



Fraunhofer

IAP

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE POLYMERFORSCHUNG | INSTITUTE FOR APPLIED POLYMER RESEARCH



Jahre

Fraunhofer

IAP

JAHRESBERICHT ANNUAL REPORT

2012



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

INHALTSVERZEICHNIS

CONTENTS

Vorwort | 4
Preface

6

DAS INSTITUT THE INSTITUTE

Das Fraunhofer IAP im Überblick | 8
The Fraunhofer IAP at a glance
Zwanzig Jahre Fraunhofer IAP | 10
Twenty years Fraunhofer IAP
Eröffnung der zweiten Ausbaustufe | 12
Inauguration of the second expansion stage
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

Hochleistungskunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen | 26
High-performance plastics made from renewable raw materials
Anwendungen und Dienstleistungen | 30
Applications and services
Stärke-Mikrowellenschaum: Charakterisierung der Poren und molekularen Struktur | 34
Microwave-foamed starch: characterization of the porous and molecular structure
Regeneratfasern aus Lignocellulose | 36
Man-made fibers from lignocellulose
Kunststoffe aus Holz und Stroh | 38
Polymer materials from wood and straw
Gewinnung von Lignin aus Weizenstroh durch Anwendung von Enzymen | 40
Extraction of lignin from wheat straw using enzymes
Biobasierte Polyamid-Komposite mit Carbonfaserverstärkung | 42
Biobased polyamide composites with carbon fiber reinforcement

44

FUNKTIONALE POLYMERSYSTEME FUNCTIONAL POLYMER SYSTEMS

Näher am Produkt | 46
Closer to the product
Anwendungen und Dienstleistungen | 50
Applications and services
Hocheffiziente cadmiumfreie Quantum Dot LED | 52
High performance cadmium-free quantum dot LEDs
Dielektrische Elastomere mit erhöhter Permittivität für die Aktorik | 54
Dielectric elastomers with enhanced permittivity for actuator applications
Chromogene Kunststofffolien durch Extrusionstechnologie | 56
Chromogenic plastic films using extrusion technology
Polymerlaser für biosensorische Anwendungen | 58
Polymer lasers for biosensor systems
Mehrphotonenanregung von Quantenpunkten – Neue Möglichkeiten für die medizinische Diagnostik | 60
Multiphoton excitation of quantum dots – beyond traditional medical diagnostics

62

SYNTHESE- UND POLYMERTECHNIK SYNTHESIS AND POLYMER TECHNOLOGY

Nachhaltigkeit bei Polymersynthese und Polymertechnik | 64

Sustainable Polymer Synthesis and Polymer Technology

Anwendungen und Dienstleistungen | 68

Applications and services

Neue reaktive Tenside auf Triazinbasis zur Herstellung von Melaminharzkapseln im Submikrobereich | 70

New reactive surfactants for the preparation of triazine-based melamine resin capsules in submicron range

Wässrige PLA-Dispersionen für Beschichtungsanwendungen | 72

Aqueous PLA dispersions for coatings

Polylactid-Recycling –

Ein weiterer Weg zur Ressourcenschonung | 74

Poly lactide recycling –

another way to conserve resources

90

PILOTANLAGEN- ZENTRUM SCHKOPAU PILOT PLANT CENTER SCHKOPAU

Forschung und Entwicklung im großen Stil: Monomer – Synthese – Verarbeitung – Bauteil | 92

Research and development on a grand scale: monomers – synthesis – processing – components

Anwendungen und Dienstleistungen | 96

Applications and services

Maßstabsübertragung von stark exothermen Dispersionspolymerisationen | 98

Scale-up of a very exothermic dispersion polymerization

Direktverarbeitung langfaserverstärkter Thermoplaste im

Spritzgießcompoundierprozess | 100

Direct processing of long fiber-reinforced thermoplastics using injection molding compounding process

76

WASSERBASIERENDE POLYMERSYSTEME WATER-BASED POLYMER SYSTEMS

Wasserbasierende Polymersysteme:

Effektiv, innovativ und nachhaltig | 78

Water-based polymers: effective, innovative and sustainable materials

Anwendungen und Dienstleistungen | 82

Applications and services

Photovernetzte schaltbare Hydrogele an

Oberflächen – Materialien für

biomedizinische Anwendungen | 84

Photo-crosslinked switchable hydrogels on surfaces – Materials for biomedical applications

ArtCornea – Eine neue Generation von

Keratoprothesen | 86

ArtCornea – a new generation of keratoprotheses

Lignocellulose in ionischen Flüssigkeiten –

Eine Lösung? | 88

Lignocellulose in ionic liquids – a solution?

102

FAKTEN, EREIGNISSE, PUBLIKATIONEN FACTS, EVENTS, PUBLICATIONS

Rückblick 2012 | 104

Review 2012

Methoden und Ausstattung | 106

Methods and equipment

Zusammenarbeit | 110

Cooperation

Ereignisse | 116

Events

Publikationen | 118

Publications

Patente | 133

Patents

Anfahrt | 135

How to reach us

VORWORT

PREFACE

20 Jahre maßgeschneiderte Polymere aus dem Fraunhofer IAP

Ein Jubiläum ist in der Regel ein willkommener Anlass zur Rückbesinnung, zur Bewertung des Erreichten und zu einem Blick in die Zukunft. Das 1992 in Teltow-Seehof im Zuge der deutschen Wiedervereinigung gegründete Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung hatte im Jahr 2012 allen Grund zum Feiern. In den vergangenen 20 Jahren hat das Institut bei weitgehend organischem Wachstum seinen Betriebshaushalt nahezu verdreifacht und seine Mitarbeiterzahl auf mehr als 220 erhöht. Stärker als der Betriebshaushalt wuchsen in dieser Zeit die Einnahmen, dabei insbesondere auch aus Industriekooperationen. Meilensteine der positiven Entwicklung waren der Bezug des Institutsneubaus in Potsdam-Golm im Jahr 2000, die Eröffnung des Pilotanlagenzentrums in Schkopau 2005 und schließlich, im Jubiläumsjahr 2012, die Eröffnung der zweiten Ausbaustufe des Fraunhofer IAP in Potsdam-Golm. Die zweite Ausbaustufe in Form eines Anwendungszentrums für Innovative Polymertechnologien bietet bei guten fachlichen und wirtschaftlichen Perspektiven Arbeitsplätze für weitere 90 Mitarbeiter. Mit dem 2014 geplanten Bau eines Fraunhofer-Konferenzentrums in Potsdam-Golm und weiteren Maßnahmen sollen dieser Standort sowie die Zusammenarbeit mit der Universität Potsdam weiter gestärkt und ausgebaut werden.

Das Fraunhofer IAP bietet seit über 20 Jahren seinen Kunden und Kooperationspartnern ein breites Forschungsspektrum an, das von den erdöl- oder biobasierten Rohstoffen über die Polymersynthese bis zur Entwicklung vielfältiger Verfahren und Produkte reicht. Mit seiner Strategie des Bewahrens und Erweitern hat das Fraunhofer IAP in der Vergangenheit die Schwerpunkte der Forschung zum einen an den aktuellen Bedürfnissen der Industrie ausgerichtet, zum anderen aber auch innovative Materialien und Technologien im Rahmen der anwendungsorientierten Vorlauforschung erarbeitet. Aktuelle Beispiele sind die Entwicklung von biobasierten Carbonfasern sowie die Aufnahme der Verfahrensentwicklung flexibler organischer Solarzellen als einem der größten Industrieaufträge der Fraunhofer-Gesellschaft im Jahr 2012.

Forschungsstrategien und Inhalte werden heute zunehmend durch gesellschaftliche Entwicklungen und Megatrends geprägt. Nachhaltigkeit und Effizienz sind dabei Kriterien von übergeordneter Bedeutung. Mit seinen vielfältigen Aktivitäten auf dem Polymergebiet ist das Fraunhofer IAP auch in dieser Hinsicht gut aufgestellt. Biobasierte Kunststoffe und die industrielle Nutzung der nativen Massenpolymere Cellulose, Stärke und Lignin sind seit vielen Jahren ein Schwerpunkt der Arbeiten und stellen eine nachhaltige Alternative zu erdöl-basierten Produkten unter bioökonomischen Aspekten dar. Die Verbesserung der Energieeffizienz steht z. B. im Mittelpunkt von Verfahrensentwicklungen zur Kautschukherstellung und ist zentrales Thema bei der Entwicklung der organischen Photovoltaik. Neueste Arbeiten des Fraunhofer IAP zu halbleitenden Nanopartikeln (Quantum Dots) lassen wesentliche Effizienzverbesserungen bei flexiblen Displays und organischer Photovoltaik erwarten. Darüber hinaus sind Quantum Dots die Basis für hocheffiziente Multiplex-Diagnostikverfahren, die im Fraunhofer IAP von der gemeinsam mit der Universität Potsdam aufgebauten Arbeitsgruppe Nanopolyphotonik in Auftragsforschung als Weltneuheit entwickelt werden. Damit konnte das Fraunhofer IAP auch im Jahr 2012 seine erfolgreiche wissenschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung fortsetzen. Mit seinem breiten Themenspektrum, das von der Faserforschung und Biokompositen über Funktionsmaterialien für optische und elektronische Anwendungen bis zu Lösungen für die moderne Medizintechnik reicht, befindet sich das Fraunhofer IAP auf einem stabilen Wachstumskurs.

Ich bedanke mich herzlich bei allen, die zu dieser Entwicklung beigetragen haben, an erster Stelle bei den Industriepartnern und den öffentlichen Stellen für ihr Vertrauen, aber auch bei den Mitgliedern des Kuratoriums für die wohlwollende Beratung und Unterstützung bei der Anbahnung von Kooperationen. Schließlich danke ich den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer IAP für ihren Einsatz und ihre kreativen Beiträge, die die Grundlage des Erfolgs des Institutes darstellen.



20 years of tailored polymers from Fraunhofer IAP

An anniversary is usually a welcome opportunity to look back, assess achievements and look into the future. Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research, which was founded in Teltow-Seehof in the wake of German reunification in 1992, had every reason to celebrate in 2012. In the past 20 years the Institute has largely experienced organic growth leading to an almost threefold operating budget and a staff of more than 220 people. During this period, revenues - especially from industry cooperation - have grown even faster than the operating budget. Milestones along the way have included moving into the new institute building in Potsdam-Golm in 2000, opening the Pilot Plant Center in Schkopau in 2005 and finally, in the jubilee year of 2012, kicking off the second expansion phase of Fraunhofer IAP in Potsdam-Golm. The second expansion stage, in the form of an Application Center for Innovative Polymer Technologies, will provide jobs with good technical and economic prospects for 90 additional employees. The Fraunhofer Conference Center in Potsdam-Golm, scheduled for 2014, and other activities will further strengthen and expand the Fraunhofer campus as well as our cooperation with the University of Potsdam.

For more than 20 years Fraunhofer IAP has been offered its customers and cooperation partners a broad spectrum of research and development activities ranging from petroleum and bio-based raw materials to polymer synthesis and the development of various technologies and products. With its strategy of sustainment and expansion, Fraunhofer IAP has focused its research on the direct needs of industry while developing innovative materials and technologies within the framework of application-oriented pre-competitive research. Current examples are bio-based carbon fibers and the start of technology development for flexible organic solar cells which led to one of the largest industrial orders within Fraunhofer-Gesellschaft in 2012.

Research strategies and topics are now increasingly being shaped by social trends and megatrends. Sustainability and efficiency are of paramount importance. With its diverse activi-

ties in the field of polymers, Fraunhofer IAP is well positioned in this respect. Bio-based plastics and the industrial application of native mass polymers such as cellulose, starch and lignin, have been a focus of our activities for many years and, taking bioeconomic aspects into consideration, are providing a sustainable alternative to petroleum-based products. Improving energy efficiency is at the core of technology development for rubber manufacturing and is also a central theme in the development of organic photovoltaics. Significant improvements in efficiency for flexible displays and organic photovoltaics are expected as a result of recent work at Fraunhofer IAP on semiconducting nanoparticles (quantum dots). In addition, quantum dots are the basis for highly efficient multiplex diagnostic methods – a world first – that are being developed as part of contract research carried out by the research group “Nanopolyphotonics”, a joint collaboration between Fraunhofer IAP and the University of Potsdam. Thus, Fraunhofer IAP continued its successful scientific and economic development in 2012. With its wide range of research topics, including fiber research and biocomposites, functional materials for optical and electronic applications and solutions for modern medical technology, Fraunhofer IAP is on course for stable growth.

I would like to thank all those who have contributed to this development for their trust, most notably our industrial partners and the public authorities, and the members of the Advisory Board for their benevolent guidance and their assistance in initiating cooperation with new external partners. Finally, I thank the staff at Fraunhofer IAP for their hard work and creative contributions which are at the heart of the Institute's success.

A handwritten signature in blue ink, reading 'Hans-Peter Fink'.

Prof. Dr. habil. Hans-Peter Fink

DAS INSTITUT

THE INSTITUTE

- 8 Das Fraunhofer IAP im Überblick**
The Fraunhofer IAP at a glance
- 10 Zwanzig Jahre Fraunhofer IAP**
Twenty years Fraunhofer IAP
- 12 Eröffnung der zweiten Ausbaustufe**
Inauguration of the second expansion stage
- 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

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

 Jahre
Fraunhofer
IAP



DAS FRAUNHOFER IAP IM ÜBERBLICK

THE FRAUNHOFER IAP AT A GLANCE

Ob Hochleistungsfasern und Komposite für den Leichtbau, organische Leuchtdioden für flache Displays oder künstliche Hornhäute als Implantate – das Fraunhofer IAP bedient das gesamte Spektrum der Polymeranwendungen. Hand in Hand mit den Anwendern unserer Polymere 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 außerdem die Voraussetzungen dafür, dass die entwickelten Verfahren nicht nur im Labormaßstab, sondern auch unter Produktionsbedingungen funktionieren.

Biopolymere | Nachhaltige Innovationen für die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe stellen das Grundanliegen der Biopolymerforschung am Fraunhofer IAP dar. Sowohl natürlich vorkommende Polymere, wie z. B. Cellulose, Stärke, oder Lignin, als auch biobasierte Kunststoffe werden einzeln oder in Mischungen zu Fasern (Lösungs- und Schmelzspinnen), Nonwovens, Folien, Formkörpern und faserverstärkten Kompositen verarbeitet. Andererseits werden Biopolymere isoliert, aufbereitet und chemisch, enzymatisch oder physikalisch modifiziert, um bestehende Anwendungen zu optimieren bzw. neue Einsatzmöglichkeiten zu erschließen. Das Spektrum reicht hier von Stärkederivaten für die Papierindustrie, Flockungsmitteln, Viskositätsregulatoren, Trenn- und Trägermaterialien, über Nanocellulosen, Hydrogele und Symplekkapseln, bis hin zu Klebstoffen, thermoplastischen Stärke- und Cellulosederivaten sowie Ligninfraktionen und -derivaten für den Einsatz in Thermoplasten und Duromeren.

Funktionale Polymersysteme | Polymere mit besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften werden in zunehmendem Maße als Funktionsmaterialien für Hochtechnologie-Anwendungen eingesetzt. Das Fraunhofer IAP trägt zur Entwicklung solcher Materialien sowie von Technologien und Bauelementen für deren Anwendung bei. Das Spektrum reicht von Polymeren mit halbleitenden Eigenschaften über chromogene, phototrope bis hin zu leuchtenden Polymeren, die in organischen Leuchtdioden (OLEDs) und anderen Anwendungen der organischen Elektronik zum Einsatz gebracht werden. Die Synthese und Nutzung von Quantum Dots eröffnet dabei neue Möglichkeiten für technologische Entwicklungen von OLEDs und organischer Photovoltaik, aber auch für die Diagnostik mittels photonischer Methoden. Daneben entwickeln wir Materialien, funktionalisierte Oberflächen und deren Herstellungstechnologien bis in den Technikumsmaßstab für den Einsatz in der Medizintechnik und Diagnostik.

Synthese- und Polymertechnik | Im Bereich der Synthese- und Polymertechnik ist das Fraunhofer IAP spezialisiert auf die Synthese neuartiger Polymerstrukturen sowie auf die Entwicklung und Optimierung von Polymerisationsprozessen. Ebenso zählt die Herstellung von Partikeln für Wirkstoffcontainer durch reaktive und nichtreaktive Verfahren sowie die Charakterisierung von Polymeren zu unseren Arbeitsschwerpunkten. Basierend auf moderner Synthese- und Analysetechnik werden verschiedenste Fragestellungen im Auftrag von Industriepartnern bearbeitet. Membrantechnologie stellt ein weiteres, neues Forschungsgebiet dar.

Spezialpolymer/Wasserbasierende Polymersysteme | Alle Situationen und Fragestellungen, bei denen Polymere und Wasser aufeinandertreffen – in Lösung, Gelen, Dispersionen, an Oberflächen oder in vivo – sind weitere Forschungsschwerpunkte am Institut. Im Fokus unserer Aktivitäten stehen hier die Stoffentwicklung, molekular gelöste und kolloidale Systeme sowie Hydrogele und polymere Grenzschichten bzw. Beschichtungen. Unsere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten umfassen Monomer- und Polymersynthese, Synthesemethodik, Verfahrensentwicklung, Analytik und Charakterisierung in wässrigen Systemen sowie diverse Anwendungen auch außerhalb von Wasser.

Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum PAZ | Das Fraunhofer Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese PAZ am Standort Schkopau – eine gemeinsame Initiative der Fraunhofer-Institute IAP und IWM – bearbeitet schwerpunktmäßig Fragen der Technologieentwicklung und Maßstabsvergrößerung von Polymersynthese- und Verarbeitungsprozessen. Sowohl die technischen Möglichkeiten im Pilotmaßstab als auch die Bündelung der Kompetenzen auf beiden Fachgebieten stellen Alleinstellungsmerkmale des Pilotanlagenzentrums am FuE-Markt dar. Hier werden neue Produkte und innovative Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette entwickelt – vom Monomer über die Synthese und Verarbeitung von Polymeren bis zum geprüften Bauteil nach Maß.

Anwendungszentrum für innovative Polymertechnologien | In dem neuen Anwendungszentrum in Golm übertragen wir Prozesse zur Herstellung innovativer Materialien sowie neue Nanotechnologien vom Labor- in den Technikumsmaßstab. Drei Schwerpunkte stehen im Fokus unserer Arbeiten: 1. High-Tech-Polymere mit besonderen physikalischen Eigenschaften, 2. Biokompatible Materialien für Implantate und weitere medizinische Anwendungen und 3. Entwicklung biotechnologischer Prozesse zur effizienten Nutzung nachwachsender Rohstoffe.



Fraunhofer IAP offers a complete spectrum of polymer applications including high-performance fibers and composites for lightweight construction, organic light emitting diodes for flat screen displays and artificial corneas for use in 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 bio-based plastics made from renewable raw materials. We also lay the foundations so that the processes we develop function on both a lab scale and a production scale as well.

Biopolymers | Sustainable innovations for the utilization of renewable raw materials in non-energy applications constitute the main target of biopolymer research at Fraunhofer IAP. Both naturally occurring polymers, such as cellulose, starch, and lignin, as well as bioplastics are processed, individually or as blends, into fibers (melt and solution spinning), nonwovens, films, shaped bodies, and fiber reinforced composites. On the other hand, biopolymers are isolated, activated, and chemically, enzymatically, or physically modified in order to optimize existing or to create novel applications. The spectrum here ranges from starch additives for the paper industry, flocculants, viscosity regulators, separation and carrier materials, over nano cellulose, hydrogels, and simplex capsules, up to adhesives, thermoplastic starch and cellulose derivatives as well as lignin fractions and derivatives for thermoset and thermoplastic formulations.

Functional polymer systems | Polymers with special physical and chemical properties are being increasingly used as functional materials in high-tech applications. Fraunhofer IAP is contributing to the development of such materials, as well as technologies and components for their applications. Our spectrum ranges from polymers with semi-conductive properties to chromogenic, phototropic and luminescent polymers that are used in organic light emitting diodes (OLEDs) and other organic electronic applications. The synthesis and use of quantum dots opens up new opportunities for the technological development of OLEDs and organic photovoltaics, as well as for diagnostics using photonic methods. We are also developing materials, functionalized surfaces and their corresponding production technologies up to a pilot plant scale for use in medical technology and diagnostics.

Synthesis and polymer technology | In the area of synthesis and polymer technology, Fraunhofer IAP specializes in the synthesis of innovative polymer structures and in the development and optimization of polymerization processes. Our work also focuses on characterizing polymers and producing particles for containers of active ingredients using reactive and non-reactive processes. We use modern synthesis and analysis techniques to find solutions to various problems on behalf of industry partners. Membrane technology represents another new area of research.

Specialty Polymers/Water-based polymer systems | All of the situations and problems which arise when polymers come into contact with water – in solutions, gels, dispersions, on surfaces or in vivo – are also focuses of the research work carried out here at the institute. Material development, molecularly dissolved and colloidal systems, as well as hydrogels and polymer surfaces and coatings form the basis of our activities. We conduct research and development work on monomer and polymer synthesis, synthesis methodology, process development, analytics and characterization in aqueous systems as well as a diverse range of applications outside of water.

Pilot Plant Center PAZ | Fraunhofer Pilot Plant Center for Polymer Synthesis PAZ in Schkopau is a joint initiative of the Fraunhofer Institutes IAP and IWM and focuses on matters pertaining to technology development and the upscaling of polymer synthesis and polymer processing. Technical capabilities on a pilot plant scale and the bundling of competencies in both fields make up the Pilot Plant Center's USP on the R&D market. Here new products and innovative technologies along the entire value chain are being developed – from monomers to the synthesis and processing of polymers and the testing of customized components.

Application Center for Innovative Polymer Technologies | At the new Application Center in Golm we scale up processes for producing innovative materials and new nanotechnologies from lab to plant scale. Our work focuses on three areas:

1. high-tech polymers with special physical properties,
2. biocompatible materials for implants and other medical applications and
3. the development of biotech processes for the efficient use of renewable raw materials.

ZWANZIG JAHRE FRAUNHOFER IAP

TWENTY YEARS FRAUNHOFER IAP



20 Jahre! Die Entwicklung des Fraunhofer IAP im Überblick

Das Fraunhofer IAP wurde 1992 in Teltow-Seehof im Zuge der deutschen Wiedervereinigung gegründet – zunächst in Form einer befristeten Einrichtung. Es ging aus dem ehemaligen Institut für Polymerenchemie der Akademie der Wissenschaften der DDR hervor. Die Arbeit in den Anfangsjahren unter der Leitung von Prof. Dr. Zimmermann war geprägt durch eine harte Lernphase aller Mitarbeiter, die sich in der Fraunhofer-Welt zurechtfinden mussten. Als besonders schwierig erwies sich die Steigerung der Wirtschaftserträge vor dem Hintergrund der sich auflösenden Industriestruktur Ostdeutschlands. Dass dies im erwarteten Umfang gelungen ist, zeigen die positiven Empfehlungen des Kernkuratoriums und des Wissenschaftlich-Technischen Rates der Fraunhofer-Gesellschaft: Im Oktober 1993 wurde die Befristung der Fraunhofer-Einrichtung aufgehoben. Das Fraunhofer IAP war nunmehr ein vollwertiges Fraunhofer-Institut.

Die zweite Hälfte der 1990er Jahre war gekennzeichnet durch einen intensiven Strategieprozess im Institut und durch Rekonstruktionsmaßnahmen, die schließlich zu einer Instituterweiterung führten. Das sichtbarste strategische Vorhaben war der Bau des neuen Institutsgebäudes in Potsdam-Golm. Neben der erforderlichen generellen Verbesserung der räumlichen Situation des Instituts wurde hier die enge Nachbarschaft zur Universität Potsdam als ein entscheidender Vorteil gesehen. Im Juni 1997 wurde Prof. Dr. Buller die Leitung des Fraunhofer IAP übertragen. Im gleichen Jahr wurde das Institut Gründungsmitglied des Verbunds Werkstoffe/Bauteile, der heute einer der größten und erfolgreichsten Verbände der Fraunhofer-Gesellschaft ist.

Im Frühjahr 2000 erfolgte der Umzug in das neue Forschungsgebäude auf dem Gelände des Wissenschaftsparks Potsdam-Golm. Im November 2000 wurde es feierlich eröffnet. Durch den großzügig von EU, Bund, Land und Fraunhofer-Gesellschaft geförderten Neubau verbesserten sich die Arbeitsbedingungen spürbar. So stieg die verfügbare Nutzfläche auf etwa 5000 m². Zudem wurde ein modern ausgestattetes Synthese- und Verarbeitungstechnikum verfügbar.


Mit dem Umzug und strategischen Strukturveränderungen im Institut waren die organisatorischen Voraussetzungen zur Bewahrung und Stärkung der bewährten Arbeitsrichtungen – native Polymere, Synthese und Polymertechnik synthetischer Polymere, wasserlösliche Polymere – sowie zur Weiterentwicklung innovativer, neuer Arbeitsgebiete insbesondere im Bereich der Funktionsmaterialien für Elektronik, Optik und medizinische Anwendungen gegeben.

Einen wesentlichen Entwicklungssprung machte das Institut durch den Aufbau des Pilotanlagenzentrums für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ – einer gemeinsamen Initiative von Fraunhofer IAP und IWM (Halle) am Standort Schkopau. Räumlich wurde das Institut dadurch näher an das wieder erstarkende mitteldeutsche Chemiedreieck herangebracht. Unter dem Motto »Vom Monomer zum Bauteil nach Maß« können hier die Synthese- und Polymerkompetenzen des Instituts bis in den Tonnenmaßstab realisiert werden.


Im Jahr 2006 wählte der Senat der Fraunhofer-Gesellschaft Prof. Dr. Buller in den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft. Seit Juni 2006 leitet Prof. Dr. Fink das Institut. Auf der Grundlage des mittelfristigen Strategieplans des Fraunhofer IAP wurde das noch unter Prof. Dr. Buller begonnene Planungs- und Antragsverfahren für eine zweite Ausbaustufe des Instituts ab 2007 in die entscheidende Phase gebracht. Pünktlich zum 20-jährigen Jubiläum wurde im Juni 2012 die zweite Ausbaustufe des Instituts eingeweiht – das »Anwendungszentrum für Innovative Polymertechnologien«. Auf einer Fläche von rund 2800 m² bietet der Erweiterungsbau Platz für neue Techniken, Labore und Büros. Vor allem neuartige Materialien und Technologien sollen hier vom Labor in den Technikumsmaßstab übertragen werden. High-Tech-Polymere mit besonderen elektrischen und optischen Eigenschaften, biokompatible Materialien sowie nachwachsende pflanzliche Rohstoffe stehen im Fokus der Forschungsarbeiten.



Prof. Dr. Zimmermann




Prof. Dr. Buller



Prof. Dr. Fink



Teltow 1993



Golm 2005



Golm 2012

20 years! Fraunhofer IAP's development at a glance

Fraunhofer IAP was founded in 1992 in Teltow-Seehof in the course of the German reunification – initially in the form of a temporary institution. It emanated from the former Institute for Polymer Chemistry of the GDR's Academy of Sciences. In these initial years, work was led by Prof. Dr. Zimmermann and was marked by a difficult learning process for all employees who were finding their feet in the Fraunhofer world. One particularly difficult aspect was increasing business earnings against the backdrop of a disintegrating East German industrial structure. The fact that this was achieved to the extent anticipated is reflected in the positive recommendations of the Fraunhofer-Gesellschaft's Advisory Board and its Scientific and Technical Council: In October 1993 the temporary status of this Fraunhofer Institute was revoked. Fraunhofer IAP was now a fully-fledged Fraunhofer Institute.

The second half of the 1990s was marked by an intensive strategic process at the Institute and by reconstruction activities that ultimately led to the expansion of the Institute. The most visible strategic project was the construction of a new institute building in Potsdam-Golm. In addition to giving the Institute a considerable amount of space, its close proximity to the University of Potsdam was also considered to be a decisive advantage. In June 1997, leadership of Fraunhofer IAP was transferred to Prof. Dr. Buller. In the same year, the Institute became a founding member of the Group for Materials and Components, one of Fraunhofer-Gesellschaft's largest and most successful groups, today.

In spring 2000 the Institute moved into its new research premises at Potsdam-Golm Science Park. The building was ceremoniously dedicated in November 2000. Thanks to the new building, generously funded by the EU, the federal and state governments and Fraunhofer-Gesellschaft, working conditions drastically improved. Usable space increased to around 5,000 m². Additionally, we had a state-of-the-art synthesis and processing pilot plant at our disposal.

This move and the implementation of strategic structural changes at the Institute established the necessary organizational requirements for maintaining and strengthening the tried and tested direction of our activities – native polymers, synthesis and polymer technology for synthetic polymers, water-soluble polymers and the further development of new and innovative fields, particularly in the area of functional materials for electronics, optics and medical applications.

The Institute made a considerable leap forward in development with the establishment of the Pilot Plant Center for Polymer Synthesis and Polymer Processing (PAZ) at Schkopau – a joint initiative of Fraunhofer IAP and IWM (Halle). In terms of proximity, this brought the Institute closer to the Central German chemistry region which was now regaining strength. With the motto "From monomer to tailored component" the Institute's synthesis and polymer know-how is able to be transferred to ton scale.

In 2006 the Senate of Fraunhofer-Gesellschaft elected Prof. Dr. Buller to the Executive Board of Fraunhofer-Gesellschaft. Since 2006 the institute has been headed by Prof. Dr. Fink. Based on the medium-term strategic plan of Fraunhofer IAP, the planning and application process for a second expansion phase of the Institute, kicked off by Prof. Dr. Buller, entered its crucial phase in 2007. The second expansion phase, the "Application Center for Innovative Polymer Technologies", was dedicated just in time for the Institute's 20th anniversary. The new extension offers around 2,800 m² of space for new pilot plants, labs and offices. Here new materials and technologies are to be upscaled from lab to pilot plant scale. High-tech polymers with special electrical and optical properties, biocompatible materials and renewable plant-based raw materials are the focus of our research.

ERÖFFNUNG DER ZWEITEN AUSBAUSTUFE INAUGURATION OF THE SECOND EXPANSION STAGE

Das Fraunhofer IAP feiert: 20 Jahre und neues Anwendungszentrum

Am 12. Juni 2012 eröffnete das Fraunhofer IAP das »Anwendungszentrum für Innovative Polymertechnologien« und feierte gleichzeitig sein 20-jähriges Jubiläum. Vor allem neuartige Materialien und Technologien sollen in dem Erweiterungsbau vom Labor in den industrienahen Maßstab übertragen werden. High-Tech-Polymere mit besonderen elektrischen und optischen Eigenschaften, biokompatible Materialien sowie nachwachsende pflanzliche Rohstoffe stehen im Fokus.

»Der Schritt vom Labor bis zur industriellen Fertigung ist groß«, sagte Prof. Dr. Fink zur Eröffnung. Das Anwendungszentrum stelle daher einen Entwicklungssprung für das Institut dar betonte Prof. Dr. Fink und bedankte sich für die vielfältige Unterstützung, insbesondere durch die EU, die Fraunhofer-Gesellschaft, das Bundesforschungsministerium BMBF und das Land Brandenburg. Über 250 Gäste aus Politik, Wirtschaft und Forschung gaben sich die Ehre, darunter die Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur in Brandenburg Prof. Dr. Dr. Sabine Kunst, Potsdams Oberbürgermeister Jann Jakobs, Henning Heidemanns, Staatssekretär vom Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten, Hans-Peter Hiepe vom BMBF, und Christoph Nagel-Hirschauer vom betreuenden Architekturbüro des Erweiterungsbaus, Architekten Schmidt-Schicketanz und Partner GmbH, München.

»Das Fraunhofer IAP feiert nicht nur 20 Jahre Polymerforschung, sondern auch 20 Jahre begeisterte und fleißige Mitarbeiter.« betont Prof. Buller, der von 1997 bis 2006 das Institut leitete und seit 2006 Fraunhofer-Vorstand für Forschungsplanung ist. Im Jahr 1992 begannen die Arbeiten zunächst in Teltow-Seehof, erinnerte sich Buller. »Wir haben viel Gutes aufgebaut.«

Wissenschaftsministerin Sabine Kunst lobte die Arbeit des Fraunhofer IAP und sprach von einer Erfolgsgeschichte. »Es hätte keiner gedacht, dass es sich so entwickelt.« Sie betonte, dass das Institut die Wettbewerbsfähigkeit der gesamten Region steigert. »Ein Markenzeichen der Fraunhofer-Gesellschaft ist die angewandte, industrienaher Forschung. Wir kooperieren mit Partnern auf der ganzen Welt, zunehmend auch in Brandenburg« ergänzte Prof. Dr. Fink.

Nach den Festreden und dem Durchschneiden des roten Bandes durch Ministerin Kunst konnten sich die Gäste einen Eindruck von den Räumlichkeiten und Forschungsthemen des Anwendungszentrums verschaffen. Forschungsbereichsleiter Dr. Armin Wedel stellte eine Pilotanlage zur Herstellung von organischen Leuchtdioden und organischen Solarzellen vor. Auch flexible Systeme sollen hier realisiert werden. Abteilungsleiter Dr. Joachim Storsberg möchte körperverträgliche Materialien für Implantate entwickeln. Insbesondere künstliche Augenhornhäute der zweiten Generation stehen im Fokus seiner Arbeiten. Nicht zuletzt sollen im Anwendungszentrum bisherige Nebenprodukte der Landwirtschaft – etwa Haferpelzen oder Weizenkleie – für die Herstellung von Kunststoffen nutzbar gemacht werden. »Dadurch könnte die Kunststoffindustrie unabhängiger vom Rohöl werden«, meint Wissenschaftler David Dietz. Abgerundet wurden die Feierlichkeiten durch eine Vortragsveranstaltung am Nachmittag. Renomierte Fraunhofer-Forscher stellten hier die Highlights aus 20 Jahren Polymerforschung vor, nachdem der langjährige stellvertretende Kuratoriumsvorsitzende Prof. Dr. Gerhard Koßmehl, noch einmal die Geschichte des Fraunhofer IAP Revue passieren ließ.





Fraunhofer IAP is celebrating: 20 years and a new Application Center

On June 12, 2102 Fraunhofer IAP dedicated its »Application Center for Innovative Polymer Technologies« while, at the same time, celebrating its 20th anniversary. Innovative materials and technologies will be upscaled from lab to industrial scale in this extension. Focus is on high-tech polymers with special electrical and optical properties, biocompatible materials and renewable plant-based raw materials.

“Going from lab scale to industrial production is a large step,” says Prof. Dr. Fink at the dedication ceremonies. The Application Center therefore represents a leap in development for the Institute, stressed Prof. Dr. Fink, thanking everyone for the variety of support, particularly from the EU, Fraunhofer-Gesellschaft, the Federal Ministry of Education and Research and the State of Brandenburg. More than 250 guests from politics, the economy and research turned out, including the Minister for Science, Research and Culture in Brandenburg, Prof. Dr. Sabine Kunst, Potsdam’s Lord Mayor Jann Jakobs, Henning Heidemanns, State Secretary at the Ministry for Economic and European Affairs of the State of Brandenburg, Hans-Peter Hiepe from the Federal Ministry of Education and Research, Christoph Nagel-Hirschauer from the architecture firm overseeing the extension and architects Schmidt-Schicketanz and Partner GmbH from Munich.

“Fraunhofer IAP is not only celebrating 20 years of polymer research, but also 20 years of enthusiastic and hard-working employees.” emphasizes Prof. Dr. Buller, who headed the Institute from 1997 to 2006 and who has been responsible

for research planning on the Fraunhofer Executive Board since 2006. Work first began in 1992, initially in Teltow-Seehof, Buller recalls. “We established a lot of good things.” Science Minister Sabine Kunst praised the work of Fraunhofer IAP and called it a success story. “No one thought that it would develop into this.” She emphasized that the Institute increases the competitiveness of the entire region. »Applied, industry-oriented research is the hallmark of Fraunhofer-Gesellschaft. We collaborate with partners from all over the world and increasingly in Brandenburg as well “ Prof. Dr. Fink adds.

After the speeches and the cutting of the red ribbon by Minister Kunst, guests were able to tour the Application Center’s rooms and have a look at its research topics. Division Director Dr. Armin Wedel presented a pilot plant for the production of organic light emitting diodes and organic solar cells. Flexible systems will be realized here, as well. Department Head Dr. Joachim Storsberg develops biocompatible materials for implants. In particular, his work focuses on second-generation artificial corneas. Last but not least, the Application Center is looking into ways of using oat spelt and wheat bran, up until now only agricultural byproducts, in the production of plastics. “This would make the plastics industry much less dependent on crude oil,” believes scientist David Dietz. The festivities were rounded off by a lecture event in the afternoon. Here, renowned Fraunhofer scientists presented highlights from 20 years of polymer research after deputy chairman of the Advisory Board Prof. Dr. Gerhard Kossmehl, took a look back at the history of Fraunhofer IAP.





KURATORIUM ADVISORY BOARD

Das Kuratorium berät und unterstützt die Organe der Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Institutsleitung. Mitglieder des Kuratoriums 2012 waren:

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 2012:

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. Thomas Grösser

BASF SE, Ludwigshafen

Dipl.-Ing. Ulrich Hamann

Bundesdruckerei GmbH, Berlin

Staatssekretär Henning Heidemanns

Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten
des Landes Brandenburg, Potsdam

Prof. Dr. Hans-Peter Heim

Universität Kassel, Kassel

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

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

Prof. Dr. Jürgen Kurths

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V., Potsdam

Dr. Volker Landschütze

aevotis GmbH, Potsdam

Prof. Dr. Meinolf G. Lindhauer

Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel
(BFEL), Detmold

Prof. Dr. Helmuth Möhwald

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

Dr.-Ing. Christoph Mühlhaus

Sprecher des Clusters Chemie/Kunststoffe Mitteldeutschland,
Halle

Dr. Klaus Nachtkamp

Dow-Wolff Cellulosics GmbH, i. R., Neuhofen

Dr. Andreas Pachten

Human BioSciences GmbH, Luckenwalde

Konstanze Pistor

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

Dr. Birgitt Reiche

Hesco Kunststoffverarbeitung GmbH, Luckenwalde

Dr.-Ing. agr. Andreas Schütte

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow

Dr. Manfred Stickler

Evonik Röhm GmbH, i. R., Darmstadt

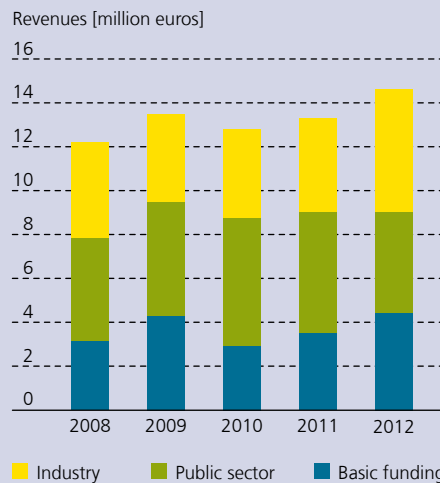
Prof. Dr. Manfred Wagner

TU Berlin, Berlin

Dr. Bernd Wohlmann

Toho Tenax Europe GmbH, Wuppertal

DAS INSTITUT IN ZAHLEN THE INSTITUTE IN FIGURES



Betriebshaushalt

Der Betriebshaushalt betrug im Jahr 2012 etwa 14,7 Millionen Euro. Die externen Erträge konnten gegenüber dem Vorjahr um weitere 800 000 Euro gesteigert werden, wobei die Erträge aus der Wirtschaft um 1,35 Millionen Euro stiegen.

Investitionshaushalt/Ausbauinvestitionen

Der Schwerpunkt der Investitionen lag 2012 wiederum auf dem Erweiterungsbau. Insgesamt wurden 9,3 Millionen Euro dafür ausgegeben. Mit 1 Million Euro förderte das Land Brandenburg die Erstausrüstung der Fraunhofer Projektgruppe Biopolymerverarbeitung Schwarzheide.

Mitarbeiter

Ende 2012 waren im Fraunhofer IAP insgesamt 190 Personen beschäftigt.

Stammpersonal	151
– Wissenschaftliche Mitarbeiter	73
– Technische Mitarbeiter	67
– Verwaltung	11
Nachwuchs	22
– Doktoranden	18
– Auszubildende	4

Das Fraunhofer IAP beschäftigte im Jahr 2012 zusätzlich 47 Praktikanten, Studenten, Diplomanden und Stipendiaten.

Institute's budget

In 2012 the Institute's budget amounted to about 14.7 million euros. Compared to the previous year, income from external sources increased by around 800,000 euros, while income from industry grew by 1.35 million euros.

Investment budget/ expansion investment

In 2012 the focus of investment was again on the expanding facilities. A total of around 9.3 million euros was spent on it. Approx. 1 million euros were spent from the state of Brandenburg for the basic equipment of the Fraunhofer Project Group Biopolymer Processing Schwarzheide.

Human resources

At the end of 2012, the Fraunhofer IAP employed 190 people.

Regular staff	151
– Scientific staff	73
– Technical staff	67
– Administration	11
Junior staff	22
– Ph.D. students	18
– Apprentices	4

Additionally 47 trainees, students, graduands and scholarship holders were employed in 2012.

Kontakt Contact

Verwaltungsleiterin
Head of administration

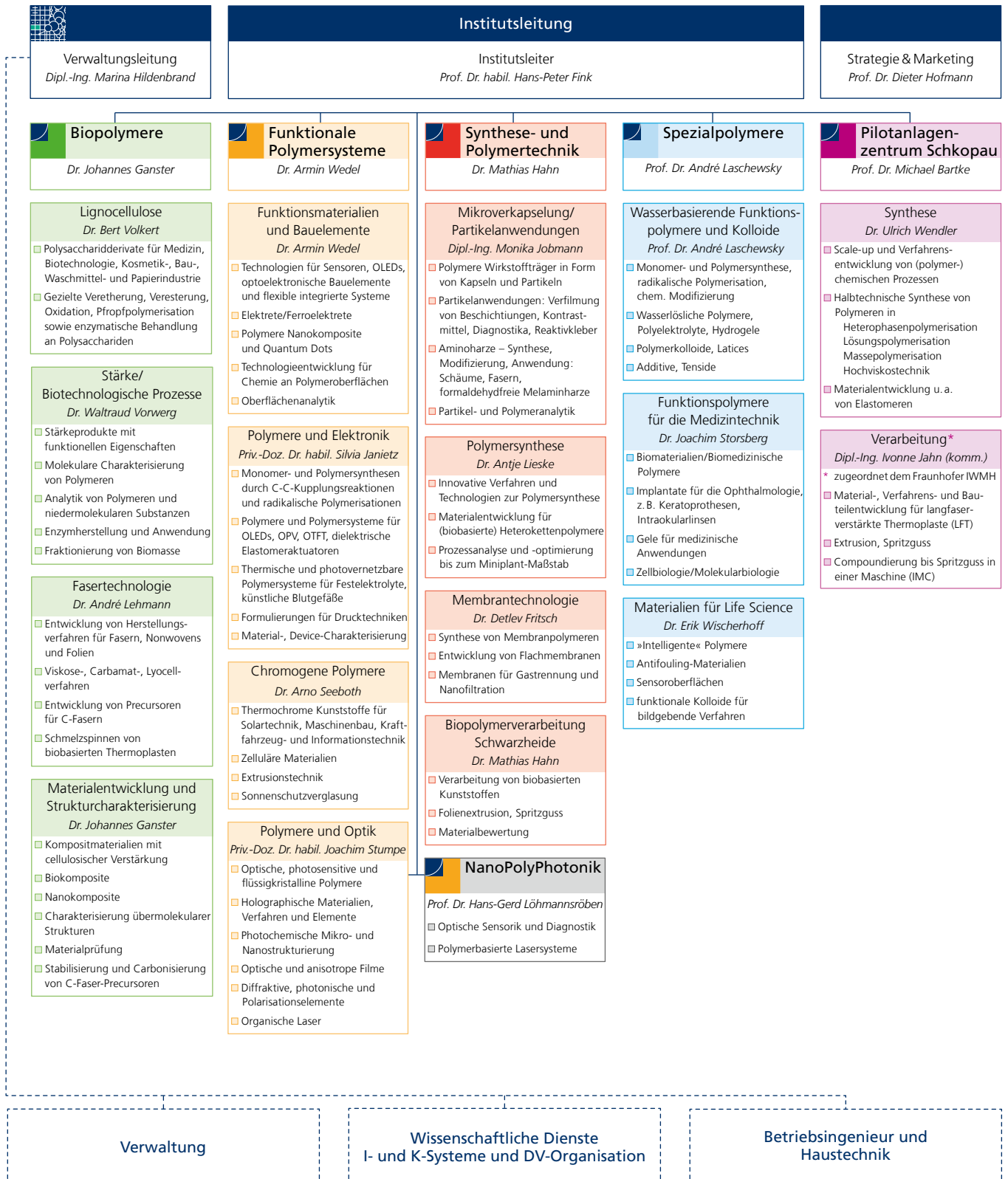


Dipl.-Ing. Marina Hildenbrand

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

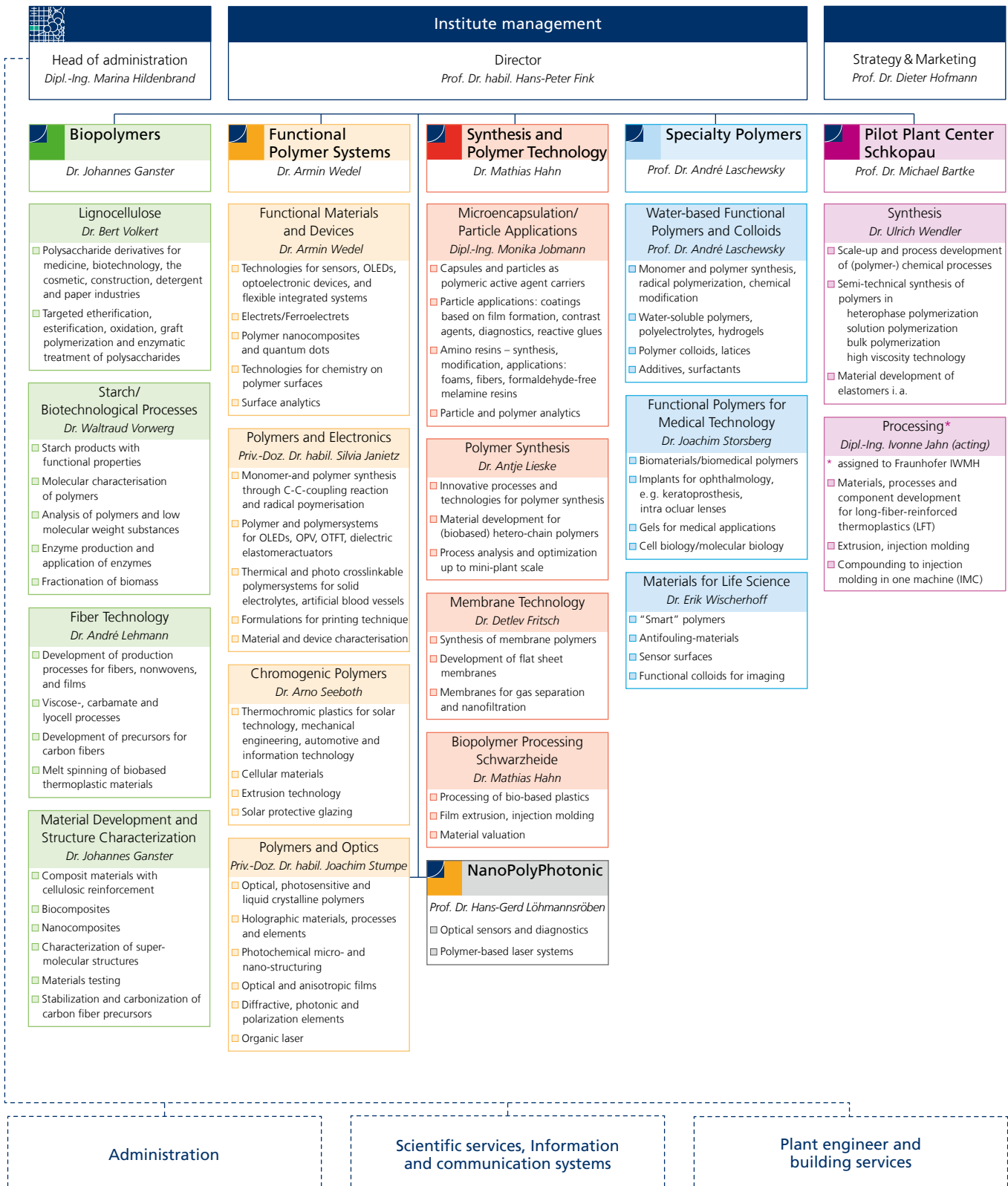
ORGANISATION UND SCHWERPUNKTE

STAND APRIL 2013



ORGANIZATION AND MAIN TOPICS

STATUS APRIL 2013



ANSPRECHPARTNER CONTACT PERSONS




 **Institutsleiter**
Director

Prof. Dr. habil. Hans-Peter Fink

Telefon +49 331 568-1112
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/
Wasserbasierende Polymersysteme**
Specialty polymers/
Water-based polymer systems

Prof. Dr. André Laschewsky

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




 **Pilotanlagenzentrum Schkopau**
Pilot Plant Center Schkopau

Prof. Dr. Michael Bartke

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



 **AG NanoPolyPhotonik**
AG NanoPolyPhotonic

Prof. Dr. Hans-Gerd Löhmannsröben

Telefon +49 331 977-5222
hans-gerd.loehmannsroeben@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.
Joachim Stumpe**

Telefon +49 331 568-1259
joachim.stumpe@
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. Joachim Storsberg

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



Dr. Erik Wischerhoff

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



Dr. Ulrich Wendler

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



Dipl.-Ing. Ivonne Jahn

Telefon +49 34661 2598-474
ivonne.jahn@
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.

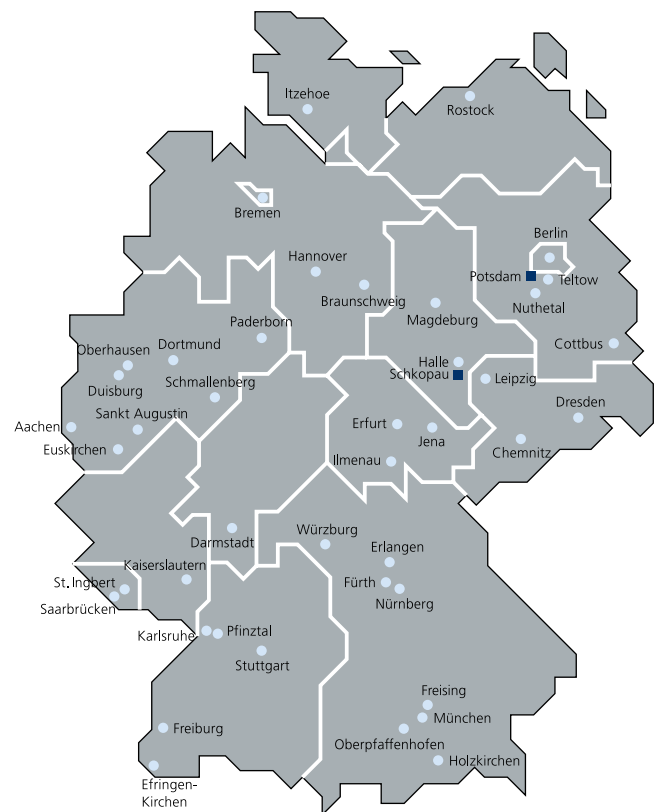
Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 66 Institute und selbstständige Forschungseinrichtungen. Rund 22 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,9 Milliarden Euro. Davon fallen 1,6 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 Niederlassungen sorgen für Kontakt 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 independent research units. The majority of the more than 22,000 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of 1.9 billion euros. Of this sum, more than 1.6 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.

Affiliated international research centers and representative offices provide contact with the regions of 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 & Umwelt, Mobilität, Gesundheit, Maschinen- & Anlagenbau, Bauen & Wohnen, Mikrosystemtechnik und Sicherheit ein. Über maßgeschneiderte Werkstoff- und Bauteilentwicklungen sowie die Bewertung des kundenspezifischen Einsatzverhaltens werden Systeminnovationen realisiert.

