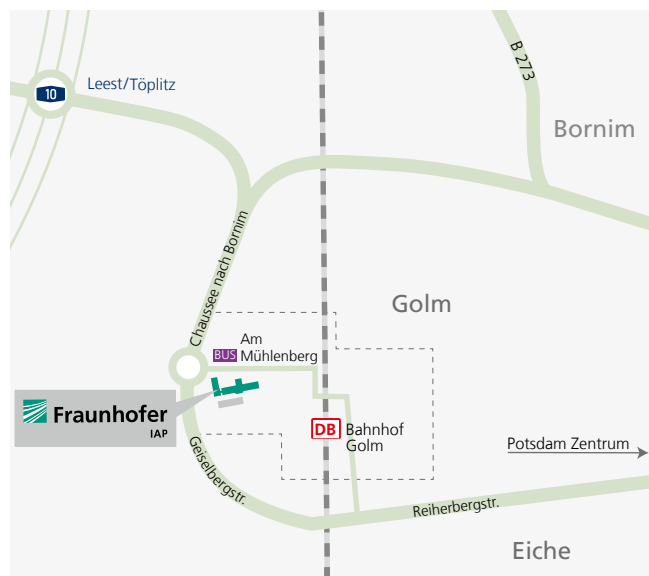
Anreise mit dem Auto

- Autobahn A10 (Berliner Ring), Ausfahrt Leest/Töplitz (nördlich des Autobahndreiecks Werder)
- weiter Richtung Potsdam, am Ende der Wublitzstraße rechts abbiegen in Richtung Golm, am Kreisverkehr geradeaus
- Parkplätze des Fraunhofer IAP an der ersten Einfahrt links

Arriving by car

- on the A10 freeway (Berliner Ring) take the exit labeled Leest/Töplitz (north of the Werder junction)
- head towards Potsdam, at the end of Wublitzstraße turn right towards Golm, drive straight on at the roundabout
- the parking lots of the Fraunhofer IAP are the first driveway on the left

Übersichtskarte Potsdam-Golm Outline map Potsdam-Golm



STANDORTE LOCATIONS



Hauptsitz Potsdam-Golm
Headquarter Potsdam-Golm

Geiselbergstr. 69
14476 Potsdam

Telefon +49 331 568-1000
Telefax +49 331 568-3000



Abteilung »Chromogene Polymere« Berlin-Adlershof
Department "Chromogenic polymers" Berlin-Adlershof

Volmerstraße 7B
12489 Berlin-Adlershof

Telefon +49 30 6392-4258
Telefax +49 30 6392-2065



Pilotanlagenzentrum PAZ Schkopau
Pilot Plant Center PAZ Schkopau

Value Park A 74
06258 Schkopau

Telefon +49 3461 2598-120
Telefax +49 3461 2598-105



Verarbeitungstechnikum Biopolymere Schwarzheide
Processing Pilot Plant for Biopolymers Schwarzheide

Schipkauerstraße 1
Haus A754
01987 Schwarzheide

Telefon +49 331 568-3403
Telefax +49 35752 6-3170

Standortkarte Location map



Impressum

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für Angewandte
Polymerforschung IAP
Strategie & Marketing

Geiselbergstr. 69
14476 Potsdam-Golm

Telefon +49 331 568-1000
Fax +49 331 568-3000
E-Mail info@iap.fraunhofer.de
Internet www.iap.fraunhofer.de

Redaktion

Kathrin Begemann M. A.

Übersetzung

able Sprachschule GbR

Satz und Gestaltung

Dipl.-Inform. (FH) Nadine Gruber

Covergestaltung

Dipl.-Inform. (FH) Nadine Gruber, Dipl.-Des. (FH) Astrid Dohms

Druck

Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Bildquellen

Seiten 4, 5, 11, 25, 27, 39, 45, 47, 53, 61, 63, 75, 77, 87 (links), 88, 89, 91, 93, 138 (links)
Till Budde

Seite 13
Lutz Hannemann

Seite 138 (oben 3)
Alexander Krause

Seite 138 (oben 4)
Steffen Rasche

Seite 7
Manuela Zydor

Portraitfotos
Seite 19 (Dr. Janietz, Dr. Wendler, Dr. Seeboth): privat
Seiten 19, 83 (Dr. Wischerhoff): Michael Lueder
Seiten 19, 101 (Prof. Michel): Felix Abraham
Seite 57 (Dr. Eberhardt): [apropos_foto](#)
Seite 73 (T. Büsse): Ron Marzok

Alle weiteren Portraits: Manuela Zydor

Cover
Collage, Fotos: Till Budde, Manuela Zydor

Fotos, wenn nicht anders angegeben,
vom Fraunhofer IAP.

Editorial notes

Address of the editorial office

Fraunhofer Institute for Applied
Polymer Research IAP
Strategy & Marketing

Geiselbergstr. 69
14476 Potsdam-Golm
Germany

Phone +49 331 568-1000
Fax +49 331 568-3000
E-mail info@iap.fraunhofer.de
Internet www.iap.fraunhofer.com

Editorial team

Kathrin Begemann M. A.

Translation

able Sprachschule GbR

Layout

Dipl.-Inform. (FH) Nadine Gruber

Cover design

Dipl.-Inform. (FH) Nadine Gruber, Dipl.-Des. (FH) Astrid Dohms

Printing house

Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Photo acknowledgments

Pages 4, 5, 11, 25, 27, 39, 45, 47, 53, 61, 63, 75, 77, 87 (left), 88, 89, 91, 93, 138 (left)
Till Budde

Page 13
Lutz Hannemann

Page 138 (top 3)
Alexander Krause

Page 138 (top 4)
Steffen Rasche

page 7
Manuela Zydor

Portrait photos
Page 19 (Dr. Janietz, Dr. Wendler, Dr. Seeboth): privat
Pages 19, 83 (Dr. Wischerhoff): Michael Lueder
Pages 19, 101 (Prof. Michel): Felix Abraham
Page 57 (Dr. Eberhardt): [apropos_foto](#)
Page 73 (T. Büsse): Ron Marzok

Other portrait photos by Manuela Zydor

Cover
Collage, Photos: Till Budde, Manuela Zydor

Photos by Fraunhofer IAP unless otherwise indicated.