Schwerpunktt Themen des Verbundes 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
- Silicatiforschung ISC
- Solare Energiesysteme ISE
- System- und Innovationsforschung ISI
- Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM (ständiger Gast)
- 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.-Ing. Peter Gumbsch

Fraunhofer-Institut für
Werkstoffmechanik IWM
Wöhlerstr. 11
79108 Freiburg

Geschäftsführung:

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 & Environment, Mobility, Health, Machinery & Plant Engineering, Construction & 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 (permanent guest)
- Integrated Circuits IIS (permanent guest)
- Interfacial Engineering and Biotechnology IGB (permanent guest)
- 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
- 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.-Ing. 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 Hochleistungskunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen**
High-performance plastics made from renewable raw materials
- 30 Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 34 Stärke-Mikrowellenschaum: Charakterisierung der Poren und molekularen Struktur**
Microwave-foamed starch: characterization of the porous and molecular structure
- 36 Regeneratfasern aus Lignocellulose**
Man-made fibers from lignocellulose
- 38 Kunststoffe aus Holz und Stroh**
Polymer materials from wood and straw
- 40 Gewinnung von Lignin aus Weizenstroh durch Anwendung von Enzymen**
Extraction of lignin from wheat straw using enzymes
- 42 Biobasierte Polyamid-Komposite mit Carbonfaserverstärkung**
Biobased polyamide composites with carbon fiber reinforcement

*Dipl.-Ing. David Dietz – Im Biotechnikum werden biotechnologische Verfahren für die effiziente Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen entwickelt. |
Dipl.-Ing. David Dietz – In the biotechnology plant plant biotechnological processes are developed for the efficient use of renewable resources.*



pioneers in polymers



HOCHLEISTUNGSKUNSTSTOFFE AUS NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN

Biopolymere bieten als Syntheseprodukte der Natur eine beeindruckende Vielfalt von makromolekularen Strukturen und davon abhängigen physikalischen Eigenschaften. Sie werden in erneuerbaren Rohstoffen gebildet, die weltweit verfügbar sind. Nachhaltige Innovationen für die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe stellen daher das Grundanliegen der Biopolymerforschung am Fraunhofer IAP dar. In möglichst vielen Anwendungen soll Erdöl als Grundstoff durch nachwachsende Rohstoffe ersetzt werden. Aus Lignocellulose gewonnene Cellulose, dem am häufigsten vorkommenden Biopolymer, werden zum einen Produkte aus Regeneratcellulose (Fasern, Vliesstoffe, Folien, Schwämme, Membranen) zum anderen vielfältig einsetzbare Cellulosederivate (Thermoplaste, Fasern, Filter, Klebstoffe, Bauhilfsstoffe, Bohrmittel, Hygiene-Produkte, Wirkstoffträger) entwickelt und im Labor- bzw. Technikumsmaßstab zur Verfügung gestellt. Die besondere chemische Struktur des Lignins – derzeit noch ein Nebenprodukt der Zellstoffherstellung – lässt vielfältige Anwendungen in der Materialentwicklung erwarten. In der Stärkelforschung werden vorwiegend die Applikationsfelder Papier, Klebmittel und Biokunststoffe bearbeitet. Hydrolyseprodukte aus Rübenschnitzeln können als Polyole in der Polyurethanherstellung verarbeitet werden. Biobasierte Polymere wie Polylactid stellen einen Schwerpunkt in der Entwicklung von Werkstoffen dar. Eine weitere Zielstellung unserer Biopolymerforschung besteht darin, durch enzymatische Behandlung nachwachsender Rohstoffe die polymeren Bestandteile von Pflanzenzellwänden zu gewinnen.

Fasern, Folien und Nonwovens

Für die Herstellung von Fasern, Folien und Nonwovens werden spezielle Prozesse weiterentwickelt. In der Anwendung von Celluloseregenerat-Technologien stehen neben dem Viskoseverfahren umweltfreundliche Alternativen wie die Lyocell-Technologie und das Carbamatverfahren im Vordergrund. Zusammen mit Industriepartnern wurde eine Lyocellbasierte Meltblown-Nonwovens-Technologie bis zur Überführungsreife entwickelt. Ein anderer vielversprechender Ansatz beruht auf hochkonzentrierten Systemen von Cellulosecarbamat in NMMO/Wasser bzw. in ionischen Flüssigkeiten, die der angestrebten Zielstellung der schmelzartigen Verarbeitung der Cellulose näher kommen. Precursoren für Carbonfasern aus

biobasierten und synthetischen Polymeren, deren Spinn-technologie und nachfolgenden Verarbeitungsstufen sind ebenso zentraler Forschungsschwerpunkt. Auch die Verarbeitung von synthetischen Polymeren aus konzentrierten Lösungen nach verschiedenen Nassspinnverfahren gehört zu den Arbeitsrichtungen im Fraunhofer IAP. Die Verarbeitung schmelzbarer Biopolymere zu Fasern und Vliesstoffen ist eine weitere etablierte Arbeitsrichtung.

Biokomposite

Aus biobasierten Matrixmaterialien wie PLA, PHA oder Polyamiden werden Komposite mit ausgezeichneten mechanischen und thermomechanischen Eigenschaften entwickelt. Dabei wird angestrebt, die Defizite der Matrixmaterialien – wie geringe Schlagzähigkeit und Wärmeformbeständigkeit – bei gleichzeitiger Verbesserung von Festigkeit und Steifigkeit durch die Compoundierung mit Verstärkungsfasern im Mikrobereich zu beheben. Höherbelastbare Komposite mit Celluloseregeneratfasern (Reifencord) als Verstärkungsfasern dringen in den Bereich der glasfaserverstärkten Kunststoffe und der Konstruktionspolymere vor. Für Stärke- und Celluloseester wurde die Wirkung nanoskaliger Verstärkungen untersucht. Besonders hervorzuheben sind Nanokomposite auf der Basis von Stärkemischestern mit hohem Propionat-, mittlerem Acetat- und geringem Lauratgehalt. Hier konnte die Schlagzähigkeit vervielfacht werden. Celluloseacetate wurden mit geeigneten Nanofüllstoffen ohne Weichmacherzusatz zu hochsteifen und hochfesten Spritzgussformkörpern mit ausgezeichneter Wärmeformbeständigkeit verarbeitet. Damit werden Einsatzmöglichkeiten in thermisch anspruchsvollen Anwendungen eröffnet.

Polysaccharidchemie

Die heterogene und homogene Derivatisierung von Cellulose, Stärke und weiterer Polysaccharide 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, neue Anti-Graffiti-Anstrichstoffe, Verdickungsmittel, Adsorber und Derivate für den Einsatz in der Medizin wurden bis zur Überführungsreife entwickelt. Durch die Erzeugung von spezifischen Substitutionsmustern kann das Eigenschaftsprofil der Endprodukte



variiert werden. Die Arbeiten an neuen Derivaten sind in der Regel mit einer Prozessentwicklung gekoppelt, die bis in den Technikumsmaßstab (50-Liter-Reaktor) reicht. Eine von der FNR/BMELV geförderte Nachwuchsgruppe forschte über Synthese, Verarbeitung sowie Mikro- und Nanoadditivierung thermoplastischer Stärke- und Cellulosederivate mit dem Ziel, alternative biobasierte Commodity-, Konstruktions- und Funktionsmaterialien mit einem breiten Eigenschaftsspektrum bereit zu stellen.

Stärkeprodukte nach Maß

Der Rohstoff Stärke bietet ein sehr vielfältiges Entwicklungspotenzial. Neben physikalischer, säure-hydrolytischer und enzymatischer Behandlung der Stärke gewinnt die chemische Derivatisierung zunehmend an Bedeutung. In Abhängigkeit von der molekularen Zusammensetzung sind rheologische Eigenschaften, Retrogradation und Gelbildung einstellbar. Kationische Stärke mit niedrigen DS-Werten zwischen 0,01 und 0,1 zeichnet sich durch ihr Adsorptionsvermögen an Papierfasern aus. Im Papierverbund der FNR/BMELV wurden in enger Zusammenarbeit von PTS, Fraunhofer IAP und Firmen der Stärke- und Papierindustrie Entwicklungsziele verfolgt, die nicht nur die Qualität verschiedener Endprodukte verbesserten, sondern auch die Ökonomie und Ökologie der Herstellungsverfahren einbezogen. Stärkeprodukte mit einem Vermögen zur Bildung transparenter, flexibler und reißfester Schichten für wasserlösliche und wasserstabile Filme stellen die Ziele in weiteren Projekten dar.

Forschungsverbund »Biopolymere«

In dem Verbundprojekt entwickeln die Partner neue Verarbeitungsprozesse, um eine höhere Wertschöpfung aus Reststoffen der Agrarproduktion oder der Zellstoffherstellung zu gewinnen. Der Verbund aus drei Forschungseinrichtungen und 16 Industriepartnern wird koordiniert vom Fraunhofer IAP. Gefördert wird das Vorhaben aus 15 Teilprojekten über fünf Jahre mit rund vier Millionen Euro durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Projektträger des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, mit folgenden Schwerpunkten:

- Ligningewinnung aus Scharzlaugung und Nutzung von Lignin in duromeren Systemen

- Verbesserung der Materialeigenschaften von biobasiertem Polyamid
- Entwicklung von biogenen Additiven für thermoplastische Biopolymere
- Mikroverschäumung hydrophobierter Stärke
- Nutzung von Polyvinylacetat und dessen Derivate in Cellulosefaser verstärkten Biokompositen
- Erhöhung der Thermostabilität cellulosischer Fasern.
- Stärke-Polyolefin-Blends und thermoplastische ligninbasierte Komposite

Forschungsverbund »LIGNOS«

In dem Verbundvorhaben LIGNOS, gefördert vom Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten des Landes Brandenburg, werden neue und nachhaltige biotechnologische Verfahren für die Separation und Verarbeitung von Biopolymeren aus Lignocellulose entwickelt. Die Partner aevotis GmbH, das Institut für Biochemie und Biologie der Universität Potsdam und das Fraunhofer IAP bearbeiten folgende Zielstellungen:

- Entwicklung und Optimierung von Enzymsystemen für Rohstoffe der Agrar- und Forstwirtschaft
- Upscaling der Herstellung von Enzymsystemen
- Gewinnung von Biopolymeren und Oligomeren
- Untersuchungen zur Verarbeitung

Forschungsverbund »PROLIGNOCEL«

PROLIGNOCEL ist ein Projekt im Rahmen der marktorientierten strategischen Vorlauftforschung (MAVO) der Fraunhofer-Gesellschaft. Hier werden durch Entwicklung und Anwendung ionischer Flüssigkeiten neue Aufschluss-, Separations- und Verarbeitungsverfahren für Lignocellulose entwickelt. Die Fraunhofer-Institute IAP, IGB, ISI, UMSICHT und WKI verfolgen dabei diese Ziele:

- Synthese und Optimierung von ionischen Flüssigkeiten (IL)
- Vorbehandlung und Auflösung von Lignocellulose
- Verarbeitung von Lignocellulose zu Fasern und Thermoplast-Werkstoff
- Gewinnung von Lignin
- Entwicklung von Ligninklebstoffen
- Erschließung von Lignocellulose als Fermentationsrohstoff
- ökonomische und ökologische Bewertung

HIGH-PERFORMANCE PLASTICS MADE FROM RENEWABLE RAW MATERIALS

Biopolymers are natural synthesis products that offer an impressive variety of macromolecular structures and corresponding physical properties. They are found in renewable raw materials that are available around the world. Sustainable innovations in the material use of renewable resources therefore form the basis of biopolymer research at Fraunhofer IAP. The aim is to replace petroleum with renewable raw materials in as many applications as possible. Cellulose obtained from lignocellulose, the most prevalent biopolymer, is used to make products out of regenerated cellulose such as fibers, nonwovens, films, sponges and membranes. It is also used to make other versatile cellulose derivatives like thermoplastics, fibers, filters, adhesives, building materials, drilling media, hygiene products, pharmaceutical components etc. These are developed and made available on a lab and pilot plant scale. Because of the special chemical structure of lignin – currently a byproduct of pulping – a diverse range of applications in material development are expected. In the area of starch research, focus is primarily on the application areas of paper, adhesives and bioplastics. Hydrolysis products made from beet pulp can be used as polyols in the production of polyurethane. Biobased polymers, such as polylactide, are at the heart of material development. Another aim of our biopolymer research is to produce the polymer components of plant cell walls through enzymatic treatment of renewable raw materials.

Fibers, films and nonwovens

Special processes are being enhanced for the production of fibers, films and nonwovens. In addition to the viscose process, focus is being placed on environmentally friendly alternatives, like lyocell technology and the carbamate process for cellulose regenerate technologies. Lyocell-based meltblown nonwoven technology was developed together with industry partners until it was ready for technology transfer. Another very promising approach is based on highly-concentrated systems of cellulose carbamate in NMMO/water or in ionic liquids that approximate the desired result, the melt-like processing of

cellulose. Precursors for carbon fibers made of biobased and synthetic polymers, their spinning technology and subsequent processing steps are also a key area of research. Another of Fraunhofer IAP's fields is the processing of synthetic polymers made from concentrated solutions using various wet spinning processes. Processing meltable biopolymers into fibers and nonwovens is also an established field of work.

Biocomposites

Composites, developed from biobased matrix materials such as PLA, PHA and polyamides, have excellent mechanical and thermo-mechanical properties. The aim is to offset matrix material deficits, such as low impact strength and heat resistance, while, at the same time, improving strength and stiffness through compounding with microscale reinforcement fibers. More resilient composites that use cellulose regenerate fibers (tire cord) as their reinforcement fibers are making advances in the area of fiberglass-reinforced plastics and construction polymers. The impact of nanoscale reinforcements has been investigated for starches and cellulose esters. Nanocomposites based on starch mixed esters with high propionate, medium acetate and low laurate content warrant a particular mention. Here the impact strength could be quadrupled. Cellulose acetates could be processed with suitable nanofillers and without plasticizers into highly rigid and very strong injection molded parts with excellent heat resistance. This opens up opportunities in thermally intensive applications.

Polysaccharide chemistry

Heterogeneous and homogenous derivatization of cellulose, starch and other polysaccharides, which can be used to produce bespoke product properties, is an area in which a series of special products are being developed for various areas of application. Methods for producing pearl-shaped separating and carrier materials, new anti-graffiti coatings, thickeners, adsorbents and derivatives for medicine were developed until they were ready for technology transfer. By creating specific substitution patterns, the properties of the final product can

vary widely. Work on new derivatives is generally coupled with process development that is conducted until it reaches pilot plant scale (50 L reactor). A junior research group funded by FNR/BMELV has been studying the synthesis, processing and micro and nano additivation of thermoplastic starches and cellulose derivatives with the aim of providing alternative biobased commodity, engineering and functional materials that have a wide range of properties.

Made-to-measure starch products

The raw material starch has a wide range of development potential. In addition to the physical, acid-hydrolytic and enzymatic treatment of starch, chemical derivatization is gaining in importance. Rheological properties, retrogradation and gel formation can be adjusted depending on the molecular composition. Cationic starches with low DS values between 0.01 and 0.1 stand out for their adsorbability on paper fibers. PTS, Fraunhofer IAP and companies from the starch and paper industries worked closely together in the FNR/BMELV paper alliance to not only improve the quality of various end products, but to develop production processes that are economical and ecological. The goals of other projects are to create starch products that can form transparent, flexible and tear-resistant layers for water-soluble and water-stable films.

Research alliance »Biopolymers«

Partners in this research alliance develop new processing methods to obtain higher added value from waste material from agricultural production and pulping. The alliance is composed of three research institutions and 16 industry partners and is coordinated by Fraunhofer IAP. The project is made up of 15 sub-projects and is being financed over 5 years with around four million euros by the Agency for Renewable Resources (FNR), project organizer of the Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection. Focus is on:

- Producing lignin from black liquor and using lignin in thermoset systems
- Improving the material properties of biobased polyamide

- Developing biogenic additives for thermoplastic biopolymers
- Microfoaming of hydrophobic starches
- Using polyvinyl acetate and its derivatives in cellulose fiber reinforced biocomposites
- Increasing thermostability of cellulosic fibers
- Starch-polyolefin blends and thermoplastic lignin-based composites

Research alliance »LIGNOS«

The collaborative research project LIGNOS is funded by the Ministry for Economic and European Affairs of the State of Brandenburg. Here new and sustainable biotech processes are being developed to separate and process biopolymers from lignocellulose. The partners aevotis GmbH, the Institute of Biochemistry at the University of Potsdam and Fraunhofer IAP are working on the following objectives:

- Developing and optimizing enzyme systems for raw materials from the agricultural and forestry industries
- Upscaling the production of enzyme systems
- Producing biopolymers and oligomers
- Investigating processes

Research alliance »PROLIGNOCEL«

PROLIGNOCEL is a project that is a part of market-oriented strategic initial research (MAVO) at Fraunhofer-Gesellschaft. Here new pulping, separation and processing methods for lignocellulose are being developed through the development and application of ionic liquids. The Fraunhofer Institutes IAP, IGB, ISI, UMSICHT and WKI are pursuing the following objectives:

- Synthesis and optimization of ionic liquids (IL)
- Pre-treatment and dissolution of lignocellulose
- Processing lignocellulose into fibers and thermoplastic materials
- Producing lignin
- Developing lignin adhesives
- Developing lignocellulose as a fermentation raw material
- Economic and ecological assessment

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Celluloseprodukte

- Anti-Graffiti-Beschichtung
- Bakteriencellulose
- 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
- Flockungsmittel für die Papierindustrie, Wasser- und Abwasserreinigung
- Pericellulosen 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 die chemische Industrie

Verfahrensentwicklung

- Neue Synthesewege für Polysaccharidether und -ester
- Optimierung von Homogen- und Heterogensynthesen
- Synthese von Cellulosecarbamat und Cellulosesulfaten
- Up-scaling von Synthesen bis zum 50 L-Maßstab für Heterophasen-Reaktionen
- Verfahren zur Herstellung von Cellulosemischderivaten
- Fraktionierung von Biomasse

Cellulosematerialien und Verfahrensentwicklung

Viskoseverfahren

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

Carbamatverfahren

- 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 Cellulosecarbamat

Lyocell-Verfahren

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

Biobasierte thermoplastische Materialien

- Biocomposite und Blends
- Cellulosefaserverstärkte Thermoplaste
- Compoundierung und Additivierung
- Nanocomposite mit biobasierter Matrix
- Schmelzspinnen
- Spritzguss, Folienextrusion, Tiefziehen

Stärkeprodukte

- Amphiphile Stärkederivate
- Baustoffadditive
- Bindemittel für Gipskarton- und Mineralfaserplatten
- Flockungsmittel zur Abwasserreinigung und Schlammwässerung
- Funktioneller Lebensmittelzusatzstoff: Dickungsmittel, Bindemittel und Gelbildner
- Hydrophobe Stärken für Dispersionsklebstoffe
- Klebemittel für Holzfasersplatten
- 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
- Lignin als Precursormaterial
- Ligninextraktion und Fraktionierung
- Lignin für Duomere und Composite

Proteinderivatisierung

- Entwicklung von Folien und Klebstoffen
- Herstellung von Ethern und Estern

Biotechnologie

- Bestimmung der Zusammensetzung von Biomasse
- Biotechnologische Herstellung von Monomeren für die Polymersynthese
- DNA- und Proteinanalytik
- Entwicklung und Implementierung biotechnologischer Prozesse
- Enzymentwicklung und -optimierung
- Fraktionierung von Cellulose, Hemicellulose und Lignin
- Herstellung von Proteinen/Enzymen
- Heterologe Expressionssysteme
- Nutzung von Biomasse als Quelle für neue Rohstoffe
- Charakterisierung von nativen und modifizierten Biopolymeren wie Cellulose, Stärke, Heteropolysacchariden, Chitosan, Lignin
- Charakterisierung von Polymerlösungen (Molmassenverteilung, Rheologie)
- Charakterisierung von 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

Rohstoffuntersuchung, Materialcharakterisierung und -prüfung

- Bestimmung der Emission flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) nach VDA 277
- Charakterisierung der Morphologie und der übermolekularen Struktur von Polymeren

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

Stärke/Biotechnologische Prozesse
Starch/Biotechnological Processes

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 products

- antigraffiti 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
- flocculants for the paper industry, water purification and wastewater treatment
- 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 industries

Process development

- fractionation of biomass
- 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 materials and process development

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 materials

- biocomposites and blends
- compounding and additivation
- injection molding, film extrusion, thermoforming
- melt spinning
- nanocomposites with biobased matrix
- thermoplastics reinforced with cellulose fibers

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
- lignin analysis and structure characterization
- lignin as precursor
- lignin extraction and fractionation
- lignin for duromers and composites

Protein derivatization

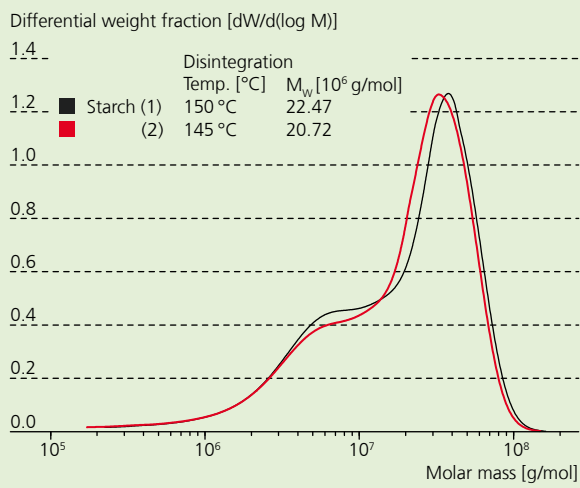
- development of films and adhesives
- preparation of ethers and ester

Biotechnology

- biotechnological production of monomers for the synthesis of polymers
- determination of biomass composition
- development and implementation of biotechnological processes
- DNA and protein analysis
- enzyme development and optimisation
- fractionation of cellulose, hemicellulose and lignin
- heterologous expression systems
- production of proteins/enzymes
- utilization of biomass as a source for new materials

Feedstock analysis, material characterization and testing

- application-oriented testing
- 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



1 GPC-MALS of extruded starch pellets produces a mean molar mass of 22×10^6 g/mol.

2 WAXS: similar crystalline Vh-phases in extruded and MW-foamed starch.

3 SEM of MW-foamed starch: cross section of pores (A) and pore wall (B).

Stärke-Mikrowellenschäum: Charakterisierung der Poren und molekularen Struktur

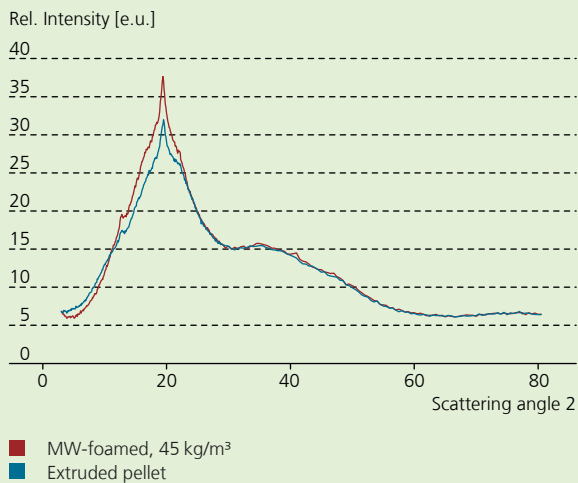
Im Rahmen des EU-Projekts »ReBioFoam« arbeiteten zehn Partner an der Entwicklung eines biobasierten und biologisch abbaubaren Materials mit einer Dichte von 40 kg/m^3 , das als ein neuartiges Verpackungsmaterial eingesetzt werden kann.

Ausgehend von nativer Stärke und unter Zusatz von Wasser wurden die Stärkekörner im Extruder auf eine Temperatur oberhalb des Gelatinierungspunktes aufgeheizt und zu thermoplastischen Pellets geformt. Die äußere Haut der linsenförmigen Pellets mit einem Durchmesser von ca. 15 mm verhindert das Verkleben der Pellets und erhält sie in großen Transportbehältern rieselfähig. Ähnlich der Popcorn-Herstellung wurden die Pellets aufgeheizt, hier jedoch in einem besonders energieeffizienten Mikrowellen-Prozess (MW). Die Energieabsorption führt zu einer Temperaturerhöhung und Plastifizierung der Stärke und zur Verdampfung des Wassers. Schließlich führt die lokale Dampfausdehnung bei Temperaturen bis 160 °C zur Bildung einer Porenstruktur in der plastifizierten Stärke. Wird eine angepasste Menge Pellets mit optimiertem Wassergehalt in eine Form gefüllt, so füllt der erzeugte Stärkeschaum nach der MW-Behandlung die Form vollständig aus und bildet das Verpackungsformteil mit der angestrebten niedrigen Dichte.

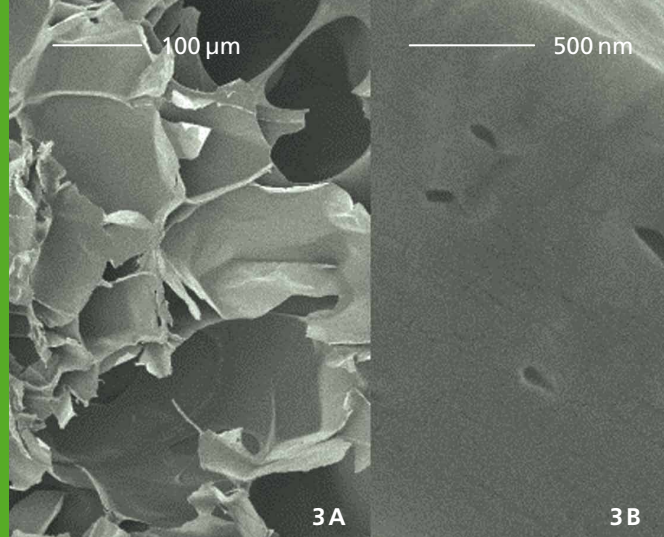
Während des gesamten Verarbeitungszyklus wird die Stärke durch mechanische und thermische Einwirkungen beansprucht. Um schädliche strukturelle und morphologische Änderungen, die die Materialeigenschaften beeinflussen könnten, zu erfassen bzw. zu vermeiden, wurde der gesamte Verarbeitungsprozess mit geeignet jeweilig angepassten Methoden untersucht. DSC-Untersuchungen (Differential Scanning Calorimetry) zeigten, dass der Gelatinierungspunkt der eingesetzten Wurzelstärke bei 68 °C liegt.

- GPC-MALLS -Untersuchungen (Gel Permeation Chromatography with Multi Angle Laser Light Scattering) wiesen nach der MW-Schäumung eine leichte Abnahme der mittleren Molmasse von 22×10^6 g/mol (Fig. 1) auf 15×10^6 g/mol aus.
- WAXS-Untersuchungen (Wide Angle X-ray Scattering) zeigten eine Änderung der kristallinen Modifikation der Wurzelstärke von der B-Phase zur V_h -Phase nach der Extrusion auf. Während der anschließenden MW-Schäumung wurden keine signifikanten Änderungen der Kristallinität (16 %) und der Kristallitgröße ($d_{(301)} = 11 \text{ nm}$) der V_h -Phase beobachtet (Fig. 2).
- Die Porenstruktur wurde mittels SEM (Scanning Electron Microscopy) untersucht, da die Porenwände der geschäumten Stärke nicht dem Druck in der Quecksilberporosimetrie standhielten. Die SEM-Aufnahmen zeigen Makroporen mit einer Verteilung des Porendurchmessers im Bereich von 50 bis $300 \mu\text{m}$ und einem Median von $74 \mu\text{m}$ in geschäumten (Fig. 3A) dagegen von 10 bis $80 \mu\text{m}$ in extrudierten Pellets. Die Porenwände sind ca. $2 \mu\text{m}$ dick und einige schlitzartige Mesoporen mit Dicken bis zu ca. 80 nm sind eingelagert (Fig. 3B).

Das ausgedehnte Volumen der Makroporen in Kombination mit sehr dünnen Porenwänden im MW-Schaum der Stärke ermöglicht es, Verpackungsmaterial mit der angestrebten Dichte von 40 kg/m^3 in Formen herzustellen.



2



3A

3B

Microwave-foamed starch: characterization of the porous and molecular structure

Ten partners collaborated on the EU project "REBIOFOAM" to develop a biobased and biodegradable material with a low density of 40 kg/m^3 suitable for a new generation of packaging materials.

Starting with native starch granules, water was added to produce thermoplastic starch pellets using an extrusion procedure at a temperature above the gelatinization point of starch. The outer skin of the disk-like pellets, which have a diameter of about 15 mm, prevents sticking and allows the pellets to be shipped in big bags. Like in the production of popcorn, the pellets were heated. In this case, however, a more energy-efficient microwave (MW) process was used. The energy absorption leads to a temperature increase above the plastification temperature of starch and furthermore enables the water to evaporate inside the pellets. Finally, local steam expansion at temperatures up to 160°C , forms a porous structure in the plasticized starch. When a mold is filled with a suitable amount of pellets with an optimized water content, the starch foam fills the mold completely following MW irradiation and creates the desired packaging form made of ultra-light foam.

During the processing cycle, the starch material undergoes various mechanical and thermal treatments. In order to characterize and avoid detrimental structural and morphological changes which could impact the final properties of the starch, the MW foam was investigated using different suitable methods.

- DSC (differential scanning calorimetry) determined that the gelatinization temperature of the root starch is 68°C .
- GPC-MALLS (gel permeation chromatography with multi angle laser light scattering) showed a slight reduction in the mean molecular mass of $22 \times 10^6 \text{ g/mol}$ after extrusion (Fig. 1) to $15 \times 10^6 \text{ g/mol}$ after MW foaming.
- WAXS (wide angle X-ray scattering) showed a change in the crystalline modification of root starch from B-phase to V_h -phase during the extrusion procedure, however practically no further significant changes in crystallinity (16 percent) and the crystallite size ($d_{(301)} = 11 \text{ nm}$) of the V_h -phase were observed during the MW foaming process (Fig. 2).
- The structure of the pores was studied using SEM (Scanning electron microscopy) because the pore walls of the foamed starch did not withstand the pressure of mercury intrusion in the MIP (Mercury intrusion porosimetry). The SEM micrograph (Fig. 3A) revealed that the diameter of the macro pore ranged from 50 to $300 \mu\text{m}$ with a median of $74 \mu\text{m}$ compared with a diameter ranging from 10 to $80 \mu\text{m}$ in MW-foamed and extruded pellets respectively. The thickness of the pore walls was approximately $2 \mu\text{m}$ and slit-like meso pores, with a thickness up to 80 nm , were embedded (Fig. 3B).

The MW-foamed starch fulfilled the requirements of a light (40 kg/m^3) and fully biodegradable material thanks to the expanded volume of macro-pores combined with thin pore walls.

Kontakt Contact



Dr. Manfred Pinnow

Telefon +49 331 568-1814

Fax +49 331 568-3000

manfred.pinnow@iap.fraunhofer.de

Dr. Andreas Bohn

Telefon +49 331 568-1817

Fax +49 331 568-3000

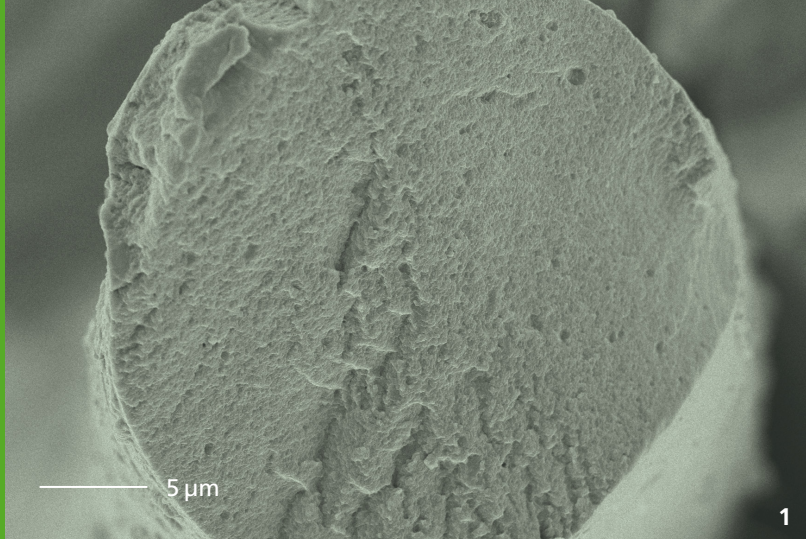
andreas.bohn@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

- 7th European Framework Program, Grant Agreement NMP3-SE-2009-214425, project "REBIOFOAM" (REnewable BIO-polymer FOAMs, www.rebiofoam.eu)

Kooperation Collaboration

- Novamont S.p.A., Novara, Italy
- FEN S.r.l. Tezze-Sol Brenta, Italy
- C-Tech Innovation Limited, Chester, Great Britain
- ITENE – Instituto Tecnológico Del Embalaje, Valencia, Spain
- Česke Vysoke Učeni Technicke, Prague, Czech Republic
- Chemtex Italia S.p.A., Tortona, Italy
- RECTICEL B.V., Bueren, Netherland
- Electrolux Italia S.p.A., Porcia, Italy
- COM-PLAS Packaging Limited, Naas, Co. Kildare, Ireland



1 REM image of a dried wheat LC regenerated fiber (single filament).

Regeneratfasern aus Lignocellulose

Lignocellulose ist aufgrund ihrer nahezu unbegrenzten Verfügbarkeit und des geringen Preises von großem Interesse für die Entwicklung biobasierter Materialien. Neue Technologien zur Umwandlung von Lignocellulose in entsprechend nutzbare Endprodukte können zudem dazu beitragen, erdölbasierte Materialien sukzessive durch biogene Materialien zu ersetzen und somit den CO₂-Ausstoß zu reduzieren.

Im Rahmen des Fraunhofer-Verbundprojekts zur marktorientierten strategischen Vorlaufforschung (MAVO) »PROLIGNOCEL – Neue nachhaltige Prozesse zur ganzheitlichen Verwertung und Materialentwicklung aus Lignocellulose« wurden am Fraunhofer IAP Verfahren mit ionischen Flüssigkeiten (engl. ionic liquid, IL) entwickelt, um das komplexe Stoffsystem Lignocellulose als Gesamtheit, d. h. ohne vorherige Separierung der Einzelbestandteile, in den Lösungszustand zu überführen. Darauf folgende Verarbeitungsschritte wie Umformung, Derivatisierung und Aufschluss sollten somit ermöglicht werden.

Ionische Flüssigkeiten stellen eines der wenigen Direktlösungsmittel für Cellulose dar. Das Biopolymer ist der Hauptbestandteil der Lignocellulose. Das im Fraunhofer IAP entwickelte IL 1-Butyl-3-methylimidazolium-Cyclohexylcarboxylat (BMIMCHC) erwies sich als geeignet, um Lignocellulosen ganzheitlich zu lösen und eine für den Spinnprozess wichtige Fadenbildung zu ermöglichen. Diese konnte bislang mit kommerziellen IL wie 1-Ethyl-3-methylimidazolium-acetat nicht erreicht werden. Die Verarbeitbarkeit mittels Nassspinnentechnologie im Technikumsmaßstab wurde anhand von neun unterschiedlich vorbehandelten Lignocellulosen – u. a. Buche, Pappel, Weizenstroh – untersucht.

Dazu wurden die Lignocellulosen unter Standardbedingungen bei 130 °C direkt in BMIMCHC gelöst und mittels des Luftspaltspinnverfahrens versponnen. Die mechanische Prüfung ergab, dass Regeneratfasern, die aus nativer Weizen-Lignocellulose gewonnen wurden, die besten mechanischen Kennwerte liefern. Die in Fig. 1 gezeigte Faser zeigt mit einer Festigkeit von 19,5 cN/tex und einem E-Modul von 1394 cN/tex etwa die gleiche Festigkeit, wie eine textile Viscosefaser. Hingegen ist der E-Modul etwa doppelt so groß. Das Recycling von eingesetzten Lösungsmitteln spielt eine zentrale Rolle in der wirtschaftlichen Betrachtung eines Produktionsprozesses. BMIMCHC konnte aus Prozesswässern der Faserherstellung wiedergewonnen werden. Das Lösevermögen war nahezu unverändert. Durch weitere Optimierungsmaßnahmen bei der Wiedergewinnung könnte 1-Butyl-3-methylimidazolium-Cyclohexylcarboxylat zukünftig Anwendung in kommerziellen Einsatzbereichen finden.

Man-made fibers from lignocellulose

Because it is inexpensive and available on a nearly infinite basis, lignocellulose plays a significant role in the development of biobased materials. New technologies that convert lignocellulose into final products may contribute to successively replacing petroleum-based materials with biogenic materials, thereby reducing CO₂ emissions.

As part of Fraunhofer's project for market-oriented strategic preliminary research (MAVO) "PROLIGNOCEL – New sustainable processes for integral utilization and material development from lignocellulose", new processes that use ionic liquids (IL) have been developed at Fraunhofer IAP to dissolve the complex lignocellulose system as a whole unit without having to separate its components beforehand. This enables subsequent processing steps such as shaping and derivatization.

Ionic liquids are one of cellulose's few non-derivatizing dissolution systems. The biopolymer makes the main component of lignocellulose. The ionic liquid 1-butyl-3-methylimidazolium-cyclohexylcarboxylat (BMIMCHC) has been developed at Fraunhofer IAP and has proven to be highly efficient in dissolving lignocellulose. The quality of this solution outperforms commercial ILs, such as 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate, and produces a dope which can be used for producing endless filaments. Processing using solution spinning was proven in the pilot-plant scale where nine differently treated lignocelluloses (e. g. beech, cotton wood, wheat straw) were investigated.

Lignocellulose was dissolved directly in BMIMCHC at 130 °C under standard conditions and spun using air-gap spinning. Characterization of the mechanical properties reveals the highest tenacities and modulus for man-made fibers made from wheat straw. The filament shown in Figure 1 has a tenacity of 19.5 cN/tex and a modulus of approx. 1400 cN/tex. The tenacity that is achieved is comparable to a textile viscose fiber, whereas the modulus is approximately double. Recycling the used solvents is a decisive factor when considering the economical aspects of an industrial production process. It was possible to recycle BMIMCHC from spinning baths and to reuse it as a dissolution medium for lignocellulose with hardly any loss of quality in the spinning dope. By further optimizing the recycling process, BMIMCHC can play a very significant role in commercial applications.

Kontakt Contact



Robert Protz

Telefon +49 331 568-1427
Fax +49 331 568-3000
robert.protz@iap.fraunhofer.de

Dr. André Lehmann

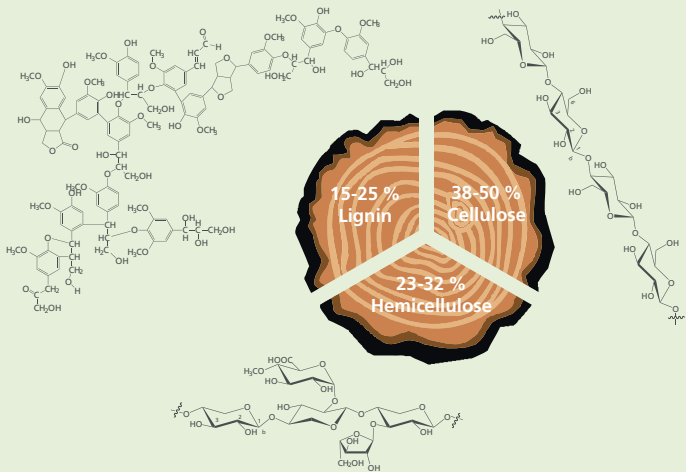
Telefon +49 331 568-1510
Fax +49 331 568-3000
andre.lehmann@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Marktorientierte strategische
Vorlaufforschung (MAVO) der
Fraunhofer-Gesellschaft; Projekt
»PROLIGNOCEL«

Kooperation Collaboration

– Fraunhofer IGB, Stuttgart
– Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen
– Fraunhofer ISI, Karlsruhe
– Fraunhofer WKI, Braunschweig
– Dr. Jörg Bohrisch (Fraunhofer IAP),
siehe S. 88
– Dr. Bert Volkert (Fraunhofer IAP),
siehe S. 38



1

1 Composition of lignocellulose.

2 Injection-molded test specimen of different lignocellulose esters.

3 Mechanical properties of different lignocellulose acetates and propionates plasticized with 30 mass percent of triacetin.

Kunststoffe aus Holz und Stroh

Lignocellulose ist Bestandteil der Zellwände verholzter Pflanzen und dient diesen als Strukturgerüst. Sie setzt sich je nach Herkunft aus ca. 15–25 Prozent Lignin, 38–50 Prozent Cellulose und 23–32 Prozent Hemicellulose zusammen (Fig. 1). Jährlich werden von den Pflanzen etwa 10^{11} – 10^{12} t Lignocellulose zur Verfügung gestellt. Unter der Prämisse der Nachhaltigkeit bei der Sicherstellung der Versorgung der Industrie mit nichtfossilen Rohstoffen steht die Entwicklung von Prozessen auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen als zentrale Aufgabe für unsere Gesellschaft im Vordergrund. Als natürliche Ressource aus dem Nichtnahrungsmittelbereich steht die Lignocellulose an oberster Stelle.

Die hier vorgestellten Forschungsergebnisse sind Teil des Fraunhofer-internen Verbundprojekts »PROLIGNOCELL« (siehe auch S. 36 und S. 88), das sich u. a. zum Ziel gesetzt hat, den natürlichen Rohstoff Lignocellulose zu attraktiven Materialien, End- und Zwischenprodukten zu verarbeiten.

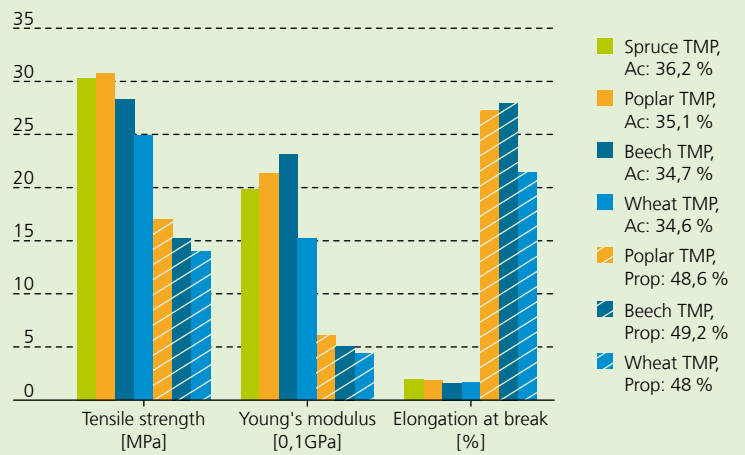
In den letzten Jahren hat die Verwendung von ionischen Flüssigkeiten (engl.: ionic liquid, IL) in Form von Imidazoliumsalzen insbesondere als Lösungsmittel für Polysaccharide stark zugenommen. Diese ILs sind teilweise auch in der Lage, Lignocellulose zu lösen bzw. stark zu quellen, was sie als Medium für die chemische Derivatisierung attraktiv macht. Im Fokus der Untersuchungen stand zum einen die Synthese in ionischen Flüssigkeiten von unterschiedlichen Ausgangsmaterialien mit verschiedenen Vorbehandlungsmethoden zu Lignocelluloseestern unter Einsatz von Säureanhydriden wie Essigsäure- oder Propionsäureanhydrid. Des Weiteren wurden zur Charakterisierung die so hergestellten Produkte mit Triacetin als Weichmacher versetzt, extrudiert und im Minijet zu Prüfkörpern verspritzt (Fig. 2). Durch Spannungs-Dehnungsmessungen wurden anschließend die mechanischen Eigenschaften der Materialien untersucht.

Als Ausgangsmaterialien wurden neben den Holzfasern aus Fichte, Buche und Pappel auch Fasern aus Einjahrespflanzen wie Weizenstroh oder Hafer eingesetzt, wobei all diese Stoffe vor dem Einsatz einem thermomechanischen Aufschluss (TMP) im Refiner unterzogen wurden. Die so vorbehandelten Lignocellulosefasern wurden in kommerziell erhältlichen ILs wie 1-Ethyl-3-methylimidazoliumacetat sowie in neu generierten ILs wie beispielsweise 1-Butyl-3-methylimidazoliumcyclohexylcarboxylat gelöst und mit den entsprechenden Säureanhydriden versetzt. Die maximal erreichten Acetylgruppengehalte lagen bei 38 Masseprozent, während für die Propionate bis zu 49 Masseprozent erzielt wurden.

In Fig. 3 sind die mechanischen Eigenschaften einiger Lignocelluloseacetate den entsprechenden Propionaten gegenübergestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass die Acetate höhere Festigkeiten und Steifigkeiten (E-Modul) als die Propionate aufweisen. Die Propionate zeichnen sich jedoch durch eine wesentlich höhere Bruchdehnung von bis zu knapp 30 Prozent aus. Der hier vorgestellte Ansatz zeigt die Möglichkeit einer ganzheitlichen Verwendung von Lignocellulose zu thermoplastischen Werkstoffen.



2



3

Polymer materials from wood and straw

Lignocellulose is an integral part of the cell walls of woody plants and acts as their structural framework. Depending on its origin, it can be made up of around 15–25 percent lignin, 38–50 percent cellulose and 23–32 percent hemicellulose (Fig. 1). Every year plants provide around 10^{11} – 10^{12} t of lignocellulose. It is the central task of our society to develop processes that are based on renewable resources in order to supply industry with sustainable raw materials that are of non-fossil origin. Lignocellulose is top of the list of natural resources originating from the non-food sector.

The findings presented here are from Fraunhofer's internal collaborative research project »PRO-LIGNOCELL« (see also p. 37 and p. 89). The aim of this project is to turn the naturally occurring raw material lignocellulose into attractive materials, end products and intermediate products.

In the past few years the use of ionic liquids (IL) in the form of imidazolium salts has increased significantly, in particular as a solvent for polysaccharides. Some of these ILs are able to dissolve and heavily swell lignocellulose, making it attractive as a medium for chemical derivatization. Our investigations focused on the synthesis of different base materials in ionic liquids using various pretreatment methods to produce lignocellulose esters using acid anhydrides such as acetic anhydride and propionic anhydride. To characterize these products, the plasticizer triacetin was added and the product was extruded and injection molded into test specimens with a minijet (Fig. 2). The mechanical properties of the materials were then examined using stress and strain measurements.

Base materials were wood fibers from spruce, beech and poplar trees as well as annuals like wheat straw and oat. All of these materials were subjected to thermo-mechanical pulping (TMP) in the refiner before being used. These pretreated lignocellulose fibers were then dissolved in commercially available ILs such as 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate and newly created ILs such as 1-butyl-3-methylimidazolium cyclohexylcarboxylate. Then the corresponding acid anhydrides were added. The maximum content of acetyl groups was 38 mass percent; up to 49 mass percent was achieved for propionates.

Fig. 3 compares the mechanical properties of some lignocellulose acetates with corresponding propionates. It clearly shows that the acetates have a higher strength and stiffness (elastic modulus) than the propionates. However the propionates exhibit a much higher elongation at break of 30 percent. The method presented here demonstrates the possibility of holistically using lignocellulose to produce thermoplastic materials.

Kontakt Contact



Dr. Bert Volkert

Telefon +49 331 568-1516

Fax +49 331 568-3000

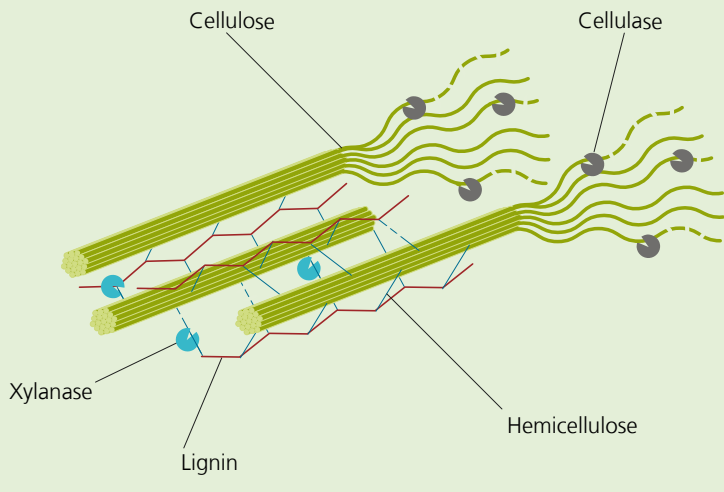
bert.volkert@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Marktorientierte strategische Vorlaufforschung (MAVO) der Fraunhofer-Gesellschaft; Projekt »PROLIGNOCELL«

Kooperation Collaboration

– Fraunhofer IGB, Stuttgart
 – Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen
 – Fraunhofer ISI, Karlsruhe
 – Fraunhofer WKI, Braunschweig
 – Dr. Jörg Bohrisch (Fraunhofer IAP), siehe S. 88
 – Dr. André Lehmann, Robert Protz (Fraunhofer IAP), siehe S. 36



Gewinnung von Lignin aus Weizenstroh durch Anwendung von Enzymen

Pflanzliche Biomasse steht als nachwachsender Rohstoff weltweit in großen Mengen zur Verfügung. Insbesondere die pflanzlichen Zellwände (Lignocellulose), die nicht als Nahrungs- und Futtermittel verwendet werden, repräsentieren Reststoffe mit hohem Potenzial für die Entwicklung nachhaltiger biobasierter Materialien. Die polymeren Komponenten Cellulose, Hemicellulose und Lignin bestehen aus natürlich aufgebauten Polysacchariden und aromatischen Polymerstrukturen, die geeignete Ausgangsstoffe für neue biobasierte Kunststoffe darstellen.

Um pflanzliche Rohstoffe für Materialentwicklungen aufzubereiten, ist es notwendig, die Biopolymere in möglichst hochmolekularer und nativer Form zu isolieren. Chemische Verfahren können dies nur bedingt leisten. Sie führen häufig zu Modifikation und Abbau. Eine erfolgversprechende Alternative stellen biotechnologische Verfahren dar. So verfügen holzabbauende Mikroorganismen über enzymatische Systeme, die eine Hydrolyse von Lignocellulose ermöglichen, um sie als Kohlenstoff- und Energiequelle zu nutzen.

In dem vom Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten des Bundeslandes Brandenburg geförderten Verbundprojekt LIGNOS wird das Ziel verfolgt, nachhaltige biotechnologische Verfahren zur Separation von Biopolymeren aus Lignocellulose der Agrar- und Forstwirtschaft zu optimieren. Dies wird in Zusammenarbeit mit der Firma aevotis GmbH und dem Institut für Biochemie und Biologie der Universität Potsdam realisiert.

Die Arbeiten am Fraunhofer IAP beinhalteten im ersten Schritt Untersuchungen zur enzymatischen Hydrolysierbarkeit von Weizenstroh mit dem Ziel, ein natives Lignin vollständig zu separieren. Für die Hydrolyse der Kohlenhydratfraktion (Cellulose, Hemicellulose) wurden überwiegend kommerziell erhältliche Enzympräparate mit Cellulase- und Hemicellulase-Aktivität eingesetzt. Unter Ausnutzung des synergistischen Hydrolyseeffektes von Cellulase und Xylanase (Fig. 1) konnten etwa 50 Prozent des Weizenstrohs enzymatisch abgebaut werden. Das auf diese Weise freigesetzte Lignin wurde separiert und repräsentiert eine neuartige Ligninfraktion (Fig. 3), die sich in ihren Eigenschaften von chemisch gewonnenen Ligninen unterscheidet (Kraft-Lignin, Organosolv-Lignin). So liegt dieses Lignin in nativer Form vor und weist ein höheres Molekulargewicht auf.

In weiteren Arbeiten ist es gelungen, die enzymatische Zugänglichkeit des Weizenstrohs durch die Einführung eines Vorbehandlungsschrittes zu erhöhen. Nach der Vorbehandlung wurde die Weizenfaser durch Anwendung eines Enzymsystems weitgehend depolymerisiert und mehrere Ligninfraktionen gewonnen. (Fig. 3), die sich in Zusammensetzung und Molmassenverteilung signifikant voneinander unterscheiden. Neben den Ligninfraktionen wurden eine Polysaccharidfraktion und ein niedermolekulares Hydrolysat erhalten. Die polymeren Fraktionen des Weizenstrohs werden nun hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften charakterisiert, um ihre Eignung für die Entwicklung biobasierter Materialien zu bewerten und Verarbeitungstests durchzuführen.

1 *Enzymatic hydrolysis of the carbohydrate fraction of lignocellulose using cellulase and xylanase.*

2 *Wheat straw.*

3 *Various lignin fractions from wheat straw.*



Extraction of lignin from wheat straw using enzymes

Plant biomass is a renewable resource which is available in sufficient quantities around the world. More specifically, the cell walls of the plant (lignocellulose) are not used as food and animal feed and represent residues with a high potential for developing sustainable biobased materials.

In order to recycle them, they must first be processed to isolate the most high-molecular and native form of the biopolymers. Chemical processes only partially achieve this and they often lead to modification and degradation. Biotechnological processes are a promising alternative. Microorganisms have developed enzymatic systems that enable lignocellulose hydrolysis so that it can be used as a carbon and energy source.

The collaborative research project LIGNOS, funded by the Ministry for Economic and European Affairs of the State of Brandenburg, is aiming to optimize the sustainable biotechnological processes that separate biopolymers in lignocellulosic residues from the agricultural and forestry industries. This is carried out in cooperation with the firm aevotis GmbH and the Institute of Biochemistry and Biology at the University Potsdam.

The first phase of work at Fraunhofer IAP involved studying the enzymatic hydrolysis of wheat straw with the aim of completely separating lignin in its native form. Commercially available enzyme preparations with cellulase and xylanase activities were mainly used for the hydrolysis of the carbohydrate fraction (cellulose, hemicellulose). Taking advantage of the synergistic hydrolyzing effect of cellulase and xylanase (Fig. 1), about 50 percent of the wheat straw was degraded enzymatically. The lignin, released in this way, was removed and represents a novel lignin fraction (Fig. 3), significantly different from chemically isolated lignins (Kraft-Lignin, Organosolv-Lignin). It is still in its native state and exhibits higher molecular weights.

In further work, it was possible to raise the enzymatic accessibility of wheat straw by introducing a pretreatment step. After pretreatment, the wheat fiber could largely be hydrolyzed enzymatically and multiple lignin fractions were obtained which differ significantly in composition and molecular weight distribution (Fig. 3). In addition to the lignin fractions, a polysaccharide fraction and a low molecular weight hydrolysate were obtained. The polymer fractions of wheat straw are now characterized in terms of their physical characteristics in order to assess their suitability in the development of biobased materials and to perform processing tests.

Kontakt Contact



Dr. Maren Wandrey

Telefon +49 331 568-1330

Fax +49 331 568-3000

maren.wandrey@iap.fraunhofer.de

Dr. Waltraud Vorwerg

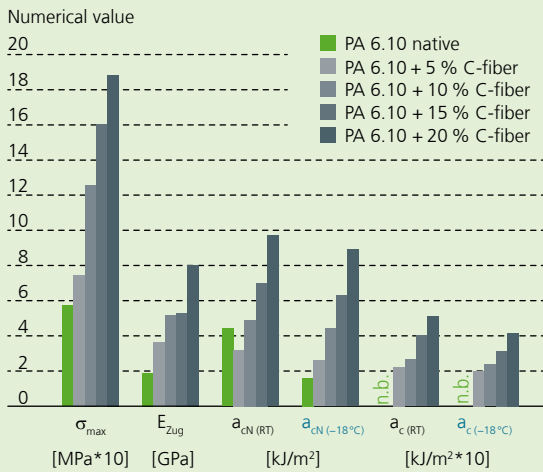
Telefon +49 331 568-1609

Fax +49 331 568-3000

waltraud.vorwerg@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Ministerium für Wirtschaft und
Europaangelegenheiten des Landes
Brandenburg



1

1 Mechanical properties of carbon fiber reinforced PA 6.10 composites.

2 Cryo-fracture (SEM) of a testing bar filled with 10 percent carbon fibers.

3 Fiber length analysis of a C-fiber/PA 6.10 composite filled with 10 percent carbon fibers.

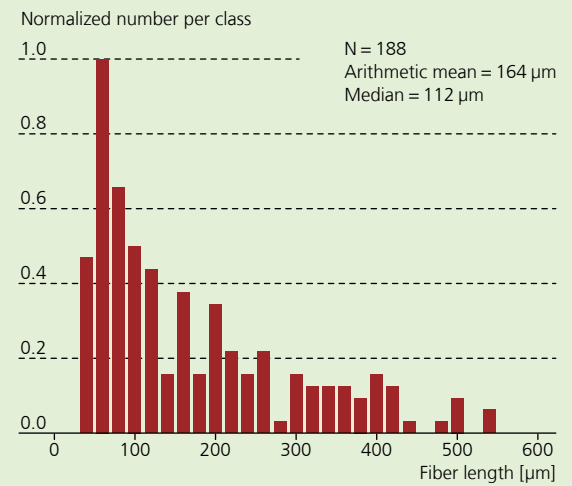
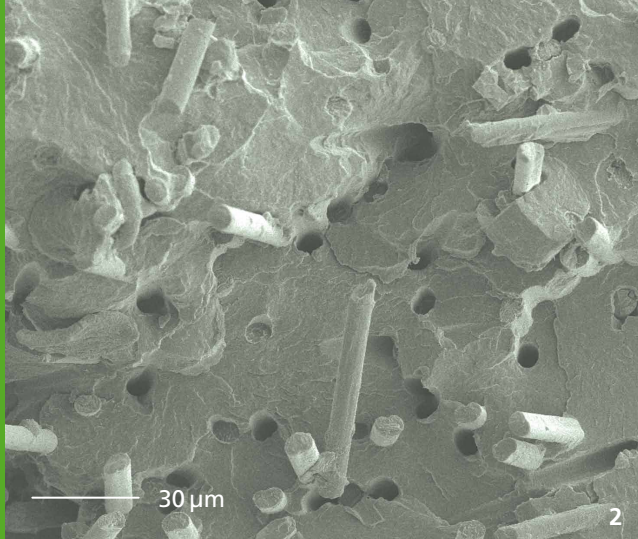
Biobasierte Polyamid-Komposite mit Carbonfaserverstärkung

Im Rahmen des von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) geförderten Forschungsverbundes Biopolymere (TV3A) wurden u. a. Carbonfasern (C-Fasern) auf der Basis von Polyacrylnitril als Verstärkung in biobasiertem Polyamid 6.10 eingesetzt. Carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) sind von großer technischer Bedeutung, sowohl als Verbundwerkstoff von C-Fasern mit Duroplasten als auch mit Thermoplasten. Während C-faserverstärkte Duroplaste als Konstruktionswerkstoffe für hochsteife und hochfeste, dabei aber außerordentlich leichte Bauteile (Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie) dienen, wird bei C-faserverstärkten Thermoplasten vorwiegend der niedrige Reibungskoeffizient und die hohe Abriebfestigkeit genutzt (Transportsysteme, Maschinenbau).

Biobasierte Polyamide (PA) gehören zu den Hochleistungspolymeren. Obwohl sie derzeit ein noch kleines Marktsegment besetzen, ist zukünftig aufgrund ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten in der Automobil- und Elektroindustrie mit einer weiter wachsenden Nachfrage zu rechnen. Bio-Polyamide können ganz oder teilweise auf nachwachsenden Rohstoffen basieren. PA 6.10 basiert zu 63 Prozent auf der aus Rizinusöl gewonnenen Sebacinsäure und zeichnet sich durch eine relativ geringe Dichte, eine hohe Festigkeit, Steifigkeit und Härte sowie eine hohe Wärmeformbeständigkeit aus. Es ist in seinen Eigenschaften dem klassischen PA 6 sehr ähnlich, besitzt aber darüber hinaus eine höhere chemische und Heißwasserbeständigkeit, eine um 50 Prozent geringere Feuchtigkeitsaufnahme, ist dimensionsstabiler und besitzt eine bessere Kallschlagzähigkeit. Es kann daher einerseits in den klassischen PA 6 bzw. PA 6.6 Anwendungen eingesetzt werden, ist andererseits darüber hinaus für weitere Anwendungen geeignet, in denen PA 6 den Anforderungen nicht mehr genügt. Die Compoundierung der Polyamid-Komposite mit steigenden C-Fasergehalten von 5 bis 20 Prozent erfolgte bei 240 °C im Brabender Mischknetzer als eine der schonendsten Methoden der Herstellung. Eingesetzt wurde PA 6.10 (Evonik) und 6 mm Carbonfasern.

Fig. 1 zeigt die mechanischen Eigenschaften der C-Faser/PA 6.10-Komposite mit steigenden Fasergehalten und lässt die hohe Verstärkungswirkung der Carbonfasern erkennen. Bereits ein zehnpromzentiger C-Fasergehalt bewirkt eine Verdoppelung der Zugfestigkeit von 57 auf 126 MPa sowie eine knappe Verdreifachung des E-Moduls von 1,8 auf 5,2 GPa im Vergleich zum unverstärkten Polyamid. Ein zwanzigprozentiger C-Fasergehalt bewirkt einen Anstieg der Zugfestigkeiten auf 188 MPa und eine Vervierfachung des E-Moduls auf 8 GPa. Die Kerbschlagzähigkeit bei Raumtemperatur (23 °C) wird um das 1,2-fache, in der Kälte (-18 °C) um das 5,6-fache verbessert. Fig. 1 zeigt sehr deutlich die Verstärkungswirkung der C-Faser für alle Fasergehalte auf die Kerbschlagzähigkeiten in der Kälte.

Die CFKs wurden mittels Rasterelektronenmikroskopie untersucht. Fig. 2 zeigt den Kryobruch eines PA 6.10 Prüfstäbchens mit einem C-Faseranteil von 10 Prozent. Erkennbar ist eine mittlere Faser-Matrix-Kopplung. Es sind nur sehr wenige längere Faserauszüge zu erkennen. Der Verarbeitungsprozess bewirkt eine deutliche Fasereinkürzung, wie eine Faserlängenanalyse (Fig. 3) zeigt. Die Carbonfaser weist im Verbundmaterial nur noch eine mittlere Faserlänge von 164 µm auf. Dennoch werden, neben den guten mechanischen Eigenschaften, Wärmeformbeständigkeiten von 171 °C und 200 °C (HDT-A-Werte) für einen fünf- bzw. zehnpromzentigen Carbonfasergehalt erreicht.



3

Biobased polyamide composites with carbon fiber reinforcement

Within the framework of the research network Biopolymers (TV3A), funded by the Agency for Renewable Resources (FNR), Polyacrylonitrile (PAN) carbon fibers (C-fibers) were used in addition to other fibers as reinforcements in biobased polyamide 6.10 composites. Carbon fiber reinforced plastics (CFRP) are of considerable technological importance both as C-fiber reinforced thermoplastics and thermosets. C-fiber reinforced thermosets are used as construction materials for components that need to be very strong and stiff yet extremely light (aerospace, automobile industry), while a low coefficient of friction and high abrasion resistance are mainly used with C-fiber reinforced thermoplastics (transport systems, machine construction).

Biobased polyamides (PA) belong to the group of high-performance polymers. Although they currently still only have a small share of the market, a growing demand is expected in the future due to their wide range of applications in the automotive and electrical industries. PA6.10 consists of 63 percent sebacic acid from castor oil and is characterized by a relatively low density, high strength, stiffness, hardness and a high heat resistance. The properties of PA 6.10 are very close to those of traditional PA 6, however it has additional properties such as a higher chemical and hot water resistance, a 50 percent lower moisture absorption, better dimensional stability, and low temperature impact resistance. Accordingly, PA 6.10 is suitable for both traditional PA 6 and PA 6.6 applications and other applications in which PA 6 and PA 6.6 do not meet requirements. Polyamide composites with an increasing carbon fiber content of 5 percent to 20 percent were compounded at 240 °C using a Brabender kneader as one of the less damaging processing methods. Biobased PA 6.10 (Evonik) and carbon fibers (6 mm) were used.

Figure 1 shows the mechanical properties of C-fiber/PA 6.10-composites with increasing fiber content and reveals the high reinforcement effect of C-fibers in biobased polyamide. A carbon fiber content of only 10 percent doubles the tensile strength from 57 to 126 MPa and triples the tensile modulus from 1.8 to 5.2 GPa compared to native polyamide. A 20 percent carbon fiber content increases the tensile strength to 188 MPa and quadruples the tensile modulus to 8 GPa. The notched impact strength at room temperature (23 °C) is improved by a factor of 1.2 and at low temperatures (-18 °C) by a factor of 5.6. Figure 1 very clearly shows the reinforcing effect on the notched impact strength at low temperatures for all C-fiber filled composites.

The CFRPs were examined using scanning electron microscopy. Figure 2 shows the cryo-fracture of a PA 6.10 testing bar with a carbon fiber content of 10 percent. An average fiber-matrix adhesion can be observed. Only a few long fiber pull-outs are visible. The compounding process significantly reduces the fiber lengths as the fiber length analysis (Fig. 3) reveals. C-fibers only have an average fiber length of 164 μm in the composite material. Nevertheless, in addition to the good mechanical properties, heat distortion temperatures of 171 °C and 200 °C (HDT-A values) could be achieved for a fiber content of 5 and 10 percent respectively.

Kontakt Contact



Dr. Andreas Bohn

Telefon +49 331 568-1817
 Fax +49 331 568-3000
 andreas.bohn@iap.fraunhofer.de

Dr. Manfred Pinnow

Telefon +49 331 568-1814
 Fax +49 331 568-3000
 manfred.pinnow@iap.fraunhofer.de

Dr. Johannes Ganster

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

Förderung Funding

– Forschungsverbund Biopolymere, Teilprojekt TV3A, gefördert durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) und das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)

FUNKTIONALE POLYMERSYSTEME

FUNCTIONAL POLYMER SYSTEMS

- 46 Näher am Produkt**
Closer to the product
- 50 Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 52 Hocheffiziente cadmiumfreie Quantum Dot LED**
High performance cadmium-free quantum dot LEDs
- 54 Dielektrische Elastomere
mit erhöhter Permittivität für die Aktorik**
Dielectric elastomers
with enhanced permittivity for actuator applications
- 56 Chromogene Kunststofffolien durch Extrusionstechnologie**
Chromogenic plastic films using extrusion technology
- 58 Polymerlaser für biosensorische Anwendungen**
Polymer lasers for biosensor systems
- 60 Mehrphotonenanregung von Quantenpunkten –
Neue Möglichkeiten für die medizinische Diagnostik**
Multiphoton excitation of quantum dots –
beyond traditional medical diagnostics

*Dr. Armin Wedel – Auf der neuen Pilotanlage für lösungsbasierte Prozesse werden organische Leuchtdioden und organische Solarzellen auch im industrienahen Maßstab entwickelt – auf festen und flexiblen Substraten. |
Dr. Armin Wedel – At the new pilot plant for solution-based processes new technologies for organic light-emitting diodes and organic solar cells are developed in an industry-oriented scale - on solid and flexible substrates.*

 pioneers in polymers



NÄHER AM PRODUKT

Technologieentwicklung für die organische Elektronik

Nach der Eröffnung des Anwendungszentrums für Innovative Polymertechnologie im Juni 2012 stehen uns nun 281 m² Reinraumfläche und eine Pilotlinie für die Produktion von Photovoltaik-Modulen mit organischen Aktivmaterialien (OPV) und organischen Leuchtdioden (OLED) zur Verfügung. Damit wird ein weiterer wesentlicher Schritt hin zur Entwicklung produktionsstauglicher Prozesse für die Herstellung derartiger Bauelemente getan. Die weitgehend automatisierten Abläufe in den Inertgas-Gloveboxen werden eine weitaus höhere Produktivität und bessere Konstanz der Prozesse erlauben und versprechen wertvolle Erkenntnisse, die die Umsetzung in die industrielle Produktion befördern werden. 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 des Bauelements ausgerüstet.

Materialentwicklung für die organische Elektronik

Die organische Synthesechemie eröffnet 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, Elektronen-, Loch- Transport- und Emittermoleküle enthalten. Durch die Anwendung von geeigneten funktionalisierten Polymeren können diese zusätzlich durch thermische als auch photochemische Initiierung vernetzt werden, um die abge-schiedene dünne Schicht zu stabilisieren und weitere Prozess-schritte vorzunehmen. Für die organischen Feldeffekttransistoren (OFET) sind neue halbleitende Polymere mit hoher Ladungsträgermobilität und dünne spannungsfeste Dielektrika Schwerpunkte der Entwicklung, die für die Herstellung luftstabi-ler Transistoren und Schaltungen genutzt werden können. Spezielle angepasste konjugierte Absorberpolymere werden für den Einsatz in der organischen Photovoltaik (OPV) entwickelt.

Thermochrome Materialien

Erfahrungsgemäß ist die Farbe eines Materials unabhängig von dessen Temperatur. Nur wenige, sogenannte thermochrome Materialien, zeigen kontinuierliche oder sprunghafte Farbwechsel infolge von Temperaturänderungen. Diese können sowohl reversibel als auch irreversibel erfolgen und erschließen neue Anwendungen auch in der Sicherheitstechnik. Bei thermochromen Polymerwerkstoffen lassen sich temperaturgesteuert sowohl die Farbintensitäten schalten als auch zielgerichtet Farben steuern. Demzufolge können thermochrome Schalteffekte zwischen zwei Signalfarben (blau–rot oder gelb–schwarz) oder auch stufengeschaltete Effekte (farblos–rot–gelb–grün) in einem vorgegebenen Temperaturprofil ermöglicht werden. Zu den Schwerpunkten der Entwicklungsarbeiten gehören farbselektive Thermochromie in Duromeren, Thermoplasten, Lacken einschließlich Gießharzsystemen und hochtransparenten Hydrogelen. Neben der Anwendung als visuelle Temperatursensoren werden thermochrome und thermotrope Polymere zunehmend als energieeffizienzsteigernde Materialien in der Solartechnik eingesetzt. Schwerpunkte hierbei sind der aktive Sonnenschutz in der Gebäudearchitektur und die Vermeidung von Überhitzungseffekten in Sonnenkollektoren.

Quantum Dots

Die Quantum Dots (QD) 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 oder als Sicherheitsmerkmal auf Banknoten. Die Funktionalisierung der Partikeloberfläche macht den Einsatz von QDs in Analytik und Bioanalytik sowie in therapeutischen Anwendungen attraktiv. 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.



Optische Funktionselemente

Flüssigkristalle haben in Form der LCDs die Informationstechnologie revolutioniert. Neben dem Flüssigkristall selbst haben strukturierte Farbfilter und anisotrope Funktionsschichten, wie Orientierungsschichten, Polarisatoren, Retarder oder Diffuser, diese bahnbrechende Entwicklung möglich gemacht. 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. Diese Materialbasis wird durch thermochrome Polymersysteme und polymere Nanokomposite mit spezifischen optischen Eigenschaften ergänzt. Die speziell funktionalisierten Polymere, Polymerkomposite und komplexen photovernetzbareren 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, d. h. neuartige Filmpräparationstechniken, Orientierungsverfahren, dem permanenten Fixieren supra-molekularer oder lichtinduzierter Ordnungszustände und in Perspektive in zunehmenden Maße auch Drucktechniken entscheidende Bedeutung zu.

Generative Fertigung mittels laserinduzierter Polymerisation

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.

Organische und hybride Sensoren und Aktoren

Die Entwicklung organischer oder hybrider Wandler konzentriert sich auf die Themenfelder der elektromechanischen und kapazitiven Sensoren und Aktoren, sowie der Nanokomposit-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 erfolgt die Entwicklung neuer dielektrischer Elastomere mit deutlich höherer Permittivität zur Absenkung der späteren Aktorbetriebsspannung sowie deren Einsatz als dünne Folien oder Folienstapel kontaktiert mit dehnbaren Elektroden in sogenannten dielektrischen Elastomeraktoren (DEA).

Oberflächenfunktionalisierung und Analytik

Das Anpassen der Oberflächeneigenschaften von Polymeren 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. Am Fraunhofer IAP 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.

CLOSER TO THE PRODUCT

Development of technology for organic electronics

Since the Application Center for Innovative Polymer Technologies opened in June 2012, we have at our disposal 281 m² of clean room space and a pilot line for the production of organic light-emitting diodes (OLED) and photovoltaic panels that use organic photovoltaic materials (OPV). This represents an important step towards developing industrial processes to produce these types of devices. The semi-automated processing steps in the inert glove boxes give rise to a considerably higher productivity and an improved reproducibility. Results from the pilot line are expected to provide a strong basis which will promote scale-up to industrial production. In addition to state-of-the-art printing technology (inkjet, slot-die) and physical vapor deposition units, the system is equipped with a module for thin-film direct-encapsulation with ALD (atomic layer deposition) and an unit for the encapsulation of the devices.

Material development for organic electronics

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 designed for OLEDs which contain molecules in a polymer backbone that are optimized for electron and hole transport as well as for emission. Moreover, by using suitable functional groups, these polymers can also be cross-linked via thermal and photochemical initiation in order to stabilize the films to withstand further processing steps. Research in the field of organic field effect transistors (OFET) focuses on new semi-conductive polymers with high charge carrier mobilities and thin surge-proof dielectrics that can be used to produce oxygen-stable transistors and circuits. Specially designed conjugated absorber polymers are developed for use in OPVs.

Thermochromic materials

It is generally understood that a material's color does not depend on its temperature. Only a few so-called thermochromic materials exhibit gradual or sudden changes in color as a result of temperature changes. These changes can be both reversible and irreversible and open up the possibility of new applications such as technologies where security plays an important role. With thermochromic polymer materials, both the intensity of the color and the color itself can be controlled by temperature. Consequently, thermochromic color change between two signal colors (blue–red or yellow–black) or interval changes (transparent–red–yellow–green) are possible in predetermined temperature profiles. Development in this field focuses on color-selective thermochromism in thermosets, thermoplastics, paints (including casting resin systems), and highly transparent hydrogels. In addition to being implemented as visual temperature sensors, thermochromic and thermotropic polymers are increasingly being used as materials that enhance energy efficiency in solar technology. Key areas of application are active solar protection for buildings and prevention of overheating in solar collectors.

Quantum Dots

Quantum dots (QD) are a new class of nanomaterials in which optical absorption and emission properties can be tuned by adjusting the particle size and passivation of particle surfaces. Virtually the entire visible spectral range up to the near infrared region can be accessed. These unique properties enable QDs to be used in various applications, for example, as luminescent materials, for photovoltaic up-conversion and as a security features on banknotes. The functionalization of the particle surface makes QDs attractive for analytics, bioanalytics and therapeutic applications. New methods are being 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.

Optical functional elements

Liquid crystals in the form of liquid crystal displays (LCDs) have revolutionized information technology. In addition to these liquid crystals, structured color filters and anisotropic functional layers, such as orientation layers, polarizers, retarders and diffusers, have all made this groundbreaking development possible. 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. This material basis is supplemented by thermochromic polymer systems and polymer nanocomposites with specific optical properties. The specially functionalized polymers, polymer composites and complex photo-crosslinkable liquid crystal mixtures can be easily processed and enable films to be produced which have diverse optical functionalities. In addition to material development, the coordinated investigation of polymer-typical processing and patterning technologies are becoming increasingly important. These include innovative film preparation techniques, orientation procedures, the permanent fixation of supramolecular or light-inducing states and, increasingly, printing techniques.

Generative production using laser-induced polymerization

Three-dimensional structures can be produced through photocrosslinking 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 which 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. Additional areas of application include microsystem technologies.

Organic and hybrid sensors and actuators

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. New dielectric elastomers are also being developed with considerably higher permittivity in order to lower the actuator operation voltage. Additionally, using dielectric elastomers as thin films or film stacks connected to stretchable electrodes in so-called dielectric elastomer actuators (DEA) is being explored.

Surface functionalization and analysis

Tailoring the surface properties of polymers allows these materials to be incorporated in various applications. For example, activating a polymeric surface makes it possible to print onto polyethylene films (shopping bags), to adhesively bond polypropylene (smart cards) and to paint polymer surfaces. The chemical composition of the nanometer-thin surface layer is responsible for producing these properties. Fraunhofer IAP develops nanotechnologies that tailor the surface properties for 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 and the precision of the chemistry of gas phase and liquid phase reactions to efficiently produce surfaces with a well-defined chemical structure. These are suitable for creating good adhesion of metals onto plastics and for three-dimensional host structures for proteins in biological and medical diagnostics. The technology developments in this field are supported by sophisticated analytical tools for surfaces and thin films.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Materialien – Synthese und Verarbeitung von

- Elastomeren
- elektrolumineszierenden Polymeren
- flüssigkristallinen Polymeren
- halbleitenden Polymeren
- holographischen Materialien
- lumineszierenden Quantenpunkten
- photochromen Polymeren
- photolumineszierenden Polymeren
- piezoelektrischen Polymeren
- polymeren Nanokompositen
- pyroelektrischen Polymeren
- thermochromen und elektrochromen Polymeren

Funktionselemente

- Anisotrope Schichten
- Barrierschichten für flexible Displays
- 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)
- Flexible Elektroden
- Flüssigkristall-Displays
- OFET (Organische Feldeffekttransistoren) und Dioden
- OFET-Ansteuerung von OLED-Pixeln
- OLED (Organische Leuchtdioden)
- OLED-Beleuchtung
- OLED-Passiv-Matrix-Displays
- OLED-Signage-Displays
- OPV (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 makroskopischer Eigenschaften
- Elektronisches Wasserzeichen
- Fälschungssichere Markierung von Polymermaterialien
- Fluoreszenzschichten für die Sensortechnik
- Messung der Wasserdampftransmission durch 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

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

Functional elements

- anisotropic layers
- barrier layers for flexible displays
- 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

- dielectric elastomer actuators (DEAs)
- flexible electrodes
- liquid crystal displays
- OFET (organic field effect transistors) and diodes
- OFET driving OLED pixels
- OLED (organic light emitting diodes)
- OLED illumination
- OLED passive matrix displays
- OLED signage displays
- OPV (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
- ink-jet printing of OLEDs
- measurement of the water vapor transmission rate through barrier layers
- OLED lifetime characterization
- OLED as security mark
- 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 +49 331 568-3000
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

Polymere und Optik
Polymers and Optics

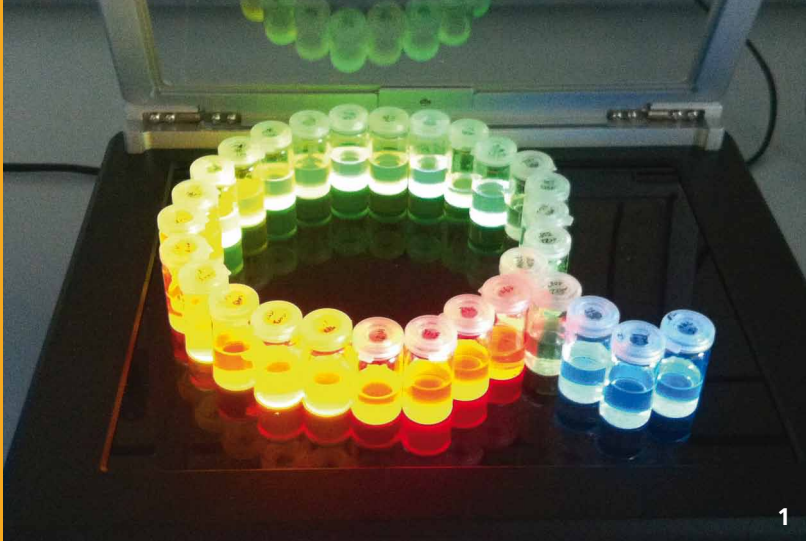
Priv.-Doz. Dr. habil. Joachim Stumpe

Telefon +49 331 568-1259
joachim.stumpe@iap.fraunhofer.de

NanoPolyPhotonik
NanoPolyPhotonic

Prof. Dr. Hans-Gerd Löhmannsröben

Telefon +49 331 977-5222
hans-gerd.loehmannsroebe@iap.fraunhofer.de



Hocheffiziente cadmiumfreie Quantum Dot LED

Der technologische Fortschritt der letzten Jahre lässt sich an der Displayindustrie verfolgen. Die immer kürzer werdenden Innovationszyklen im Bereich der Materialwissenschaften, insbesondere die Entwicklung der organischen Halbleiter, führten zu dem heute bedeutenden Markt der organischen lichtemittierenden Dioden (OLED). Neuartige Materialien erlauben es, Anwendungen und elektronische Bauelemente bereitzustellen, die außergewöhnliche Eigenschaften und Leistungen aufweisen.

Dieser Innovationsimpuls wird unter anderem durch die Nanotechnologie vorangetrieben, was zu der neuesten Klasse von Funktionsmaterialien, den sogenannten Quantum Dots (QDs), führte. QDs bestehen aus Halbleiter-Nanopartikeln mit einzigartigen optischen Eigenschaften. So lassen sich durch Einstellen der Partikelgröße im Bereich weniger Nanometer die optischen Charakteristika fundamental ändern: Damit ist es möglich, die Absorptions- und Emissionseigenschaften durchzustimmen und mit ein- und demselben Material sämtliche Spektralfarben abzubilden. Die Halbwertsbreite der Lumineszenz von QDs ist ausgesprochen schmalbandig (< 50 nm), was durch die Bereitstellung von Nanopartikeln mit einer engen Größenverteilung erzielt wird. Demzufolge sind QDs der ideale Kandidat, um als lumineszentes Material in der Optoelektronik Einzug zu finden [1]. Verwendet man QDs als Dünnschichtfilm in lichtemittierenden Dioden, kann man Displays erhalten, die eine ausgesprochen hohe Farbsättigung haben. Quantum Dot lichtemittierende Dioden (QLED) kennzeichnen somit den neuesten Meilenstein in der Displaytechnologie [2–4].

Zudem weisen QDs eine beachtliche Photostabilität auf, sind hitzebeständig sowie stabil gegenüber Sauerstoff und Luftfeuchtigkeit. Das Paradebeispiel, welches bisher alle genannten Eigenschaften erfüllt, sind Cadmiumselenid (CdSe)-QDs. Die Toxizität von CdSe steht einem Einsatz in Massenartikeln aber entgegen, was in der RoHS (Restriction of (the use of certain) hazardous substances)-Direktive der Europäischen Union streng geregelt ist. Diese Tatsache bringt es mit sich, dass die Forschung zur Herstellung von Cd-freien QDs mit vergleichbaren Eigenschaften intensiviert wurde. Als aussichtsreiche Alternative kommt Indiumphosphid (InP) in Frage [5]. Durch Optimierung der Synthesebedingungen in einem effektiven Eintopfverfahren konnten wir kolloidale InP-QDs herstellen, die sich durch eine schmale und effiziente Lumineszenz auszeichnen. Indem die QDs durch mehrere Schutzschalen stabilisiert werden, zeigen diese eine ebenso hohe Stabilität und Effizienz wie CdSe-QDs. InP-Multischalen-QDs ermöglichen es, QLEDs mit einer exzellenten Performance herzustellen. So erhält man als maximale Leuchtdichte 7000 cd m^{-2} und eine externe Quanteneffizienz von 5 Prozent. Bei einer für Displays typischen Leuchtdichte von 100 cd m^{-2} , liegt die Stromeffizienz bei ca. 14 cd A^{-1} . Weltweit konnten so zum ersten Mal cadmiumfreie QLED mit Rekorderffizienzen erhalten werden [6-7].

Literatur Literature

- [1] V. Wood, V. Bulović: *Colloidal quantum dot light-emitting devices*, Nano Reviews 1, 5202 (2010)
- [2] J. Zhao, J. A. Bardecker, A. M. Munro, M. S. Liu, Y. Niu, I. K. Ding, J. Luo, B. Chen, A. K.-Y. Jen, D. S. Ginger: *Efficient CdSe/CdS quantum dot light-emitting diodes using a thermally polymerized hole transport layer*, Nano Lett. 6, p. 463–467 (2006)
- [3] P. O. Anikeeva, J. E. Halpert, M. G. Bawendi, V. Bulović: *Quantum Dot Light-Emitting Devices with Electroluminescence Tunable over the Entire Visible Spectrum*, Nano Lett. 9, p. 2532–2536 (2009)
- [4] T.-H. Kim, K.-S. Cho, E. K. Lee, S. J. Lee, J. Chae, J. W. Kim, D. H. Kim, J.-Y. Kwon, G. Amaratunga, S. Y. Lee, B. L. Choi, Y. Kuk, J. M. Kim, K. Kim: *Full-colour quantum dot displays fabricated by transfer printing*, Nat. Photon. 5, p. 176–182 (2011)
- [5] P. Mushonga, M. Onani, A. M. Madiehe, M. Meyer: *Indium Phosphide-Based Semiconductor Nanocrystals and Their Applications*, J. Nanomater. doi:10.1155/2012/869284 (2012)
- [6] T. Greco, C. Ippen, A. Wedel: *InP/ZnSe/ZnS core-multishell quantum dots for improved luminescence efficiency*, Proc. SPIE 8424, Nanophotonics IV, 842439 (2012)
- [7] C. Ippen, T. Greco, A. Wedel: *InP/ZnSe/ZnS: A Novel Multishell System for InP Quantum Dots for Improved Luminescence Efficiency and Its application in a Light-Emitting Device*, Journal of Information Display 13, p. 91–95 (2012)

1 Different sizes of QDs produced at Fraunhofer IAP under UV light.

The emission color is determined by the size of the particle (1.5-5.5 nm)..

2 QLED based on InP/ZnSe/ZnS-QDs as emission layer.



2

High performance cadmium-free quantum dot LEDs

Today, display research is one of the major areas promoting scientific and technological progress. Particularly the ever-shorter innovation cycles of material development in the field of organic light emitting diodes (OLED) are testament to the importance of this research field. The evolution of novel material classes produces applications and devices with extraordinary characteristics and performance capabilities.

Nanotechnology is currently driving this innovation. The development of the latest class of functional materials has led to crystalline semiconductor nanoparticles, so-called quantum dots (QDs). Quantum dots display unique optical properties: By adjusting the particle size on a scale of less than a few nanometers it is possible to increase the band gap and thus to tune the emission behavior in an inimitable way. The luminescence wavelength can be shifted continuously through the entire visible spectrum so that it is possible to achieve any color using the same material. The emission's full width at half maximum, which corresponds to the particle size deviation, can be configured on an incomparably narrow scale (< 50 nm). As a consequence, colloidal QDs are a highly attractive luminescent material for use in thin-film light-emitting devices with excellent color saturation [1]. Additionally, semiconductor QDs exhibit extraordinary thermo- and photostability and exhibit inertness in terms of humidity and oxygen. The most highly investigated material, which fulfills the aforementioned parameters, is cadmium selenide (CdSe). As a consequence, quantum dot light emitting diodes (QLED) mark the latest development in display research and have been shown to offer good performance using cadmium-based QDs [2-4].

However, due to the inherent toxicity of cadmium compounds, their use in electronic consumer commodities is severely restricted. Particularly in Europe compliance is regulated by the European Union's RoHS Directive (restriction of (the use of certain) hazardous substances). This has initiated a vast research effort towards synthesizing cadmium-free QDs that have similar optical properties to those of cadmium selenide QDs. For the emission of visible light, indium phosphide (InP) is considered to be the most promising alternative [5]. By optimizing the synthesis conditions of colloidal InP we were able to produce InP-multishell QDs in a fast and effective one-pot approach. The resulting optical characteristics, such as narrow and bright emission and high stability, enabled cadmium-based QDs to be substituted with indium-based ones. Finally, we manufactured QLEDs with excellent performance capabilities like a maximum luminance of 7000 cd m⁻², a current efficiency of 14 cd A⁻¹ at a display luminance of 100 cd m⁻² and an external quantum efficiency above 5 percent. This is the first time that a cadmium-free QLED with application-relevant performance has been reported which means our group holds the world record in efficiency [6-7].

Kontakt Contact



Dipl.-Chem. Tonino Greco

Telefon +49 331 568-1820

Fax +49 331 568-3910

tonino.greco@iap.fraunhofer.de

Dipl.-Chem. Christian Ippen

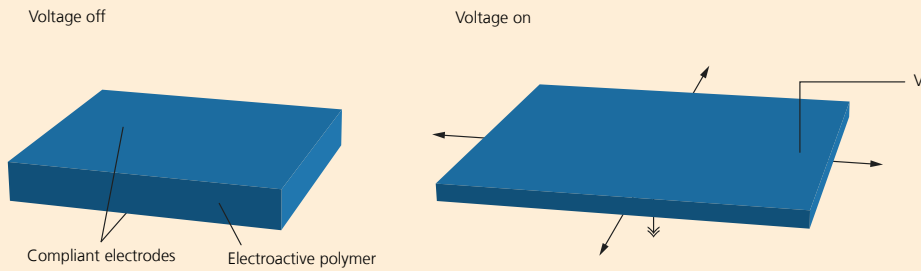
Telefon +49 331 568-1257

Fax +49 331 568-3910

christian.ippen@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Korean Electronics Technology
Institute



1

1 Principal mode of action of a DEA.

2 Diagram of dipole grafting in PDMS.

3 Influence of permittivity and Young's module on dipole content for silicones based on DMS V31 and DMS V41.

Dielektrische Elastomere mit erhöhter Permittivität für die Aktorik

Elektrische Kondensatoren aus flexiblen Elektroden und einem weichen Dielektrikum stellen neuartige elektromechanische Aktoren bzw. Sensoren dar (Fig. 1) und werden als dielektrische Elastomer-Aktoren (DEA) bezeichnet. Aufgrund der mit DEAs realisierbaren großen aktorischen Verformungen von bis zu einigen 100 Prozent ihrer Originalgröße werden sie auch oft als »künstliche Muskeln« bezeichnet [1-2]. Die elektromechanischen Aktoren sind leicht und weich und ermöglichen daher Anwendungen in der Robotik und Automatisierungstechnik, als miniaturisierte Pumpen, Ventil- und Relaissteuerungen oder als optische Justagevorrichtungen.

Eine Herausforderung bei der weiteren Entwicklung der DEAs liegt in der hohen, einige Kilovolt betragenden Betriebsspannung der aktuellen Aktoren. Der Einfluss der Betriebsspannung auf die Aktoreigenschaften (Verformung s_z) ist unten stehend dargestellt. Die Reduzierung der Betriebsspannung des Aktors lässt sich über eine geringere Schichtdicke (d) des Elastomers bzw. über eine Reduzierung der Materialsteifigkeit (Young's-Modul Y) oder eine Erhöhung der Permittivität (ϵ_r) des Materials erreichen.

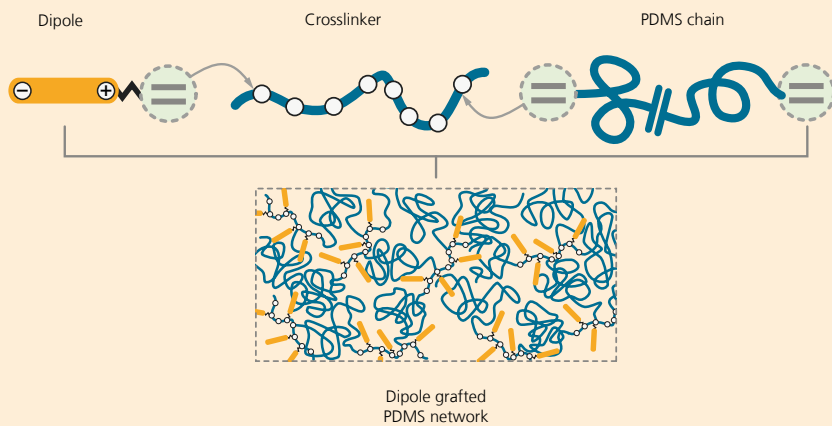
$$s_z = \frac{\sigma_{\text{Maxwell}}}{Y} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{Y} \left(\frac{U}{d} \right)^2$$

Den ersten Ansätzen stehen prozesstechnische (d) und einsatzrelevante Limitierungen (Y) entgegen, so dass die Erhöhung der Permittivität die effektivste Entwicklungsrichtung darstellt. Die höhere Permittivität kann über verschiedene Ansätze erreicht werden, z. B. durch das Einbringen von Metalloxid-Partikeln in die Elastomere. Daraus resultieren jedoch Nachteile wie die Versteifung des Materials bzw. negativ beeinflusste elektrische Eigenschaften.

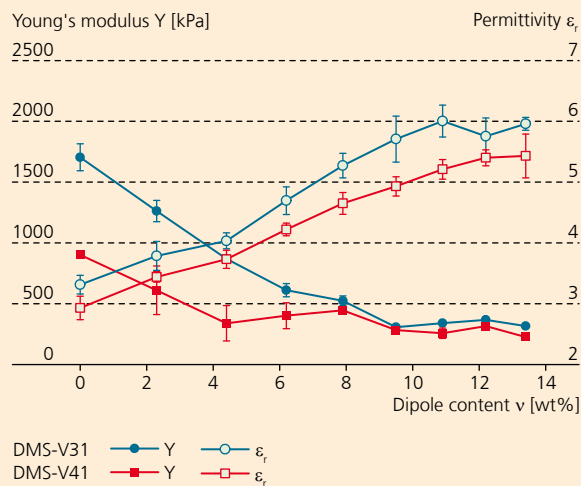
Als neuartiger Ansatz erfolgte am Fraunhofer IAP die chemische Modifizierung der Elastomere durch das Einbinden kleiner Moleküle mit hohen permanenten Dipolmomenten in das Elastomernetzwerk (Fig. 2) [3-5]. Dafür wurde ein sogenannter one-step-Filmbildungsprozess entwickelt, bei dem das Ankoppeln der Dipole und die Bildung des Elastomernetzwerkes simultan stattfinden. Dabei erfolgt die Vernetzung des Elastomers durch eine Hydrosilylierungsreaktion, wobei eine vinyl-terminierte PDMS-Kette mittels einer platinkatalysierten Reaktion an eine Hydrosilaneinheit des Vernetzers gebunden wird. Analog können auch weitere organische Gruppen an die Hydrosilaneinheiten fixiert werden, sofern diese eine Vinylfunktionalisierung enthalten. Diese Materialanpassung auf molekularer Ebene führt zu einer perfekten Verteilung der Komponenten und verhindert Inhomogenitäten und Grenzflächeneffekte zwischen den Komponenten. In Abhängigkeit vom Dipolgehalt der Elastomerfolien kann deren Permittivität und die mechanische Steifigkeit eingestellt werden. Für den Aufbau kompletter Aktoren wurden zudem verformbare Elektroden auf Basis von Kohlenstoffnanoröhrchen (CNTs) entwickelt. Aktoren, bestehend aus Elastomeren mit hohem Dipolgehalt und CNT-Elektroden, zeigen eine sechsfach höhere Verformung (s_z) im Vergleich zum unmodifizierten Elastomer, zurückzuführen auf eine Verdopplung der Permittivität und eine Reduzierung der mechanischen Steifigkeit (Fig. 3). Damit gestatten die entwickelten Materialien eine Verringerung der Betriebsspannungen derartiger DEAs unter 1 kV bei gleicher aktorischer Wirkung.

Literatur Literature

- [1] R. Pelrine, R. Kornbluh, Q. Pei, J. Joseph: *High-speed electrically actuated elastomers with strain greater than 100%*, Science 287, p. 836–839 (2000)
- [2] F. Carpi, S. Bauer, D. De Rossi: *Stretching dielectric elastomer performance*, Science 330, p. 1759–1761 (2010)
- [3] B. Kussmaul, S. Risse, G. Kofod, R. Waché, M. Wegener, D. N. McCarthy, H. Krüger, R. Gerhard: *Enhancement of dielectric permittivity and electromechanical response in silicone elastomers: Molecular grafting of organic dipoles to the network*, Adv. Funct. Mater. 21, p. 4589–4594 (2011)
- [4] S. Risse, B. Kussmaul, H. Krüger, G. Kofod: *Synergistic improvement of actuation properties with compatibilized high permittivity filler*, Adv. Funct. Mater. 22, p. 3958–3962 (2012)
- [5] B. Kussmaul, S. Risse, M. Wegener, G. Kofod, H. Krüger: *Matrix stiffness dependent electro-mechanical response of dipole grafted silicones*, Smart Mater. Struct. 21, 064005-064011 (2012)



2



3

Dielectric elastomers with enhanced permittivity for actuator applications

Electro-mechanical coupling in soft capacitors can give rise to surprisingly large deformations (Fig. 1). This is exploited in promising new devices known as dielectric elastomer actuators (DEA), sometimes referred to as “artificial muscles” due to their excellent actuator properties [1-2]. As electromechanical actuators, they enable a wide range of interesting applications since they are soft and light and have direct voltage control, including miniaturized pumps, optical adjustment actuators and electro-mechanical logic gates for distributed multi-element smart systems.

The generality of the actuator principle gives rise to hope that DEA-based devices can find a much broader range of applications; however, one of the main obstacles to their wide-spread implementation is the required high operating voltage of a few kilovolts. The operating voltage of the actuator can be lowered by reducing thickness (d) of the elastomer films, increasing the permittivity (ϵ_r) or lowering the mechanical stiffness (Y) according to Equation (1).

$$s_z = \frac{\sigma_{\text{Maxwell}}}{Y} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{Y} \left(\frac{U}{d} \right)^2$$

Thickness reduction is often limited to around $30 \mu\text{m}$ due to film handling. Stiffness can be reduced by lowering elastomeric network density. A direct enhancement of permittivity (ϵ_r denotes its real part) is the only way to achieve high electrical energy density with lowered operating voltages, thus enabling compact devices. Insulating metal oxide nanoparticles can be used to enhance permittivity, but care must be taken to encourage host-guest compatibility and to provide a drastic increase in film stiffness. One disadvantage is that agglomeration of the particles can occur, thus leading to inhomogeneous materials with degraded electrical properties.

We introduced a novel chemical approach to improve electromechanical properties by attaching small molecules with high permanent dipoles to the elastomer matrix as illustrated in Fig. 2 [3-5]. A practical one-step film formation process was developed in which both the grafting of the dipoles and the formation of the polymer network occurred in the same step. Typical cross-linking is achieved by a hydrosilylation reaction where a vinyl-terminated PDMS chain binds to a hydrosilane unit of the crosslinker in a platinum-catalyzed reaction. Other organic groups can be attached to the hydrosilane units if they contain a vinyl functionalization, as was utilized here to graft molecular dipoles. Such material adaptation at the molecular level completely avoids problems of inhomogeneities and, due to the perfect mixing of the components, no interfacial effects between components are present. For these new dielectrics, soft stretchable electrodes were developed based on carbon nanotubes which exhibit good adhesion and conductivity. The new dipole grafted silicones lead to a 6-fold increase in actuation strain (s_z) by simultaneously increasing permittivity and decreasing Young's modulus compared to the non-grafted silicones (Fig. 3). This makes operating voltages far below 1 kV possible.

Kontakt Contact



Dr. habil. Hartmut Krüger

Telefon +49 331 568-1920
 Fax +49 331 568-3910
 hartmut.krueger@iap.fraunhofer.de

PD Dr. habil. Michael Wegener

Telefon +49 331 568-1209
 Fax +49 331 568-3915
 michael.wegener@iap.fraunhofer.de

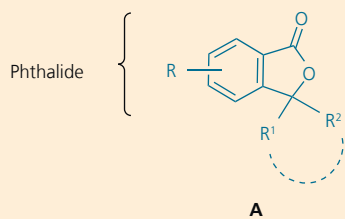
Förderung Funding

– Bundesministerium für Bildung und Forschung, FKZ: 03X4011D (Dielastar), 13N10685 (PowerAct) und 16SV5369K (InterSoft)

Kooperation Collaboration

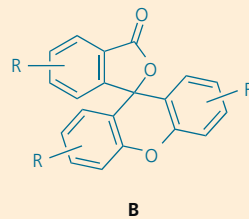
– Universität Potsdam (Prof. Dr. Gerhard)
 – Hochschule Ostwestfalen-Lippe (Prof. Dr. Maas)
 – Fraunhofer IZM, Berlin (Dr. Schröder)
 – Bayer MaterialScience AG, Leverkusen
 – Festo AG & Co. KG, Esslingen
 – ABB AG, Ladenburg

Phthalide-type leuco dyes



$R^1, R^2 =$ Aryl, Heteroaryl, Alkenyl
(bridged or non-bridged)

Fluorans



1 Phthalide-type leuco dyes.

2 Thermochromism of ternary mixtures based on leuco dyes.

3 Agricultural film.

1

Chromogene Kunststoffolien durch Extrusionstechnologie

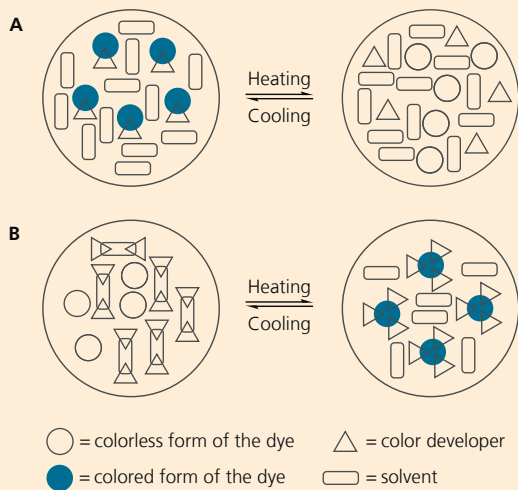
Chromogene Materialien ändern ihre optischen Eigenschaften unter dem Einfluss externer Parameter (z. B. Temperatur, Licht, Druck). Von besonderem Interesse sind Kunststoffolien, die in Abhängigkeit von der Temperatur reversibel ihre Farbe (Thermochromie) oder ihre Transparenz (Thermotropie) ändern. Als Träger von funktionalen aber auch dekorativen Eigenschaften können Kunststoffolien zahlreiche technische Herausforderungen flexibel und rationell bewältigen. Zur Herstellung von Kunststoffolien ist die Extrusion das wichtigste Verfahren.

Thermochrome Folien | Ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt sind thermochrome Folien auf Basis von Leukofarbstoffen. Derartige Farbstoffe sind per se nicht thermochrom, zeigen aber thermochromes Verhalten in Kombination mit zwei weiteren Komponenten: einem Farbentwickler und einem nicht-flüchtigen organischen Lösemittel. Die wichtigsten Farbstoffe für thermochrome Formulierungen gehören zur Stoffklasse der Phthalide (A), von denen die Fluoran-Verbindungen (B) besonders geeignet sind, da sie ein breites Spektrum unterschiedlicher Farben abdecken (Fig. 1). Thermochrome Formulierungen können hinsichtlich der Richtung ihrer Farbänderung klassifiziert werden (A: farbig → farblos, B: farblos → farbig bei Temperaturerhöhung, Fig. 2). In ternären Formulierungen vom Typ A wird die Schmelztemperatur hauptsächlich durch die Schmelztemperatur des nicht-flüchtigen Lösemittels bestimmt. Im festen Zustand können Farbstoff und Entwickler wechselwirken. Es entsteht ein farbiger Komplex. Oberhalb des Schmelzpunktes ist der Entwickler vollständig gelöst, so dass keine Farbkomplexbildung erfolgt. Das besondere Merkmal thermochromer Formulierungen vom Typ B ist eine stark anziehende Wechselwirkung zwischen Entwickler und Lösemittel, die insbesondere bei niedrigen Temperaturen zum Tragen kommt. Bei hohen Temperaturen überwiegt die Wechselwirkung zwischen Farbstoff und Entwickler, so dass ein farbiger Komplex resultiert. Beim Abkühlen wandert der Entwickler vom Farbstoff zum Lösemittel, und es entsteht ein farbloser Entwickler/Lösemittel-Komplex. Thermochrome Formulierungen werden über geeignete Polymerisationsverfahren zu Pigmenten verkapselt und können so via Extrusion zu thermochromen Folien (PE, PP, etc.) verarbeitet werden.

Thermotrope Folien | Zur Herstellung thermotroper Folien wurde ein Additiv mit temperaturabhängigem Brechungsindex entwickelt, das über Extrusionsverfahren in thermoplastische Formmassen (PE, EVA, etc.) eingebracht werden kann. Das Funktionsprinzip einer thermotropen Folie ist wie folgt: Bei niedrigen Temperaturen (z. B. 20 °C) stimmen die Brechungsindizes von Additiv und Formmasse überein. Die Folie ist transparent. Durch Temperaturerhöhung ändert sich der Brechungsindex des Additivs sprunghaft, wodurch Licht gestreut wird. Die Folie wechselt in einen trüben Zustand (z. B. 40 °C) und ein Großteil der Solarstrahlung wird reflektiert. Thermotrope Folien können beispielsweise als großflächige Agrarfolien verwendet werden, die solargesteuert ihre Durchlässigkeit für Licht und Strahlungsenergie den äußeren Bedingungen anpassen (Fig. 3).

Literatur Literature

[1] A. Seeboth, R. Ruhmann, O. Mühlhng: *Thermotropic and thermochromic polymer based materials for adaptive solar control*, Materials 3/12, p. 5143–5168 (2010)



2



3

Chromogenic plastic films using extrusion technology

Chromogenic materials change their optical properties in response to external parameters (e.g. temperature, light, pressure). Of particular interest are temperature sensitive plastic films which change their color (thermochromism) or transparency (thermotropism) as a result of temperature variation. As a carrier of functional or decorative features, plastic films can help to solve many technical issues. Extrusion technology is the most important process in the manufacturing of plastic films.

Thermochromic films | Thermochromic films based on leuco dyes are a major field of research. Such dyes themselves are not thermochromic, but they show thermochromic behavior in combination with two additional components: a color developer and a non-volatile organic solvent. The most common leuco dyes for thermochromic compositions belong to the class of phthalides (1). Particularly suitable dyes are fluoran compounds (2) due to their remarkable feature of offering a wide variety of colors (Fig. 1). Thermochromic compositions can be classified according to the direction of the color change when heated (A: colored → colorless, B: colorless → colored, Fig. 2). In ternary mixtures of type A the switching temperature is mainly controlled by the melting point of the non-volatile solvent. In the solid state, the leuco dye can interact with the developer to form a colored complex. Above the melting point, the developer is completely dissolved and no dye/developer complex formation occurs. The distinguishing feature of type B thermochromic compositions is a strong attractive interaction between developer and solvent, especially at low temperatures. At high temperatures the interaction between dye and developer is stronger leading to a colored complex. However, upon cooling the developer moves from the dye to the solvent to form a colorless developer/solvent complex. Thermochromic mixtures are encapsulated through appropriate polymerization methods. The resulting pigments can be processed into thermochromic films (PE, PP, etc.) through extrusion.

Thermotropic films | An additive with a temperature-dependent refractive index was developed to prepare thermotropic films. This additive can be incorporated into thermoplastic molding compounds through conventional extrusion methods. The functional principle of a thermotropic film is as follows: at low temperatures (e.g. 20 °C) the refractive indices of additive and molding compound are equal, resulting in an optically clear film. If the temperature is increased (e.g. to 40 °C) the refractive index of the additive changes significantly leading to scattering effects. As a result, the plastic film becomes light-diffusing and a large part of the solar radiation is reflected. Thermotropic films can be used, for example, as large-area agricultural films which use the sun to adjust their transmittance of light and solar radiation energy to external conditions (Fig. 3).

Kontakt Contact



Dr. Olaf Mühling

Telefon +49 30 6392-2034
Fax +49 30 6392-2065
olaf.muehling@iap.fraunhofer.de

Dr. Ralf Ruhmann

Telefon +49 30 6392-2034
Fax +49 30 6392-2065
ralf.ruhmann@iap.fraunhofer.de

Dr. Arno Seeboth

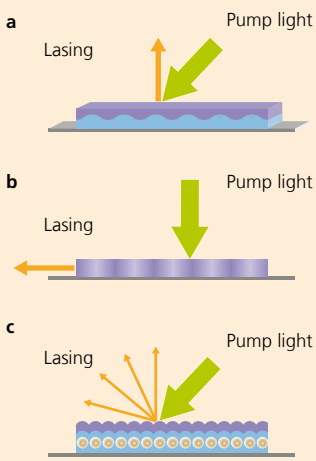
Telefon +49 30 6392-4258
Fax +49 30 6392-2065
arno.seeboth@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Projekt »PolyFaDa«, FKZ 0327855J
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Projekt »Adaptiver Sonnenschutz«, FKZ 03ET1118A

Kooperation Collaboration

- Technische Hochschule (FH) Wildau (Fachbereich Ingenieurwesen)
- Brandenburgische Technische Universität Cottbus (Lehrstuhl für Angewandte Physik/Thermophysik)



1

1 Types of polymer lasers being studied:

- a) DFB laser based on surface relief grating and active layers on top
- b) DFB laser based on doped volume Bragg grating
- c) Nanoplasmonic-assisted random laser.

2 DFB lasers based on pyrromethene 567 doped nanocomposite grating

- a) Image of lasing action
- b) Spectral tunability achieved by varying grating periods.

Polymerlaser für biosensorische Anwendungen

Organische distributed-feedback-Laser (DFB-Laser) weisen aufgrund niedriger Laserschwel­len, ihres einmodigen Betriebs und ihrer Durchstim­mbarkeit vielversprechende Eigenschaften auf. Polymere DFB-Laser können mit polymertypischen Technologien verarbeitet werden, eignen sich gut zur Miniaturisierung und lassen sich einfach in Systeme integrieren. Mittels Puls­laser oder sogar Leuchtdioden optisch gepumpt, stellen diese Laser kompakte und preiswerte kohärente Lichtquellen dar. Solche Laser beruhen auf der Bragg-Beugung durch Modulation von Brechzahl und/oder optischem Gain für die Einkopplung des Lichtes in den aktiven Wellenleiter. Die Periodizität des Resonators und die effektive Brechzahl des aktiven Wellenleiters bestimmen Beugungsordnung und Laserwellenlänge. Oberflächenreliefgitter bzw. brechzahlmodulierte Volumengitter können als Resonatorstrukturen eingesetzt werden. Unter Nutzung eigenentwickelter Photopolymere sowie organischer Gain-Medien (Laserfarbstoffe, konjugierte Polymere) wurden am Fraunhofer IAP verschiedene Typen von Polymerlasern entwickelt.

DFB-Laser auf Basis holographischer Oberflächenreliefgitter und laseraktiver Schichten |

DFB-Laser, bei denen eine dünne aktive Polymerschicht auf einem 1D- oder 2D-Oberflächenreliefgitter aufgebracht wurde (Fig. 1a) zeigen bei ns-Pulsanregung schmalbandige ($\approx 0,5$ nm) Laseremissionen mit niedrigen Schwellwerten im Bereich 460–650 nm [1,2]. Durch Änderung von Gitterkonstante, Dicke und Brechzahl der aktiven Schicht wurde eine Variation der Laserwellenlänge von ≈ 40 nm erzielt [1]. Eine kontinuierliche Durchstimbarkeit von 50 nm wurde bei elektrisch aktiverbaren Elastomerlasern realisiert [2].

DFB-Laser auf Basis dotierter holographischer Brechzahl- bzw. Polarisations-Volumengitter |

Verschiedene, mit Laserfarbstoffen dotierte photostrukturierbare Materialien wurden für die holographische Ein-Schritt-Herstellung von DFB-Lasern eingesetzt (Fig. 1b, Fig. 2a): Komposite mit Nanopartikeln (NPs) [3] bzw. Quantendots [4], Polymer-LC-Komposite [5], photosensitives PMMA und Azobenzopolymere. Durch die Variation von Material- und Gitterparametern wurde Lasing bis zu 8 Prozent Effizienz in verschiedenen Beugungsordnungen sowie eine Durchstimbarkeit der Laserwellenlänge von ≈ 55 nm durch Änderung der Gitterperiode (Fig. 2b) bzw. ≈ 13 nm bei elektrisch kontrollierter LC-Orientierung erreicht.

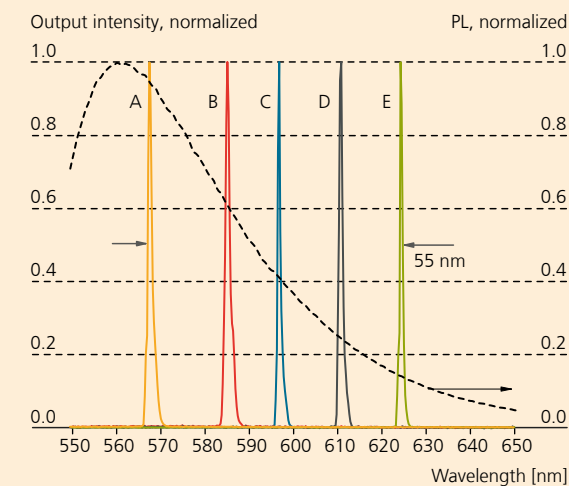
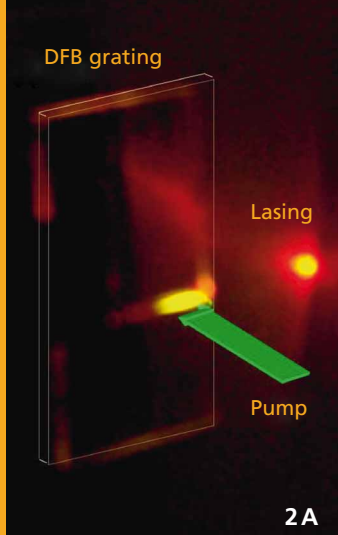
Random-Laser unter Nutzung lokaler Nanoplasmonresonanzen (LSPR) |

Ein Random-Laser basierend auf der Mehrfachstreuung in einem Gain-Polymer mit Au-NPs wurde entwickelt. Der LSPR-Effekt bewirkt eine Erhöhung der Laserintensität und die Herabsetzung des Laserschwel­lwertes (Fig. 1c) [6].

Am Fraunhofer IAP wurden mehrere Varianten organischer Dünnschichtlaser auf Basis unterschiedlicher Materialien und optischer Lösungswege entwickelt. Besonders erwähnenswert ist die exakte Anpassung der Laserwellenlänge an die analytischen Anforderungen und die Anwendung in Multi-Wellenlängen-Laser-Arrays für die laserinduzierte Fluoreszenz (LIF)-Bioanalytik mit biochipintegrierten Lichtquellen. Demonstriert wurde weiterhin das Konzept eines Lasersensors für die markerfreie Bioanalytik.

Literatur Literature

- [1] 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 7722, p. 52 (2010)
- [2] S. Döring, M. Kollosoche, T. Rabe, J. Stumpe, G. Kofod: *Electrically Tunable Polymer DFB Laser*, Adv. Mater. 23, p. 4265–4269 (2011)
- [3] O. Sakhno, T. N. Smirnova, J. Stumpe: *Distributed feedback dye laser holographically induced in improved organic-inorganic photocurable nanocomposites*, Appl. Phys. B 103, p. 907–916 (2011)
- [4] T. Smirnova, O. Sakhno, P. Yezhov, L. Kokhtych, L. Goldenberg, J. Stumpe: *Amplified spontaneous emission in polymer-CdSe/ZnS-nanocrystal DFB structures produced by holographic method*, Nanotechnology 20, p. 245707–24512 (2009)
- [5] S. S. Slussarenko, M. V. Vasnetsov, G. Abbate, J. Stumpe, O. V. Sakhno: *Poliphem DFB laser*, Liquid Crystal Micro lasers, Kerala (India), p. 107–112 (2010)
- [6] E. Heydari, J. Stumpe: *Nanoplasmonic enhancement of random laser performance by applying a spacer layer between gold nanoparticles and the gain medium*, submitted to Appl. Phys. Lett.



$m = 2$

Grating period:

A: 373 nm

B: 387 nm

D: 397 nm

C: 404 nm

E: 410 nm

2B

Polymer lasers for biosensor systems

Organic lasers based on distributed feedback structures are attracting significant attention due to their properties such as low threshold single-mode emission, broad wavelength tunability and compactness. Such all-polymer DFB lasers can be produced using standard polymer technologies which results in a substantial price reduction, miniaturization and easy system integration. They can be pumped by commercial solid state pulse lasers or even by LEDs allowing compact and cheap coherent sources. Such lasers use Bragg reflection by modulation of the refractive index and/or optical gain to couple the light mode within an active optical waveguide. The resonator period and effective refractive index of the active waveguide determine the diffraction order and laser wavelength. Surface relief and refractive index volume gratings can be used as resonator structures. Different types of polymer lasers have been created at Fraunhofer IAP using organic gain media (laser dyes, conjugated polymers) and photopolymers that have been developed in-house.

DFB lasers based on holographic surface relief gratings with active layers on top | Polymer DFB lasers consisting of active polymer layers deposited on the top of 1D or 2D surface relief gratings (Fig. 1a) exhibit a second order narrow-band (≈ 0.5 nm) low threshold out-of-plane laser emission in the spectral range of 460–650 nm upon optical ns pumping [1,2]. Lasing action can be produced in the VIS-NIR range depending on the resonator design and the type of gain material. Wavelength tunability of ≈ 40 nm was achieved by varying the grating period, thickness and refractive index of the active layer [1]. Continuous tuning in the range of 50 nm was carried out using electrically tunable elastomer DFB lasers [2].

DFB lasers combining optical feedback and gain in one layer of holographic refractive index or polarization volume gratings | A number of photostructurable materials doped with laser dyes were applied for this one-step holographic fabrication of DFB lasers (Fig. 1b, Fig. 2a). These include composites containing high refractive index nanoparticles [3] or quantum dots [4], polymer-LC composites [5], photosensitive PMMA and azobenzene polymers. Varying the materials and grating parameters enables lasing up to 8 percent efficiency in different diffraction orders. Tuning ranges of ≈ 55 nm and ≈ 13 nm were achieved by varying the grating period (Fig. 2b) or by electrically controlled LC orientation, respectively.

Nanoplasmonic-assisted random lasers | A nanoplasmonic-assisted random laser has been developed which is based on multiple random scattering in a gain polymer with Au-NPs (Fig. 1c). The LSPR of Au-NPs enhances the emission intensity [6].

A variety of organic thin-film laser configurations were developed at IAP using different materials and optical approaches. The precise adjustment of the laser wavelength to meet analytic demands and the development of multi-wavelength laser arrays that allow laser-induced fluorescence (LIF)-based bioanalytics with biochip-integrated light sources are two noteworthy developments. Moreover, a DFB laser biosensor for label-free biomolecule detection has been demonstrated.

Kontakt Contact



Dr. Oksana Sakhno

Telefon +49 331 568-1247

Fax +49 331 568-3259

oksana.sakhno@iap.fraunhofer.de

Priv.-Doz. Dr. habil. Joachim Stumpe

Telefon +49 331 568-1259

Fax +49 331 568-3259

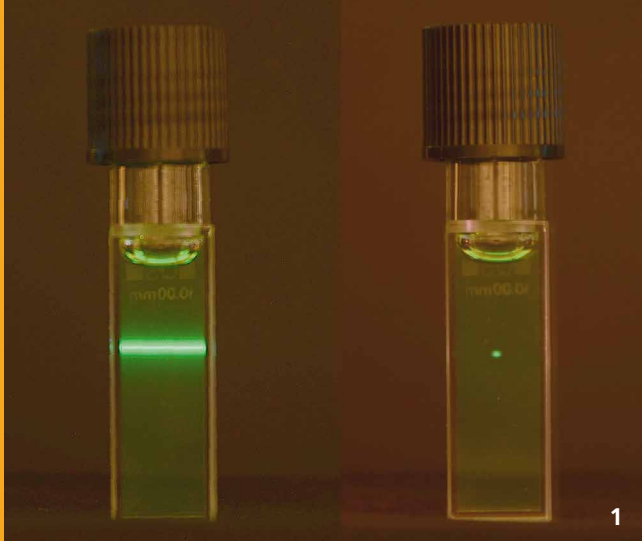
joachim.stumpe@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

- 7th Framework Programme
European Union, Grant no: 215884
- Internationales Büro des
Bundesministeriums für
Bildung und Forschung;
Wissenschaftlich-Technische
Zusammenarbeit mit der Ukraine,
FKZ: 01DK12030

Kooperation Collaboration

- Technische Hochschule (FH) Wildau
- National Academy of Sciences of
Ukraine NASU, Institute of Physics,
Kiev (Ukraine), (T. N. Smirnova)



1 1-photon (left) and 2-photon (right) excitation of a fluorescein solution.

2 NANOGNOSTICS – European research project for diagnosing Alzheimer's disease.

3 Microscope image of immobilized single quantum dots.

Mehrphotonenanregung von Quantenpunkten – Neue Möglichkeiten für die medizinische Diagnostik

Im EU-Forschungsprojekt »NANOGNOSTICS – Quantum Dot-Based Highly Sensitive Immunoassays for Multiplexed Diagnostics of Alzheimer's Disease« spielt die Gruppe NanoPolyPhotonik eine zentrale Rolle und hat die Projektkoordination inne [1]. Ziel des Projekts ist es, für die medizinische Alzheimer-Diagnostik extrem sensitive optische Nachweismethoden in einem spezifischen Immunoassay zu entwickeln. Hierbei ist es von enormem Interesse, sowohl die Frühdiagnostik als auch Therapie- und Krankheitsverlaufsüberwachung zu verbessern. Dazu soll in einem Immunoassay eine auf das Krankheitsbild Alzheimer hinweisende Kombination von verschiedenen Biomarkern simultan nachgewiesen werden (Multiplexing).

Für das Multiplexing wird der sogenannte Förster Resonanz Energietransfer (FRET) von Lanthanoidkomplexen auf Halbleiter-Nanokristalle (Quantenpunkte, engl. quantum dots) genutzt [2]. Dabei zeichnen sich diese Quantenpunkte aufgrund ihrer hervorragenden optischen Eigenschaften als hochsensitiver Lumineszenzsensor aus. Sie besitzen sehr schmale Lumineszenzemissionsbanden und eine sehr hohe Lumineszenzquantenausbeute, wodurch sie hochattraktiv für Multiplexing-Anwendungen in der medizinischen Diagnostik und konventionellen Farbstoffen überlegen sind [3]. Zusätzlich zum Multiplexingansatz wird im Zuge des NANOGNOSTICS-Projekts eine Weiterentwicklung dieser Methoden angestrebt, z. B. durch Kombination mit der Multiphotonenspektroskopie (MPS). Hierbei werden Quantenpunkte als FRET-Donoren und Farbstoffe als FRET-Akzeptoren verwendet. Die Vorteile der MPS sind vielfältig. Man benötigt durch die starke Fokussierung des Laserlichts in der Probe nur sehr kleine Volumina und somit wenig Probenmaterial. Durch das längerwellige Anregungslicht, typischerweise erfolgt die Anregung im NIR-Spektralbereich, werden viel größere Eindringtiefen in das Probenmaterial realisiert und zusätzlich die Autofluoreszenz des biologischen Materials direkt ausgeschaltet, so dass die Signale der Lumineszenzsonden nahezu hintergrundfrei detektiert werden.

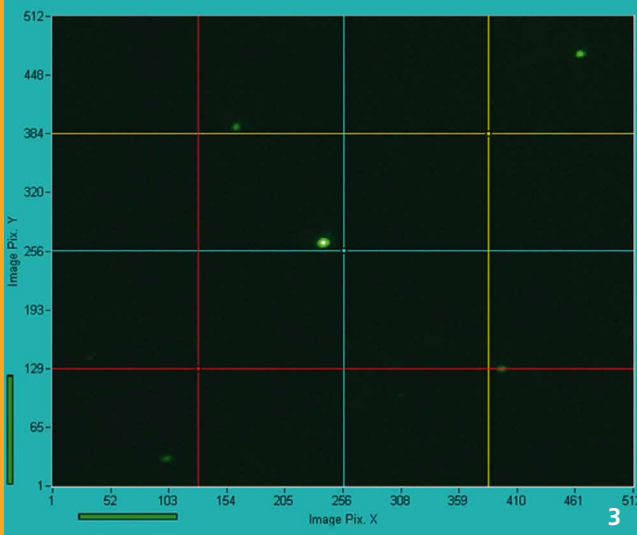
Auch hier stechen Quantenpunkte als Lumineszenzsonden hervor, besitzen sie doch um ein Vielfaches höhere Zwei-Photonen-Querschnitte als kommerzielle organische Farbstoffe. Dies macht Quantenpunkte zu prädestinierten Kandidaten für die MPS. Durch die Kombination von MPS mit hochauflösender Mikroskopie können einzelne Bindungsphänomene via Energietransfer orts aufgelöst dargestellt werden. Dabei wird die Energie nach optischer Anregung der Quantenpunkte auf die Farbstoffe übertragen und zeitaufgelöst detektiert. Eine Herausforderung stellten bis zum jetzigen Zeitpunkt Lumineszenzmessungen in Vollblut dar. Durch die hervorragenden Eigenschaften der Quantenpunkte, den effektiven Energieübertrag von Quantenpunkt auf Farbstoff und die zeitaufgelöste Detektion (two photon-fluorescence lifetime imaging, 2P-FLIM) können sogar in Vollblut Analyten detektiert werden. Durch diese neue Generation von Lumineszenzsonden und Detektionsmethoden werden etablierte Anwendungsfelder in der Biologie und in der medizinischen Diagnostik revolutioniert.

Literatur Literature

[1] www.nanognostics.eu

[2] D. Geißler, L. J. Charbonnière, R.F. Ziesel, N.G. Butlin, H.-G. Löhmansröben, N. Hildebrandt: *Quantum Dot Biosensors for Ultra-Sensitive Multiplexed Diagnostics*, *Angewandte Chemie – International Edition* 49, p. 1396–1401 (2010)

[3] D. Geißler, S. Stufler, H.-G. Löhmansröben, N. Hildebrandt: *Six-Color Time-Resolved Förster Resonance Energy Transfer for Ultrasensitive Multiplexed Biosensing*, *Journal of the American Chemical Society* 135, p. 1102–1109 (2013)



Multiphoton excitation of quantum dots – beyond traditional medical diagnostics

The NanoPolyphotonics Group plays a central role within the EU research project “Nanog-nostics – Quantum Dot Based Highly Sensitive Immunoassays for Multiplexed Diagnostics of Alzheimer’s Disease” [1]. The aim of this project is to develop extremely sensitive optical detection methods for immunoassays which can be used in diagnosing Alzheimer’s disease. The early diagnosis of Alzheimer’s disease, as well as the possibility of monitoring the course of the disease and its therapy, is highly desirable. To render this possible, a combination of different biomarkers, which are an indicator of Alzheimer’s disease, has to be simultaneously detected in an immunoassay (multiplexing).

This multiplexing approach utilizes Förster Resonance Energy Transfer (FRET) from lanthanide complexes to semiconductor nanoparticles (quantum dots) [2]. Quantum dots, with their narrow luminescence emission bands and high quantum yields, fit the requirements for this technique perfectly and are much more attractive than conventional organic dyes for multiplex applications in medical diagnostics [3]. In addition to the multiplexing approach, FRET technology is also used in combination with other techniques, for example multiphoton spectroscopy (MPS). Here, quantum dots are used as FRET donors and organic dyes as FRET acceptors. MPS offers versatile advantages: Due to the highly focused excitation light only small sample volumes are needed. The long-wave excitation light, typically in the NIR region, allows for high penetration depths in the sample material and an efficient suppression of the auto fluorescence of the biological material. Thus, the signals of the luminescence probes can be detected almost without any background.

Quantum dots also shine when used as FRET donors in MPS. They provide two photon absorption cross-sections which are many times higher than those of commercial organic dyes. Combining MPS with high resolution microscopes allows for the spatially resolved visualization of single bond phenomena. After optical excitation of the quantum dots, the energy is transferred to the organic dyes followed by the time-resolved detection of the luminescence of the organic dyes. Up to now the detection of luminescence probes in whole blood posed a special challenge. It is now possible to detect analytes in whole blood thanks to the outstanding properties of the quantum dots, the effective FRET method and time-resolved detection (two photon-fluorescence lifetime imaging, 2P-FLIM). This new generation of luminescence probes and detection methods is set to revolutionize conventional applications in the fields of biology and medical diagnostics.

Kontakt Contact



Dipl.-Chem. Diana Hill

Telefon +49 331 568-3337

Fax +49 331 568-3000

diana.hill@iap.fraunhofer.de

Dr. André Geßner

Telefon +49 331 568-3331

Fax +49 331 568-3000

andre.gessner@iap.fraunhofer.de

Prof. Dr. Hans-Gerd Löhmannsröben

Telefon +49 331 977-5222

Fax +49 331 977-5058

hans-gerd.loehmannsroebe@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– 7th Framework Programme (FP7)
of the European Commission:
Collaborative project NANOGNOS-
TICS (HEALTH-F5-2009-242264)

Kooperation Collaboration

– Philipps Universität Marburg
– Charité Universitätsmedizin Berlin
– Universität Potsdam
– CNRS Strasbourg
– University of Turku
– Hebrew University of Jerusalem
– Edinburgh Instruments
– Université Paris Sud 11
– Institute of Physical Chemistry Polish
Academy of Sciences, Warsaw
– AptaRes AG
– Brandenburgische Kabelwerke
– LightStat Dx
– Cezanne – ThermoFisher scientific

SYNTHESE- UND POLYMERTECHNIK

SYNTHESIS AND POLYMER TECHNOLOGY

- 64** **Nachhaltigkeit bei Polymersynthese und Polymertechnik**
Sustainable Polymer Synthesis and Polymer Technology
- 68** **Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 70** **Neue reaktive Tenside auf Triazinbasis zur Herstellung von Melaminharzkapseln im Submikrobereich**
New reactive surfactants for the preparation of triazine-based melamine resin capsules in submicron range
- 72** **Wässrige PLA-Dispersionen für Beschichtungsanwendungen**
Aqueous PLA dispersions for coatings
- 74** **Polylactid-Recycling – Ein weiterer Weg zur Ressourcenschonung**
Polylactide recycling – another way to conserve resources

Dr. Detlev Fritsch – Im Bereich der Membrantechnologie werden spezielle Membranpolymere synthetisiert sowie poröse und homogene Membranen zur Gas- und Flüssigtrennung entwickelt. |

Dr. Detlev Fritsch – In the field of membrane technology special membrane polymers are synthesized and homogeneous and porous membranes for gas and liquid separation are developed.



pioneers in polymers



NACHHALTIGKEIT BEI POLYMERSYNTHESE UND POLYMERTECHNIK

Der weiterhin dynamisch wachsende Verbrauch an Kunststoffen rückt das Erfordernis einer nachhaltigen Kunststoffproduktion immer mehr in den Vordergrund. Mit Blick auf den erreichten »Peak-oil« bei der Erdölförderung und die zwingende Notwendigkeit der Erfüllung der Klimaschutzziele, wird die Orientierung auf erneuerbare Ressourcen als alternative Syntheserohstoffe zum Erdöl zukünftig genauso eine wachsende Bedeutung erfahren, wie die Effizienzsteigerung bei der Kunststoffproduktion. Dieses Gleichmaß an stofforientierter und technologiegetriebener Entwicklung ist Grundlage der Forschungsaktivitäten im Forschungsbereich »Synthese und Polymertechnik«. Im Fokus stehen die Entwicklung von biobasierten Kunststoffen, die ressourcenschonende Syntheseneuartiger erdölbasierter Polymersysteme sowie umweltfreundlichere, effiziente Syntheseprozesse und neuartige Technologien im Bereich Polymerpartikelbildung. Zudem wurde das Forschungsportfolio erweitert: Die Arbeitsgruppe »Membrantechnologie« hat ihre Arbeiten zur Entwicklung von Polymermaterialien für Gastrennprozesse und Nanofiltration aufgenommen. Sowohl die spezifische technische Ausstattung als auch das geplante Personalkonzept wurden realisiert. Planmäßig sind auch die Vorbereitungen für den Aufbau der Projektgruppe Biopolymerverarbeitung Schwarzheide, die am BASF-Standort Schwarzheide entwickelt wird, vorangeschritten. Neben der Begleitung der Planungsvorbereitung durch die BASF für die Rekonstruktion des anzumietenden Gebäudes, hat das Fraunhofer IAP das Investitionsprojekt über Fördermittel durch das Land Brandenburg zur Realisierung der apparativen Ausstattung erfolgreich abgeschlossen. Der Start der Projektgruppe ist für das zweite Quartal 2013 vorgesehen.

Biobasierte Polymersysteme

Seit der Jahrtausendwende ist das Interesse an biobasierten Kunststoffen signifikant gestiegen. Deutlich wird dies insbesondere anhand der intensiven Grundlagenforschung auf diesem Gebiet und den zunehmenden Erfolgen bei der Etablierung neuer Produkte am Markt. Mit Blick auf den Klimaschutz und die stärkere Orientierung auf eine biobasierte Wirtschaft ist das eine notwendige und logische Entwicklung. Biobasierte Kunststoffe bieten ein großes, wenn auch bisher nur marginal genutztes Potenzial, CO₂-Emissionen zu reduzieren

und durch die Orientierung auf eine nachhaltigere Nutzung von Rohstoffen fossile Ressourcen zu sparen. Ein inzwischen etablierter biobasierter Kunststoff mit erheblichem Applikationspotenzial im Bereich der Verpackungsindustrie ist Polylactid (PLA). Mit einer Jahresproduktion von etwa 150 kT beherrscht NatureWorks (USA) nach wie vor allein den PLA-Markt – insbesondere für die Herstellung von Verpackungsfolien. Allerdings sind mit der Fertigstellung einer Produktionsanlage für den Polymerisationsrohstoff Dilactid durch PURAC in Rayong (Thailand) im Frühjahr nunmehr sehr gute Bedingungen gegeben, um einen neuen Entwicklungsschub bei der weiteren Kommerzialisierung von PLA zu initiieren. Von besonderer Bedeutung ist hierbei auch, dass neben L-Lactid nunmehr auch D-Lactid hergestellt werden kann. Dadurch werden entscheidende Voraussetzungen geschaffen, um die Materialeigenschaften von PLA deutlich zu verbessern und zudem variabler gestalten zu können.

Unsere FuE-Ziele auf diesem Gebiet liegen absolut konform zu diesen gegenwärtigen Entwicklungen und fokussieren schwerpunktmäßig auf Fragestellungen, die auf attraktive Applikationsrichtungen von PLA-Typen der zweiten Generation mit verbesserten Gebrauchseigenschaften ausgerichtet sind. Im Mittelpunkt stehen dabei Untersuchungen zur Steuerung der Polymerstruktur, beispielsweise über die Synthese maßgeschneiderter sc- und sb-PLA-Typen oder Hybridsystemen mit synthetischen Polymeren. Neben Arbeiten zur Synthese thermoplastischer Blockcopolymere aus PLA- und synthetischen Blöcken sind nunmehr auch Lösungen für die Darstellung von wässrigen PLA-Hybriddispersionen mit PLA-Anteilen von über 50 Prozent gefunden worden. Die im abgelaufenen Jahr erfolgte Inbetriebnahme aller Teilprozessstufen unserer Mini-plant-PLA-Syntheseanlage, die mit Hilfe einer Investitionsfördermaßnahme durch das Land Brandenburg errichtet werden konnte, eröffnet uns dabei die Möglichkeit, Materialmengen bis in einen Maßstab von zweistelligen Kilogramm-Mengen pro Tag herzustellen. Mit einer Schmelzekristallisationseinheit und einer Dünnschichtverdampferanlage sind hier innovative Technologien in den Prozess implementiert worden, die die Voraussetzung für das Erreichen der angestrebten neuartigen Materialeigenschaften darstellt.



Partikelanwendungen

Die im Forschungsbereich verfügbaren Kompetenzen im Bereich der Partikeltechnologie – Mikroverkapselung von Wirkstoffen und Additiven sowie Synthese und Design funktionaler Latexpartikel – konnten auch im Jahr 2012 erweitert und vielfältig genutzt werden. Dabei zeigte sich einmal mehr das nach wie vor breite Applikationspotenzial von Kapseln und Partikeln vom Mikro- bis in den Nanometer-Bereich. In den Bereichen Mikroverkapselung von Geruchs- und Geschmacksstoffen für Anwendungen im Life Science Bereich und Entwicklung eines neuen Klebstoffsystems für Papieranwendungen wurden laufende Projekte ebenso fortgesetzt wie die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur aktuellen Thematik »Selbsteheilung von Oberflächen bzw. Oberflächen mit reduziertem Reibungskoeffizienten«. Weitere Projekte beinhalteten u. a. die Mikroverkapselung von Farbstoffen und Pigmenten für den Einsatz in Anstrichstoffen sowie die Mikroverkapselung von Futtermitteladditiven.

Im gemeinsamen Forschungsprojekt mit dem Fraunhofer ISC und den Max-Planck-Instituten MPI-E und MPI-P zur Entwicklung eines »intelligenten« Korrosionsschutzsystems als nachhaltiges Chrom-(VI)-Ersatzkonzept konnten mit dem Proof-of-Principle und einer Patentanmeldung wichtige Meilensteine erreicht werden. Durch Kombination spezifischer Verzinkungen, hybrider Nanokompositwerkstoffe und neuer Wirkstoffcontainer ist es gelungen, aktive Schichtverbunde herzustellen, die Defekte ortsselektiv ausheilen. Die bisher durch mechanische Beschädigung initiierte Freisetzung der Heilungskomponenten soll bis zum Abschluss des Projektes im Jahr 2013 durch alternative und ggf. wirkungsvollere Freisetzungsmechanismen wie pH-Änderung ergänzt werden. Schwerpunkte der Arbeiten am Fraunhofer IAP lagen im Bereich der Verkapselung der Heilungskomponenten mit Aminoharzen. Die aus dem klassischen Verfahren resultierenden Mikrokapseln liegen im Größenbereich von 2–20 µm und sind für die Anwendung in Schichtsystemen aufgrund ihrer Größe nicht geeignet. Zielstellung war deshalb die Synthese von aminoharz-basierten Mikrokapseln im Submikrobereich. Da die Verwendung klassischer Tenside in diesem emulsionsbasierten reaktiven Verkapselungsverfahren ungeeignet ist,

wurden im Verlauf des Projektes neuartige melaminbasierte Tenside entwickelt. Bei Einsatz dieser Tenside ist es gelungen, Mikrokapseln im Submikrobereich herzustellen (siehe Kurzbeitrag S. 70).

Membrantechnologie

Membranen und Membrantrennverfahren werden seit Jahrzehnten in stetig wachsendem Umfang in der Industrie, einschließlich der Umweltindustrie, nachgefragt und eingesetzt. Neu entwickelte, in Fluss und Selektivität verbesserte Membranen tragen zur Prozessintensivierung und Kostensenkung bei etablierten Membranverfahren bei. Membranen mit verbesserter chemischer Beständigkeit oder Stabilität gegenüber organischen Lösungsmitteln können darüber hinaus neue Anwendungsfelder erschließen. Die positiven Marktentwicklungen des vergangenen Jahrzehnts, vor allem aber die erkennbaren FuE-Potenziale im Bereich Membrantechnologie waren Ausgangspunkt für die Etablierung von Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet. Im Jahr 2012 wurden erhebliche Investitionsmittel aufgewendet, um die Basis für die Herstellung von Polymermembranen zur Trennung von Gasen und Flüssigkeiten aufzubauen. Auf einer kontinuierlich arbeitenden Membranziehmaschine mit einer Breite von 30 cm können poröse oder integral asymmetrische Membranen nach dem Fällbadverfahren hergestellt werden. Diese Membranen können schon zur Stofftrennung eingesetzt werden oder werden durch Aufbringen einer dünnen Schicht eines weiteren Polymers auf die Trennaufgabe angepasst. Diese so bezeichneten Dünnschicht-Kompositmembranen benötigen für die Trennschicht weniger als 1 g Polymer pro m² Fläche, womit die Kosten des Polymers für die Trennschicht vernachlässigbar werden. Die benötigte Analytik bzw. Qualitätskontrolle poröser Membranen wird durch die üblichen Methoden wie Messung der Porosität und Porengröße mittels Porometer, Messung von Gasfluss, bzw. Fluss von Flüssigkeiten erreicht. Rückhalte-messungen von Stoffen unterschiedlicher Molmassen ergeben mit dem Cut-off-Wert eine weitere wichtige Membrangröße. Die Gastrenneigenschaften Permeanz, Diffusions- und Löslichkeitsparameter nichtporöser Membranen werden durch eine Membrantestanlage mit Reingasen gemessen

SUSTAINABLE POLYMER SYNTHESIS AND POLYMER TECHNOLOGY

The ongoing dynamic rise in plastic consumption highlights the need for sustainable plastic production. Having reached “peak-oil” in oil production and with the urgent necessity to meet climate protection goals, replacing petroleum with alternative synthetic raw materials made from renewable resources will be as important in the future as increasing the manufacturing efficiency of plastics. This balance between material-oriented and technology-driven development is the basis of the research activities in our Synthesis and Polymer Technology Department. Focus is placed on developing biobased plastics, devising resource-conserving synthesis methods for novel petroleum-based polymer systems, establishing more environmentally friendly and efficient synthesis processes and creating innovative technology in the area of polymer particle formation. In addition to this, our research portfolio has expanded: the working group “Membrane Technology” has started developing polymer materials for gas separation processes and nanofiltration. The special technical equipment has already been acquired and the personnel concept has been implemented. Preparations are on schedule for setting up the Project Group Biopolymer Processing Schwarzheide which is being developed at the BASF Schwarzheide. In addition to the support BASF is providing through the renovation of our rental building during the project preparation phase, technical equipment has been successfully acquired through funding from the State of Brandenburg. The project group is set to kick off in the second quarter of 2013.

Biobased polymer systems

Since the turn of the millennium interest in biobased plastics has risen significantly. This is particularly apparent in the intensive basic research being carried out in this field and the headway being made in establishing new products on the market. This is a necessary and logical development in light of climate protection goals and a stronger focus on a biobased economy. Though their potential has only marginally been taken advantage of so far, biobased plastics offer a major potential of reducing CO₂ emissions and saving fossil resources by concentrating on a more sustainable use of raw materials. One biobased plastic which has established itself is polylactide (PLA). PLA has major application potential in the packaging industry. With an annual production of around 150 kT, NatureWorks (USA) continues to dominate the PLA market, especially in the production of packaging films. However, with the completion in spring of PURAC’s new facilities in Rayong, Thailand for producing dilactide, a polymerization feedstock, conditions have been laid that will drive forward the commercialization of PLA. Of particular interest here is the fact that D-lactide can now be produced in addition to L-lactide. This establishes vital prerequisites for improving the material properties of PLA considerably and allows more design flexibility.

Our R&D goals in this area are perfectly in tune with these current developments and focus on attractive applications for second generation PLA with improved performance characteristics. Emphasis is on controlling the polymer structure, for example, by synthesizing customized sc and sb PLA types or hybrid systems with synthetic polymers. In addition to work being done on synthesizing thermoplastic block copolymers made of PLA and synthetic blocks, solutions have also been found for the production of aqueous PLA hybrid dispersions with over 50 percent PLA. The past year saw the start-up of all sub-process steps of our PLA synthesis miniplant which was established with the aid of an investment grant from the State of Brandenburg. This has opened up the possibilities of producing material quantities on a two-figure kilogram scale every day. State-of-the-art technologies such as a melt-crystallization unit and a thin-film evaporator were incorporated into the process which will enable us to achieve the innovative material properties.

Particle applications

Our expertise in particle technology – microencapsulation of active ingredients and additives and the synthesis and design of functional latex particles – was also expanded upon and used in diverse ways in 2012. This once again demonstrated the wide range of applications for capsules and particles in the micro to nanometer range. We continued work on our current projects in the areas of microencapsulation of odor and flavoring agents for life science applications and the development of a new adhesion system for paper applications. R&D work also continued on the current topic “Self-healing surfaces and surfaces with reduced friction coefficients”. Further projects dealt with, for example, the microencapsulation of dyes and pigments for coating materials and the micro-encapsulation of feed additives.

We passed important milestones in the form of a proof-of-principle and a patent application in a joint research project with Fraunhofer ISC and the Max Planck Institutes MPI-E and MPI-P to develop an “intelligent” corrosion protection system as a sustainable chromium-(IV)-replacement concept. By combining specific zinc coatings, hybrid nanocomposite materials and a new active ingredient container, we were able to produce active multilayer composites that selectively heal defects. The conventional method of initiating the release of the healing components through mechanical damage is to be supplemented by alternative and more effective release mechanisms, like pH change, by the end of the project in 2013. Work at Fraunhofer IAP focuses on the area of encapsulation of healing components with amino resins. The microcapsules produced with conventional methods measure 2–20 µm and are not suitable for use in layer systems due their size. Therefore the aim was to synthesize amino resin-based microcapsules in the submicro range. Since conventional tensides are not suitable in this emulsion-based reactive encapsulation method, novel melamine-based tensides were developed in the course of the project. Using these tensides made it possible to produce microcapsules in the submicro range (see p. 71).

Membrane technology

For decades the demand and utilization of membranes and membrane separation processes has steadily risen in industry and in the environmental sector. Newly developed membranes with improved flow and selectivity contribute to intensifying processes and reducing costs in established membrane processes. Membranes with improved chemical resistance and stability compared to organic solutions can open up new areas of application. The positive market developments in the past decade, above all the perceptible R&D potential in the area of membrane technology, were the reason for establishing research activities in this area. In 2012 a considerable amount of funding was released in order to set up the basis for producing polymer membranes for separating gases and fluids. Using the precipitation bath method, porous or integral asymmetric membranes can be produced on a 30 cm wide, continuously running membrane casting machine. These membranes can be used in material separation or can be customized for a specific separation task by applying a thin layer of an additional polymer. These so-called thin-film composite membranes require less than 1 g of polymer per square meter for the separation layer and the cost of the polymer for the separation layer is negligible. The analysis and quality control of porous membranes is achieved using conventional methods such a measuring porosity and pore size, measuring gas flow, i. e. flow of liquids. Reserve measurements of materials with different molecular masses result, with their cut-off value, in a further significant membrane size. The gas separation properties permeance, diffusion and solubility of non-porous membranes are measured in a membrane testing plant with clean gases.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Synthese von Polymeren

Produktentwicklung

- Aminoharze
- 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

- Molmassenverteilungen (GPC mit MALLS und Viskositätsdetektor)
 - Thermische Eigenschaften (TGA/DSC)
 - Rheologische Eigenschaften von Schmelzen, Dispersionen und Lösungen
-

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)

Charakterisierung

- Abbau- und Freisetzungstudien 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 von Dünnschicht-Kompositmembranen
- Herstellung von Flachmembranen

APPLICATIONS AND SERVICES

Polymer synthesis

Product development

- amino resins
- C-chain polymers
- synthetic and bio-based polyesters, polyamides, polyurethanes

Process development

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

Characterization

- molecular weight distribution (SEC with MALLS and viscosity detection)
- thermal properties (TGA/DSC)
- rheological properties of polymer melts, dispersions and solutions

Microencapsulation and Particle applications

Particle synthesis

- inclusion polymerization of pigments, fluorescence markers and active substances
- morphology controlled heterophase polymerization
- surface modification of synthetic polymer colloids (ligand coupling, equipment as biomolecular carriers)
- 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)

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

Materials synthesis

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

Membrane development

- flat sheet membrane preparation
- preparation of thin film composite membranes

Kontakt Contact

Forschungsbereichsleiter
Synthese- und Polymertechnik
Division director
Synthesis and Polymer Technology



Dr. Mathias Hahn

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

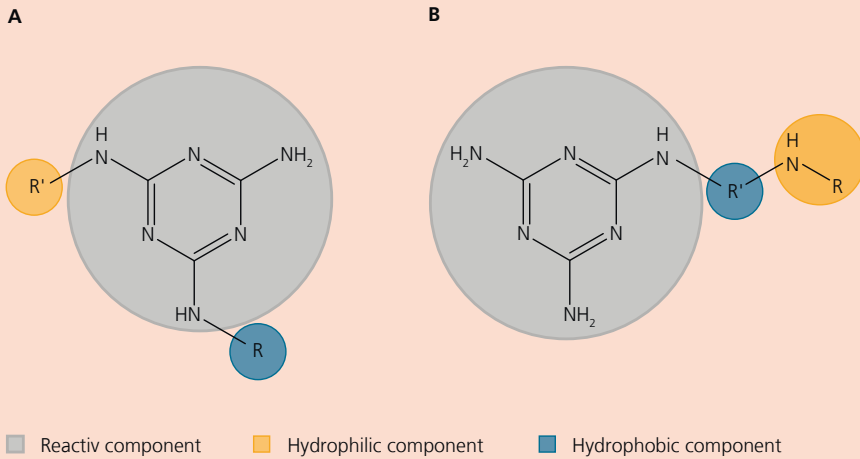
Dr. Detlev Fritsch

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

Biopolymerverarbeitung Schwarzheide
Biopolymer Processing Schwarzheide

Dr. Mathias Hahn

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



1

1 Surfactant types.

2 Particle size distribution (5-ethylidene-2-norbornene encapsulated with melamine resin in the presence of a triazine-based surfactant) 93 percent of the microcapsule < 1 μm .

3 Light microscope image, 500 \times magnification, capsule size 0.4 μm –2 μm .

Neue reaktive Tenside auf Triazinbasis zur Herstellung von Melaminharzkapseln im Submikrobereich

Mikrokapseln auf Basis von Melaminharzen kommen bereits seit Langem in den verschiedensten Anwendungen zum Einsatz. Der klassische Größenbereich dieser Mikrokapseln liegt bei 2–20 μm . Allerdings werden gerade in jüngerer Zeit für einige Anwendungen (z. B. Beschichtungssysteme) zunehmend Mikrokapseln im Submikrobereich nachgefragt. Die Verwendung klassischer Tenside in emulsionsbasierten reaktiven Verkapselungsverfahren hat sich für die Zielstellung als ungeeignet erwiesen. Mit neuartigen melaminbasierten Tensiden, die in die resultierende Kapselwand eingebaut werden, sind dagegen Mikrokapseln im Submikrobereich darstellbar.

Tensidsynthese (Fig. 1) | Als Grundgerüst für die Entwicklung triazinbasierter Tenside bietet sich Cyanursäurechlorid an. Wegen der deutlich abgestuften Reaktivität der einzelnen Chloratome des Cyanursäurechlorids ist eine selektive Funktionalisierung möglich. So reagiert das erste Chloratom mit Aminen schon bei -5 – 0 $^{\circ}\text{C}$, die Umsetzung der zweiten Chlorfunktion erfolgt bei 40 – 60 $^{\circ}\text{C}$, der Austausch der dritten findet zwischen 140 – 160 $^{\circ}\text{C}$ statt.

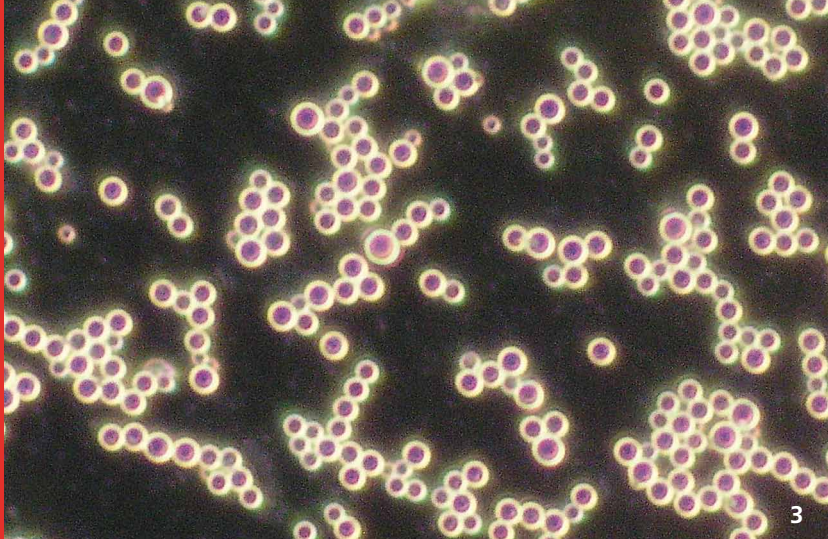
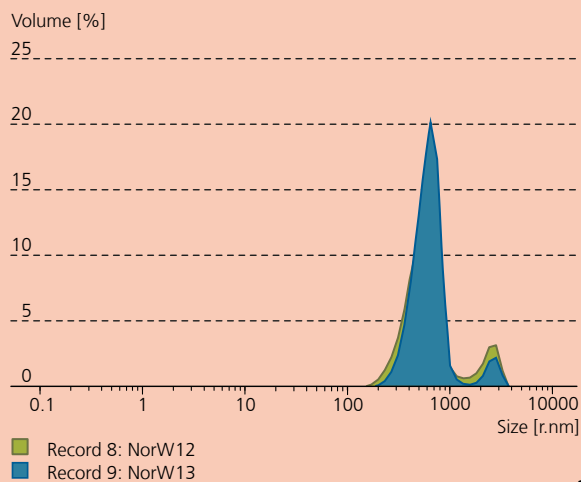
Auf dieser Grundlage wurden Syntheseansätze verfolgt:

- 1) Reaktivkomponente zwischen der hydrophilen und der hydrophoben Einheit (A)
- 2) Reaktivkomponente nach hydrophiler und hydrophober Einheit (B)

Die neuartigen Tenside wurden durch die Grenzflächenspannung in wässriger Lösung charakterisiert. Beide Tensidtypen (A und B) zeigen Grenzflächenspannungen in Wasser von 30 mN/m, die Tröpfchengröße von Öl/Wasser-Modellemulsionen unter Verwendung der Tenside lagen im Submikrobereich.

Verkapselung von 5-Ethyliden-2-norbornen | Die synthetisierten Tenside wurden bei der Mikroverkapselung von 5-Ethyliden-2-norbornen mit Melaminharz eingesetzt. Bei Verwendung von Tensiden basierend auf Syntheseweg A wurden Kapselgrößen zwischen 1–5 μm erhalten. Wenn zur Verkapselung auf Tenside vom Typ B zurückgegriffen wurde, entsprach die resultierende Kapselgröße der Tröpfchengröße in der Emulsion vor der Bildung der Kapselwand (Fig. 2). Zur Unterdrückung der Beweglichkeit der Tröpfchen und damit deren Koaleszenz wurde zunächst bei hohen Viskositäten im Knetter verkapselt. Da durch die hohe Viskosität die Beweglichkeit des Harzes in der wässrigen Phase eingeschränkt wird, wurde mit einem organophilen Harz aus der hydrophoben Phase verkapselt (Fig. 3). Der Katalysator wurde der wässrigen Phase zugesetzt. Durch Variation der Harzmenge konnte die thermische Stabilität eingestellt werden. Die Dichtigkeit der Kapseln wurde nach Verdünnung des viskosen Reaktionsansatzes durch eine Nachvernetzung mit einem hydrophilen Harz erreicht.

Die neu entwickelten Tenside eignen sich nach Anpassung der Reaktionsbedingungen auch für die Mikroverkapselung basierend auf dem klassischen Verfahren in wässriger Phase mit geringer Viskosität. Hierbei kann aufgrund der emulgierenden Wirkung der triazinbasierten Tenside auf hohe Scherung zur Einstellung der Tröpfchengröße der zu verkapselnden Substanz verzichtet werden.



2

3

New reactive surfactants for the preparation of triazine-based melamine resin capsules in submicron range

Melamine resin-based microcapsules have been used for a long time in various applications. The traditional size range of these microcapsules is between 2–20 µm. Recently however, microcapsules in the submicro range have increasingly been needed for certain applications (e. g. coating systems). Using conventional surfactants in emulsion-based reactive encapsulation processes has proved to be unsuitable for these requirements. However, using innovative, melamine-based surfactants embedded in the resulting capsule wall means that microcapsules in the submicro range are possible.

Surfactant synthesis (Fig. 1) | Cyanuric acid chloride provides a basic structure for the development of triazine-based surfactants. Because of the clearly graduated reactivity of the individual chloride atoms of the cyanuric acid chloride, selective functionalization is possible. Thus the first chloride atom reacts with amines at temperatures as low as –5–0 °C; the conversion of the second chloride function takes place at 40–60 °C and the exchange of the third at 140–160 °C.

Based on this, the following synthesis approaches were pursued:

- 1) Reactive components between the hydrophilic and the hydrophobic unit (A)
- 2) Reactive components after hydrophilic and hydrophobic unit (B)

The innovative surfactants were characterized by their interfacial tension in an aqueous solution. Both surfactant types (A and B) displayed interfacial tensions of 30 mN/m in water, the droplets of the oil/water model emulsions were in the submicro range when the surfactants were used.

Encapsulation of 5-ethylidene-2-norbornene | The synthesized surfactants were used in the micro-encapsulation of 5-ethylidene-2-norbornene using melamine resin. When surfactants based on synthesis approach A were used, capsule sizes of between 1–5 µm were achieved. When type B surfactants were used in the encapsulation, the resulting capsule size corresponded to the droplet in the emulsion before formation of the capsule wall (Fig. 2). In order to suppress the motility of the droplets and, thereby, their coalescence, encapsulation occurred under high viscosity in the kneader. Because the motility of the resin is limited in the aqueous phase by the high viscosity, encapsulation was carried out with an organophilic resin from the hydrophobic phase (Fig. 3). The catalyst was added to the aqueous phase and thermal stability was adjusted by varying the amount of resin. The capsules were made impermeable by subsequent cross-linking with a hydrophilic resin after dilution of the viscose reaction mixture.

After adjusting the reaction conditions, the newly developed surfactants are also suitable for microencapsulation using the conventional method in the aqueous phase with low viscosity. Due to the emulsifying effects of the triazine-based surfactants, no strong shearing is needed to adjust the droplet size of the substance being encapsulated.

Kontakt Contact



Dr. Frank Börner

Telefon +49 331 568-1221

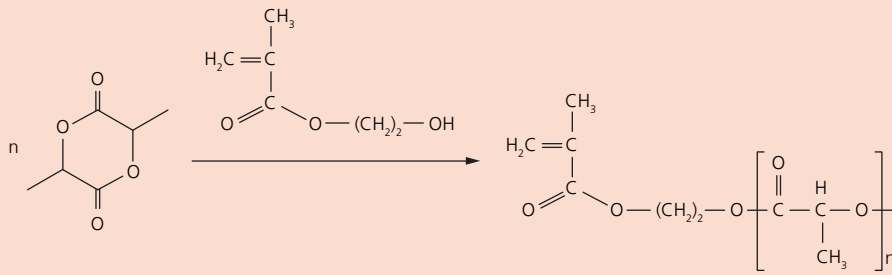
Fax +49 331 568-3000

frank.boerner@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

– Projekt ASKORR

(Kooperationsprogramm zwischen Fraunhofer-Gesellschaft und Max-Planck-Gesellschaft)



1

1 Synthesis of PLA macromonomers.

2 Particle size distribution of PLA dispersion.

3 Droplet of the PLA dispersion

a) as synthesized and

b) after drying at room temperature.

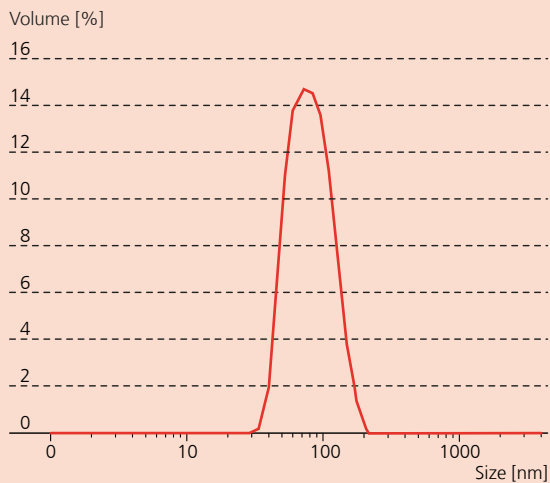
Wässrige PLA-Dispersionen für Beschichtungsanwendungen

Polylactid (Polymilchsäure, PLA) ist ein auf nachwachsenden Ressourcen basierendes thermoplastisches Polymer, dessen Grundbaustein Milchsäure durch Fermentation aus Polysacchariden (Glucose, Stärke) gewonnen wird. Bezüglich der mechanischen Eigenschaften erreicht PLA ein Niveau, das dem konventioneller Massenkunststoffe entspricht. Dies in Verbindung mit einzigartigen Barriereigenschaften und biologischer Abbaubarkeit eröffnete dem PLA bereits breite Anwendungen im Verpackungsbereich. Auch für Beschichtungsanwendungen, beispielsweise zur Beschichtung von Papier und Pappe, wird dem PLA ein hohes Potenzial zugeschrieben, erdölbasierte, nichtabbaubare Kunststoffbeschichtungen zu ersetzen. Die Erschließung dieses Applikationsfeldes setzt jedoch die Formulierung des PLA in Form von konzentrierten filmbildenden Polymerdispersionen mit Partikelgrößen $\ll 1 \mu\text{m}$ voraus.

Untersucht wurde die Möglichkeit, derartige PLA-Dispersionen über die Strategie der sogenannten Sekundärdispersionen herzustellen. Diese für Acrylatdispersionen bekannte Synthesetechnik beruht darauf, zunächst ein mit ionisierbaren Gruppen ausgerüstetes Primärharz zu synthetisieren, das in einem zweiten Schritt in Wasser dispergiert wird, wobei die durch Neutralisation ionisierten Gruppen die elektrostatische Stabilisierung der Polymerpartikel ermöglichen. Zur Umsetzung dieser Strategie für PLA-Dispersionen wurden zunächst PLA-Makromonomere unterschiedlicher Molmassen und Kristallisationsfähigkeiten hergestellt, wobei Hydroxyethylmethacrylat als Initiator der Ringöffnungspolymerisation verschiedener Dilactid-Isomere verwendet wurde (Fig. 1). Für die nachfolgende Synthese der Primärharze wurden diese PLA-Makromonomere in unterschiedlichen Anteilen mit geeigneten (Meth)Acrylat-Comonomeren copolymerisiert.

Es wurde gefunden, dass die Stabilität der Dispersionen und deren Partikelgrößenverteilung unter anderem von der Gesamtmolmasse des Primärharzes sowie von der Menge und Verteilung der ionisierbaren Gruppen im Polymer beeinflusst wird, wobei diese Parameter über das Dosierregime der einzelnen Monomere und des Initiators über den Verlauf der Polymerisation gesteuert werden können. So konnte bei Verwendung eines amorphen PLA-Makromonomeren mit einer Molmasse von $\sim 3000 \text{ g/mol}$ nach Optimierung der genannten Parameter eine Sekundärdispersion mit Teilchengrößen im Bereich um 100 nm (Fig. 2), einem Feststoffgehalt von ca. 45 Prozent und einer Mindestfilmbildungstemperatur (MFT) von 0°C synthetisiert werden. Dabei wurde ein PLA-Anteil von 50 Prozent bezüglich des Feststoffgehaltes der Dispersion realisiert. Die MFT derartiger Dispersionen ist durch die Auswahl der (Meth)Acrylat-Comonomere in einfacher Weise zu beeinflussen.

Weiterführende F&E-Arbeiten werden sich darauf konzentrieren, den PLA-Anteil in den Dispersionen weiter zu erhöhen sowie den Einfluss der Kristallisationsfähigkeit der eingesetzten PLA-Makromonomere auf das Filmbildungsverhalten der Dispersion und die Eigenschaften der Filme zu untersuchen.



2



a



b

3

Aqueous PLA dispersions for coatings

Poly lactide (polylactic acid, PLA) is a thermoplastic polymer that is based on renewable resources. Its monomeric unit – lactic acid – is obtained from polysaccharides like glucose or starch through fermentation processes. PLA has similar mechanical properties to those of conventional commodity plastics. This, along with its unique barrier properties and biodegradability, have enabled PLA to be used in a wide variety of packaging applications in recent years. PLA also has great potential for replacing oil-based non-biodegradable polymers in coating applications, for example in coatings for paper and cardboard. However, to tap into this potential it is essential that PLA can be formulated into a concentrated film-forming polymer dispersion with particle sizes $\ll 1 \mu\text{m}$.

We investigated the synthesis of PLA dispersions using the strategy of so-called secondary dispersions. In this synthesis technique, which is also used with polyacrylate dispersions, a primary resin that has been functionalized with ionizable groups is first synthesized. This resin is subsequently neutralized and dispersed in water whereby the ionized groups enable the particles to be electrostatically stabilized. To implement this strategy for PLA dispersions, PLA macromonomers with different molecular weights and crystallization capabilities were synthesized using hydroxyethyl methacrylate as the initiator for ring opening polymerization of different isomers of dilactide (Fig. 1). For the subsequent synthesis of the primary resin, these macromonomers were copolymerized with suitable (meth)acrylate comonomers in varying ratios.

The stability of the dispersions and the particle size distribution proved to be dependent, among other things, on the molecular weight of the primary resin and the amount and distribution of the ionizable groups within the polymer. These parameters can be controlled by the feed regime of the single monomers and the initiator during polymerization. Using an amorphous PLA macromonomer with a molecular weight of about 3,000 g/mol, a secondary dispersion with particle sizes of about 100 nm (Fig. 2), a solid content of about 45 percent and a film forming temperature of 0 °C was obtained after optimizing the above-mentioned parameters. A 50 percent PLA content with respect to the dispersion's overall solid content was achieved. The film forming temperature of the dispersions can be controlled by the selection of the (meth)acrylate comonomers.

Further R&D work will be focused on increasing the relative PLA amount and on investigating the influence of the crystallization capability of the PLA macromonomers on the film forming behavior of the dispersions and on the properties of the films produced.

Kontakt Contact

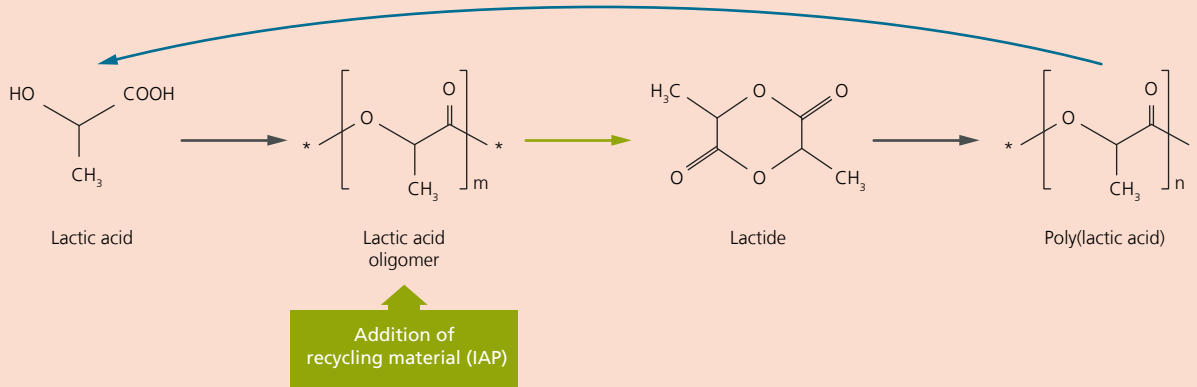


Dr. Antje Lieske

Telefon +49 331 568 - 1329

Fax +49 331 568 - 3000

antje.lieske@iap.fraunhofer.de



Polylactid-Recycling – Ein weiterer Weg zur Ressourcenschonung

Biobasierte Kunststoffe gewinnen seit einigen Jahren vor allem wegen der zunehmenden Verknappung fossiler Rohstoffe an Bedeutung. Eines dieser Biopolymere ist Polymilchsäure (Polylactid, PLA), das sich durch seine thermoplastische Verarbeitbarkeit, seine guten mechanischen Eigenschaften und seine Bioabbaubarkeit auszeichnet. Im industriellen Maßstab wird PLA typischerweise durch Ringöffnungspolymerisation von Dilactid, dem zyklischen Diester der Milchsäure, hergestellt. Das benötigte Dilactid entsteht aus niedermolekularer Polymilchsäure (Präpolymer) bei erhöhten Temperaturen und reduziertem Druck. Die Anwendungsgebiete für PLA liegen derzeit hauptsächlich im Verpackungssektor (Becher, Flaschen, Folien), in der Landwirtschaft (Agrarfolien) und im medizinischen Bereich (resorbierbare Naht- und Implantatmaterialien).

Eine Etablierung von Polylactid als Commodity-Polymer erfordert die Entwicklung geeigneter End-of-Life-Strategien abseits von Kompostierung, Deponierung und Verbrennung. Das für petrobasierte Polymere gängige stoffliche Recycling ist für PLA wegen der hohen thermischen Belastung nur bedingt geeignet, da es insbesondere in Verbindung mit Feuchtigkeit bei höheren Temperaturen zum Molmassenabbau neigt. Die damit einhergehende Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften schränkt den Anwendungsbereich des recycelten PLA stark ein. Andere, chemische Recyclingstrategien bedienen sich einer lösungsmittelbasierten Rückspaltung des Polymers in den Grundbaustein Milchsäure, die danach wieder zur Herstellung von hochmolekularem PLA genutzt werden kann [1,2]. Der für die Hydrolyse notwendige Katalysator und das eingesetzte Lösungsmittel müssen für die weitere Verwendung der Milchsäure allerdings aufwändig abgetrennt werden.

Der im Fraunhofer IAP verfolgte Recyclingansatz basiert auf dem Wissen, dass auch hochmolekulares PLA bei entsprechend hohen Temperaturen und geringen Drücken Lactid abspaltet. Das zu recycelnde PLA wird daher dem Präpolymer zugesetzt und zusammen mit diesem der zyklisierenden Depolymerisation unterworfen. Das entstehende Dilactid kann dann mit den üblichen Verfahrensschritten (Destillation, Kristallisation) aufgereinigt werden. Sofern der Anteil an zu recycelndem Material nicht zu hoch gewählt wird und damit der Viskositätsanstieg in der Schmelze begrenzt ist, erfordert dieser Recyclingschritt keinen zusätzlichen apparativen Aufwand, sondern kann auf einer bestehenden PLA-Synthesestrecke durchgeführt werden.

Vorversuche im Labormaßstab und in einem 1 Liter-Reaktor mit einem zehnpromzentigen Zusatz an höhermolekularem PLA (M_n : 80 000 g/mol) lieferten im Vergleich zum reinen Präpolymer vergleichbare Ausbeuten an Lactid von über neunzig Prozent. In einem nächsten Schritt wird u. a. zu untersuchen sein, wie sich Menge und Molmasse des zugesetzten Polylactids auf die Ausbeute und die Reinheit des gebildeten Lactids auswirken.

Literatur Literature

[1] P. Coszach, J.-C. Bogaert, J. Willocq: *Chemical Recycling of PLA by Hydrolysis*, US 2012/142958

[2] P. Coszach, J.-C. Bogaert, J. Willocq: *Chemical Recycling of PLA by Alcoholysis*, US 2012/029228

Poly lactide recycling – another way to conserve resources

Recently the importance of biobased polymers has increased due to a rise in the scarcity of nonrenewable resources. One of these biopolymers is poly(lactic acid) (polylactide, PLA), which is thermoplastic, biodegradable and has good mechanical properties. PLA is usually synthesized on an industrial scale through ring-opening-polymerization of lactide. Lactide is the cyclic diester of lactic acid and is produced from oligomeric lactic acid (prepolymer) at higher temperatures and reduced pressure. At the moment PLA is used in the packaging sector (cups, bottles, foils), in agriculture (agrofoils) and for medical applications (bioresorbable suture materials and implants).

Establishing polylactide as a commodity polymer requires the development of suitable end-of-life strategies in addition to composting, landfilling and combustion. Mechanical recycling is typically used for petro-based polymers but not applicable for PLA due to the high thermal stress. Residual moisture leads to a degradation of molar mass especially at high temperatures. This worsening of the mechanical properties highly limits the application range of this recycled PLA. Other chemical recycling methods use a solvent-based scission of the polymer into its basic component lactic acid which can be re-used to synthesize high molecular weight PLA [1,2]. However the catalyst, which is required for hydrolysis, and the solvent have to be removed before the lactic acid can be re-used.

Fraunhofer IAP follows a recycling strategy which is based on the knowledge that even high molecular weight PLA splits off lactide at correspondingly high temperatures and low pressure. Therefore the PLA to be recycled is added to the prepolymer and then ring-closing depolymerization is started. The resulting lactide can be purified by common processing steps (distillation, crystallization). As long as there is not too much of this high molecular weight material, the recycling step can be performed using existing synthesis reactors because the increase in viscosity is limited.

The results of the preliminary tests on a laboratory scale and in a 1 liter reactor with a content of ten percent high molecular weight PLA (M_n : 80,000 g/mol) were comparable with pure prepolymer (about ninety percent). One of the next steps will be to investigate the influence of the amount and molar mass of the added polylactide on the yield and the purity of the lactide produced.

Kontakt Contact



Dipl.-Ing. (FH) Kathrin Jesse

Telefon +49 331 568-1415

Fax +49 331 568-3000

kathrin.jesse@iap.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Monika Jobmann

Telefon +49 331 568-1213

Fax +49 331 568-3000

monika.jobmann@iap.fraunhofer.de

WASSERBASIERENDE POLYMERSYSTEME WATER-BASED POLYMER SYSTEMS

- 78 Wasserbasierende Polymersysteme:
Effektiv, innovativ und nachhaltig**
Water-based polymers:
effective, innovative and sustainable materials
- 82 Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 84 Photovernetzte schaltbare Hydrogele an Oberflächen –
Materialien für biomedizinische Anwendungen**
Photo-crosslinked switchable hydrogels on surfaces –
Materials for biomedical applications
- 86 ArtCornea – Eine neue Generation von Keratoprothesen**
ArtCornea – a new generation of keratoprotheses
- 88 Lignocellulose in ionischen Flüssigkeiten – Eine Lösung?**
Lignocellulose in ionic liquids – a solution?

Dr. Michael Päch – Im Forschungslabor werden neue Polymere einschließlich der dazugehörigen Bausteine wie Monomere, Initiatoren oder Polymeradditive entwickelt. |

Dr. Michael Päch – In the research lab new polymers are developed, including related components such as monomers, initiators or polymer additives.



pioneers in polymers



WASSERBASIERENDE POLYMERSYSTEME: EFFEKTIV, INNOVATIV UND NACHHALTIG

Wasserbasierende Polymersysteme, d. h. Polymere, die in Wasser hergestellt, verarbeitet oder angewendet werden, sind Materialien der Wahl, wenn es gilt technische und wirtschaftliche Effizienz mit Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit zu verbinden. Wasser ist nicht nur ungiftig, unbrennbar und praktisch überall verfügbar, sondern lässt sich auch problemlos entsorgen bzw. wiederverwerten. Daher ist Wasser ein ideales Lösungs- und Dispergiermittel für Polymere. Dies macht nicht nur die Umstellung von traditionell mit organischen Lösungsmitteln hergestellten bzw. verarbeiteten Produkten auf wasserbasierende Alternativen attraktiv, sondern insbesondere auch die Entwicklung neuer wasserbasierender Systeme. Entsprechend existiert zum Einen ein großes Innovationspotenzial in den klassischen Einsatzgebieten wasserlöslicher bzw. -verträglicher Polymersysteme. Darunter fallen z. B. Abwassertechnologie, Papierherstellung, Baustoffe, Lebensmittelverarbeitung, Hygieneartikel oder kosmetische und pharmazeutische Produkte. Zum anderen ermöglichen wasserbasierende Polymersysteme neue Anwendungen und innovative Lösungsansätze für viele Probleme in neuen Einsatzgebieten wie Medizintechnik, Nano- und Biotechnologie, Mikroelektronik oder Photonik.

Der Forschungsbereich deckt mit seinen Aktivitäten und Expertisen das gesamte Feld der wasserbasierenden Polymersysteme ab. Unsere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erstrecken sich von Monomer- und Polymersynthese über Synthesemethodik, Verfahrensentwicklung, Analytik und Charakterisierung in wässrigen Systemen bis zu diversen Anwendungen auch außerhalb von Wasser. Im Mittelpunkt unserer Aktivitäten stehen Stoffentwicklung, molekular gelöste und kolloidale Systeme sowie Hydrogele und Grenz- bzw. Oberflächen. Unsere große Erfahrung in der Herstellung, Charakterisierung und Anwendung solcher Systeme wird dabei durch eine gezielte Erforschung der Grundlagen unteretzt.

Wasserlösliche Polymere und Hydrogele

Charakteristisch für die molekulare Struktur von wasserlöslichen Polymeren sind hochpolare oder geladene Gruppen, die notwendig sind, um eine gute Verträglichkeit mit Wasser zu erreichen. Werden so aufgebaute, an sich wasserlösliche Polymere vernetzt bzw. an eine Oberfläche angebunden, quellen sie mit Wasser auf und wirken als Hydrogele, Superabsorber oder Ionenaustauscher. Weil wasserlösliche Polymere meistens im Hintergrund wirken und somit nicht direkt sichtbar sind, wird ihre Bedeutung oft unterschätzt. Tatsächlich werden weltweit jährlich über eine Million Tonnen wasserlöslicher Polymere produziert, die in verschiedensten Produkten und Prozessen Verwendung finden. Vielfach fungieren sie dabei als Schlüsselsubstanzen, und oft genügen dafür bereits kleine Mengen.

Die Entwicklung neuer Stoffe und Produkte bei uns umfasst sowohl geladene Polymere, die sogenannten Polyelektrolyte, als auch ungeladene Systeme. Dazu kommen als Spezialprodukte Polyampholyte und Polyzwitterionen, die sowohl positiv geladene als auch negativ geladene Gruppen tragen. Alle diese Stoffklassen lassen sich je nach Anforderungsprofil auf Basis von synthetischen Polymeren wie Poly(meth)acrylaten oder Polyvinylamiden, bzw. Biopolymeren wie Proteinen oder Polysacchariden herstellen.

Die Anwendungsgebiete von beispielsweise kationischen Polymeren zeigen anschaulich das Nebeneinander des Einsatzes von wasserlöslichen Polymeren in traditionellen wie neuen Feldern mit hochgradig innovativen Entwicklungen. Bei traditionellen Anwendungen reicht das Spektrum von Abwasserreinigung über Flockungsmittel, Papierherstellung, Lackbestandteile, Textilveredlung und Waschmitteladditive bis zu Haarfestigern. Neue Entwicklungen finden sich in Bereichen wie medizinischen Materialien, bioziden Oberflächen, kontrollierter Transport bzw. Freigabe von Arzneistoffen bis hin zu Gentherapie und Biosensoren.



Stoffentwicklung

Wasser ist für Mensch und Natur verträglich, chemisch verhält es sich jedoch oft aggressiv. Wie z. B. vom Rosten nur allzu bekannt, reagiert es mit vielen organischen wie anorganischen Verbindungen. Daher verlangen Polymersynthesen in Wasser und verwandten Lösemitteln spezielles Know-how, wie wir es über lange Jahre aufgebaut haben und ständig weiter entwickeln. Ein besonderer Schwerpunkt unserer Entwicklungsarbeiten ist die radikalische Polymerisation, da diese gegenüber wässrigen Systemen besonders tolerant ist. Hier beschäftigen wir uns sowohl mit der stofflichen als auch der methodischen und der verfahrenstechnischen Seite und decken ebenfalls nicht-wässrige Anwendungen ab.

Auf der Stoffseite bearbeiten wir sowohl die Synthese neuer Monomere, als auch die von Initiatoren, Kettenreglern und -abbrechern. Dazu kommen Polymeradditive, wie z. B. neue Weichmacher oder UV-Stabilisatoren. Als neuem methodischen Ansatz haben wir uns in den letzten Jahren besonders den Methoden der sogenannten »kontrollierten« radikalischen Polymerisation gewidmet, die wir u. a. unter anwendungstechnischen Gesichtspunkten für wässrige Systeme und Oberflächenbehandlung weiterentwickelt haben. Diese Methoden eröffnen den Zugang zu Polymeren mit besser definierten molekularen Parametern sowie zu solchen mit spezieller makromolekularer Architektur. So lassen sich z. B. recht einfach funktionale Blockcopolymere herstellen, die vielfältige Möglichkeiten für die Entwicklung neuer Tenside, Verdicker, Hydrogele, Emulgatoren und Verträglichkeitsmacher bieten, bzw. neue Strategien für die Entwicklung nanostrukturierter Materialien eröffnen.

Polymerdispersionen

Auch wenn sie wasserunlöslich sind, lassen sich viele Polymere kolloidal in Wasser herstellen und verarbeiten, also in Form kleinster kompakter Teilchen. Solche kolloidalen Polymerdispersionen zeichnen sich z. B. durch exzellentes Fließverhalten und große Oberflächen aus. Selbst altbekannte Polymere besitzen als Dispersion zum Teil ungewohnte Eigenschaften und eröffnen neue Anwendungen. Diese Arbeiten gehen Hand

in Hand mit unseren Aktivitäten zu Dispersionspolymerisation und Mikrogelen. Entsprechend verfügen wir in dem Feld neben großer Erfahrung auch über eine leistungsstarke Analytik.

Mittels Dispersionspolymerisation oder gezielter Oberflächenmodifikation gelingt es auch, Nanopartikel mit besonderer Struktur herzustellen, etwa Kern-Schale-Teilchen mit funktionaler Oberfläche, wie sie für medizinische Diagnostika benötigt werden. Ein anderes Beispiel sind organisch-anorganische Hybridteilchen, wie z. B. umhüllte Eisenoxyde für magnetische Nanopartikel. Bei geschickter Prozessführung führt die Dispersionspolymerisation zu einheitlich großen Polymerpartikeln, die sich in Analogie zu Atomen – jedoch im Nano- bis Mikrometerbereich – dicht zu Kristallen packen können. Derartige »kolloidale Kristalle« finden ein großes Interesse aufgrund ihrer optischen Effekte, z. B. für Sensoren oder in optischen Verfahren für Datenspeicherung, -transport und -verarbeitung.

»Intelligente« Materialien

Während sich viele biologische Systeme an ändernde Umweltbedingungen anpassen können, sind die Eigenschaften der meisten synthetischen Materialien permanent. Zunehmend wird daher versucht, neue Materialien zu entwickeln, deren Eigenschaften sich durch äußere Reize möglichst reversibel »schalten« lassen. Man spricht dann von »intelligenten« Materialien. Als Schalter kommen viele physikalische oder chemische Stimuli in Frage, von Temperatur über Licht und pH-Wert bis zu komplexen (bio)chemischen Prozessen. Wasserlösliche Polymere bieten in diesem Gebiet besondere Möglichkeiten, nicht zuletzt weil sie sich manchmal gegen die Intuition verhalten. So lösen sich viele ungeladene Polymere zwar bei niedriger, nicht aber bei erhöhter Temperatur in Wasser. Eine solche Mischungslücke lässt sich gezielt zum Schalten nutzen, da eine Temperaturveränderung von wenigen Grad das Eigenschaftsprofil eines Polymers grundlegend verändern kann. Wir untersuchen derzeit intensiv Einsatzmöglichkeiten solcher reversibel schaltbaren Polymere an Oberflächen, in Hydrogelen oder als Emulgatoren.

WATER-BASED POLYMERS: EFFECTIVE, INNOVATIVE AND SUSTAINABLE MATERIALS

Water-based polymer systems, i.e. polymers that are produced, processed or applied in water, are the preferred materials when it comes to combining technical and economical efficiency with ecological friendliness and sustainability. Water is not only non-toxic, non-inflammable and available nearly everywhere, it is also easily disposed of and recycled. This makes it a perfect solvent and dispersing agent for polymers. Thus there is an incentive to use water-based alternatives for products which have been traditionally produced or processed in organic solvents and, even more so, to develop new water-based systems. Accordingly there is still major potential to innovate in the traditional application fields of water-soluble or compatible polymer systems, which includes, for instance, waste water treatment, paper making, construction materials, food processing, personal hygiene, cosmetics and pharmaceutical products. On the other hand, water-based polymers enable new applications and innovative solutions for many problems in emerging fields such as medical technology, nano- and biotechnology, microelectronics and photonics. The expertise and activities of this research department cover the full breadth of the field of water-based polymers. Research and development activities include monomer and polymer synthesis, synthesis methodology and analysis and characterization in aqueous systems. Moreover, our activities extend to various uses outside of water. A particular focus of our work is on the development of new materials, molecular dissolved and colloidal systems as well as hydrogels, surfaces and interfaces. Our long-standing experience in the synthesis, characterization and application of such systems is further strengthened by our research which addresses basic rules and structure property relationships.

Water-soluble polymers and hydrogels

The molecular structure of water-soluble polymers is characterized by the presence of strongly polar or charged moieties that are needed to render them compatible with water. If cross-linked, or anchored to surfaces, such originally water-soluble materials markedly swell in water and may serve as hydrogels, super absorbents or ion exchangers. The importance of water-soluble polymers is often underestimated as their presence is usually not directly visible. In fact, more than one million tons of water soluble polymers are produced every year and they are used in a diverse range of processes and products where they are frequently key substances. In most cases, small quantities suffice to achieve the desired effects.

The development of new materials and products in our department includes both ionic polymers – so-called polyelectrolytes – as well as non-ionic polymers. They are complemented by specialty products such as polyampholytes and polyzwitterions, i.e. polymers which simultaneously contain positively charged and negatively charged groups. Depending on the sought after needs and application profiles, all of these polymer classes can be derived from synthetic polymers, such as poly(meth)acrylates or poly(vinylamide)s, or from natural polymers such as proteins or polysaccharides.

The diversity of applications of polycations clearly illustrates the co-existence of traditional uses of water-soluble polymers with uses in emerging technology fields. For instance, polycations are traditionally employed in waste water treatment, flocculation processes, paper making, lacquers and textile finishing, but also in detergent formulation and hair care. New developments focus on uses such as medical materials, biocidal surfaces, controlled transport and release of active materials, or gene therapy and biosensors.

Development of new materials

Water is innocuous to mankind and nature, yet from a chemical perspective, it is aggressive. It reacts readily with many organic and inorganic substances as exemplified in the well-known problem of rusting. Therefore, polymer synthesis in aqueous and related solvents is no trivial task and requires the special know-how which we have been acquiring over many years. Free radical polymerization is at the center of our focus as the method is particularly tolerant to the presence of water. Our activities deal with both material and methodological aspects, and cover non-aqueous applications as well.

In terms of materials, we develop new monomers as well as new initiators, chain transfer agents and terminating agents. Additionally, we investigate polymer additives such as new plasticizers or UV-stabilizers. With respect to new polymerization methodologies, we have intensely studied in recent years the methods of the so-called "controlled" free radical polymerization and have adapted them to water-based systems and to surface treatment. These methods give us access to polymers with more defined molecular parameters as well as to polymers with particular macromolecular architecture. One example is functional block copolymers which can be produced with little effort and are promising candidates for new surfactants, texturing agents, hydrogels, emulsifiers and compatibilizers. Moreover, these methods enable new strategies for producing nano-structured materials.

Polymer dispersions

Even if they are not soluble in water, many polymers can be synthesized and processed in aqueous media as colloidal systems, i. e. in the form of extremely small, compact particles. Such colloidal polymer dispersions are characterized by excellent rheological behavior and very large surfaces. Therefore, even well-known polymers can exhibit unusual properties when prepared as dispersions and thus may enable new applications to be developed. This activity is closely related to our other activities in the areas of dispersion polymerization and microgel synthesis. Consequently, we have copious experience as well as extensive analytics in this field.

Dispersion polymerization, combined with surface modification where needed, allows us to produce nanoparticles with special internal structures, such as core-shell particles with a functional surface, which are, for instance, crucial for medical diagnostics. Another example is organic-inorganic hybrid particles, such as coated iron oxide, which is needed for magnetic nanoparticles. Well-conducted dispersion polymerization also enables single size nanoparticles to be produced, which are analogous to atoms, though on a nano to micrometer scale, and can aggregate into densely packed crystals. Such "colloidal crystals" are of great interest by virtue of their optical effects, e. g. for sensors or for data storage, transport and processing.

"Smart" Materials

Many biological systems may adapt actively or passively to a changing environment, while the properties of most synthetic materials are permanent. Therefore, recent years have seen increasing attempts to develop materials whose properties change when triggered by an external stimulus, thus mimicking biological behavior. The term "smart" materials was coined for such a scenario. Numerous chemical and physical stimuli may serve as potential switches, including temperature, light, pH-value, or complex (bio)chemical processes. Here, water soluble polymers provide special opportunities. In particular, they sometimes behave counter-intuitively. For instance, many non-ionic polymers only dissolve at low temperatures in water, but do not dissolve in heat. Such a miscibility gap can be exploited as a switch: a temperature increase of a few degrees may be sufficient to profoundly modify the property profile of a polymer. We are currently investigating, for instance, the practicability of such reversibly switchable polymers on surfaces, in hydrogels, or as emulsifiers.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Polymere in wässrigen Medien

Ausgewählte Anwendungen

- Absorber
- Beschichtungen
- Hilfsstoffe für Kosmetika und Pharmazeutika
- Hydrogele
- 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
- Modifizierung von Precursor-Polymeren
- Neue Funktionsmonomere, Initiatoren und Kettenregler
- Polymerisation nach kontrollierten Mechanismen
- Reaktionen in ionischen Flüssigkeiten
- Sol-Gel-Verfahren
- Vinylpolymerisation in Masse und Lösung

Definierte Molekül- architekturen

- Block- und Pfropfcopolymere
- Ionomere
- Polyelektrolyte mit alternierenden Ladungen
- Polyelektrolyte mit gezielt eingestellter Ladungsdichte, Ladungsstärke, variablem Verhältnis hydrophiler und hydrophober Anteile
- Polymere Betaine
- Polymere Tenside
- Reversible und permanente 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
- Anti-fouling-Beschichtung
- Feuchteregulierung
- »Intelligente« Freisetzung
- Tribologische Schichten

Komplexe chemische Analyse

- Von Polymeren, Additiven und Tensiden

Biologische in vitro Untersuchungen

- Zellkulturen (Primär-Kulturen und Zelllinien)

Biokompatibilitäts- untersuchungen

APPLICATIONS AND SERVICES

Polymers in aqueous media

Selected applications

- absorbents
- additives for cosmetic and pharmaceutical formulations
- carrier materials
- coatings
- compatibilizers
- hydrogels
- 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

- dispersion polymerization and emulsion polymerization in aqueous, inverse and non-aqueous systems
- modification of reactive precursor polymers
- new functional monomers, initiators, and chain transfer agents
- polymerization by controlled mechanisms
- 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 alternating charges
- polyelectrolytes with tailored charge density, ionic strength, variable hydrophobic-hydrophilic balance
- polymeric betaines
- polymeric surfactants
- reversible and permanent gels
- smart polymers

Special dispersion

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

Model colloids

- color, fluorescence or magnetic labeling for basic and applied research, sensors, diagnostics and medical therapy
- polymeric colloid arrays in two and three dimensions as optical sensor elements (e. g. for color recognition, distance measurement)
- surface modification as biomolecule carriers for medical diagnostics and controlled drug release

Hydrogels

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

Complex chemical analysis

- of polymers, additives and surfactants

Biological in vitro investigations

- cell culture (primary cultures and cell lines)

Biocompatibility testings

Kontakt Contact

Forschungsbereichsleiter
Wasserbasierende Polymersysteme
Division director
Water-based Polymer Systems



Prof. Dr. André Laschewsky

Telefon +49 331 568-1327
Fax +49 331 568-3000
andre.laschewsky@iap.fraunhofer.de

Wasserbasierende
Funktionspolymere und Kolloide
Water-based Functional
Polymers and Colloids

Prof. Dr. André Laschewsky

Telefon +49 331 568-1327
Fax +49 331 568-3000
andre.laschewsky@iap.fraunhofer.de

Funktionspolymere
für die Medizintechnik
Functional Polymers
for Medical Technology

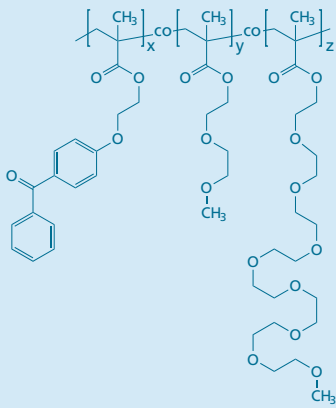
Dr. Joachim Storsberg

Telefon +49 331 568-1321
Fax +49 331 568-2521
joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de

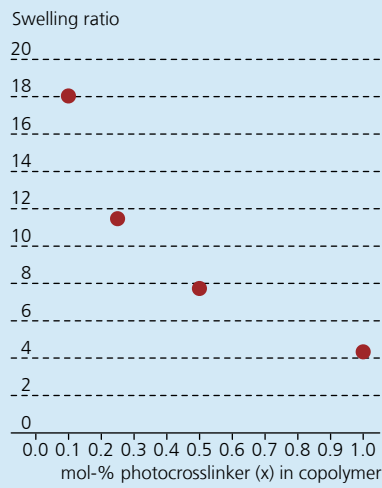
Materialien für Life Science
Materials for Life Science

Dr. Erik Wischerhoff

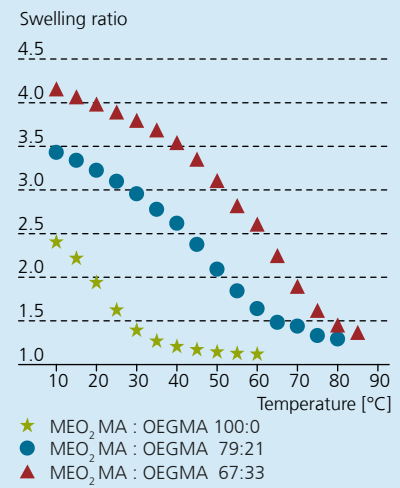
Telefon +49 331 568-1508
Fax +49 331 568-3000
erik.wischerhoff@iap.fraunhofer.de



1



2



3

Photovernetzte schaltbare Hydrogele an Oberflächen – Materialien für biomedizinische Anwendungen

Hydrogele ähneln in ihrer Konsistenz und ihren physikalischen Eigenschaften der intrazellulären Matrix, verfügen über ein herausragendes Wasserbindevermögen und sind, wenn sie aus geeigneten Materialien hergestellt werden, biokompatibel. Daher dienen sie als Basismaterialien in der Medizintechnik, z. B. für Kontaktlinsen oder weiche Gewebeimplantate. Werden geeignete Funktionalitäten integriert, können sie sogar auf externe Reize reagieren.

In unseren Arbeiten verwenden wir häufig Oligo(ethylenglykol)-Makromonomere (OEG) als Bausteine für Hydrogele, denn sie weisen einige Vorteile auf. Ihre Biokompatibilität und ihre Antifouling-Eigenschaften in biologischen Systemen machen sie für Sensoranwendungen attraktiv [1]. Dabei liefern kurzkettige Monomere, wie z. B. 2-(2-Methoxyethoxy)ethylmethacrylat (MEO₂MA), Gele mit klassischem temperaturschaltbarem Verhalten [2]. Durch Einbau zusätzlicher funktioneller Gruppen gelingt es, auch Reaktionen auf andere physikalische oder chemische Stimuli zu induzieren. Sogar komplexe Biomakromoleküle können als Stimulus fungieren, was die Ähnlichkeit mit biologischen Systemen noch vergrößert [3].

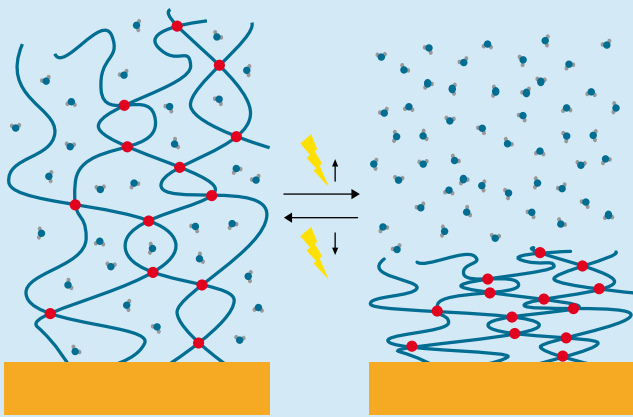
Der Einbau photoreaktiver Vernetzer in solche Polymere (Fig. 1) ermöglicht die Vergelung in einem nachgelagerten Schritt. Dies hat mehrere Vorteile: Vor der Gelbildung ist eine gründliche molekulare Charakterisierung der Polymere möglich. Weiterhin kann das Material leicht in eine gewünschte Form gebracht werden, in der es dann durch Photovernetzung »eingefroren« wird. Eine geschickte Auswahl der Vorläuferpolymere gestattet, das responsive Verhalten und die Quelleigenschaften des Gels einzustellen [4]. Fig. 2 zeigt die Abhängigkeit des maximalen Quellgrades in Wasser vom Vernetzeranteil im Polymer. Der maximale Quellgrad nimmt mit sinkendem Vernetzergehalt drastisch zu und kann durch Variation des Vernetzeranteils von 1,0 bis 0,1 Molprozent im Bereich von 4 bis etwa 20 eingestellt werden.

Fig. 3 verdeutlicht, wie sich eine Variation des Verhältnisses von kurzkettigen (MEO₂MA) zu langkettigen Monomeren (Oligo(ethylenglykol)methylethermethacrylat mit $M_n \approx 475$ g/mol, OEGMA) bei konstantem Vernetzeranteil auf die Kollapstemperatur auswirkt. Alle Gele zeigen ein graduelles Entquellen mit steigender Temperatur. Erhöht man den Anteil von OEGMA im Polymer von 0 auf 33 Molprozent, verschiebt sich der Kollaps zu deutlich höheren Temperaturen. Bemerkenswerterweise zeigen Kollaps und Quellen der vernetzten Poly(OEG)-Filme keine Hysterese.

Aufgrund ihrer Kombination an Eigenschaften sind photovernetzte Copolymere aus OEG-Makromonomeren eine interessante Basis für Anwendungen im biomedizinischen Bereich, wie z. B. Sensoren oder Zellkulturmaterialien.

Literatur Literature

- [1] J.-F. Lutz, H. G. Börner: *Modern trends in polymer bioconjugates design*, Prog. Polym. Sci. 33, p. 1–39 (2008)
- [2] J.-F. Lutz, A. Hoth: *Preparation of Ideal PEG Analogues with a Tunable Thermosensitivity by Controlled Radical Copolymerisation of 2-(2-Methoxyethoxy)ethyl Methacrylate and Oligo(ethylene glycol) Methacrylate*, Macromolecules 39, p. 893–896 (2006)
- [3] J. Buller, A. Laschewsky, J.-F. Lutz, E. Wischerhoff: *Tuning the lower critical solution temperature of thermoresponsive polymers by biospecific recognition*, Polym. Chem. 2, p. 1486–1489 (2011)
- [4] J. Buller, A. Laschewsky, E. Wischerhoff: *Photoreactive oligoethylene glycol polymers – versatile compounds for surface modification by thin hydrogel films*, Soft Matter 9, p. 929–937 (2013)



4

- 1 Chemical structure of photoreactive OEG-copolymers. Lower numbers of x favour swelling of the crosslinked gels in water.
- 2 Plot of swelling ratio in water versus fraction of benzophenone (crosslinker) moieties in the copolymer. The lower the fraction of crosslinker, the higher the swelling ratio.
- 3 Swelling ratio in dependence of temperature for hydrogels prepared from copolymers of different composition. Increasing molar fractions of OEGMA 475 lead to higher collapse temperatures.
- 4 Schematic representation of stimulus-dependent swelling in "smart" hydrogels. Application of a stimulus, such as temperature, pH, ionic strength or a chemical reagent, causes the hydrogel to collapse; water is expelled. The process is reversible.

Photo-crosslinked switchable hydrogels on surfaces – Materials for biomedical applications

Hydrogels mimic many properties of biological matter. Their consistency and physical properties closely resemble the intracellular matrix, they possess an outstanding capability of binding water and, if made of appropriate materials, they are biocompatible. Therefore, they form the basis for many medical materials such as contact lenses and soft tissue implants. When suitable functionalities are introduced, they can even react to external stimuli. Such "smart" behavior makes them even more closely related to biological systems.

In our research, we frequently use oligo(ethylene glycol) (OEG) macromonomers as constituents for hydrogels since they offer some specific advantages. They are well-known for their biocompatibility and their antifouling properties in biological systems. This makes them attractive as constituents for sensing applications [1]. If short-chain variants such as 2 (2-methoxyethoxy) ethyl methacrylate (MEO₂MA) are used, the gels exhibit "smart" behavior. This is not limited to the "classical" temperature-induced switching [2], but by incorporating additional functional groups, they can be switched by further physical and chemical stimuli and can even be made to respond to the presence of complex biomacromolecules [3].

By introducing photoreactive crosslinker groups into such polymers (Fig.1), gel formation becomes possible as a post-processing step. This is beneficial for several reasons: Prior to gelation, a thorough molecular characterization of the gel-forming polymeric constituents is possible. Furthermore, the material can be formed into a desired shape which is then "frozen" by crosslinking via irradiation. By adjusting the molecular parameters of the precursor polymers, the responsive behavior and the swelling properties of the materials can be fine-tuned [4]. Fig.2 shows the maximum degree of swelling with water versus the molar percentage of the crosslinker. The swelling drastically increases as the crosslinker content decreases. By varying the crosslinker content from 1.0 to 0.1 mole percent, the degree of swelling can be widely adjusted from 4 to approx. 20.

Fig. 3 shows the influence of the ratio of short chain to long chain OEG macromonomers on the thermal transitions for gels with equal amounts of crosslinker. All gels exhibit a gradual de-swelling as temperatures increase. When the molar ratio of MEO₂MA to oligo(ethylenglycol) methylether methacrylate) with $M_n \approx 475$ g/mol (OEGMA) is changed from 100:0 to 67:33, the collapse shifts significantly to higher temperatures. Interestingly the collapse and swelling of these crosslinked poly(OEG) films do not exhibit any hysteresis.

By virtue of their combination of properties, photo-crosslinked OEG copolymers constitute an interesting basis for materials which can be used in applications in the bio-medical field, e. g. for sensors or cell culturing materials.

Kontakt Contact



Dr. Erik Wischerhoff

Telefon +49 331 568-1508

Fax +49 331 568-3000

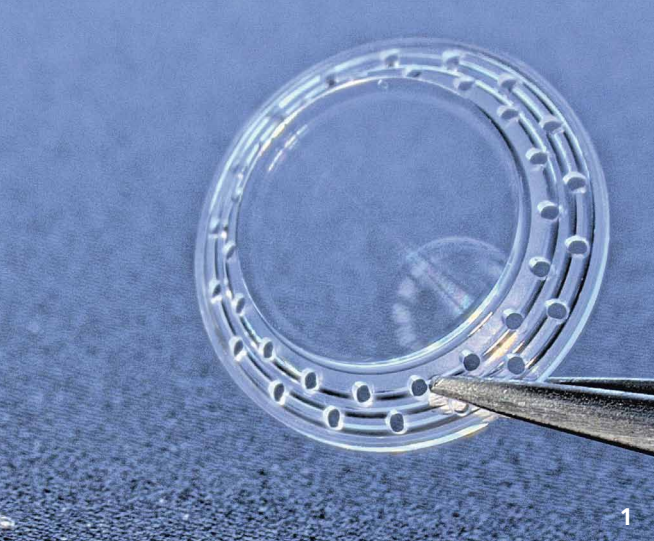
erik.wischerhoff@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

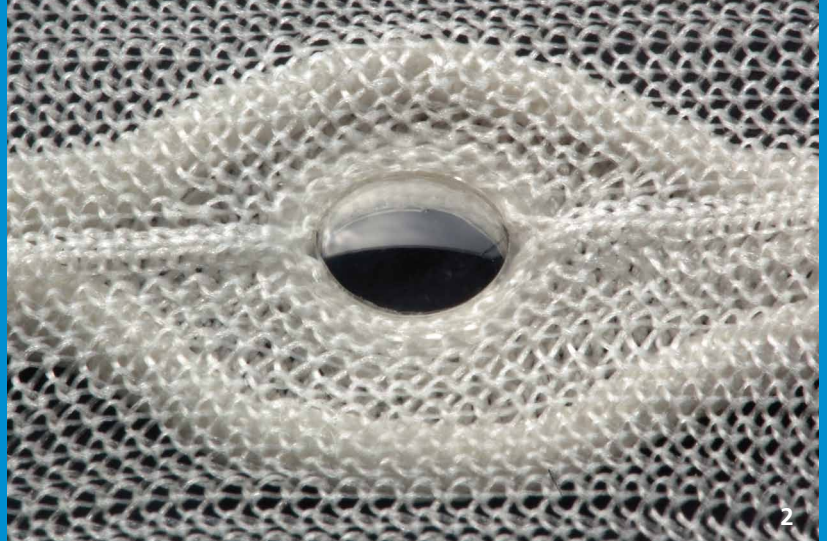
– »Spitzenforschung und Innovation
in den neuen Ländern«,
Bundesministerium für Bildung und
Forschung (BMBF), FK 03IS2201B.

Kooperation Collaboration

– Universität Potsdam



1



2

ArtCornea – Eine neue Generation von Keratoprothesen

Unsere Augen sind das Fenster zur Welt. Aber weltweit sind fast eine Viertelmilliarde Menschen sehbehindert, mehr als 30 Millionen Menschen haben ihr Augenlicht verloren [1]. Die Gründe dafür können vielfältig sein: Grauer Star, Netzhaut- oder Hornhauterkrankungen sind nur einige der möglichen Ursachen. Erkrankungen der Augenhornhaut entstehen häufig durch Unfälle wie Verätzungen, chronische Entzündungen, fehlende Limbusstammzellen oder auch Keratokonus. Den Betroffenen hilft oftmals nur die Transplantation einer Spenderhornhaut. Bei bestimmten Erkrankungen kann nur noch die Implantation einer künstlichen Hornhaut, einer sogenannten Keratoprothese, helfen. Am Fraunhofer IAP wurden im Projekt ArtCornea Materialien für zwei künstliche Augenhornhäute entwickelt: ArtCornea® und TexKpro.

Biomaterialentwicklung | Die Herausforderung bei der Biomaterialentwicklung für eine Keratoprothese liegt in den fast widersprüchlichen Anforderungen, die das kleine Stück »Kunststoff« erfüllen muss: Das Material muss einerseits fest mit dem Gewebe zusammenwachsen, d. h. der Rand (Haptik) der Keratoprothese muss zellattraktive Eigenschaften besitzen. Im optischen Bereich, also in der Mitte, dürfen sich jedoch keine Zellen absetzen, da sonst das Sehvermögen durch Eintrübung wieder stark beeinträchtigt wäre. Dies hätte zur Folge, dass der Patient nach relativ kurzer Zeit eine neue Prothese benötigen würde.

Chemische Modifikation der Basismaterialien | Die Basis von ArtCornea® ist ein Polymer, das gut Wasser aufnehmen kann. Dieses Hydrogelmateriale wurde im Bereich der Haptik so modifiziert, dass es schwach lipophile Eigenschaften hat. Zudem wurden im Material »zellliebende« funktionelle chemische Gruppen eingebracht. Die Optik des ArtCornea®-Implantats (Fig. 1) ist hochtransparent. Bei der TexKpro – einer Keratoprothese aus der Entwicklung des ACTO e. V. (Fig. 2) – wurde die textile Haptik entsprechend zellfreundlich modifiziert. Das chemisch sehr inerte Haptikgewebe, welches aus Polyvinylidendifluorid (PVDF) besteht, wurde in einem mehrstufigen Prozess zellattraktiv verändert.

In-vitro-Untersuchungen | Die künstlichen Hornhäute wurden nach der chemischen Modifikation thermisch sterilisiert. Dann erfolgte die chemische und physikalische Analyse sowie in-vitro-Untersuchungen in Zellkulturen. Damit wurde die Wechselwirkung der Implantate mit Zellen, als auch deren Beständigkeit unter physiologisch simulierten Bedingungen untersucht. Die entwickelten Keratoprothesen zeigten hier eine gute Performance. Die Optik blieb klar, auf der Haptik siedelten sich Zellen an.

Erfolgreich getestet | Nach der erfolgreichen Überprüfung in vitro in Zellkulturen wurden die Keratoprothesen in vivo in Kaninchenaugen getestet und optimiert. Die Kontrollen nach den Operationen zeigten, dass diese die künstlichen Hornhäute gut vertragen. Eine Abstoßung innerhalb der sechsmonatigen Beobachtungsphase fand nicht statt.

ArtCornea® ist ein eingetragenes Warenzeichen der Fraunhofer-Gesellschaft.

Literatur Literature

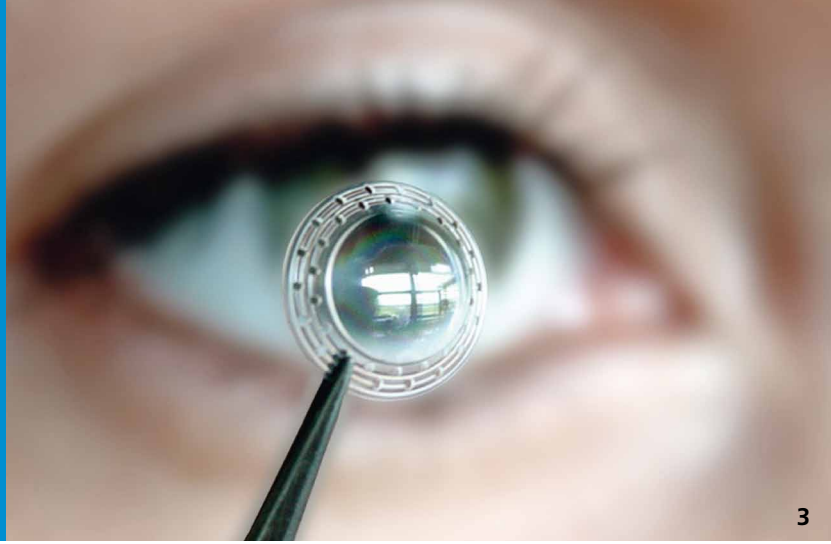
[1] Christoffel-Blindenmission, <http://www.cbm.de/artikel/Zahlen-und-Fakten-166979.html>, accessed on January 11 (2013)

[2] J. Storsberg, C. Schmidt, S. Rehfeldt, K. Kobuch, A. Meßner, H. Röhngen, G. I. W. Duncker, M. Knak, A. Cordes, N. Schrage, N. Naß, S. Sel: *Synthetic eye prosthesis*, Acta Ophthalmologica, 90: 0, doi: 10.1111/j.1755-3768.2012.3635.x (2012)

1 Keratoprosthesis "ArtCornea". It is based on a hydrophilic material which is modified at the haptics.

2 Shown is the TexKpro (ACTO). The special feature of this implant is a haptic, made of textile.

3 ArtCornea®.



ArtCornea – a new generation of keratoprotheses

The eye is our window to the world. But worldwide, almost a quarter of a billion people are suffering from seriously impaired vision and more than thirty million people have lost their eyesight completely [1]. Cataracts, retinal diseases and corneal diseases are just some of the causes of these maladies. Corneal diseases can stem from accidents involving etching substances or have systemic causes such as chronic and persistent inflammation, a reduction in the number of limbal stem cells or conical protrusions of the cornea (referred to as keratoconus). Sometimes patients need to receive a donor cornea to replace the diseased cornea. When this is not an option, patients can turn to fully synthetic and often experimental corneas known as keratoprotheses (Kpro's). At Fraunhofer IAP materials for two artificial corneas were developed as part of the project ArtCornea: ArtCornea® and TexKpro.

Development of biomaterials | A shortage of donor material, combined with issues of tolerance to foreign tissue as well as patient predispositions, necessitate the development and refinement of Kpro's as a last resort for ophthalmologists to restore eyesight to ultima ratio patients. Chief among the requirements are that the optic must remain permissive to visible light and the device must be firmly anchored in the surrounding tissue throughout its life cycle. In other words, the rim (haptic) of the device must attract an anchorage of cells and encourage deposition of extracellular matrix. In stark contrast, the optic must remain free of cells and deposition of material.

Modification of the basis material | The ArtCornea® Kpro is based on a polymer material which can hold large amounts of water. Weakening the hydrophilic properties of the rim guarantees anchorage in the surrounding tissue while the optic remains permissive to visible light (Fig. 1). ATCO e. V. developed the TexKpro where poly-vinylidene difluoride was used to create a woven rim that holds the optic (Fig. 2). We used a multi-step modification protocol and the inert rim textile was then modified to ensure firm anchorage in the surrounding tissue.

In vitro assays | Subsequent tests of the sterilized device in tissue culture experiments yielded no apparent cytotoxic properties in either material. Significantly, cells adhered to and proliferated on the modified surface whereas the native surfaces remained free of cells.

Successful tests in an animal model | Encouraged by the initial tests, we implanted the two prostheses into the eyes of rabbits. We could not determine any adverse reaction over a period of six months. Histological analysis of the eyes at the end of the experiment showed that the artificial corneas remained permissive to light and firmly anchored in the surrounding tissue.

ArtCornea® is a registered trademark of Fraunhofer-Gesellschaft.

Kontakt Contact



Dr. Joachim Storsberg

Telefon +49 331 568-1321

Fax +49 331 568-33 1321

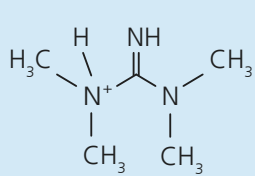
joachim.storsberg@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

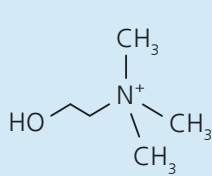
– Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM); Projekt »ArtCornea« (2010–2012)

Kooperation Collaboration

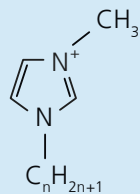
– Prof. Dr. Schrage, Köln
– ACTO – Aachener Centrum für Technologietransfer in der Ophthalmologie e. V., Aachen
– Universitätsklinik und Poliklinik für Augenheilkunde der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, Halle (Saale) (Dr. med. Sel, Dr. Naß, Prof. Dr. med. Duncker)
– Augenklinik Köln-Merheim, Köln (Dr. Cordes)
– Dr. Schmidt Intraocularlinsen GmbH, St. Augustin (Dr. Meßner, H. Röthgen)



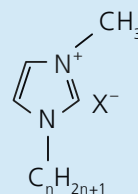
1



2



3



IL – 4: n = 2, X = Crotonate
 IL – 5: n = 2, X = Cyclohexylcarboxylate
 IL – 6: n = 4, X = Cyclohexylcarboxylate
 IL – 7: n = 4, X = Pivalate

1

2

Lignocellulose in ionischen Flüssigkeiten – Eine Lösung?

Angesichts weltweit schrumpfender Ressourcen von Öl und Gas als Energieträgern und Basis für die Produktion chemischer Grundstoffe haben sich die Aktivitäten zur Nutzbarmachung biogener Rohstoffe vervielfacht. Werden als biogenes Material jedoch stärkehaltige Pflanzen (z. B. zur Herstellung von Ethanol) verwendet, besteht immer eine Konkurrenz zur menschlichen Ernährung, entweder direkt oder über die Anbauflächen. Um entsprechende Konflikte zu vermeiden, steht Lignocellulose mehr und mehr im Fokus des Interesses. Als Gerüstsubstanz von Landpflanzen kommt Lignocellulose in sehr großen Mengen (jährlich 10^{11} – 10^{12} t) vor und ist, da sie nachwächst, quasi unerschöpflich. Lignocellulose enthält drei wesentliche Bestandteile: Cellulose, Hemicellulose und Lignin. Bislang ist kommerziell vor allem Cellulose von Interesse – hauptsächlich für die Papierindustrie. Das Biopolymer wird weltweit in großen Mengen gewonnen. Sein Anteil am Rohmaterial liegt jedoch bei etwa 40 Prozent, so dass die Wertschöpfung insgesamt unzureichend ist. Kritischer Punkt für die Entwicklung und Optimierung neuer Verfahren ist der nachhaltige Aufschluss der Lignocellulose, der die möglichst quantitative und qualitative Gewinnung der drei Hauptbestandteile zum Ziel haben muss. Sogenannte ionische Flüssigkeiten (IL), bestehend aus einem organischen Kation und einem variablen Anion, bieten hier einen vielversprechenden Ansatz. Neben dem Lösevermögen waren folgende Kriterien entscheidend für das Screening von mehr als 50 potenziellen IL:

- Korrosivität (Vermeidung von Halogenid als Gegenion)
- Umweltverträglichkeit (Vermeidung komplexer, insbesondere Fluorid-haltiger Anionen)
- Energetischer Aufwand (Schmelzpunkt < 60 °C)
- Kommerzielle Verfügbarkeit der Vorstufen und Perspektive einer preisgünstigen Synthese im großen Maßstab

Fig. 1 zeigt die hergestellten und getesteten prinzipiellen Strukturen. Es zeigte sich, dass weder protonierte (1) noch peralkylierte aliphatische Kationen (2) den genannten Kriterien genügen. Lediglich imidazolbasierte Kationen (3) erwiesen sich als geeignet und wurden einem entsprechenden Anionen-screening unterzogen. Fig. 2 zeigt die durch systematische Löseversuche (Standardbedingungen: 3 h, 130 °C) von 30 verschiedenen vorbehandelten Lignocellulose-Spezies (Kiefer, Fichte, Pappel, Weizen ...) optimierten IL. Verbindungen 5 und 6 (1-Alkyl-3-methylimidazoliumcyclohexylcarboxylate) erwiesen sich als besonders geeignete Lösungsmittel. Das ergab sich aus lichtmikroskopischen Untersuchungen der hergestellten Lösungen (Fig. 3) und gravimetrische Bestimmung des gelösten Anteils. Ergänzend dazu wurden die verwendeten IL umfassend charakterisiert (NMR, Fp, Kamlet-Taft-Parameter, Rheologie).

Durch die umfangreichen Testserien gekoppelt mit systematischen Anwendungsuntersuchungen konnten neue IL-Strukturen als wirksame Lösungsmittel für Lignocellulose identifiziert und im Pilotmaßstab hergestellt werden. Der Preis der IL erfordert vor einem kommerziellen Einsatz jedoch die Etablierung effektiver Recycling-Verfahren.

1 Tested IL cation structures.

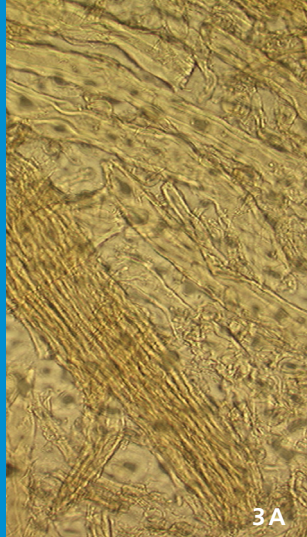
2 Most effective IL as lignocellulose solvents.

3 Images of spruce species (1 mm) dissolved with IL (130 °C, 3 h, 10 percent).

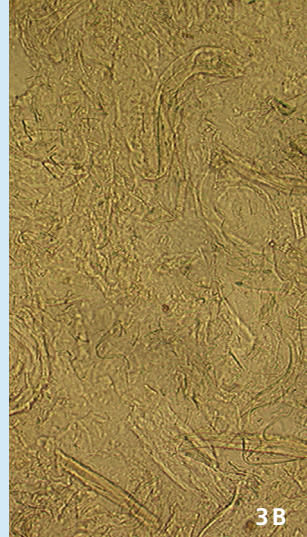
A: 1-Ethyl-3-methylimidazolium acetate (standard, BASF AG),

B: 1-Butyl-3-methylimidazolium pivalate (IL-7),

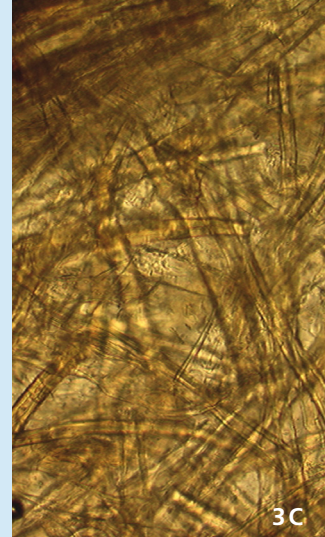
C: Cholin lactate.



3 A



3 B



3 C

Lignocellulose in ionic liquids – a solution?

There has been a considerable increase in activities for utilizing biogenic resources given the fact that the availability of the world's oil and gas reserves as a source of energy and as a basis for the production of basic chemicals is shrinking. If starch crops are used as biogenic material (e. g. ethanol production), they will always compete with human consumption, either directly or for acreage. To avoid conflicts, more and more focus is being placed on lignocellulose. Lignocellulose exists in large quantities as a building block of land plants (annually from 10^{11} to 10^{12} t) and, because it grows back, is virtually inexhaustible. Lignocellulose consists of 3 major components: cellulose, hemicellulose and lignin. So far, it has been primarily cellulose which has been of commercial interest – especially in the paper industry. It is available in large quantities worldwide, however its proportion of the raw material is about 40 percent, so the total added value is insufficient. Sustainable pulping of lignocellulose is essential for the development and optimization of new processes whose aim must be to achieve the most quantitative and qualitative production of the three main components.

So-called ionic liquids (IL) consisting of an organic cation and a variable anion offer a particularly promising approach. In addition to solvency, the following criteria were crucial in the screening of more than 50 potential ILs:

- corrosiveness (avoiding halide as a counter-ion)
- environmental impact (avoiding complex anions especially those containing fluoride)
- energy expenditure (melting point < 60 °C)
- commercial availability of precursors and prospects of a low-cost large-scale synthesis

Fig. 1 shows the basic structures that have been manufactured and tested. It turns out that neither protonated (1) nor peralkylated aliphatic cations (2) satisfy the above criteria. Only imidazole-based cations (3) proved to be suitable and were subjected to a corresponding anions screening. Fig. 2 shows the ILs from 30 differently pretreated lignocellulosic species (pine, spruce, poplar, wheat, ...) which were optimized through systematic dissolution experiments (standard conditions: 3 h, 130 °C). In particular, compounds 5 and 6 (1-alkyl-3-methylimidazoliumcyclohexylcarboxylates) proved to be very suitable solvents. This was determined through light microscopic studies (Fig. 3) and gravimetric determination of the dissolved portion. In addition, the ionic liquids were fully characterized (NMR, mp, Kamlet-Taft parameters, rheology).

Through an extensive series of tests coupled with systematic application studies, new IL structures have been identified and synthesized on a pilot scale which form the basis of an effective solvent for lignocellulose. The price of the IL prior to commercial use, however, requires the establishment of effective recycling processes.

Kontakt Contact



Dr. Jörg Bohrisch

Telefon +49 331 568-1331

Fax +49 331 568-3000

joerg.bohrisch@iap.fraunhofer.de

Förderung Funding

- Marktorientierte strategische Vorlaufforschung (MAVO) der Fraunhofer-Gesellschaft; Projekt »PROLIGNOCEL«

Kooperation Collaboration

- Fraunhofer IGB, Stuttgart
- Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen
- Fraunhofer ISI, Karlsruhe
- Fraunhofer WKI, Braunschweig
- Dr. André Lehmann, Robert Protz (Fraunhofer IAP), siehe S. 36
- Dr. Bert Volkert (Fraunhofer IAP), siehe S. 38

PILOTANLAGEN- ZENTRUM SCHKOPAU PILOT PLANT CENTER SCHKOPAU

- 92** **Forschung und Entwicklung im großen Stil:
Monomer – Synthese – Verarbeitung – Bauteil**
Research and development on a grand scale:
monomers – synthesis – processing – components
- 96** **Anwendungen und Dienstleistungen**
Applications and services
- 98** **Maßstabsübertragung von stark
exothermen Dispersionspolymerisationen**
Scale-up of a very exothermic
dispersion polymerization
- 100** **Direktverarbeitung langfaserverstärkter
Thermoplaste im Spritzgießcompoundierprozess**
Direct processing of long fiber-reinforced
thermoplastics using injection molding
compounding process

Prof. Dr. Michael Bartke – Im Synthesetechnikum des Fraunhofer PAZ werden Technologien und Verfahren entwickelt und vom Labor- in den Pilotmaßstab übertragen. |

Prof. Dr. Michael Bartke – In the synthesis pilot plant of Fraunhofer PAZ technologies and processes are developed and transferred from laboratory to pilot scale.



pioneers in polymers



FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG IM GROSSEN STIL: MONOMER – SYNTHESE – VERARBEITUNG – BAUTEIL

Im Fraunhofer-Pilotanlagenzentrum für Polymersynthese und -verarbeitung PAZ in Schkopau werden neue Produkte und innovative Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette entwickelt – vom Monomer über die Synthese und Verarbeitung von Polymeren bis zum geprüften Bauteil nach Maß. In der gemeinsamen Initiative der Fraunhofer-Institute IAP und IWM werden schwerpunktmäßig Fragen der Maßstabsvergrößerung von Polymersynthese- und Verarbeitungsprozessen bearbeitet. Polymersynthese und -verarbeitung sind dabei eng miteinander verzahnt: Auf einer Technikumsfläche von ca. 1000 m² und ca. 700 m² Büro- und Laborfläche können am PAZ sowohl Polymersyntheseverfahren in Lösung, Masse, Emulsion und Suspension als auch verschiedene Verarbeitungsverfahren, einschließlich Injection Molding Compounding (IMC), durchgeführt werden. Sowohl die technischen Möglichkeiten als auch die Bündelung der Kompetenzen auf beiden Fachgebieten, stellen Alleinstellungsmerkmale des Pilotanlagenzentrums am FuE-Markt dar.

Die Finanzierung der Forschungsarbeiten 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.

Flexibilität und Kompetenz

Von der kunststofferzeugenden und -verarbeitenden Industrie wird das Fraunhofer PAZ als etablierte Forschungseinrichtung angenommen, wie die große Zahl der Aufträge und der erfolgreichen Projektabschlüsse belegt. Dies ist einerseits auf die Kombination von Synthese und Verarbeitung zurückzuführen. Andererseits ist die breite technologische Aufstellung der Anlagen von Vorteil. Denn hier kann eine Vielzahl der technisch

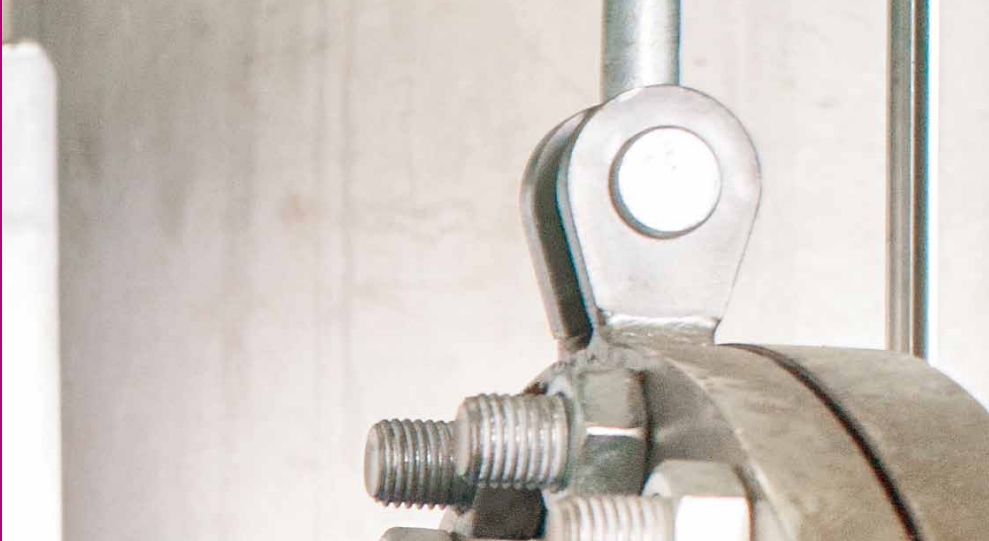
wichtigen Verfahren im Pilotmaßstab äußerst flexibel abgebildet werden. Zudem wurde das Team in den letzten Jahren vor allem im technischen und ingenieurwissenschaftlichen Bereich verstärkt. Somit können heute auch stark technisch geprägte Forschungs- und Entwicklungsleistungen angeboten werden.

Im Bereich Synthese gibt es den Trend, dass neben der Übertragung neuartiger Polymersysteme in den Pilotmaßstab und der Mustermengensynthese auch mehr und mehr Verfahrensentwicklung von Polyreaktionen am Pilotanlagenzentrum durchgeführt wird. In der Polymerverarbeitung nehmen Materialentwicklung und Optimierung der Verarbeitungsbedingungen einen hohen Stellenwert in der Projektbearbeitung ein.

Polymersynthese im Tonnenmaßstab

Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Polymersynthesetechnikum konzentrieren sich insbesondere auf die radikalische, die anionische und die koordinative Polymerisation sowie auf die Polykondensation. Technologien und Verfahren werden hier entwickelt und vom Labor- in den Pilotmaßstab übertragen. Je nach Projektfokus können die Arbeiten auch mit der Rezeptur- und Produktentwicklung im Labor starten. Bei der Umsetzung der Projekte stehen neben gut ausgestatteten Synthese- und Analytiklaboren auch eine hochmoderne Mehrprodukt-Multifunktionspilotanlage zu Verfügung. Hier können eine große Anzahl technisch relevanter Verfahren im industrienahen Maßstab abgebildet und Mustermengen bis in den Tonnenbereich erzeugt werden. Stofflich liegt der Fokus im Bereich der Polymersynthese auf Kautschuk, Elastomeren und Polykondensaten wie Polyester und Polyamide, aber auch viele andere Stoffsysteme wurden bereits erfolgreich bearbeitet.

Ein wichtiges Projekt im ersten Halbjahr 2012 war eine Verfahrensentwicklung zur Herstellung einer Monomerkomponente



für ein mittelständiges Unternehmen aus der Region. Es war durch eine hohe technische Komplexität gekennzeichnet und innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft das größte Projekt mit einem Neukunden im ersten Quartal 2012. Ein weiterer internationaler Neukunde konnte im Bereich thermoplastische Elastomere gewonnen werden. Im zweiten Halbjahr 2012 wurde für diesen Kunden eine erste, anspruchsvolle Kampagne durchgeführt. Nachfolgeprojekte für das Jahr 2013 zeichnen sich ab. Weitere Labor- und Technikumsprojekte wurden für einen internationalen Kunden im Bereich Synthesekautschuk durchgeführt.

Umfangreiche Arbeiten wurden auch im Rahmen eines EU-Projektes zur Maßstabsübertragung von zwei am Fraunhofer IAP entwickelten Dispersionspolymerisationen durchgeführt. Neben den genannten Projekten wurde auch eine Reihe weiterer Laborprojekte bearbeitet.

Polymerverarbeitung bis zum Prototypen

Im Bereich Polymerverarbeitung verfügt das Fraunhofer PAZ sowohl über ein umfangreiches Know-how auf dem Gebiet Polymerverarbeitung, als auch bei der Charakterisierung von Struktureigenschaftsbeziehungen für Thermoplaste, Duroplaste, Elastomere und Faserverbundwerkstoffe. Schwerpunkte liegen in der Material-, Verfahrens- und Bauteilentwicklung für langfaserverstärkte Thermoplaste (LFT), hochgefüllte Kunststoffe und Blends. Für die Verarbeitung dieser Materialien verfügen das Pilotanlagenzentrum über Extrusions- und Spritzgussgeräte. Zudem ist die Direktcompoundierung in einem Injection Molding Compounder (IMC) möglich. Dabei erfolgen Extrusion und Spritzguss in einem einstufigen Prozess in derselben Maschine. Einen Schwerpunkt bildet die systematische Bewertung des Einflusses der Materialsysteme und technologischen Bedingungen auf die Kennwerte im Bauteil. So liefert die experimentelle und numerische Beschreibung des

Werkstoffverhaltens Aussagen über das Einsatzverhalten und die Zuverlässigkeit der Kunststoffbauteile.

Mit der erfolgten Inbetriebnahme eines Injection Molding Compounder KM3200-24500 MX IMC mit einer maximalen Schließkraft von 32 000 kN und der bereits existierenden Anlage KM1300-14000 IMC konnten in 2012 verschiedenste Kunden hinsichtlich Materialuntersuchungen und Erstbemusterungen von Spritzgießwerkzeugen zum Beispiel mit hochgefüllten oder faserverstärkten Bauteilen unterstützt werden.

In 2012 konnten erste, komplett polymerbasierte Demonstratoren für ein Photovoltaikmodul in Realgröße hergestellt werden. Das Fertigungskonzept wurde im Oktober zur Auftaktveranstaltung des neuen Innovationsclusters »Kunststoffe und Kunststofftechnologien für die Solarindustrie« am Fraunhofer PAZ vorgestellt.

In einem vom BMBF geförderten Projekt konnten die Grundlagen zur Herstellung neuer Werkstoffe entwickelt werden, die zwischen Kunststoffen und Wachsen einzuordnen sind und damit über interessante Eigenschaften wie enger Schmelzbereich, hohe Latentwärme und geringe Viskosität verfügen und kostengünstig und umweltgerecht herzustellen sind. Diese modifizierten Kunststoffe könnten z. B. in der Lack- und Klebstoffindustrie oder als Wärmespeichermedium Anwendung finden. Im Rahmen des Vorhabens soll nunmehr nachgewiesen werden, dass das Verfahren nicht nur im Labormaßstab funktioniert, sondern auch im industriellen Maßstab angewendet werden kann.

Mit internationalen Kunden wurden Untersuchungen zur Optimierung von Compounderkonfigurationen für die Herstellung naturfasergefüllter Thermoplaste im pre-industriellen Maßstab durchgeführt.

RESEARCH AND DEVELOPMENT ON A GRAND SCALE: MONOMERS – SYNTHESIS – PROCESSING – COMPONENTS

At the Fraunhofer Pilot Plant Center for Polymer Synthesis and Processing (PAZ) in Schkopau new products and innovative technologies are developed along the entire value chain – from monomers to polymer synthesis and production and tailor-made tested components. The joint initiative of Fraunhofer IAP and IWM focuses on upscaling polymer synthesis and production processes. Here, polymer synthesis and processing are closely intertwined. With a pilot plant of approximately 1,000 m² and around 700 m² of office and lab space, PAZ is able to conduct solution, mass, emulsion and suspension polymerization as well as various production processes including injection molding compounding (IMC). The Pilot Plant Center's unique selling points on the R&D market are its technical capabilities and its ability to pool its expertises in both areas.

The Fraunhofer model is a successful way to finance research work and is marked by a high proportion of funding from industry. In addition to expanding industrial contract research, Fraunhofer PAZ focuses on procuring publicly funded projects in order to perform initial research and to develop and prepare new fields of activity.

Flexibility and expertise

Plastic manufacturers and processors view Fraunhofer PAZ as an established research facility. The large number of orders it receives and projects it successfully completes are a testament to this. Its success is the result of combining synthesis and processing as well as the broad technological capabilities offered by its plants. Here a large number of crucial technical processes can be very flexibly reproduced on a pilot scale. In

addition to this, the team has recently been strengthened, most particularly in the areas of technology and engineering. Thus we are now able to offer highly technology-based research and development.

In addition to upscaling innovative polymer systems to pilot scale and sample quantity synthesis, the trend in synthesis at the Pilot Plant Center is moving more and more towards developing processes for polyreactions. In the area of polymer processing, projects focus on material development and optimizing processing conditions.

Polymer synthesis on a ton scale

The research and development activities at the polymer synthesis plant particularly focus on radical, anionic and coordinative polymerization and polycondensation. Here technologies and processes are developed and upscaled from lab to pilot scale. Depending on the focus of the project, lab work may also start in the lab with recipe or product development. In order to implement these projects we have well-equipped synthesis and analytical labs, as well as a state-of-the-art multi-product and multi-function pilot plant at our disposal. Here a large number of technically relevant processes can be reproduced on an industrial scale and sample quantities up to ton scale can be produced. In terms of materials, the focus of polymer synthesis is on rubber, elastomers and polycondensates like polyesters and polyamides. Many other material systems have already been successfully processed.

One important project during the first half of 2012 was to develop a process to produce a monomer component for a local medium-sized company. This was technically very complex and was Fraunhofer-Gesellschaft's largest project with a new client in the first quarter of 2012. Another international client was acquired in the area of thermoplastic elastomers. The first ambitious campaign was carried out for this client in the second half of 2012. Follow-up projects are scheduled for 2013. Additional lab and pilot plant projects were conducted for an international customer in the area of synthetic rubber. Extensive work was also carried out as part of an EU project on upscaling two dispersion polymerization processes developed at Fraunhofer IAP. In addition to these projects, a series of other lab projects were carried out.

Polymer processing resulting in prototypes

In the field of polymer processing, Fraunhofer PAZ not only has expertise in polymer processing, but also in characterizing structure property relationships for thermoplastics, thermosets, elastomers and fiber-reinforced composites. Focus is on material, process and component development for long-fiber-reinforced thermoplastics (LFT), highly filled polymers and blends. The Pilot Plant Center is equipped with extrusion and injection molding machines to process these materials. Additionally, direct compounding is possible in an injection molding compounder (IMC). Here extrusion and injection molding occur in a one-step process in one machine. Focus is placed on the impact that systematic analysis of the material systems and technological conditions have on the properties of the components. Thus the experimental and numerical description of the

material behavior provides information on the performance behavior and reliability of the plastic components.

The successful start up of our injection molding compounder KM 3200–24500 MX IMC, with a maximum clamping force of 32,000 kN, and our existing KM 1300–14000 IMC compounder meant we were able to support many different customers in 2012 with material analyses and initial sampling of injection molds that have, for example, highly filled or fiber-reinforced plastic components.

In 2012 the first complete full-scale polymer-based demonstrators could be produced for a photovoltaic panel. The manufacturing concept was presented in October at the kick-off event of the new Innovation Cluster "Plastics and Plastics Technologies for the Solar Industry" at Fraunhofer PAZ.

In a BMBF funded project, foundations could be laid for manufacturing new materials that fall between plastics and waxes and therefore have interesting properties such as narrow melting points, high latent heat and low viscosity, and can be produced in an economic and environmentally friendly way. These modified plastics can be used in the paint and adhesives industry or as a heat storage medium. Now the project is working to prove that the process is not only successful on a lab scale, but also can be used on an industrial scale.

Together with international clients, we investigated ways of optimizing compounder configurations to produce natural fiber-filled thermoplastics on a pre-industrial scale.

ANWENDUNGEN UND DIENSTLEISTUNGEN

Leistungsangebot

- Auftragssynthese: 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 Technikummaßstab

Pilotanlage – Synthese

Ausrüstung

- Begasungs-/Hydrierreaktor
- Emulsionspolymerisation (kontinuierlich, Batch)
- Hochviskosetechnologie (Ein- und Doppelwellenknetter, Scheibenreaktor)
- Lösungspolymerisation (kontinuierlich, Batch)
- Massepolymerisation (kontinuierlich, Batch)
- Suspensionspolymerisation

Designparameter der Synthesereaktoren

- Betriebsdruck: –1 bis 100 bar
- Betriebstemperatur: –5 bis 350 °C
- Durchsatz: 5 bis 100 kg/h
- Endviskositäten: bis 40 000 Pas
- 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 provided

- characterization of material, structure and correlation with properties
- contract syntheses: 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 differnt eluents (THF, DMF, HFIP, water systems)

Pilot plant – synthesis

Equipment

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

Design parameters of synthesis reactors

- final viscosities: up to 40,000 Pas
- 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. 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

Dipl.-Ing. Ivonne Jahn (komm.)

Telefon +49 345 5589-474
Fax +49 345 5589-101
ivonne.jahn@iwmh.fraunhofer.de

V [m ³]	Q _{chem} [kW]	A [m ²]	ΔT [K]
0,001	0,1	0,05	5,4
0,05	5	0,63	20,0
0,4	40	2,5	39,9
1	100	4,6	54,2
5	500	13,5	92,7

1

Maßstabsübertragung von stark exothermen Dispersionspolymerisationen

Ausgangspunkt für das Scale-up einer funktionalisierten Latexdispersion war die am Fraunhofer IAP in Potsdam-Golm entwickelte batchweise Synthese im 25-Liter-Reaktor. Messungen im Reaktionskalorimeter zeigten, dass ca. 10 Minuten nach dem Start der Reaktion eine maximale Wärmestromdichte von etwa 100 kW/m³ auftritt. Somit ist dieser Prozess extrem exotherm. Der gemessene Wärmestrom (Q_{chem}) wurde für die Abschätzung der benötigten Temperaturdifferenz (ΔT) zwischen Reaktionstemperatur und Kühlmedium verwendet. Die Wärmeübertragungsfläche (A) wurde auf Basis eines volumenäquivalenten Zylinders berechnet, die Wärmeübergangszahl auf 400 W/(m²K) abgeschätzt. Dieser Wert scheint zulässig, da der maximale Q_{chem} kurz nach dem Start auftritt. Zu diesem Zeitpunkt ist das System noch niedrigviskos. In Fig. 1 sind die berechneten ΔT-Werte aufgeführt. Während sich bei einem Reaktionsvolumen von bis zu 50 Litern realisierbare Differenzen ergeben, liegt schon beim 400-Liter-Maßstab das notwendige ΔT bei fast 40 K – ein Wert, der in der Praxis nicht akzeptabel ist. Ab der m³-Größe sind die theoretischen ΔT-Werte jenseits aller realistischen Bereiche.

Daraus folgt, dass entweder

- der Wärmestrom vergleichmäßig werden muss, z. B. durch eine semibatch-Fahrweise oder
- ein zusätzlicher/geänderter Wärmeabfuhrmechanismus eingesetzt werden muss.

Variante a) bedingt wesentliche Änderungen bei der Rezeptur, welche in dieser Projektphase nicht statthaft waren. Daher wurde Maßnahme b) favorisiert und als Alternative eine Wärmeabfuhr durch Kondensationskühlung (KK) statt durch Wandkühlung untersucht.

KK bedeutet, dass der Reaktor bei Siedebedingungen betrieben wird. Ein Teil des entstehenden Dampfes wird aus dem Reaktor entfernt, in einem externen Wärmetauscher kondensiert und zurückgeführt. Im Allgemeinen können durch KK große Wärmemengen auch bei erhöhten Viskositäten entfernt werden. Ein potenzielles Problem ist das Schäumen, welches zum Anstieg der Koagulatbildung führen kann. Um die KK zu ermöglichen, wurden die Reaktionsbedingungen leicht abgeändert. Der Reaktionsdruck wurde auf ca. 300 mbar_{abs} abgesenkt, um Siedebedingungen bei der Reaktionstemperatur von 65 °C zu realisieren. Versuche im Labormaßstab mit diesem Konzept bei konstanter Temperatur und Nutzung der KK waren erfolgreich.

Für das Design eines technischen Reaktors ist die Dimensionierung der Dampfleitung kritisch. Bereits im 400-Liter-Maßstab müssen Dampfmenngen von etwa 100 L/s abgeführt werden. Der Querschnitt muss groß genug sein, um hohe Dampfgeschwindigkeiten und damit Schaumbildung zu vermeiden. Aufgrund der vorgegebenen Deckelgeometrie wurden zur Geschwindigkeitsreduzierung zwei Flansche verwendet (Fig. 2). Nach der Umstellung auf Kondensationskühlung erwies sich die Latex-Synthese im halbtechnischen Maßstab als problemlos und wurde mehrfach erfolgreich durchgeführt. Die angepassten Rezepte führten zu minimaler Koagulatbildung und Reaktorbelegung. Der Latex entspricht in seiner Viskosität den Anforderungen; physikalische Parameter, wie Feststoffgehalt und Partikelgröße, lagen im Zielbereich.

1 Temperature differences required for heat removal at different scales.

2 Reactor head C2510 with vapor line (using two flanges to reduce vapor velocities).



Scale-up of a very exothermic dispersion polymerization

The starting point for the scale-up of functionalized latex was an optimized batch-wise synthesis recipe developed for the 25 liter reactor in Golm. Reference experiments were performed in a reaction calorimeter. Maximum heat flow occurred approx. 10 minutes after the start of the reaction and equaled approx. 100 kW/m^3 , making this process extremely exothermic. The measured maximum heat flow (Q_{chem}) was used to calculate the required temperature difference (ΔT). The heat transfer area (A) was approximated using a volume-equivalent cylinder, the heat-transfer coefficient kw was estimated at $400 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. This seems to have been a fair estimation, since the maximum Q_{chem} occurred just 10 minutes after the start of the process, so that the reaction mixture still behaved as a low-solid, low viscosity system. According to Fig. 1, the required ΔT values were within a reasonable range up to a reaction volume of 50 liter. However at the 400 liter level, the ΔT was already close to 40 K. This is not acceptable in practice. At the m^3 production scale, the ΔT values that were theoretically required were beyond any realistic range.

The conclusion was that either

- a) the heat release had to be equalized, e. g. by a semi-batch operational procedure, or
- b) an additional or an alternative heat removal mechanism had to be applied.

Since measure a) would have imposed significant changes to the recipe which was not advisable at this stage of the project, we decided to follow route b) in order to solve the heat transfer problem. Thus, heat removal by condensation cooling (CC), instead of by wall cooling, was explored as the most attractive alternative.

CC means that the reactor is operated at boiling conditions and part of the vapor is removed from the reactor and condensed in an external heat exchanger from which the condensate is fed back to the reactor. In general, large heat loads can be removed even at elevated viscosities using the CC method. One potential problem for CC is foaming which can give rise to coagulum formation. Reaction conditions were adjusted slightly in order to use CC to synthesize the functionalized latex. In particular, pressure was lowered to approx. $300 \text{ mbar}_{\text{abs}}$, in order to obtain boiling conditions at a reaction temperature of $65 \text{ }^\circ\text{C}$. Initial experiments on a laboratory scale were successful using this recipe, operating at a constant temperature and utilizing CC.

Sizing of the vapor line is critical when designing a technical reactor. With this reactor, the measured peak exothermy corresponded to a vapor flow of nearly 100 L/s . The cross section had to be big enough in order to avoid high vapor velocities facilitating foam formation. For these reason two flanges of the existing reactor head were used (Fig. 2). After switching to CC, further scale-up of the functionalized latex synthesis to the 400 liter scale proved to be fairly straightforward and was successfully accomplished. The adapted recipes resulted in minimal coagulum and reactor fouling. Furthermore, the materials obtained in the scaled-up polymerization runs exhibited a low viscosity; physical parameters – such as solid content and particle size – were in the target range.

Kontakt Contact



Prof. Dr.-Ing. Michael Bartke

Telefon +49 3461 2598-120

Fax +49 3461 2598-105

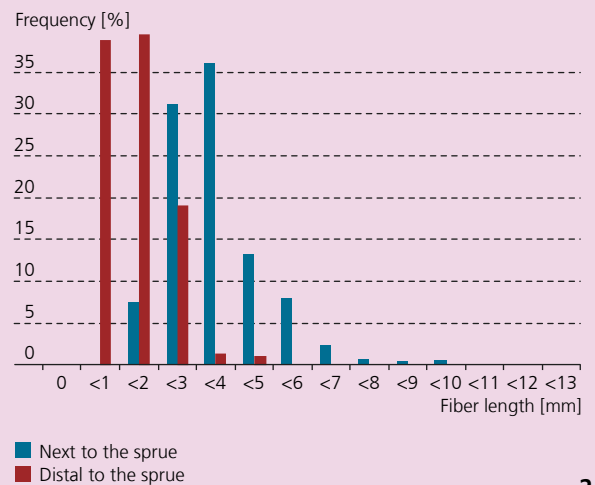
michael.bartke@iap.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Andreas Großer

Telefon +49 3461 2598-223

Fax +49 3461 2598-105

andreas.grosser@iap.fraunhofer.de



Direktverarbeitung langfaserverstärkter Thermoplaste im Spritzgießcompoundierprozess

Spritzgießcompoundierung – zwei Verarbeitungsschritte in einer Maschine | Einen innovativen Verarbeitungsprozess im Bereich der Formteilherstellung bietet die Möglichkeit der Spritzgießcompoundierung – einer Kombination aus Compoundierung und Spritzguss in einer Maschine. Neben einem zeit- und energieeffizienten Arbeiten ist es möglich, langfaserverstärkte Spritzgussbauteile mit mittleren Faserlängen bis in den Zentimeter-Bereich herzustellen, die im Vergleich zu kurzfaserverstärkten Bauteilen deutliche Eigenschaftsvorteile wie bessere Schlagzähigkeiten und mechanische Festigkeiten aufweisen können. Hieraus resultiert wiederum die Möglichkeit von Materialeinsparungen oder konstruktiven Optimierungen an den Bauteilen.

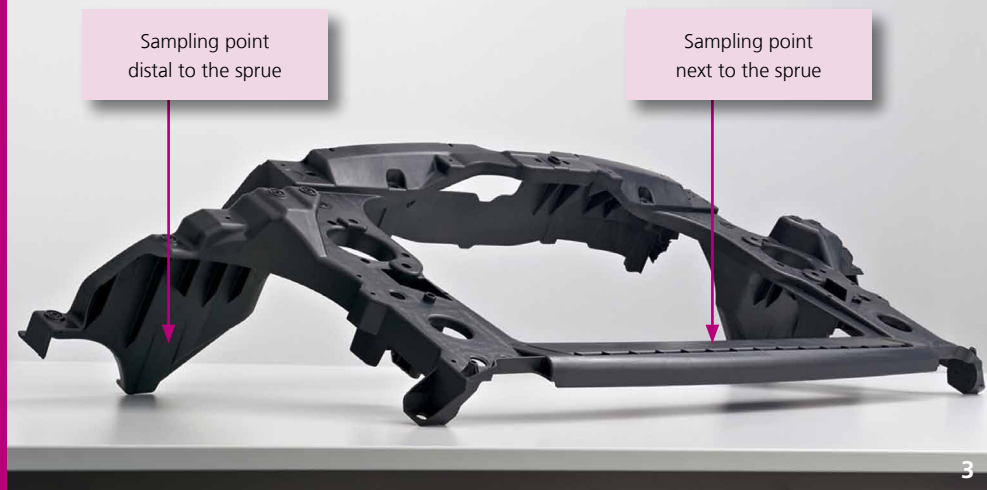
Verarbeitung im Industriemaßstab | Um zusammen mit seinen Kunden Aufgabenstellungen wie Materialentwicklungen und Verfahrensoptimierungen bis in den industriellen Maßstab durchführen zu können, hat sich das Fraunhofer PAZ hinsichtlich seines Maschinenparks auf derartige »Scale up«-Prozesse von kleineren Maschinen in den Industriemaßstab spezialisiert. So wurde ein Injection Molding Compounder KM 3200-24500 MX IMC (Fig. 1) mit einer maximalen Schließkraft von 32 000 kN und einem maximalen Schussgewicht von etwa 20 kg in Betrieb genommen. Neben der bereits existierenden Anlage KM 1300-14000 IMC kann nun sehr flexibel auf verschiedenste Kundenwünsche eingegangen werden und hochgefüllte oder faserverstärkte Bauteile mit Schussgewichten von unter 500 g–20 kg hergestellt werden.

Langfaserverstärkung im Spritzgussbauteil | Üblicherweise werden im Spritzgießcompoundierprozess für eine Langfaserverstärkung Endlosfasern in Form sogenannter Faserrovings verwendet, die dem Extruder direkt zugeführt, dort eingekürzt und in die Polymerschmelze eingearbeitet werden. Die dann im spritzgegossenen Bauteil vorliegenden Faserlängen hängen von verschiedensten Faktoren wie dem Maschinenaufbau, den Prozessparametern oder der Fasertypen ab. Ebenso stellen sich durch die Anguss- und Werkzeug-Geometrie unterschiedliche mittlere Faserlängen ein, da die eingespritzte Compounderschmelze teilweise scherintensive Strukturen in der Werkzeugform überwinden muss. Fig. 2 zeigt zwei Faserlängenverteilungen von Carbonfasern an unterschiedlichen Stellen im Bauteil (Fig. 3), die als Endlosfasern eingearbeitet wurden. Während angussnah etwa 60 Prozent der gemessenen Fasern eine Länge von 2–4 mm besitzen, werden für rund 80 Prozent der Fasern angussfern Faserlängen unter 2 mm ermittelt. Wie Untersuchungen an glasfaserverstärkten Bauteilen zeigen, kann durch eine Optimierung der Compoundierbedingungen, des Angussystems und der Werkzeuggeometrie eine signifikante Steigerung der im Bauteil vorliegenden Faserlängen erfolgen und damit das Eigenschaftsprofil des Bauteils deutlich verbessert werden.

1 Injection molding compounder
KM3200-24500 MX IMC at Fraunhofer PAZ.

2 Fiber length distribution among
the extracted fibers.

3 Carbon fiber-reinforced automotive
front end support with sample extraction
points for determining fiber length.



Direct processing of long fiber-reinforced thermoplastics using injection molding compounding process

Injection molding compounding – two processing steps in one unit | Injection molding compounding is an innovative processing technology for producing structural parts which is based on combining compounding and injection molding in one machine unit. This enables long-fiber-reinforced parts to be produced that have an average fiber length that is on a centimeter scale. Thus, mechanical properties, especially impact strength, are improved compared to short-fiber-reinforced parts. This offers the opportunity to save on material and to optimize the structural design of the parts, in addition to an overall improvement in processing time and energy efficiency.

Processing on an industrial scale | The equipment at Fraunhofer PAZ is specialized in the up-scaling of production processes from small units to an industrial scale. This enables us to develop materials and optimize processes on a pilot scale together with our partners and customers. Accordingly, an injection molding compounder KM3200-24500 MXIMC (Fig. 1) with a maximum clamping force of 32,000 kN and a maximum shot weight of 20 kg was put into operation. In combination with the existing KM1300-14000 IMC unit, highly filled or fiber-reinforced parts ranging from 500 g to 20 kg can be processed with a focus on customer needs.

Long-fiber-reinforcement of injection molded parts | Long-fiber-reinforcement through injection molding compounding is done by feeding the endless fiber rovings into the extruder of the processing unit where they are shortened and incorporated into the polymer melt. The average fiber length in the final injection molded part depends on different factors like unit design, processing parameters or fiber type. Additionally, the sprue and the mold design impact the average fiber length due to the intense shear stress in the polymer melt in the mold. There are two resulting fiber length distributions of carbon fibers shown in Fig. 2, determined at different positions of the processed part (Fig. 3) and incorporated as endless fibers rovings into the extruder. While 60 percent of the fibers next to the sprue have a fiber length of 2 to 4 mm, approximately 80 percent of the fibers distal to the sprue have a fiber length below 2 mm. As systematic investigations of glass fiber reinforced parts have shown, optimizing compounding conditions, the sprue and the mold design can significantly improve the average fiber length and thus the overall property profile of the processed part.

Kontakt Contact



Dipl.-Ing. Ivonne Jahn

Telefon +49 345 5589-474

Fax +49 345 5589-101

ivonne.jahn@iwmh.fraunhofer.de

Kooperation Collaboration

– Fraunhofer-Institut für

Werkstoffmechanik Halle IWMH

FAKTEN, EREIGNISSE, PUBLIKATIONEN

FACTS, EVENTS, PUBLICATIONS

- 104 Rückblick 2012**
Review 2012
- 106 Methoden und Ausstattung**
Methods and equipment
- 110 Zusammenarbeit**
Cooperation
- 116 Ereignisse**
Events
- 118 Publikationen**
Publications
- 133 Patente**
Patents
- 135 Anfahrt**
How to reach us

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



Bem Vindos
Herzlich Willkommen



FLEXSOLAR
CÉLULAS SOLARES



Fraunhofer
IAP

Fraunhofer IAP, Berlin, 03.10.2012



RÜCKBLICK 2012

REVIEW 2012



Einweihung des neuen Anwendungszentrums am Fraunhofer IAP, 12. 6. 2012.



Biopolymer-Kolloquium, Potsdam, 26. 1. 2012.



Flexsolar Vertragsunterzeichnung in Brasilien, 3. 10. 2012.



Lange Nacht der Wissenschaften 2012.



Besuch des Executiveboard des European Chemical Region Network im Fraunhofer IAP, 29. 2. 2012.



Gäste des Workshop »Biopolymere zum Anfassen«, 29. 6. 2012.



Gäste vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur im Fraunhofer IAP, 5. 9. 2012.



Lange Nacht der Wissenschaften 2012.



Besuch von CDU-Generalsekretär Hermann Gröhe MdB, ehem. Bundesforschungsministerin Annette Schavan und der Parl. Staatssekretärin Katherina Reiche im Fraunhofer IAP, 21. 8. 2012.



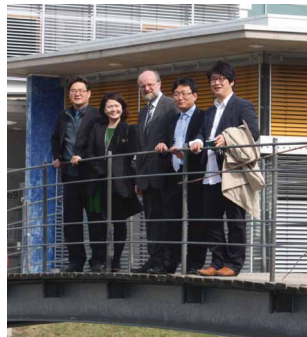
Besuch einer brasilianischen Delegation, 23. 11. 2012.



Lange Nacht der Wissenschaften 2012.



Besuch Prof. Neumann, Forschungspolitischer Sprecher der FDP-Bundestagsfraktion, 17. 9. 2012.



Besuch einer koreanischen Delegation, 27. 3. 2012.



Einweihung des neuen Anwendungszentrums am Fraunhofer IAP, 12. 6. 2012.



Flexsolar Vertragsunterzeichnung in Brasilien, 3. 10. 2012.



Workshop der Technologieplattform Mikroverkapselung, 11. 7. 2012.

METHODEN UND AUSSTATTUNG

METHODS AND EQUIPMENT

Polymersynthese – Polymerverarbeitung

Reaktoren und Knetter

- Laborreaktoren 0,05–50 L
- Laborautoklaven 1–5 L
- Explosionsgeschützter 50 L-Reaktor
- Hochdruckreaktoren
- Reaktionskalorimeter RC1
- Automatische Reaktorsysteme LabMax
- Mikrowellenreaktor
- Laborfermenter
- Laborknetter und -zerfaserer,
- Pflugschar-Mischer
- Messknetter

Extruder und Zubehör

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

Spritzgießen

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

Spinnanlagen

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

Probenaufarbeitung

- Labor- und Technikums-zentrifugen
- Ultrazentrifugen
- Ultrafiltrationsanlagen
- Hochdruckhomogenisator
- Ultraschallhomogenisator
- Bead Beater-Homogenisator
- Gefriertrocknungsanlagen
- Sprühtrockner
- Wirbelschichttrockner
- Kugel-, Schneid-, Zentrifugal-, Cryo-Schwingmühlen
- 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

Pilotanlage PLA-Synthese

- Rektifikationskolonne
- Schmelzekristallisator
- Kleintechnische Reaktorsysteme
- Dünnschichtverdampfer
- Micro-Compounder

Oberflächen, Filme und Membranen

- Labor-Plasmareaktoren
- Pilot-Plasmaanlage
- Plasmaanlage für Bahnwähre
- Excimer-Strahler
- Corona-Treater
- Derivatisierungskammer
- Metallisierungsgeräte
- Atomlagenabscheidung (ALD)
- Easycoater
- Rotary-Coater
- Spincoater
- Sprühcoater
- automatisches Filmziehgerät
- Membranziehmaschine für Flachmembranen
- Kalt-aktives Plasmagerät

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
- präparative HPLC
- Heißluft-Sterilisator
- Autoklaven 120 L
- Mikrobiologische Sicherheitswerkbänke
- Stand- und Schüttelinkubatoren
- Kühlraum

Pilotlinie für organische elektronische Bauelemente

- Inkjet-Drucker
- Schlitzdüsendrucker
- Aufdampfanlage (thermisch und Elektronenstrahl)
- Sputteranlage
- Atomic layer deposition (ALD)
- UV-Reinigung
- UV Press

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 – 14 000 IMC (Schließkraft 1300 Tonnen)
- Spritzgießmaschine KM 200 (Schließkraft 200 Tonnen)

Ausführliche Informationen zu unserem umfangreichen Analytikangebot finden Sie unter:

www.iap.fraunhofer.de

Analytik und Charakterisierung

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)
- Lasing 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

Chromatographie und Lösungscharakterisierung

- Gel-Permeations-Chromatographen mit Multidetektion (VISCO, MALLS, UV, RI, ELSD), analytisch und präparativ
- Interferometrisches Refraktometer (dn/dc-Bestimmung)
- Hochleistungs-Flüssig-Chromatographen mit Multidetektion (UV, RI, ELSD, DAD, ESI-MS, APCI-MS)
- Hochleistungs-Aionenaustausch-Chromatograph mit gepulstem amperometrischen Detektor
- Ionenchromatograph
- Gaschromatographen
- Gaschromatographen mit Multidetektion (FID, MS)

- Elementaranalysator (CHNS/O)
- Goniometer für statische Lichtstreuung
- Dynamische Lichtstreuung
- Analytische Ultrazentrifuge
- Dampfdruckosmometer
- Membranosmometer
- Trübungsphotometer
- Tensiometer
- System zur Polyelektrolyttitration

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 zur Messung der Quanteneffizienz
- dielektrische Spektroskopie
- Ellipsometer

Rheologie

- Rotationsviskosimeter
- Oszillationsrheometer
- Rheometer-Hochdruck-

- messzelle für Lösungsviskosität bis 160 °C
- Automatische Kapillar-Viskosimeter für Lösungsviskosität

Morphologie und Strukturaufklärung

- Rasterelektronenmikroskop inkl. Röntgenmikroanalyse (EDX) und Rückstreuелеktronendetektor, Ausrüstung für Kryopräparation feuchter Proben
- Transmissionselektronenmikroskop; Ultradünnschnitttechnik, Kryomikrotomie, Abdrucktechniken
- Lichtmikroskope mit Video- und Bildanalysetechnik
- Inverses Fluoreszenzmikroskop
- Konfokales Laserscanning Mikroskop
- Röntgengeräte für Weitwinkel- (WAXS) und Kleinwinkelstreuung (SAXS)
- Quecksilberporosimetrie
- Volumetrische Gasadsorption (BET)
- Dynamische Wasserdampfsorption

Materialkenndaten

- Dynamisches Scanning-Kalorimeter
- Dynamisch-mechanischer Analysator
- Thermogravimetrische Analyse
- 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 nm
- Geräte zur Bestimmung der Materialfeuchte von Granulat
- Infrarot-Feuchtigkeitsmessgerät
- Dichtebestimmung von Festkörpern und Flüssigkeiten (Biegeschwinger)
- Helium-Pyknometer zur Dichtebestimmung
- Partikelgrößenmessgeräte
- Zetapotential-Analysengeräte
- Ladungsträgerbeweglichkeit
- OLED-Lebensdauerprüfung
- Suntester
- Optical-Calcium-Test
- Membrantestanlage für Gase

Oberflächenanalyse

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

DNA- und Proteinanalytik

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

METHODEN UND AUSSTATTUNG

METHODS AND EQUIPMENT

Polymer synthesis – Polymer processing

Reactors and kneaders

- laboratory reactors 0.05–50 L
- laboratory autoclaves 1–5 L
- explosion-proof 50 L reactor
- high pressure laboratory reactors
- reaction calorimeters RC1
- LabMax process development workstations
- microwave reactor
- laboratory fermenter
- laboratory kneader and -defibrator
- ploughshare batch mixer
- measuring kneader

Extruder and supplies

- 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

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

Spinning plants

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

Sample reprocessing

- laboratory and pilot plant centrifuges
- ultracentrifuges
- ultrafiltration system
- high pressure homogenizers
- ultrasonic homogenizer
- bead beater homogenizer
- freeze dryers
- spray dryer
- fluidized bed drier
- ball, cutting and ultracentrifugal and cryo mills
- 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

Pilot plant PLA synthesis

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

Surfaces, films and membranes

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

Biotechnology pilot plant, S1

- fermentation plant
 - 2 L-, 15 L-, 100 L-fermenter
 - mass spectrometer for gas detection
- high pressure homogenisator
- 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

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 clean
- 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 ZE 40
- injection molding compounder KM 1300–14,000 IMC (clamping force 1300 tonnes)
- injection molding machine KM 200 (clamping force 200 tonnes)

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

www.iap.fraunhofer.de

Analysis and characterization

Laser technique

- 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 on-line measurement of the phase shift and the dichroism

Chromatography and solution characterization

- gel-permeations-chromatographs with multi-detection (VISCO, MALLS, UV, RI, ELSO); analytical and preparative
- interferometric refractometer (dn/dc-determination)
- high performance liquid chromatographs with multi-detection (VISCO, MALLS, UV, RI, ELSO, DAD, ESI-MS, APCI-MS)
- high performance anion exchange chromatograph with pulsed amperometric detection
- ion chromatograph
- gas chromatographs

- gas chromatographs with multi-detection (FID, MS)
- elementary analyzer (CHNS/O)
- goniometer for static light scattering
- dynamic light scattering instruments for particle characterization
- analytical ultracentrifuge
- vapor pressure osmometer
- membrane osmometer
- turbidity photometer
- tensiometer
- system for polyelectrolyte titration

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-Spektrometer
- 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

Rheology

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

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
- inverse fluorescence microscope
- confocal laser scanning microscope
- X-ray equipment for wide angle (WAXS) and for small angle (SAXS) x-ray scattering
- mercury porosimetry
- volumetric gas adsorption (BET)
- dynamic vapour sorption

Material characteristics

- dynamic scanning calorimeter
- dynamic mechanical analyzer
- thermogravimetric analysis
- 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 (bending vibration)
- helium gas pycnometer
- particle size analyzers
- zetapotential analyzers
- charge mobility
- OLED lifetime testing
- suntester
- optical calcium test
- gas permeability tester

Surface analysis

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

DNA and protein analysis

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

ZUSAMMENARBEIT COOPERATION

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, Insitut für
Elektronenstrahl- und Plasma-
technologie, 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/Potsdam-Golm

Fraunhofer ICT, Institut für
Chemische Technologie, Pfinztal

Fraunhofer IFAM, Institut für
Fertigungstechnik und
Angewandte Materialforschung,
Klebeteknik und Oberflächen,
Bremen

Fraunhofer IGB, Institut für
Grenzflächen und Bioverfahrens-
technik, Stuttgart

Fraunhofer ILT, Institut für
Lasertechnik, Aachen

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

Fraunhofer IOF, Institut für
Angewandte Optik und Fein-
mechanik, 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,
Freiburg/Halle

Fraunhofer IZM, Institut für
Zuverlässigkeit und Mikro-
integration, Berlin

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

Fraunhofer WKI, Institut für
Holzforschung, Braunschweig

Hochschulen in Deutschland Universities in Germany

Bergische Universität Wuppertal,
Lehrstuhl fuer Elektronische
Bauelemente

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

Friedrich-Schiller-Universität Jena,
FSU, Institut für Angewandte
Optik

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

Hochschule Hannover, Institut
für Biokunststoffe und Biover-
bundwerkstoffe

Hochschule Lausitz, Senftenberg

Hochschule Merseburg (FH)

Hochschule Niederrhein, Krefeld

Hochschule Reutlingen

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

Johannes Gutenberg-Universität
Mainz, Institut für Organische
Chemie

Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg

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

Ruhr-Universität Bochum,
Analytische Chemie

Technische Hochschule Wildau
(FH), Fachbereich Ingenieurwe-
sen, Biosystemtechnik

Technische Universität Berlin,
Fachgebiet Polymertechnik/
Polymerphysik, Institut für Physik,
Institut für Chemie

Technische Universität
Braunschweig, Institut für
Hochfrequenztechnik

Technische Universität Chemnitz

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

Universität Kassel, Institut für
Werkstofftechnik, Kunststoff-
und Recyclingtechnik

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

Hochschulen im Ausland **Foreign universities**

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

Aristotle University, Thessaloniki (Greece)

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

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

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

Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Trabzon (Turkey)

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

Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Organische Chemie, Wien (Austria)

Université de Strasbourg, Institut universitaire de Technologie Louis Pasteur, IUT Louis Pasteur, Strasbourg (France)

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)

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

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

University of Graz, Institute of Chemistry, Graz (Austria)

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

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

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

West Pomeranian University of Technology Szczecin, Institute of Materials Science and Engineering, Szczecin (Poland)

Andere Forschungs- einrichtungen **Other research institutes**

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

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, BAM, Berlin

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

Center for Research and Technology Hellas, CERTH, Thessaloniki (Greece)

Charité, Berlin

Deutsches Wollforschungsinstitut an der RWTH Aachen e.V., DWI, Aachen

EU Joint Research Center, Ispra (Italy)

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow

Faserinstitut Bremen e.V., FIBRE, Bremen

Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen GmbH, FILK, Freiberg

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Berlin

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

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

Institute of Chemical Fibres, IWCh, Łódź (Poland)

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

Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Graz (Austria)

Johann Heinrich von Thünen-Institut, vTI, Großhansdorf

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

Latvian State Institute for Wood Chemistry, Riga (Latvia)

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V., ZALF, Müncheberg

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

Leibniz-Institut für Polymerforschung e.V., Dresden

ZUSAMMENARBEIT COOPERATION

Max-Planck-Institut für Eisenforschung, MPIE, Düsseldorf	Ukraine Academy of Science, Institute of Physics, Kiev (Ukraine)	Blücher, Adsor-Tech GmbH, Premnitz	Danisco Sweeteners, Kantvik (Finland)
Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, MPIKG, Potsdam	UP Transfer GmbH, Potsdam	Bosch/Siemens-Hausgeräte GmbH, Lipsheim	Dow Olefinverbund GmbH, Schkopau
Max-Planck-Institut für Polymerforschung, MPIP, Mainz	VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo (Finland)	Bruker Daltonics, Bremen	Feintech GmbH Eisfeld, Eisfeld
Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Detmold	Ytkemiska Institute, Institute for Surface Chemistry, YKI, Stockholm (Sweden)	Buckeye Technologies Inc., Memphis (USA)	Festo AG & Co. KG, Esslingen
	-----	Buckman Laboratories GmbH, Köln	Folex AG, Seewen (Switzerland)
	Firmenkooperationen Cooperations with companies	Bundesdruckerei GmbH, Berlin	Follmann & Co., Minden
NanoTecCenter Weiz, Graz (Austria)		Cargill Deutschland GmbH, Krefeld	Frank Optic Products GmbH, Berlin
Papiertechnische Stiftung PTS, München	3D Micromac, Chemnitz	Celanese Emulsions GmbH, Frankfurt/Main	General Mills, Minneapolis (USA)
»Petru Poni« Institute of Macromolecular Chemistry, Iasi (Romania)	aevotis GmbH, Potsdam	Celulose Beira Industrial, CELBI, SA, Figueira da Foz (Portugal)	Gen-IAL GmbH, Troisdorf
Polish Academy of Science, Center of Polymer Chemistry, Center of Polymer and Carbon Materials, Gliwice and Zabrze (Poland)	ALBIS PLASTIC GmbH, Hamburg	Ceresan Erfurt GmbH, Markranstädt	German Bioplastics Guben GmbH, Guben
Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., STFI, Chemnitz	Allresist GmbH, Strausberg	Clariant Deutschland GmbH, Frankfurt/Main	Giesecke & Devrient, München
STFI-Packforsk AB, Stockholm (Sweden)	AMSilk GmbH, Planegg/Martinsried	Cognis GmbH, Düsseldorf	Glanzstoff Industries GmbH, Wien (Austria)
Stiftelsen SINTEF, Blindern (Norway)	amynova polymers GmbH, Wolfen	Conti Temic microelectronic GmbH, Ingolstadt	GMT Membrantechnik GmbH, Rheinfelden
Tecnalia, Derio (Spain)	BASF Plant Science Company GmbH, Limburgerhof	Cordenka GmbH & Co. KG, Obernburg	Goeckener GmbH, Ahaus
Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V., Greiz	BASF SE, Ludwigshafen	CORRSYS 3D Industrial & Rail Sensors AG, Wetzlar	Henkel AG & Co. KGaA, Düsseldorf
The UK Health and Environment Research Institute, Leicestershire (UK)	BHS Corrugated Maschinen- und Anlagenbau GmbH, Weiherhammer	Creavac GmbH, Dresden	Hobum Oleochemicals GmbH, Hamburg
	BIOP Biopolymer Technologies AG, Dresden	Cromotransfer, Joinville (Brazil)	ImaBiotech, Lille (France)
	BIOTEC GmbH & Co. KG, Emmerich		IMOS Gubela GmbH, Renchen
			INEOS Melamines GmbH, Frankfurt/Main

Ingeniatrics, Sevilla (Spain)	NATEX Prozesstechnologie GesmbH, Ternitz (Austria)	Rhodia Acetow GmbH, Freiburg	SYNTHON Chemicals GmbH & Co. KG, Wolfen
Jäckering Mühlen-Nährmittelwerke GmbH, Hamm	ND-Technik, Svedlograd (Russia)	Roca Group AG, Laufen (Switzerland)	Synthos S.A., Oswiecim (Poland)
J. Rettenmaier & Söhne GmbH & Co. KG, Rosenberg	Nematel GmbH & Co. KG, Mainz	Roquette, Lestrem (France)	SYRAL SAS, Z.I. et potuaire, Aalst (Belgium)
Konarka Technologies, Linz (Austria)	Novamont S.p.A., Novarra (Italy)	SABIC Technology and Innovation, Geleen (Netherlands)	TATE & LYLE, Wittlich
Lanxess Deutschland GmbH, Leverkusen	Novozymes A/S, Bagsvaerd (Denmark)	Sappi Alfeld GmbH, Alfeld	Tecnaro GmbH, Ilsfeld-Auenstein
LCP GmbH, Leuna	Osram Opto Semiconductors, Regensburg	Schafer-N, Copenhagen (Denmark)	tesa SE, Hamburg
Lenzing AG, Lenzing (Austria)	Oy Separation Research Ab, Åbo/Turku (Finland)	Schweighofer Fiber GmbH, Hallein (Austria)	TES Frontdesign GmbH, Neuruppin
LIST AG, Arisdorf (Switzerland)	P & P Service GmbH & Co. KG, Eitelborn	SeeReal Technologies GmbH, Dresden	Thurpapier Model AG, Weinfelden (Switzerland)
LM Windpower, Lunderskov (Danmark)	PanEuro, Cork (Ireland)	Sensor- und Lasertechnik Dr. W. Bohmeyer, Neuenhagen bei Berlin	Tilse Formglas GmbH, Liepe
Losser Chemie GmbH, Hainichen	Papierfabrik August Koehler AG, Oberkirch	Sibur LLC, Moskau (Russia)	Toho Tenax Europe GmbH, Wuppertal
LTB Lasertechnik Berlin GmbH, Berlin	Phytowelt GreenTechnologies GmbH, Köln	Siemens AG, Berlin	TropoTherm AG, Almeida (Spain)
Merck KGaA, Darmstadt	Pracht Lichttechnik GmbH, Dautphetal	Sikoplast Maschinenbau GmbH, Siegburg	Uhde Inventa-Fischer GmbH & Co. KG, Berlin
Merseburger Spezialchemikalien, Merseburg	Proviron Industries NV, Hemiksen (Belgium)	Smurfit Kappa Hoya Papier und Karton GmbH, Hoya	VITRONIC Dr.-Ing. Stein Bildverarbeitungssysteme GmbH, Wiesbaden
Meyerhans Mühlen AG, Villmergen (Switzerland)	PSS Polymer Standards Service GmbH, Mainz	Södra Skogsägarna ekonomisk förening, Växjö (Sweden)	Weyerhaeuser Company, Federal Way (USA)
mfd Diagnostics GmbH, Luckenwalde	Quarzwerte GmbH, Frechen	Styron Deutschland GmbH, Schkopau	Xetos AG, Hohenbrunn
Microdyn-Nadir GmbH, Wiesbaden	Raab-Photonik GmbH, Potsdam	Sunar Grup, Seyhan/Adana (Turkey)	Zellstoff Stendal GmbH, Arneburg
micro resist technology GmbH, Berlin	Reifenhäuser REICOFIL GmbH & Co. KG, Troisdorf	Symrise AG, Holzminden	Zeppelin Reimelt GmbH, Kassel
			ZPR Rosenthal GmbH, Blankenstein

ZUSAMMENARBEIT COOPERATION

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
- BioTop Berlin Brandenburg
- Centre of Excellence for Polymer Materials and Technology, CoE PoliMaT, member of the Scientific Council
- Cluster Mitteldeutschland Chemie/Kunststoffe
- 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
- Forschungsvereinigung Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen e.V. WNR, Rudolstadt
- Fraunhofer-Allianz POLO
- Fraunhofer-Innovationscluster Polymertechnologie
- Fraunhofer-Netzwerk Elektrochemie
- Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS
- Freundeskreis Chemie-Museum Erkner e.V.
- Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V., GdCh

- Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., DECHEMA, Arbeitsausschuss Polyreaktionen
- Industrieclub Potsdam e.V.
- Industrievereinigung verstärkte Kunststoffe, AVK
- International Advisory Board, Chiral Compounds and Special Polymers, CCSP
- International Advisory Board, IUPAC, Novel Materials and their Synthesis, NMS
- Kunststoffverbund Brandenburg/Berlin e.V., KuVBB
- Landesvereinigung außeruniversitärer Forschung in Brandenburg e.V., LAUF
- Leibniz-Kolleg-Potsdam e.V.
- Organic Electronic Association, oe-a
- OpTecBB e.V., Kompetenznetz für Optische Technologien
- pearls, Potsdam Research Network
- PhotonikBB e.V.
- Polykum e.V.
- ProWissen Potsdam e.V.
- SEPAWA e.V.
- Society for Information Displays-Mid Europe Chapter, SID-MEC
- Verein Deutscher Ingenieure, VDI
- Verein Sichere Identität Berlin Brandenburg e.V.
- Technologieplattform Mikroverkapselung
- ZukunftsAgentur Brandenburg GmbH, ZAB

Prof. Dr. M. Bartke
– Beirat Kunststoffkompetenzzentrum Merseburg
– DECHEMA, Arbeitsausschuss Polyreaktionen

Dr. Christine 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
– Deutsche Physikalische Gesellschaft, DPG
– 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 Kunststoffverbund Brandenburg/Berlin e.V., KuVBB
– Wissenschaftlicher Beirat Faserinstitut Bremen e.V.
– Zellcheming, Fachausschuss Cellulose und Cellulosederivate

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

Dr. K. Hettrich
– NA 005-11-43 AA Arbeitsausschuss Partikelmesstechnik, Oberflächenmessverfahren, Sp ISO/TC 24/SC 4/WG3

Dr. A. Holländer
– Deutsche Gesellschaft für Plasmatechnologie e.V.
– International Advisory Board der Zeitschrift "Plasma Processes and Polymers"
– Scientific Council of the Centre of Excellence for Polymer Materials and Technologies, CoE PoliMaT, Ljubljana (Slovenia)
– Sprecher der Fraunhofer-Allianz Polymere Oberflächen POLO®

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

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

Lehrveranstaltungen Lecturing activities

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, Arbeits-
gemeinschaft 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”
– Leitung der Arbeitsgruppe
“Materialien für medizinische
Anwendungen” in der
“Regenerativen Medizin
Initiative Berlin-Brandenburg”
(RMIB)

Dr. J. Stumpe
– OpTecBB e.V.
– PhotonikBB e.V.

Dr. W. Vorwerg
– Stärkereichsausschuss

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

Prof. Dr. 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: *Strukturcharak-
terisierung von biobasierten
Polymerwerkstoffen*,
Universität Kassel
– Vorlesung: *Strukturcharak-
terisierung 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
– Vorlesung: *Physik polymer-
basierter Trennmembranen*,
TU Berlin

Priv.-Doz. Dr. S. Janietz
– Vorlesung: *Polymere in der
organischen Elektronik*,
Universität Potsdam

Prof. Dr. A. Laschewsky
– Vorlesung: *Technische
Chemie*, Universität Potsdam
– Vorlesung: *Polymerchemie I*,
Universität Potsdam
– Praktikum: *Polymer-
chemie I und II*, Universität
Potsdam
– Blockvorlesung: *Polymeric
Amphiphiles*, im Rahmen des
Internationalen Master-
Studiengangs Chimie et
Ingénierie de la Formulation, CIF,
Ecole Nationale Supérieure de
Chimie de Lille, ENSCL, (France)
– Vorlesung: *Protecting Group
Strategies in Organic and
Polymer Synthesis*, Universität
Potsdam

Dr. J. Storsberg
– Vorlesung und Praktikum:
Makromolekulare Chemie,
Beuth-Hochschule für Technik,
Berlin

Dr. U. Wendler
– Vorlesung: *Makromolekulare
Chemie*, Hochschule Merseburg
(FH)

Auszeichnungen Awards

Prof. Dr. habil. Hans-Peter Fink,
Anselme Payen Award, American
Chemical Society ACS, Cellulose
and Renewable Materials Division
2012

Dipl.-Chem. Tonino Greco, *Best
Poster Presentation Award*, L
2012 Hong Kong

Dipl.-Chem. Christian Ippen,
Tonino Greco, Dr. Armin Wedel,
*Korean Information Display
Society (KIDS) Award*, IMID Con-
ference Korea 2012 sponsored by
Samsung, Deagu (South Korea)

Dr. Anna Miasnikova, *Herausra-
gende Promotionsarbeit an der
Universität Potsdam - SEPAWA
Förderpreis 2012*, SEPAWA,
Fulda (Germany)

Dr. Daniel Zehm, *GDCh-Förder-
preis 2012*, GDCh-Fachgruppe
Chemie des Waschens, European
Detergents Conference (EDC),
Fulda (Germany)

Dr. Daniel Zehm, *Georg-
Manecke-Preis 2012*, Berlin-
Brandenburgischer Verband für
Polymerforschung e.V., Berlin
(Germany)

EREIGNISSE EVENTS

Gäste Guests

Dr. sc. Tatjana Smirnova, National Academy of Sciences of Ukraine, NAS, Kiev (Ukraine),

Dr. Chul Jong Han, Flexible Display Research Center, Korean Electronics Technology Institute, Seoul (South Korea), 1.1.–31.7.2012

Prof. Ji-young Hwang, Chungnam Techno Park, Chungnam (South Korea), 27.3.2012

Sung-koon Kang, Chungnam Techno Park, Chungnam (South Korea), 27.3.2012

Jun-ho Kim, Chungnam Techno Park, Chungnam (South Korea), 27.3.2012

Jeon Young-Ro, Chungnam Techno Park, Chungnam (South Korea), 27.3.2012

Prof. Marie-Pierre Laborie, Institute of Forest Utilization and Works Science, and Freiburg Materials Research Center, Freiburg (Germany), 15.5.2012

Dr. Min Suk Oh, Flexible Display Research Center, Korean Electronics Technology Institute, Seoul (South Korea), 1.7.2012–28.2.2013

Bernhard von der Weyhe Schmidt, Flexsolar, Joinville (Brazil), 19.8.–7.9.2012 und 19.11.–23.11.2012

Hermann Gröhe, CDU-Generalsekretär MdB, 21.8.2012

Katherina Reiche, Parlamentarische Staatssekretärin im Bundesministerium (CDU), 21.8.2012

ehem. Bundesministerin Prof. Dr. Annette Schavan, 21.8.2012

Prof. Gennady Efremovich Zaikov, Institute of Chemical Physics of the N.M.Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences und Full Professor of the Moscow State Academy of Fine Chemical Technology (MSAFCT), Moscow (Russia), 10.9.2012

Prof. Sarani Zakaria, Kebangsaan University Malaysia, Bangi (Malaysia), 21.9.2012

Prof. Dr. Martin Neumann, Sprecher der FDP-Bundestagsfraktion für Forschungspolitik, 17.9.2012

Ingo Schmidt, Cromotransfer, Joinville (Brazil), 19.11.–23.11.2012

Veranstaltungen, Messen Events, fairs

Symposium "Drug Delivery Systems of Biopharmaceuticals" Jerusalem (Israel), 25.1.2012

4. Biopolymer-Kolloquium des Fraunhofer IAP, Berlin (Germany), 26.1.2012

Farb- und Materialreport 2013, Berlin (Germany), 9.2.2012

Makromolekulares Kolloquium, Freiburg (Germany), 23.2.2012

Technische Hochschule Wildau 3. Wildauer Duromertagung, Wildau (Germany), 1.3.2012

Workshop Discover Markets, Berlin (Germany), 1.–2.3.2012 und 29.3.2012

CEBIT 2012, Hannover (Germany), 6.–10.3.2012

Dechema Nanobiomed 2012, Frankfurt/Main (Germany), 7.3.2012

Latex & Synthetic Polymer Dispersions 2012, Kuala Lumpur (Malaysia), 13.–14.3.2012

LOB – LaserOpticBerlin, Berlin (Germany), 21.3.2012

DPG-Frühjahrstagung »Kondensierte Materie«, Berlin (Germany), 25.–30.3.2012

Printed Electronics Europe 2012, Berlin (Germany), 2.–4.4.2012

Analytica, München (Germany), 17.–20.4.2012

Campus-X-Change der Hochschule Lausitz, Senftenberg (Germany), 18.4.2012

63. Starch Convention, Detmold (Germany), 18.–19.4.2012

EURO ID, Berlin (Germany), 24.–26.4.2012

13th Leibniz Conference of Advanced Science – Nanoscience 2012, Lichtenwalde (Germany), 26.–27.4.2012

Workshop »Kunststoffe in der Medizintechnik«, Potsdam (Germany), 2.5.2012

Discussion Meeting of the International Research Training Group Soft Matter Science, Schluchsee (Germany), 2.–4.5.2012

4th International Symposium Interface Biology of Implants, Warnemuende (Germany), 9.–11.5.2012

Workshop BioRap "3-D-structured biomaterial using rapid prototyping", Stuttgart (Germany), 16.5.2012

Optatec, Frankfurt (Germany), 22.5.2012

Dialogue Forum "Improving Health for the Ageing Society", Office of the Land Berlin to the EU and Representation of the Land Brandenburg to the EU, Brussels (Belgium), 30.5.2012

Lange Nacht der Wissenschaften, Potsdam (Germany), 2.6.2012

European Coatings Conference Functional Coatings, Berlin (Germany), 6.6.2012

26. Treffpunkt Medizintechnik, Berlin (Germany), 7. 6. 2012

Einweihung »Anwendungszentrum für Innovative Polymertechnologien« am Fraunhofer IAP, Potsdam (Germany), 12. 6. 2012

ACHEMA 2012, Frankfurt/Main (Germany), 18.–22. 06. 2012

9th WPC Natural Fibre and other innovative Composites Congress and Exhibition, Stuttgart/Fellbach (Germany), 19.–20. 6. 2012

LOPE-C 2012, München (Germany), 19.–21. 6. 2012

Netzwerktreffen des Vereins Sichere Identität e.V. und der Helmholtz Security Research School mit Hausmesse der Bundesdruckerei, Berlin (Germany), 21. 6. 2012

27. Tag der Chemie Berlin-Brandenburg 2012, Berlin (Germany), 28. 6. 2012

Workshop »Biopolymere zum Anfassen« der Branchentransferstelle Chemie/Kunststoff, Potsdam (Germany), 29. 6. 2012

Nanotechnology, Thessaloniki (Greece), 2.–5. 7. 2012

Forschungspolitischer Dialog »Intelligente Oberflächen«, Berlin (Germany), 5. 7. 2012

Workshop »Technologieplattform Mikroverkapselung«, Potsdam (Germany), 11. 7. 2012

6th Workshop of VDE/VDI – Fachgesellschaft Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik(GMM) on "Engineering of Functional Interfaces", Zweibrücken (Germany), 16.–17. 7. 2012

Polymer Networks 2012, Jackson Hole (USA), 12.–16. 8. 2012

244th ACS National Meeting "Half a century of fine particle science: Symposium in honor of Egon Matijevic at 90", Philadelphia (USA), 19.–24. 8. 2012

NanoRegen Mission 2012, British Embassy, Berlin (Germany), 5. 9. 2012

8. ThGOT Thementage Grenz- und Oberflächentechnik und 3. Optik-Kolloquium »Dünne Schichten in der Optik«, Leipzig (Germany), 4.–6. 9. 2012

naro.tech 9. Internationales Symposiumg »Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen«, Erfurt (Germany), 5.–6. 9. 2012

12. Schwarzheider Kunststoffkolloquium, Schwarzheide (Germany), 19.–20. 9. 2012

110. Kongress der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft, Berlin (Germany), 20.–23. 9. 2012

European Science Foundation Summer School on Precision Polymer Materials, Sant Feliu de Guixols (Spain), 24.–28. 9. 2012

FNR Kongress »Biobasierte Polymere – Kunststoffe der Zukunft«, Berlin (Germany), 25.–26. 9. 2012

Polydays 2012: Polymers and Light, Berlin (Germany), 30. 9.–2. 10. 2012

3rd International Cellulose Conference, Sapporo (Japan), 10.–12. 10. 2012

EVER 2012 Conference, Nice (France), 10.–13. 10. 2012

2nd international Symposium "Multivalency in Chemistry and Biology", Berlin (Germany), 18.–19. 10. 2012

Workshop »Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe; Kapitel Papier«, Potsdam (Germany), 19. 10. 2012

Workshop »Biopolymere – Rohstoffe und Materialentwicklung«, im Rahmen des Innoforums Biopolymere, Potsdam (Germany), 23. 10. 2012

Internationales ECEMP Kolloquium, Dresden (Germany), 25.–26. 10. 2012

Potsdam Days on Bioanalysis 2012, Potsdam (Germany), 7.–8. 11. 2012

15th Internatl. Small Angle Scattering Conference 2012, Sydney (Australia), 18.–23. 11. 2012

EU Life + Project Workshop, Potsdam (Germany), 10. 12. 2012

Institutskolloquien Institute colloquia

Prof. Marie-Pierre Laborie, Institute of Forest Utilization and Works Science, and Freiburg Materials Research Center, *A polymer physics approach to biomaterials: From the plant cell wall structure to nanocellulose and Lignin thermoplastics*, 15. 5. 2012

Dr. Lena Grimm, Fraunhofer-Gesellschaft, *Das Patentwesen der FhG*, 23. 5. 2012

Prof. Gennady Efremovich Zaikov, Institute of Chemical Physics of the N.M.Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, *Kinetics for the chemistry, biology, medicine and agriculture*, 10. 9. 2012

Prof. Sarani Zakaria, Kebangsaan University Malaysia, *Fabrication and characterisation of cellulose composites from oil palm empty fruit bunch fibre*, 21. 9. 2012

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

Graduierungsarbeiten

Theses

Surface relief gratings in azobenzene containing films for organic DFB lasers

Sebastian Döring
PhD Thesis, University of Potsdam

The work focuses on the holographic formation of one and two dimensional surface relief gratings (SRG) with sinusoidal profile and periodicities below 500 nm in an azobenzene containing material based on a newly developed supramolecular concept. Process parameters of irradiation and material properties are altered to maximize the structure formation regarding a use as substrate for organic distributed feedback (DFB) lasers. So SRGs with periodicity of 400 nm and modulation depth of 80 nm are produced at default conditions and moderate irradiation intensities. The original structures are copied by nanoimprint lithography for their use as laser substrates.

The surface structuring method is well suited for the investigation of the influence of SRG properties on the emission characteristics of organic second (DFB) lasers. Laser active layers of polystyrene doped with laser dye pyrromethene567 and an active guest-host system of conjugated polymers, F8BT* doped with MEH-PPV, are prepared from solution and the optical gain is characterized by the variable stripe length method. Under optical excitation the lasers show very narrow emission lines in the green to red region of the visible spectrum with spectral FWHM widths of down to 0.3 nm which indicates high quality surface relief gratings. Investigation results in minimum laser thresholds and maximum slope efficiencies of 3.5 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ and 8.4 % for F8BT*:MEH-PPV at 640 nm and 80 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ and 0.9% for PS:PM567 at 575 nm, respectively. It is shown that output energy and slope efficiency of an (MEH-PPV)-F8BT*-DFB laser increase due to a growth of grating modulation depth while laser threshold slightly decreases. Beside this, the emission of a DFB laser using a two dimensional surface grating shows a decrease of emission beam divergence.

Another key aspect of the work is the preparation and investigation of elastic diffraction gratings and DFB lasers. Elastic SRGs in thin poly(dimethylsiloxan) films are combined with electro active substrates (EAS). This allows for the transfer of an electrical controlled deformation to the SRGs and the organic lasers. Voltage controlled

deformations are investigated in diffraction experiments which leads to optimization of the elasto optic device. EASs made of elastomeric VHB4910 enable a maximum grating period change of 3.4 % at 2 kV. The adaption of induced grating period change to the emission of a DFB laser results in a continuous shift of emission wavelength. Narrow line laser emission is shifted from 604 nm to 557 nm, nearly 50 nm, by increasing the actuation voltage up to 3.25 kV. A theoretical model is developed that can describe the behavior of the electro optic devices and that enables the calculation of materials elasticity and with this the optimization of the device.

Ammonolysis - Influence of the polymer properties on the particle formation process

Simona Gerike
Bachelor thesis, Hochschule Neubrandenburg

Ammonolysis is a possible method to produce polymeric microparticles for medical or pharmaceutical applications. Ammonolysis could be an alternative choice to the most frequently used techniques like solvent evaporation or solvent extraction.

This study is based on results researches that were obtained in an earlier internship at the Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP. During the internship it was found that the viscosity of the reaction system has a great influence on the particle formation process. Due to this the question arised up to which viscosity it would be possible to produce particular structures.

To clarify this question different polymer types are investigated, including Poly(lactid), Poly[(D,L-lactid)-co-glycolid], Poly(ϵ -Caprolacton) and EUDRAGIT RS 100. These polymer types show different properties and structure characteristics. The bachelor study includes studies concerning on the particle formation in dependence on the viscosity of the reaction system. Thereby viscosity measurements and particle formation processes will be discussed.

Synthesis and characterization of biomaterials for ophthalmic implants

Tim Granath
Bachelor thesis, Beuth Hochschule für Technik, Berlin

The focus of this work is the synthesis and characterization of a highly refractive, transparent polymer material that is suitable for the manufacture of intraocular lenses that can be used in the context of small incision surgery.

Initiated with the synthesis and characterization of the monomers polymer platelets were prepared which have a high refractive index, are transparent, soft and elastically deformable and, after further processing, are suitable as implants which can replace the natural lens. Synthesized as monomers were 1,3-bis(phenylsulfanyl)-2-propanyl-2-propenoate (acrylate) and 1,3-bis(phenylsulfanyl)-2-propanyl-2-methyl-2-propenoate (methacrylate). After the synthesis products were purified by column chromatography, the determination of the respective refractive indices $n_{D24,acrylate} = 1.6010$, $n_{D24,methacrylate} = 1.5922$ with an Abbe refractometer at a temperature of $T = 24^\circ\text{C}$ was accomplished as part of the characterization. During the analysis both monomers showed an absorption maximum at a wavelength of $\lambda = 253\text{ nm}$ within the reference range of UV/Vis. The assay of the associated extinction coefficients, from a series of dilutions, showed a value of $\epsilon_{253} = 14.376\text{ l/mmole} \cdot \text{cm}$ for the acrylate and $\epsilon_{253} = 14.969\text{ l/mmole} \cdot \text{cm}$ for the methacrylate.

Before using the prepared monomers both the suitability of a photochemical as well as a thermally initiated free-radical polymerization were checked by a series of tests with phenoxyethylmethacrylate (POEMA) as monomer. "IRGACURE 2022" was used as a photo initiator. For the thermal initiation azobis(isobutyronitrile) (AIBN) was used. Furthermore the optimal concentration of ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) as a crosslinker was investigated in both series of tests. In this context, the photochemical method was considered inappropriate and not pursued. The optimal crosslinker concentration was determined of 4 %, based on the monomer. After establishing the methodology and the crosslinker concentration the created monomers were processed in different proportions in two series of experiments with POEMA as a comonomer. The characterization of the synthesized polymer plates took place after the completion of the polymerization. All platelets were soft and elastically deformable except for the polymer plates, which were prepared from the methacrylate and whose

POEMA content was less than 50 %. In the UV range all the rays were absorbed below a wavelength of $\lambda = 300\text{ nm}$. The refractive index of the polymers was not precise but nevertheless reproducible through the measurement with laterally incidental light of the Abbe refractometer. For the polymer platelets with a mixing ratio (acrylate:POEMA) of 50:50 a value of $n_{D23,5} \approx 1,592$, for those having a mixing ratio (acrylate:POEMA) of 75:25, $n_{D23,5} \approx 1,611$ was determined.

In accordance with performance of requirements all requested chemical properties of the produced polymer could be realized. Due to the field of application there is a need of further researches that evaluates the polymer in question of biocompatibility terms. Furthermore additional analysis is required to facilitate the assessment of processability and manageability which are used for identifying characteristic material properties.

One-Step synthesis and characterization of amphiphilic star polymers as multifunctional associative thickeners

Christoph Herfurth
PhD Thesis, University of Potsdam

Typically, associative thickeners for aqueous system consist of linear, hydrophobically α,ω -end-capped poly(ethylene glycols) (PEGs). Owing to their structure, these polymers aggregate in aqueous solution, forming a network of bridged micelles. Thus, one polymer molecule can link not more than two micelles. Until now it is unclear whether the structure and dynamics of such networks are influenced by the number of end groups of branched multiply hydrophobically end-capped hydrophilic polymers. Branched PEG-based polymers are synthesized using the laborious and limited techniques of living ionic polymerization. Introducing hydrophobic end groups demands a multiple-step process.

This work presents the one-step synthesis of hydrophilic star polymers with hydrophobic end groups, using reversible addition fragmentation chain transfer (RAFT) polymerization. This radical polymerization method is easy to use and tolerates a large number of polar monomers for the synthesis of the hydrophilic arms of the star polymers. The arms of the polymer were grown from a multifunctional core that formed the R-group of the chain transfer agents (CTAs). The CTAs where

PUBLIKATIONEN

PUBLICATIONS

tailored to be able to vary the number of arms of the star polymers from 2 to 4 and to vary the length (and therefore the hydrophobicity) of the end groups (C4, C12, C18). Two different polar monomers were used as model monomers: Oligo(ethylene glycol)methyl ether acrylate (OEGA) and N,N-Dimethylacrylamide (DMA). Both monomers yield non-ionic hydrophilic polymers. While poly(OEGA) is a comb polymer based on PEG, poly(DMA) exhibits a more compact structure. The amphiphilic star polymers were characterized extensively. The molar masses were determined using GPC in various solvents and the degree of end functionalisation was monitored using ¹H NMR and UV/Vis spectroscopy. The polymerization of OEGA shows some of the expected characteristics of reversible deactivation radical polymerization (RDRP). However, chain transfer to monomer and polymer is a prominent side reaction, limiting the use of this monomer for the fabrication of well-defined material. This reaction can be attributed to the structure of the monomer being an oligoether.

For all examined polymerizations of DMA with the multifunctional CTAs the molar mass increased linearly with conversion. The molar mass distributions were monomodal and narrow ($PDI \leq 1.2$). Expected values were reached for molar masses from 25 to 150 kg/mol and the end group functionality was about 90 % in all cases. While the polymerization of DMA using di- and trifunctional CTAs proceeded to quantitative conversion within 3 h, an initial retardation period of about 60 min was observed for the polymerization using tetrafunctional CTAs. This retardation was attributed to the peculiar molecular structure of these CTAs.

Owing to the well-controlled features of the polymerization of DMA using the multifunctional CTAs, this system was used to obtain tapered block copolymers in a one-pot process. These structures were achieved by adding a second monomer to the reaction mixture after the quantitative conversion of DMA. Using ethyl acrylate (EtA), linear amphiphilic symmetrical triblock copolymers were synthesized. The length of the hydrophobic block was tailored by the addition of varying amounts of EtA. With N,N-Diethylacrylamide as a second monomer, linear symmetric triblock copolymers as well as 3-arm star

diblock copolymers were obtained that contain a thermosensitive block. Altering the temperature of aqueous solutions of these polymers varies the length of the hydrophobic block in situ.

At the TU Berlin, the behavior of the polymers was studied in aqueous solution as well as in microemulsion. The solutions were characterized by small angle neutron scattering (SANS), dynamic light scattering (DLS) and rheology. The end groups of the polymers aggregate, making the polymers efficient thickeners both in aqueous solution and in microemulsion. The structure of the formed network depends on the concentration of the polymer in solution and on the length of the end group. The dynamic properties of the solutions are governed additionally by the number of arms.

Amphiphilic BAB-triblock copolymers bearing fluorocarbon groups: Synthesis and self-organization in aqueous media

Juliane Kristen
PhD thesis, University of Potsdam

Thermoresponsive triblock copolymers of type BAB were synthesized applying the RAFT-method and new symmetric chain transfer agents (CTAs) bearing fluorinated groups. The polymers consisted of a thermoresponsive, hydrophilic A-block and two permanently hydrophobic and for some polymers also lipophobic, fluorinated B-blocks. The aqueous diluted and concentrated polymer solutions were investigated by dynamic light scattering (DLS), turbidimetry measurements, measurements of the foam height, surface tension measurements, ¹H-NMR spectroscopy and rheology. They were tested as emulsifiers and as efficiency boosters in microemulsion. Furthermore, CF-endcapped polymers for applications in non-aqueous solution were synthesized and tested using new fluorinated asymmetric chain transfer agents (CTAs).

New hydrogel forming thermo-responsive block copolymers of increasing structural complexity

Anna Miasnikova
PhD thesis, University of Potsdam

Stimuli-responsive homo- and block copolymers were made by reversible addition-fragmentation chain transfer (RAFT) polymerization, and their self-assembly into "smart" hydrogels – in analogy to associative telechelics – was studied. The resulting hydrogels were designed to swell at low temperature and could be reversibly switched to a collapsed hydrophobic state by rising the temperature. Starting from two constituents, short permanently hydrophobic polystyrene (PS) blocks, and long thermo-responsive poly(methoxy diethylene glycol acrylate) (PMDEGA) blocks, various gelation behaviors and switching temperatures were realized. Specific end groups attached via the RAFT process to the polymers facilitated the polymer characterization, e.g. by routine ¹H-NMR spectroscopy. Further, carboxyl end-groups allowed functionalizing the polymers by e.g. fluorophores, such as rhodamin. Newly designed RAFT agents enabled the synthesis of diblock, of symmetrical triblock as well as of 3-arm star block copolymers. Viscosifying and gelling abilities of the various block copolymers made from PS and PMDEGA blocks, which exhibit a LCST-type transitions in water, were studied by rheology. Important differences were observed between diblock copolymers, containing one hydrophobic PS block only, the symmetrical triblock copolymers bearing two associating PS termini, and the star block copolymers having three associating end blocks. While diblock copolymers formed freely flowing aqueous solutions up to high concentrations, the triblock copolymers efficiently formed gels at low temperatures at concentrations as low as 3.5 wt. %. When heated, the gels underwent a gel-sol transition at intermediate temperatures, well below the cloud point where phase separation occurs. The gel-sol transition shifted to markedly higher transition temperatures with increasing length of the hydrophilic inner block. This effect increased also with the number of arms, and with the length of the hydrophobic end blocks. The mechanical properties of the gels changed significantly and reversibly at the cloud point, and liquid-like dispersions were formed. Accordingly, appropriate designed amphiphilic copolymers give way to efficient, "smart" viscosifiers and gelators displaying tunable gelling and mechanical properties.

Synthesis and characterization of NIR emitting quantum dots

Tuan Anh Pham
Master thesis, University of Potsdam

Semiconductor nanoparticles exhibit special optical properties; in particular they have a tunable emission color due to their particle size, high quantum efficiency, high stability as well as luminance in different spectral regions depending on the bulk materials. Hence, new areas of applications are accessible for these quantum dots. Particularly in photovoltaic applications these materials are used as fluorescence concentrators. The aim of this master thesis is the synthesis of CuInS₂-quantum dots as a possible new material for such applications. The goal is to achieve high luminance efficiency of the nanoparticles and the shift of the emission wavelength into the NIR region. CuInS₂-quantum dots exhibit high absorption coefficients and are less toxic than Pb- and Cd-containing nanoparticles.

For the synthesis of the CuInS₂-nanoparticles the heating and the hot injection methods are compared. The hot injection method is well established for the synthesis of many semiconductor nanoparticles whereas the heating procedure has the advantage of comparable results and better handling. The synthesis is optimized by a variation of parameters such as concentration, temperature and the nature of the ligands. As a result CuInS₂-quantum dots with a maximum quantum yield of about 30 percent are obtained, the highest value reported in literature so far. The emission wavelength lies between 700 and 800 nm. By adding shells of ZnS or multi-shells of ZnSe-ZnS a considerable increase in the quantum yield can be achieved. Core-shell systems from CuInS₂-ZnS or CuInS₂-ZnSe-ZnS exhibit a luminance efficiency of about 52 percent and an emission maximum of 760 nm with full width at half height of 170 nm. First polymer composites with CuInS₂-ZnSe-ZnS-quantum dots for fluorescence concentrators are prepared with a quantum yield of 15 percent and an emission maximum at 810 nm.

Summarizing the results the CuInS₂-ZnS core-shell system and in particular the CuInS₂-core exhibit a high luminance efficiency and an emission wavelength at 760 nm. These values are comparable with successfully synthesized quantum dots based on CdSe, InP, PbS. Future work should concentrate on a better understanding of the growth mechanism of the nanoparticles for being able to optimize the synthesis with respect of their optical properties.

Optimization of enzymatic pretreatment of lignocellulose

Maximilian Schmacht
Bachelor thesis, Beuth Hochschule für Technik, Berlin

Four different commercial enzyme mixtures were utilised as a pretreatment method for the hydrolysis of wheat straw TMP. It was shown, that a clearly better hydrolysis was reached with the preparations with multiple enzyme activities than with the pure xylanase preparation NS50030. Moreover, due to the pretreatment with Celluclast 1.5 L the highest molecular weights of the extracted lignin fractions were generated which had significant higher molecular weights than the controls. Pretreatment with Viscozyme L enabled the highest amount of extracted lignin through alkaline extraction out of wheat straw TMP in comparison to the control as well as in total. In contrast, pretreatment with NS22002 and NS50030 did neither increase molecular weights of the lignin fractions nor increase the amount of extracted lignin.

The analysed residues after enzymatic pretreatment and following alkaline lignin extraction possessed an unchanged composition in comparison to the controls without enzymatic treatment. Furthermore, the detailed investigation of chromatograms of size exclusion chromatography of the extracted lignin fractions showed impurities of hemicellulose. The isolation of pure lignin fractions without impurities as well as the generation of residues free of lignin, which can be used for example in order to produce new materials like biobased plastics, need further research.

Hydrophobic modification of enzym degraded starch

Patrizia Elinor Thoma
Master thesis, University of Potsdam

The feedstock starch provides a manifold potential for desired polymer applications, predominantly in the areas of food and pharmaceutical industry, technical additives and packaging materials. Modified starch with film and barrier properties for the application in surface sizing of paper or coating undergoes a growing demand.

Hydrophobic starches are suitable in surface sizing of paper. A decrease of the water uptake of starch was achieved by esterification with lauric acid $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$. The base-catalyzed transesterification with vinyl laurate was carried out in the solvent DMSO. The DS-values of hydrophobic starch were estimated in the range from 0.05 to 0.5. Before the derivatization the starch was enzymatically depolymerized to average molar masses of 10×10^3 and 500×10^3 g/mol with the enzyme α -amylase. The aqueous dispersions of hydrophobic starches were characterized by determination of particle size distribution, rheological properties and film formation. Contact angles were measured with films.

New hydrogel forming thermo-responsive block copolymers of increasing structural complexity

Zoya Zarafshani
PhD thesis, University of Potsdam

Reactive functionalities were added to both α and ω chain-ends of synthetic polymers via atom transfer polymerization (ATRP). Taking advantage of functional initiators, a series of α -functionalized co/polymers containing cholesterol moiety, aldehyde, t-Boc protected amine, TMS-protected alkyne and NHS-activated ester was accordingly synthesized. The resulting polymers were subsequently engaged in modular synthetic strategies, such as click cycloaddition (copper-catalyzed or copper-free) or amidation, in order to bind synthetic polymers to other polymers, to biomolecules, or to inorganic surfaces such as silica monoliths. Via this general strategy, co/polymers were designed, which were thermoresponsive, yet bioinert and biocompatible, with adjustable cloud point temperatures. The post-polymerization reactions led to various functionalizations (in situ functionalization of micellar aggregates with low and high molar mass molecules), polymers with tuned hydrophilic/hydrophobic balance, "smarrt" chromatographic materials, and bioconjugation (enzyme thermoprecipitation and recovery, improvement of enzyme activity). The exemplified combination of the three aspects, namely functionalization, responsiveness and efficient coupling, provides manifold possibilities for the material scientists to design smart materials required for different applications.

Vorträge

Lectures

C. Ast: *Converting an ammonium transporter into a sensor*, Asilomar, California (USA)

J. Buller, S. Dippel, A. Laschewsky, E. Wischerhoff: *Functionalized polymer backbones for bioresponsive hydrogels*, Potsdam Days on Bioanalysis, Potsdam (Germany), 7.11.2012

J. Buller, A. Laschewsky, E. Wischerhoff: *Protein recognition by responsive polymers*, Dechema Nanobiomed 2012, Frankfurt (Germany), 7.3.2012

J. Buller, A. Laschewsky, E. Wischerhoff, A. Fandrich, F. Lisdat: *Smart synthetic macromolecules recognizing proteins*, 244th ACS National Meeting, Philadelphia (USA), 19.8.2012

S. Döring, M. Kollosche, T. Rabe, G. Kofod, J. Stumpe: *Voltage tunable polymer laser device*, SPIE Photonics West 2012, San Francisco (USA), 25.1.2012

A. Dworak, M. Hahn, A. Laschewsky, K. Manczyk, B.-R. Paulke, E. Wischerhoff: *A New anti-graffiti concept for cultural heritage*, Berlin – European Coatings Conference Functional Coatings, Berlin (Germany), 6.6.2012

G. Engelmann, J. Erdmann, J. Ganster: *Lignin – A bio-based co-component for fiber reinforced thermoplastics and thermosets*, 9. Internationale Symposium »Werkstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen« 2012, Messe Erfurt, Erfurt (Germany), 5.9.2012

J. Erdmann, J. Ganster: *Biokomposite mit cellulosischer Verstärkung*, 6. Treffen des Arbeitskreises Naturfasern, Bremen (Germany), 24.10.2012

J. Erdmann, H. Zhang, J. Ganster: *Improved PLA crystallization via cellulose fiber reinforcement and resulting effects on thermo-mechanical properties*, Polymeric Materials 2012, Halle (Saale) (Germany), 13.9.2012

H.-P. Fink, J. Ganster, A. Lehmann: *Biobased fibers and composites, trends and case studies*, International ECEMP Colloquium Dresden, Dresden (Germany), 25.10.2012

H.-P. Fink, J. Ganster, J. Erdmann: *Biobased fibers and composites*, 9th WPC, Natural Fibre and other innovative Composites Congress and Exhibition, Fellbach (Germany), 19.6.2012

H.-P. Fink, J. Ganster, B. Volkert: *Novel cellulose materials – from fibers to nano composites*, 3rd International Cellulose Conference, Sapporo (Japan), 10.10.2012

H.-P. Fink, J. Ganster, J. Erdmann: *Rayon verstärkte Biopolymere*, Fachkongress Biobasierte Polymere – Kunststoffe der Zukunft, Berlin (Germany), 25.9.2012

H.-P. Fink: *Biobasierte Fasern und Komposite*, Institut für Textilchemie und Chemiefasern Denkendorf (Germany), 10.7.2012

H.-P. Fink, J. Ganster, G. Engelmann: *Lignocellulose – Sustainable resource for novel materials – Trends and case studies*, narotech 9. Internationales Symposium »Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen«, Erfurt (Germany), 5.9.2012

M. Fisher, D. Farrell, K. Trautz, M. González, R. Walters, C. Ippen, A. Büchtemann, J. Morseman, A. Chatten: *Flexible luminescent bio-derived tandem fluorophores*, 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference Austin, Texas (USA), 3.–8.6.2012

D. Fritsch: *Thin film composite membranes of high free volume polymers and aging*, Grand Hotel San Michele, Cetraro (Italy), 15.5.2012

J. Ganster, J. Erdmann, H. Zhang: *Beschleunigte PLA Nachkristallisation bei Cellulosefaserverstärkung und deren Einfluss auf die thermisch-mechanischen Eigenschaften*, DGM Fachauschuss – Polymerwerkstoffe und Bioinspirierte & Interaktive Materialien, Potsdam-Golm (Germany), 8.11.2012

J. Ganster: *Biopolymere – alternative Polymere für die Zukunft*, Workshop Biopolymere zum Anfassen, Potsdam-Golm (Germany), 29.6.2012

J. Ganster, J. Erdmann, H. Zhang: *Hohe Schlagzähigkeit und Wärmeformbeständigkeit von PLA durch Cellulosefaser-Verstärkung*, Workshop des Innovationsforums Biopolymere und biobasierte Kunststoffe – nachhaltige Materialien der Zukunft, Potsdam-Golm (Germany), 23.10.2012

J. Ganster, A. Lehmann, J. Erdmann, H.-P. Fink: *Biobasierte Fasern und Komposite*, 12. Schwarzheider Kunststoffkolloquium, Schwarzheide (Germany), 19.9.2012

J. Ganster, A. Lehmann, J. Erdmann, H.-P. Fink: *Biobasierte technische Fasern und Komposite Einsatz von biobasierten Werkstoffen im Automobilbereich*, Biopolymernetzwerk der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Wolfsburg (Germany), 11.10.2012

M. Hahn, A. Lieske: *Modification of PLA with view to enhanced barrier and thermal properties*, München, 2nd PLA World Congress, München (Germany), 16.5.2012

M. Hassan Nejad, J. Ganster: *Cellulose acetate nanocomposites – New prospects for a traditional biopolymer*, Zellcheming 2012, Wiesbaden (Germany), 26.6.2012

M. Hassan Nejad, B. Volkert, A. Lehmann: *Nanocomposites of starch mixed esters and montmorillonites*, 63. Starch Convention, Detmold (Germany), 19.4.2012

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

A. Holländer: *Mit Farbstoffen gegen Produktfälschungen*, 1. Fälschungsschutz Kongress - Sport, Luxus, Konsum & Design, München (Germany), 30.1.2012

A. Holländer: *3D surface functionalization of polymers*, 7th International Conference on Nanostructured polymers and nanocomposites, Prague (Czech Republic), 24.–27.4.2012

A. Holländer: *Plasma-based activation as a part of multi-step and combined processes for surface functionalization of polymers*, 13th International Conference on Plasma Surface Engineering, PSE 2012, Garmisch-Partenkirchen (Germany), 10.–14.9.2012

A. Holländer: *3D-Oberflächenfunktionalisierung für biologische und medizinische Anwendungen*, 16. Heiligenstädter Kolloquium, Heilbad Heiligenstadt (Germany), 24.–26.9.2012

A. Holländer, St. Kröpke: *Oberflächenbehandlung von Kunststoffen für haftfeste Metallisierung*, 20. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium, Dresden (Germany), 25.–26.10.2012

A. Holländer: *Design and preparation of 3D surface functionalizations*, 9th Short course on functional polymers of ECNP, Prague (Czech Republic), 23.4.2012

C. Ippen, T. Greco, J. Kim, C. J. Han, A. Wedel: *InP multishell quantum dots as green alternative to CdSe in color-saturated quantum dot light-emitting devices*, 2nd International Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment, Jeju (Korea), 16.–19.9.2012

C. Ippen, T. Greco, J. Kim, C. J. Han, A. Wedel: *Highly efficient quantum dot light emitting devices with colloidal indium phosphide quantum dots as emissive material*, 12th International Meeting on Information Display (IMID), Daegu (Korea), 28.–31.8.2012

S. Janietz: *Gedruckte organische Elektronik*, smt hybrid packaging, Nürnberg (Germany), 8.–10.5.2012

S. Janietz: *Gedruckte organische Elektronik an Hand von Beispielen aus dem Fraunhofer IAP* 5. Chemnitzer Seminar, Chemnitz (Germany), 11.12.2012

S. Janietz, B. Gruber, S. Schattauer, K. Schulze: *Integration of OLEDs in textiles*, CIMTEC 2012, Montecatini Terme (Italy), 11.6.2012

S. Janietz, E. Katholing, L. Pabel, A. Lange, St. Albrecht, D. Neher: *Tailor-made absorber polymers for OPV – from synthesis to formulation development*, Polydays 2012, Berlin (Germany), 30.9.–2.10.2012

S. Janietz, A. Lange, E. Katholing, L. Pabel, W. Schindler: *Design of absorber polymers for environmentally friendly and energy saving inkjet printed organic solar cells*, LOPE-C, München (Germany), 19.–21.6.2012

S. Janietz, A. Wedel: *Printing technologies for organic electronic applications by means of examples from Fraunhofer IAP*, Printed Electronics Europe 2012, Berlin (Germany), 3.–4.4.2012

T. Kröner, M. Bartke: *Mass transfer & kinetics in heterophasic copolymerization of propylene*, 1st EFCE working party on Polymer Reaction Engineering, Lyon (France), 12.10.2012

A. Lange, W. Schindler, M. Wegener, K. Fostiropoulos, S. Janietz: *Inkjet printed solar cell active layers prepared from chlorine-free solvents*, E-MRS, Strasbourg (France), 17.5.2012

A. Lange, B. Fischer, M. Wegener, A. Wedel: *Using inkjet printing to deposit solar cell functional layers*, LOPE-C, München (Germany), 19.–21.6.2012

A. Laschewsky: *Schaltbare Hydrogels*, Polymerwissenschaftliches Seminar, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin (Germany), 15.3.2012

A. Laschewsky: *Expectations for smart polymers in aqueous systems: Facts and fancy*, Discussion Meeting of the International Research Training Group Soft Matter Science, "Challenges and Prospects of Polymer Chemistry", Schluchsee (Germany), 2.–4.5.2012

A. Laschewsky, H. Liang, J.-N. Marsat, J. P. Rabe, K. Skrabania, F. Stahllhut, D. Zehm: *Molecularly designed polymer colloids: From giant surfactant to multicompart ment micelles*, 244th ACS National Meeting, Philadelphia (USA), 19.8.2012

A. Laschewsky, C. Herfurth, A. Miasnikova, C. Wieland, E. Wischerhoff, M. Gradzielski, P. Malo de Molina, J. Weiss: *Stars and blocks: Tailoring polymeric rheology modifiers for aqueous media by controlled free radical polymerization*, 244th ACS National Meeting, Philadelphia (USA), 19.8.2012

A. Laschewsky: *Designing Smart Associative Hydrogels*, Polymeric Materials P2012, Halle (Saale) (Germany), 12.–14.9.2012

D. Löttsch, A. Seeboth: *Things different but related to electrochromism – Thermotropic and thermochromic materials for adaptive solar control*, Plenary lecture, The 10th International Meeting on Electrochromism, Holland (USA), 12.–16.8.2012

W. Meyer, E. Novosel, S. Engelhardt, K. Borchers, P. Kluger, G. Tovar, B. Elling, M. Wegener, D. Mang, H. Krüger: *Photocurable materials for building up small and smallest blood supplying systems by stereolithography*, 4th International Symposium Interface Biology of Implants (IBI) 2012, Warnemünde (Germany), 10. 5. 2012

W. Meyer, E. Novosel, S. Engelhardt, M. Wegener, P. Kluger, K. Borchers, H. Krueger: *Effect of nanocavitation in photocurable materials for building up elastic medical devices*, 9th International Conference on Nanosciences & Nanotechnologies (NN12), Thessaloniki (Greece), 3. 7. 2012

B.-R. Paulke: *Applikationsorientiertes Design polymerer Nano- und Mikropartikel*, Hanauer Materialforum, Hanau (Germany), 5. 11. 2012

S. Radosta, W. Vorwerg: *Analytics of starch and starch derivatives*, 63. Starch Convention, Detmold (Germany), 18. 4. 2012

R. Ruhmann, A. Seeboth, O. Muehling, D. Loetzsch: *Thermotropic materials for adaptive solar control*, CIMTEC 2012 – 4th International Conference "Smart Materials, Structures, Systems", Montecatini Terme (Italy), 10.–14. 6. 2012

O. Sakhno, Y. Gritsai, R. Rosenhauer, J. Stumpe: *Electrically switchable and tunable diffractive and photonic elements based on photo-curable monomer-LC composites*, 24th International Liquid Crystal Conference, Mainz (Germany), 19.–24. 8. 2012

N. Schrage, A. K. Cordes, J. Storsberg, S. Sel, H. Roethgen, N. Nass, S. Jockenhoevel, A. Messner: *ACTO-TeXKPRO – In-vitro- und In-vivo-Untersuchung einer modifizierten textilen Keratoprothese*, 110. Kongress der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft, Berlin (Germany), 20.–23. 9. 2012

K. Schulze, T. Bilkay, T. Egorov-Brening, S. Janietz: *TIPS-functionalized Anthra- and Benzodithiophene derivatives for solution processable organic thin film transistors*, 5th International Symposium on Flexible Organic Electronics – IS-FOE12, Thessaloniki (Greece), 3. 7. 2012

S. Schwarz, R. Rojas, S. Schütze, J. Bohrich: *O/W suspo-emulsions containing technical surfactants as models of industrial oily wastewater*, 19th International Symposium on Surfactants in Solution – SIS2012, Edmonton (Canada), 27. 6. 2012

S. Stenzel, M. Meyer, J. Bohrich: *An environmental stable marking system based on encapsulated DANN*, EMRS Fall Meeting, Warsaw (Poland), 18. 9. 2012

J. Storsberg: *Bioactive, biocompatible and biomimetic surfaces and their applications in biomaterials, diagnostic and in therapy*, Symposium "Drug Delivery Systems of Biopharmaceuticals", Jerusalem (Israel), 25. 1. 2012

J. Storsberg: *Biofunktionalisierung von Implantaten*, Forschungspolitischer Dialog »Intelligente Oberflächen«, Berlin (Germany), 5. 7. 2012

J. Storsberg: *Biomaterials for restoring vision and degenerative affections*, NanoRegen Mission 2012, Berlin (Germany), 5. 9. 2012

J. Storsberg: *Curing age-related diseases – Biomaterials for restoring vision and degenerative affections*, Dialogue Forum "Improving Health for the Ageing Society", Office of the Land Berlin to the EU and Representation of the Land Brandenburg to the EU, Brussels (Belgium), 30. 5. 2012

J. Storsberg: *Massgeschneiderte Biomaterialien durch geschickte Oberflächensfunktionalisierung*, INP Greifswald e.V., (Germany), 25. 7. 2012

J. Storsberg: *Neue Biomaterialien fuer die Augenheilkunde*, Biomedizinisches Forschungszentrum (BMFZ), Rostock (Germany), 23. 7. 2012

J. Storsberg: *Open access in science*, Science Communication Panel@Wikipedia-Academy 2012, Berlin (Germany), 30. 6. 2012

J. Storsberg, K. Kobuch, G. I. W. Duncker, M. Knak, S. Rehfeldt, C. Schmidt, N. Nass, S. Sel: *Synthetic eye prosthesis – Phase I results of a successfully developed biomaterial*, EVER 2012 Conference, Nice (France), 13. 10. 2012

J. Storsberg, A. Laschewsky, O. Mauger: *Latices from renewable sources – Carbohydrates as multifunctional additives in emulsion polymerisation processes*, Latex & Synthetic Polymer Dispersions 2012, Kuala Lumpur (Malaysia), 13. 3. 2012

J. Storsberg, C. Schmidt, S. Rehfeldt, K. Kobuch, A. Messner, H. Roethgen, G. I. W. Duncker, M. Knak, A. Cordes, N. Schrage, N. Nass, S. Sel: *Synthetic eye prosthesis*, EVER 2012 Conference, Nice (France), 12. 10. 2012

J. Storsberg, C. Schmidt, S. Sel: *Como biomateriais podem convencer as celulas e tecidos vivos a se ligarem ou nao a alguma superficie*, Centro de Ciencias da Saude, Univerisade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro (Brazil), 22. 8. 2012

J. Storsberg, C. Schmidt, S. Sel: *Development of biomaterials used as artificial corneal replacement*, 4th International Symposium Interface Biology of Implants, Warnemuende (Germany), 10. 5. 2012

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

J. Storsberg, C. Schmidt, E. Wischerhoff, A. Laschewsky, N. Naß, N. Schrage, A. Cordes, S. Sel: *Biofunctional materials – Towards biomedical devices via nanotechnological modification methods*, 13th Leibniz Conference of Advanced Science – Nanoscience 2012, Lichtenwalde (Germany), 27. 4. 2012

J. Storsberg, N. F. Schrage, A. K. Cordes, C. Schmidt, S. Rehfeldt, A. Messner, H. Roethgen, N. Nass, S. Sel: *Künstliche Cornea – In-vitro- und In-vivo-Untersuchung einer neuen Keratoprothese*, 110. DOG-Kongress, Berlin (Germany), 21. 9. 2012

J. Stumpe: *Anisotropic and diffractive optical elements by photo-orientation and photo-induced mass transport*, Colloquium BAM, Berlin (Germany), 25. 1. 2012

J. Stumpe: *Electrically tunable diffractive and photonic elements based on holographic patterning of polymer-LC composites and elastomers*, IPC 2012, Kobe (Japan), 11.–14. 12. 2012

J. Stumpe: *Optical anisotropy and surface deformation in films ionic self-assembly complexes*, *Materials – Processing – Devices*, Colloquium, University Himeji, Himji (Japan), 16. 12. 2012

J. Stumpe: *Photochromic materials for polarization and diffractive elements*, Innovationsforum Funktionelle Farbstoffe, Wolfen (Germany), 31. 5. 2012

J. Stumpe, Th. Fischer, R. Rosenhauer, Y. Gritsai, O. Sakhno: *Active and passive polarization elements for LC displays*, Polydays 2012, Berlin (Germany), 30. 9.–2. 10. 2012

J. Stumpe, Th. Fischer, M. Rutloh, O. Sakhno, R. Rosenhauer, Y. Gritsai: *Amplification of optical signals as result of molecular photoreactions by thermotropic self-organisation and phase separation*, GdCH Photochemie Tagung, Potsdam (Germany), 8.–12. 10. 2012

J. Stumpe, A. Holländer, Th. Fischer, R. Rosenhauer, S. Döring: *Polymere Funktionsschichten für Optik und Life Science*, Innovationsforum »Schützen und Veredeln von Oberflächen«, Wildau (Germany), 28. 2. 2012

J. Stumpe, O. Sakhno: *Electrically switchable and tunable DOE and DFB laser based on polymer/liquid crystal composites*, 4th Workshop on Liquid Crystals for Photonics, Hongkong (China), 9.–11. 12. 2012

J. Stumpe, O. Sakhno: *Organic-inorganic nanocomposites and Polymer-LC composites for holographic elements*, University Nagoya, Nagoya (Japan), 18. 12. 2012

J. Stumpe, O. Sakhno, L. Goldenberg: *Photopolymerizable acrylate-based organic-inorganic nanocomposites for holographic optical and photonic elements*, Nanofair 2012, Dresden (Germany), 12.–13. 6. 2012

J. Stumpe, O. Sakhno, L. Goldenberg, E. Heydari, T. Smirnova: *Photonic and diffractive elements based on holographic patterning of organic-inorganic nanocomposites*, XXIV. IUPAC Symposium on Photochemistry, Coimbra (Portugal), 15.–20. 7. 2012

J. Stumpe, O. Sakhno, Y. Gritsai, R. Rosenhauer, S. Döring, M. Kolloosche, G. Kofod: *Electrically tunable diffractive and photonic elements based on holographic patterning of polymer-LC composites and elastomers*, 23rd Micromechanics and Microsystems Europe Workshop, Ilmenau (Germany), 9.–12. 9. 2012

J. Stumpe, O. Sakhno, Y. Gritsai, R. Rosenhauer S. Döring, M. Kolloosche, G. Kofod: *Electrically tuneable diffractive and photonic elements based on polymer-LC composites and elastomers*, 13th International Symposium on Colloidal and Molecular Electrooptics, Gent (Belgium), 2.–5. 9. 2012

J. Stumpe, J. Tomczyk, E. Heydari, A. Sobolewska: *Light-induced orientation and mass transport of dendritic LC materials*, NaXAFS 2012, Malaga (Spain), 19.–13. 5. 2012

W. Vorwerg, J. Ganster, A. Lehmann, B. Volkert: *Materialien aus Biopolymeren*, Potsdam-Golm (Germany), 12. 6. 2012

J. Wagner, R. Rosenhauer, S. Döring, J. Stumpe: *Neue Technologie zur voll-optischen Mikro- und Nanostrukturierung für die Herstellung diffraktiver optischer und photonischer Elemente*, 3. Optikkolloquium »Dünne Schichten in der Optik«, Leipzig (Germany), 6. 9. 2012

H. Winkler, W. Vorwerg, A. Ebert, R. Rihm: *Fatty acid starch ester – Biobased materials*, 63. Stärketagung Detmold, Detmold (Germany), 19. 4. 2012

H. Winkler, W. Vorwerg: *Fatty acid starch esters – Biobased materials*, Polymeric Materials P2012, Halle (Saale) (Germany), 13. 10. 2012

H. Winkler, W. Vorwerg: *Fatty acid esters of starch – Biobased materials*, Jahrestagung GDCh Fachgruppe Nachhaltige Chemie, Kaiserslautern (Germany), 17. 9. 2012

H. Zhang, J. Erdmann, J. Ganster: *Accelerated PLA crystallization via cellulose fiber reinforcement and interfacial modification*, 9. Internationale Symposium »Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen« 2012, Messe Erfurt, Erfurt (Germany), 5. 9. 2012

Poster
Posters

J. Adelsberger, A. M. Bivigou-Koumba, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum, C. M. Papadakis: *Self-assembled thermoresponsive polymer hydrogels*, Polymer Networks 2012, Jackson Hole (USA), 12.–16. 8. 2012

M. Alekhina, A. Ebert, O. Ershova, J. Erdmann, H. Sixta: *Softwood kraft lignin from different cooking stages: Fractionation, structural characterization and potential application*, 12th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp, Espoo (Finland), 27.–30. 8. 2012

C. Ast: *AmTrac, a fluorescent sensor that reports ammonium transport*, 23rd Lecture Conference on Photochemistry, Potsdam (Germany), 8.–10.10. 2012

M. Bennemann: *Polymer dye laser – you choose the wavelength*, Microsystems Summer School Berlin, Berlin (Germany), 27.–31. 8. 2012

M. Bennemann, S. Döring, O. Sakhno, E. Heydari, J. Stumpe: *Polymer dye lasers*, Funktionelle Farbstoffe – Innovationen in Medizin und Technik, Bitterfeld-Wolfen (Germany), 31. 5.–1. 6. 2012

J. Bomm, J. Stumpe: *Gold nanoparticles: Plasmons and excitons*, 23rd Lecture Conference on Photochemistry, Potsdam (Germany), 8.–10.10. 2012

J. Bomm, J. Stumpe: *Synthesis, characterization and applications of thermosensitive gold QDs*, 23rd Lecture Conference on Photochemistry, Potsdam (Germany), 8.–10.10. 2012

J. Buller, S. Dippel, M. Sütterlin, M. Päch, E. Wischerhoff, A. Laschewsky: *Responsive polymer hydrogels and the modulation of their phase transition via molecular recognition*, Makromolekulares Kolloquium, Freiburg (Germany), 23. 2. 2012

S. Döring, T. Rabe, R. Rosenhauer, M. Rutloh, J. Stumpe: *Holographic inscription of surface relief gratings using light induced mass transport effect in azobenzene based photo resists suitable for organic thin film lasers*, 23rd Lecture Conference on Photochemistry, Potsdam (Germany), 8.–10.10. 2012

S. Dippel, R. Bernin, J. Buller, M. Sütterlin, E. Wischerhoff, A. Laschewsky: *Bioconjugable monomers for smart hydrogel systems aimed at bioanalytics*, 27. Tag der Chemie Berlin-Brandenburg 2012, Berlin (Germany), 28. 6. 2012

S. Dippel, J. Buller, R. Bernin, E. Wischerhoff, A. Laschewsky: *Reactive polymer hydrogels*, European Science Foundation Summer School on Precision Polymer Materials, Sant Feliu de Guixols (Spain), 24.–28. 9. 2012

S. Dippel, R. Bernin, J. Buller, M. Sütterlin, E. Wischerhoff, A. Laschewsky: *Bioconjugable monomers for smart hydrogel systems aimed at bioanalytics*, Potsdam Days on Bioanalysis 2012, Potsdam-Golm (Germany), 7.–8.11. 2012

A. Enzenberg, C. Boeffel, A. Laschewsky: *Competitive displacement of fluorescent labeled analytes – On the way to multiple recognition as a diagnostic tool*, Polydays 2012: Polymers and Light, Berlin (Germany), 30. 9.–2. 10. 2012

A. Enzenberg, C. Boeffel, A. Laschewsky: *Competitive displacement of fluorescent labeled analytes – On the way to multiple recognition as a diagnostic tool*, 2nd international Symposium "Multivalency in Chemistry and Biology", Berlin (Germany), 18.–19.10. 2012

A. Fandrich, J. Buller, E. Wischerhoff, A. Laschewsky, F. Lisdät: *Control of electrochemical conversion on a gold surface modified by a thermo-responsive polymer*, 6th Workshop of VDE/VDI-Fachgesellschaft Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik (GMM) on "Engineering of Functional Interfaces", Zweibrücken (Germany), 16.–17. 7. 2012

D. Fritsch: *About aging of thin-film composite membranes*, Euromembrane 2012, London (UK), 23. 9. 2012

K. Hettrich, H. Wetzel: *Quantification and characterization of polymer ingredients from poplar*, Status Seminar "Plant 2030", Potsdam (Germany), 6. 3. 2012

K. Hettrich, J. Rohowsky, B. Volkert, D. Weber, R. Schwartz-Albiez: *Engineering of sulphate functionalized cellulose derivatives for novel biomaterials*, Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Biomaterialien, Hamburg (Germany), 1. 11. 2012

E. Heydari, J. Stumpe: *Role of spacer layer in localized surface plasmon resonance assisted random laser*, 23rd Lecture Conference on Photochemistry, Potsdam (Germany), 8.–10.10. 2012

E. Heydari, J. Stumpe: *Photoluminescence enhancement by localized surface plasmon resonance of Au nanoparticles*, Nanax5, Fuengirola (Spain), 7. 5. 2012

S. Inal, J. D. Kölsch, A. Laschewsky, D. Neher, D. Janietz: *Dye-labelled polymers for sensing applications*, Polydays 2012: Polymers and Light, Berlin (Germany), 30. 9.–2. 10. 2012

S. Inal, J. D. Kölsch, D. Janietz, A. Laschewsky, D. Neher: *Fluorophore-functionalized thermoresponsive copolymers for sensor applications*, Potsdam Days on Bioanalysis 2012, Potsdam (Germany), 7.–8.11. 2012

PUBLIKATIONEN

PUBLICATIONS

S. Janietz, K. Schulze, T. Bilkay, T. Egorov-Brening, K. Fink: *TIPS-functionalized Benzodithiophene derivatives and copolymers for solution processable organic thin film transistor*, *Electroluminescence 2012*, Grenoble (France), 3.–7.12.2012

M. Kollösche, S. Döring, G. Kofod, T. Raabe, J. Stumpe: *Electric tunable polymer laser*, *Polydays 2012: Polymers and Light*, Berlin (Germany), 30.9.–2.10.2012

T. Kröner, M. Bartke: *Mass transfer & kinetics in hetero-phasic copolymerization of propylene*, *Polymer Reaction Engineering VIII Conference*, Cancun (Mexico), 6.5.2012

A. Lange, W. Schindler, M. Wegener, K. Fostiropoulos, S. Janietz: *Using chlorine-free solvent systems to inkjet print solar cell active layers*, *Polydays 2012: Polymers and Light*, Berlin (Germany), 30.9.–2.10.2012

K. Liermann, D. Geißler, S. Stüfler, D. Hill, D. Wegner, H.-G. Löhmannsröben: *Semiconductor Quantum Dots in FRET-Immunossays*, *23rd Lecture Conference on Photochemistry*, Potsdam (Germany), 8.–10.10.2012

W. Meyer, S. Engelhardt, E. Novosel, B. Elling, M. Wegener, H. Krüger: *Biocompatible materials for rapid prototyping processes building up blood vessel systems*, *26. Treffpunkt Medizintechnik*, Berlin (Germany), 7.6.2012

A. Miasnikova, A. Benítez-Montoya, S. Dippel, A. Laschewsky, M. Päch: *New water-soluble polyacrylates bearing azobenzene side chains: Combining photo- with thermo-sensitive behavior*, *Polydays 2012: Polymers and Light*, Berlin (Germany), 30.9.–2.10.2012

Z. Nagy, J. Tomczyk, A. Sobolewska, B. Heinrich, B. Donnio, D. Guillon, J. Stumpe: *Photochromic dendrimers. I. Synthesis and liquid crystalline properties*, *5th Nanoscience with Nanocrystals Conference (NaNax5)*, Fuengirola (Spain), 7.5.2012

C. M. Papadakis, J. Adelsberger, E. Metwalli, A. Diethert, P. Busch, I. Grillo, A. Bivigou-Koumba, A. Laschewsky, P. Müller-Buschbaum: *Kinetics of collapse and aggregation in thermoresponsive micellar block copolymer solutions – A time-resolved sans investigation*, *15th International Small-Angle Scattering Conference 2012*, Sydney (Australia), 18.–23.11.2012

R. Rihm, J. Ganster: *Manufacture and characterization of PLA stereo complexes*, *nano.tech 2012*, Erfurt (Germany), 5.–6.9.2012

R. Rosenhauer, Th. Fischer, J. Stumpe: *Orientation of polymers due to the interaction with light*, *Polydays 2012: Polymers and Light*, Berlin (Germany), 30.9.–2.10.2012

M. Rutloh, F. Schaal, C. Pruss, R. Rossbach, M. Jetter, S. Weidenfeld, J. Stumpe: *Active micro-optics for spatial polarization control*, *13th International Symposium on Colloidal and Molecular Electrooptics*, Gent (Belgium), 2.–5.9.2012

M. Rutloh, F. Schaal, C. Pruss, W. Osten, R. Rossbach, M. Jetter, S. Weidenfeld, P. Michler, J. Stumpe: *Active micro-optics for spatial polarization control*, *23rd Lecture Conference on Photochemistry*, Potsdam (Germany), 8.–10.10.2012

O. Sakhno, J. Stumpe: *DFB lasing in electrically tunable dye-doped holographic polymer-LC transmission gratings*, *13th International Symposium on Colloidal and Molecular Electrooptics*, Gent (Belgium), 2.–5.9.2012

O. Sakhno, Y. Gritsai, L. Goldenberg, J. Stumpe: *Dye-doped polymers and organic-inorganic nanocomposites for holographic fabrication of DFB lasers*, *Polydays 2012: Polymers and Light*, Berlin (Germany), 30.9.–2.10.2012

O. Sakhno, Y. Gritsai, R. Rosenhauer, J. Stumpe: *Electrically switchable diffractive and photonic elements based on photo-curable monomer-LC composites*, *Polydays 2012: Polymers and Light*, Berlin (Germany), 30.9.–2.10.2012

O. Sakhno, J. Stumpe, T. Smirnova: *Acrylate-based organic-inorganic nanocomposites for holographic fabrication of diffractive optical and photonic elements*, *23rd Lecture Conference on Photochemistry*, Potsdam (Germany), 8.–10.10.2012

O. Sakhno, J. Stumpe, T. Smirnova: *Photonic and diffractive elements by holographic patterning of organic-inorganic nanocomposites*, *23rd Lecture Conference on Photochemistry*, Potsdam (Germany), 8.–10.10.2012

S. Schwarz, R. Rojas, G. Petzold, S. Schütze, P. Krüger, J. Bohrisch: *Defined pickering emulsion as an oily sludge model: Preparation, characterization and destabilization with natural and synthetic polyelectrolytes*, *Polyelectrolytes*, Lausanne (France), 9.7.2012

M. Schwarz, A. Holländer, K. Weber, J. Popp: *Polymer-based isolation of microorganism from complex media*, *46. DGBMT Jahrestagung*, Jena (Germany), 16.9.2012

F. Stahlhut, J. N. Marsat, A. Laschewsky, H. von Berlepsch, C. Böttcher: *Specific mesoscopic structures by self-assembly of ABC ternary block copolymers in the super-strong segregation regime*, *Polydays 2012: Polymers and Light*, Berlin (Germany), 30.9.–2.10.2012

Publikationen Publications

J. Stumpe, S. Döring, M. Kollosche, G. Kofod: *Electrically tunable diffractive and photonic elements based on elastomers*, 23rd Micromechanics and Microsystems Europe Workshop, Ilmenau (Germany), 9.–12. 9. 2012

J. Stumpe, O. Sakhno, Y. Gritsai, R. Rosenhauer: *Electrically tunable diffractive and photonic elements based on holographic patterning of polymer-LC composites*, 23rd Micromechanics and Microsystems Europe Workshop, Ilmenau (Germany), 9.–12. 9. 2012

J. Tomczyk, A. J. Ferreira, A. Sobolewska, G. Mehl, J. Stumpe: *High photoinduced anisotropy in novel LC azobenzene based on Silsesquioxanes core*, 24th International Liquid Crystal Conference (ILCC), Mainz (Germany), 19.–24. 8. 2012

J. Tomczyk, A. Sobolewska, J. Stumpe: *Light induced effects in azobenzene-containing star-like liquid crystals*, 23rd Lecture Conference on Photochemistry, Potsdam (Germany), 8.–10. 10. 2012

J. Tomczyk, A. Sobolewska, Z. Nagy, B. Donnio, D. Guillon, J. Stumpe: *Photochromic dendrimers II. Light induced effects*, 5th Nanoscience with Nanocrystals Conference (NaNaX5), Fuengirola (Spain), 7. 5. 2012

J. Wagner, E. Görnitz, J. Stumpe: *Talbot imaging on polymer particle arrays*, Polydays 2012: Polymers and Light, Berlin (Germany), 1. 10. 2012

H. Winkler, W. Vorwerk: *Biobased materials by esterification of starch with fatty-acids*, 4. Biopolymer-Kolloquium, Potsdam (Germany), 26. 1. 2012

Q. Zhong, E. Metwalli, M. Rawolle, G. Kaune, A. M. Bivigou-Koumba, A. Laschewsky, C. M. Papadakis, R. Cubitt, P. Müller-Buschbaum: *Swelling and switching behavior of thermo-responsive P(S-b-MDEGA-b-S) hydrogel films under vapor atmosphere*, DPG-Frühjahrstagung »Kondensierte Materie«, Berlin (Germany), 25.–30. 3. 2012

St. Albrecht, S. Janietz, W. Schindler, J. Frisch, J. Kupers, J. Kiepert, S. Inal, P. Pingel, K. Fostropoulos, N. Koch, D. Neher: *Fluorinated copolymer PCPDTBT with enhanced open-circuit voltage and reduced recombination for highly efficient polymer solar cells*, Journal of the American Chemical Society (JACS) 134/36, p. 14932–14944 (2012)

C. Ast, E. Schmäzlin, H.-G. Löhmansröben, J. T. van Dongen: *Optical oxygen micro- and nanosensors for plant applications*, Sensors, Online journal 12/6, p. 7015–7032 (2012), ISSN 1424-8220

C. Ast, E. Schmäzlin, H.-G. Löhmansröben, J. T. van Dongen: *Optical oxygen micro- and nanosensors for plant applications*, Sensors 12/6, p. 7015–7032 (2012)

L. de Bartolo, A. Lendlein, D. Hofmann, A. Bader, A. de Grey, E. Curcio, E. Drioli: *Bio-hybrid organs and tissues for patient's therapy: A future vision on 2030*, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification 51/51, p. 79–87 (2012)

T. Bilkay, K. Schulze, T. Egorov-Brening, A. Bohn, S. Janietz: *Copolythiophenes with hydrophilic and hydrophobic side chains: Synthesis, characterization, and performance in organic field effect transistors*, Macromolecular Chemistry and Physics 213/18, p. 1970–1978 (2012)

J. Bomm, S. Döring, S. Stufler, J. Stumpe: *Thermosensitive luminescent gold Quantum Dots: Synthesis, optical characterization and applications*, Quantum Dots: Applications, Synthesis and Characterization, New York Orion Ciftja (2012), ISBN 978-1-61942-968-0

J. Bomm, Ch. Günter, J. Stumpe: *Synthesis and optical characterisation of thermosensitive luminescent Gold Nanodots*, Journal of Physical Chemistry C 116/1, p. 81–85 (2012)

J. Buller, A. Laschewsky, E. Wischerhoff, A. Fandrich, F. Lisdat: *Smart synthetic macromolecules recognizing proteins*, Polymer preprints/ American Chemical Society, Division of Polymer Chemistry 53/2, p. 30–31 (2012)

G. Engelmann, U. Gohs, J. Ganster: *Monomer cast polyamide 6 composites and their treatment with high-energy electrons*, Journal of applied polymer science 123, p. 1201–1211 (2012)

J. Erdmann, J. Ganster, H.-P. Fink: *PLA meets rayon – Tough PLA compounds reinforced with cellulose rayon for injection moulding*, Bioplastics MAGAZINE 7/0, p. 22–25 (2012)

A. Fandrich, J. Buller, E. Wischerhoff, A. Laschewsky, F. Lisdat: *Electrochemical detection of the thermally induced phase transition of a thin stimuli-responsive polymer film*, ChemPhysChem 13/8, p. 2020–2023 (2012)

PUBLIKATIONEN PUBLICATIONS

O. Faruk, A. K. Bledzki, H.-P. Fink, M. Sain: *Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010*, Progress in Polymer Science 37, p. 1552–1596 (2012)

H.-P. Fink, J. Ganster, A. Lehmann: *Man-made cellulose fibers, films and nonwovens: Towards melt-like processing of cellulose*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 81–100 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2

H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.): *Tailor-made polymer research*, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, Potsdam-Golm (2012), ISBN 978-3-00-038248-2

D. Fritsch, P. Merten, K. Heinrich, M. Lazar, M. Priske: *High performance organic solvent nanofiltration membranes: Development and thorough testing of thin film composite membranes made of polymers of intrinsic microporosity (PIMs)*, Journal of Membrane Science 401–402, p. 222–231 (2012)

D. Fritsch: *About aging of thin-film composite membranes*, Procedia Engineering 44, p. 821–822 (2012), ISSN 1877-7058

S. Fujioka, K. Son, S. Onda, C. Schmidt, G. M. Scrabas, T. Okamoto, T. Fujita, P. J. Chiao, K. Yanaga: *Desensitization of NFκB for overcoming chemoresistance of pancreatic cancer cells to TNF-α or Paclitaxel*, Anticancer Research 32/11, p. 4813–4821 (2012)

J. Ganster, J. Erdmann, H.-P. Fink: *Biobased composites*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 161–174 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2

L. Goldenberg, V. Lisinetskii, Y. Gritsai, J. Stumpe, S. Schrader: *Second order DFB lasing using reusable grating inscribed in Azobenzene-containing material*, Optical Materials Express 2/1, p. 11–19 (2012)

L. Goldenberg, V. Lisinetskii, Y. Gritsai, J. Stumpe, S. Schrader: *Single step optical fabrication of a DFB laser device in fluorescent Azobenzene-containing materials*, Advanced Materials 24/25, p. 3339–3343 (2012)

D. Grothe, W. Meyer, S. Janietz: *Acrylate functionalized Tetraalkylammonium salts with ionic liquid properties*, Molecules 17/6, p. 6593–6604 (2012)

M. Hahn, A. Lieske: *Novel biobased plastics – Molecular design by synthesis*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 145–160 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2

C. Herfurth, D. Voll, J. Buller, J. Weiss, C. Barner-Kowollik, A. Laschewsky: *Radical addition fragmentation chain transfer (RAFT) polymerization of Ferrocenyl (Meth)Acrylates*, Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry 50/1, p. 108–118 (2012), ISSN 0887-624X

C. Herfurth, P. Malo de Molina, C. Wieland, S. H. Rogers, M. Gradzielski, A. Laschewsky: *One-step RAFT synthesis of well-defined amphiphilic star polymers and their self-assembly in aqueous solution*, Polymer Chemistry 3/6, p. 1606–1617 (2012), ISSN 1759-9954

K. Hettrich, J. Rohowsky, B. Volkert: *Cellulose sulphates for encapsulation in biomedicine*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 119–124 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2

E. Heydari, T. Greco, J. Stumpe: *Enhancement of QDs photoluminescence by localized surface plasmon effect of Au-NPs*, Nanophotonics IV, Brüssel Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (2012), DOI: 10.1117/12.922778

A. Holländer: *Highly defined functionalized surfaces*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 223–230 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2

M. Horbens, A. Pfriem, J. Ganster, A. Wagenführ: *Holzfasern als Verstärkungsfasern in Holz-Polypropylen-Verbundwerkstoffen*, Holztechnologie 53/6, p. 21–25 (2012)

C. Ippen, T. Greco, A. Wedel: *InP/ZnSe/ZnS: A novel multishell system for InP Quantum Dots for improved luminescence efficiency and its application in a light-emitting device*, Journal of Information Display 13/2, p. 91–95 (2012), ISSN 1598-0316

S. Janietz, B. Gruber, S. Schattauer, K. Schulze: *Integration of OLEDs in textiles*, Advances in Science and Technology 80/1, p. 14–21 (2012)

S. Janietz, A. Wedel: *Organic electronics*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 231–246 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2

M. Jobmann: *Flame protection and reduction of fire load by melamine-based materials and active components*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 175–180 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2

R. Kalbitz, R. Gerhard, D. M. Taylor: *Fixed negative interface charges compromise organic ferroelectric field-effect transistors*, Organic Electronics 13/1, p. 875–884 (2012)

- M. Karimi**, M. Heuchel, T. Weigel, M. Schossig, D. Hofmann, A. Lendlein: *Formation and size distribution of pores in poly(epsilon-caprolactone) foams prepared by pressure quenching using supercritical CO₂*, *Journal of Supercritical Fluids* 61/61, p. 175–190 (2012)
- M. Kopeć**, T. Kruk, S. Zapotoczny, A. Laschewsky, S. Holdcroft, M. Mac, M. Nowakowska: *Photoinduced electron transfer in multilayer films composed of conjugated polyelectrolyte and amphiphilic copolymer hosting electron acceptor molecules*, *Journal of Materials Chemistry* 22/1, p. 140–145 (2012), ISSN 0959-9428
- T. Kröner**, M. Bartke: *Model-based transfer of a free radical copolymerization*, in *Tailor-Made Polymer Research*, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 181–186 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2
- A. Lange**, H. Krueger, B. Ecker, A. Veyssel Tunc, E. von Hauff, M. Morana: *Influence of different copolymer sequences in low band gap polymers on their performance in organic solar cells*, *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry* 50/8, p. 1622–1635 (2012)
- A. Lange**, H. Fluegge, B. Fischer, H. Schmidt, C. Boeffel, M. Wegener, T. Riedl, W. Kowalsky: *Optoelectronic devices based on ultra-violet light sensitive PVK: PCBM layers*, *Synthetic Metals* 162/0, p. 522–526 (2012)
- A. Laschewsky**: *Recent trends in the synthesis of polyelectrolytes*, *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 17/2, p. 56–63 (2012), ISSN 1359-0294
- A. Laschewsky**: *The new chemistry of water-soluble polymers: Modern materials beyond commodities*, in *Tailor-Made Polymer Research*, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 189–210 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2
- S. Leyke**, W. Sokolowska-Köhler, B.-R. Paulke, W. Presber: *Effects of nanoparticles in cells infected by Toxoplasma gondii*, *e-polymers* 12/0, p. 1–17 (2012), ISSN 1618-7229
- W. Meyer**, S. Engelhardt, E. Novosel, B. Eling, M. Wegener, H. Krüger: *Soft polymers for building up small and smallest blood supplying systems by stereolithography*, *Journal of Functional Biomaterials* 3/2, p. 257–268 (2012)
- A. Miasnikova**, A. Laschewsky, G. de Paoli, C. M. Papadakis, P. Müller-Buschbaum, S. S. Funari: *Thermoresponsive hydrogels from symmetrical triblock copolymers Poly(styrene-block-(methoxy diethylene glycol acrylate)-block-styrene)*, *Langmuir* 28/9, p. 4479–4490 (2012), ISSN 0743-7463
- A. Miasnikova**, A. Laschewsky: *Influencing the phase transition temperature of Poly(methoxy diethylene glycol acrylate) by molar mass, end groups, and polymer architecture*, *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry* 50/16, p. 3313–3323 (2012), ISSN 0887-624X
- M. Minelli**, M. G. de Angelis, D. Hofmann: *A novel multiscale method for the prediction of the volumetric and gas solubility behavior of high-Tg polyimides*, *Fluid Phase Equilibria* 333/333, p. 87–96 (2012)
- P. Malo de Molina**, C. Herfurth, A. Laschewsky, M. Gradzielski: *Structure and dynamics of networks in mixtures of hydrophobically modified telechelic multi-arm polymers and O/W microemulsions*, *Langmuir* 28/45, p. 15994–16006 (2012), ISSN 0743-7463
- Z. T. Nagy**, B. Heinrich, D. Guillon, J. Tomczyk, J. Stumpe, B. Donnio: *Heterolithic azobenzene-containing supermolecular tripodal liquid crystals self-organizing into highly segregated bilayered smectic phases*, *Journal of Material Chemistry* 22/35, p. 18614–18622 (2012)
- J. R. Pauls**, D. Fritsch, T. Klassen, K.-V. Peinemann: *Gas permeation measurement under defined humidity via constant volume/variable pressure method*, *Journal of Membrane Science* 389, p. 343–348 (2012)
- S. Radosta**, W. Vorwerg, M. Ulbrich, H. Petersen: *Starch as paper additive*, in *Tailor-Made Polymer Research*, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 137–144 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2
- R. Rosenhauer**, Ch. Kempe, B. Sapich, M. Klein, E. Poetsch, J. Stumpe: *New photorotor for the induction of anisotropy*, *Advanced Materials* 24/48, p. 6520–6523 (2012)
- A. Ryabchun**, A. Bobrovsky, A. Sobolevska, V. Shibaev, J. Stumpe: *Dual photorecording on cholesteric azobenzene-coantaining LC polymer films using helix pitch phototuning and holographic grating recording*, *Journal of Material Chemistry* 22/13, p. 6245–6250 (2012)
- E. Schab-Balcerzak**, A. Sobolewska, J. Stumpe, L. Hamryszak, P. Bujak: *Surface relief gratings in azobenzene supramolecular systems based on polyimides*, *Optical Materials* 35/2, p. 155–167 (2012)
- S. Schattauer**, B. Reinhold, St. Albrecht, Ch. Fahrenson, M. Schubert, S. Janietz, D. Neher: *Influence of sintering on the structural and electronic properties of TiO₂ nanoporous layers prepared via a non-sol-gel approach*, *Colloid and Polymer Science* 290/18, p. 1843–1854 (2012)

PUBLIKATIONEN

PUBLICATIONS

- E. Schmälzlin**, H.-G. Löhmannsröben, F. Morgner: *Nanoparticle-based optical sensing*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 247–252 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2
- K. Schulze**, T. Bilkay, S. Janietz: *Triisopropylsilylethynyl-functionalized anthradithiophene derivatives for solution processable organic field effect transistors*, Applied Physics Letters 101/4, p. 043301 (2012)
- A. Seeboth**, D. Lötzschen, O. Muehling, R. Ruhmann: *Chromogenic polymers*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 269–276 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2
- S. Sel**, U. M. Schilling, N. Nass, A. Simm, F. Garreis, M. Knak, J. Storsberg, M. Kaiser, T. Kalinski, D. Ehrich, T. Bredehorn-Mayr, F. Paulsen: *Bone marrow cells and CD117-positive haematopoietic stem cells promote corneal wound healing*, Acta Ophthalmologica 90/5, e367–e373 (2012)
- S. Sel**, M. Kaiser, N. Nass, S. Trau, A. Roepke, J. Storsberg, U. Hampel, F. Paulsen, T. Kalinski: *Oligophrenin-1 (Ophn1) is expressed in mouse retinal vessels*, Gene Expression Patterns 12/0, p. 63–67 (2012), ISSN 1567-133X
- J. Storsberg**: *Artificial Cornea – An example of a very successful biomaterial research and development to restore vision in human ultima ratio patients*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 217–222 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2
- J. Storsberg**: *Polymeric biomaterials – Implants with an interdisciplinary history*, BioTOPICS 43, Biomaterials in Medicine, Journal of Biotechnology in Berlin-Brandenburg 43/1, p. 14–15 (2012)
- J. Storsberg**, K. Kobuch, G. Duncker, M. Knak, S. Rehfeldt, C. Schmidt, N. Nass, S. Sel: *Synthetic eye prosthesis – phase I results of a successfully developed biomaterial*, Acta Ophthalmologica 90/249, (2012)
- J. Storsberg**, A. Laschewsky, O. Mauger: *Latices from renewable sources – carbohydrates as multifunctional additives in emulsion polymerisation processes*, Latex & Synthetic Polymer Dispersions 2012, Kuala Lumpur, Malaysia iSmithers (2012), ISBN 978-1-84-735725-0
- J. Storsberg**, C. Schmidt, S. Rehfeldt, K. Kobuch, A. Messner, H. Röthgen, G. Duncker, M. Knak, A. Cordes, N. Schrage, N. Nass, S. Sel: *Synthetic eye prosthesis*, Acta Ophthalmologica 90/249 (2012)
- J. Storsberg**, C. Schmidt, S. Sel: *Artificial Cornea (Keratoprosthesis) – A nanotechnologically modified biomaterial to restore eye sight to ultima ratio patients*, LIFIS ONLINE 11/8 (2012), ISSN 1864-6972
- J. Stumpe**, O. Sakhno, Y. Gritsai, R. Rosenhauer, S. Döring, T. Fischer, M. Rutloh, J. Wagner: *Polymer-based optical functional elements*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 253–268 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2
- K. Uhlig**, B. Boysen, A. Lankenau, M. Jaeger, E. Wischerhoff, A. Laschewsky, C. Duschl: *On the influence of the architecture of poly(ethyleneglycol)-based thermo-responsive polymers on cell adhesion*, Biomicrofluidics 6/2, p. 024129-1–024129-11 (2012)
- M. Ulbrich**, S. Radosta, B. Kiebler, W. Vorwerk: *Interaction of cationic starch derivatives and cellulose fibres in the wet end and its correlation to paper strength with a statistical evaluation*, Starch 64/12, p. 972–983 (2012)
- B. Volkert**, A. Lehmann: *Novel cellulose and starch-based products*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 101–118 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2
- W. Vorwerk**, S. Radosta: *Starch modification and characterization*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 125–136 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2
- J. Wagner**, S. Döring, R. Rosenhauer, J. Stumpe: *Neue Technologie zur voll-optischen Mikro- und Nanostrukturierung für die Herstellung diffraktiv-optischer und photonischer Elemente*, 8. Thementage Grenz- und Oberflächentechnik und 3. Optik-Kolloquium »Dünne Schichten in der Optik«, Leipzig Druckhaus Gera GmbH (2012), ISBN 978-3-00-038451-6
- J. Weiss**, A. Li, E. Wischerhoff, A. Laschewsky: *Water-soluble random and alternating copolymers of styrene monomers with adjustable lower critical solution temperature*, Polymer Chemistry 3/2, p. 352–361 (2012)
- J. Weiss**, A. Laschewsky: *One-step synthesis of amphiphilic, double thermo-responsive diblock copolymers*, Macromolecules 45/10, p. 4158–4165 (2012), ISSN 0024-9297
- E. Wischerhoff**: *Smart bioactive polymers*, in Tailor-Made Polymer Research, Fraunhofer Institute for Applied Polymer Research IAP, H.-P. Fink, D. Hofmann (Eds.), Potsdam-Golm, p. 211–216 (2012), ISBN 978-3-00-038248-2

PATENTE PATENTS

Angemeldete Patente in 2012: 21,
offengelegte Patente in 2012: 18
Applied patents in 2012: 21,
published patents in 2012: 18

S. Döring, J. Stumpe, G. Kofod, M. Kollosche: *Polymerlaser mit spannungsgesteuerter Eistellung der Laserwellenlänge*
DE 10 2011 000 941 A1

G. Engelmann, J. Ganster: *Lösungsmittelfreie Epoxidharzmischung, Verfahren zu deren Herstellung sowie deren Verwendung*
DE 10 2011 016 918 A1

T. Greco, B. Volkert: *Herstellung weißer, pigmentfreier Lackfilme auf Basis von Polysaccharid-Mikroschäumen*
DE 10 2011 013 973 A1

S. Janietz, W. Meyer, D. Grothe: *Polymerer Festelektrolyt, Verfahren zu dessen Herstellung sowie elektrisches Bauteil, enthaltend einen Festpolymerelektrolyten*
DE 10 2011 102 438 A1

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

S. Janietz, K. Schulze, T. Egorov-Brening, E. Katholing, H. von Seggern: *Verfahren zur Herstellung durchschlagfester ultradünner Dielektrika in elektronischen Bauteilen unter Verwendung vernetzbarer polymerer dielektrischer Materialien*
WO 2012/022390 A1

H. Krüger, B. Kussmaul, G. Kofod, S. Risse: *Dielektrische Polymere mit erhöhter Permittivität, Verfahren zu deren Herstellung sowie Verwendungszwecke hiervon*
WO 2012/038093 A1

H. Krüger, B. Kussmaul, G. Kofod, S. Risse: *Dielektrische Polymere mit erhöhter Permittivität, Verfahren zu deren Herstellung sowie Verwendungszwecke hiervon*
DE 10 2010 046 343 A1

H. Krüger, W. Meyer, M. Wegener, C. Graf, O. Refle, E. Bremus-Köberling, S. Engelhardt, Ch. Schuh, M. Dettling, E. Novosel, K. Borchers, P. Kluger (geb. Schweizer), G. Tovar, Th. Hirth: *Photovernetzende Elastomere für Rapid Prototyping*
WO 2012/041519 A2

H. Krüger, W. Meyer, M. Wegener, C. Graf, O. Refle, E. Bremus-Köberling, S. Engelhardt, Ch. Schuh, M. Dettling, E. Novosel, K. Borchers, P. Kluger (geb. Schweizer), G. Tovar, Th. Hirth: *Photovernetzende Elastomere für Rapid Prototyping*
DE 10 2011 012 480 A1

A. Lehmann, H. Ebeling, H.-P. Fink: *Verfahren zur Herstellung ligninhaltiger Precursorfasern sowie Carbonfasern*
WO 2012/156443

A. Lehmann, H. Ebeling, H.-P. Fink: *Verfahren zur Herstellung ligninhaltiger Precursorfasern sowie Carbonfasern*
EP 2 524 980 A1

A. Lehmann, B. Volkert: *Verfahren zur Herstellung von Polysaccharidderivaten*
US 2012/0088909 A1

N. Plath, I. Vockenroth, E.-V. Wikker, B. Luneau, A. Laschewsky, M. Paech, E. Wischerhoff: *Die Primärwaschkraft verbessernde polymere Wirkstoffe*
DE 10 2011 112 778 A1 20130314

N. Plath, I. Vockenroth, E.-V. Wikker, B. Luneau; A. Laschewsky, M. Paech, E. Wischerhoff: *Die Primärwaschkraft verbessernde polymere Wirkstoffe*
DE 10 2011 112 777 A1 20130314

J. Quilitz, A. Büchtemann: *Fluoreszenz-Kollektor und dessen Verwendung*
US 2012/0060897 A1

B. Volkert, A. Lehmann: *Verfahren zur Herstellung von Polysaccharidestern oder Polysaccharidmischestern*
US 2012/0172587 A1

B. Volkert, A. Lehmann: *Verfahren zur Herstellung von Polysaccharidestern oder Polysaccharidmischestern*
EP 2 435 484 A1

PATENTE

PATENTS

Erteilte Patente in 2012: 8

Granted patents in 2012: 8

S. Bruzzano, G. Deersberg, A. Laschewsky, J. Storsberg, H. Wack, E. Wischerhoff: *Energieautarkes Trinkwassergewinnungssystem auf Basis thermisch reversibel schaltbarer Hydrogele*
DE 102010047788 A1 20120412

H. Ebeling, H.-P. Fink: *Cellulosecarbamat-Spinnlösung, Verfahren zur Herstellung eines Cellulosecarbamat-Vliesstoffes, Cellulosecarbamat-Vliesstoff sowie Verwendungszwecke*
US 2009/0258561 A1

S. Janietz, H. Krüger, A. Wedel, D. Oosterling-Sainova: *Polymersystem mit definiert einstellbarer Ladungsträgerbeweglichkeit*
EP 1 716 577 A1

A. Lehmann, B. Volkert: *Verfahren zur Herstellung von Polysaccharid-derivaten*
DE 10 2009 012 161 A1

A. Seeboth, O. Mühling, R. Ruhmann, R. Vetter: *Komposit mit inversen thermochromen Eigenschaften, dieses enthaltender Verbundwerkstoff sowie dessen Verwendung*
EP 2 147 078 B1

A. Seeboth, O. Mühling, R. Ruhmann, R. Vetter: *Komposit mit inversen thermochromen Eigenschaften, dieses enthaltender Verbundwerkstoff sowie dessen Verwendung*
US 2010/0181541 A1

J. Stumpe, O. Kulikovska, L. Goldenberg: *Film forming material and preparation of surface relief and optically anisotropic structures by irradiating a film of the said material*
CN 101031619 A1

J. Stumpe, S. Slussarenko, O. Sakhno: *High-efficient, tuneable and switchable optical elements based on polymer-liquid crystal composites and films, mixtures and a method for their production*
TW 2006 13801

ANFAHRT

HOW TO REACH US

Anreise mit Bahn/Bus

ab Berlin Hauptbahnhof oder- Berlin Zoologischer Garten

- Regionalexpress RE 1 (Richtung Magdeburg Hbf) bis Potsdam Hbf oder
- Regionalexpress RE 21 (Richtung Wustermark, Bahnhof) bis Bahnhof Golm oder
- Regionalexpress RE 22 (Richtung S Flughafen Berlin-Schönefeld Bhf) bis Bahnhof Golm
- Am Bahnhof Golm der Strasse Am Mühlenberg Richtung Fraunhofer IAP folgen. (ca. 500m)

ab Potsdam Hauptbahnhof

- Busse 605, 606, 612 bis Wissenschaftspark Golm
- Regionalbahn RB20, RB21, RB22

ab Flughafen Berlin Schönefeld

- Regionalbahn RB22 bis Bahnhof Golm

Arrival by train/bus

from Berlin main station

- regional express RE 1 (towards Magdeburg main station) to Potsdam main station or
- take the local train RE 21 (Direction Wustermark, Bahnhof) to Golm train station or
- take the local train RE 22 (Direction S Flughafen Berlin-Schönefeld Bhf) to Golm train station
- from Golm train station follow the street Am Mühlenberg in direction of Fraunhofer IAP (about 500 m)

from Potsdam main station

- busses 605, 606, 612 to Wissenschaftspark Golm
- regional train RB20, RB21, RB22

from airport Berlin Schönefeld

- regional train RB22 to Golm train station

Anreise mit dem Auto

- Autobahn A10 (Berliner Ring), Ausfahrt Leest (nördlich des Autobahndreiecks Werder), Richtung Potsdam
- am Ende der Wublitzstraße rechts Richtung Golm
- am Kreisverkehr geradeaus
- Parkplätze des Fraunhofer IAP erste Einfahrt links

Arrival by car

- freeway A10 (Berliner Ring), exit Leest (north of the Werder interchange), towards Potsdam
- at the end of Wublitzstrasse turn right towards Golm
- at the roundabout straight on
- parking places of the Fraunhofer IAP on the first left driveway

Übersichtskarte Potsdam-Golm Outlinemap Potsdam-Golm

